

UNIwersytet Przyrodniczy w Lublinie

Wydział Nauk o Żywności i Biotechnologii
Technologia żywności i żywienia

mgr inż. Patrycja Skwarek

Rozprawa doktorska

**Wykorzystanie wytlóków pomidorowych do produkcji kielbas surowo
dojrzewających z obniżonym dodatkiem związków azotowych**

**The use of tomato pomace for the production of raw fermented sausages with
a reduced addition of nitrogen compounds**

Rozprawa doktorska wykonana w Katedrze Technologii Żywności Pochodzenia
Zwierzęcego, Zakład Technologii Mięsa i Zarządzania Jakością

Promotor: prof. dr hab. inż. Małgorzata Karwowska

Lublin, 2025

Składam serdeczne podziękowania promotorowi
Pani prof. dr hab. inż. Małgorzacie Karwowskiej
za nieocenioną pomoc i zaangażowanie przy realizacji niniejszej pracy
oraz merytoryczne wsparcie w rozwiązywaniu problemów naukowych.

Pragnę podziękować wszystkim pracownikom
Zakładu Technologii Mięsa i Zarządzania Jakością,
za cenne wskazówki, życzliwość i miłą atmosferę pracy.

Oświadczenie promotora rozprawy doktorskiej

Oświadczam, że niniejsza rozprawa doktorska została przygotowana pod moim kierunkiem i stwierdzam, że spełnia ona warunki do przedstawienia jej w postępowaniu o nadanie stopnia naukowego.

Data 17.07.2025

Podpis promotora Małgorzata Karwańska

Oświadczenie autora rozprawy doktorskiej

Świadom/a odpowiedzialności prawnej oświadczam, że:

- niniejsza rozprawa doktorska została przygotowana przeze mnie samodzielnie pod kierunkiem Promotora/~~Promotorów~~/~~Promotora pomocniczego~~* i nie zawiera treści uzyskanych w sposób niezgodny z obowiązującymi przepisami.
- przedstawiona rozprawa doktorska nie była wcześniej przedmiotem procedur związanych z uzyskaniem stopnia naukowego.
- niniejsza wersja rozprawy doktorskiej jest tożsama z załączoną na płycie CD/pendrive wersją elektroniczną.

Data 17.07.2025

Podpis autora Patrycja Skwarek

* niepotrzebne skreślić

Wykaz prac naukowych wchodzących w skład cyklu (pełna bibliografia, punkty MEiN i Impact Factor zgodnie z rokiem opublikowania pracy)

Rozprawę doktorską stanowi spójny tematycznie cykl publikacji, w skład którego włączono następujące pozycje:

P1. Patrycja Skwarek, Małgorzata Karwowska. Fruit and vegetable processing by-products as functional meat product ingredients - a chance to improve the nutritional value. *LWT- Food Science and Technology*, 2023, 189, 115442 (**IF: 6,000; Punkty MEiN: 100,00**)

P2. Patrycja Skwarek, Małgorzata Karwowska. Fatty acids profile and antioxidant properties of raw fermented sausages with the addition of tomato pomace. *Biomolecules*, 2022, 12 (11), 1695 (**IF: 5,500; Punkty MEiN: 100,00**)

P3. Patrycja Skwarek, Małgorzata Karwowska. Wytłoki pomidorowe jako innowacyjny składnik kielbas surowo dojrzewających o obniżonej zawartości azotanu(III) sodu. *ŻYWNOSĆ. Nauka. Technologia. Jakość*, 2023, 30, 1 (134), 73 – 85 (**IF: 0,000; Punkty MEiN: 200,00**)

P4. Patrycja Skwarek, Małgorzata Karwowska. The effect of tomato pomace on the oxidative and microbiological stability of raw fermented sausages with reduced addition of nitrites. *International Journal of Food Science*, 2025, 1, 6146090 (**IF: 3,100; Punkty MEiN: 100,00**)

P5. Patrycja Skwarek, Jose Manuel Lorenzo, Laura Purriños, Małgorzata Karwowska. Development of Volatile Compounds in Raw Fermented Sausages with Reduced Nitrogen Compounds—The Effect of Tomato Pomace Addition. *Molecules*, 2024, 29 (24), 5826 (**IF: 4,600; Punkty MEiN: 140,00**)

Sumaryczna liczba pkt. według komunikatu MEiN obowiązującego w roku wydania pracy: 640

Sumaryczny IF (zgodnie z rokiem opublikowania): 19,2

Spis treści

Oświadczenia.....	3
Wykaz prac naukowych wchodzących w skład cyklu (pełna bibliografia, punkty MEiN i Impact Factor zgodnie z rokiem opublikowania pracy).....	4
Streszczenie	7
Summary	8
1. Wstęp.....	9
2. Wprowadzenie teoretyczne na podstawie publikacji	11
2.1. Produkty mięsne surowo dojrzewające.....	11
2.2. Azotany w przetwórstwie mięsa – zagrożenia i metody ich ograniczania	15
2.3. Produkty uboczne przetwórstwa owoców i warzyw jako źródło przeciwutleniaczy i związków przeciwdrobnoustrojowych	17
2.4. Wykorzystanie produktów ubocznych przetwórstwa owoców i warzyw w produktach mięsnych	24
3. Hipoteza badawcza i cel pracy	33
4. Materiał i metody badań.....	34
4.1. Materiał badany	34
4.2. Metody badań	35
5. Układ doświadczeń	41
5.1. Etapy weryfikacji założeń badawczych	41
6. Omówienie wyników i dyskusja.....	44
6.1. Przedstawienie dotychczasowego stanu wiedzy dotyczącego możliwości wykorzystania produktów ubocznych przetwórstwa owoców i warzyw jako funkcjonalnych składników produktów mięsnych	44
6.2. Ocena potencjału liofilizowanych wytlóków pomidorowych jako alternatywy azotanu(III) sodu w produkcji surowo dojrzewających kielbas o obniżonej zawartości związków azotowych.....	45
6.3. Ocena wpływu dodatku liofilizowanych wytlóków pomidorowych na zmiany właściwości fizykochemicznych, trwałość mikrobiologiczną oraz bezpieczeństwo surowo dojrzewających kielbas o obniżonej zawartości azotanu(III) sodu podczas przechowywania w warunkach chłodniczych.....	50
6.4. Określenie wpływu zwiększonej ilości dodatku liofilizowanych wytlóków pomidorowych na przebieg zmian fizykochemicznych, bezpieczeństwo oraz wartość odżywczą surowo dojrzewających kielbas.	55
6.5. Ocena wpływu dodatku wytlóków pomidorowych na profil smakowo - zapachowy oraz zawartość wybranych związków bioaktywnych surowo dojrzewających kielbas ze zmniejszonym udziałem związków azotowych	62

7. Podsumowanie i wnioski.....	68
8. Bibliografia	70
9. Spis tabel i rysunków	79
10. Publikacje wchodzące w skład rozprawy doktorskiej.....	80
11. Oświadczenia współautorów publikacji stanowiących przedmiot rozprawy doktorskiej.....	142
12. Wykaz dorobku naukowego i dane bibliograficzne.....	149

Streszczenie

Wzrost oczekiwań konsumentów w zakresie bezpieczeństwa oraz jakości zdrowotnej żywności skłania współczesny przemysł mięsny do poszukiwania naturalnych dodatków funkcjonalnych, jako alternatywy dla konwencjonalnych konserwantów, takich jak azotany. Szczególną uwagę zwraca się na produkty uboczne przemysłu owocowo - warzywnego, bogate w związki bioaktywne, w tym naturalne przeciwutleniacze, które mogą skutecznie wspierać stabilność oksydacyjną i mikrobiologiczną wyrobów mięsnych, jednocześnie wpisując się w trend produkcji żywności o podwyższonej wartości odżywczej i prozdrowotnej. Celem niniejszej rozprawy doktorskiej było określenie wpływu dodatku liofilizowanych wyłoków pomidorowych na jakość kielbas surowo dojrzewających z obniżonym dodatkiem związków azotowych. W ramach przeprowadzonych badań wykonano analizy obejmujące ocenę zmian fizykochemicznych, mikrobiologicznych, sensorycznych oraz wartości odżywczej kielbas surowo dojrzewających z dodatkiem różnych ilości liofilizowanych wyłoków pomidorowych (0,5% - 2,5%) zarówno po zakończeniu procesu produkcji, jak i w trakcie przechowywania chłodniczego. Uzyskane wyniki potwierdziły, że dodatek wyłoków pomidorowych zwiększał potencjał antyoksydacyjny produktów, poprawiał ich barwę oraz jakość mikrobiologiczną, a także ograniczał powstawanie szkodliwych amin biogennych (BA). Zaobserwowano również pozytywny wpływ na stabilność oksydacyjną i możliwość wydłużenia okresu przydatności do spożycia. Zastosowanie większych ilości dodatku przyczyniało się do poprawy wartości odżywczej oraz ograniczało uwalnianie żelaza z hemu, co wpływało na opóźnienie procesów utleniania lipidów. Dodatkowo, stwierdzono, że liofilizowane wyłoki pomidorowe korzystnie wpływają na profil sensoryczny wyprodukowanych kielbas, intensyfikując pożądane związki aromatyczne, co może przyczynić się do zwiększenia ich ogólnej akceptowalności przez konsumentów. Podsumowując, uzyskane wyniki wskazują, że liofilizowane wyłoki pomidorowe mogą stanowić naturalny dodatek umożliwiający redukcję związków azotowych w produkcji kielbas surowo dojrzewających, przy jednoczesnym zachowaniu wysokiej jakości, bezpieczeństwa i walorów prozdrowotnych gotowych wyrobów.

Słowa kluczowe: kielbasy surowo dojrzewające, wyłoki pomidorowe, właściwości antyoksydacyjne, azotany.

Summary

The increasing consumer expectations regarding the safety and health quality of food encourage the modern meat industry to seek natural functional additives as an alternative to conventional preservatives, such as nitrates. Particular attention is given to by - products of the fruit and vegetable industry, rich in bioactive compounds, including natural antioxidants, which can effectively support the oxidative and microbiological stability of meat products, while aligning with the trend of producing food with enhanced nutritional and health - promoting value. The aim of this doctoral dissertation was to determine the impact of adding freeze - dried tomato pomace on the quality of dry fermented sausages with a reduced content of nitrogen compounds. The conducted research included analyses of physicochemical, microbiological, sensory changes, as well as the nutritional value of dry fermented sausages with the addition of various amounts of freeze - dried tomato pomace (0.5% - 2.5%) both after the production process and during refrigerated storage. The results confirmed that the addition of tomato pomace increased the antioxidant potential of the products, improved their color and microbiological quality and limited the formation of harmful biogenic amines (BA). A positive effect on oxidative stability and the possibility of extending the shelf life was also observed. Using larger amounts of the additive contributed to improving the nutritional value and reducing the release of iron from heme, which influenced the delay of lipid oxidation processes. Additionally, it was found that freeze - dried tomato pomace beneficially affects the sensory profile of the produced sausages, intensifying desirable aromatic compounds, which may contribute to increased overall consumer acceptance. In summary, the obtained results indicate that freeze - dried tomato pomace can be a natural additive enabling the reduction of nitrogen compounds in the production of dry fermented sausages, while maintaining high quality, safety, and health - promoting properties of the final products.

Keywords: dry fermented sausages, tomato pomace, antioxidant properties, nitrates.

1. Wstęp

W ciągu ostatnich lat odnotowano wzrost spożycia wyrobów mięsnych. Zjawisko to jest głównie wynikiem współczesnego stylu życia, zmian preferencji żywieniowych oraz dochodów potencjalnych konsumentów. Zwiększone zainteresowanie tego typu produktami wynika również z faktu, że znaczna część dostępnych na rynku artykułów spożywczych cechuje się niską zawartością cennych składników odżywczych, takich jak białko, niezbędne nienasycone kwasy tłuszczowe, witaminy, składniki mineralne oraz naturalne przeciwutleniacze (Juàrez i in., 2021).

W związku z tym spośród wielu rodzajów artykułów spożywczych mięso oraz produkty mięsne stanowią istotny element w diecie człowieka. Szczególne znaczenie dla współczesnych konsumentów mają kiełbasy fermentowane surowo dojrzewające, które uważa się za tradycyjną, zdrową i bezpieczną żywność. Popularność tych produktów wiąże się również z rosnącym popytem na wyroby o wydłużonym okresie przydatności do spożycia. Dodatkowo są one cenione ze względu na wartość odżywczą, trwałość oraz szczególne cechy sensoryczne, które są wynikiem wielu zmian zachodzących podczas procesu dojrzewania (Ursachi, 2020). Jednakże w dzisiejszych czasach spożywanie mięsa postrzegane jest nie tylko jako cenne źródło składników odżywczych, lecz również jako potencjalne źródło negatywnych konsekwencji zdrowotnych. Wynika to między innymi ze stosowania syntetycznych dodatków przeciwutleniających i przeciwdrobnoustrojowych, w tym azotanu(III) oraz (V) sodu (Karre i in., 2013). Związki te są powszechnie wykorzystywane w przemyśle mięsnym ze względu na swoje właściwości konserwujące – hamują rozwój drobnoustrojów chorobotwórczych, utrwalają barwę mięsa oraz spowalniają procesy utleniania lipidów (Zhang i in., 2023). Jednocześnie ich stosowanie budzi obawy, bowiem uważane są one za niezdrowe ze względu na potencjalne powstawanie rakotwórczych związków N-nitrozowych, zwłaszcza N-nitrozoamin, które wykazują działanie rakotwórcze.

W tym kontekście przemysł mięsny, który znajduje się pod presją zarówno konsumentów, jak i dietetyków napędzany w dużej mierze zwiększonymi wymaganiami w zakresie poprawy właściwości żywieniowych produktów mięsnych i zmniejszeniem zawartości dodatków negatywnie postrzeganych przez konsumentów poszukuje innowacyjnych strategii poprawy wartości odżywczej przetworów mięsnych (Carballo, 2021).

W ostatnich latach obserwuje się rosnące zainteresowanie eliminowaniem lub ograniczeniem stosowania syntetycznych substancji konserwujących na rzecz naturalnych związków o działaniu przeciwutleniającym. Trend ten wpisuje się w założenia koncepcji „czystej etykiety”, która promuje wykorzystanie składników pochodzenia naturalnego oraz produktów minimalnie przetworzonych (Grasso i in., 2024). Spośród nich wiele uwagi poświęcono rozwojowi funkcjonalnych produktów spożywczych wzbogaconych o naturalne związki bioaktywne wykazujące właściwości przeciwdrobnoustrojowe, przeciwbakteryjne, przeciwgrzybicze, przeciwwirusowe, przeciwzapalne oraz antyoksydacyjne. Dobrą alternatywą jest więc stosowanie produktów ubocznych przemysłu owocowo - warzywnego. Jednym z przykładów może być zastosowanie wyłoków pomidorowych, które są dobrym źródłem składników odżywczych, witamin, białka oraz związków bioaktywnych, w tym likopenu, beta - karotenu, karotenoidów a także innych naturalnych antyoksydantów (Giovanelli i Paradiso, 2002). W tym kontekście wykorzystanie wspomnianych powyżej produktów ubocznych jako naturalnych dodatków w produkcji kielbas surowo dojrzewających w celu redukcji dodatku związków azotowych, a także poprawy barwy produktu i zwiększenia jego aktywności antyoksydacyjnej jest innowacyjnym i interesującym rozwiązaniem.

Celem niniejszej rozprawy doktorskiej była ocena wpływu liofilizowanych wyłoków pomidorowych oraz przechowywania wyrobów mięsnych na jakość mikrobiologiczną, cechy sensoryczne i wartość żywieniową wyrobów mięsnych z obniżoną zawartością związków azotowych. Podczas projektowania hipotezy badawczej założono, iż zredukowanie azotanu(III) sodu do ilości 50 mg/kg w stosunku do obowiązujących przepisów prawnych z równoczesnym wzbogaceniem dodatkiem roślinnym, cechującym się dobrymi właściwościami antyoksydacyjnymi, antibakteryjnymi oraz prozdrowotnymi przyczyni się do uzyskania wyrobu bezpiecznego pod względem zdrowotnym o pożądanej jakości sensorycznej i trwałości przechowalniczej.

2. Wprowadzenie teoretyczne na podstawie publikacji:

Skwarek P., Karwowska M. „Fruit and vegetable processing by-products as functional meat product ingredients - a chance to improve the nutritional value” (publikacja I)

2.1. Produkty mięsne surowo dojrzewające

Produkty mięsne odgrywają kluczową rolę w diecie współczesnego człowieka, dostarczając cennych składników odżywczych, takich jak pełnowartościowe białka, mikroelementy (żelazo, cynk, selen, mangan), witaminy, w tym B12 oraz kwas foliowy, jak również substancje bioaktywne, w tym karnitynę, sprzężony kwas linolowy, endogenne przeciwutleniacze i kreatynę (Zhang i in., 2015). Pomimo wysokiej wartości odżywczej, mięso charakteryzuje się jednak znaczną podatnością na procesy degradacyjne, co sprawia, że konieczne jest stosowanie różnorodnych metod konserwacji, pozwalających na jego stabilizację oraz znaczące wydłużenie okresu przydatności do spożycia. Procesy te sprzyjają także zwiększeniu dostępności żywności oraz zaspokajaniu rosnących potrzeb żywieniowych populacji. Do najstarszych metod utrwalania żywności należały suszenie i fermentacja, które od wieków były wykorzystywane w starożytnych cywilizacjach do przetwarzania surowców spożywczych. Dzięki tym procesom powstały fermentowane surowo dojrzewające wyroby mięsne, stanowiące dziś istotny element dziedzictwa kulturowego wielu regionów świata (Safa i in., 2015; Toldrà, 2012). Obecnie fermentowane produkty mięsne, zwłaszcza surowo dojrzewające kielbasy, stanowią istotną część diety w wielu krajach Europy, gdzie ich udział wśród przetworzonych wyrobów mięsnych wynosi od 20% do 40% (Hamm i in., 2008). Dostępność różnorodnych surowców mięsnych a także zmieniające się warunki klimatyczne sprzyjają ich globalnej produkcji, przy czym ich zróżnicowanie wynika z uwarunkowań kulturowych, religijnych oraz przekazywanej z pokolenia na pokolenie wiedzy technologicznej (Carballo, 2021). W Hiszpanii oraz Niemczech wyróżnia się odpowiednio ponad 50 i 350 różnych rodzajów kielbas poddawanych procesowi fermentacji. Szacuje się, że łączne spożycie tego rodzaju produktów mięsnych w tych krajach przekracza 600 milionów kilogramów rocznie (Hutkins, 2006). Wzrost zainteresowania wykorzystaniem metod fermentacyjnych w technologii mięsa jest również konsekwencją wprowadzonych ograniczeń dotyczących stosowania syntetycznych substancji konserwujących, co skłania do poszukiwania alternatywnych strategii stabilizacji mikrobiologicznej surowców i produktów mięsnych.

Fermentacja, jako naturalny proces biochemiczny umożliwia kontrolowaną modulację mikroflory poprzez selektywną aktywność mikroorganizmów o właściwościach antagonistycznych, wpływając nie tylko na poprawę bezpieczeństwa mikrobiologicznego, ale również na kształtowanie pożądanych cech sensorycznych produktów końcowych (Sakhare i Narasimha, 2003). Fermentacja należy do najstarszych i najbardziej ekonomicznych procesów wykorzystywanych w przemyśle spożywczym. Dzięki aktywności korzystnych mikroorganizmów, takich jak *Lactobacillus*, *Streptococcus*, *Lactococcus* czy *Bifidobacterium*, możliwe jest nie tylko zwiększenie wartości odżywczej produktów, ale także poprawa ich cech organoleptycznych oraz wydłużenie trwałości (Kumar i in., 2017).

Kluczową rolę w tym procesie odgrywają również reakcje enzymatyczne oraz zmiany chemiczne, takie jak proteoliza, degradacja aminokwasów, utlenianie tłuszczów i reakcja Maillarda. Enzymy, m.in. katepsyny, lipazy i peptydazy, katalizują rozkład białek, tłuszczów i polipeptydów w tkankach mięsa, przekształcając makrocząsteczki w mniejsze związki smakowe lub ich prekursory. W efekcie powstają aminokwasy, aldehydy i alkohole, które kształtują charakterystyczny profil smakowy produktów mięsnych (Rizzi, 2008). Dodatkowo, fermentacja odgrywa kluczową rolę w produkcji kielbas fermentowanych, ponieważ prowadzi do obniżenia pH, co inicjuje proces zakwaszania masy mięsnej. Działanie naturalnych kultur mikroorganizmów lub kultur starterowych skutkuje wytwarzaniem kwasów organicznych, szczególnie kwasu mlekowego, co nie tylko umożliwia zakwaszenie produktu, ale także poprawia jego bezpieczeństwo mikrobiologiczne, hamując wzrost patogenów odpowiedzialnych za jego psucie się. Produkcja nadtlenku wodoru (H_2O_2) oraz bakteriocyn, będąca efektem aktywności mikrobiologicznej, stanowi mechanizm ochronny, który zapobiega rozwojowi niepożądanych mikroorganizmów w kielbasach fermentowanych (Sip i in., 2012). Ponadto, w produkcji kielbas funkcjonalnych stosowane są specyficzne kultury starterowe, które posiadają potencjał probiotyczny, przyczyniając się do zwiększenia wartości żywieniowej tych wyrobów (Sidira i in., 2016; Sirini i in., 2022). Produkty fermentowane, w tym kielbasy suche i półsuche, wykazują zróżnicowanie pod względem wilgotności, pH oraz procesów technologicznych. Kielbasy suche, charakteryzujące się $pH \leq 5,3$, utrzymują utratę wilgotności w zakresie 20 – 50%. Kielbasy półsuche, w których utrata wilgotności wynosi 15 – 20%, cechują się niższym pH, co prowadzi do wyraźniejszego smaku. Produkty te nie przechodzą procesu suszenia, a ich aktywność wody zwykle przekracza wartość 0,92.

Po etapie fermentacji ($\text{pH} \leq 5,3$) są one poddawane obróbce cieplnej i często wędzeniu. Różnice w czasie i temperaturze fermentacji skutkują odmiennymi profilami smakowymi finalnych produktów. Nowoczesne fermentowane kiełbasy suszone można również klasyfikować na dwie główne kategorie: kiełbasy dojrzewające przez okres przekraczający 4 tygodnie, co prowadzi do uzyskania zwartej tekstury oraz charakterystycznego smaku oraz kiełbasy półsuche, które w zależności od średnicy produktu poddawane są procesowi dojrzewania trwającemu od 7 do 28 dni. Kiełbasy te charakteryzują się mniej intensywnym procesem suszenia, co skutkuje wyraźnie bardziej kwaskowatym, słonym, lecz wciąż łagodnym smakiem oraz miękką teksturą produktu (Holc i in., 2017; Vignolo i in., 2010).

Podstawowym surowcem wykorzystywanym w produkcji kiełbas surowo dojrzewających jest mięso (często wieprzowe, wołowe bądź mieszanka tych gatunków) oraz tłuszcz zwierzęcy, głównie wieprzowy. Proces produkcji tych wyrobów obejmuje staranne mieszanie mięsa, tłuszczu, przypraw oraz dodatków, takich jak sól, cukry, środki konserwujące oraz bakterie fermentacji mlekowej. Te ostatnie, odgrywają kluczową rolę w procesie fermentacji, który jest fundamentem produkcji kiełbas surowo dojrzewających. Bakterie takie jak *Lactobacillus* i *Pediococcus* są odpowiedzialne za fermentację cukrów, głównie glukozy, zawartych w mięsie, co prowadzi do wytworzenia kwasu mlekowego i spadku pH produktu (Domínguez i García - Pérez, 2021). Dodatkowo, bakterie z rodzaju *Staphylococcus* (np. *Staphylococcus xylosus* i *Staphylococcus carnosus*), które często stosowane są jako kultury starterowe, odgrywają istotną rolę w rozwoju smaku i zapachu produktu. Przyczyniają się także do redukcji azotanów, co wpływa nie tylko na cechy sensoryczne, ale również na bezpieczeństwo mikrobiologiczne kiełbas surowo dojrzewających (Lücke i Hammes, 2021).

Jednym z głównych składników stosowanych w produkcji fermentowanych wyrobów mięsnych jest sól, dodawana w ilości 2 – 4 %. Minimalny poziom 2% jest niezbędny do zapewnienia odpowiedniej konsystencji produktu, jednocześnie stwarzając warunki sprzyjające rozwojowi bakterii fermentacji mlekowej oraz skutecznie hamującym namnażanie mikroorganizmów patogennych. Istotnym dodatkiem jest również azotan, stosowany w ilości maksymalnie do 150 mg/kg w większości przetworów mięsnych na świecie. Pełni on rolę przeciwbakteryjną oraz przeciwutleniającą, co pozytywnie wpływa na barwę produktu oraz ogranicza wzrost bakterii *Clostridium botulinum* (Deiana i Pinna, 2021). Cukry proste, głównie glukoza (w stężeniu 0,5 – 0,75%), stanowią substrat fermentacyjny dla bakterii LAB, wpływając na szybkość zakwaszenia, a tym

samym na smak, teksturę i ogólną wydajność produktu (Toldrà, 2006). Kluczowym etapem fermentacji jest przekształcenie cukrów przez bakterie fermentacji mlekowej do kwasu mlekowego. Proces ten odbywa się w kontrolowanych warunkach temperatury (zwykle w zakresie 20 - 30°C) i wilgotności (około 80 - 90%). W trakcie tego procesu, następuje stopniowy spadek pH, co stwarza warunki sprzyjające namnażaniu LAB, a jednocześnie uniemożliwia rozwój bakterii patogennych. Po zakończeniu fermentacji, kielbasy poddaje się procesowi suszenia, którego celem jest redukcja zawartości wody oraz dalsze zwiększenie bezpieczeństwa mikrobiologicznego produktu. Zmniejszenie aktywności wody podczas suszenia sprawia, że produkt staje się mniej podatny na rozwój mikroorganizmów patogennych. Proces ten odbywa się w ściśle kontrolowanych warunkach, co umożliwia kontrolowaną utratę wody (Deiana i Pinna, 2021). Ostatnim etapem produkcji jest dojrzewanie, które trwa od kilku tygodni do nawet kilku miesięcy. W tym czasie dochodzi do kontynuacji procesów proteolizy i lipolizy, a także dalszego rozwoju mikroorganizmów, które przyczyniają się do wzrostu intensywności smaków i zapachów. Ponadto, mikroflora kielbasy kontynuuje procesy fermentacyjne, co prowadzi do dalszego spadku pH i zapewnia stabilność mikrobiologiczną produktu. Proces produkcji kielbas surowo dojrzewających jest skomplikowaną sekwencją biochemicznych, mikrobiologicznych i fizycznych przemian, które w efekcie prowadzą do uzyskania produktu o pożądanych właściwościach organoleptycznych i mikrobiologicznych. Dzięki precyzyjnej kontroli nad każdym etapem produkcji, możliwe jest zapewnienie wysokiej jakości, bezpieczeństwa i trwałości tego typu wyrobów mięsnych. Tradycyjnie wytwarzane fermentowane produkty mięsne stały się istotnym składnikiem diety człowieka, jak również kluczowym sektorem rynku mięsa. Współczesne innowacje w zakresie technologii fermentacji dążą do poprawy jakości tych wyrobów, ze szczególnym uwzględnieniem aspektów zdrowotnych, jednocześnie zachowując ich tradycyjne cechy sensoryczne. Produkcja kielbas surowo dojrzewających stanowi więc doskonały przykład połączenia tradycji z nowoczesnością w przemyśle spożywczym, a jej rozwój będzie nieustannie stawiał przed badaczami i producentami nowe wyzwania związane z jakością, bezpieczeństwem i innowacyjnością tych produktów (Al-Qureshi i in., 2022; Toldrà, 1998).

2.2. Azotany w przetwórstwie mięsa – zagrożenia i metody ich ograniczania

Azotany i azotyny, w tym azotyn sodu (E249), azotyn potasu (E250), azotan sodu (E251) oraz azotan potasu (E252), stanowią grupę dodatków do żywności szeroko stosowanych w przemyśle spożywczym, szczególnie w przetwórstwie mięsnym, w ramach przepisów obowiązujących w Unii Europejskiej, w tym Rozporządzenia Komisji (UE) nr 1129/2011 (Karwowska i Kononiuk, 2020). Związki te wykorzystywane są od dziesięcioleci w produkcji przetworów mięsnych z uwagi na swoje właściwości konserwujące, zdolność nadawania charakterystycznej barwy oraz smaku wędlinom (Jin i in., 2018).

Azotan(III) sodu, stosowany wraz z solą, skutecznie hamuje wzrost niektórych bakterii beztlenowych, w tym *Clostridium botulinum*, odpowiedzialnych za wytwarzanie toksyn botulinowych, a także innych patogenów, takich jak *Bacillus cereus*, *Clostridium perfringens*, *Listeria monocytogenes* czy *Staphylococcus aureus* (Gassara i in., 2016). Ponadto wykazuje właściwości antyoksydacyjne, ograniczając procesy utleniania lipidów. Powstający w wyniku jego działania tlenek azotu reaguje z tlenem i reaktywnymi formami tlenu, co skutkuje zahamowaniem autooksydacji tłuszczów. Jednocześnie wiąże i stabilizuje żelazo hemowe, zmniejszając jego prooksydacyjną aktywność (Alahakoon i in., 2015). Należy jednak zwrócić uwagę, że azotan(V) sodu może obniżać wartość odżywczą produktów mięsnych, prowadząc do degradacji witamin A oraz z grupy B (Stanisławczyk, 2014). Wysokie stężenia azotanów mogą prowadzić również do rozwoju methemoglobinemii, stanu charakteryzującego się utratą zdolności hemoglobiny do przenoszenia tlenu. Przy stężeniu methemoglobiny wynoszącym około 20% dochodzi do niedotlenienia tkanek, natomiast poziom przekraczający 50% stanowi bezpośrednie zagrożenie życia (Bedale i in., 2016). Azotany mają zatem zróżnicowany wpływ na zdrowie człowieka, a ich spożycie wiąże się z wyższym ryzykiem występowania niektórych chorób. Ponadto, azotany są redukowane do azotynów przez bakterie endogenne, które w warunkach kwaśnych reagują z aminami, mioglobina oraz związkami fenolowymi, prowadząc do powstawania rakotwórczych nitrozoamin (Hung i in., 2016). W związku z powyższym, zgodnie z obowiązującymi regulacjami, Rozporządzenie Komisji (UE) nr 1129/2011 precyzyjnie określa maksymalne dopuszczalne ilości związków azotowych, które mogą być wykorzystywane jako dodatki do żywności podczas jej przetwarzania. W szczególności, dozwolona ilość azotanów w przetworzonym mięsie wynosi 150 mg/kg, z wyjątkiem

sterylizowanych produktów mięsnych, gdzie wartość ta jest ograniczona do 100 mg/kg. Celem tych restrykcji jest z jednej strony zapewnienie odpowiedniej jakości i trwałości produktów spożywczych, a z drugiej strony minimalizacja potencjalnych zagrożeń zdrowotnych związanych z nadmiernym ich spożyciem. Stosowanie azotanów w przemyśle mięsnym powinno być zatem ściśle kontrolowane. Jednakże, znalezienie odpowiedniej alternatywy dla tych związków w procesach przetwórstwa mięsa jest niezwykle trudne, głównie z powodu ich wielofunkcyjnego charakteru (Karwowska i Kononiuk, 2020).

Jednym z głównych celów współczesnych innowacji w przemyśle mięsnym jest włączanie związków bioaktywnych pochodzących z żywności roślinnej, szczególnie w kontekście zastępowania dodatków, które mogą budzić obawy konsumentów, takich jak azotany. Integracja naturalnych składników roślinnych, które wykazują właściwości konserwujące, może stanowić efektywną alternatywę dla tradycyjnych substancji chemicznych, jednocześnie przyczyniając się do poprawy wartości odżywczej i prozdrowotnych właściwości przetworzonych produktów mięsnych (Ferysiuk i Wójciak, 2020). Rośliny stanowią bogate źródło związków biologicznie czynnych wykazujących właściwości antyoksydacyjne oraz przeciwdrobnoustrojowe. Ekstrakty pochodzące z takich surowców jak seler, burak, szpinak czy sałata mogą pełnić funkcję naturalnych substytutów syntetycznych źródeł azotanów, jednocześnie umożliwiając zachowanie charakterystycznych właściwości organoleptycznych oraz funkcjonalnych produktów mięsnych. Ponadto liczne zioła i przyprawy, w tym rozmaryn, tymianek, oregano, czosnek oraz goździki, wykazują silne działanie konserwujące, co przyczynia się do ograniczenia konieczności stosowania azotanów w przetwórstwie mięsnym. Równie istotne znaczenie mają ekstrakty owocowe, np. z granatu, winogron i cytrusów, bogate w polifenole i flawonoidy, które odgrywają kluczową rolę w ochronie produktów mięsnych przed procesami oksydacyjnymi i degradacją mikrobiologiczną (Bernardo i in., 2021; Membrino i in., 2025).

Stosowanie naturalnych dodatków roślinnych oraz substancji bioaktywnych stanowi zatem obiecującą strategię redukcji zawartości związków azotowych w produktach mięsnych, jednakże wiąże się z szeregiem wyzwań technologicznych i praktycznych. Istotnym zagadnieniem pozostaje zapewnienie stabilności mikrobiologicznej produktów, a także utrzymanie ich charakterystycznych cech sensorycznych, takich jak smak, zapach i tekstura. Niezbędne są dalsze badania w celu optymalizacji proporcji oraz oceny skuteczności naturalnych zamienników, co pozwoli na

tworzenie wysokiej jakości produktów mięsnych o wydłużonej trwałości i minimalnym ryzyku zdrowotnym związanym z obecnością azotanów (Nieto i in., 2024; Shakil i in., 2022).

2.3. Produkty uboczne przetwórstwa owoców i warzyw jako źródło przeciwutleniaczy i związków przeciwdrobnoustrojowych

Owoce i warzywa stanowią istotne źródło naturalnych substancji o działaniu prozdrowotnym, których obecność w diecie wywiera wielokierunkowy wpływ na funkcjonowanie organizmu człowieka. Zawarte w nich związki bioaktywne wykazują właściwości przeciwutleniające i przeciwzapalne, a także wspomagają profilaktykę chorób przewlekłych, takich jak miażdżyca, cukrzyca czy nowotwory (tabela 1). Ich regularne spożycie może przyczyniać się do poprawy funkcjonowania układu sercowo-naczyniowego, odpornościowego oraz nerwowego (Sagar i in., 2018; Skwarek i Karwowska, 2023).

W ostatnich latach rośnie jednak zainteresowanie nie tylko samymi surowcami, lecz także produktami ubocznymi powstającymi podczas przetwórstwa owocowo - warzywnego, takimi jak wytloki, skórki czy pestki (Nur ‘Aqilah i in., 2023). Wykorzystanie ich nie tylko przyczynia się do redukcji odpadów, lecz także stanowi źródło cennych składników, takich jak błonnik pokarmowy, polifenole czy karotenoidy, które mogą być wykorzystywane w przemyśle spożywczym jako przeciwutleniacze, związki przeciwdrobnoustrojowe lub składniki żywności funkcjonalnej (Kowalska i in., 2017). Wytłoki te często charakteryzują się również wyższą aktywnością biologiczną niż surowce, z których są pozyskiwane (Struck i Rohm, 2020).

Jednym z przykładów są owoce cytrusowe powszechnie wykorzystywane jako cenne źródło związków bioaktywnych, w szczególności flawonoidów, takich jak hesperydyna, naryngina, narirutyna i neohesperydyna. Substancje te występują głównie w zewnętrznych częściach owoców i charakteryzują się potwierdzonym działaniem przeciwutleniającym, przeciwzapalnym oraz kardioprotekcyjnym (Saini i in., 2022).

Z kolei skórki, nasiona i sok z granatu zawierają wysokie stężenia antocyjanów, kwasu elagowego, elagitannin oraz punikalaginy – związków o udokumentowanych właściwościach antyoksydacyjnych, przeciwwirusowych, przeciwbakteryjnych, a także cytotoksycznych wobec komórek nowotworowych (García i in., 2021; Noda i in., 2002).

Ekstrakty pozyskiwane z tych części granatu wykazują silną aktywność przeciwdrobnoustrojową, szczególnie wobec *Staphylococcus aureus*, co wiąże się z wysoką zawartością polifenoli i garbników (Feng i in., 2022).

Istotny potencjał prozdrowotny wykazują również odpady powstające podczas przetwórstwa jabłek, jagód, jeżyn oraz czarnych porzeczek, które cechują się wysoką aktywnością antyoksydacyjną. Szacuje się, że roczna produkcja odpadów z jabłek wynosi od 3,0 do 4,2 miliona ton (Oreopoulou i Tzia, 2007). Wytłoki jabłkowe są bogatym źródłem frakcji błonnika pokarmowego, obejmującej celulozę, hemicelulozę, ligninę oraz pektyny. Składniki te wpływają korzystnie na regulację gospodarki glukozowo - lipidowej oraz wspomagają funkcjonowanie przewodu pokarmowego (Nawirska i Kwaśniewska, 2005; Kosmala i in., 2011). Zawartość glikozydów kwercetyny i floridyny warunkuje ich właściwości przeciwutleniające i kardioprotekcyjne (Shashi i in., 2008).

Coraz większą uwagę poświęca się także wykorzystaniu wytlóków z owoców jagodowych, ze względu na ich wysoki potencjał bioaktywny. Żurawina jest bogata w polifenole, karotenoidy, witaminy, składniki mineralne oraz błonnik pokarmowy, który stanowi od 58,7 do 71,2% jej suchej masy. Wysoka zawartość tych związków warunkuje silne właściwości przeciwdrobnoustrojowe tego owocu (Varnaitė i in., 2022). Aronia natomiast, dzięki obecności antocyjanów, procyanidyn, flawonoli i kwasów fenolowych, wykazuje działanie przeciwnowotworowe – etanolowe ekstrakty z jej wytlóków skutecznie ograniczają proliferację komórek nowotworowych (Sidor i in., 2019).

Kolejnym przykładem są wytloki winogronowe, stanowiące 20 – 25% masy surowca, które są cennym źródłem biologicznie aktywnych związków, takich jak kwasy fenolowe, antocyjany, resweratrol oraz procyanidyny. Wykazują one działanie przeciwutleniające, przeciwzapalne i przeciwbakteryjne, co może wspierać profilaktykę chorób przewlekłych (Frum i in., 2022). Podobne właściwości posiadają wytloki śliwkowe, zawierające witaminy, karotenoidy, flawonoidy i kwasy fenolowe o silnych właściwościach antyoksydacyjnych.

Jednym z cennych, a wciąż niewystarczająco wykorzystywanych surowców roślinnych są wytloki pomidorowe, będące produktem ubocznym przetwarzania pomidorów. Pomidory (*Solanum lycopersicum*) należą do najczęściej uprawianych i spożywanych warzyw na świecie. Stanowią one bogate źródło licznych związków bioaktywnych, w tym likopenu, związków fenolowych, kwasów organicznych oraz witamin (Giovanelli i Paradiso, 2002). Poza konsumpcją w postaci świeżej, pomidory

wykorzystywane są również do produkcji różnorodnych przetworów spożywczych, takich jak koncentraty, przeciery, soki, sosy i ketchup (Kaur i in., 2008). Procesy technologiczne związane z przetwórstwem pomidorów generują znaczne ilości wyłoków pomidorowych, obejmujących głównie skórki, nasiona oraz pozostałości miąższu. W zależności od warunków technologicznych, wyłoki te składają się średnio w 56% z frakcji miąższowo - skórkowej oraz w 44% z nasion w przeliczeniu na suchą masę. Pomimo, iż traktowane są jako produkt uboczny, stanowią cenny surowiec wtórny o wysokiej wartości odżywczej i biologicznej (Eslami i in., 2023). Skórki pomidorowe zawierają szczególnie wysokie stężenie likopenu – karotenoidu o silnych właściwościach przeciwutleniających, którego poziom może być nawet dwudziestokrotnie wyższy niż w całym owocu (Hernandez – Fuentes i in., 2017). Zgodnie z danymi Knoblich i in. (2005), zawartość likopenu w skórkach wynosi około 73,4 mg/100 g, natomiast w nasionach 13,0 mg/100 g. Skórki są również cennym źródłem błonnika pokarmowego, związków fenolowych oraz potasu (ok. 1,1 g/100 g) przy jednocześnie niskiej zawartości sodu (70 mg/100 g), co wskazuje na ich potencjalne właściwości kardioprotekcyjne (Elbadrawy i Sello, 2016). Nasiona pomidorów z kolei charakteryzują się wysoką zawartością tłuszczu w zakresie 17,8 – 24,5 g/100 g suchej masy, z czego ponad 80% stanowią nienasycone kwasy tłuszczowe, w tym głównie kwas linolowy (37,6 - 72,7 g/100 g) a także kwasy oleinowy, linolenowy, palmitynowy i stearynowy (Kamazani i in., 2014; Yilmaz i in., 2015). Wysoka zawartość tłuszczu czyni nasiona atrakcyjnym źródłem oleju roślinnego, którego profil kwasów tłuszczowych wskazuje na możliwe właściwości przeciwzapalne i kardioprotekcyjne. Co więcej, nasiona wyróżniają się wysoką zawartością białka (23,6 – 40,9 g/100 g) istotnie większą niż w przypadku pestek winogron (6,3 – 8,9 g/100 g) i porównywalną z zawartością w orzeszkach ziemnych (26 – 29 g/100 g) (Ochoa - Rivas i in., 2017; Ovcharova i in., 2016). Białka obecne w nasionach wykazują korzystny profil aminokwasowy, charakteryzujący się wysokim udziałem kwasu glutaminowego (19,44 – 24,37%) oraz kwasu asparaginowego (8,82 – 10,32%). Na szczególną uwagę zasługuje stosunkowo wysoka zawartość lizyny (3,4 – 5,9%), przekraczająca poziomy typowe dla białek zbóż, co wskazuje na ich wyższą wartość odżywczą (Latlief i Knorr, 2010; Mechmeche i in., 2017). Wyłoki pomidorowe zawierają także liczne związki bioaktywne o działaniu prozdrowotnym, takich jak likopen, β - karoten, luteina, kwercetyna, rutyna, naryngenina, kwas chlorogenowy oraz kwas elagowy. Związki te wykazują wielokierunkowe działanie biologiczne, obejmujące aktywność przeciwutleniającą, przeciwzapalną, przeciwbakteryjną, przeciwnowotworową oraz ochronną wobec układu

sercowo - naczyniowego. Ekstrakty pozyskiwane z wycieków pomidorowych modulują stres oksydacyjny, hamując produkcję reaktywnych form tlenu (ROS) i ograniczając peroksydację lipidów. Ponadto, kwas chlorogenowy, rutyna i kwercetyna mają zdolność inhibicji agregacji płytek krwi (nawet do 83%), co wspomaga profilaktykę chorób sercowo - naczyniowych. Związki te wspierają również regulację gospodarki glukozowo - insulinowej oraz kontrolę masy ciała, chroniąc komórki przed procesami starzenia (Sangeetha i in., 2023). Ze względu na bogaty skład chemiczny wycieki pomidorowe stanowią obiecujący surowiec wtórny o szerokim spektrum zastosowań w różnych sektorach przemysłu. Jako produkt uboczny przemysłowego przetwórstwa pomidorów mogą być wykorzystywane w produkcji żywności funkcjonalnej, pełniąc rolę składnika wzbogacającego produkty piekarnicze, makarony, przekąski a także produkty mięsne. Dzięki wysokiej zawartości błonnika pokarmowego, zarówno rozpuszczalnego, jak i nierozpuszczalnego mogą wspierać funkcje trawienne i metaboliczne, jednocześnie wpływając na zdolność do modyfikowania tekstury produktów spożywczych (Silva i in., 2023). Zawarte w wyciekach pomidorowych naturalne przeciwutleniacze, w tym likopen, tokoferole oraz związki fenolowe, odgrywają istotną rolę w przedłużaniu trwałości produktów spożywczych, jednocześnie podnosząc ich wartość prozdrowotną, co jest zgodne z rosnącym zapotrzebowaniem konsumentów na żywność o wysokiej jakości odżywczej i funkcjonalnej. Zastosowanie wycieków jako źródła naturalnych barwników (głównie karotenoidów) i przeciwutleniaczy pozwala również ograniczyć wykorzystanie syntetycznych dodatków, co odpowiada trendowi „clean label” (Chabi i in., 2024). Innowacyjne zastosowanie tego surowca w recepturach produktów spożywczych nie tylko przyczynia się do poprawy ich wartości odżywczej, lecz także stanowi przykład efektywnego wykorzystania produktów ubocznych. Wycieki pomidorowe doskonale wpisują się zatem w ideę zrównoważonego rozwoju i gospodarki o obiegu zamkniętym, ograniczając straty surowców roślinnych oraz zmniejszając negatywny wpływ procesów przetwórczych na środowisko.

Szacuje się, że owoce i warzywa stanowią znaczną część globalnego marnotrawstwa żywności (FAO, 2021). Biorąc pod uwagę ich wysoką zawartość związków bioaktywnych, odpady te stanowią cenne surowce, które mogą zostać ponownie wykorzystane w produkcji żywności funkcjonalnej, przynosząc korzyści ekonomiczne i zdrowotne (Martin i in., 2012).

Tabela 1. Właściwości wybranych produktów zawierających związki bioaktywne

Nazwa produktu	Składnik bioaktywny	Właściwości	Ref.
Śliwki	karotenoidy, flawonoidy, kw. fenolowe, kw. neochlorogenowy, błonnik pokarmowy	przeciwutleniające	Milala i in. (2013)
Żurawina	związki fenolowe, kw. fenolowe, antocyjany, flawonoidy, błonnik pokarmowy	przeciwutleniające, przeciwdrobnoustrojowe, działają jako źródło prebiotycznych oligosacharydów, poprawiają funkcjonowanie przewodu pokarmowego	Varnaitė i in. (2022)
Owoce cytrusowe	flawonoidy, hesperydyna, tangeretyna, nobiletyna, naringina, narirutyna, neohesperydyna	przeciwutleniające, przeciwdrobnoustrojowe, przeciwnowotworowe, przeciwzapalne, przeciwwirusowe	Saini i in. (2022)

Granat	antocyjany: 3-glukozydy, 3,5-diglukozydy delfinidyny, cyjanidyny, pelargonidyny, punikalagin kw. elagowy, flawanole: flawan-3-oli, flawony	przeciwutleniające, przeciwcukrzycowe, przeciwbakteryjne, przeciwzapalne, przeciwnowotworowe	Noda i in. (2002) Li i in. (2006)
Winogrona	katechiny, proantocyjanidyny, resweratrol, kwasy fenolowe, kwercetyna, nienasycone kwasy tłuszczowe, błonnik pokarmowy	przeciwutleniające, przeciwdrobnoustrojowe	Frum i in. (2022)
Opuncja	węglowodany, błonnik pokarmowy, pektyny, beta-glukany, bioaktywne substancje fitochemiczne: związki fenolowe, karotenoidy	przeciwutleniające, przeciwnowotworowe, kardioprotekcyjne, przeciwzakrzepowe, przeciwzapalne	Osuna - Martínez i in. (2014)
Jablka	błonnik pokarmowy, celuloza, hemicelulozy, lignina, pektyna, węglowodany, białka, witaminy, minerały, cukry proste, polifenole, glikozydy kwercetyny, florydyna	przeciwutleniające, spowalnianie wchłaniania glukozy w jelitach, obniżenie cholesterolu oraz lipidów, antyoksydacyjne	Nawirska i in. (2005), Kosmala i in. (2011)

Aronia	związki polifenolowe, antocyjany, procyanidyny, flawonole, kwasy fenolowe	przeciwbakteryjne, przeciwutleniające, działanie przeciwnowotworowe	Sidor i in. (2019)
Pomidory	likopen, fenole, kwasy organiczne, witaminy, błonnik, nienasycone kwasy tłuszczowe	przeciwutleniające	Giovanelli i Paradiso (2002)
Arbuz	witaminy, aminokwasy cytruliny i argininy karotenoidy, fenole, likopen, kwas dehydroaskorbinowy, zeaksantyna, kryptoksantyna, luteina	przeciwutleniające, przeciwdrobnoustrojowe	Collins i in. (2007)
Cebula	kwercytyna, błonnik, flawonoidy	przeciwutleniające, przeciwnowotworowe, przeciwgrzybicze, antybakteryjne, antyoksydacyjne, przeciwcukrzycowe	Bedrniček i in. (2019)
Kiwi	witaminy, błonnik, potas, węglowodany, luteina, związki fenolowe, karotenoidy, β -karoten, chlorofile, kwas chinowy	przeciwutleniające, przeciwzapalne, przeciwbakteryjne	Wang i in. (2018)

2.4. Wykorzystanie produktów ubocznych przetwórstwa owoców i warzyw w produktach mięsnych

Współczesny przemysł mięsny poszukuje innowacyjnych strategii mających na celu zwiększenie wartości odżywczej produktów mięsnych przy jednoczesnym ograniczeniu stosowania syntetycznych dodatków na rzecz substancji pochodzenia naturalnego. Szczególne zainteresowanie budzą produkty uboczne przetwórstwa owocowo - warzywnego, takie jak skórki i nasiona, które stanowią bogate źródło związków bioaktywnych, w tym polifenoli oraz karotenoidów wykazujących właściwości przeciwutleniające i przeciwdrobnoustrojowe.

W zależności od formy zastosowania, dodatki te mogą wpływać na różne aspekty jakości produktów mięsnych, m.in. poprawę stabilności oksydacyjnej, właściwości przeciwdrobnoustrojowych, barwy, tekstury oraz wartości odżywczej (tabela 2). Ich implementacja w postaci ekstraktów, proszków czy składników bezpośrednio wprowadzanych do receptury produktu pozwala nie tylko na opracowanie funkcjonalnych produktów mięsnych o podwyższonych walorach prozdrowotnych ale również ich zrównoważonego wykorzystania i redukcji w łańcuchu żywnościowym (Skwarek i Karwowska, 2023).

Badania Babaoğlu i in. (2022) wykazały, że wodne ekstrakty z wyłoków jagodowych (m.in. jeżyny, aronii czarnej, borówki, czerwonej porzeczki) skutecznie hamują procesy utleniania lipidów w pasztecikach wołowych przechowywanych w warunkach chłodniczych. Dodatkowo ekstrakty te wykazały działanie przeciwdrobnoustrojowe, obniżając liczebność bakterii mezofilnych, psychrotrofowych oraz *Escherichia coli*. Sugeruje to, że ekstrakty z wyłoków jagodowych mogą stanowić skuteczne naturalne dodatki wspomagające stabilność oksydacyjną oraz jakość mikrobiologiczną produktów mięsnych.

Fernández - López i in. (2008) wykazali, że dodatek 1% produktu ubocznego z pomarańczy do kiełbas fermentowanych obniżał poziom resztkowych azotanów, zwiększał liczebność bakterii *Micrococcus* oraz ograniczał rozwój *Staphylococcus* (Yalinkilic i in., 2012), co świadczy o jego właściwościach przeciwdrobnoustrojowych.

Song i in. (2018) zaobserwowali, że ekstrakty ze skórek cytrusowych obniżają pH produktu dzięki obecności kwasów organicznych (askorbinowego, cytrynowego,

winowego), co sprzyja poprawie jego jakości mikrobiologicznej. Mahmoud i in. (2017) oraz Bejar i in. (2011) udowodnili, że sproszkowana skórka pomarańczowa (5 – 10%) wpływa na intensyfikację udziału barwy czerwonej i żółtej mięsa oraz zwiększa całkowitą zawartość fenoli, co podnosi jego wartość odżywczą i prozdrowotną. Devatkal i Naveena (2010) oraz Malav i in. (2020) potwierdzili, że sproszkowane skórki i nasiona granatu, dzięki wysokiej zawartości fenoli i flawonoidów, skutecznie hamują utlenianie lipidów w mięsie kozim i pasztecikach drobiowych. Wytłoki jabłkowe, będące bogatym źródłem pektyn, mogą wzbogacać produkty mięsne w błonnik pokarmowy, zwiększając ich funkcjonalność dietetyczną (Younis i Ahmad, 2015).

Innym ciekawym i nowatorskim produktem ubocznym przemysłu warzywnego, budzącym coraz większe zainteresowanie są wytłoki pomidorowe. Ich zastosowanie w technologii przetwórstwa mięsa, w różnych formach (liofilizowanej, suszonej, fermentowanej bądź pasty, puree oraz ekstraktów) znajduje coraz szersze uzasadnienie zarówno z punktu widzenia poprawy jakości i trwałości wyrobów, jak i w kontekście zwiększenia ich wartości odżywczej oraz zgodności z ideą zrównoważonego rozwoju.

Jedną z najczęściej stosowanych form są suszone i zmielone wytłoki, które cechują się wysoką zawartością błonnika i antyoksydantów. Ich zastosowanie w produktach mięsnych, takich jak kielbasy surowo dojrzewające czy burgery przyczynia się do zwiększenia stabilności oksydacyjnej lipidów, poprawy retencji wody oraz wzbogacenia wartości odżywczej, zwłaszcza poprzez wzrost zawartości błonnika pokarmowego (García i in., 2009; Kim i in., 2013). Zgodnie z badaniami Ghafouri – Oskuei i in. (2020) zastosowanie proszku pomidorowego w trzech różnych stężeniach (0%, 1,5% i 3%) w kielbasie wołowej prowadziło do istotnych zmian w składzie chemicznym produktu. Zaobserwowano wyraźne obniżenie pH, co wskazuje na poprawę stabilności mikrobiologicznej produktu, a także redukcję poziomu azotanów, co przekłada się na zwiększenie jego bezpieczeństwa. Ponadto, dzięki suplementacji kielbas wyżej wspomnianym dodatkiem roślinnym odnotowano wzrost w nich zawartości zarówno białka jak i błonnika, co ma istotne znaczenie w kontekście wzbogacania diety o wartościowe składniki odżywcze. Wytłoki pomidorowe w formie pasty charakteryzujące się wysoką zawartością wody, mogą być bezpośrednio wykorzystywane jako składnik farszów mięsnych przy produkcji burgerów oraz kotletów. Ich dodatek korzystnie wpływa na soczystość gotowego produktu, co wynika między innymi z obecności frakcji błonnika rozpuszczalnego, pozytywnie oddziałującego na teksturę i właściwości reologiczne. W formie mokrej (pasty lub puree) pełnią również funkcję teksturotwórczą,

poprawiając jakość sensoryczną i intensyfikując barwę końcowego produktu (Amaro – Blanco i in., 2018; Candogan i in., 2002). Ponadto, dzięki zawartości pektyn i miąższu, mogą być wykorzystywane jako naturalny substytut tłuszczu lub skrobi, co wpływa nie tylko na poprawę struktury, ale również na podniesienie wartości odżywczej gotowego wyrobu (Chabi i in., 2024). Kolejną formą są ekstrakty z wyłóków pomidorowych otrzymywane metodami wodno - alkoholowymi, które stanowią skoncentrowane źródło bioaktywnych składników, zwłaszcza likopenu i polifenoli. Ich dodatek nawet w niewielkich ilościach znacząco podnosi aktywność przeciwutleniającą wyrobów mięsnych, nie wpływając przy tym negatywnie na ich cechy organoleptyczne (Drosou i in., 2025). Dodanie ekstraktu wodnego z wyłóków pomidorowych (w ilości 3 i 5 ml/kg) do surowych, gotowanych produktów mięsnych pozytywnie wpłynęło na ich właściwości antyoksydacyjne. Poziom dialdehydu malonowego (MDA), będącego wskaźnikiem utleniania lipidów, był porównywalny z próbami zawierającymi kwas askorbinowy, co sugeruje skuteczność ekstraktu jako naturalnego przeciwutleniacza (Mesárošová i in., 2024). Ekstrakty etanolowe i octanowo – etylowe z wyłóków pomidorowych, aplikowane na powierzchnię mięsa jagnięcego pakowanego w atmosferze modyfikowanej, wykazały porównywalną aktywność antyoksydacyjną *in vitro*. Zawartość likopenu, fenoli i β - karotenu była zbliżona w obu ekstraktach. Podczas przechowywania zaobserwowano mniejsze zmiany w udziale barwy czerwonej (a^*) w mięsie wzbogaconym ekstraktami w porównaniu do prób kontrolnych. Nie stwierdzono istotnych różnic w poziomach kwasu tiobarbiturowego (TBARS), co sugeruje, że ekstrakty mogą opóźniać zmiany barwy mięsa, nie wpływając znacząco na procesy utleniania lipidów (Andres i in., 2016). Ciekawą alternatywę stanowią liofilizowane wyłoki pomidorowe, których wprowadzenie do produkcji wyrobów mięsnych przyczynia się do poprawy jakości sensorycznej, wartości odżywczej oraz bezpieczeństwa zdrowotnego w produkcji wyrobów mięsnych. Badania nad wykorzystaniem liofilizowanych wyłóków pomidorowych w tradycyjnych serbskich produktach mięsnych w ilości 0,5 – 2% wykazały, że poprawiają one jakość sensoryczną wyrobów, zwłaszcza pod względem tekstury i barwy (Stajić i in., 2024). Dzięki silnym właściwościom przeciwutleniającym, wyłoki pomidorowe przyczyniają się również do poprawy jakości mikrobiologicznej produktów, ograniczając rozwój niepożądanej mikroflory. W związku z tym mogą stanowić efektywną i naturalną alternatywę dla tradycyjnie stosowanych konserwantów, takich jak azotany, wspierając tym samym produkcję wyrobów mięsnych o podwyższonym profilu prozdrowotnym (Skwarek i Karwowska, 2022; Skwarek i Karwowska, 2025).

W ostatnich latach prowadzi się również badania nad fermentowanymi formami wytlóków, które wykazują działanie prebiotyczne i konserwujące. Proces fermentacji nie tylko zwiększa dostępność związków bioaktywnych, ale również poprawia bezpieczeństwo mikrobiologiczne surowca, obniżając jego aktywność wody i tym samym ograniczając rozwój niepożądaney mikroflory. Tak przygotowany dodatek może pełnić rolę naturalnego konserwantu w produkcji surowo dojrzewających kielbas fermentowanych, przyczyniając się do poprawy ich stabilności i jakości (Lu i in., 2020).

Podsumowując, produkty uboczne powstające w procesie przetwórstwa owoców i warzyw stanowią istotny problem w przemyśle spożywczym, szczególnie w kontekście wyzwań środowiskowych. Niemniej jednak, surowce te zawierają liczne substancje bioaktywne, wykazujące potencjalne właściwości przeciwutleniające oraz przeciwdrobnoustrojowe, które są szczególnie istotne w kontekście przemian oksydacyjnych produktów mięsnych. W związku z powyższym, zastosowanie wytlóków owocowych i warzywnych jako naturalnych środków konserwujących umożliwiając tym samym ograniczenie stosowania azotanów w produkcji wyrobów mięsnych może stanowić innowacyjną alternatywę, co może mieć istotne znaczenie w kontekście zdrowotnym. Wykorzystanie produktów ubocznych przetwórstwa owocowo – warzywnego w przemyśle mięsnym może również przyczynić się do poprawy wartości odżywczej oraz efektywności produkcji, wzbogacając tym samym wyroby mięsne o cenne składniki odżywcze, poprawiając ich teksturę oraz przedłużając trwałość. Dodatkowo, pomoże to zmniejszyć ilość generowanych odpadów, promując bardziej zrównoważoną produkcję żywności. Konieczne są także dalsze badania nad rozwojem funkcjonalnych produktów mięsnych, które posiadają korzystne właściwości zdrowotne, a także ich szersze wdrożenie w przemyśle mięsnym.

Tabela 2. Forma dodatku oraz jego efekt działania na wybrane produkty mięsne

Rodzaj wyrobu/ mięsa do którego dodano produkt uboczny	Forma dodatku	Efekt działania	Ref.
Kiełbasa fermentowana surowo dojrzewająca	Sproszkowane włókno pomarańczy	zmniejszenie resztkowych azotanów podczas fermentacji, wzrost bakterii z rodziny <i>Micrococcaceae</i> (hamuje jęłczenie i stabilizuje kolor)	Fernández - López i in. (2008)
Burger wołowy	Proszek ze skórki pomarańczowej	wzrost całkowitej zawartości fenoli, zahamowanie utleniania tłuszczów, poprawa koloru (zwiększony udział barwy czerwonej)	Mahmoud i in. (2017)
Burger wołowy	Suszone i sproszkowane skórki cytryny oraz pomarańczy	zmniejszenie utleniania lipidów, opóźnienie wzrostu drobnoustrojów wydłużenie okresu przydatności do spożycia, spadek wartości pH, tendencja do wzrostu udziału barwy jasnej (L*)	Ibrahim i in. (2018)
Mielone mięso kozie	Sproszkowane pestki granatu	obniżenie wartości TBARS	Devatkal i in. (2010)

Paszteciki z mięsa drobiowego	Ekstrakt wodny ze skórki granatu	wzrost zawartości fenoli, spadek wartości TBA, zmniejszenie wzrostu drobnoustrojów	Sharma i in. (2020)
	Suszony proszek ze skórek granatu		
Burger wieprzowy	Suszone sproszkowane wytłoki jabłkowe	zwiększona zdolność zatrzymywania wody, wyższy udział barwy jasnej, niższa zawartość tłuszczu	Younis i in. (2015)
Kielbasa wołowa	Ekstrakt metanolowy proszku z wycieków jabłkowych	hamowanie wzrostu bakterii z grupy: <i>S. aureus</i> , <i>P. aeruginosa</i> i <i>L. monocytogenes</i>	Garrido i in. (2011)
	Ekstrakt metanolowy z wycieków z czerwonych winogron	zwiększenie zawartości polifenoli, zmniejszenie utleniania lipidów, zwiększenie stabilności barwy	

Sucha kielbasa peklowana „chorizo”	Ekstrakt wodny z pestek winogron	zmniejszenie reakcji jęczenia, zmniejszenie wartości TBARS, zwiększenie zawartości polifenoli, korzystny wpływ na barwę produktu	Kulkarni i in.(2011)
Pasztet z kurczaka	Ekstrakt wodno etanolowy z pestek winogron	zmniejszenie wartości TBARS, zwiększenie zawartości polifenoli	Lorenzo i in. (2013)
Hamburger wołowy	Liofilizowane i mikrokapsulkowane ekstrakty z wycieków winogronowych	obniżenie wartości pH, podwyższenie stężenia likopenu, wartość L* , istotnie niższa, udział barwy czerwonej (a*) oraz żółtej (b*) istotnie wyższa, znaczny wzrost twardości	Carpes i in. (2020)
Kielbasa wołowa	Liofilizowane sproszkowane skórki pomidorów	wzrost suchej masy, zawartości białka, węglowodanów, błonnika, zwiększenie kaloryczności, wzrost zawartości likopenu, zmniejszenie wartości L* , obniżenie wartości a* i b* , spadek pH, zmniejszenie wartości TBA, wzrost niezbędnych nienasyconych kwasów tłuszczowych	García i in. (2009)

Mechanicznie oddzielone mięso indyka Mielona gotowana wieprzowina Mielone mięso wieprzowe	Proszek z pomidorów	obniżenie wartości TBARS	Ghafouri - Oskuei i in. (2020)
Mięso wieprzowe	Ekstrakty z wytlóków żurawinowych	większa zawartość związków polifenolowych, hamowanie rozwoju bakterii Gram-dodatnich (<i>M. luteus</i> i <i>S. epidermidis</i>) oraz Gram-ujemnych (<i>P. mirabilis</i> , <i>E. aerogenes</i>), spadek pH	Kathirvel i in. (2009)
	Ekstrakt z wytlóków z żurawiny bagiennej	hamowanie tworzenia się produktów utleniania, obniżenie pH, hamowanie bakterii chorobotwórczych, zmniejszenie wartości L*, wzrost wartości a*, hamowanie powstawania MDA	Stobnicka i Gniewosz (2018)
Mięso wieprzowe	Ekstrakty z wytlóków z aronii	wyższa skuteczność przeciwdrobnoustrojowa przeciwko <i>E. coli</i> , <i>B. cereus</i> i <i>S. aureus</i> , wyższa całkowita zdolność antyoksydacyjna, spadek twardości, spadek pH, zmniejszenie wartości L*, oraz wartości a*, wzrost wartości b*, niższe wartości TBARS	Tamkute i in. (2021)

Mięso wieprzowe	Ekstrakt etanolowy z proszku ze skórki arbuza	zwiększona zawartość polifenoli, zwiększenie aktywności antyoksydacyjnej	Kumar i in. (2018)
Mięso wieprzowe	Mąka ze skórki owoców kiwi	wzrost zawartości błonnika, spadek wartości L* , wzrost wartości a* wraz ze wzrostem stężenia dodatku, zwiększenie aktywności antyoksydacyjnej	Soquetta i in. (2017)

3. Hipoteza badawcza i cel pracy

Na podstawie analizy danych literaturowych postawiono następującą hipotezę badawczą:

Wykorzystanie wyłoków pomidorowych do produkcji wyrobów mięsnych z obniżonym dodatkiem związków azotowych wpływa korzystnie na zmiany zachodzące w trakcie produkcji oraz przechowywania warunkując bezpieczeństwo, cechy fizykochemiczne, sensoryczne oraz wartość żywieniową gotowych produktów.

Celem głównym pracy było określenie wpływu dodatku wyłoków pomidorowych oraz przechowywania na bezpieczeństwo, cechy sensoryczne oraz wartość żywieniową wyrobów mięsnych z obniżonym dodatkiem związków azotowych.

W celu weryfikacji tak sformułowanych założeń badawczych wyznaczono następujące cele szczegółowe:

Cele szczegółowe badań obejmowały:

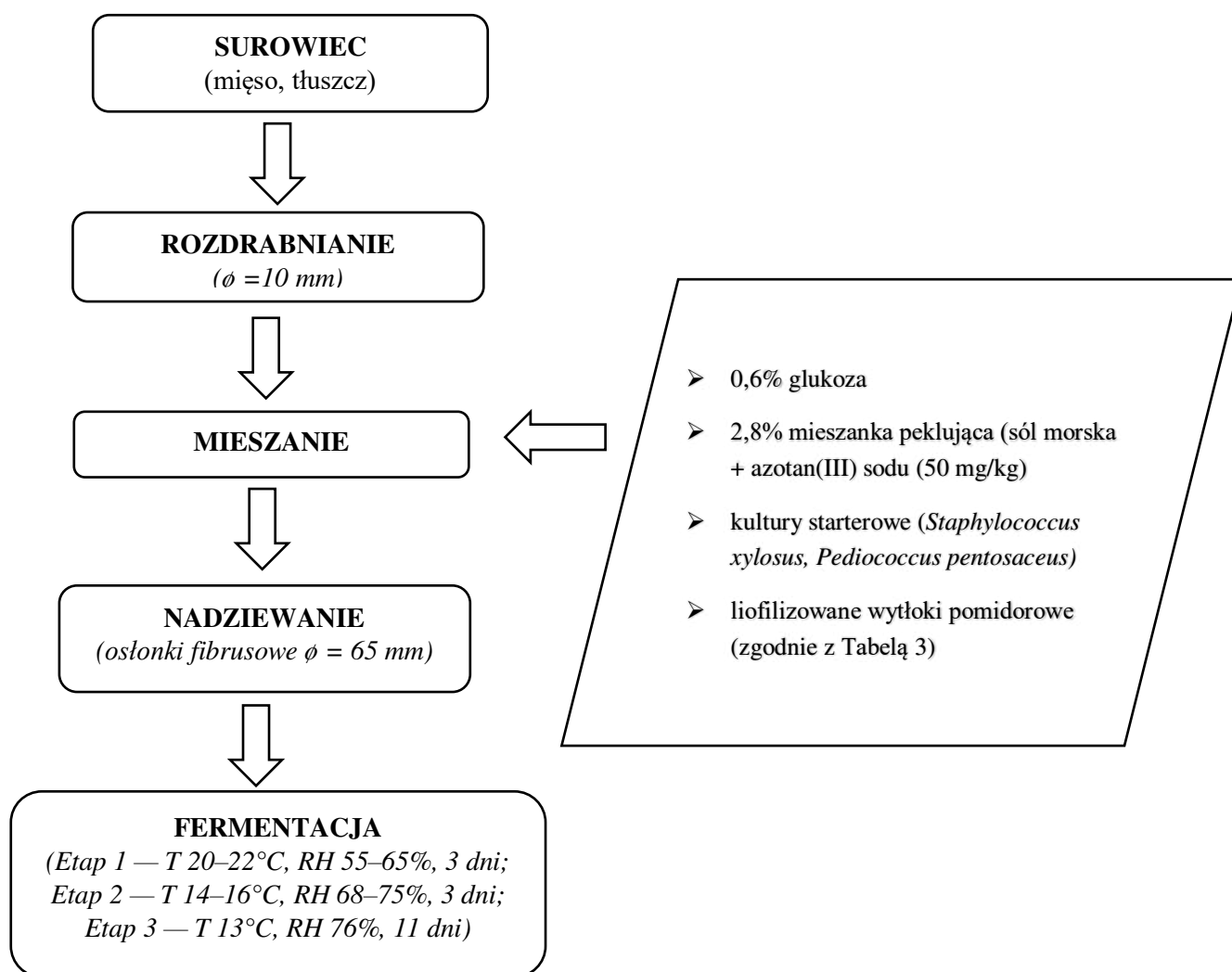
1. Określenie możliwości wykorzystania liofilizowanych wyłoków pomidorowych do produkcji surowo dojrzewających kielbas ze zmniejszonym dodatkiem azotanu(III) sodu,
2. Ocena wpływu ilości zastosowanego dodatku wyłoków pomidorowych na jakość surowo dojrzewających kielbas o obniżonej zawartości azotanu(III) sodu,
3. Określenie bezpieczeństwa i wartości odżywczej surowo dojrzewających kielbas ze zmniejszonym dodatkiem azotanu(III) sodu wzbogaconych wyłokami pomidorowymi,
4. Ocena wpływu ilości zastosowanych liofilizowanych wyłoków pomidorowych na cechy sensoryczne i zawartość składników bioaktywnych w surowo dojrzewających kielbasach.

4. Materiał i metody badań

4.1. Materiał badany

Materiał badany stanowiły surowo dojrzewające kielbasy produkowane w warunkach półtechnicznych w Katedrze Technologii Żywności Pochodzenia Zwierzęcego Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie. Surowiec podstawowy do kielbas stanowiło mięso (85%) i tłuszcz wieprzowy (15%) pozyskane z miejscowej ubojni w 48 h po uboju. Szczegółowy proces produkcji został przedstawiony na schemacie (Rys. 1).

Oceniono możliwość wykorzystania potencjału przeciwutleniającego i przeciwbakteryjnego oraz zmniejszenia ilości dodatku azotan(III) sodu w produktach mięsnych poprzez zastosowanie wyłoków pomidorowych (Tabela 3).



Rysunek 1. Ogólny schemat produkcji kielbas surowo dojrzewających

Tabela 3. Warianty badawcze

Wariant	Oznaczenie prób
próba kontrolna	K
próba z dodatkiem 0,5 % liofilizowanych wytłoków pomidorowych	TP 0.5%
próba z dodatkiem 1,0 % liofilizowanych wytłoków pomidorowych	TP 1%
próba z dodatkiem 1,5 % liofilizowanych wytłoków pomidorowych	TP 1.5%
próba z dodatkiem 2,5 % liofilizowanych wytłoków pomidorowych	TP 2.5%

W celu przygotowania liofilizowanych wytłoków pomidorowych do badań wykorzystano jedną odmianę pomidora (*Solanum lycopersicum L.*) zakupioną w lokalnym supermarkecie. Surowiec został dokładnie umyty, a następnie poddany tłoczeniu z użyciem prasy kuchennej, co umożliwiło pozyskanie frakcji odpadowej, obejmującej głównie skórki i nasiona. Uzyskany materiał poddano liofilizacji w temperaturze -50°C z zastosowaniem liofilizatora Labconco Free-Zone (USA). Po zakończeniu procesu suszenia otrzymany liofilizat został rozdrobniony w młynku laboratoryjnym do postaci jednorodnego proszku. Gotowy produkt umieszczono w szczelnych, hermetycznych pojemnikach i przechowywano w temperaturze -60°C do czasu przeprowadzenia dalszych analiz, w celu zachowania stabilności fizykochemicznej oraz ochrony składników bioaktywnych.

4.2. Metody badań

W celu całościowego zobrazowania przebiegu prac badawczych w tabeli 4 przedstawiono badane parametry przyjęte na każdym etapie weryfikacji hipotezy badawczej.

Wyprodukowane kielbasy surowo dojrzewające (tabela 3) zostały poddane badaniom w celu określenia ich właściwości fizykochemicznych, wartości odżywczej, właściwości związanych z zachowaniem barwy, potencjału antyoksydacyjnego oraz trwałości i bezpieczeństwa po procesie produkcji (0 dni) oraz 90 dniach chłodniczego (4°C) przechowywania (tabela 4).

Analizy dotyczące obecności wybranych związków lotnych i bioaktywnych oraz wpływu dodatku wyłóków pomidorowych na profil smakowo - zapachowy gotowych wyrobów mięsnych zostały wykonane bezpośrednio po procesie produkcji (0 dni).

Metodykę wykorzystaną do realizacji powyższych zadań szczegółowo opisano w poszczególnych publikacjach wchodzących w skład rozprawy doktorskiej. Poniżej przedstawiono uproszczony zakres przeprowadzonych badań.

Parametry fizykochemiczne obejmowały:

wartość pH: zmierzono za pomocą pH - metru z kompensacją temperatury (CPC-501, Elmetron, Zabrze, Polska) z elektrodą pH (ERH-111, Hydromet, Gliwice, Polska) skalibrowaną roztworami buforowymi (pH 4,0, 7,0, 9,0).

aktywność wody (a_w): zmierzono za pomocą analizatora aktywności wody (Novasina AG, Lachen, Szwajcaria). Analizator został skalibrowany przy użyciu wzorców wilgotności Novasina SAL-T (33%, 75%, 84% i 90% wilgotności względnej).

parametry barwy: zmierzono w systemie CIE L*a*b* (kolorymetr X-Rite 8200 (X-Rite, Inc., Grand Rapids, MI, USA) według CIE (1978). Różnicę barwy (ΔE) między próbą kontrolną a próbą badawczą obliczano zgodnie z AMSA (2012). Każdorazowo przed użyciem kolorymetr był kalibrowany. Średnica pola pomiarowego wynosiła 12 mm. Pomiary prowadzono w zakresie długości fal od 360 do 740 nm, z wykorzystaniem oświetlacza D65 oraz standardowego obserwatora kolorymetrycznego o kącie 10°.

Parametry związane z trwałością mikrobiologiczną i bezpieczeństwem obejmowały:

Analizy mikrobiologiczne: wykonano przy użyciu automatycznego systemu zliczania drobnoustrojów TEMPO® LAB (Biomerieux, TEMPO® System, Marcy l'Etoile, Francja). Do analiz mikrobiologicznych wykorzystano oryginalne testy TEMPO® służące do oznaczania liczby bakterii fermentacji mlekowej (TEMPO LAB), *Enterobacteriaceae* (TEMPO EB), *Escherichia coli* (TEMPO EC), drożdży i pleśni (YM) oraz *Staphylococcus aureus* (STA) w produktach spożywczych. Warunki inkubacji dla poszczególnych testów były następujące: TEMPO LAB — 40 do 48 godzin w temperaturze 37 °C; TEMPO EB i TEMPO EC — 22 do 27 godzin w temperaturze 35 °C, TEMPO YM — 72 do 76 godzin w temperaturze 25 °C, TEMPO STA — 24 do 27 godzin w temperaturze 37 °C. Wyniki przedstawiono jako logarytmiczną liczbę jednostek tworzących kolonie na gram próby (log jtk/g).

Tabela 4. Badane parametry kiełbas surowo dojrzewających z dodatkiem wyłoków pomidorowych

Etap badań	Warianty badawcze	Okres przechowalniczy (dni)	Badane parametry
II	K TP 0.5 %, TP 1%, TP 1.5%	0	podstawowy skład chemiczny, a_w , pH, profil kwasów tłuszczowych, parametry barwy, zawartość bakterii fermentacji mlekowej oraz bakterii z rodziny <i>Enetrobacteriaceae</i> i <i>E. coli</i> , zawartość amin biogennych, aktywność przeciwutleniająca (ABTS+, DPPH)
III	K TP 0.5 % TP 1% TP 1.5%	90	a_w , pH , parametry barwy, zawartość bakterii fermentacji mlekowej oraz bakterii z rodziny <i>Enetrobacteriaceae</i> i <i>E. coli</i> , zawartość amin biogennych, aktywność przeciwutleniająca (ABTS+, DPPH)
IV	K TP 1.5% TP 2.5 %	0 90	podstawowy skład chemiczny, a_w , pH, profil aminokwasów, parametry barwy, zawartość bakterii ferementacji mlekowej oraz bakterii z rodziny <i>Enetrobacteriaceae</i> , <i>E. coli</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> i drożdży i pleśni, aktywność przeciwutleniająca (ABTS+, DPPH), zawartość żelaza hemowego, wskaźnik utleniania lipidów (TBARS), zawartość grup karbonylowych, parametry tekstury
V	K TP 1.5% TP 2.5 %	0	zawartość związków lotnych, zawartość L - karnityny, ocena sensoryczna

Stabilność oksydacyjna (wskaźnik TBARS): oznaczono według Pikul i in. (1989). Absorbancję mierzono przy długości fali 532 nm za pomocą spektrofotometru UV (Nicolet Evolution 300, Thermo Electron Corp., Waltham, Massachusetts, USA). Wyniki wyrażono w miligramach dialdehydu malonowego na kilogram produktu (mg MDA/kg).

Zawartość grup karbonylowych: określono przy użyciu zestawu MAK094 (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA). Wyniki przedstawiono jako liczbę nanomoli grup karbonylowych na miligram białka (nmol/mg białka).

Zawartość amin biogennych: przeprowadzono przy użyciu analizatora aminokwasów AAA 500 (Ingos, Praha, Czechy), wyposażonego w kolumnę jonowymienną Ostion LG ANB (7× 0,37 cm, 75 °C). Zawartość amin biogennych (histaminy, tyraminy, putrescyny, kadaweryny, spermidyny, agmatyny i sperminy) określono na podstawie standardów dostarczonych przez firmę Ingos (Republika Czeska). Wyniki podano w miligramach na kilogram produktu (mg/kg).

Wartość odżywcza:

Podstawowy skład chemiczny: określono przy użyciu Food Scan Lab 78,810 (Foss Tecator Co., Ltd., Hillerød, Dania).

Profil kwasów tłuszczowych: oznaczono według Association of Official Analytical Chemist (2005). Do ekstrakcji lipidów zastosowano metodę Folch i in. (1957). Zawartość kwasów tłuszczowych określono na podstawie chromatogramów z wykorzystaniem wzorca wewnętrznego zawierającego estry metylowe kwasów tłuszczowych (FAME).

Zawartość aminokwasów: przeprowadzono zgodnie z Stadnik i Dolatowski (2015). Analizę przeprowadzono z wykorzystaniem automatycznego analizatora aminokwasów AAA 400 (Ingos Ltd., Czechy), wyposażonego w kolumnę jonowymienną Ostion LG ANB (36 × 0,37 cm), pracującą w temperaturze 70 °C. Ocenie poddano zawartość następujących aminokwasów obecnych w surowo dojrzewających kiełbasach: asparagina (Asn), treonina (Thr), seryna (Ser), glutamina (Glu), prolina (Pro), glicyna (Gly), alanina (Ala), walina (Val), izoleucyna (Ile), leucyna (Leu), tyrozyna (Tyr), fenyloalanina (Phe), histydyna (His), lizyna (Lys) oraz arginina (Arg). Zawartość aminokwasów wyrażono w miligramach na gram produktu (mg/g).

Aktywność przeciwutleniająca (ABTS+, DPPH): oznaczono według Blois (1958); Erel (2004); Ferysiuk i in. (2020); Jung i in. (2010). Pojemność wychwytywania wolnych rodników ABTS+ i DPPH obliczono na podstawie standardowej krzywej równoważnika Trolox, a wyniki wyrażono w miligramach na gram produktu (mg ekw. Trolox/g).

Zawartość żelaza hemowego: oznaczono według Hornsey (1959). Pomiary absorbancji przeprowadzono za pomocą spektrofotometru UV-VIS Nicolet Evolution 300, wyprodukowanego przez Thermo Electron Corp. (Waltham, Massachusetts, USA). Wyniki wyrażono w miligramach na kilogram produktu (mg/kg).

Instrumentalna ocena tekstury: przeprowadzono za pomocą analizatora tekstury (Stable Micro Systems Ltd, Godalming, UK). Do testu wykorzystano cylindryczne próby produktów mięsnych o średnicy 20 mm i długości 20 mm. Badanie przeprowadzono z prędkością 10 mm/min, przy poziomie kompresji wynoszącym 50% początkowej wysokości próby. Pomiary wykonywano w temperaturze 20 – 22°C. Twardość (wyrażoną w niutonach) określono na podstawie krzywej siła – czas uzyskanej podczas testu.

Zawartość L - karnityny: określono przy użyciu zestawu MAK063 (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA). Wyniki wyrażono w miligramach L - karnityny na 100 gram produktu (mg/100 g).

Parametry związane z profilem smakowo - zapachowym obejmowały:

Zawartość związków lotnych: przeprowadzono zgodnie z metodą Pérez - Santaescolástica i in. (2019). Związki zostały zidentyfikowane poprzez porównanie ich widm masowych z widmami zawartymi w bibliotece NIST05 (National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, USA) oraz/lub poprzez obliczenie wskaźnika retencji względem serii alkanów referencyjnych (C5–C19) w celu wyznaczenia wskaźnika Kovatsa (Supelco 44585-U, Bellefonte, PA, USA). Do identyfikacji przyjęto współczynnik dopasowania wynoszący ponad 85%. Wyniki przedstawiono w jednostkach powierzchni ($AU \times 10^3/g$ próby).

Ocena sensoryczna: przeprowadzono w oparciu o normę: ISO/DIS 13299.2. (1998). Badanie przeprowadzono zgodnie z zasadami Deklaracji Helsińskiej i uzyskało akceptację Komisji Etycznej Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie (kod protokołu UKE/20/02/2024, data akceptacji 20 luty 2024 roku).

Analiza statystyczna: Eksperymenty przeprowadzono dwukrotnie na dwóch partiach surowca, a każdą próbę analizowano w co najmniej trzech powtórzeniach. Wyniki przedstawiono jako średnie $\pm$ odchylenia standardowe. Normalność rozkładu zmiennych w grupach oceniano testem Shapiro – Wilka. Analizę różnic między grupami przeprowadzono za pomocą analizy wariancji (ANOVA) z testem post hoc Tukeya. W przypadku niespełnienia założeń ANOVA zastosowano test Kruskala - Wallisa. Poziom istotności statystycznej przyjęto na $p < 0,05$. Analizy wykonano z wykorzystaniem oprogramowania Statistica 9.1 (StatSoft, Polska).

5. Układ doświadczeń

5.1. Etapy weryfikacji założeń badawczych

Założenia badawcze weryfikowano poprzez wykonanie serii doświadczeń oraz ich analizę, zgodnie ze schematem przedstawionym w Tabeli 5. Efekty weryfikacji przedstawiono w załączonych publikacjach stanowiących przedmiot rozprawy doktorskiej.

Tabela 5. Etapy weryfikacji hipotezy badawczej

ETAP	ZAŁOŻENIA	PUBLIKACJE
I	Gromadzenie materiałów źródłowych i przygotowanie przeglądowej publikacji naukowej opisującej dotychczasową wiedzę na temat wykorzystania produktów ubocznych przetwórstwa owocowo - warzywnego jako funkcjonalnych składników produktów mięsnych	 Fruit and vegetable processing by-products as functional meat product ingredients - a chance to improve the nutritional value Patrycja Skwarek[*], Małgorzata Karwowska[*] Department of Animal Food Technology, University of Life Sciences in Lublin, Skowina 8, 20-704, Lublin, Poland
II	Ocena możliwości wykorzystania różnych ilości dodatku wycieków pomidorowych do produkcji surowo dojrzewających kiełbas ze zmniejszoną ilością azotanu(III) sodu - analiza zmian fizykochemicznych oraz ocena ich potencjału przeciwutleniającego	 Article Fatty Acids Profile and Antioxidant Properties of Raw Fermented Sausages with the Addition of Tomato Pomace Patrycja Skwarek[*] and Małgorzata Karwowska[*] Department of Animal Food Technology, Sub-Department of Meat Technology and Food Quality, University of Life Sciences in Lublin, Skowina 8, 20-704 Lublin, Poland * Correspondence: malgorzata.karwowska@up.lublin.pl; Tel.: +48-607360342
III	Ocena wpływu różnych ilości dodatku liofilizowanych wycieków pomidorowych na zmiany fizykochemiczne, trwałość mikrobiologiczną i bezpieczeństwo w trakcie procesu chłodniczego przechowywania surowo dojrzewających kiełbas o obniżonej zawartości azotanu(III) sodu	ZYWNOSĆ, NAUKA, TECHNOLOGIA, JAKOŚĆ, 2023, 30, 1 (134), 73 – 85 DOI: 10.15193/zntj/2023/134/438 PATRYCJA SKWAREK, MAŁGORZATA KARWOWSKA WYTŁOKI POMIDOROWE JAKO INNOWACYJNY SKŁADNIK KIELBAS SUROWO DOJRZEWAJĄCYCH O OBNIŻONEJ ZAWARTOŚCI AZOTANU(III) SODU

IV	Określenie wpływu zwiększonej ilości dodatku liofilizowanych wyłoków pomidorowych na przebieg zmian fizykochemicznych, bezpieczeństwo oraz wartość odżywczą surowo dojrzewających kiełbas	Wiley International Journal of Food Science Volume 2025, Article ID 6140090, 12 pages https://doi.org/10.1155/2025/6140090 WILEY Research Article The Effect of Tomato Pomace on the Oxidative and Microbiological Stability of Raw Fermented Sausages With Reduced Addition of Nitrites Patrycja Skwarek and Małgorzata Karwowska  Department of Animal Food Technology, Sub-Department of Meat Technology and Food Quality, University of Life Sciences in Lublin, Lublin, Poland Correspondence should be addressed to Małgorzata Karwowska; malgorzata.karwowska@up.lublin.pl Received 6 October 2024; Accepted 5 March 2025
V	Ocena wpływu dodatku wyłoków pomidorowych na profil smakowo - zapachowy oraz zawartość wybranych związków bioaktywnych surowo dojrzewających kiełbas ze zmniejszoną ilością azotanu(III) sodu	  Article Development of Volatile Compounds in Raw Fermented Sausages with Reduced Nitrogen Compounds—The Effect of Tomato Pomace Addition Patrycja Skwarek ¹, Jose M. Lorenzo ^{2,3}, Laura Purriños ² and Małgorzata Karwowska ^{1,*} ¹ Sub-Department of Meat Technology and Food Quality, Department of Animal Food Technology, University of Life Sciences in Lublin, Skromna 8, 20-704 Lublin, Poland; patrycja.skwarek@up.lublin.pl ² Centro Tecnológico de la Carne de Galicia, Rúa Galicia N° 4, Parque Tecnológico de Galicia, San Cibrao das Vellas, 12000 Ourense, Spain; jmlorenzo@tecnologia.net (J.M.L.); laurapurriños@tecnologia.net (L.P.) ³ Área de Tecnología de los Alimentos, Facultad de Ciencias de Ourense, Universidad de Vigo, 32004 Ourense, Spain * Correspondence: malgorzata.karwowska@up.lublin.pl

6. Omówienie wyników i dyskusja

6.1. Przedstawienie dotychczasowego stanu wiedzy dotyczącego możliwości wykorzystania produktów ubocznych przetwórstwa owoców i warzyw jako funkcjonalnych składników produktów mięsnych

Charakterystykę oraz potencjalne możliwości dotyczące wykorzystania bogatych w związki bioaktywne produktów ubocznych przemysłu owocowo – warzywnego w kontekście produkcji funkcjonalnych produktów mięsnych przedstawiono w publikacji pt: „Fruit and vegetable processing by-products as functional meat product ingredients - a chance to improve the nutritional value” - *LWT- Food Science and Technology* **189 (2023) 115442**. We wspomnianym artykule przeglądowym opisano możliwości w zakresie poprawy właściwości prozdrowotnych, wartości odżywczych oraz możliwości ograniczenia stosowania syntetycznych konserwantów, głównie azotanu(III) i (V) sodu w produkcji wyrobów mięsnych poprzez włączenie surowców roślinnych jako naturalnych przeciwutleniaczy należących do królestwa roślin, takich jak winogron, jabłek, jagód, owoców cytrusowych ze szczególnym uwzględnieniem pomidorów. Dodatkowo w pracy opisano wybrane produkty uboczne przetwórstwa owoców i warzyw jako źródła przeciwutleniaczy i środków przeciwdrobnoustrojowych omawiając tym samym znajdujące się w nich wybrane związki bioaktywne wraz z ich właściwościami. Dokonano także oceny dostępnej wiedzy na temat wykorzystania wyżej wspomnianych produktów ubocznych oraz korzyści płynących z ich stosowania w produktach mięsnych.

Niniejszy artykuł miał na celu przedstawienie dostępnych informacji dotyczących opracowania innowacyjnych rozwiązań w zakresie zwiększania wartości żywieniowej produktów mięsnych wpisujących się we współczesne trendy w technologii mięsa. Co istotne, dokonując przeglądu literatury zarówno w dostępnym polskim jak i międzynarodowym dorobku naukowym, można stwierdzić, że brakuje kompleksowych rozwiązań łączących ideę „clean label”, bardzo ważną dla współczesnego konsumenta, z jednoczesnym wspieraniem działań związanych z ograniczaniem strat żywności. W związku tym połączenie tych obszarów stanowi nowatorskie rozwiązanie dające możliwość opracowania technologii prozdrowotnych wyrobów mięsnych z udziałem składników roślinnych bogatych w związki bioaktywne pochodzących z ubocznych produktów przemysłu spożywczego. Zebrane dane literaturowe posłużyły w późniejszych

etapach do wyboru surowca roślinnego, charakteryzującego się dużą zawartością składników bioaktywnych, w szczególności wykazującego najlepsze właściwości przeciwutleniające i przeciwdrobnoustrojowe, jednocześnie dostępnego na rynku krajowym.

6.2. Ocena potencjału liofilizowanych wytlóków pomidorowych jako alternatywy azotanu(III) sodu w produkcji surowo dojrzewających kielbas o obniżonej zawartości związków azotowych

Wzrost świadomości ludzi na temat związku między stosowaną dietą a zdrowiem, wraz z rozwojem nowych technologii przetwarzania, zwiększyło zainteresowanie produkcją żywności zgodnych z trendem „czystej etykiety” (Asioli i in., 2017). Wiele uwagi poświęca się funkcjonalnym produktom mięsnym wzbogaconym o naturalne związki bioaktywne, wykazujące właściwości przeciwdrobnoustrojowe, przeciwbakteryjne, przeciwgrzybicze, przeciwwirusowe, przeciwzapalne oraz antyoksydacyjne (de Andrade Lima i in., 2019).

W tym kontekście zastosowanie wytlóków pomidorowych, które stanowią doskonałe źródło karotenoidów oraz β - karotenu i likopenu w produktach mięsnych w celu redukcji dodatku azotanu(III) sodu a zarazem poprawy barwy i zwiększenia aktywności przeciwutleniającej gotowych wyrobów z jednoczesnym wspieraniem działań wpisujących się w ideę trendu „zero waste” może być innowacyjnym rozwiązaniem oraz nowatorską alternatywą dla obecnie stosowanych konwencjonalnych przeciwutleniaczy. W związku z powyższym wykonano serię badań mającą na celu określenie czy zastosowanie liofilizowanych wytlóków pomidorowych wpłynie korzystnie na jakość surowo dojrzewających kielbas z obniżonym dodatkiem związków azotowych. W pierwszym etapie badań na podstawie informacji zawartych w dostępnej literaturze (García i in., 2009; Kim i in., 2013; Savadkoobi i in., 2014) dokonano wyboru trzech różnych ilości wspomnianego wcześniej naturalnego roślinnego dodatku: 0,5%, 1% oraz 1,5%. Ze względu na wysoką zawartość wody w składzie chemicznym wytlóków pomidorowych, ich zastosowanie w formie natywnej w produkcji surowo dojrzewających wyrobów mięsnych jest ograniczone. Wynika to z potencjalnie niekorzystnego wpływu na przebieg procesów fermentacji i dojrzewania. W celu zwiększenia stabilności oraz możliwości wykorzystania wytlóków w tego typu produktach, podjęto próbę ich utrwalenia poprzez zastosowanie metody liofilizacji. W porównaniu z tradycyjnymi metodami suszenia, liofilizacja pozwala na zachowanie większej ilości składników odżywczych, takich jak witaminy, składniki

mineralne oraz związki o właściwościach przeciwutleniających, co przyczynia się do wyższej wartości odżywczej i właściwości prozdrowotnych finalnego produktu. Dzięki usunięciu dużych ilości wody liofilizowane wytloki pomidorowe są bardziej stabilne, co wydłuża trwałość gotowego wyrobu mięsnego. Zjawisko to umożliwia również zastosowanie ich w wyższych stężeniach w produktach surowo dojrzewających, czego dowodem są wyniki przedstawione w dalszej części pracy.

W celu oceny właściwości przeciwutleniających oraz zawartości wybranych związków bioaktywnych w wytlókach pomidorowych przeprowadzono oznaczenia aktywności antyoksydacyjnej (z wykorzystaniem rodnika ABTS+ oraz DPPH), całkowitej zawartości związków fenolowych (TPC) oraz zawartości likopenu oraz beta - karotenu. W celu oceny potencjału wykorzystania ich w produkcji surowo dojrzewających kiełbas ze zmniejszonym dodatkiem związków azotowych dokonano oceny parametrów fizykochemicznych (pH, aktywność wody), parametrów barwy, profilu kwasów tłuszczowych oraz analizy składu chemicznego. Dodatkowo badane kiełbasy poddano analizom pod kątem ich właściwości przeciwutleniających oraz bezpieczeństwa mikrobiologicznego po procesie produkcji. Wyniki przeprowadzonego eksperymentu zostały przedstawione w publikacji II pod tytułem „**Fatty Acids Profile and Antioxidant Properties of Raw Fermented Sausages with the Addition of Tomato Pomace**”.

Liofilizowane wytloki pomidorowe charakteryzowały się właściwościami antyoksydacyjnymi w zakresie od 0,112 mg ekw. Trolox/g w badaniach z użyciem rodnika ABTS+ do 0,120 mg ekw. Trolox/g w badaniach z rodnikiem DPPH. Średnia całkowita zawartość fenoli wtlóków wynosiła 4,080 mg ekw. kwasu galusowego/g. Zawartość składników bioaktywnych, w tym likopenu oraz beta - karotenu, oznaczona w liofilizowanych wtlókach pomidorowych była na poziomie odpowiednio 0,74 mg/100 g i 0,68 mg/100 g. Uzyskane wyniki (tabela 6) potwierdziły zatem, że wtloki pomidorowe charakteryzują się silnymi właściwościami przeciwutleniającymi oraz zawierają w swoim składzie cenne związki bioaktywne, które mogłyby zostać wykorzystane w produkcji kiełbas, zwłaszcza w kontekście ograniczenia stosowania azotanu(III) sodu.

Tabela 6. Aktywność antyoksydacyjna, ogólna liczba fenoli oraz zawartość związków bioaktywnych w liofilizowanych wyłokach pomidorowych

Liofilizowane wyłoki pomidorowe	
DPPH [mg ekw. Trolox/g]	0,120 ± 0,004
ABTS+ [mg ekw. Trolox/g]	0,112 ± 0,007
TPC [mg ekw. kwasu galusowego/g]	4,080 ± 0,167
Likopen [mg/100g]	0,74
Beta - karoten [mg/100g]	0,68

Badanie kielbas z dodatkiem liofilizowanych wyłoków pomidorowych (K - próba kontrolna, TP 0.5% - próba z dodatkiem 0.5 % liofilizowanych wyłoków pomidorowych, TP 1% - próba z dodatkiem 1.0 % liofilizowanych wyłoków pomidorowych, TP 1.5% - próba z dodatkiem 1.5 % liofilizowanych wyłoków pomidorowych) nie wykazało istotnego wpływu tego dodatku na zmianę pH oraz aktywności wody po zakończeniu procesu produkcji surowo dojrzewających kielbas. Wartości właściwości fizykochemicznych były typowe dla produktów fermentowanych i mieściły się w zakresie 4,68 – 4,71 (pH) oraz 0,885 – 0,892 (a_w). Wyprodukowane wyroby mięsne charakteryzowały się wysoką zawartością białka wynoszącą od 31,85% do 33,88%. Zaobserwowano również spadek zawartości wody w surowo dojrzewających kielbasach wraz ze wzrostem stężenia dodanych wyłoków pomidorowych, co w późniejszych etapach badań wpływało na ograniczenie wzrostu potencjalnych mikroorganizmów. Analiza profilu kwasów tłuszczowych badanych kielbas wykazała, że zastosowany dodatek liofilizowanych wyłoków pomidorowych wpływał na zawartość poszczególnych frakcji kwasów tłuszczowych. Odnotowano, że dodatek roślinny w ilości 0,5% oraz 1% powodował zwiększenie udziału jednonienasyconych (MUFA) i wielonienasyconych (PUFA) kwasów tłuszczowych, w tym omega-3 i omega-6, których spożycie korzystnie wpływa na obniżenie poziomu cholesterolu LDL a także wspiera odporność i działa przeciwzapalnie, chroniąc

tym samym organizm ludzki przed chorobami sercowo - naczyniowymi (Tortosa - Caparrós i in., 2017).

Wyższa zawartość wymienionych kwasów tłuszczowych może wynikać z obecności znacznej ilości tłuszczu (18 – 22,5%) w nasionach pomidora, których profil charakteryzuje się przewagą kwasów linolowego, oleinowego oraz stearynowego. W połączeniu z likopenem i polifenolami zawartymi w wyłokach pomidorowych związki te wykazują właściwości antyoksydacyjne (Tarko i in., 2009). Analiza parametrów barwy produktów mięsnych (tabela 7) wykazała, że dodatek wyłoków pomidorowych pozytywnie wpływa na udział barwy czerwonej w ogólnym tonie barwy. Próby z dodatkiem wyłoków pomidorowych (0,5% - 1,5%) cechowały się wyższymi wartościami parametru a^* w odniesieniu do próby referencyjnej (K). Całkowita różnica barwy (ΔE) względem próby kontrolnej była najwyższa w przypadku kielbas z najwyższym poziomem dodatku wyłoków pomidorowych, co wskazuje zatem, że dodatek ten istotnie wpływa na parametry barwy w produktach mięsnych, tym samym może zwiększać akceptowalność finalnego produktu przez potencjalnych konsumentów.

Tabela 7. Parametry barwy (CIE L^* , a^* , b^*) kielbas surowo dojrzewających

	K	TP 0.5%	TP 1%	TP 1.5%
L^*	50,12 ± 5,09 ab	51,63 ± 3,36 b	49,77 ± 2,78 ab	45,55 ± 1,21 a
a^*	9,76 ± 2,15 a	11,48 ± 2,38 ab	13,31 ± 1,45 bc	15,72 ± 0,84 c
b^*	6,64 ± 1,18 a	9,64 ± 1,81 b	10,73 ± 1,36 bc	12,36 ± 1,04 c
ΔE		3,77	5,41	9,49

L^* (jasność), a^* (czerwony/zielony) i b^* (żółty/niebieski), ΔE - różnica barwy pomiędzy próbą kontrolną a próbą badaną. W tabeli przedstawiono wartości średnie ± odchylenia standardowe. Średnie oznaczone różnymi małymi literami (a–c) różnią się istotnie ($p \leq 0,05$).

Zastosowanie liofilizowanych wyłoków pomidorowych przyczyniło się również do zwiększenia potencjału antyoksydacyjnego (ABTS+, DPPH) kielbas surowo dojrzewających, który okazał się być zależny od ilości zaaplikowanego dodatku roślinnego (tabela 8). Zaobserwowano bowiem, że zdolność do neutralizacji rodników w analizowanych wyrobach mięsnych zwiększała się wraz ze wzrostem dodatku wyłoków pomidorowych. Na podstawie uzyskanych wyników można potwierdzić, że wyłoki pomidorowe wykazują silne właściwości przeciwutleniające a zarazem mogą być stosowane jako naturalny środek konserwujący do produktów mięsnych.

Tabela 8. Aktywność antyoksydacyjna kielbas surowo dojrzewających

	K	TP 0.5%	TP 1%	TP 1.5%
DPPH [mg ekw. Trolox/g]	0,069 ± 0,006 a	0,085 ± 0,004 b	0,095 ± 0,003 bc	0,102 ± 0,001 c
ABTS+ [mg ekw. Trolox/g]	0,069 ± 0,001 a	0,102 ± 0,001 b	0,121 ± 0,001 c	0,139 ± 0,001 d

W tabeli przedstawiono wartości średnie ± odchylenia standardowe. Średnie oznaczone różnymi małymi literami (a-d) różnią się istotnie ($p \leq 0,05$).

W celu oceny bezpieczeństwa zdrowotnego wyprodukowanych kielbas surowo dojrzewających z obniżonym dodatkiem związków azotowych poddano je analizie pod kątem zawartości amin biogennych oraz wybranych patogennych mikroorganizmów. Uzyskane wyniki wykazywały niemal dwukrotnie niższą zawartość putrescyny w produktach mięsnych z dodatkiem wyłoków pomidorowych w odniesieniu do produktu kontrolnego (K).

Tabela 9. Wyniki analiz mikrobiologicznych kielbas surowo dojrzewających

Bakteria	K	TP 0.5%	TP 1%	TP 1.5%
<i>Enterobacteriaceae</i> [log jtk/g]	3,02 ± 0,06 c	3,15 ± 0,09 c	2,46 ± 0,15 b	1,74 ± 0,22 a
<i>Bakterie fermentacji</i> <i>mlekowej</i> [log jtk/g]	8,60 ± 0,06 ab	8,77 ± 0,01 c	8,57 ± 0,05 a	8,74 ± 0,08 bc
<i>E. coli</i> [jtk/g]	<10	<10	<10	<10

W tabeli przedstawiono wartości średnie ± odchylenia standardowe. Średnie oznaczone różnymi małymi literami (a–c) różnią się istotnie ($p \leq 0,05$).

Przeprowadzona analiza statystyczna wykazała również, że zastosowanie wyłoków pomidorowych wpłynęło korzystnie na jakość mikrobiologiczną analizowanych kielbas, powodując wyższy wzrost bakterii fermentacji mlekowej z wyjątkiem próby z 1% stężeniem dodatku oraz obniżenie zawartości bakterii z grupy *Enterobacteriaceae* w porównaniu do

wariantu kontrolnego (K) (tabela 9). Prawdopodobnie związane jest to z występowaniem w wyłokach pomidorowych polifenoli oraz kwasów organicznych, których obecność sprzyja wzrostowi korzystnych bakterii LAB a właściwości przeciwdrobnoustrojowe ograniczają rozwój niepożądanych drobnoustrojów odpowiedzialnych za produkcję putrescyny, której nadmiar w produktach mięsnych może negatywnie wpływać na ich jakość i bezpieczeństwo (Doeun i in., 2017; Latorre - Moratalla i in., 2012; Schirone i in., 2022).

Uzyskane w opracowaniu II wyniki potwierdzają zbliżony potencjał wykorzystania liofilizowanych wyłoków pomidorowych jako alternatywy do stosowania związków azotowych w wyrobach surowo dojrzewających z mięsa wieprzowego. Dodatkowo, wyniki przedstawione w opracowaniu wskazywały na korzystny wpływ zastosowanego dodatku roślinnego na zwiększenie potencjału antyoksydacyjnego produktu finalnego, poprawy jego barwy a także bezpieczeństwa mikrobiologicznego.

6.3. Ocena wpływu liofilizowanych wyłoków pomidorowych na zmiany właściwości fizykochemicznych, trwałość mikrobiologiczną oraz bezpieczeństwo surowo dojrzewających kielbas o obniżonej zawartości azotanu(III) sodu podczas przechowywania w warunkach chłodniczych

Przechowywanie kielbas surowo dojrzewających, niezależnie od warunków środowiskowych, stanowi istotny etap, w którym kontynuowane są przemiany fizykochemiczne, mikrobiologiczne i biochemiczne zapoczątkowane podczas fermentacji i dojrzewania (Kumar i in., 2017). Kontynuacja procesów proteolitycznych, prowadzona zarówno przez enzymy endogenne, jak i mikrobiologiczne, skutkuje dalszym rozkładem białek mięśniowych do peptydów i wolnych aminokwasów, co w początkowym etapie intensyfikuje profil smakowy produktu. Nadmierna proteoliza może jednak prowadzić do akumulacji amin biogennych, pogarszających cechy organoleptyczne (Toldrá, 2012). Równocześnie zachodzą procesy utleniania lipidów, prowadzące do powstawania nadtlenków, aldehydów i ketonów, które początkowo mogą wzbogacać aromat produktu. Z czasem jednak mogą przyczyniać się do oksydacyjnej degradacji tłuszczów, co skutkuje pogorszeniem jakości wyrobu gotowego. Zmiany te wpływają także na stabilność barwy w trakcie procesu przechowywania (Zanardi i in., 2004). W trakcie przechowywania zachodzi stopniowy ubytek wody, co prowadzi do obniżenia aktywności wody wyrobów

mięsnych. Z jednej strony zwiększa to trwałość mikrobiologiczną, z drugiej jednak pogarsza teksturę, powodując wzrost twardości produktu. Dodatkowo, podczas przechowywania zachodzą zmiany mikrobiologiczne, które odgrywają istotną rolę w utrzymaniu jakości produktu. We wczesnym okresie przechowywania dominują bakterie fermentacji mlekowej, które poprzez obniżenie pH skutecznie hamują rozwój drobnoustrojów patogennych oraz mikroorganizmów odpowiedzialnych za degradację produktu. Mikroorganizmy fermentacyjne uczestniczą również w rozkładzie białek i tłuszczów, co sprzyja tworzeniu się charakterystycznych związków aromatycznych. Z upływem czasu mogą jednak zachodzić procesy prowadzące do obniżenia jakości produktu, wynikające z rozwoju niepożądanej mikroflory, w tym bakterii gnilnych, co skutkuje pogorszeniem struktury oraz pojawieniem się nieprzyjemnych cech smakowo - zapachowych (Soyer i in., 2005).

W związku z powyższym, konieczne było przeanalizowanie wpływu procesu przechowywania na zmiany parametrów fizykochemicznych oraz zawartość wybranych mikroorganizmów i amin biogennych w fermentowanych kielbasach surowo dojrzewających z dodatkiem wytlóków pomidorowych. Badania opisane w artykule **III pt. „Wytłoki pomidorowe jako innowacyjny składnik kielbas surowo dojrzewających o obniżonej zawartości azotanu(III) sodu”** dotyczyły oceny zmian jakościowych wyrobów mięsnych po 90 dniach chłodniczego przechowywania, przy zastosowaniu zmniejszonej ilości azotanu(III) sodu.

Wartości pH wszystkich prób doświadczalnych (tabela 10) mieściły się w zakresie 4,74 - 4,93, co jest charakterystyczne dla fermentowanych produktów mięsnych. Kwasowość kielbas po okresie przechowywania była nieznacznie wyższa w porównaniu do wartości uzyskanych bezpośrednio po zakończeniu procesu produkcji (publikacja II). Zjawisko to mogło być wynikiem rozkładu kwasów organicznych, który prowadzi do wzrostu tego parametru. Aktywność wody wyprodukowanych wyrobów mięsnych kształtowała się na poziomie 0,832 - 0,861. Uzyskane wartości tego parametru były niższe niż w przypadku kielbas surowo dojrzewających analizowanych po zakończeniu procesu produkcyjnego. Aktywność wody we wszystkich wariantach doświadczalnych kielbas była również niższa niż minimalna wartość niezbędna do rozwoju większości patogennych mikroorganizmów (0,920), co jest pozytywnym zjawiskiem w kontekście zachowania trwałości i bezpieczeństwa produktów (Fontana, 2007).

Tabela 10. Wartości pH i aktywność wody (a_w) surowo dojrzewających kielbas po przechowywaniu (90 dni)

Parametr	K	TP 0.5%	TP 1%	TP 1.5%
pH	4,93 ± 0,03 b	4,77 ± 0,02 a	4,75 ± 0,01 a	4,74 ± 0,01 a
a_w	0,832 ± 0,002 a	0,850 ± 0,004 ab	0,840 ± 0,010 a	0,861 ± 0,011 b

W tabeli przedstawiono wartości średnie ± odchylenia standardowe. Średnie oznaczone różnymi małymi literami (a–c) różnią się istotnie ($p \leq 0,05$).

Jak już wcześniej podkreślono, proces przechowywania wywiera istotny wpływ na zmiany parametrów barwy produktów mięsnych, co ma kluczowe znaczenie zarówno z punktu widzenia cech sensorycznych, jak i bezpieczeństwa mikrobiologicznego. W związku z powyższym, w dalszej części pracy przedstawiono wyniki badań poświęcone analizie stabilności barwy wyprodukowanych kielbas w trakcie procesu ich przechowywania. Kielbasy po 90 dniowym okresie chłodniczego przechowywania charakteryzowały się podobnymi wartościami ocenianych parametrów barwy ($L^*a^*b^*$) w porównaniu do kielbas poddanych analizie po procesie produkcji, co świadczy o stabilności barwy produktów podczas przechowywania, przyczyniając się tym samym do poprawy ogólnego wyglądu kielbas surowo dojrzewających oraz potencjalnie zwiększenia akceptacji konsumentów (tabela 11).

Tabela 11. Parametry barwy (CIE $L^*a^*b^*$) surowo dojrzewających kielbas po przechowywaniu (90 dni)

Parametr barwy	K	TP 0.5%	TP 1%	TP 1.5%
L^*	52,30 ± 1,59 a	48,62 ± 1,23 a	48,02 ± 3,85 a	47,05 ± 4,46 a
a^*	6,58 ± 1,52 a	11,29 ± 0,19 ab	13,15 ± 1,99 ab	13,93 ± 1,66 b
b^*	10,56 ± 3,19 a	11,01 ± 1,33 a	12,13 ± 1,59 a	12,46 ± 1,01 a
ΔE		5,99	7,99	9,22

L^* (jasność), a^* (czerwony/zielony) i b^* (żółty/niebieski), ΔE - różnica barwy pomiędzy próbą kontrolną a próbą badaną. W tabeli przedstawiono wartości średnie ± odchylenia standardowe. Średnie oznaczone różnymi małymi literami (a–b) różnią się istotnie ($p \leq 0,05$).

Proces przechowywania chłodniczego miał również istotny wpływ na zachowanie właściwości przeciwutleniających kielbas surowo dojrzewających z dodatkiem wytlóków pomidorowych. Badania przeprowadzone w 90 dobie przechowywania wykazały, że kielbasy z dodatkiem liofilizowanych wytlóków pomidorowych charakteryzowały się równie silnymi właściwościami antyoksydacyjnymi w odniesieniu do próby kontrolnej (tabela 12) co kielbasy po procesie produkcji (publikacja II).

Tabela 12. Aktywność przeciwutleniająca kielbas surowo dojrzewających po przechowywaniu (90 dni)

Parametr	K	TP 0.5%	TP 1%	TP 1.5%
DPPH				
[mg ekw.Trolox/g]	0,033 ± 0,001 a	0,051 ± 0,004 b	0,060 ± 0,002 b	0,080 ± 0,005 c
ABTS+				
[mg ekw.Trolox/g]	0,064 ± 0,01 a	0,100 ± 0,003 b	0,123 ± 0,001 c	0,130 ± 0,001 c

W tabeli przedstawiono wartości średnie ± odchylenia standardowe. Średnie oznaczone różnymi małymi literami (a–c) różnią się istotnie ($p \leq 0,05$).

Wyniki analiz mikrobiologicznych przedstawione w tabeli 13 nie wykazały istotnych statystycznie różnic w liczebności bakterii *Escherichia coli* oraz *Enterobacteriaceae* pomiędzy poszczególnymi wariantami doświadczalnych wyrobów mięsnych. Po okresie chłodniczego przechowywania ich liczba w surowo dojrzewających kielbasach wynosiła <10 jtk/g. Liczba bakterii fermentacji mlekowej w wyrobach z dodatkiem wytlóków pomidorowych mieściła się w zakresie 7,24 - 7,96 log jtk/g, co potwierdza prawidłowy przebieg procesu fermentacji. Analiza porównawcza wyników uzyskanych po zakończeniu procesu produkcyjnego oraz po okresie chłodniczego przechowywania wykazała niewielki spadek liczebności bakterii fermentacji mlekowej, co może wynikać z ograniczonej dostępności łatwo przyswajalnych substratów w późniejszych etapach przechowywania oraz akumulacji metabolitów wtórnych, takich jak kwasy organiczne, które mogą hamować dalszy rozwój bakterii fermentacji mlekowej.

Tabela 13. Wyniki analiz mikrobiologicznych surowo dojrzewających kielbas po przechowywaniu (90 dni)

Bakteria	K	TP 0.5%	TP 1.0%	TP 1.5%
<i>Enterobacteriaceae</i> [jtk/g]	<10	<10	<10	<10
<i>Bakterie fermentacji mlekowej</i> [log jtk/g]	7,77 ± 0,11 b	7,96 ± 0,28 b	7,61 ± 0,09 ab	7,24 ± 0,14 a
<i>Escherichia coli</i> [jtk/g]	<10	<10	<10	<10

W tabeli przedstawiono wartości średnie ± odchylenia standardowe. Średnie oznaczone różnymi małymi literami (a–b) różnią się istotnie ($p \leq 0,05$).

Aminy biogenne, takie jak putrescyna i kadaweryna, w nadmiernych ilościach mogą stanowić zagrożenie dla zdrowia konsumentów. Ich akumulacja podczas przechowywania świadczy o niekorzystnych zmianach mikrobiologicznych i biochemicznych, dlatego monitorowanie stężenia tych związków stanowi istotny element oceny stabilności produktu w tym okresie (Çolak i in., 2002; Karwowska i Kononiuk, 2022; Schirone i in., 2022). Wszystkie próby doświadczalne zawierały obie wspomniane wyżej aminy biogenne. Analiza statystyczna wykazała istotne statystycznie różnice ($p \leq 0,05$) w zawartości putrescyny pomiędzy poszczególnymi wariantami (tabela 14). Kielbasy z dodatkiem wyłoków pomidorowych charakteryzowały się istotnie niższym poziomem tej aminy w porównaniu z próbą kontrolną. Stężenie putrescyny mieściło się w przedziale 60 - 120 mg/kg. W przypadku kadaweryny nie stwierdzono istotnych statystycznie różnic pomiędzy badanymi próbami – jej zawartość we wszystkich wariantach utrzymywała się na stałym poziomie (90 mg/kg). Średnia całkowita ilość amin biogennych w surowo dojrzewających kielbasach kształtowała się w zakresie od 150 mg/kg w wariantach TP 1.5% do 210 mg/kg w próbie kontrolnej (K). Porównując wyniki z danymi uzyskanymi bezpośrednio po zakończeniu procesu produkcyjnego (publikacja II) można stwierdzić, że proces przechowywania sprzyjał akumulacji putrescyny oraz jednocześnie prowadził do obniżenia stężenia kadaweryny. Zjawisko to może być związane z dalszym rozkładem białek i intensyfikacją procesów dekarboksylacji aminokwasów przez bakterie w warunkach przechowalniczych, a także z potencjalnymi przemianami wtórnymi kadaweryny lub jej wykorzystaniem przez inne mikroorganizmy.

Tabela 14. Aminy biogenne w surowo dojrzewających kielbasach [mg/kg]

Parametr	K	TP 0.5%	TP 1%	TP 1.5%
Putrescyna	120,0 ± 10,0 c	90,0 ± 10,0 b	61,0 ± 20,0 ab	60,0 ± 10,0 a
Kadaweryna	90,0 ± 10,0 a	90,0 ± 10,0 a	90,0 ± 10,0 a	90,0 ± 10,0 a
Łącznie	210,0 ± 10,0 b	180,0 ± 10,0 ab	151,0 ± 20,0 a	150,0 ± 40,0 a

W tabeli przedstawiono wartości średnie ± odchylenia standardowe. Średnie oznaczone różnymi małymi literami (a–c) różnią się istotnie ($p \leq 0,05$).

Reasumując, wyniki przedstawione w opracowaniu **III** dały podstawy do przypuszczeń, że możliwa jest produkcja kielbas surowo dojrzewających o obniżonej zawartości związków azotowych z dodatkiem wyłoków pomidorowych z zachowaniem ich trwałości mikrobiologicznej i bezpieczeństwa w trakcie procesu chłodniczego przechowywania.

6.4. Określenie wpływu zwiększonej ilości dodatku liofilizowanych wyłoków pomidorowych na przebieg zmian fizykochemicznych, bezpieczeństwo oraz wartość odżywczą surowo dojrzewających kielbas

Wykorzystanie wyłoków pomidorowych w postaci liofilizatu umożliwia zwiększenie ich udziału w produkcji surowo dojrzewających kielbas. W związku z zaobserwowanym pozytywnym wpływem dodatku wyłoków pomidorowych na jakość mikrobiologiczną, zawartość amin biogennych, aktywność przeciwutleniającą i barwę w kielbasach surowo dojrzewających (opracowanie **II** i **III**), w dalszych etapach badań postanowiono zwiększyć ilość zastosowanego dodatku roślinnego zgodnie z modelami badawczymi przedstawionymi w tabeli 3, jak również podjęto próbę oceny jego wpływu na przebieg zmian fizykochemicznych, bezpieczeństwo oraz wartość odżywczą surowo dojrzewających wyrobów mięsnych.

Uzyskane w doświadczeniu wyniki opublikowano w opracowaniu **IV** pod tytułem „**The effect of tomato pomace on the oxidative and microbiological stability of raw fermented sausages with reduced addition of nitrites**”.

W doświadczeniu, poza próbą kontrolną (K - bez dodatku wyłoków pomidorowych), uwzględniono także następujące próby z dodatkiem wyłoków pomidorowych TP 1.5% - z dodatkiem 1.5% liofilizowanych wyłoków pomidorowych i TP 2.5% - z dodatkiem 2.5% liofilizowanych wyłoków pomidorowych. Badania przeprowadzono po procesie produkcji oraz po 90 dniach chłodniczego przechowywania w kontrolowanej temperaturze. Nie zaobserwowano istotnego wpływu zastosowanego dodatku na zawartość podstawowych składników (białko, tłuszcz, woda) analizowanych kiełbas.

Zarówno po procesie produkcji, jak i po 90 dniach przechowywania kiełbasy z dodatkiem wyłoków pomidorowych cechowały się niższymi wartościami pH w odniesieniu do próby kontrolnej. Po 90 dniach przechowywania we wszystkich próbach zaobserwowano wzrost wartości tego parametru. Podobny trend odnotowano również w badaniach przedstawionych szczegółowo w opracowaniu **III**. Aktywność wody w doświadczalnych surowo dojrzewających kiełbasach kształtowała się od 0,848 do 0,863. W przypadku prób analizowanych po procesie produkcji najwyższą aktywnością wody charakteryzowała się próba z 2.5 % dodatkiem wyłoków. Jednak odwrotną tendencję stwierdzono dla prób analizowanych po 90 dniach przechowywania (tabela 15). Mimo istotnych różnic statystycznych wartości właściwości fizykochemicznych były typowe dla produktów fermentowanych. Dodatkowo, uzyskane wyniki miały wpływ na przebieg zmian mikrobiologicznych, co zostało szczegółowo przedstawione w dalszej części pracy.

Tabela 15. pH i aktywność wody badanych kielbas surowo dojrzewających

Parametr		Czas przechowywania (dni)	
		0	90
pH	K	4,51 ± 0,01 ^{cA}	4,57 ± 0,01 ^{bA}
	TP 1.5%	4,32 ± 0,01 ^{bA}	4,38 ± 0,02 ^{aB}
	TP 2.5%	4,27 ± 0,01 ^{aA}	4,34 ± 0,01 ^{aB}
a _w	K	0,848 ± 0,005 ^{aA}	0,863 ± 0,002 ^{bA}
	TP 1.5%	0,856 ± 0,003 ^{abA}	0,862 ± 0,001 ^{abA}
	TP 2.5%	0,860 ± 0,002 ^{bA}	0,859 ± 0,001 ^{aA}

W tabeli przedstawiono wartości średnie ± odchylenia standardowe. Średnie oznaczone różnymi małymi literami a–c w tej samej kolumnie różnią się statystycznie ($p \leq 0,05$). Średnie oznaczone różnymi wielkimi literami A–B w tym samym wierszu (w ramach tego samego wariantu zmiennej w różnym czasie) różnią się statystycznie ($p \leq 0,05$).

Wyniki przedstawione w opracowaniu wskazywały na korzystny wpływ zastosowania liofilizowanych wyłoków pomidorowych na wszystkie badane wartości parametrów barwy (tabela 16) produktu końcowego. Wartość L* (jasność) kielbas zmniejszała się wraz ze wzrostem stężenia zaaplikowanego dodatku. Ponadto zaobserwowano, że w czasie przechowywania wartość tego parametru ulegała zmniejszeniu dla wszystkich wariantów kielbas doświadczalnych. Zastosowanie wyższego poziomu dodatku (2.5%) powodowało również istotny wzrost wartości parametru a* (udział barwy czerwonej) oraz b* (udział barwy żółtej) a także stabilizowało ich wartości w trakcie przechowywania. Prawdopodobnie, było to związane z obecnością dużej ilości karotenoidów zawartych w wyłokach pomidorowych. Reasumując zwiększenie poziomu zastosowanego dodatku wpływa na poprawę barwy kielbas surowo dojrzewających oraz zachowanie ich stabilności podczas przechowywania w kontrolowanej temperaturze, wpływając tym samym na możliwość zwiększenia akceptacji potencjalnych konsumentów.

Tabela 16. Parametry barwy (CIE L*, a*, b*) kiełbas surowo dojrzewających

Parametr	Czas przechowywania (dni)	
	0	90
L*	K	49,25 ± 3,29 ^{aB}
	TP 1.5 %	48,99 ± 2,00 ^{aB}
	TP 2.5 %	47,61 ± 1,71 ^{aB}
a*	K	11,15 ± 0,58 ^{aA}
	TP 1.5 %	20,85 ± 2,47 ^{bA}
	TP 2.5 %	22,35 ± 1,72 ^{bA}
b*	K	8,66 ± 0,56 ^{aA}
	TP 1.5 %	21,42 ± 3,20 ^{bA}
	TP 2.5 %	23,75 ± 3,12 ^{bA}
ΔE	K	
	TP 1.5 %	16,43 ± 3,74 ^{aA}
	TP 2.5 %	18,92 ± 3,31 ^{aA}

L* (jasność), a* (czerwony/zielony) i b* (żółty/niebieski), ΔE - różnica barwy pomiędzy próbą kontrolną a próbą badaną. W tabeli przedstawiono wartości średnie ± odchylenia standardowe. Średnie oznaczone różnymi małymi literami a–b w tej samej kolumnie różnią się statystycznie ($p \leq 0,05$). Średnie oznaczone różnymi wielkimi literami A–B w tym samym wierszu (w ramach tego samego wariantu zmiennej w różnym czasie) różnią się statystycznie ($p \leq 0,05$).

Zawartość żelaza hemowego, które cechuje się większą biodostępnością w porównaniu z żelazem nie hemowym, w badanych kiełbasach surowo dojrzewających była w zakresie 15,99 – 24,58 mg/kg (po procesie produkcji) oraz 11,75 - 13,26 mg/kg (po procesie przechowywania). Zaobserwowano, że zastosowanie zwiększonej ilości dodatku wytlóków pomidorowych pozwoliło na ograniczenie ubytku tego cennego składnika odżywczego. Największą zawartością tego mikroelementu cechowała się próba z zawartością 2,5% wytlóków (tabela 17). W związku z powyższym, można stwierdzić, że bogate w likopen wytloki pomidorowe ograniczyły uwalnianie żelaza związanego w hemie, co jak pokazują wyniki przedstawione w dalszej części niniejszej pracy przyczyniło się do opóźnienia procesów oksydacyjnych lipidów oraz obniżenia wartości wskaźnika TBARS.

Tabela 17. Zawartość żelaza hemowego w doświadczalnych kielbasach surowo dojrzewających

Parametr		Czas przechowywania (dni)	
		0	90
Zawartość żelaza	K	15,99 ± 2,34 ^{aA}	11,75 ± 0,12 ^{aA}
hemowego	TP 1.5 %	19,11 ± 1,13 ^{abB}	12,63 ± 0,48 ^{bA}
[mg/kg]	TP 2.5 %	24,58 ± 3,60 ^{bB}	13,26 ± 0,14 ^{bA}

W tabeli przedstawiono wartości średnie ± odchylenia standardowe. Średnie oznaczone różnymi małymi literami a–b w tej samej kolumnie różnią się statystycznie ($p \leq 0,05$). Średnie oznaczone różnymi wielkimi literami A–B w tym samym wierszu (w ramach tego samego wariantu zmiennej w różnym czasie) różnią się statystycznie ($p \leq 0,05$).

Zwiększenie ilości dodatku wyłoków pomidorowych w znacznym stopniu wpłynęło również na zwiększenie twardości badanych kielbas. Wraz ze wzrostem udziału wyłoków następował wzrost tego parametru w wyprodukowanych wyrobach mięsnych. Można to powiązać z silnymi właściwościami żelującymi białek obecnymi w wyłokach pomidorowych, które dzięki swoim właściwościom mają zdolność zatrzymywania wody w matrycy białkowej, przyczyniając się tym samym do wzrostu twardości surowo dojrzewających kielbas (Salem, 2013). W związku z powyższym, w opracowaniu IV zasugerowano konieczność przeprowadzenia oceny sensorycznej, której szczegółowe wyniki wraz z analizą statystyczną przedstawiono w tabeli 19 w opracowaniu V.

O wartości odżywczej produktów mięsnych decyduje również zawartość w nich aminokwasów. Wyprodukowane kielbasy charakteryzowały się dużą zawartością asparaginy (38,10 - 41,00 mg/g), treoniny (21,40 - 22,40 mg/g), glutaminy (61,75 - 64,55 mg/g), proliny (29,75 - 31,95 mg/g), leucyny (25,65 - 27,95 mg/g), lizyny (22,55 - 25,10 mg/g) oraz argininy (20,80 - 22,60 mg/g), co potwierdza ich wysoką wartość odżywczą. Nie stwierdzono natomiast istotnego wpływu dodatku wyłoków pomidorowych na ich zawartość w badanych kielbasach doświadczalnych.

Kielbasy surowo dojrzewające ze względu na stosunkowo dużą zawartość tłuszczu a także charakterystyczną technologię przetwarzania są jednak podatne na utlenianie lipidów i białek oraz rozwój niepożądanych bakterii (Van Ba i in., 2017). Reakcje te stanowią jedną z głównych przyczyn pogorszenia jakości produktów mięsnych wpływając

na ich barwę, smak, konsystencję i wartość odżywczą, tym samym przyczyniając się do skrócenia ich przydatności do spożycia (Jiang i Xiong, 2016). W związku z powyższym podjęto próbę określenia wpływu zwiększonego stężenia dodatku wyciągów pomidorowych na właściwości przeciwutleniające oraz stabilność oksydacyjną kiełbas z obniżoną zawartością związków azotowych. Dane przedstawione w tabeli 18 wskazują na korzystny wpływ zastosowania dodatku na wzrost aktywności przeciwutleniającej kiełbas, która była ściśle związana z ilością zaaplikowanego dodatku roślinnego. Jak można się było zatem spodziewać, kiełbasy surowo dojrzewające z dodatkiem liofilizowanych wyciągów pomidorowych cechowały się niższą wartością TBARS w porównaniu do próby kontrolnej. Dodatkowo, podczas procesu chłodniczego przechowywania następował spadek liczby TBARS. Potwierdza to, że zastosowany dodatek hamuje powstawanie pierwotnych i wtórnych produktów utleniania lipidów w produktach mięsnych, przyczyniając się tym samym do zwiększenia stabilności oksydacyjnej wyrobów surowo dojrzewających. Można przypuszczać, iż wynikało to z faktu, że likopen zawarty w wyciągach pomidorowych, będący silnym przeciwutleniaczem, skutecznie neutralizuje wolne rodniki tlenowe, w tym hydroksylowe i nadtlenkowe, które są głównymi inicjatorami reakcji utleniania tłuszczów, co skutkuje zmniejszeniem szybkości ich utleniania, zapobiegając tworzeniu się szkodliwych produktów wtórnych (Domínguez i in., 2021; Vilela i in., 2018).

Tabela 18. Aktywność antyoksydacyjna oraz stabilność oksydacyjna kiełbas surowo dojrzewających

Parametr		Czas przechowywania (dni)	
		0	90
ABTS+ [mg ekw. Trolox/g]	K	0,049 ± 0,003 ^{aA}	0,089 ± 0,006 ^{aB}
	TP 1.5%	0,069 ± 0,003 ^{bA}	0,117 ± 0,003 ^{bB}
	TP 2.5%	0,073 ± 0,003 ^{bA}	0,125 ± 0,002 ^{bB}
DPPH [mg ekw. Trolox/g]	K	0,046 ± 0,003 ^{aA}	0,068 ± 0,006 ^{aB}
	TP 1.5%	0,080 ± 0,004 ^{bA}	0,086 ± 0,002 ^{bA}
	TP 2.5%	0,115 ± 0,017 ^{cA}	0,120 ± 0,003 ^{cA}
TBARS [mg MDA/kg]	K	2,44 ± 0,08 ^{bB}	1,60 ± 0,20 ^{bA}
	TP 1.5 %	2,16 ± 0,04 ^{aB}	1,27 ± 0,13 ^{bA}
	TP 2.5 %	2,06 ± 0,04 ^{aB}	0,89 ± 0,09 ^{aA}

W tabeli przedstawiono wartości średnie ± odchylenia standardowe. Średnie oznaczone różnymi małymi literami a–c w tej samej kolumnie różnią się statystycznie ($p \leq 0,05$). Średnie oznaczone różnymi wielkimi literami A–B w tym samym wierszu (w ramach tego samego wariantu zmiennej w różnym czasie) różnią się statystycznie ($p \leq 0,05$).

Dodatek wyłoków pomidorowych okazał się być nieskuteczny w odniesieniu do opóźnienia reakcji utleniania białek w produktach surowo dojrzewających. Charakteryzowały się one bowiem wyższą zawartością grup karbonylowych w odniesieniu do próby referencyjnej. Różnice te prawdopodobnie wynikały z obecności dużej zawartości żelaza, karotenoidów (beta - karoten, likopen) oraz witaminy C, które mogą działać w połączeniu z innymi składnikami zawartymi w mięsie jako prooksydanty, przyspieszając zachodzące procesy utleniania białek. Przeprowadzona analiza mikrobiologiczna wykazała, że dodatek wyłoków pomidorowych nie wpływał negatywnie na zawartość bakterii fermentacji mlekowej w wyprodukowanych kiełbasach. Bakterie te kształtowały się w zakresie 6,80 – 8,60 log jtk/g, co może świadczyć o prawidłowym przebiegu procesu fermentacji. Ponadto, analiza mikrobiologiczna uwzględniająca zawartość pleśni i drożdży w produkcie końcowym nie wykazała istotnych różnic pomiędzy grupami badanych wyrobów mięsnych. Kiełbasy surowo dojrzewające charakteryzowały się niską zawartością tych drobnoustrojów (1,00 – 2,51 log jtk/g). We wszystkich próbach przez cały okres

przechowywania nie wykryto również bakterii z grupy *E. coli*, *Enterobacteriaceae* oraz *Staphylococcus aureus* (<10 jtk/g) co sugeruje dobrą jakość higieniczną oraz trwałość wyprodukowanych kielbas. Wskazuje to zatem na możliwość zastosowania surowca roślinnego w celu wzmocnienia przeciwbakteryjnego działania azotanu(III) sodu w wyrobach mięsnych, nie wpływając tym samym negatywnie na zawartość bakterii fermentacji mlekowej.

Reasumując, zastosowanie zwiększonej ilości liofilizowanych wyłoków pomidorowych w kielbasach surowo dojrzewających z ograniczoną zawartością związków azotowych przyczynia się do wzbogacenia produktu w naturalne związki bioaktywne o wysokim potencjale przeciwutleniającym. Obecność tych składników korzystnie wpływa na wartość odżywczą wyrobu mięsnego, a także poprawia jego stabilność oksydacyjną i mikrobiologiczną, co może przyczynić się do wydłużenia okresu przydatności do spożycia. W świetle uzyskanych wyników, można stwierdzić, że liofilizowane wyłoki pomidorowe stanowią obiecującą alternatywę dla tradycyjnych konserwantów stosowanych w produkcji kielbas surowo dojrzewających. Ich dodatek może znaleźć praktyczne zastosowanie w przemyśle mięsnym, zarówno w celu ograniczenia degradacji oksydacyjnej i niekorzystnych zmian barwy, jak i przy opracowywaniu produktów o właściwościach funkcjonalnych.

6.5. Ocena wpływu dodatku wyłoków pomidorowych na profil smakowo - zapachowy oraz zawartość wybranych związków bioaktywnych surowo dojrzewających kielbas ze zmniejszonym udziałem związków azotowych

Profil smakowo - zapachowy jest jednym z kluczowych czynników determinujących jakość kielbas surowo dojrzewających, ponieważ bezpośrednio wpływa na akceptację konsumencką oraz postrzeganą jakość produktów. Wysokiej jakości kielbasy charakteryzują się zrównoważonym i intensywnym aromatem, który wynika z harmonijnej kompozycji lotnych związków aromatycznych powstających w wyniku procesu fermentacji, dojrzewania oraz utleniania lipidów i białek. Obecność pożądanых związków lotnych, takich jak aldehydy, ketony, estry i alkohole, kształtuje bogaty i złożony profil sensoryczny charakteryzujący się dominacją aromatów mięsnych, dojrzewających, delikatnie pikantnych

i owocowych. Jednocześnie niepożądane zmiany w profilu smakowo - zapachowym, wynikające na przykład z nadmiernego utleniania tłuszczów lub niekontrolowanego rozwoju niekorzystnej mikroflory, mogą prowadzić do powstawania obcych, nieprzyjemnych nut zapachowych (Kaya i Kaban, 2024). Wysoka jakość sensoryczna kielbas surowo dojrzewających zależy również od odpowiedniego doboru surowców, technologii produkcji oraz warunków dojrzewania. Czynniki takie jak skład mikroflory fermentacyjnej, czas i temperatura dojrzewania oraz dodatek naturalnych przeciwutleniaczy mogą wpływać na stabilność aromatu i smakowitość gotowego wyrobu. Dlatego kontrola i optymalizacja profilu smakowo - zapachowego stanowi istotny element zapewnienia wysokiej jakości kielbas surowo dojrzewających, gwarantując ich atrakcyjność dla konsumentów oraz zgodność z oczekiwaniami rynkowymi. Obecność L - karnityny w produktach fermentowanych może również pośrednio oddziaływać na aktywność mikroorganizmów oraz skład wytwarzanych przez nie metabolitów. Bakterie fermentacji mlekowej powszechnie wykorzystywane w procesie fermentacji, mogą oddziaływać na przemiany białek i tłuszczów, co sprzyja powstawaniu specyficznych substancji lotnych. Modyfikacje metabolizmu tłuszczów wywołane działaniem L - karnityny mogą także wpływać na aromat dojrzewającego mięsa (Abdul i in., 2023; Jairath i in., 2024). Przeprowadzone dotychczas badania dostarczają niewiele informacji dotyczących zarówno wpływu redukcji związków azotowych jak również dodatku wyłoków pomidorowych na rozwój specyficznego smaku w surowo dojrzewających produktach mięsnych (Gómez i Lorenzo, 2013).

W związku z powyższym, ostatnim etapem weryfikacji hipotezy badawczej była ocena wpływu liofilizowanych wyłoków pomidorowych na profil smakowo - zapachowy oraz zawartość wybranych związków bioaktywnych kielbas surowo dojrzewających ze zmniejszonym udziałem związków azotowych. W eksperymentalnych produktach mięsnych zidentyfikowano łącznie 62 związki lotne. Do głównych grup związków należały alkohole, aldehydy, węglowodory i ketony, co świadczy o bogatym i złożonym profilu aromatycznym kielbas. Dodatek wyłoków pomidorowych wpływał na profil aromatyczny wyprodukowanych wyrobów mięsnych, wzbogacając je o nowe, złożone związki zapachowe. Analiza lotnych związków wykazała obecność istotnych ilości 1-pentanolu (o słodkim, balsamicznym aromacie), 1-butanolu i 3-metylobutanolu (nadających owocowy charakter). Ponadto zidentyfikowano związki lotne należące do grupy alkoholi pochodzące z pomidorów, w tym 2-heptanol i 6-hepten-1-ol (o świeżym, owocowym zapachu),

2-metylo-alkohol benzylowy (wprowadzający kwiatowe, słodkie aromaty) oraz fenol i 2-metoksyfenol (nadające pikantne, lekko wędzone akcenty) (Alonso i in., 2009; Concina i in., 2009). Ich zawartość była statystycznie istotnie wyższa w próbach z dodatkiem wyłoków pomidorowych i wzrastała proporcjonalnie do ich udziału w produkcie, co wzbogaciło ogólny profil sensoryczny czyniąc produkt bardziej atrakcyjnym dla potencjalnych konsumentów. Kielbasy wzbogacone naturalnym dodatkiem roślinnym charakteryzowały się również wyższą zawartością 2-metylo- i 3-metylobutanalu należącymi do grupy aldehydów. Związane to było najprawdopodobniej z faktem, iż 3-metylobutanal, który należy do jednych z najsilniejszych związków aromatycznych w kielbasach fermentowanych występuje w dużych ilościach również w pomidorach (Belleggia i in., 2020; Hu i in., 2020). Z tego względu, jego obecność w kielbasach pozytywnie wpłynęła na ich smak i zapach, co zostało potwierdzone wynikami analizy sensorycznej. Dodatkowo, spośród wszystkich aldehydów najwyższe stężenie wykazał heksanal, który stanowi wskaźnik jakości mięsa oraz stabilności oksydacyjnej. Obniżenie jego zawartości w próbach z dodatkiem wyłoków pomidorowych potwierdza ich właściwości antyoksydacyjne. Obecność naturalnych przeciwutleniaczy w wyłokach może zatem ograniczać procesy oksydacyjne lipidów, redukując powstawanie aldehydów prooksydacyjnych, co potwierdzały uzyskane wyniki z przeprowadzonych wcześniej badań (publikacja IV). Kolejną wykrytą grupą związków lotnych obecną w doświadczalnych kielbasach surowo dojrzewających tworzyły kwasy karboksylowe, głównie kwas octowy, butanowy i 3-metylobutanowy, stanowiące istotne związki aromatyczne w fermentowanych produktach mięsnych. Zarówno kwas butanowy jak i kwas octowy to bowiem produkty, które powstają w wyniku fermentacji węglowodanów wytwarzanych przez bakterie fermentacji mlekowej. Są to kluczowe składniki, które wpływają na charakterystyczny zapach i smak tych produktów, przyczyniając się do ich typowego, fermentowanego aromatu (Belleggia i in., 2020). W niniejszym badaniu produkty mięsne wzbogacone wyłokami pomidorowymi zawierały wyższe stężenie wymienionych powyżej kwasów, zwłaszcza kwasu octowego, którego ilość wzrastała proporcjonalnie do ilości dodanych wyłoków. Potwierdzeniem tego zjawiska jest zmniejszenie pH wynikające z wysokiej kwasowości wyłoków pomidorowych, które sprzyjało intensyfikacji produkcji kwasu octowego, co zostało potwierdzone w badaniach przedstawionych w poprzednich opracowaniach (publikacja III, IV). W badanych kielbasach doświadczalnych zidentyfikowano także siedem estrów powstałych w wyniku autooksydacji lipidów (kwas heksanowy), fermentacji węglowodanów (kwas octowy, kwas butanowy) oraz aktywności esterazy gronkowcowej

(octan etylu). Wykryto również mleczan etylu, charakterystyczny dla bakterii fermentacji mlekowej. Dodatkowo, wyłącznie w kielbasach z dodatkiem liofilizowanych wyłoków pomidorowych wykryto obecność salicylanu metylu, który odpowiada za charakterystyczny smak pomidorów, a jego stężenie wzrastało proporcjonalnie do ilości tego dodatku (Sapkota i in. 2024). Kielbasy z dodatkiem wyłoków pomidorowych cechowały się wyższym stężeniem związków ketonowych (5-hepten-2-on, 6-metylo-2-nonanon) w porównaniu z próbą referencyjną, przyczyniając się tym samym do powstawania charakterystycznego tłuszczowego aromatu kielbas (Yan i in., 2020). Dodatkowo, wykryto obecność innych związków lotnych, takich jak aceton, 1-hepten-3-on, 5-hepten-2-on, 6-metylo-, acetofenon oraz 2-nonanon, których stężenie wzrastało w miarę zwiększania ilości wyłoków pomidorowych. Związki te bowiem stanowią główne komponenty aromatu pomidorów (Buttery i Takeoka, 2004).

Wyniki przeprowadzonych badań wykazały, że wprowadzenie wyłoków pomidorowych wpływa na profil smakowo - zapachowy poprzez wzbogacenie matrycy smakowej kielbasy o charakterystyczne aromaty owocowe oraz słodko - kwaśne, które mogą wzmacniać odbiór sensoryczny gotowego produktu, szczególnie w warunkach zmniejszonego dodatku związków azotowych. Analiza sensoryczna stanowiła zatem dopełnienie badań laboratoryjnych oraz jednocześnie pozwoliła na określenie potencjalnej akceptacji danego produktu przez konsumenta. W tym badaniu założono, że zastosowany dodatek zwiększy atrakcyjność produktu mięsnego, a tym samym będzie miał dodatkowo działanie prozdrowotne. Wszystkie próby uzyskały dobre wyniki we wszystkich ocenianych parametrach sensorycznych. Analiza nie wykazała istotnych różnic między badanymi kielbasami w zakresie większości ocenianych parametrów, w tym barwy tłuszczu, soczystości, twardości a także intensywności zapachu i smaku słodkiego, słonego oraz innych. Jednakże, dodatek liofilizowanych wyłoków pomidorowych spowodował istotne różnice pod względem barwy, intensywności zapachu oraz aromatu mięsnego i pomidorowego. Kielbasy wzbogacone wspomnianym naturalnym dodatkiem cechowały się wyższymi wartościami oceny intensywności barwy mięsa na przekroju oraz intensywnością aromatu pomidorowego a zarazem niższą intensywnością aromatu mięsnego. Próby z 1,5% TP i 2,5% TP charakteryzowały się intensywniejszą czerwoną barwą, co było wynikiem obecności naturalnych pigmentów (karotenoidów i polifenoli) zawartych w wyłokach pomidorowych, powodując tym samym zmniejszenie jasności (L^*), przy jednoczesnym znacznym zwiększeniu udziału barwy czerwonej (a^*) i żółtej (b^*),

co zostało także potwierdzone w naszych wcześniejszych obserwacjach (publikacja IV). Można zatem stwierdzić, że zastosowanie wyłoków pomidorowych wpływa korzystnie na poprawę atrakcyjności sensorycznej oraz zwiększenie wizualnej oceny kiełbas surowo dojrzewających ze zmniejszonym udziałem związków azotowych (tabela 19).

Tabela 19. Parametry oceny sensorycznej badanych kiełbas surowo dojrzewających

Parametr	K	TP 1.5%	TP 2.5%
Barwa mięsa na przekroju	6,02 ± 0,98 ^a	8,38 ± 1,02 ^b	9,03 ± 0,98 ^b
Barwa tłuszczu na przekroju	8,42 ± 1,11 ^a	7,592 ± 1,58 ^a	7,58 ± 2,10 ^a
Soczystość	5,27 ± 0,96 ^a	5,90 ± 1,24 ^a	5,98 ± 1,17 ^a
Twardość	4,42 ± 1,16 ^a	3,84 ± 1,62 ^a	4,15 ± 1,89 ^a
Intensywność zapachu mięsnego	6,52 ± 1,74 ^b	2,84 ± 1,77 ^a	2,91 ± 2,40 ^a
Intensywność zapachu pomidorowego	0,78 ± 1,59 ^a	4,77 ± 2,21 ^b	5,89 ± 1,64 ^b
Intensywność innego zapachu	1,59 ± 1,52 ^a	1,65 ± 0,97 ^a	1,72 ± 1,56 ^a
Intensywność smaku mięsnego	7,67 ± 1,32 ^b	3,91 ± 2,32 ^a	3,59 ± 1,93 ^a
Intensywność smaku pomidorowego	0,92 ± 1,70 ^a	5,39 ± 2,76 ^b	6,76 ± 1,34 ^b
Intensywność smaku słonego	5,09 ± 1,82 ^a	4,52 ± 2,52 ^a	4,32 ± 2,30 ^a
Intensywność smaku słodkiego	0,99 ± 0,87 ^a	1,88 ± 2,27 ^a	2,19 ± 2,39 ^a
Intensywność innego smaku	0,73 ± 1,10 ^a	1,35 ± 1,92 ^a	1,91 ± 2,16 ^a
Ogólna jakość	7,45 ± 1,88 ^a	7,85 ± 1,46 ^a	8,03 ± 0,93 ^a

W tabeli przedstawiono wartości średnie ± odchylenia standardowe. Średnie oznaczone różnymi małymi literami a–b w tej samej kolumnie różnią się statystycznie ($p \leq 0,05$).

L - karnityna jest składnikiem niezbędnym do produkcji energii i metabolizmu lipidów w wielu narządach i tkankach. Niedobór jej może prowadzić do zaburzeń metabolicznych wpływających na pracę mięśni i serca objawiających się miopatią lub chorobą serca (Pekala i in., 2011). Produkty zwierzęce, zwłaszcza mięso, są bardzo cennym źródłem L – karnityny w diecie człowieka, a jej zawartość zależy od rodzaju produktu, gatunku zwierzęcia i zastosowanego przetwarzania (Demarquoy i in., 2004). Zawartość L – karnityny w badanych kiełbasach surowo dojrzewających kształtowała się w zakresie od 1,39 do 2,51 mg/100g (publikacja V). Nie zaobserwowano wpływu zastosowanego dodatku liofilizowanych wyłoków pomidorowych na zawartość tego związku bioaktywnego w doświadczalnych kiełbasach. Obecne w wyłokach pomidorowych cukry (glukoza, fruktoza) są łatwo metabolizowane przez bakterie fermentacji mlekowej, co intensyfikuje fermentację i zwiększa produkcję kwasów organicznych, prowadząc tym samym do zmniejszenia stabilności oraz dostępności L - karnityny w produktach mięsnych.

Ponadto, mimo obecności przeciwutleniaczy, wytloki mogą zawierać enzymy roślinne (np. polifenoloksydazy), które podczas dojrzewania generują reaktywne formy tlenu (ROS), prowadząc do utleniania L - karnityny w produkcie końcowym (Laranjeira i in., 2022).

Reasumując, dodatek liofilizowanych wytlóków pomidorowych do surowo dojrzewających kiełbas modyfikuje profil lotnych związków aromatycznych, co może przyczynić się do poprawy jakości sensorycznej produktu gotowego, tym samym zwiększając jego akceptację wśród potencjalnych konsumentów.

7. Podsumowanie i wnioski

Przeprowadzone badania dowodzą, że możliwe jest wykorzystanie liofilizowanych wyłoków pomidorowych do produkcji wieprzowych kielbas surowo dojrzewających o obniżonej zawartości azotanu(III) sodu.

Wykazano bowiem, że włączenie surowca roślinnego bogatego w związki bioaktywne umożliwia uzyskanie produktów cechujących się dobrymi właściwościami fizykochemicznymi z jednoczesnym zwiększeniem ich potencjału antyoksydacyjnego. Ponadto, zastosowanie liofilizowanych wyłoków pomidorowych przyczynia się do poprawy barwy, stabilności mikrobiologicznej oraz zwiększenia jakości a także bezpieczeństwa gotowego produktu, poprzez obniżenie zawartości patogennych mikroorganizmów i amin biogennych.

Zastosowanie zwiększonego dodatku wyłoków pomidorowych wpływa w różny sposób na poszczególne parametry produktów surowo dojrzewających, w związku z czym jednoznaczna ocena zasadności ich zwiększonego stężenia nie jest możliwa. Niemniej jednak zaobserwowano, że zwiększona ilość wyłoków pomidorowych wpływa w znacznym stopniu na opóźnienie procesów utlenienia lipidów, tym samym przedłużając trwałość wyrobu mięsnego. Dodatkowo, wzbogaca go o pożądane związki lotne, kształtując bogaty i złożony profil sensoryczny, przyczyniając się do zwiększenia akceptowalności potencjalnych konsumentów.

Opracowanie to może zatem przyczynić się do wykorzystania tego produktu ubocznego w przetwórstwie mięsa wspierając tym samym działania w kierunku zmniejszenia strat żywności oraz produkcji zgodnie z trendem „czystej etykiety”.

WNIOSKI

1. Dodatek wyłoków pomidorowych skutecznie zwiększył potencjał antyoksydacyjny surowo dojrzewających kielbas wzbogacając je w związki fenolowe. Aktywność przeciwutleniająca była ściśle związana z ilością zastosowanego dodatku.
2. Zwiększenie stężenia dodatku liofilizowanych wyłoków pomidorowych przyczyniło się do wzrostu udziału barwy czerwonej produktu mięsnego, co skutkowało intensyfikacją barwy na przekroju kielbas surowo dojrzewających. Zastosowanie tego naturalnego dodatku korzystnie wpłynęło na atrakcyjność

sensoryczną wyrobów, poprawiając ich ocenę wizualną, jednocześnie umożliwiając ograniczenie zawartości azotanu(III) sodu.

3. Liofilizowane wytlaki pomidorowe skutecznie redukowaly zawartosc putrescyny oraz calkowita ilosc amin biogennych w analizowanych produktach miesnych, co przyczynialo sie do zwiekszenia ich bezpieczenstwa poprzez ograniczenie potencjalnego ryzyka formowania N-nitrozoamin.
4. Dodatek wylolkow pomidorowych nie wplywal negatywnie na zawartosc bakterii fermentacji mlekowej w wyprodukowanych kielbasach. Ponadto wyroby miesne cechowaly sie wysoka stabilnoscia mikrobiologiczna, dajac tym samym potencjalna mozliwosc wydluzenia okresu przydatnosci do spozycia.
5. Zastosowanie liofilizowanych wylolkow pomidorowych w produkcji kielbas surowo dojrzewajacych wykazuje dzialanie antyoksydacyjne, o czym swiadczy mniejsza utrata zelaza hemowego oraz zahamowanie procesow oksydacji lipidow. Dodatek ten moze pelnic funkcje naturalnego przeciwutleniacza, umozliwiajac jednoczesnie redukcje zawartosci azotanu(III) sodu w gotowym produkcie.
6. Liofilizowane wylolki pomidorowe wplywaly na zmiany w profilu lotnych zwiazkow aromatycznych, wzbogajac je o pozadane zapachy.
7. Rekomenduje sie liofilizowane wylolki pomidorowe do stosowania podczas produkcji surowo dojrzewajacych kielbas z obnizonym dodatkiem zwiazkow azotowych jako naturalnych roslinnych dodatkow z uwagi na ich wysoka aktywnosc przeciwutleniajaca.

8. Bibliografia:

1. Abdul Hakim, B. N., Ng, J. X., & Oslan, S. N. H. (2023). A comprehensive review of bioactive compounds from lactic acid bacteria: Potential functions as functional food in dietetics and the food industry. *Foods*, 12, 2850.
2. Alahakoon, A. U., Jayasena, D. D., Ramachandra, S., & Jo, C. (2015). Alternatives to nitrite in processed meat: Up to date. *Trends in Food Science and Technology*, 45, 37–49.
3. Alonso, A., Vázquez-Araújo, L., García-Martínez, S., Ruiz, J. J., & Carbonell-Barrachina, A. A. (2009). Volatile compounds of traditional and virus-resistant breeding lines of Muchamiel tomatoes. *European Food Research and Technology*, 230, 315–323.
4. Al-Qureshi, Z. S. Z., Al-Hussainy, K. S. J., & Al-Imara, E. A. (2022). Effect of lactic acid bacteria in improving microbial properties of fermented sausage under refrigeration storage. *Iranian Journal of Ichthyology*, 9, 474–482.
5. Amaro-Blanco, G., Machado, T., Andrade, L. P., Proaño, F., Manzano, R., Delgado-Adámez, J., & Ramírez, R. (2018). Effect of tomato paste addition and high pressure processing to preserve pork burgers. *European Food Research and Technology*, 244, 827–839.
6. AMSA. (2012). *Meat color measurements guidelines*. American Meat Science Association: Savoy, IL, USA.
7. Andres, A. I., Petron, M. J., Delgado-Adámez, J., Lopez, M., & Timon, M. (2016). Effect of tomato pomace extracts on the shelf-life of modified atmosphere-packaged lamb meat. *Journal of Food Processing and Preservation*, 40, 1256–1262.
8. Asioli, D., Aschemann-Witzel, J., Caputo, V., Vecchio, R., Annunziata, A., Næs, T., & Varela, P. (2017). Making sense of the “clean label” trends: a review of consumer food choice behavior and discussion of industry implications. *Food Research International*, 99, 58–71.
9. Association of Official Analytical Chemists [AOAC] (2005). *Official methods of analysis* (18th ed.) AOAC: Gaithersburg, MD, USA.
10. Babaoğlu, A. S., Unal, K., Dilek, N. M., Poçan, H. B., & Karakaya, M. (2022). Antioxidant and antimicrobial effects of blackberry, black chokeberry, blueberry, and red currant pomace extracts on beef patties subject to refrigerated storage. *Meat Science*, 187, 108765.
11. Bedale, W., Sindelar, J. J., & Milkowski, A. L. (2016). Dietary nitrate and nitrite: Benefits, risks, and evolving perceptions. *Meat Science*, 120, 85–92.
12. Bedrniček, J., Jirotková, D., Kadlec, J., Laknerová, I., Vrchotová, N., Tříška, J., Samková, E., & Smetana, P. (2020). Thermal stability and bioavailability of bioactive compounds after baking of bread enriched with different onion by-products. *Food Chemistry*, 319, 126562.
13. Bejar, A. K., Kechaou, N., & Mihoubi, N. P. (2011). Effect of microwave treatment on physical and functional properties of orange (*Citrus sinensis*) peel and leaves. *Journal of Food Processing & Technology*, 2, 76–89.
14. Belleggia, L., Ferrocino, I., Reale, A., Boscaino, F., Di T., R. M., Cocolin, L., Milanovi, V., Cardinali, F., & Garofalo, C. (2020). Portuguese cacholeira blood sausage: a first taste of its microbiota and volatile organic compounds. *Food Research International*, 136, 109567.
15. Bernardo, P., Patarata, L., Lorenzo, J. M., & Fraqueza, M. J. (2021). Nitrate is nitrate: The status quo of using nitrate through vegetable extracts in meat products. *Foods*, 10, 3019.
16. Blois, M. S. (1958). Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. *Nature*, 181, 1199–1200.
17. Buttery, R. G., & Takeoka, G. R. (2004). Some unusual minor volatile components of tomato. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52, 6264–6266.
18. Candogan, K. (2002). The effect of tomato paste on some quality characteristics of beef patties during refrigerated storage. *European Food Research and Technology*, 215, 305–309.
19. Carballo, J. (2021). Sausages: Nutrition, safety, processing and quality improvement. *Foods*, 10, 890.

20. Carpes, S. T., Pereira, D., Moura, C. de, & Silva, M. E. (2020). Lyophilized and microencapsulated extracts of grape pomace from winemaking industry to prevent lipid oxidation in chicken pâté. *Brazilian Journal of Food Technology*, 23, e2019.
21. Chabi, I. B., Omiyalé, O. J., Dèdèhou, S. E. C. A., Ayégnon, B. P., Idrissou, I., Boya, B., Kpoclou, Y. E., & Kayodé, A. P. P. (2024). Tomato seed (*Solanum lycopersicum*) meal derived from agrifood waste as functional ingredient: Nutritional value, antioxidant and antimicrobial activities, and functional properties. *Journal of Food Processing and Preservation*, 1–11.
22. Chabi, I. B., Zannou, O., Dedehou, E. S. C. A., Ayegnon, B. P., Odouaro, O. B. O., Maqsood, S., Galanakis, C. M., & Kayodé, A. P. P. (2024). Tomato pomace as a source of valuable functional ingredients for improving physicochemical and sensory properties and extending the shelf life of foods: a review. *Heliyon*, 10, e25261.
23. Çolak, H., & Uğur, M. (2002). The effect of different temperature and time in storage on the formation of biogenic amines in fermented sucuks. *Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences*, 26, 13.
24. Collins, J. K., Wu, G., Perkins-Veazie, P., Spears, K., Claypool, P. L., Baker, R. A., & Clevidence, B. A. (2007). Watermelon consumption increases plasma arginine concentrations in adults. *Nutrition*, 23, 261–266.
25. Commission Internationale de l'Eclairage. (1978). *Recommendations on uniform colour spaces, colour difference equations, psychometric color terms; Supplement No. 2*. Bureal Central de la CIE: Paris, France.
26. Concina, I., Falasconi, M., Gobbi, E., Bianchil, F., Musci, M., Mattarozzi, M., Pardo, M., Mangia, A., Careri, M., & Sberveglieri, G. (2009). Differentiation of the volatile profile of microbiologically contaminated canned tomatoes by dynamic headspace extraction followed by gas chromatography-mass spectrometry analysis. *Talanta*, 77, 962–970.
27. de Andrade Lima, M., Kestekoglou, I., Charalampopoulos, D., & Chatzifragkou, A. (2019). Supercritical fluid extraction of carotenoids from vegetable waste matrices. *Molecules*, 24, 466.
28. Deiana, S., & Pinna, C. (2021). Lipolysis in dry-cured meat products: Effects on flavor and aroma. *Applied Sciences*, 11, 9181.
29. Demarquoy, J., Georges, B., Rigault, C., Royer, M. C., Clairet, A., Soty, M., & Le Borgne, F. (2004). Radioisotopic determination of L-carnitine content in foods commonly eaten in Western countries. *Food Chemistry*, 86, 137–142.
30. Devatkal, S., & Naveena, B. M. (2010). Effect of salt, kinnow and pomegranate fruit by-product powders on color and oxidative stability of raw ground goat meat during refrigerated storage. *Meat Science*, 85, 306–311.
31. Doeun, D., Davaatseren, M., & Myung-Sub, C. (2017). Biogenic amines in foods. *Food Science and Biotechnology*, 26, 1463–1474.
32. Domínguez, R., & García-Pérez, J. V. (2021). Microbial dynamics and functional properties of lactic acid bacteria in fermented sausages. *Applied Sciences*, 15, 1129.
33. Domínguez, R., Gullón, P., Pateiro, M., Munekata, P. E. S., Zhang, W., & Lorenzo, J. M. (2021). Tomato as potential source of natural additives for meat industry—A review. *Foods*, 10, 1632.
34. Drosou, C., Laina, K. T., Dimoula, M., Eleni, P. M., Boukouvalas, C. J., Topakas, E., & Krokida, M. (2025). Valorization of tomato by-products: Advanced extraction methods and bioprocessing of bioactive compounds and functional products. *Applied Sciences*, 15, 3914.
35. Elbadrawy, E., & Sello, A. (2016). Evaluation of nutritional value and antioxidant activity of tomato peel extracts. *Arabian Journal of Chemistry*, 9, 1010–1018.
36. Erel, O. (2004). a novel automated direct measurement method for total antioxidant capacity using a new generation, more stable ABTS radical cation. *Clinical Biochemistry*, 37, 277–285.

37. Eslami, E., Carpentieri, S., Pataro, G., & Ferrari, G. (2023). a comprehensive overview of tomato processing by-product valorization by conventional methods versus emerging technologies. *Foods*, 12, 166.
38. FAO. (2021). *Global food losses and food waste – extent, causes and prevention*. SAVE FOOD: An initiative on food loss and waste reduction.
39. Feng, Y., Lin, J., He, G., Liang, L., Liu, Q., Yan, J., et al. (2022). Compositions and biological activities of pomegranate peel polyphenols extracted by different solvents. *Molecules*, 27, 4796.
40. Fernández-López, J., Sendra, E., Sayas-Barberá, E., Navarro, C., & Pérez-Alvarez, J. A. (2008). Physico-chemical and microbiological profiles of “salchichón” (Spanish dry-fermented sausage) enriched with orange fiber. *Meat Science*, 80, 410–417.
41. Ferysiuk, K., & Wójciak, K. M. (2020). Reduction of nitrite in meat products through the application of various plant-based ingredients. *Antioxidants*, 9, 711.
42. Ferysiuk, K., Wójciak, K. M., & Materska, M. (2020). Phytochemical profile of *Silybum marianum* (L.) Gaertn. and *Graminis* rhizoma and its influence on the bioactivity and shelf life of industrially produced pâté. *International Journal of Food Science & Technology*, 55, 1586–1598.
43. Folch, J., Lees, M., & Sloane-Stanley, G. H. (1957). a simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *Journal of Biological Chemistry*, 226, 497–509.
44. Fontana, A. J. (2007). Appendix D: Minimum water activity limits for growth of microorganisms. In *Water Activity in Foods: Fundamentals and Applications*, 405.
45. Frum, A., Dobrea, C. M., Rus, L. L., Virchea, L.-I., Morgovan, C., Chis, A. A., et al. (2022). Valorization of grape pomace and berries as a new and sustainable dietary supplement: Development, characterization, and antioxidant activity. *Nutrients*, 14, 3065.
46. García, M. L., Calvo, M. M., & Selgas, M. D. (2009). Beef hamburgers enriched in lycopene using dry tomato peel as an ingredient. *Meat Science*, 83, 45–49.
47. García, P., Fredes, C., Cea, I., Lozano-Sánchez, J., Leyva-Jiménez, F. J., Robert, P., et al. (2021). Recovery of bioactive compounds from pomegranate (*Punica granatum* L.) peel using pressurized liquid extraction. *Foods*, 10, 203.
48. Garrido, M. D., Auqui, M., Martí, N., & Linares, M. B. (2011). Effect of two different red grape pomace extracts obtained under different extraction systems on meat quality of pork burgers. *LWT - Food Science and Technology*, 44, 2238–2243.
49. Gassara, F., Kouassi, A. P., Brar, S. K., & Belkacemi, K. (2016). Green alternatives to nitrates and nitrites in meat-based products—A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56, 2133–2148.
50. Ghafouri-Oskuei, H., Javadi, A., Asl, M. R. S., Azadmard-Damirchi, S., & Armin, M. (2020). Quality properties of sausage incorporated with flaxseed and tomato powders. *Meat Science*, 161, 107957.
51. Giovanelli, G., & Paradiso, A. (2002). Stability of dried and intermediate moisture tomato pulp during storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, 7277–7281.
52. Gómez, M., & Lorenzo, J. M. (2013). Effect of fat level on physicochemical, volatile compounds and sensory characteristics of dry-ripened “chorizo” from Celta pig breed. *Meat Science*, 95, 658–666.
53. Grasso, S., Estévez, M., Lorenzo, J. M., Pateiro, M., & Ponnampalam, E. N. (2024). The utilisation of agricultural by-products in processed meat products: Effects on physicochemical, nutritional and sensory quality—Invited review. *Meat Science*, 211, 109451.
54. Hamm, W. P., Haller, D., & Ganzle, M. G. (2008). Fermented meat products. In E. R. Farnworth (Ed.), *Handbook of Fermented Functional Foods*, 251–275.

55. Hernández-Fuentes, A. D., López-Vargas, E. R., Pinedo-Espinoza, J. M., Campos-Montiel, R. G., Valdés-Reyna, J., & Juárez-Maldonado, A. (2017). Postharvest behavior of bioactive compounds in tomato fruits treated with Cu nanoparticles and NaCl stress. *Applied Sciences*, 7, 980.
56. Holck, A., Axelsson, L., McLeod, A., Rode, T. M., & Heir, E. (2017). Health and safety considerations of fermented sausages. *Journal of Food Quality*, 2017, 9753894.
57. Hornsey, H. C. (1959). The colour of cooked cured pork. I.—Estimation of the nitric oxide-haem pigments. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 7, 534–540.
58. Hu, Y., Zhang, L., Liu, Q., Wang, Y., Chen, Q., & Kong, B. (2020). The potential correlation between bacterial diversity and the characteristic volatile flavour of traditional dry sausages from Northeast China. *Journal of Food Microbiology*, 91, 103505.
59. Hung, Y., de Kok, T. M., & Verbeke, W. (2016). Consumer attitude and purchase intention towards processed meat products with natural compounds and a reduced level of nitrite. *Meat Science*, 121, 119–126.
60. Hutkins, R. W. (2006). Meat fermentation. In *Microbiology and Technology of Fermented Foods*.
61. Ibrahim, H. I., Hassan, I. M., & Hamed, A. A. M. (2018). Application of lemon and orange peels in meat products: Quality and safety. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7, 2703–2723.
62. ISO/DIS 13299.2. (1998). *Sensory analysis—Methodology—General guidance for establishing a sensory profile*. Polish Committee for Standardization.
63. Jairath, G., Biswas, A. K., Mal, G., & Suman, S. P. (2024). Bioactive compounds in meat: Their roles in modulating palatability and nutritional value. *Meat Muscle Biology*, 8, 16992.
64. Jiang, J., & Xiong, Y. L. (2016). Natural antioxidants as food and feed additives to promote health benefits and quality of meat products: a review. *Meat Science*, 120, 107–117.
65. Jin, S.-K., Choi, J. S., Yang, H.-S., Park, T.-S., & Yim, D.-G. (2018). Natural curing agents as nitrite alternatives and their effects on the physicochemical, microbiological properties and sensory evaluation of sausages during storage. *Meat Science*, 146, 34–40.
66. Juárez, M., Lam, S., Bohrer, B. M., Dugan, M. E. R., Vahmani, P., Aalhus, J., et al. (2021). Enhancing the nutritional value of red meat through genetic and feeding strategies. *Foods*, 10, 872.
67. Jung, S., Choe, J., Kim, B., Yun, H., Kruk, Z. A., & Jo, C. (2010). Effect of dietary mixture of gallic acid and linoleic acid on antioxidative potential and quality of breast meat from broilers. *Meat Science*, 86, 520–526.
68. Kamazani, N. A., Tavakolipour, H., Hasani, M., & Amiri, M. (2014). Evaluation and analysis of the ultrasound-assisted extracted tomato seed oil. *Journal of Food Biosciences and Technology*, 4, 57–66.
69. Karre, L., López, K., & Getty, J. J. (2013). Natural antioxidants in meat and poultry products. *Meat Science*, 94, 220–227.
70. Karwowska, M., & Kononiuk, A. (2020). Nitrates/nitrites in food—Risk for nitrosative stress and benefits. *Antioxidants*, 9, 241.
71. Karwowska, M., & Kononiuk, A. D. (2022). Effect of nitrate reduction and storage time on the antioxidative properties, biogenic amines and amino acid profile of dry fermented loins. *International Journal of Food Science & Technology*, 57, 5477–5487.
72. Kathirvel, P., Gong, Y., & Richards, M. P. (2009). Identification of the compound in a potent cranberry juice extract that inhibits lipid oxidation in comminuted muscle. *Food Chemistry*, 115, 924–932.
73. Kaur, D., Wani, A. A., Oberoi, D. P. S., & Sogi, D. S. (2008). Effect of extraction conditions on lycopene extractions from tomato processing waste skin using response surface methodology. *Food Chemistry*, 108, 711–718.

74. Kaya, M., & Kaban, G. (2024). Volatile compounds of Sucuk, a dry fermented sausage: The effects of ripening rate, autochthonous starter cultures and fat type. *Foods*, 13, 3839.
75. Kim, I. S., Jin, S. K., Yang, M. R., Chu, G. M., Park, J. H., Rashid, R. H. I., Kim, J. Y., & Kang, S. N. (2013). Efficacy of tomato powder as antioxidant in cooked pork patties. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 26, 1339–1346.
76. Knoblich, M., Anderson, B., & Latshaw, D. (2005). Analyses of tomato peel and seed byproducts and their use as a source of carotenoids. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85, 1166–1170.
77. Kosmala, M., Kołodziejczyk, K., Zduńczyk, Z., Juśkiewicz, J., & Boros, D. (2011). Chemical composition of natural and polyphenol-free apple pomace and the effect of this dietary ingredient on intestinal fermentation and serum lipid parameters in rats. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59, 9177–9185.
78. Kowalska, H., Czajkowska, K., Cichowska, J., & Lenart, A. (2017). What's new in biopotential of fruit and vegetable by-products applied in the food processing industry. *Trends in Food Science and Technology*, 67, 150–159.
79. Kulkarni, S., DeSantos, F. A., Kattamuri, S., Rossi, S. J., & Brewer, M. S. (2011). Effect of grape seed extract on oxidative, color and sensory stability of a pre-cooked, frozen, re-heated beef sausage model system. *Meat Science*, 88, 139–144.
80. Kumar, P., Chatli, M. K., Verma, A. K., Mehta, N., Malav, O. P., & Kumar, D. (2017). Quality, functionality, and shelf life of fermented meat and meat products: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57, 2844–2856.
81. Kumar, P., Mehta, N., Malav, O. P., Chatli, M. K., Rathour, M., & Verma, A. K. (2018). Antioxidant and antimicrobial efficacy of watermelon rind extract (WMRE) in aerobically packaged pork patties stored under refrigeration temperature (4 ± 1 °C). *Journal of Food Processing and Preservation*, 42, e13757.
82. Laranjeira, T., Costa, A., Faria-Silva, C., Ribeiro, D., Ferreira de Oliveira, J. M. P., Simões, S., & Ascenso, A. (2022). Sustainable valorization of tomato by-products to obtain bioactive compounds: Their potential in inflammation and cancer management. *Molecules*, 27, 1701.
83. Latlief, S. J., & Knorr, D. (1983). Tomato seed protein concentrates: Effects of methods of recovery upon yield and compositional characteristics. *Journal of Food Science*, 48, 1583–1586.
84. Latorre-Moratalla, M., Bover-Cid, S., Veciana-Nogués, M. T., & Vidal-Carou, M. C. (2012). Control of biogenic amines in fermented sausages: Role of starter cultures. *Frontiers in Microbiology*, 3, 169.
85. Li, Y., Guo, C., Yang, J., Wei, J., Xu, J., & Cheng, S. (2006). Evaluation of antioxidant properties of pomegranate peel extract in comparison with pomegranate pulp extract. *Food Chemistry*, 96, 254–260.
86. Lorenzo, J. M., González-Rodríguez, R. M., Sánchez, M., Amado, I. R., & Franco, D. (2013). Effects of natural (grape seed and chestnut extract) and synthetic antioxidants (butylated hydroxytoluene, BHT) on the physical, chemical, microbiological and sensory characteristics of dry cured sausage “chorizo”. *Food Research International*, 54, 611–620.
87. Lu, Y., et al. (2020). The potential use of fermented tomato by-products in functional meat products. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44, e14673.
88. Lücke, G., & Hammes, W. P. (2021). Fermented sausages: Microbial and biochemical changes during fermentation and drying. *Foods*, 12, 137.
89. Mahmoud, M. H., Abou, A. A., Mohamed, A. F., & Salem, A. (2017). Quality characteristics of beef burger as influenced by different levels of orange peel powder. *American Journal of Food Technology*, 12, 262–270.
90. Malav, L. C. H., Yadav, K. K., Gupta, N., Kumar, S., Sharma, G. K., Krishnan, S., et al. (2020). a review on municipal solid waste as a renewable source for waste-to-energy project

- in India: Current practices, challenges, and future opportunities. *Journal of Cleaner Production*, 277, 123227.
91. Martin, J. G. P., Porto, E., Corrêa, C. B., de Alencar, S. M., da Gloria, E. M., Cabral, I. S. R., et al. (2012). Antimicrobial potential and chemical composition of agro-industrial wastes. *Journal of Natural Products*, 5, 27–36.
 92. Mechmeche, M., Kachouri, F., Chouabi, M., Ksontini, H., Setti, K., & Hamdi, M. (2017). Optimization of extraction parameters of protein isolate from tomato seed using response surface methodology. *Food Analytical Methods*, 10, 809–819.
 93. Membrino, V., Di Paolo, A., Di Crescenzo, T., Cecati, M., Alia, S., & Vignini, A. (2025). Effects of animal-based and plant-based nitrates and nitrites on human health: Beyond nitric oxide production. *Biomolecules*, 15, 236.
 94. Mesárošová, A., Bobková, A., Poláková, K., Demianová, A., Lidiková, J., Kročko, M., Tkáčová, J., Mendelová, A., Švecová, T., & Bobko, M. (2024). The tomato pomace as a potential natural antioxidant in the raw cooked meat product. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 14, 11731.
 95. Milala, J., Kosmala, M., Sójka, M., Kołodziejczyk, K., Zbrzeźniak, M., & Markowski, J. (2013). Plum pomaces as a potential source of dietary fibre: Composition and antioxidant properties. *Journal of Food Science and Technology – Mysore*, 50, 1012–1017.
 96. Nawirska, A., & Kwaśniewska, M. (2005). Dietary fibre fractions from fruit and vegetable processing waste. *Food Chemistry*, 91, 221–225.
 97. Nieto, G., Martínez-Zamora, L., Peñalver, R., Marín-Iniesta, F., Taboada-Rodríguez, A., López-Gómez, A., & Martínez-Hernández, G. B. (2024). Applications of plant bioactive compounds as replacers of synthetic additives in the food industry. *Foods*, 13, 47.
 98. Noda, Y., Kaneyuki, T., Mori, A., & Packer, L. (2002). Antioxidant activities of pomegranate fruit extract and its anthocyanidins: Delphinidin, cyanidin, and pelargonidin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, 166–171.
 99. Nur ‘Aqilah, N. M., Rovina, K., Ling, F. W. X., & Vonnice, J. M. (2023). a review on the potential bioactive components in fruits and vegetable wastes as value-added products in the food industry. *Molecules*, 28, 2631.
 100. Ochoa-Rivas, A., Nava-Valdez, Y., Serna-Saldívar, S. O., & Chuck-Hernández, C. (2017). Microwave and ultrasound to enhance protein extraction from peanut flour under alkaline conditions: Effects in yield and functional properties of protein isolates. *Food and Bioprocess Technology*, 10, 543–555.
 101. Oreopoulou, V., & Tzia, C. (2007). Utilization of plant by-products for the recovery of proteins, dietary fibers, antioxidants, and colorants. In *Utilization of by-products and treatment of waste in the food industry*, 3, 209–232.
 102. Osuna-Martínez, U., Reyes-Esparza, J., & Rodríguez-Fragoso, L. (2014). Cactus (*Opuntia ficus-indica*): a review on its antioxidants properties and potential pharmacological use in chronic diseases. *Natural Products Chemistry & Research*, 2, 153.
 103. Ovcharova, T., Zlatanov, M., & Dimitrova, R. (2016). Chemical composition of seeds of four Bulgarian grape varieties. *Ciência e Técnica Vitivinícola*, 31, 31–40.
 104. Pekala, J., Patkowska-Sokola, B., Bodkowski, R., Jamroz, D., Nowakowski, P., Lochynski, S., & Librowski, T. (2011). L-carnitine—Metabolic functions and meaning in human life. *Current Drug Metabolism*, 12, 667–678.
 105. Pérez-Santaescolástica, C., Carballo, J., Fulladosa, E., Munekata, P. E. S., Bastianello Campagnol, P. C., Gómez, B., & Lorenzo, J. M. (2019). Influence of high-pressure processing at different temperatures on free amino acid and volatile compound profiles of dry-cured ham. *Food Research International*, 116, 49–56.
 106. Pikul, J., Leszczynski, D. E., & Kummerow, F. A. (1989). Evaluation of three modified TBA methods for measuring lipid oxidation in chicken meat. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 37, 1309–1313.

107. Rizzi, G. P. (2008). The Strecker degradation of amino acids: Newer avenues for flavor formation. *Food Reviews International*, 24, 416–435.
108. Safa, H., Gatellier, P., Lebert, A., Picgirard, L., & Mirade, P. S. (2015). Effect of combined salt and animal fat reductions on physicochemical and biochemical changes during the manufacture of dry-fermented sausages. *Food and Bioprocess Technology*, 8, 2109–2122.
109. Sagar, N. A., Pareek, S., Sharma, S., Yahia, E. M., & Lobo, M. G. (2018). Fruit and vegetable waste: Bioactive compounds, their extraction, and possible utilization. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17, 512–531.
110. Saini, R. K., Ranjit, A., Sharma, K., Prasad, P., Shang, X., Gowda, K. G. M., et al. (2022). Bioactive compounds of citrus fruits: a review of composition and health benefits of carotenoids, flavonoids, limonoids, and terpenes. *Antioxidants*, 11, 239.
111. Sakhare, P. Z., & Rao Narasimha, D. (2003). Microbial profiles during lactic fermentation of meat by combined starter cultures at high temperatures. *Food Control*, 14, 1–5.
112. Salem, R. H. (2013). Quality characteristics of beef sausages with tomato peel as a colour and functional additive during frozen storage. *World Applied Sciences Journal*, 22, 1085–1093.
113. Sangeetha, K., Ramyaa, R. B., Mousavi Khaneghah, A., & Radhakrishnan, M. (2023). Extraction, characterization, and application of tomato seed oil in the food industry: An updated review. *Journal of Agriculture and Food Research*, 11, 100529.
114. Sapkota, M., Pereira, L., Wang, Y., Zhang, L., Topcu, Y., Tieman, D., & Knaap, E. (2024). Structural variation underlies functional diversity at methyl salicylate loci in tomato. *PLoS Genetics*, 20, e1011125.
115. Savadkoobi, S., Hoogenkamp, K., Shamsi, A., & Farahnaky, A. (2014). Color, sensory and textural attributes of beef frankfurter, beef ham and meat-free sausage containing tomato pomace. *Meat Science*, 97, 410–418.
116. Schirone, M., Esposito, L., D'Onofrio, F., Visciano, P., Martuscelli, M., Mastrocola, D., & Paparella, A. (2022). Biogenic amines in meat and meat products: a review of the science and future perspectives. *Foods*, 11, 788.
117. Shakil, M. H., Talukder, T. A., Rahman, M., Talukdar, S., Kobun, R., Huda, N., & Zzaman, W. (2022). Nitrites in cured meats, health risk issues, alternatives to nitrites: a review. *Foods*, 11, 3355.
118. Sharma, P., & Yadav, S. (2020). Effect of incorporation of pomegranate peel and bagasse powder and their extracts on quality characteristics of chicken meat patties. *Food Science of Animal Resources*, 40, 410–420.
119. Shashi, B., Kalpana, K., Madhu, S., Bikram, S., & Ahuja, P. S. (2008). Processing of apple pomace for bioactive molecules. *Critical Reviews in Biotechnology*, 28, 285–296.
120. Sidira, M., Kandyli, P., Kanellaki, M., & Kourkoutas, Y. (2016). Effect of curing salts and probiotic cultures on the evolution of flavor compounds in dry-fermented sausages during ripening. *Food Chemistry*, 201, 334–338.
121. Sidor, A., Drożdżyńska, A., & Gramza-Michałowska, A. (2019). Black chokeberry (*Aronia melanocarpa*) and its products as potential health-promoting factors - an overview. *Trends in Food Science and Technology*, 89, 45–60.
122. Silva, F. D., Garcia, V. A. dos S., Vanin, F. M., Yoshida, C. M. P., & de Carvalho, R. A. (2023). Application of tomato byproduct in food products – a review. *Food Science and Engineering*, 4, 103–115.
123. Sip, A., Wieckowicz, M., Olejnik-Schmidt, A., & Grajek, W. (2012). Anti-Listeria activity of lactic acid bacteria isolated from golka, a regional cheese produced in Poland. *Food Control*, 26, 117–124.
124. Sirini, N., Lucas-González, R., Fernández-López, J., Viuda-Martos, M., Pérez-Álvarez, J. A., Frizzo, L. S., Signorini, M. L., Zbrun, M. V., & Rosmini, M. R. (2022). Effect of probiotic *Lactiplantibacillus plantarum* and chestnut flour (*Castanea sativa* Mill) on microbiological

- and physicochemical characteristics of dry-cured sausages during storage. *Meat Science*, 184, 108691.
125. Skwarek, P., & Karwowska, M. (2022). Fatty acids profile and antioxidant properties of raw fermented sausages with the addition of tomato pomace. *Biomolecules*, 12, 1695.
 126. Skwarek, P., & Karwowska, M. (2023). Fruit and vegetable processing by-products as functional meat product ingredients—a chance to improve the nutritional value. *LWT*, 189, 115442.
 127. Skwarek, P., & Karwowska, M. (2025). The effect of tomato pomace on the oxidative and microbiological stability of raw fermented sausages with reduced addition of nitrites. *International Journal of Food Science*, 2025, 6146090.
 128. Song, S. Y., Kim, C. H. H., Im, S. J., & Kim, I. J. (2018). Discrimination of citrus fruits using FT-IR fingerprinting by quantitative prediction of bioactive compounds. *Food Science and Biotechnology*, 27, 367–374.
 129. Soquetta, M. B., Monteiro, S. S., Boeira, C. P., Copetti, C., Polli, V. A., Rosa, C. S. da, & Terra, N. N. (2017). Development and quality of ham pâté with added natural antioxidant kiwi fruit (*Actinidia deliciosa*) skin. *Journal of Nutrition & Food Sciences*, 7, 624.
 130. Soyer, A., Ertas, A. H., & Uzumcuoglu, U. (2005). Effect of processing conditions on the quality of naturally fermented Turkish sausages (sucuks). *Meat Science*, 69, 135–141.
 131. Stadnik, J., & Dolatowski, Z. J. (2015). Free amino acids and biogenic amines content during ageing of dry-cured pork loins inoculated with *Lactobacillus casei* LOCK 0900 probiotic strain. *Food Science Technology Research*, 21, 167–174.
 132. Stajić, S., Skwarek, P., Đurđević, S., Karwowska, M., Pisinov, B., Tomasevic, I., & Kurćubić, V. (2024). Tomato pomace powder as a functional ingredient in minced meat products—Influence on technological and sensory properties of traditional Serbian minced meat product Ćevapi. *Processes*, 12, 1330.
 133. Stanisławczyk, R. (2014). Nitrozoaminy w przetworach mięsnych. *Gospodarka Mięsna*, 10, 16–21.
 134. Stobnicka, A., & Gniewosz, M. (2018). Antimicrobial protection of minced pork meat with the use of swamp cranberry (*Vaccinium oxycoccos* L.) fruit and pomace extracts. *Journal of Food Science and Technology*, 55, 62–71.
 135. Struck, S., & Rohm, H. (2020). Fruit processing by-products as food ingredients. In *Valorization of fruit processing by-products*, 1–16.
 136. Tamkutė, L., Gil, B. M., Carballido, J. R., Pukalskienė, M., & Venskutonis, P. R. (2019). Effect of cranberry pomace extracts isolated by pressurized ethanol and water on the inhibition of food pathogenic/spoilage bacteria and the quality of pork products. *Food Research International*, 120, 38–51.
 137. Tarko, T., Sobusiak, J., & Duda-Chodak, A. (2009). Ways of using waste from the fruit and vegetable industry. *Fermentation and Industry*, 3, 32–34.
 138. Toldrà, F. (1998). Proteolysis and lipolysis in flavour development of dry-cured meat products. *Meat Science*, 49, 101–110.
 139. Toldrà, F. (2006). The role of muscle enzymes in dry-cured meat products with different drying conditions. *Trends in Food Science & Technology*, 17, 164–168.
 140. Toldrà, F. (2012). Biochemistry of fermented meat. In L. M. Nollet, F. Toldrà, S. Benjakul, G. Paliyath, & Y. H. Hui (Eds.), *Food biochemistry and food processing*, 2, 331–343.
 141. Tortosa-Caparrós, E., Navas-Carrillo, D., Marín, F., & Orenes-Piñero, E. (2017). Anti-inflammatory effects of omega 3 and omega 6 polyunsaturated fatty acids in cardiovascular disease and metabolic syndrome. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57, 3421–3429.
 142. Ursachi, C. S., Perta-Crisan, S., & Munteanu, F. D. (2020). Strategies to improve meat products' quality. *Foods*, 9, 1883.

143. Van Ba, H., Seo, H. W., Cho, S. H., Yoon-Seok, K., Jin-Hyoung, K., Jun-Sang, H., Beom-Young, P., & Seong, P. N. (2017). Effects of extraction methods of shiitake by-products on their antioxidant and antimicrobial activities in fermented sausages during storage. *Food Control*, 79, 109–118.
144. Varnaitė, L., Keršienė, M., Šipailienė, A., Kazernavičiūtė, R., Venskutonis, P. R., & Leskauskaitė, D. (2022). Fiber-rich cranberry pomace as food ingredient with functional activity for yogurt production. *Foods*, 11, 758.
145. Vignolo, G., Fontana, C. A., & Fadda, S. (2010). Semidry and dry fermented sausages. *Handbook of Meat Processing*, 379–398.
146. Vilela, D. M., de Oliveira, L., de Alencar, S. M., & da Silva, D. S. (2018). Lipid oxidation in meat: Mechanisms and protective factors—A review. *Food Science and Technology*, 38, 9–20.
147. Wang, Y., Li, L., Liu, H., Zhao, T., Meng, C., Liu, Z., & Liu, X. (2018). Bioactive compounds and in vitro antioxidant activities of peel, flesh and seed powder of kiwi fruit. *International Journal of Food Science and Technology*, 53, 2239–2245.
148. Yalinkilic, B., Kaban, G., & Kaya, M. (2012). The effects of different levels of orange fiber and fat on microbiological, physical, chemical and sensorial properties of sucuk. *Food Microbiology*, 29, 255–259.
149. Yan, Q., Simmons, T. R., Cordell, W. T., Lozada, N. J. H., Breckner, C. J., Chen, X., Jindra, M. A., & Pfleger, B. F. (2020). Metabolic engineering of β -oxidation to leverage thioesterases for production of 2-heptanone, 2-nonanone and 2-undecanone. *Metabolic Engineering*, 61, 335–343.
150. Yilmaz, E., Aydeniz, B., Guneser, O., & Arsunar, E. (2015). Sensory and physico-chemical properties of cold press-produced tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) seed oils. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 92, 833–842.
151. Younis, K., & Ahmad, S. (2015). Waste utilization of apple pomace as a source of functional ingredient in buffalo meat sausage. *Cogent Food & Agriculture*, 1, 1119397.
152. Zanardi, E., Ghidini, S., Battaglia, A., & Chizzolini, R. (2004). Lipolysis and lipid oxidation in fermented sausages depending on different processing conditions and different antioxidants. *Meat Science*, 66, 415–423.
153. Zhang, X., Chen, F., & Wang, M. (2015). Bioactive substances of animal origin. In P. C. Peter, K. Cheung, & M. Bhavbhuti, *Handbook of food chemistry*, 1009–1033.
154. Zhang, Y., Jia, J., Peng, H., Qian, Q., Pan, Z., & Liu, D. (2023). Nitrite and nitrate in meat processing: Functions and alternatives. *Current Research in Food Science*, 6, 100470.

9. Spis tabel i rysunków

Rysunek 1. Ogólny schemat produkcji kielbas surowo dojrzewających.....	34
Tabela 1. Właściwości wybranych produktów zawierających związki bioaktywne.....	21
Tabela 2. Forma dodatku oraz jego efekt działania na wybrane produkty mięsne	28
Tabela 3. Warianty badawcze	35
Tabela 4. Badane parametry kielbas surowo dojrzewających z dodatkiem wytlóków pomidorowych	37
Tabela 5. Etapy weryfikacji hipotezy badawczej.....	42
Tabela 6. Aktywność antyoksydacyjna, ogólna liczba fenoli oraz zawartość związków bioaktywnych w liofilizowanych wytlókach pomidorowych	47
Tabela 7. Parametry barwy (CIE L*, a*, b*) kielbas surowo dojrzewających.....	48
Tabela 8. Aktywność antyoksydacyjna kielbas surowo dojrzewających	49
Tabela 9. Wyniki analiz mikrobiologicznych kielbas surowo dojrzewających	49
Tabela 10. Wartości pH i aktywność wody (a_w) surowo dojrzewających kielbas po przechowywaniu (90 dni)	52
Tabela 11. Parametry barwy (CIE L*a*b*) surowo dojrzewających kielbas po przechowywaniu (90 dni)	52
Tabela 12. Aktywność przeciwutleniająca kielbas surowo dojrzewających po przechowywaniu (90 dni)	53
Tabela 13. Wyniki analiz mikrobiologicznych surowo dojrzewających kielbas po przechowywaniu (90 dni)	54
Tabela 14. Aminy biogenne w surowo dojrzewających kielbasach [mg/kg]	55
Tabela 15. pH i aktywność wody badanych kielbas surowo dojrzewających	57
Tabela 16. Parametry barwy (CIE L*, a*, b*) kielbas surowo dojrzewających	58
Tabela 17. Zawartość żelaza hemowego w doświadczalnych kielbasach surowo dojrzewających	59
Tabela 18. Aktywność antyoksydacyjna oraz stabilność oksydacyjna kielbas surowo dojrzewających	61
Tabela 19. Parametry oceny sensorycznej badanych kielbas surowo dojrzewających	66

10. Publikacje wchodzące w skład rozprawy doktorskiej



Fruit and vegetable processing by-products as functional meat product ingredients -a chance to improve the nutritional value

Patrycja Skwarek, Małgorzata Karwowska^{*}

Department of Animal Raw Materials Technology, University of Life Sciences in Lublin, Skromna 8, 20-704, Lublin, Poland

ARTICLE INFO

Keywords:

Plant food by-products
Processed meat
Antioxidants

ABSTRACT

One of the main challenges the food industry faces is generating an increased amount of waste from processing fruits and vegetables. Fruits and vegetables wastes (e.g., peel fractions, pulps, pomace, and seeds) represent ~16% of total food waste and contribute ~6% to global greenhouse gas emissions. There is a need for greater investments by companies to process and neutralize processed waste properly in order to reduce waste and thus minimize its negative impact on the environment. The addition of various by-products in foods can provide both a viable economic solution through their use, and a substantial health aid through their nutritional and functional value. One possible solution can be using fruit and vegetable by products, such as pomace or peels rich in polyphenols, flavonoids, vitamins, and dietary fibers, as a natural substitutes for nitrates in meat products. They provide compounds that have valuable properties, and reduce the negative environmental impact caused by discarding a significant part of the fruit (seeds and peels). Therefore, this article discusses the scientific literature on the by-products of processed fruit and vegetable rich in antimicrobial and antioxidant bioactive compounds with potential applications in meat products with particular emphasis on grapes, apples, berries and tomatoes. Their use in the production of meat products effectively inhibits oxidation processes and limits the development of pathogens.

1. Introduction

Meat consumption has increased significantly with an increase of 58% in the last 20 years. According to [Whitnall and Pitts \(2019\)](#) an increase in the population resulted in 54% of the growth while the rest was attributed to the increased consumption per capita, shaped by changes in food preferences and the income of consumers. Consumption of meat and meat products in the human diet contributes to the intake of many essential nutrients, including protein, essential fatty acids, and several vitamins and trace minerals, such as zinc and iron ([Juárez, Lam, Bohrer, Dugan, Vahmani, Aalhus, et al., 2021](#)). However, nowadays meat consumption is not only perceived as a source of valuable compounds, but also as a source of various direct and indirect negative consequences related to health, the environment and animal welfare ([Moreira, da Veiga, da Veiga, Reis, & Pascuci, 2022](#)).

In this context, the meat industry is evolving globally, driven mainly by increased consumer requirements for improving the health-promoting properties of meat products and reducing the content of ingredients negatively perceived by the consumer. In order to improve the

nutritional value of meat products, researchers are seeking innovative processing strategies based on limiting the addition of additives (e.g. salt and nitrite/nitrate), the formation of harmful compounds during processing (N-nitrosamines, biogenic amines, and polycyclic aromatic hydrocarbons), and the incorporation of raw materials rich in bioactive components (probiotics, antioxidants, dietary fibers) ([Karwowska, Stadnik, Stasiak, Wójciak, & Lorenzo, 2021](#)).

The oxidation of lipids and proteins and the growth of microorganisms are the main reasons for the quality degradation of meat products. Lipid oxidation can lead to the formation of many breakdown products that deteriorate the smell and taste of meat products. Proteins are also very susceptible to oxidative changes. These changes are associated with the tenderness and succulence of the meat and a color change ([Lund, Heinonen, Baron, & Estévez, 2011](#)). Meat products, in particular, are exposed to lipid oxidation due to the presence of pro-oxidants, such as heme iron. The use of various technologies involving oxygen exposure and the formation of reactive oxygen species can also cause lipid oxidation. The endogenous antioxidant defense in the muscle tissue of the meat partially breaks down after slaughter, thus facilitating the

^{*} Corresponding author.

E-mail addresses: malgorzata.karwowska@up.lublin.pl, malgoskar@gmail.com (M. Karwowska).

<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.115442>

Received 7 November 2022; Received in revised form 17 October 2023; Accepted 19 October 2023

Available online 2 November 2023

0023-6438/© 2023 The Authors. Published by Elsevier Ltd. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

onset of oxidative reactions during the processing and storage of the products. The oxidative degradation of unsaturated fatty acids in processed meat can lead to the formation of an unpleasant taste and loss of valuable fatty acids and vitamins (Domínguez, Pateiro, Gagaoua, Zhang, & Lorenzo, 2019). Therefore, processed meat products use additives with antimicrobial and antioxidant properties. The chemical structure of the antioxidants determines the various interaction mechanisms exhibited by them. According to Dorman, Peltoketo, Hiltunen, and Tikkanen (2003), the different actions of antioxidants include inhibiting a chain reaction initiated by scavenging radicals, decreasing localized oxygen concentrations, the decomposition of peroxides and preventing their conversion to initiating radicals, and the chelation of catalysts, which initiates a chain reaction, such as metal ions. Antioxidants can be divided into two groups: natural and synthetic. Natural antioxidants can further be classified according to their origin (plants, animals, or bacteria) and their chemical structure (e.g. phenols, tocopherols, or vitamin C). The natural antioxidants of plant origin are mainly found in fruits, teas, herbs, seeds, spices, vegetables, and cereals.

Increasing the nutritional value of the meat and using antioxidants from the plant kingdom are some of the effective solutions the meat industry can practice to protect the meat ingredients. However, identifying and selecting a suitable combination of meat products and plant raw materials that contain bioactive compounds is necessary. Some benefits of using plant antioxidants in processed meat products include a significant reduction in rancidity and off-flavor (Akcan, Estévez, & Serdaroglu, 2017). Additionally, the use of plant antioxidants can reduce the concentration of potentially toxic compounds, such as malondialdehyde (Van Hecke, Ho, Goethals, & De Smet, 2017) and cholesterol oxides (Ferreira et al., 2017) in meat products. Research shows that adding antioxidants from edible plants, fruits, and vegetables to meat products and extracts has positive effects on the products. Further, the possible elimination of food additives that raise concern among consumers by using plant materials rich in bioactive compounds in meat processing, thereby keeping in line with the “clean label” trend (Karwowska et al., 2021). Nitrites and nitrates lead to the formation of nitrosamines and other harmful N-nitroso compounds (Demeyer & Smet, 2010).

Globally, the agri-food sector generates large amounts of food waste and by-products, most of which are disposed of in landfills and impact the environment negatively. Additionally, food processing industries can acquire a high economic cost through unsustainable waste disposal. Another issue that needs to be focused on is food waste, which is critical in improving food security and reducing environmental pollution (Tielens & Candel, 2014). From harvesting to retail and consumption, there can be food loss and wastage all along the food supply chain. Globally, there is an average of 30–40% wastage of annual food production. This amounts to around 1.3 billion tonnes of waste generated worldwide each year. In the EU, over 58 million tonnes of food waste (131 kg/inhabitant) are generated annually, with an associated market value estimated at 132 billion euros (Eurostat, 2023). However, over the years, there has been advancement in the management strategies for this type of waste. There has been a development of several sustainable methods, some of which include the use of by-product components in the feed and the extraction of bioactive compounds (Arvanitoyannis & Varzakas, 2008). Fruit and vegetable residues, waste, and by-products are a rich source of nutrients, such as polyphenols, dietary fibers, carotenoids, and vitamins, which are beneficial for our health. The food industry uses the by-products of fruits and vegetables widely. In the recent years, there is a constant increase in the production of these by-products used in several new functional foods (Kowalska, Czajkowska, Cichowska, & Lenart, 2017). Several researchers have studied the importance of fruit and vegetable waste, which is rich in nutrients such as dietary fiber, vitamins, and minerals. Additionally, they are also found to be rich in antioxidants and antimicrobial and antifungal compounds (Al-Zoreky, 2009; García et al., 2021; Kaboré et al., 2022; Kalinowska, Gryko, Wróblewska, Jabłońska Trypuć, & Karpowicz, 2020). For this reason,

their chemical composition, properties and application possibilities in food are of interest to scientists.

2. Fruit and vegetable processing by-products as a source of antioxidants and antimicrobials

Large amounts of by-products are formed due to the production of processed fresh fruits and vegetables. Fruit and vegetable by-products, as raw materials, can be used to obtain valuable bioactive ingredients, as shown in Table 1 and Table 2. They can also be used as a source of antioxidants in the food industry to prevent lipid oxidation, antimicrobial compounds, or as components of functional foods (Kowalska et al., 2017). The properties of by-products have beneficial health properties and can be used to improve the shelf life of food. Recently, fruit processing by-products, such as peels, seeds, and unused flesh, have become interesting scientific subjects (Struck & Rohm, 2020). In general, compositions and biological activities of pomace ingredients (peel, seeds) are usually more favorable compared to the plant raw materials from which the pomace was obtained (Table 2). Various citrus fruits, including pomegranates, are popular and used frequently. The consumer can also benefit from the prebiotic, anti-inflammatory, and anti-proliferative effects of the bioactivity of the phytochemicals present in the composition of these fruits. Studies have been conducted to show the benefits of plant phenols and their metabolites, which modulate endogenous antioxidant and immune systems and affect lipid and glucose metabolism. Commonly, citrus fruits are used for the production of fresh juices or citrus-based drinks in the food industry. Though citrus peels contain large amounts of flavonoids, they are produced as waste (Saini et al., 2022). Numerous flavonoids are present in citrus fruits, which include hesperidin, naringin, narirutin, and neohesperidin (Table 1). These compounds provide health benefits, such as antioxidant, anti-cancer, anti-inflammatory, and cardioprotective effects (Saini et al., 2022). Pomegranate peels, seeds, and juice can also be used for their antioxidant properties. There is a high anthocyanin content in pomegranate juice, dominated by 3-glucosides and 3,5-diglucosides of delphinidin, cyanidin, and pelargonidin (Noda, Kaneyuki, Mori, & Packer, 2002). Punicalagin neutralizes free radicals and inhibits lipid oxidation *in vitro*. Furthermore, the beneficial properties of pomegranates can be attributed to the rich content of anthocyanins, ellagic acid, ellagitannin, punic acid, flavanols, flavan-3-ol, and flavones. Research has shown that pomegranates also have antidiabetic, antibacterial, antiviral, and cytotoxic properties (e.g. against breast cancer cells) and improve oral health. Research carried out by several scientists indicates (Table 2) that the total phenolic content, determined using the Folin-Ciocalteu phenol reagent assay, was many times higher for pomegranate peel (García et al., 2021) compared to whole fruit (Kościuk et al., 2015). Similar relationships concerned total flavonoids, individual phenolic compounds identified and quantified using the HPLC method and the total dietary fiber (Elfalleh et al., 2011; Feng et al., 2022; Hasnaoui, Wathelet, & Jiménez-Araujo, 2014; Hmid, Elothmani, Hanine, Oukabli, & Mehinagic, 2017; Saad, Mir, Hajera, & Mazharuddin, 2010). The results obtained by Feng et al. (2022) indicated the inhibitory effect of pomegranate peel extract toward *S. aureus* as well as antioxidants properties. Total polyphenols, total tannins and punicalagin were positively correlated with the antibacterial strength against *S. aureus*.

Apples, blueberries, blackberries, and black currants and their by-products can also be used for their antioxidant properties in food processing. There is an estimated annual waste of around 3.0–4.2 million tonnes from apple processing (Oreopoulou & Tzia, 2007). Apple is a good source of fiber and contains cellulose, hemicellulose, lignin, and pectin (Nawirska & Kwaśniewska, 2005). Fiber slows down glucose absorption in the gut, lowers cholesterol and low-density lipids, and improves gut health (Kosmala, Kołodziejczyk, Zdunczyk, Juskiwicz, & Boros, 2011). According to a report by Schieber, Hilt, Conrad, Beifuss, and Carle (2002), apple pomace is high in natural antioxidants, such as quercetin glycosides, floridene, and other phenolic components. Several

Table 1
Characteristics of selected bioactive compounds in plant based products.

Name of product	Bioactive component	Properties	References
Plums	carotenoids, flavonoids, phenolic acids neochlorogenic acid, dietary fiber	antioxidant properties	Milala et al. (2013)
Cranberry	phenolic compounds, dietary fiber	antioxidant properties, improve glycemic control and insulin sensitivity in patients with Type 2 diabetes, act as a source of prebiotic oligosaccharides, improve gastrointestinal function via gut microbial ecology and key metabolites originating from gut microbiota, such as short-chain fatty acids	Varnaitė et al. (2022)
Citrus fruits	flavonoids, hesperidin, tangeretin, nobiletin, naringin, narirutin, neohesperidin, limonoids	antioxidant, antimicrobial, anti-cancer, anti-inflammation, antiviral properties	Saini et al. (2022)
Pomegranate	anthocyanins: delphinidin 3,5-diglucoside, cyanidin-3-O-glucoside, pelargonidin-3-O-glucoside, pelargonidin-3,5-di-O-glucoside, ellagic acid, flavanols: flavan-3-ol, flavanol	antioxidant, antidiabetic, hypolipidemic, antibacterial, anti-inflammatory, antiviral and antitumor properties	Noda et al. (2002) Li et al. (2006)
Grapes	dietary fiber, unsaturated fatty acids, mono- and polysaccharides, polyphenols	Antioxidant properties, lowers PGE2 levels, downregulates COX-2 gene expression. deliver antiglycation agents and prevent the formation of toxic glycation end-products	Frum et al. (2022)
Apples	dietary fiber, cellulose, hemicellulose, lignin, pectins, carbohydrates, proteins, mineral substance, polyphenols, floridine	antioxidant properties, slowing of glucose absorption in the intestine, lowering of cholesterol and lipids	Nawirska and Kwaśniewska (2005) Kosmala et al. (2011)
Black chokeberry	polyphenols, anthocyanins, procyanidins, phenolic acids, flavonols and flavanol	antioxidant properties, anticancer activity, antibacterial activity	Sidor et al. (2019)
Tomatoes	lycopene, phenolics, ascorbic acid, vitamins, dietary fiber, unsaturated fatty acids	antioxidant properties	Giovanelli and Paradiso (2002)
Kiwi	vitamins, dietary fibre, potassium, carotenoids, triterpenes, polyphenols, minerals, carbohydrates, phenols, zeaxanthin, β -carotene	antioxidant, anti-inflammation, antibacterial properties	Chamorro et al. (2022) Wang et al. (2018)

studies have shown that apple pomace helps prevent high blood pressure and removes harmful substances, such as free radicals, from the body (Shashi, Kalpana, Madhu, Bikram, & Ahuja, 2008). The results obtained by Krawitzki et al. (2014) and Xu et al. (2016) indicate differences in the total phenolic content in the whole apple, peel and seeds, however, the differences are much smaller than in the case of pomagranate, as mentioned earlier. Therefore, using the pomace of these fruits can increase their nutritional value, while also improving their functional and technological properties. Recently, several scientists have been interested in the berry fruit pomace. As related by Varnaitė et al. (2022), cranberry is especially rich in polyphenols, carotenoids, vitamins, minerals, organic acids, and fiber. The cranberry pomace is especially rich in fiber (ranged from 58.7% to 71.2% of dry matter) and phenols, making it an interesting functional ingredient against foodborne pathogens. Similarly, there are strong antioxidant properties in chokeberries due to the high content of polyphenolic compounds. The chokeberry pomace is also rich in bioactive substances, specifically anthocyanins, procyanidins, flavonols, and phenolic acids. There are numerous health benefits from this fruit. Ethanol extracts from chokeberry pomace decrease the viability and proliferation of cancer cells (Sidor, Drożdżyńska, & Gramza-Michałowska, 2019).

Another interesting and valuable plant material is the tomato. Tomatoes are popular globally since they are rich in lycopene, phenols, organic acids, vitamins, and other beneficial ingredients (Giovanelli & Paradiso, 2002). During the pressing of tomato juice, approximately 3–7% of this raw material is lost. The pomace consists of skins, seeds, and a small amount of flesh. The tomato peel contains large amounts of lycopene, up to five times more than the pulp. According to results obtained by Hernández-Fuentes et al. (2017) tomato peel contains lycopene and β -carotene about twenty times more than the whole tomato. In biological systems, lycopene is the most effective singlet oxygen quencher among carotenoids as it can remove singlet oxygen atoms two and ten times more efficiently than β -carotene and α -tocopherol, respectively (Przybylska, 2020). This ingredient is also responsible for antioxidant activity. In addition, tomato pomace contains other valuable ingredients such as proteins, minerals, and fats. The protein content in tomato seeds is around 30%. The amino acid composition of tomato seed

includes a large amount of lysine, valine, leucine, and threonine. The high arginine content in tomato seeds is particularly noteworthy (2.5%). Though this content is comparable to that of arginine in soybeans or lentils, it is over six times more than in wheat or rye flour. The dry matter of tomato seeds contains 18–22.5% fat due to a high proportion of unsaturated fatty acids (approximately 80%). Among the identified fatty acids, linoleic acid is the highest (about 58%). Significant amounts of oleic, linolenic, palmitic, and stearic acids are also present (Tarko, Sobusiak, & Duda-Chodak, 2009). In the food industry, due to the content of phenols, dietary fiber or unsaturated fatty acids, and essential amino acids in the pomace, its ingredients are most often used in the form of powder as a dietary supplement to various food products.

Globally, grapes are among the most popular and cultivated fruits. Its cultivation covers an area of 7.5 million hectares of vineyards (FAO, 2011). Grape pomace (peels, seeds, and stem fragments) which represents approximately 20–25% of the mass of grapes, are a rich source of phytochemicals (phenolic acids, anthocyanins, resveratrol, and procyanidins) that can contribute to the prevention of chronic diseases due to antioxidant, anti-inflammatory, antiproliferative and antimicrobial properties (Frum, Dobrea, Rus, Virchea, Morgovan, Chis et al., 2022). Plums, which are rich in vitamins, carotenoids, flavonoids, and phenolic acids, are also frequently used. According to Milala et al. (2013), plum pomaces were characterized by 38–49% of total dietary fibre in dry matter, with the soluble fraction accounted for 7–13%. Their antioxidant activity ranged from 10 to 17.4 mikroM TEAC g–1 d. m. The pigmentation of plums is attributed mainly to the action of anthocyanins (cyanidin-3-rutinoside, cyanidin-3-glucoside, and peonidin-3-rutinoside), while the total phenol content results in the intensity of their color.

Globally, fruits and vegetables account for about 45% of food waste (FAO, 2011). About 14.4% of this waste is produced at the agricultural stage, followed by consumption (8.8%), processing (8.5%), distribution (7.1%), and harvest residues (6.9%) (Roselló-Soto, Galanakis, Brnčić, Orlén, Trujillo, Mawson et al., 2016). Due to the valuable technological and nutritional properties of these wastes, reusing them properly can bring significant economic benefits to food processors and provide potential health benefits to consumers. Minimizing the negative impact on

Table 2

Examples of the content of bioactive compounds and methods of their determination in plant raw materials and by-products of their processing.

Name of product	The content of bioactive compounds	Properties	Methods	References
Pomegranate	Total phenolic content (TPC): 1157.7 mg GAE/kg Total Flavonoids (TFs): 14 446–56 989 mg RUE/1000 g Individual phenolic compounds (mg/1000 g): Gallic acid –12.42 – 88.51 Ellagic acid: 23.43–95.02 Caffeic acid: 0.16–1.64 The total dietary fiber: 5.1 g/100 g	Antioxidant properties Antioxidant, anti-cancer properties Antibacterial properties Reducing cholesterol absorption, protecting the cardiovascular system	The TPC was spectrophotometrically quantified using a Folin–Ciocalteu phenol reagent assay The contents of total flavonoids (TFs) measured by absorbance at 517 nm Phenolic compounds were identified and quantified using the HPLC/ultraviolet method The total DF of the pomegranate peel was extracted by the enzymatic method	Kościuk et al. (2015) Hmid et al. (2017) Hmid et al. (2017) Saad et al. (2010)
Pomegranate peel	Total phenolic content (TPC): 125 mg GAE/g Total Flavonoids (TFs): 125.33–156.29 mg RUE/g Individual phenolic compounds (mg/100 g): Gallic acid - 123.79 Ellagic acid: 35.89 Caffeic acid: 20.56 The total dietary fiber: 33.10–62.09 g/100 g	Antioxidant, anti-cancer properties Antioxidant, anti-cancer properties Antibacterial properties Reducing cholesterol absorption, protecting the cardiovascular system	The TPC was spectrophotometrically quantified using a Folin–Ciocalteu phenol reagent assay The contents of total flavonoids (TFs) measured by absorbance at 517 nm Phenolic compounds were identified and quantified using the HPLC/ultraviolet method The total DF of the pomegranate peel was extracted by the enzymatic method	García et al. (2021) Feng et al. (2022) Elfalleh et al. (2011) Hasnaoui et al. (2014)
Tomato	Total phenolic content (TPC): 34.19 mg GAE/100 g Total Flavonoids (TFs): 107.83 mg QUER/100 g Carotene (lycopene, β -carotene): 5.24 mg/100 g 1.13 mg/100 g	Antioxidant properties Antioxidant, anti-cancer properties Antioxidant properties, Prevention of heart disease, effect on the immune system	The TPC was spectrophotometrically quantified using a Folin–Ciocalteu phenol reagent assay The contents of total flavonoids (TFs) measured by absorbance at 404 nm Lycopene and β -carotene measured by absorbance at 453, 505, 645, 663 nm. Then, their content was calculated from the appropriate formulas	Hernández-Fuentes et al. (2017) Hernández-Fuentes et al. (2017) Hernández-Fuentes et al. (2017)
Tomato peel	Total phenolic content (TPC): 71.6–351.6 mg GAE/100 g Total Flavonoids (TFs): 83.7–572.2 mg QUER/100 g Carotene: lycopene 98.73–109.34 β -carotene 27.6–31.16 mg/100 g	Antioxidant properties Antioxidant, anti-cancer properties Antioxidant properties, Prevention of heart disease, effect on the immune system	The TPC was spectrophotometrically quantified using a Folin–Ciocalteu phenol reagent assay The contents of total flavonoids (TFs) measured by absorbance at 404 nm Lycopene and β -carotene measured by absorbance at 453, 505, 645, 663 nm. Then, their content was calculated from the appropriate formulas	Valdez- Morales et al. (2014) Valdez- Morales et al. (2014) Kaboré et al. (2022)
Tomato seeds	Total phenolic content (TPC): 67.3–121.8 mg GAE/100 g Total Flavonoids (TFs): 50.0–69.2 mg QUER/100 g Carotene: lycopene 12.12–27.13 mg/100 g β -carotene 6.28–9.55 mg/100 g	Antioxidant properties Antioxidant, anti-cancer properties Antioxidant properties, Prevention of heart disease, effect on the immune system	The TPC was spectrophotometrically quantified using a Folin–Ciocalteu phenol reagent assay The contents of total flavonoids (TFs) measured by absorbance at 404 nm Lycopene and β -carotene measured by absorbance at 453, 505, 645, 663 nm. Then, their content was calculated from the appropriate formulas	Valdez- Morales et al. (2014) Valdez- Morales et al. (2014) Kaboré et al. (2022)
Apple	Total phenolic content (TPC): 31.9 mg GAE/g Catechin: 0.95 mg/100 g Quercetin: 4.42 mg/100 g	Antioxidant properties Antioxidant properties, Anti-inflammatory properties	The TPC was spectrophotometrically quantified using a Folin–Ciocalteu phenol reagent assay Quantification of individual polyphenols by HPLC	Krawitzki et al. (2014) Dietrich et al. (2004)
Apple peel	Total phenolic content (TPC): 17.16–46.62 mg GAE/g	Antioxidant properties	The TPC was spectrophotometrically quantified using a Folin–Ciocalteu phenol reagent assay	Kalinowska et al. (2020)
Apple seeds	Total phenolic content (TPC): 17.16–46.62 mg GAE/g Catechin: 1.73–3.04 mg/100 g Quercetin: 2.73–5.51 mg/100 g	Antioxidant properties Antioxidant properties, Anti-inflammatory properties	The TPC was spectrophotometrically quantified using a Folin–Ciocalteu phenol reagent assay Quantification of individual polyphenols by HPLC	Xu et al. (2016) Xu et al. (2016)

the environment is also an important factor. According to [Martin et al. \(2012\)](#), most of the by-products of fruit processing with a high content of bioactive compounds can be used as ingredients in the design of functional foods. These raw materials can be used as natural food additives, antioxidants, antimicrobials, dyes, flavorings, and thickeners ([Ayala-Zavala et al., 2011](#)). Therefore, the use of plant food processing by-products as functional ingredients with antioxidant and antibacterial properties in meat processing is gaining popularity.

As mentioned, compositions and biological activities of pomace ingredients (peel, seeds) are usually more favorable compared to the plant raw materials from which the pomace was obtained. Various techniques are used to assess the composition of pomace in terms of the content of bioactive ingredients, most often including spectrophotometric and chromatographic methods.

The characterization of extracts from vegetal products implies the measurement of the total phenolic compounds, total monomeric anthocyanins, antioxidant activity, and color assessment. The Folin–Ciocalteu method is used to determine the total phenolic

compounds.

The qualitative and quantitative analyses of individual phenolic compounds by high-performance liquid chromatography (HPLC) composition of phenolic compounds of pomegranate juices were influenced by the type of cultivar to a large extent.

3. The use of fruit and vegetable processing by-products in meat products

The meat industry is looking for new solutions to increase the nutritional value of meat products, while striving to reduce the use of synthetic additives in favor of natural substances. Fruit and vegetable processing by-products, such as peels and seeds (rich in bioactive substances with potential antioxidant and antimicrobial properties), can be used to manufacture functional meat products, which have healthier benefits for the human body. A functional food can reduce the risk of various chronic disorders, besides offering physiological benefits.

The use of compounds such as nitrites/nitrates used in meat

processing as preservatives is a matter of contention in the scientific community on how human health is impacted. Increasing the content of reactive forms of nitrogen can result in nitrosation stress—a harmful process that can be an important mediator of damage to cellular structures, including lipids, membranes, proteins, and DNA. Since nitrates/nitrites are potentially converted into carcinogenic nitrosamines, their effect on cancer is also taken into consideration (Karwowska & Kono-niuk, 2020).

The examples of the plant food processing by-product and its effect on selected meat products are presented in Table 3. Antioxidant and antimicrobial effects of berries pomace extracts (blackberry, black chokeberry, blueberry, and red currant) on beef patties was evaluated by Babaoğlu, Unal, Dilek, Poçan, and Karakaya (2022). Their findings highlight that these berries' pomace extracts have an inhibitory effect on lipid oxidation during refrigerated storage, although black chokeberry pomace extract had the highest total phenolic and total flavonoid content. The authors concluded that the inhibitory effect of these berry pomace water extracts on lipid oxidation may be attributed to their phenolic compounds, other bioactive compounds and ascorbic acid that provide the main contribution to antioxidant activity. Regarding antimicrobial properties, berry pomace water extracts were more effective in total mesophilic aerobic bacteria, total psychotropic aerobic bacteria and coliform bacteria counts, however, the use of berry pomace water extracts did not exhibit significant effects regarding the lactic acid bacteria and *Staphylococcus* counts during all storage periods.

According to a study by Fernández López, Sendra, Sayas-Barberá, Navarro, & Pérez-Alvarez (2008), the addition of 1% orange by-product had a positive effect on the quality and safety of dry fermented sausages. It was found that it lowered the level of residual nitrites, the effect of which leads to the formation of nitrosamines. In addition, there was an

increase in the micrococcus bacteria, which helps protect the product against the rancidity process and maintain color stability. In a study conducted by Yalinkilic, Kaban, and Kaya (2012), the addition of an orange by-product (4%) to dry fermented Turkish sausage showed reduced proliferation of *Micrococcus* and *Staphylococcus* bacteria. In a study by Song, Kim, Im, and Kim (2018), the use of citrus peel additives reduced the pH value of food due to the action of organic acids such as ascorbic, citric, and tartaric acid. A study by Mahmoud, Abou, Mohamed, and Salem (2017) on the colors of burgers showed the effect of adding lemon peel. An increase in the percentage of orange peel applied at an amount of 5%, 7.5%, and 10% caused a decrease in the brightness value. Due to the presence of carotenoids in powdered orange peel, there was an increase in the share of this by-product and an increase in the intensity of red and yellow colors (Bejar, Kechaou, & Mihoubi, 2011). With the addition of orange peel, there was also a significant increase in the total phenolics content of the samples. Studies by Mahmoud et al. (2017) showed that the total phenol content in beef burgers enriched with orange peel powder was significantly higher than in the control sample. Researchers also focused on the effects of pomegranate by-products, including peels. According to a study by Li et al. (2006), pomegranate peel tissues typically contain more phenols than pomegranate pulp. Devatkal and Naveena (2010) found that pomegranate powder added to ground goat meat showed antioxidant properties and effectively reduced the formation of thiobarbituric acid-reactive substances (TBARS). Similarly, according to Malav, Yadav, Gupta, Kumar, Sharma, Krishnan, et al. (2020), bioactive compounds present in a pomegranate peel, such as phenols and flavonoids, caused an antioxidant effect and inhibited lipid oxidation in chicken patties, resulting in lower TBARS values. Results indicate that pomegranate peels and extracts provide better protection against TBARS

Table 3
The form of the plant food processing by-product and its effect on selected meat products.

Processed meat	The form of additive	Effect	References
Pork meat products (burgers and cooked ham)	Cranberry pomace extracts	Reduction of lipid oxidation (TBARS value), High effectiveness against <i>L. monocytogenes</i>	Tamkutė, Gil, Carballido, Pukalskienė, and Venskutonis (2019)
Pork meat products (burgers and cooked ham)	Chokeberry pomace extract	Inhibition the formation of oxidation products during storage	Tamkutė et al. (2021)
Beef patties	Berry pomace extracts (black chokeberry, blackberry, blueberry and red currant)	Reduction of lipid oxidation during refrigerated storage	Babaoğlu et al. (2022)
Dry fermented sausage	Powdered orange fiber	Decrease in residual nitrite during fermentation, growth of Micrococcaceae (inhibits rancidity and stabilizes color)	Fernández-López, Sendra, Sayas-Barberá, Navarro, and Pérez-Alvarez (2008)
Beef burger	Orange peel powder	Increase in total phenol content, inhibition of fat oxidation, improvement of color (increased redness)	Mahmoud et al. (2017)
Beef burger	Dried and powdered lemon and orange peel	Reduction of lipid oxidation, retardation of microbial growth, prolongation of shelf life, decrease in pH value, tendency to increase in lightness (L*)	Ibrahim, Hassan, and Hamed (2018)
Ground goat meat	Pomegranate seed powder	Lowering the content of thiobarbituric acid reactive substance (TBARS)	Devatkal and Naveena (2010)
Buffalo sausage	Dried powdered apple pomace	Increased water holding capacity, higher L* color parameter, lower fat content	Younis and Ahmad (2015)
Pork burger	Red grape pomace extract	Increasing the content of polyphenols, reducing lipid oxidation, increasing color stability	Garrido, Auqui, Martí, and Linares (2011)
Dry cured sausage	Grape seed extract	Decrease in TBARS value, increase in polyphenol content	Lorenzo, González-Rodríguez, Sánchez, Amado, and Franco (2013)
Beef hamburger	Dry tomato peel	Increase in fiber, lycopene, decrease in L* value, decrease in TBA value, increase in essential unsaturated fatty acids, decrease in nitrite levels	García, Calvo, and Selgas (2009)
Beef sausage	Tomato powder	Decrease in TBARS value	Ghafari-Oskuei, Javadi, Saeidi Asl., Azadmard-Damirchi, & Armin (2020)
Mince pork meat	Swamp Cranberry (<i>Vaccinium oxycoccos</i> L.) pomace extracts	Inhibition of oxidation processes, lowering the pH, inhibiting pathogenic bacteria, decreasing the Lightness L* parameter, increasing a* value	Stobnicka and Gniewosz (2018)
Processed pork	Black chokeberry pomace extracts	Higher antimicrobial efficacy against <i>E. coli</i> , <i>B. cereus</i> and <i>S. aureus</i> , higher total antioxidant capacity, decrease in brightness (L*) and redness (a*) values, decrease in TBARS value	Tamkute, Vaicekauskaitė, and Venskutonis (2021)
Ham Pâté	Kiwi fruit skin	Increase in fiber content, decrease in the value (L*) and increase in the value (a*) with an increase in the concentration of the additive, increase antioxidant activity, decrease in DPPH value	Soquetta et al. (2017)

increase as opposed to butylhydroxytoluen (BHT) and can be used as natural antioxidant sources instead of synthetic antioxidants in poultry meat patties. Al-Zoreky (2009) observed that the inclusion of pomegranate by-products or their extracts in the form of powder improved the nutritional value of chicken patties by increasing the total phenolic content. The powder made from the by-products, which increased the crude fiber content of the patties, provided additional nutritional benefits.

Using apple pomace rich in pectin is a way to increase the nutritional value of meat products while also enriching them with dietary fiber. Apple pomace as a source of functional ingredient in buffalo sausage was investigated by Younis and Ahmad (2015). The study showed that buffalo sausages, with the addition of powdered apple pomace, were highly stable. Due to their high lycopene content, by-products of tomato processing are used as additives to functional meat products. Ghafouri-Oskuei, Javadi, Saeidi Asl, Azadmard-Damirchi, & Armin (2020) examined the quality of beef sausage containing tomato powder in three concentrations (0%, 1.5%, and 3%). There was a reduction in the pH value and the residual nitrite value, and an increase in the protein and fiber content. Researchers are also interested in studying the use of kiwi by-products as raw material. Wang et al. (2018) confirmed that the powder obtained by freeze-drying the peel, flesh, and seeds of the kiwi fruit contained large amounts of phenolic compounds, mainly protocatechuic acid, chlorogenic acid, caffeic acid, rutin, *p*-hydroxybenzoic acid, and quercetin. Powders obtained from the kiwi peel, pulp, and seeds are a source of dietary fiber and bioactive compounds with antioxidant activity. However, these powders contained more bioactive compounds and showed greater antioxidant activities than the powders made from pulp and seeds. A study by Soquetta, Monteiro, Boeira, Copetti, Polli, Severo da Rosa, & Terra (2017) showed that the kiwi fruit peel flour acted as a natural antioxidant and may help reduce lipid oxidation in meat products. There was also an increase in the content of dietary fiber in the finished product.

4. Conclusion

The waste generated from fruit and vegetable processing is one of the most important obstacles faced by food processing companies, since this raises environmental problems. However, residues, such as peels and seeds, are rich in bioactive substances with potential antioxidant and antimicrobial properties. The antioxidant and antimicrobial action stands out as the main bioactive property of fruits and vegetable pomace, being attributed to its rich phenolic composition. Considering that oxidative processes are responsible for the deterioration of lipids, proteins and pigments in meat, the use of fruits and vegetable pomace as an antioxidant agent promotes the maintenance of the nutritional and sensory quality of meat and meat products. Additionally, their properties provide an opportunity to reduce the addition of nitrates in the production of meat products. Therefore, the use of such fruit and vegetable by-products is critical to reduce their impact on the environment. The development of functional meat products with beneficial health properties should be further studied, and such products must be more widely used in the meat industry.

Funding

This research was supported by project no. SD/80/TZ/2023 provided by University of Life Sciences in Lublin, Poland.

CRediT authorship contribution statement

Patrycja Skwarek: Writing – original draft. **Małgorzata Karwowska:** Conceptualization, Supervision, Writing – review & editing.

Declaration of competing interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Data availability

No data was used for the research described in the article.

References

- Akcan, T., Estévez, T., & Serdaroglu, M. (2017). Antioxidant protection of cooked meatballs during frozen storage by whey protein edible films with phytochemicals from *Laurus nobilis* L. and *Salvia officinalis*. *LWT - Food Science and Technology*, 77, 323–331.
- Al-Zoreky, N. S. (2009). Antimicrobial activity of pomegranate (*Punica granatum* L.) fruit peels. *International Journal of Food Microbiology*, 134, 244–248.
- Arvanitoyannis, I. S., & Varzakas, T. H. (2008). Vegetable waste treatment: Comparison and critical presentation of methodologies. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 48, 205–247.
- Ayala-Zavala, J. F., Vega-Vega, V., Rosas-Domínguez, C., Palafox-Carlos, H., Villa-Rodríguez, J. A., Siddiqui, M. W., et al. (2011). Agro-industrial potential of exotic fruit byproducts as a source of food additives. *Food Research International*, 44, 1866–1874.
- Babaoglu, A. S., Unal, K., Dilek, N. M., Poçan, H. B., & Karakaya, M. (2022). Antioxidant and antimicrobial effects of blackberry, black chokeberry, blueberry, and red currant pomace extracts on beef patties subject to refrigerated storage. *Meat Science*, 187, Article 108765.
- Bejar, A. K., Kechaou, N., & Mihoubi, N. P. (2011). Effect of microwave treatment on physical and functional properties of orange (*Citrus sinensis*) peel and leaves. *Journal of Food Processing & Technology*, 2, 76–89.
- Demeyer, D. I., & Smet, S. D. (2010). The recommendation to limit or avoid consumption of processed meat is justified because of the association with the incidence of colorectal cancer and justifies the use of alternatives for nitrite in meat processing. *Nitric Oxide*, 23, 150–151.
- Devatkal, S., & Naveena, B. M. (2010). Effect of salt, kinnow and pomegranate fruit by-product powders on color and oxidative stability of raw ground goat meat during refrigerated storage. *Meat Science*, 85, 306–311.
- Domínguez, R., Pateiro, M., Gagaoua, M., Zhang, W., & Lorenzo, J. M. (2019). A comprehensive review on lipid oxidation in meat and meat products. *Antioxidants*, 8, 429. <https://doi.org/10.3390/antiox8100429>
- Dorman, H. J. D., Peltoketo, A., Hiltunen, R., & Tikkanen, M. J. (2003). Characterisation of the antioxidant properties of de-odourised aqueous extracts from selected Lamiaceae herbs. *Food Chemistry*, 83, 255–262.
- Elfalleh, W., Tlili, N., Nasri, N., Yahia, Y., Hannachi, H., Chaira, N., et al. (2011). Antioxidant capacities of phenolic compounds and tocopherols from Tunisian pomegranate (*Punica granatum*) fruits. *Journal of Food Science*, 76, 5.
- Eurostat. (2023). *Food waste and food waste prevention – estimates*. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Food_waste_and_food_waste_prevention_-_estimates. October 2023.
- FAO. (2011). *Global food losses and food waste - extent, causes and prevention*. SAVE FOOD: An initiative on food loss and waste reduction. <http://www.fao.org/3/a12697e.pdf>. (Accessed 23 January 2020).
- Feng, Y., Lin, J., He, G., Liang, L., Liu, Q., Yan, J., et al. (2022). Compositions and biological activities of pomegranate peel polyphenols extracted by different solvents. *Molecules*, 27, 4796.
- Fernández-López, J., Sendra, E., Sayas-Barberá, E., Navarro, C., & Pérez-Alvarez, J. A. (2008). Physico-chemical and microbiological profiles of “salchichón” (Spanish dry-fermented sausage) enriched with orange fiber. *Meat Science*, 80, 410–417.
- Ferreira, F. S., Sampaio, G. R., Keller, L. M., Sawaya, A. C., Chávez, D. W., Torres, E. A., et al. (2017). Impact of air frying on cholesterol and fatty acids oxidation in sardines: Protective effects of aromatic herbs. *Journal of Food Science*, 82, 2823–2831.
- Frum, A., Dobrea, C. M., Rus, L. L., Virchea, L.-I., Morgovan, C., Chis, A. A., et al. (2022). Valorization of grape pomace and berries as a new and sustainable dietary supplement: Development, characterization, and antioxidant activity. *Nutrients*, 14, 3065. <https://doi.org/10.3390/nu14153065>
- García, M. L., Calvo, M. M., & Selgas, M. D. (2009). Beef hamburgers enriched in lycopene using dry tomato peel as ingredient. *Meat Science*, 83(1), 45–49.
- García, P., Fredes, C., Cea, I., Lozano-Sánchez, J., Leyva-Jiménez, F. J., Robert, P., et al. (2021). Recovery of bioactive compounds from pomegranate (*Punica granatum* L.) peel using pressurized liquid extraction. *Foods*, 10, 203.
- Garrido, M. D., Auqui, M., Martí, N., & Linares, M. B. (2011). Effect of two different red grape pomace extracts obtained under different extraction systems on meat quality of pork burgers. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*, 44, 2238–2243.
- Giovannelli, G., & Paradiso, A. (2002). Stability of dried and intermediate moisture tomato pulp during storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, 7277–7281.
- Hasnaoui, N., Wathetel, B., & Jiménez-Araujo, A. (2014). Valorization of pomegranate peel from 12 cultivars: Dietary fibre composition, antioxidant capacity and functional properties. *Food Chemistry*, 160, 196–203.
- Hernández-Fuentes, A. D., López-Vargas, E. R., Pinedo-Espinoza, J. M., Campos-Montiel, R. G., Valdés-Reyna, J., & Juárez-Maldonado, A. (2017). Postharvest

- behavior of bioactive compounds in tomato fruits treated with Cu nanoparticles and NaCl stress. *Applied Sciences*, 7, 980.
- Hmid, I., Ellothmani, D., Hanine, H., Oukabli, A., & Mehinagic, E. (2017). Comparative study of phenolic compounds and their antioxidant attributes of eighteen pomegranate (*Punica granatum* L.) cultivars grown in Morocco. *Arabian Journal of Chemistry*, 10, 2675–2684.
- Ibrahim, H. M., Hassan, I. M., & Hamed, A. A. M. (2018). Application of lemon and orange peels in meat products: Quality and safety. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(4), 2703–2723.
- Juárez, M., Lam, S., Bohrer, B. M., Dugan, M. E. R., Vahmani, P., Aalhus, J., et al. (2021). Enhancing the nutritional value of red meat through genetic and feeding strategies. *Foods*, 10, 872. <https://doi.org/10.3390/foods10040872>
- Kaboré, K., Konaté, K., Bazié, D., Dakuyo, R., Sanou, A., Sama, H., et al. (2022). Effects of growing zones on nutritional and bioactive compounds of by-products of two tomato cultivars. *Journal of Agriculture and Food Research*, 10, Article 100414.
- Kalinowska, M., Gryko, K., Wróblewska, A. M., Jabłońska Trypuć, A., & Karpowicz, D. (2020). Phenolic content, chemical composition and anti-/pro oxidant activity of Gold Milenium and Papierowka apple peel extracts. *Scientific Reports*, 10, Article 14951.
- Karwowska, M., & Kononiuk, A. (2020). Nitrates/nitrites in food—risk for nitrosative stress and benefits. *Antioxidants*, 9, 241. <https://doi.org/10.3390/antiox9030241>
- Karwowska, M., Stadnik, J., Stasiak, D. M., Wójcik, K., & Lorenzo, J. M. (2021). Strategies to improve the nutritional value of meat products: Incorporation of bioactive compounds, reduction or elimination of harmful components and alternative technologies. *International Journal of Food Science and Technology*, 56, 6142–6156.
- Kościuk, M., Tarasiuk, I., Czurak, A., Szydlik, J., Perłowski, J., Torbic, G., et al. (2015). Antioxidant activity of selected exotic fruit. *Bromatologia. Chemia. Toksykologia*, XLVIII(3), 407–411.
- Kosmala, M., Kołodziejczyk, K., Zdunczyk, Z., Juskiewicz, J., & Boros, D. (2011). Chemical composition of natural and polyphenol-free apple pomace and the effect of this dietary ingredient on intestinal fermentation and serum lipid parameters in rats. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59, 9177–9185.
- Kowalska, H., Czajkowska, K., Cichowska, J., & Lenart, A. (2017). What's new in biopotential of fruit and vegetable by-products applied in the food processing industry. *Trends in Food Science and Technology*, 67, 150–159.
- Li, Y., Guo, C., Yang, J., Wei, J., Xu, J., & Cheng, S. (2006). Evaluation of antioxidant properties of pomegranate peel extract in comparison with pomegranate pulp extract. *Food Chemistry*, 2, 254–260.
- Lorenzo, J. M., González-Rodríguez, R. M., Sánchez, M., Amado, I. R., & Franco, D. (2013). Effects of natural (grape seed and chestnut extract) and synthetic antioxidants (butylatedhydroxytoluene, BHT) on the physical, chemical, microbiological and sensory characteristics of dry cured sausage “chorizo”. *Food Research International*, 54, 611–620.
- Lund, M. N., Heinonen, M., Baron, C. P., & Estévez, M. (2011). Protein oxidation in muscle foods: A review. *Molecular Nutrition & Food Research*, 55, 83–95.
- Mahmoud, M. H., Abou, A. A., Mohamed, A. F., & Salem, A. (2017). Quality characteristics of beef burger as influenced by different levels of orange peel powder. *American Journal of Food Technology*, 12, 262–270.
- Malav, L. C. H., Yadav, K. K., Gupta, N., Kumar, S., Sharma, G. K., Krishnan, S., et al. (2020). A review on municipal solid waste as a renewable source for waste-to-energy project in India: Current practices, challenges, and future opportunities. *Journal of Cleaner Production*, 277, Article 123227.
- Martin, J. G. P., Porto, E., Corrêa, C. B., de Alencar, S. M., da Gloria, E. M., Cabral, I. S. R., et al. (2012). Antimicrobial potential and chemical composition of agro-industrial wastes. *Journal of Natural Products*, 5, 27–36.
- Milala, J., Kosmala, M., Sójka, M., Kołodziejczyk, K., Zbrzeźniak, M., & Markowski, J. (2013). Plum pomaces as a potential source of dietary fibre: Composition and antioxidant properties. *Journal of Food Science and Technology – Mysore*, 50(5), 1012–1017.
- Moreira, M. N. B., da Veiga, C. P., da Veiga, C. R. P., Reis, G. G., & Pascuci, L. M. (2022). Reducing meat consumption: Insights from a bibliometric analysis and future scopes. *Fut. Foods*, 5. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2022.100120>
- Nawirska, A., & Kwaśniewska, M. (2005). Dietary fibre fractions from fruit and vegetable processing waste. *Food Chemistry*, 91, 221–225.
- Noda, Y., Kaneyuki, T., Mori, A., & Packer, L. (2002). Antioxidant activities of pomegranate fruit extract and its anthocyanidins: Delphinidin, cyanidin, and pelargonidin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, 166–171.
- Oreopoulou, V., & Tzia, C. (2007). Utilization of plant by-products for the recovery of proteins, dietary fibers, antioxidants, and colorants. *Utilization of by-products and treatment of waste in the food industry*, 3, 209–232.
- Przybylska, S. (2020). Lycopene – a bioactive carotenoid offering multiple health benefits: A review. *International Journal of Food Science and Technology*, 55(1), 11–32.
- Saad, S. D., Mir, N. A., Hajera, T., & Mazharuddin, K. (2010). Studies on antibacterial and antifungal activity of pomegranate (*punica granatum* L.). *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental*, 9, 273–28.
- Saini, R. K., Ranjit, A., Sharma, K., Prasad, P., Shang, X., Gowda, K. G. M., et al. (2022). Bioactive compounds of citrus fruits: A review of composition and health benefits of carotenoids, flavonoids, limonoids, and terpenes. *Antioxidants*, 11(2), 239. <https://doi.org/10.3390/antiox11020239>
- Schieber, A., Hilt, P., Conrad, J., Beifuss, U., & Carle, R. (2002). Elution order of quercetin glycosides from apple pomace extracts on a new HPLC stationary phase with hydrophilic endcapping. *Journal of Separation Science*, 25, 361–364.
- Shashi, B., Kalpana, K., Madhu, S., Bikram, S., & Ahuja, P. S. (2008). Processing of apple pomace for bioactive molecules. *Critical Reviews in Biotechnology*, 28, 285–296.
- Sidor, A., Drożdżyńska, A., & Gramza-Michałowska, A. (2019). Black chokeberry (*Aronia melanocarpa*) and its products as potential health-promoting factors - an overview. *Trends in Food Science and Technology*, 89, 45–60.
- Song, S. Y., Kim, C. H. H., Im, S. J., & Kim, I. J. (2018). Discrimination of citrus fruits using FT-IR fingerprinting by quantitative prediction of bioactive compounds. *Food Science and Biotechnology*, 27, 367–374.
- Stobnicka, A., & Gniewosz, M. (2018). Antimicrobial protection of minced pork meat with the use of Swamp Cranberry (*Vaccinium oxycoccos* L.) fruit and pomace extracts. *Journal of Food Science and Technology*, 55, 62–71.
- Struck, S., & Rohm, H. (2020). Fruit processing by-products as food ingredients. In *Valorization of fruit processing by-products* (pp. 1–16). Academic Press.
- Tamkutė, L., Gil, B. M., Carballido, J. R., Pukalskienė, M., & Venskutonis, P. R. (2019). Effect of cranberry pomace extracts isolated by pressurized ethanol and water on the inhibition of food pathogenic/spoilage bacteria and the quality of pork products. *Food Research International*, 120, 38–51.
- Tamkutė, L., Vaicekauskaitė, R., Melero, B., Jaime, I., Rovira, J., & Venskutonis, P. R. (2021). Effects of chokeberry extract isolated with pressurized ethanol from defatted pomace on oxidative stability, quality and sensory characteristics of pork meat products. *LWT - Food Science and Technology*, 150, Article 111943.
- Tamkute, L., Vaicekauskaitė, R., & Venskutonis, R. (2021). Black chokeberry (*aronia melanocarpa* L.) pomace extracts inhibit food pathogenic and spoilage bacteria and increase microbiological safety of pork products. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45, 82–89.
- Tarko, T., Sobusiak, J., & Duda-Chodak, A. (2009). Ways of using waste from the fruit and vegetable industry. *Fermentation and Industry*, 3, 32–34.
- Tielens, J., & Candel, J. J. L. (2014). Reducing food wastage, improving food security? *Food and Business Knowledge Platform*, 5, 80–83.
- Van Hecke, T., Ho, P. L., Goethals, S., & De Smet, S. (2017). The potential of herbs and spices to reduce lipid oxidation during heating and gastrointestinal digestion of a beef product. *Food Research International*, 102, 785–787.
- Varnaitė, L., Kersienė, M., Šipailienė, A., Kazemavičiūtė, R., Venskutonis, P. R., & Leskauskaitė, D. (2022). Fiber-rich cranberry pomace as food ingredient with functional activity for yogurt production. *Foods*, 11, 758. <https://doi.org/10.3390/foods11050758>
- Wang, Y., Li, L., Liu, H., Zhao, T., Meng, C., Liu, Z., et al. (2018). Bioactive compounds and in vitro antioxidant activities of peel, flesh and seed powder of kiwi fruit. *International Journal of Food Science and Technology*, 53(9), 2239–2245.
- Whitnall, T., & Pitts, N. (2019). Global trends in meat consumption. *Agricultural Commodities*, 9, 96–99.
- Xu, Y., Fan, M., Ran, J., Zhang, T., Sun, H., Dong, M., et al. (2016). Variation in phenolic compounds and antioxidant activity in apple seeds of seven cultivars. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 23, 379–388.
- Yalinkilic, B., Kaban, G., & Kaya, M. (2012). The effects of different levels of orange fiber and fat on microbiological, physical, chemical and sensorial properties of sucuk. *Food Microbiology*, 29, 255–259.
- Younis, K., & Ahmad, S. (2015). Waste utilization of apple pomace as a source of functional ingredient in buffalo meat sausage. *Cogent Food & Agriculture*, 1, Article 1119397. <https://doi.org/10.1080/23311932.2015.1119397>

Article

Fatty Acids Profile and Antioxidant Properties of Raw Fermented Sausages with the Addition of Tomato Pomace

Patrycja Skwarek  and Małgorzata Karwowska * 

Department of Animal Food Technology, Sub-Department of Meat Technology and Food Quality,
University of Life Sciences in Lublin, Skromna 8, 20-704 Lublin, Poland

* Correspondence: malgorzata.karwowska@up.lublin.pl; Tel.: +48-697390342

Abstract: The aim of the study was to evaluate the effect of tomato pomace (TP) on physicochemical parameters and fatty acid profile as well as antioxidant properties of dry fermented sausages with a reduced content of nitrites. Four different sausage formulations were prepared: control sample, and samples with 0.5%, 1% and 1.5% addition of freeze-dried TP. The sausages were analyzed for: chemical composition, pH and water activity, fatty acid profile, color parameters, biogenic content, and number of lactic acid bacteria and *Enterobacteriaceae*. The antioxidant properties were also assessed depending on the amount of TP used. The products were characterized by similar water activity and pH in the range of 0.877–0.895 and 4.55–4.81, respectively. The effect of the addition of freeze-dried TP on an increase in antioxidant activity along with an increase in the concentration of the additive was observed. This phenomenon was most likely due to the strong antioxidant properties of tomato as well as the high content of lycopene. The antimicrobial properties of TP in raw fermented sausages were also noted as the product with the highest concentration of pomace had the lowest number of *Enterobacteriaceae*. In addition, sausages with reduced levels of nitrites to which TP was added were characterized by a higher redness, which will probably have a positive impact on the assessment consumers make of them. The most promising results were obtained for the dry fermented sausage with 1.5% addition of TP.

Keywords: tomato pomace; raw fermented sausage; antioxidant properties; fatty acid profile



Citation: Skwarek, P.; Karwowska, M. Fatty Acids Profile and Antioxidant Properties of Raw Fermented Sausages with the Addition of Tomato Pomace. *Biomolecules* **2022**, *12*, 1695. <https://doi.org/10.3390/biom12111695>

Academic Editor: Natália Cruz-Martins

Received: 10 October 2022

Accepted: 12 November 2022

Published: 16 November 2022

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright: © 2022 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introduction

The level of consumption of meat products on a world scale is constantly increasing. World meat consumption has quadrupled since 1961 per capita [1]. This is mainly due to the modern lifestyle, but also to the fact that most of the other available products are poor in valuable nutrients such as heme iron, protein, and natural antioxidants [2]. The meat sector is therefore considered to be one of the most important in the world [3]. Meat is an essential part of the human diet, mainly due to its nutritional values and organoleptic features. Among the many types of meat products, dry-fermented sausages are of particular importance for consumers, as they are considered to be a healthy and safe food [4]. Fermented meat is included in the human diet as an important component due to its nutritional value, shelf-life and special sensory features [5]. The characteristic aroma as well as the taste that make them unique are considered the most important attributes that strongly influence the acceptance and preferences of modern consumers [6,7]. The popularity of these meat products is related to the growing demand for products with extended shelf life, and fermentation is one of the favored techniques traditionally used for this purpose [8,9]. The shelf life is extended thanks to the use of lactic acid bacteria (LAB) in this technique. These bacteria are responsible for the acidification, desirable taste, color and texture of the products, and for preventing the growth of pathogenic microorganisms. As a result, the stability, safety and shelf life of sausages is improved [7,10–12]. The use of fermentation to preserve the meat also avoids the loss of valuable compounds [13–15]. As

oxidative processes and the growth of pathogenic microorganisms shorten the shelf life of products [16,17], the production of meat products with high storage stability requires the use of antioxidant and antimicrobial additives [18]. In this context, nitrogen compounds are widely used additives in meat processing, primarily as an inhibitor of the growth of certain pathogens; additionally, they give the products a characteristic red-pink color and their unique taste [19]. However, despite the benefits resulting from their use, they are considered unhealthy due to the potential formation of carcinogenic N-nitroso compounds, especially N-nitrosamines [20]. In recent years, therefore, there has been a growing interest in the elimination or reduction of these synthetic additives, and focusing on production that is towards the “clean label” trend [21]. The increase in people’s awareness of the relationship between diet and health, along with new processing technologies, have both heightened interest in the development of new, healthy food products. Among these, much attention has been paid to the development of functional food products enriched with natural functional bioactive compounds. It has been shown that many bioactive compounds, such as carotenoids, extracted from natural sources, exhibit antimicrobial, antibacterial, antifungal, antiviral, anti-inflammatory or antioxidant properties [22]. Food industry by-products are a good source of natural antioxidants and antimicrobials, and are an alternative to the conventional antioxidants currently used [23].

The tomato is one of the most famous vegetables in the world. It is an excellent source of nutrients such as lycopene, proteins, organic acids and vitamins [24]. Tomatoes are used in the food industry to create a wide variety of products, however it is the peel and seeds that are among the underused parts of tomatoes that contribute to food waste [25]. The processing of tomatoes produces tomato pomace, of which 60% are seeds and 40% are skins [26]. The studies conducted so far indicate the valuable nutritional value of tomato pomace. It has been shown that due to the presence of antioxidant compounds, especially flavonoids, they prevent cancer and cardiovascular diseases [27,28]. There is increasing evidence to support the health benefits of carotenoid consumption [29]. Therefore, obtaining them from tomato skin can be an excellent solution to benefit from them and reduce losses during processing. Direct addition of these by-products to meat products may therefore be a cheaper solution than isolating lycopene from them [30]. Moreover, due to thermal stability and antioxidant properties, tomato seed extracts can be used for food preservation [31,32]. So far, research has been conducted on the use of tomato by-products as an additive to meat products, such as frankfurters, beef patties [33,34] or dry fermented sausages enriched with lycopene [31]. Eyiler and Oztan [35] reported that dried tomato powder reduces the level of nitrite residues in frankfurters and also acts as a natural coloring agent. Wang et al. [36] showed, however, that tomato skin powder proved to be an excellent substitute for fat in sausages. The results showed that the inclusion of tomato skin powder reduced the total amount of animal fat by 0.5–3.0% (*w/w*) as well as improved the fatty acid profile and reduced lipid oxidation in the final product. There is also a lot of research in the world literature on the potential of plant by-products as a source of natural antioxidants, which are increasingly used as food additives and functional food ingredients. Therefore, the isolation of these bioactive compounds from by-products such as tomato pomace, which are produced in the agri-food chain, may be one of the promising ways to meet the growing demand for natural antioxidants [37,38]. In this context, the use of tomato pomace in meat products in order to reduce nitrite/nitrate as well as improve the color of the product and increase its antioxidant activity is an innovative and interesting solution that needs to be explored. However, further research is first required to fully understand the role of tomato pomace on sausage stability.

The aim of this study was therefore to evaluate the effect of tomato pomace on physicochemical parameters, fatty acid profile and antioxidant properties of dry fermented sausages with reduced nitrite content. The antioxidant properties of tomato pomace were investigated. The sausages were analyzed after the end of production, including: chemical composition, pH and water activity, fatty acid profile, color parameters (CIE $L^*a^*b^*$), antioxidant properties against ABTS + (2,2'-Azino-bis-(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic

acid) and DPPH (2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl) radicals. Microbiological analyses and tests for the presence of biogenic amines were also performed.

2. Materials and Methods

2.1. Tomato Pomace (TP) Preparation and Analysis

The material for the research was one variety of tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.) purchased at a local supermarket. The tomatoes were washed and then pressed in a kitchen press to obtain tomato pomace, which was used as a tomato by-product for further analysis. The pomace of this vegetable was freeze-dried using a freeze dryer (Labconco Free-Zone, USA) at the temperature $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$. The dried material was ground in a laboratory mill to obtain a test powder. The dried products were placed in airtight containers and stored at $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Thus prepared, freeze-dried TP (called TP) was analyzed in accordance with the following methods.

2.1.1. Antioxidant Activity of TP

The antioxidant activity of TP was evaluated in methanolic extracts which were obtained by mixing 5 g of the homogenized TP samples with 100 mL of methanol under constant stirring using an incubator shaker at 150 rpm and $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ for 3 h. After that, the extracts were filtered using Whatman No. 1 filter paper (Whatman, Fisher Scientific, Schwerte, Germany).

DPPH Radical Scavenging Activity

The anti-radical ability of TP extracts was evaluated according to Brand-Williams et al. [39] and Vinha et al. [40] with minor modifications. The DPPH radical cation was produced by keeping the DPPH stock solution in the dark at room temperature for 30 min to allow the completion of radical generation. This solution was then diluted with methanol so that its absorbance was adjusted to 0.90 ± 0.02 at 517 nm. TP extracts (300 microliters) were mixed with 2.7 mL of methanolic DPPH. The mixture was shaken and absorbance reading was performed at 517 nm. The DPPH capacity was calculated from a standard curve of Trolox equivalent and expressed as mg per mg.

ABTS⁺ Radical Scavenging Activity

The potential of extracts for radical scavenging was tested using the methanolic solution of ABTS according to Re et al. [41], Tarko et al. [42] and Gaafar et al. [43] with minor modifications. ABTS⁺ (7 mM) was dissolved in methanol and the final solution was diluted in methanol to an absorbance of 0.7 ± 0.02 at 734 nm. ABTS was dissolved in distilled water to a 7 mM concentration. The ABTS radical cation was produced by dosing the ABTS stock solution with 2.45 mM potassium persulfate (final concentration) in the dark at room temperature for 12–16 h to allow the completion of radical generation. This solution was then diluted with methanol so that its absorbance was adjusted to 0.70 ± 0.02 at 734 nm. TP extracts (500 μL) were mixed with 1 mL of methanolic ABTS⁺. The mixture was shaken and absorbance readings were performed at 734 nm. The ABTS + capacity were calculated from a standard curve of Trolox equivalent and expressed as mg per mg.

2.1.2. Total Phenolics Content (TPC)

The amount of total phenolic compounds was determined according to the procedure described by Vinha et al. [40], Cicco et al. [44] and Azabou et al. [45], with minor modifications. TP samples (5 g each) were subjected to extraction with 100 mL of methanol under constant stirring using an incubator shaker at 150 rpm and $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ for 3 h. After that, the extracts were filtered using Whatman No. 1 filter paper (Whatman, Fisher Scientific, Schwerte, Germany). Next, the TP extract (20 μL) was mixed with 100 μL of Folin–Ciocalteu's reagent. The mixture was shaken and then incubated for 2 min at $25\text{ }^{\circ}\text{C}$. A volume of 800 μL of sodium carbonate solution (5%, w/v) was added and the mixture was shaken for 1 min, incubated in the dark for 20 min at $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ and then immediately cooled. The

absorbance was measured at 760 nm. Gallic acid was used as standard for the analytical curve. TPC was expressed as mg GA equivalents (E)/g extract.

2.2. Dry Fermented Sausage Preparation and Analysis

The experimental meat products were manufactured using ham muscles and backfat from Polish large white purebred fatteners obtained from a local slaughterhouse at 48 h postmortem. The study was performed in the Department of Meat Technology and Food Quality (University of Life Sciences in Lublin, Poland) in semi-technical conditions. Pork meat and backfat were used in the proportion of 85:15. Four different sample groups of dry fermented sausages were produced with reduced sodium nitrite addition (50 mg kg^{-1}) in relation to the permitted amount in accordance with the Commission Regulation (EU) No. 1129/2011 [46]. The meat was minced through a 0.01 m grinding plate using a commercial grinder (KU2-3EK, Mesko-AGD Skarzysko-Kamienna, Poland). To each formulation, 0.6% of glucose and 2.8% of curing mixture (sea salt + sodium nitrite) were added. Ground tomato pomace (seeds and skins), which had previously been subjected to the freeze-drying process was used in the levels of 0.5, 1.0 and 1.5%. The dried TP was ground just before using a knife mill (Bosch TSM6A017C) for particles less than 0.3 mm in diameter. Four different formulations of the sausages were prepared: SK—control sample; STP 0.5%—sample with 0.5% addition of TP; STP 1%—sample with 1% addition of TP; STP 1.5%—sample with 1.5% addition of TP. All ingredients were mixed using the universal machine type KU2-3EK (Mesko-AGD, Skarzysko-Kamienna, Poland) with an attached R4 type mixer (100 rpm, 3 min). In the next step stuffing were filled into fibrous casings ($\varnothing$ 65 mm, Viskase Corporation, Chicago, IL, USA). Sausages of about 500 g were prepared. Sausages were weighed and hung in a temperature- and humidity-controlled chamber (ITALFROST-DE RIGO-GS, Pszczyna, Poland) until $30 \pm 3\%$ weight loss was achieved (17 days). Production conditions consisted of: Stage 1—T $20\text{--}22^\circ\text{C}$, RH 55–65%, 3 days; Stage 2—T $14\text{--}16^\circ\text{C}$, RH 68–75%, 3 days; and Stage 3—T 13°C , RH 76%, 11 days. Cross-sectional appearance of fermented sausage at the end of production is presented in Figure 1.

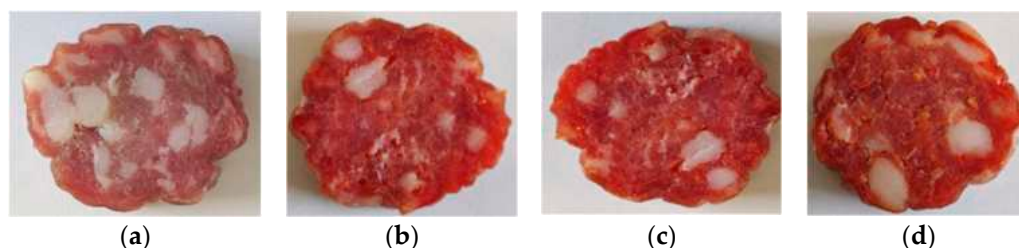


Figure 1. Cross-sectional appearance of fermented sausage: (a) control sample; (b) sample with 0.5% addition of TP; (c) sample with 1% addition of TP; and (d) sample with 1.5% addition of TP.

2.2.1. Chemical Composition

The chemical composition of the dry fermented sausages (collagen, moisture, protein, and fat contents) was determined using a Food Scan Lab 78,810 (Foss Tecator Co., Ltd., Molecules 2022, 27, 652 13 of 16 Hillerod, Denmark). Approximately 200 g of each homogenized sample was distributed in the instrument's round sample dish and loaded into the instrument's sample chamber.

2.2.2. The Physicochemical Parameters (pH, and Water Activity)

The pH of sausage homogenates was measured with a digital temperature-compensated pH meter (CPC-501, Elmetron, Zabrze, Poland) with a pH electrode (ERH-111, Hydromet, Gliwice, Poland) calibrated with buffer solutions (pH 4.0, 7.0, 9.0). The water activity (a_w) was measured using a water activity analyzer (Novasina AG, Lachen, Switzerland), which gives temperature-controlled measurements. The analyzer had been calibrated with Novasina SAL-T humidity standards (33%, 75%, 84%, and 90% relative humidity).

2.2.3. Fatty Acid Profile Measurements

The fatty acid profile was determined by gas chromatography after conversion of the fats to fatty acid methyl esters (FAME) [47]. The method of Folch et al. [48] was used for the extraction of lipids from samples. A gas chromatographic analysis was performed using a chromatograph (Varian 450-GC, Walnut Creek, CA, USA) equipped with a capillary column (Select Biodiesel for FAME, Varian, Palo Alto, CA, USA, 30 m × 0.32 mm × 0.25 µm film thickness). Injector and detector temperatures were 250 °C and 300 °C, respectively. After injection, the column temperature was programmed to increase to 200 °C for 10 min, subsequently increased to 240 °C at the rate of 3 °C min^{−1}, and then held at the final temperature for 4 min. Helium was used as a carrier gas (3 mL min^{−1}). The amounts of fatty acids were calculated from the chromatograms and from an internal standard containing FAME.

2.2.4. Color Measurements

Color parameters (L*, a*, b*) were measured using an X-Rite 8200 colorimeter (X-Rite, Inc., Grand Rapids, MI, USA). Samples for color measurements were 5 cm thick and excised at a depth of 20 mm [49]. Each time before its use, the colorimeter was standardized against a white ceramic calibration. Color measurement followed the Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) color convention [50] with outputs of L* (lightness/darkness), a* (red/green) and b* (yellow/blue). The color difference (ΔE) between control and test samples during storage was calculated according to AMSA [49] using the following formula:

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2}$$

In the interpretation of the results, it was assumed that when 0 < ΔE < 1, the observer does not notice the difference; when 1 < ΔE < 2, only an experienced observer may notice the difference; when 2 < ΔE < 3.5, an unexperienced observer also notices the difference; when 3.5 < ΔE < 5, a clear difference in color is noticed; and when 5 < ΔE, an observer notices two different colors [51].

2.2.5. Microbiological Analyses

The microbiological analyses included the number of lactic acid bacteria (LAB), of *Enterobacteriaceae* (EB) bacteria and of *Escherichia coli* (EC). The analyses were made using the TEMPO[®] LAB automated microbial counting system (Biomerieux, TEMPO[®] System, Marcy l'Etoile, France). For microbiological determinations, the original TEMPO[®] tests were used to determine the number of lactic acid bacteria (TEMPO LAB), of *Enterobacteriaceae* (TEMPO EB) and of *Escherichia coli* (TEMPO EC) in the food products. The incubation conditions used for the TEMPO LAB, TEMPO EB and TEMPO EC tests were: incubation time 40–48 h (LAB), 22–27 h (EB, EC); and temperature of incubation: 37 °C (LAB) and 35 °C (EB, EC). The results are expressed as a log CFU g^{−1}.

2.2.6. Biogenic Amines (BAs) Determination

The BAs extraction process was carried out by homogenizing 5 g of each sausage sample with 25 mL of 10% trichloroacetic acid in a homogenizer (1000 rpm, 1 min, IKA T25D, Staufen, Germany). The homogenate was extracted for 1 h in the temperature 4 ± 1 °C. Next, the samples were centrifuged (3000 rpm, 20 min, 4 °C, MPW 350R, Warsaw, Poland). The supernatants were filtered through a Whatman filter No. 1, passed back through a 0.22 µm nylon filter (Alfachem, Lublin, Poland) and were stored at 4 °C until analysis. The analysis of BAs was performed using an AAA 500 amino acid analyzer (Ingos, Praha, Czech Republic), equipped with an Ostion LG ANB ion-exchange column (7 × 0.37 cm, 75 °C). Separation was by a stepwise gradient elution using Na⁺/K⁺ citric buffers. Solutions of BAs were prepared with a dilution buffer composed of 1.5 mM Na₃N, 197 mM NaCl, and 73 mM citric acid in Milli-Q water. The system consisted of a filling chromatographic column and steel pre-column, two chromatographic pumps for transport

of elution buffers and derivatization reagent, a cooled carousel for Eppendorf tubes, a dosing valve, a heat reactor, a Vis detector, and a cooled chamber for derivatization reagent. The volume of the injected sample was 100 μ L. The reactor temperature was set to 120 °C. Content of the BA (histamine, tyramine, putrescine, cadaverine, spermidine, agmatine and spermine) was determined with reference to the amine standards, which were supplied by Ingos, Czech Republic. The BA concentrations were reported as mg kg⁻¹ of product.

2.2.7. ABTS*+ Radical Scavenging Activity

ABTS*+ were measured according to the method described by Jung et al. [52], Ferysiuk et al. [53] and Erel [54] with some modifications. The extraction process was carried out by homogenizing 5 g of each sample with 20 mL of ethanol using an IKA ULTRA-TURRAX T25 Basic homogenizer at 10,000 g for 1 min and centrifuged at 3000 $\times$ g for 20 min at 4 °C (MPW 350R, Warsaw, Poland). After this process, supernatants were filtered through a Whatman No 1 filter paper. ABTS was dissolved in distilled water to a 7 mM concentration. The ABTS radical cation was produced by dosing the ABTS stock solution with 2.45 mM potassium persulfate (final concentration) in the dark at room temperature for 12–16 h to allow the completion of radical generation. This solution was then diluted with ethanol so that its absorbance was adjusted to 0.70 ± 0.02 at 734 nm. For ABTS measurement, 50 μ L of supernatant was added to 1 mL of ABTS+ solution. For the ABTS estimations, absorbance was measured after 15 min using a UV-vis spectrophotometer (Evolution 300 BB, Thermo Electron Corporation, Madison, England) using ethanol as a blank. The ABTS+ capacity was calculated from a standard curve of Trolox equivalent and expressed as mg per g.

2.2.8. DPPH Radical Scavenging Activity

DPPH radical scavenging activity was estimated according to the method of Blois [55], Jung et al. [52] and Ferysiuk et al. [53] with slight modifications. The extraction process was performed in the same way as for the determination of the antioxidant activity in the case of ABTS. The DPPH radical cation was produced by keeping the DPPH stock solution in the dark at room temperature for 30 min to allow the completion of radical generation. This solution was then diluted with ethanol so that its absorbance was adjusted to 0.90 ± 0.02 at 517 nm. For DPPH measurement, 1 mL of supernatant was added to 1 mL of DPPH solution. A tube containing 1 mL of ethanol and 1 mL of ethanolic DPPH solution (0.2 mM) served as the control. For the DPPH estimations, absorbance was measured after 6 min using a UV-vis spectrophotometer (Evolution 300 BB, Thermo Electron Corporation, Madison, England) using ethanol as a blank. The DPPH capacity was calculated from a standard curve of Trolox equivalent and expressed as mg per g.

2.3. Statistical Analysis

The sausage treatments were replicated twice by producing two different batches. Each sample was analyzed in triplicate. The values of the analyzed variables were presented using the mean $\pm$ standard deviation. The normality of the distribution of variables in the studied groups was checked using the Shapiro–Wilk test. The differences between the groups were assessed using the ANOVA (together with Tukey’s post-hoc RIR test), and in the case of failure to meet the conditions for its application, the Kruskal–Wallis test. A significance level of $p < 0.05$ was adopted, indicating the existence of statistically significant differences or relationships. The database and statistical analysis were carried out on the basis of the Statistica 9.1 computer software (StatSoft, Poland).

3. Results

3.1. Results for Tomato Pomace

Antioxidant Activity of TP

Table 1 shows the total content of phenols and antioxidant activity of freeze-dried TP prepared for the use in the recipe of meat products. The antioxidant activity was similar to both ABTS and DPPH radicals and ranged from 0.112 to 0.120 mg Trolox eqv. g⁻¹, respectively.

Table 1. Antioxidant activity and TPC of freeze-dried TP.

Properties	Freeze-Dried TP
DPPH [mg Trolox eqv. g ⁻¹]	0.120 ± 0.004
ABTS [mg Trolox eqv. g ⁻¹]	0.112 ± 0.007
TPC [mg gallic acid eqv. g ⁻¹]	4.080 ± 0.167

3.2. Characteristics of Raw Fermented Sausages

3.2.1. Chemical Composition

The content of fat, protein, water, collagen and salt in the dry fermented sausages is shown in Table 2. The meat products were characterized by high protein content, ranging from 31.85–33.88%. Statistical analysis showed significant differences ($p \leq 0.05$) between the sausage groups in terms of their fat content. The highest amount of fat was contained in the sample with 0.5% addition of TP (24.80%), and the lowest in the control sample SK (22.23%). The salt concentration of the four groups of fermented sausages was similar due to the same amount added during production and a similar degree of drying of the products during processing. The moisture content ranged from 36.21% to 37.87%. Moreover, statistically significant differences between the samples are shown in Table 2 ($p \leq 0.05$).

Table 2. Proximate chemical composition (%) of dry fermented sausages.

Compound	SK	STP 0.5%	STP 1%	STP 1.5%
Fat	22.23 ± 0.02 a	24.80 ± 0.01 c	24.46 ± 0.01 d	23.00 ± 0.02 b
Protein	33.88 ± 0.02 c	31.85 ± 0.02 a	31.88 ± 0.02 a	33.74 ± 0.01 b
Moisture	37.87 ± 0.10 c	37.10 ± 0.04 b	37.04 ± 0.07 b	36.21 ± 0.11 a
Collagen	2.54 ± 0.23 a	2.74 ± 0.46 ab	3.21 ± 0.22 ab	3.39 ± 0.29 b
Salt	4.00 ± 0.15 a	3.90 ± 0.04 a	3.82 ± 0.12 a	3.80 ± 0.09 a

SK—control sample; STP 0.5%—sample with 0.5% addition of TP; STP 1%—sample with 1% addition of TP; STP 1.5%—sample with 1.5% addition of TP. Means with different lowercase letters (a–d) differ significantly ($p \leq 0.05$).

3.2.2. pH and Water Activity

Table 3 shows the pH values and water activity of the experimental sausages with different levels of TP addition. No significant statistical differences were found between the sausage groups. The values of the physicochemical properties were typical of the fermented products. The sausage samples were characterized by a pH value in the range of 4.68–4.71, while the water activity was in the range of 0.885–0.892.

Table 3. pH and water activity of dry fermented sausages.

Properties	SK	STP 0.5%	STP 1%	STP 1.5%
pH	4.71 ± 0.14	4.68 ± 0.01	4.71 ± 0.01	4.71 ± 0.02
Water activity	0.888 ± 0.006	0.892 ± 0.002	0.890 ± 0.003	0.885 ± 0.007

No significant differences between samples were found. SK—control sample; STP 0.5%—sample with sample with 0.5% addition of TP; STP 1%—sample with 1% addition of TP; STP 1.5%—sample with 1.5% addition of TP.

3.2.3. Fatty Acid Profile

The analysis of the main fatty acid fractions showed a statistically significant effect of TP on the content of MUFA, PUFA, n-6 and n-3 fatty acids (Table 4). Samples of sausages containing TP were characterized by a statistically lower content of these groups of fatty

acids compared to the control sample. Additionally, a statistically significant difference ($p \leq 0.05$) was noted in case of the MUFA content between the sample of STP 1% and that of STP 1.5%. The STP 1% was characterized by a significantly higher MUFA content compared to the sausage with higher level of TP addition. The inverse relationship could be observed for PUFA and n-6 fatty acids. Experimental sausages containing TP in various concentrations were characterized by a statistically significantly ($p \leq 0.05$) higher content of PUFA and n-6 fatty acids compared to the control sausage sample.

Table 4. Main fractions of the fatty acid profile (g/100 g) of dry fermented sausages.

Compound	SK	STP 0.5%	STP 1%	STP 1.5%
SFA	9.43 ± 0.08 b	10.44 ± 0.08 c	10.3 ± 0.11 c	8.1 ± 0.13 a
MUFA	9.98 ± 0.11 b	10.97 ± 0.07 c	10.83 ± 0.16 c	8.44 ± 0.11 a
PUFA	2.07 ± 0.05 b	2.48 ± 0.02 c	2.45 ± 0.09 c	1.91 ± 0.01 a
n-3	0.09 ± 0.01 a	0.12 ± 0.01 b	0.12 ± 0.01 b	0.09 ± 0.00 a
n-6	1.98 ± 0.04 b	2.35 ± 0.01 c	2.33 ± 0.09 c	1.82 ± 0.01 a

SK—control sample; STP 0.5%—sample with 0.5% addition of TP; STP 1%—sample with 1% addition of TP; STP 1.5%—sample with 1.5% addition of TP. Means with different lowercase letters (a–c) differ significantly ($p \leq 0.05$).

3.2.4. Color Parameters

The results of the color parameters ($L^*a^*b^*$) are given in Table 5. Regarding the parameter L^* (lightness), the statistical analysis showed a statistical difference ($p \leq 0.05$) between the sausage samples. The control sample was characterized by a significantly higher lightness (by about 5 units) than the sample with the highest concentration of TP. There were statistically significant differences between the sausage samples ($p \leq 0.05$) in the a^* color parameter. The addition of TP caused a significant increase in the redness of the sausages in comparison with the control sample (SK). Thus, along with the increase in the level of TP, the value of the a^* color parameter of the sausages increased. The value of the b^* color parameter increased with the increasing the level of TP. The total color difference (ΔE) between the control sample and the samples with TP addition was the highest in the case of the sausage with the highest level of TP. The ΔE values for the sausage with TP show a clear color change compared to the SK.

Table 5. CIE L^* , a^* and b^* color parameters of dry fermented sausages.

Color Parameter	SK	STP 0.5%	STP 1%	STP 1.5%
L^*	50.12 ± 5.09 ab	51.63 ± 3.36 b	49.77 ± 2.78 ab	45.55 ± 1.21 a
a^*	9.76 ± 2.15 a	11.48 ± 2.38 ab	13.31 ± 1.45 bc	15.72 ± 0.84 c
b^*	6.64 ± 1.18 a	9.64 ± 1.81 b	10.73 ± 1.36 bc	12.36 ± 1.04 c
ΔE		3.77	5.41	9.49

SK—control sample; STP 0.5%—sample with 0.5% addition of TP; STP 1%—sample with 1% addition of TP; STP 1.5%—sample with 1.5% addition of TP. Means with different lowercase letters (a–c) differ significantly ($p \leq 0.05$).

3.2.5. Results of Microbiological Analysis

The results of microbiological analyses are presented in Table 6. Statistical analysis showed significant differences in the number of *Enterobacteriaceae* between the samples of dry fermented sausages. It was observed that the number of *Enterobacteriaceae* decreased as the level of added TP increased. Similarly, in the case of LAB bacteria, statistically significant differences ($p \leq 0.05$) were found between the samples. The sample with 0.5% addition of TP was characterized by a statistically higher number of lactic acid bacteria compared to the control sample and the sample with 1% addition of TP. In general, the number of LABs in all groups of dry fermented sausages was high, which proves that the fermentation was properly carried out, and ranged from 8.57 to 8.77 log CFU g^{−1}. Each of the sausage samples contained *E. coli* <10 CFU g^{−1}.

Table 6. The results of microbiological analyses of dry fermented sausages.

Bacteria	SK	STP 0.5%	STP 1%	STP 1.5%
<i>Enterobacteriaceae</i> [log CFU g ⁻¹]	3.02 ± 0.06 c	3.15 ± 0.09 c	2.46 ± 0.15 b	1.74 ± 0.22 a
<i>Lactic acid bacteria</i> [log CFU g ⁻¹]	8.60 ± 0.06 ab	8.77 ± 0.01 c	8.57 ± 0.05 a	8.74 ± 0.08 bc
<i>E. coli</i> [log CFU g ⁻¹]	<10	<10	<10	<10

SK—control sample; STP 0.5%—sample with 0.5% addition of TP; STP 1%—sample with 1% addition of TP; STP 1.5%—sample with 1.5% addition of TP. Means with different lowercase letters (a–c) differ significantly ($p \leq 0.05$).

3.2.6. Content in Biogenic Amines (BAs)

Table 7 shows the amount of identified biogenic amines in the experimental dry fermented sausages at the end of production. The presence of six amines was indicated, with tyramine, cadaverine and putrescine being the most abundant. Statistical analysis showed statistically significant differences between the trials ($p \leq 0.05$) for putrescine, cadaverine and agmatine. The samples with the addition of TP were characterized by a significantly lower concentration of putrescine compared to the control sample. Thus, it was observed that with the increase in the share of TP, the amount of putrescine decreased. On the other hand, opposite relationships were observed in the case of cadaverine. The control sample was characterized by the lowest concentration of this amine, while the sample with 1% addition of TP showed the highest concentration of cadaverine. The content of spermidine and spermine was in the range of 2.70–3.30 mg kg⁻¹ and 12.30–15.00 mg kg⁻¹, respectively. The total content of biogenic amines expressed as mean values in the dry fermented sausages ranged from 186 mg kg⁻¹ for the STP 1.5% sample to 204.30 mg kg⁻¹ for the STP 0.5% sample, although no statistically significant differences in the total BA content between the samples were noted.

Table 7. The biogenic amines of dry fermented sausages [mg kg⁻¹].

Compound	SK	STP 0.5%	STP 1%	STP 1.5%
Tyramine	38.00 ± 3.00 a	41.30 ± 1.50 a	45.70 ± 1.20 a	38.30 ± 4.70 a
Putrescine	53.30 ± 5.80 c	37.00 ± 3.00 b	26.3 ± 1.20 a	24.3 ± 1.50 a
Cadaverine	86.70 ± 4.60 a	105.00 ± 2.60 b	110.70 ± 6.80 b	104.30 ± 3.10 b
Spermidine	2.70 ± 0.60 a	3.00 ± 0.00 a	3.00 ± 0.00 a	3.30 ± 0.60 a
Agmatine	0.70 ± 1.20 a	4.30 ± 0.60 ab	5.30 ± 0.60 b	3.30 ± 2.90 ab
Spermine	15.00 ± 1.00 a	13.70 ± 1.50 a	12.30 ± 3.80 a	13.00 ± 2.60 a
Total	197.00 ± 13.20 a	204.30 ± 9.50 a	203.30 ± 8.00 a	186.00 ± 7.50 a

SK—control sample; STP 0.5%—sample with 0.5% addition of TP; STP 1%—sample with 1% addition of TP; STP 1.5%—sample with 1.5% addition of TP. Means with different lowercase letters (a–c) differ significantly ($p \leq 0.05$).

3.2.7. Antioxidant Activity

The results of the antioxidant activity for the ABTS+ and DPPH radicals are presented in Table 8. Significant differences between the samples of dry fermented sausages were demonstrated. It was observed that with increasing concentration of TP, their antioxidant activity also increased. The antioxidant activity for the ABTS+ radical ranged from 0.0690 mg Trolox equivalent g⁻¹ for the control sample to 0.1390 mg Trolox equivalent g⁻¹ for the sample with 1.5% TP. Similarly, in the case of antioxidant activity against the DPPH radical, the samples with TP were characterized by significantly higher antioxidant activity compared to the control sample. The addition of tomato pomace in the amount of 1.5% significantly increased the antioxidant activity against the DPPH radical compared to the sausage with 0.5% TP addition.

Table 8. Antioxidant activity of dry fermented sausages.

Properties	SK	STP 0.5%	STP 1%	STP 1.5%
DPPH [mg Trolox eqv. g ^{−1}]	0.069 ± 0.006 a	0.085 ± 0.004 b	0.095 ± 0.003 bc	0.102 ± 0.001 c
ABTS [mg Trolox eqv. g ^{−1}]	0.069 ± 0.001 a	0.102 ± 0.001 b	0.121 ± 0.001 c	0.139 ± 0.001 d

SK—control sample; STP 0.5%—sample with 0.5% addition of TP; STP 1%—sample with 1% addition of TP; STP 1.5%—sample with 1.5% addition of TP. Means with different lowercase letters (a–d) differ significantly ($p \leq 0.05$).

4. Discussion

Tomatoes are considered food with high antioxidant properties, mainly due to the presence of several natural antioxidants, which include e.g., lycopene, ascorbic acid, and phenolic compounds [56,57]. Our results confirmed the data obtained by Vinha et al. [40] who studied the effect of peel and seed removal on the nutritional value and antioxidant activity of tomatoes. The results obtained in our study were also similar to the results of Azabou et al. [46] who compared the antioxidant properties of tomato by-products depending on the solvent used. They showed that the concentration of extracts significantly influences their antioxidant properties. The ethanol extract from TP showed the highest antioxidant activity against the DPPH radical. The percentage of inhibition in the tested extracts, depending on their concentration, was 28–84%. Rehal et al. [58] obtained lower results for tomato pomace; however, all studies confirm that TP has strong antioxidant properties. Fat is also a valuable component of tomatoes. Tomato seeds contain 18–22.5% fat in dry matter. The fat fraction is characterized by a high proportion of unsaturated fatty acids (approximately 80%). Linoleic acid (about 58%) is the dominant one among the identified fatty acids. There are also significant amounts of: oleic, linolenic, palmitic, and stearic acids. Particularly noteworthy is the high content of avenasterol (over 12% of the sterol fraction), which has antioxidant activity [59].

In the current research, the effect of the addition of TP on the quality of raw fermented sausages was assessed. Data from the available literature were taken into account when deciding on the level of TP addition. Depending on the type of meat, researchers added different concentrations of TP, ranging from 0.25% to 7% [60–62]. Analyzing their results, it could be observed that these products, regardless of TP concentration, were characterized by an increased share of red color. Additionally, thanks to the lycopene contained in tomato, they showed strong antioxidant properties. In meat products with a concentration of up to 2%, a reduction in lipid oxidation was also observed, but at the 3% level of TP, the opposite trend was observed. The authors also investigated the effect of tomato powder on the sensory properties of meat products. They showed that taste and overall product acceptability improved even when the tomato powder level was as low as or lower than 1.5%. However, as the concentration of the additive increased, the acceptability decreased. Based on the above-mentioned studies, in this experiment it was decided to use the TP level in the range of 0.5–1.5%. In our experiment, it was shown that the addition of TP had a significant effect on the chemical composition of the products. The results obtained differed from other authors whose products were characterized by a lower percentage of protein [62,63]. Nevertheless, they claimed that the high protein content of TP could contribute to an increase in this parameter in a meat product. Our results do not confirm this, however, as it can be seen that the protein content of the sausages with 1.5% addition was similar to that obtained in the control sample. This may therefore indicate that only with a higher concentration of TP could the protein content gradually increase, as in the case of the studies by Savadkoochi et al. [62], in which, from 3% concentration upwards, the protein content in beef sausages started to gradually increase. Similar results were obtained by Ghafouri-Oskuei et al. [63]. In their study, the protein content increased with increasing concentration of tomato powder. Similarly in the studies conducted by Eyiler

and Oztan [35], a decrease in the water content in dry fermented sausages was noted with an increase in the concentration of added tomato pomace.

The addition of TP had no effect on the physicochemical parameters of dry fermented sausages (pH and water activity). The pH values obtained in our experiment were lower compared to the results of other authors [30,63,64]. In contrast to our results, Eyiler and Oztan [35] noted a decrease in pH with an increase in the concentration of tomato powder in pork sausages. On the other hand, the water activity of the sausages in our experiment was low, in agreement with the studies by Saksomboon et al. [65].

Meat products provide a significant amount of fat. Research shows that the composition of fatty acids can be varied and depends mainly on the animal's diet, age, weight, sex or race [66]. In the current study, the content of SFA, MUFA and PUFA in dry fermented sausages was at levels of 41.77–41.94%, 43.68–44.35%, 9.21–9.96%, respectively. Karwowska and Dolatowski [67] obtained slightly lower results, in which the dominant fatty acids were MUFA, then SFA, as in our research. However, in contrast to our research, the authors did not show any effect of the addition of freeze-dried cranberry on the PUFA content. In our study, the addition of tomato pomace had no effect on the SFA content; however, it significantly increased the PUFA content. The samples with the addition of TP were characterized by a significantly higher content of PUFA, which had a positive effect on their nutritional value.

Color is one of the most important indicators of the quality of meat and meat products, as it is closely associated with its freshness [68]. Our research showed that the addition of tomato pomace influenced the color parameters of raw fermented sausages. Similarly, Eyiler and Oztan [35] observed that tomato powder acted as a dye in sausages and increased the a^* value in the analyzed samples. In the research conducted by these authors, it was shown that the redness of meat products was in the range of 6.28–13.65, while the lightness (L^*) gradually decreased with increasing concentration of tomato powder. In our research, a similar trend was noted, with the exception of products with 0.5% tomato pomace, which were characterized by a slightly higher lightness compared to the control products. Moreover, Savadkoobi et al. [62] confirmed that the redness of beef sausages was significantly influenced by the level of tomato pomace. The total color difference (ΔE) recorded in the study by these authors ranged from 0.99 to 3.41 [62]. The sausage samples with a higher TP content were characterized by a higher ΔE compared to the control sample. Thus, the addition of TP significantly affects the color parameters in meat products. A very beneficial phenomenon is the increase in the redness of the products, which thus improves the appearance of the final product and may increase the acceptability of the product by potential consumers.

In recent years, there has been a growing interest in traditional meat products, but these products are a very good growth medium and can be easily contaminated by microorganisms such as *Enterobacteriaceae*. These are considered to be indicator bacteria for the microbiological quality of food and the hygiene status of the production process [69]. Analyzing the results obtained in our study, it can be concluded that the *Enterobacteriaceae* were present in all fermented sausages and ranged from 1.74–3.15 log CFU g⁻¹. The effect of the addition of TP on the reduction of the number of these bacteria in raw fermented sausages was observed, which indicates the antimicrobial properties of TP. Similarly, Borrajo et al. [70], who compared the effect of fortification of dry fermented sausage with *Salvia hispanica* and *Nigella sativa* seeds, confirmed that addition of a higher percentage of seeds also resulted in a decrease in *Enterobacteriaceae*. Bazargani-Gilani et al. [71] found that the addition of pomegranate juice inactivated *Enterobacteriaceae*. Lactic acid bacteria are very important in the production of fermented meat products as they are used as starter cultures [72]. During fermentation, the number of lactic acid bacteria increases [73]. Their growth is very beneficial as they can produce a variety of bacteriocins that are generally active against Gram positive foodborne pathogens such as *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Clostridium perfringens* and *Bacillus cereus* [74]. In the sausages produced in this study, the presence of LAB ranged from 8.57–8.77 log CFU g⁻¹. There was

no significant effect of the addition of TP on the LAB number in fermented sausages. Borrajo et al. [70] indicated that the addition of chia seeds or black cumin increased the proliferation of LAB. The antimicrobial activity of natural extracts results mainly from the content of phenolic compounds [56].

Both fermented and protein-rich foods are very susceptible to the formation of biogenic amines. These are produced by bacterial decarboxylation of appropriate amino acids in food, and their concentration in fermented food products depends on several factors, including the hygiene of raw materials, microbiological status, fermentation status and duration of fermentation [75]. Some authors have stated that tyramine, putrescine and cadaverine are the most dominant types of amines found in fermented foods, including raw fermented sausages [75,76]. The present studies confirmed this relationship as tyramine, putrescine and cadaverine were dominant in the experimental raw fermented sausages. Particular attention should be paid to tyramine, as it is one of the main biogenic amines associated with certain health disorders, including vasoactive and psychoactive reactions [77,78]. In fermented sausages tyramine is produced mainly by lactic acid bacteria [78]. For this reason, sausage samples were characterized by a high level of this compound, as the number of lactic acid bacteria increases as a result of fermentation [79]. Comparing the obtained results with the results of other authors, it can be concluded that they noticed similar observations. De Mey et al. [80], who compared the content of biogenic amines in commercial dry fermented sausages, found that tyramine is the main biogenic amine. The concentration of this compound ranged from 3.6 to 149.9 mg kg⁻¹. Similarly to our findings, they also observed low concentrations of spermidine and spermine in the tested meat products. Similar results were also obtained by Borrajo et al. [70]. However, these authors noticed the opposite trend to that observed in our research in the content of spermine, which was present in the smallest amount in the samples of sausages with the addition of chia seeds and black cumin. The results of this study did not show any significant effect of tomato pomace on spermine content. In the context of the exposure of fermented meat products to the presence of biogenic amines, the challenge for the meat industry is the development of technology for obtaining products free or almost free of these compounds [81].

The development of the functional food market is closely related to the use of bioactive ingredients useful for the development of innovative products. In this context, much attention has recently been given to natural compounds derived from plant waste and their relationship to high bioactivity [82]. In the present study, it was observed that with the increase in TP concentration in fermented sausages, their antioxidant activity also increases. These observations are consistent with the results of other authors. Riazi et al. [83], who investigated the effect of grape pomace on meat products with a reduced content of nitrites, showed that the samples with the addition of pomace showed higher antioxidant activity compared to the control samples. As in our findings, the antioxidant activity increased with increasing grape pomace content. A similar tendency was also noticed by Ramli et al. [84] who studied the effect of powdered passion fruit extract on the antioxidant effect of preserved meat products. Based on the results obtained, it can be concluded that tomato pomace can be a potential component of functional food. Thanks to its antioxidant properties, it can be used as a natural preservative for meat products. Additional post-storage studies should be performed to confirm the effect of the storage period on the values of the antioxidant activities of the fermented sausages.

5. Conclusions

In summary, the results found in this article showed that the addition of TP to raw fermented sausages effectively increased the antioxidant potential of the product, and it can therefore be assumed that it enriched the products with phenolic compounds. The antioxidant activity of sausages was closely related to the concentration of tomato pomace with which they were enriched. The product containing 1.5% TP was characterized by the strongest antioxidant properties. Increasing the addition of TP also resulted in increased

redness of the meat product, which can be assumed to have a positive effect on consumer acceptability. Moreover, the samples of sausages with the addition of TP were characterized by a lower number of *Enterobacteriaceae*. Taking into account the results obtained, tomato pomace can be used as a natural additive in the production of raw fermented sausages and thus enable a reduction in nitrite content. Being an alternative to nitrogen compounds, the opportunity thus created to use this by-product of tomato processing has the added advantage of reducing food losses. The inclusion of TP—rich in bioactive compounds—in meat products is also an excellent strategy for the development of innovative meat products with increased nutritional value and an improved nutritional profile. The most promising results were obtained for the meat products with 1.5% addition of TP. Future studies are necessary to investigate the effect of a higher level of TP addition on the quality of raw fermented sausage, with particular regard to the sensory evaluation.

Author Contributions: Conceptualization, M.K.; methodology, M.K. and P.S.; formal analysis, M.K. and P.S.; investigation, P.S. and M.K.; data curation, P.S.; writing—original draft preparation, P.S.; writing—review and editing, M.K.; supervision, M.K. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research was supported by project no. SD/51/TŻ/2022 provided by University of Life Sciences in Lublin, Poland.

Institutional Review Board Statement: Not applicable.

Informed Consent Statement: Not applicable.

Data Availability Statement: Not applicable.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

- Ritchie, H.; Roser, M. Meat and Dairy Production. Our World in Data. 2019. Available online: <https://ourworldindata.org/meat-production> (accessed on 31 October 2022).
- Cunha, L.C.M.; Monteiro, M.L.G.; Lorenzo, J.M.; Munekata, P.E.S.; Muchenje, V.; de Carvalho, F.A.L.; Conte-Junior, C.A. Natural antioxidants in processing and storage stability of sheep and goat meat products. *Food Res. Int.* **2018**, *111*, 379–390. [CrossRef] [PubMed]
- Huang, Y.; Cao, D.; Chen, Z.; Chen, B.; Li, J.; Guo, J.; Wei, Q. Red and processed meat consumption and cancer outcomes: Umbrella review. *Food Chem.* **2021**, *356*, 129697. [CrossRef] [PubMed]
- Campbell-Platt, G. Fermented meats—A world perspective. In *Fermented Meats*, 1st ed.; Campbell-Platt, G., Cook, P.E., Eds.; Blackie Academic & Professional: New York, NY, USA, 1995; pp. 39–52.
- Karwowska, M.; Kononiuk, A.D.; Borrajo, P.; Lorenzo, J.M. Comparative Studies on the Fatty Acid Profile and Volatile Compounds of Fallow Deer and Beef Fermented Sausages without Nitrite Produced with the Addition of Acid Whey. *Appl. Sci.* **2021**, *11*, 1320. [CrossRef]
- Chen, Q.; Hu, Y.; Wen, R.; Wang, Y.; Qin, L.; Kong, B. Characterisation of the flavour profile of dry fermented sausages with different NaCl substitutes using HS-SPME-GC-MS combined with electronic nose and electronic tongue. *Meat Sci.* **2021**, *172*, 108338. [CrossRef] [PubMed]
- Bis-Souza, C.V.; Pateiro, M.; Domínguez, R.; Lorenzo, J.M.; Penna, A.L.B.; da Silva Barretto, A.C. Volatile profile of fermented sausages with commercial probiotic strains and fructooligosaccharides. *J. Food Sci. Technol.* **2019**, *56*, 5465–5473. [CrossRef]
- Manassis, G.; Kalogianni, A.I.; Lazou, T.; Moschovas, M.; Bossis, I.; Gelasakis, A.I. Plant-derived natural antioxidants in meat and meat products. *Antioxidants* **2020**, *9*, 1215. [CrossRef]
- Arslan, B.; Soyer, A. Effects of chitosan as a surface fungus inhibitor on microbiological, physicochemical, oxidative and sensory characteristics of dry fermented sausages. *Meat Sci.* **2018**, *145*, 107–113. [CrossRef]
- Gallego, M.; Mora, L.; Escudero, E.; Toldrá, F. Bioactive peptides and free amino acids profiles in different types of European dry-fermented sausages. *Int. J. Food Microb.* **2018**, *276*, 71–78. [CrossRef]
- Cao, C.C.; Feng, M.Q.; Sun, J.; Xu, X.L.; Zhou, G.H. Screening of lactic acid bacteria with high protease activity from fermented sausages and antioxidant activity assessment of its fermented sausages. *CyTA-J. Food.* **2019**, *17*, 347–354. [CrossRef]
- Yu, D.; Feng, M.Q.; Sun, J. Influence of mixed starters on the degradation of proteins and the formation of peptides with antioxidant activities in dry fermented sausages. *Food Control* **2021**, *123*, 107743. [CrossRef]
- Jayasena, D.D.; Jung, S.; Bae, Y.S.; Park, H.B.; Lee, J.H.; Jo, C. Comparison of the amounts of endogenous bioactive compounds in raw and cooked meats from commercial broilers and indigenous chickens. *J. Food Compos. Anal.* **2015**, *37*, 20–24. [CrossRef]

14. Jayasena, D.D.; Jung, S.; Kim, S.H.; Kim, H.J.; Alahakoon, A.U.; Lee, J.H.; Jo, C. Endogenous functional compounds in Korean native chicken meat are dependent on sex, thermal processing and meat cut. *J. Sci. Food Agric.* **2015**, *95*, 771–775. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
15. Purchas, R.W.; Rutherford, S.M.; Pearce, P.D.; Vather, R.; Wilkinson, B.H.P. Concentrations in beef and lamb of taurine, carnosine, coenzyme Q10, and creatine. *Meat Sci.* **2004**, *66*, 629–637. [\[CrossRef\]](#)
16. Andrés, A.I.; Petrón, M.J.; Delgado-Adámez, J.; López, M.; Timón, M.L. Effect of tomato pomace extracts on the shelf-life of modified atmosphere-packaged lamb meat. *J. Food Process. Pres.* **2017**, *41*, e13018. [\[CrossRef\]](#)
17. Purriños, L.; Bermúdez, R.; Franco, D.; Carballo, J.; Lorenzo, J.M. Development of volatile compounds during the manufacture of dry-cured “Lacón,” a Spanish traditional meat product. *J. Food Sci.* **2011**, *76*, 89–97. [\[CrossRef\]](#)
18. Karre, L.; López, K.; Getty, J.J. Natural antioxidants in meat and poultry products. *Meat Sci.* **2013**, *94*, 220–227. [\[CrossRef\]](#)
19. Honikel, K.O. The use and control of nitrate and nitrite for the processing of meat products. *Meat Sci.* **2008**, *78*, 68–76. [\[CrossRef\]](#)
20. Zhang, H.; Sun, C.; Han, W.; Zhang, J.; Hou, J. Analysis of the monitoring status of residual nitrite in meat products in China from 2000 to 2011. *Meat Sci.* **2018**, *136*, 30–34. [\[CrossRef\]](#)
21. Asioli, D.; Aschemann-Witzel, J.; Caputo, V.; Vecchio, R.; Annunziata, A.; Næs, T.; Varela, P. Making sense of the “clean label” trends: A review of consumer food choice behavior and discussion of industry implications. *Food Res. Int.* **2017**, *99*, 58–71. [\[CrossRef\]](#)
22. de Andrade Lima, M.; Kestekoglou, I.; Charalampopoulos, D.; Chatzifragkou, A. Supercritical Fluid Extraction of Carotenoids from Vegetable Waste Matrices. *Molecules* **2019**, *24*, 466. [\[CrossRef\]](#)
23. Hygreeva, D.; Pandey, M.C.; Radhakrishna, K. Potential applications of plant based derivatives as fat replacers, antioxidants and antimicrobials in fresh and processed meat products. *Meat Sci.* **2014**, *98*, 47–57. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
24. Giovanelli, G.; Paradiso, A. Stability of dried and intermediate moisture tomato pulp during storage. *J. Agric. Food Chem.* **2002**, *50*, 7277–7281. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
25. Shao, D.; Atungulu, G.G.; Pan, Z.; Yue, T.; Zhang, A.; Fan, Z. Characteristics of isolation and functionality of protein from tomato pomace produced with different industrial processing methods. *Food Bioprocess Technol.* **2014**, *7*, 532–541. [\[CrossRef\]](#)
26. Ruiz Celma, A.; Cuadros, F.; López-Rodríguez, F. Characterisation of industrial tomato by-products from infrared drying process. *Food Bioprod. Process.* **2009**, *87*, 282–291. [\[CrossRef\]](#)
27. Toor, R.K.; Savage, G.P. Antioxidant activity in different fractions of tomatoes. *Food Res. Int.* **2005**, *38*, 487–494. [\[CrossRef\]](#)
28. Ferreres, F.; Taveira, M.; Pereira, D.M.; Valentão, P.; Andrade, P.B. Tomato (*Lycopersicon esculentum*) seeds: New flavonols and cytotoxic effect. *J. Agric. Food Chem.* **2010**, *58*, 2854–2861. [\[CrossRef\]](#)
29. Omoni, A.O.; Aluko, R.E. The anti-carcinogenesis and anti-atherogenic effects of lycopene: A review. *Trends Food Sci. Technol.* **2005**, *16*, 344–350. [\[CrossRef\]](#)
30. Calvo, M.M.; Garcia, M.L.; Selgas, M.D. Dry fermented sausages enriched with lycopene from tomato peel. *Meat Sci.* **2008**, *80*, 167–172. [\[CrossRef\]](#)
31. Lu, Z.; Wang, J.; Gao, R.; Ye, F.; Zhao, G. Sustainable valorisation of tomato pomace: A comprehensive review. *Trends Food Sci. Technol.* **2019**, *86*, 172–187. [\[CrossRef\]](#)
32. Taveira, M.; Silva, L.R.; Vale-Silva, L.A.; Pinto, E.; Valentão, P.; Ferreres, F. *Lycopersicon esculentum* Seeds: An industrial byproduct as an antimicrobial agent. *J. Agric. Food Chem.* **2010**, *58*, 9529–9536. [\[CrossRef\]](#)
33. Candogan, K. The effect of tomato paste on some quality characteristics of beef patties during refrigerated storage. *Eur. Food Res. Technol.* **2002**, *215*, 305–309. [\[CrossRef\]](#)
34. Sánchez-Escalante, A.; Torrescano, G.; Djenane, D.; Beltran, J.A.; Roncales, P. Stabilisation of colour and odour of beef patties by using lycopene-rich tomato and peppers as a source of antioxidants. *J. Sci. Food Agric.* **2003**, *83*, 187–194. [\[CrossRef\]](#)
35. Eyiler, E.; Oztan, A. Production of frankfurters with tomato powder as a natural additive. *LWT-Food Sci. Technol.* **2011**, *44*, 307–311. [\[CrossRef\]](#)
36. Wang, Q.; Xiong, Z.; Li, G.; Zhao, X.; Wu, H.; Ren, Y. Tomato peel powder as fat replacement in low-fat sausages: Formulations with mechanically crushed powder exhibit higher stability than those with air flow ultra-microcrushed powder. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* **2016**, *118*, 175–184. [\[CrossRef\]](#)
37. Azabou, S.; Abid, Y.; Sebii, H.; Felfoul, I.; Gargouri, A.; Attia, H. Potential of the solid-state fermentation of tomato by products by *Fusarium solani* pisi for enzymatic extraction of lycopene. *LWT-Food Sci. Technol.* **2016**, *68*, 280–287. [\[CrossRef\]](#)
38. Mirabella, N.; Castellani, V.; Sala, S. Current options for the valorization of food manufacturing waste: A review. *J. Clean. Prod.* **2014**, *65*, 28–41. [\[CrossRef\]](#)
39. Brand-Williams, W.; Cuvelier, M.E.; Berset, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food Sci. Technol.* **1995**, *28*, 5–30. [\[CrossRef\]](#)
40. Vinha, A.F.; Alves, R.C.; Barreira, S.V.P.; Castro, A.; Costa, A.S.G.; Beatriz, M.; Oliveira, P.P. Effect of peel and seed removal on the nutritional value and antioxidant activity of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) fruits. *LWT-Food Sci. Technol.* **2014**, *55*, 197–202. [\[CrossRef\]](#)
41. Re, R.; Pellegrini, N.; Proteggente, A.; Pannala, A.; Yang, M.; Rice-Evans, C. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radic. Biol. Med.* **1999**, *26*, 1231–1237. [\[CrossRef\]](#)
42. Tarko, T.; Duda-Chodak, A.; Bebak, A. Biological activity of selected fruit and vegetables. *Food. Sci. Technol. Qual.* **2012**, *4*, 55–65.

43. Gaafar, A.A.; Salama, Z.; Asker, M.; Bagato, O. In-vitro, Antiviral, Antimicrobial and Antioxidant Potential Activity of Tomato pomace. *Int. J. Pharm. Sci. Rev. Res.* **2015**, *32*, 262–272.
44. Cicco, N.; Lanorte, M.; Paraggio, M.; Viggiano, M. A reproducible, rapid and inexpensive Folin-Ciocalteu micro-method in determining phenolic of plant methanol extract. *Microchem. J.* **2009**, *91*, 107–110. [\[CrossRef\]](#)
45. Azabou, S.; Sebiia, H.; Ben Taheurb, F.; Abida, Y.; Jridic, M.; Nasric, M. Phytochemical profile and antioxidant properties of tomato by-products as affected by extraction solvents and potential application in refined olive oils. *Food Biosci.* **2020**, *36*, 100664. [\[CrossRef\]](#)
46. Commission Regulation (EU). No. 1129/2011 of 11 November 2011 amending Annex II to Regulation (EC) No. 1333/2008 of the European Parliament and of the Council by establishing a Union list of food additives. *J. Eur. Union.* **2011**, *295*, 1–177.
47. Association of Official Analytical Chemists [AOAC]. *Official Methods of Analysis*, 18th ed.; AOAC: Gaithersburg, MD, USA, 2005.
48. Folch, J.; Lees, M.; Sloane-Stanley, G.H. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J. Biol. Chem.* **1957**, *226*, 497–509. [\[CrossRef\]](#)
49. AMSA. *Meat Color Measurements Guidelines*; American Meat Science Association: Savoy, IL, USA, 2012.
50. Commission Internationale de l’Eclairage. *Recommendations on Uniform Colour Spaces, Colour Difference Equations, Psychometric Color Terms; Supplement No. 2*; Burel Central de la CIE: Paris, France, 1978.
51. Mokrzycki, W.S.; Tatol, M. Color difference ΔE —A survey. In Proceedings of the Machine Graphic & Vision, Warsaw, Poland, 24–26 September 2012.
52. Jung, S.; Choe, J.; Kim, B.; Yun, H.; Kruk, Z.A.; Jo, C. Effect of dietary mixture of gallic acid and linoleic acid on antioxidative potential and quality of breast meat from broilers. *Meat Sci.* **2010**, *86*, 520–526. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
53. Ferysiuk, K.; Wójcik, K.M.; Materska, M. Phytochemical profile of *Silybum marianum* (L.) Gaertn. and *Graminis rhizoma* and its influence on the bioactivity and shelf life of industrially produced pâté. *Int. J. Food Sci. Technol.* **2020**, *55*, 1586–1598. [\[CrossRef\]](#)
54. Erel, O. A novel automated direct measurement method for total antioxidant capacity using a new generation, more stable ABTS radical cation. *Clin. Biochem.* **2004**, *37*, 277–285. [\[CrossRef\]](#)
55. Blois, M.S. Antioxidant determination by the use of a stable free radical. *Nature* **1958**, *181*, 1199–1200. [\[CrossRef\]](#)
56. George, B.; Kaur, C.; Khurdiya, D.S.; Kapoor, H.C. Antioxidants in tomato (*Lycopersium esculentum*) as a function of genotype. *Food Chem.* **2004**, *84*, 45–51. [\[CrossRef\]](#)
57. Valverde, V.G.; González, I.N.; Alonso, J.G.; Periago, M.J. Antioxidant bioactive compounds in selected industrial processing and fresh consumption tomato cultivars. *Food Bioprocess Technol.* **2013**, *6*, 391–402. [\[CrossRef\]](#)
58. Rehal, J.K.; Aggarwal, P.; Dhaliwal, I.; Szarma, M.; Kaushik, P.A. Tomato Pomace Enriched Gluten-Free Ready-to-Cook Snack’s Nutritional Profile, Quality, and Shelf Life Evaluation. *Horticulturae* **2022**, *8*, 403. [\[CrossRef\]](#)
59. Tarko, T.; Sobusiak, J.; Duda-Chodak, A. Ways of using waste from the fruit and vegetable industry. *Ferment. Ind.* **2009**, *3*, 32–34.
60. Luisa García, M.; Calvo, M.M.; Dolores Selgas, M. Beef hamburgers enriched in lycopene using dry tomato peel as an ingredient. *Meat Sci.* **2009**, *83*, 45–49. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
61. Kim, I.S.; Jin, S.K.; Yang, M.R.; Chu, G.M.; Park, J.H.; Rashid, R.H.I.; Kim, J.Y.; Kang, S.N. Efficacy of tomato powder as antioxidant in cooked pork patties. *Asian-Australas. J. Anim. Sci.* **2013**, *26*, 1339–1346. [\[CrossRef\]](#)
62. Savadkoobi, S.; Hoogenkamp Shamsi, K.; Farahnaky, A. Color, sensory and textural attributes of beef frankfurter, beef ham and meat-free sausage containing tomato pomace. *Meat Sci.* **2014**, *97*, 410–418. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
63. Ghafouri-Oskuei, H.; Javadi, A.; Reza Saeidi Asl, M.; Azadmard-Damirchi, S.; Armin, M. Quality properties of sausage incorporated with flaxseed and tomato powders. *Meat Sci.* **2020**, *161*, 107957. [\[CrossRef\]](#)
64. Andrés, A.I.; Petró, M.J.; Adámez, J.D.; López, M.; Timón, M.L. Food by-products as potential antioxidant and antimicrobial additives in chill stored raw lamb patties. *Meat Sci.* **2017**, *129*, 62–70. [\[CrossRef\]](#)
65. Saksomboon, K.; Meemookich, S.; Kaewsaad, T.; Limroongreungrat, K.; Theprugs, P. Effect of tomato powder on quality of Chinese sausage. *Int. J. Agric. Technol.* **2020**, *16*, 711–720.
66. Teye, G.A.; Wood, J.D.; Whittington, F.M.; Stewart, A.; Sheard, P.R. Influence of dietary oils and protein level on pork quality. 2. Effects on properties of fat and processing characteristics of bacon and frankfurter-style sausages. *Meat Sci.* **2006**, *73*, 166–177. [\[CrossRef\]](#)
67. Karwowska, M.; Dolatowski, Z.J. Effect of acid whey and freeze-dried cranberries on lipid oxidation and fatty acid composition of nitrite-/nitrate-free fermented sausage made from deer meat. *Asian-Australas. J. Anim. Sci.* **2017**, *30*, 85–93. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
68. Deraz, S.F.; Khalil, A.A. A model system for conversion of metmyoglobin to bright red myoglobin derivatives in organic sausages using potential probiotic lactic acid bacteria. *South Asian J. Life Sci.* **2018**, *6*, 22–35.
69. Mladenović, K.G.; Grujović, M.Ž.; Kiš, M.; Furmeg, S.; Jaki Tkalec, V.; Stefanović, O.D.; Kocić-Tanackov, S.D. Enterobacteriaceae in food safety with an emphasis on raw milk and meat. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **2021**, *105*, 8615–8627. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
70. Borrajo, P.; Karwowska, M.; Stasiak, D.M.; Lorenzo, J.M.; Żyśko, M.; Solska, E. Comparison of the Effect of Enhancing Dry Fermented Sausages with *Salvia hispanica* and *Nigella sativa* Seed on Selected Physicochemical Properties Related to Food Safety during Processing. *Appl. Sci.* **2021**, *11*, 9181. [\[CrossRef\]](#)
71. Bazargani-Gilani, B.; Aliakbarl, J.; Tajik, H. Effect of pomegranate juice dipping and chitosan coating enriched with *Zataria multiflora* Boiss essential oil on the shelf-life of chicken meat during refrigerated storage. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* **2015**, *29*, 280–287. [\[CrossRef\]](#)

72. dos Santos Cruxen, C.E.; Graciele, C.; Funck, D.; Haubert, L.; da Silva Dannenber, D.; de Lima Marques, J.; Chaves, F.C.; Silvaab, W.P.; Fiorentini, A.M. Selection of native bacterial starter culture in the production of fermented meat sausages: Application potential, safety aspects, and emerging technologies. *Food Res. Int.* **2019**, *122*, 371–382. [\[CrossRef\]](#)
73. Vieco-Saiz, N.; Belguesmia, Y.; Raspoet, R.; Auclair, E.; Gancel, F.; Kempf, I.; Drider, D. Benefits and inputs from lactic acid bacteria and their bacteriocins as alternatives to antibiotic growth promoters during food-animal production. *Front. Microbiol.* **2019**, *10*, 57. [\[CrossRef\]](#)
74. Reis, J.; Paula, A.; Casarotti, S.; Penna, A. Lactic acid bacteria antimicrobial compounds: Characteristics and applications. *Food Eng. Rev.* **2012**, *4*, 124–140. [\[CrossRef\]](#)
75. Doeun, D.; Davaatseren, M.; Myung-Sub, C. Biogenic amines in foods. *Food Sci. Biotechnol.* **2017**, *26*, 1463–1474. [\[CrossRef\]](#)
76. Świder, O.; Roszko, M.L.; Wójcicki, M.; Szymczyk, K. Biogenic Amines and Free Amino Acids in Traditional Fermented Vegetables-Dietary Risk Evaluation. *J. Agric. Food Chem.* **2020**, *68*, 856–868. [\[CrossRef\]](#)
77. Linares, D.M.; Martín, M.C.; Ladero, V.; Álvarez, M.A.; Fernández, M. Biogenic amines in dairy products. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* **2011**, *51*, 691–703. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
78. Latorre-Moratalla, M.; Bover-Cid, S.; Veciana-Nogués, M.T.; Vidal-Carou, M.C. Control of biogenic amines in fermented sausages: Role of starter cultures. *Front. Microbiol.* **2012**, *3*, 169. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
79. Kononiuk, A.D.; Karwowska, M. Comparison of selected parameters related to food safety of fallow deer and beef uncured fermented sausages with freeze-dried acid whey addition. *Meat Sci.* **2020**, *161*, 108015. [\[CrossRef\]](#)
80. De Mey, E.; De Klerck, K.; De Maere, H.L.; Derdelinckx, G.; Peeters, M.-C.; Fraeye, I.; Heyden, Y.V.; Paelinck, H. The occurrence of N-nitrosamines, residual nitrite and biogenic amines in commercial dry fermented sausages and evaluation of their occasional relation. *Meat Sci.* **2014**, *96*, 821–828. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
81. Grootveld, M.; Percival, B.C.; Zhang, J. Extensive chemometric investigations of distinctive patterns and levels of biogenic amines in fermented foods: Human health implications. *Foods* **2020**, *9*, 1807. [\[CrossRef\]](#)
82. Faustino, M.; Veiga, M.; Sousa, P.; Costa, E.M.; Silva, S.; Pintado, M. Agro-Food byproducts as a new source of natural food additives. *Molecules* **2019**, *24*, 1056. [\[CrossRef\]](#)
83. Riazi, F.; Zeynali, F.; Hoseini, E.; Behmadi, H.; Savadkoohi, S. Oxidation phenomena and color properties of grape pomace on nitrite-reduced meat emulsion systems. *Meat Sci.* **2016**, *121*, 350–358. [\[CrossRef\]](#)
84. Ramli, A.N.M.; Manap, N.W.A.; Bhuyar, P.; Azelee, N.I.W. Passion fruit (*Passiflora edulis*) peel powder extract and its application towards antibacterial and antioxidant activity on the preserved meat products. *Appl. Sci.* **2020**, *2*, 1748. [\[CrossRef\]](#)

PATRYCJA SKWAREK, MAŁGORZATA KARWOWSKA

WYTŁOKI POMIDOROWE JAKO INNOWACYJNY SKŁADNIK KIELBAS SUROWO DOJRZEWAJĄCYCH O OBNIŻONEJ ZAWARTOŚCI AZOTANU(III) SODU

Streszczenie

Wprowadzenie. Celem badań była ocena wpływu liofilizowanego wytloku pomidorowego na cechy jakościowe surowo dojrzewającego wyrobu mięsnego z obniżonym dodatkiem azotanu(III) sodu. W pracy oceniono wpływ dodatku wytlóków pomidorowych na parametry fizykochemiczne, właściwości przeciwutleniające oraz bezpieczeństwo mikrobiologiczne kielbas surowo dojrzewających z obniżoną ilością azotanu(III) sodu (50 mg/kg) po 3 miesiącach przechowywania. Wyprodukowano 4 warianty doświadczalne kielbas z mięsa wieprzowego różniące się udziałem wytlóków pomidorowych: próbę kontrolną (bez dodatku wytlóków pomidorowych) oraz próby z 0,5-, 1- i 1,5-procentowym udziałem liofilizowanych wytlóków pomidorowych. Wyprodukowane kielbasy poddano analizie: pH, aktywności wody, parametrów barwy (CIE L* a* b*), zawartości amin biogennych. Oceniono również zmianę właściwości antyoksydacyjnych w zależności od ilości zastosowanego dodatku (w stosunku do rodników ABTS^{•+} i DPPH[•]).

Wyniki i wnioski. Przeprowadzono także analizy mikrobiologiczne w celu określenia bezpieczeństwa produktu. Produkty charakteryzowały się podobną aktywnością wody i pH w zakresie odpowiednio 0,83 ÷ 0,86 i 4,74 ÷ 4,93. Zaobserwowano wpływ dodatku wytlóków pomidorowych na wzrost aktywności przeciwutleniającej wraz ze wzrostem stężenia dodatku. Produkt z 1,5-procentowym dodatkiem liofilizowanych wytlóków pomidorowych charakteryzował się także najwyższym udziałem barwy czerwonej (a*), co wpłynęło na wygląd ogólny gotowego produktu. Próby kielbas z dodatkiem wytlóków pomidorowych charakteryzowały się również niższą zawartością putrescyny w porównaniu z próbą kontrolną. Uzyskane wyniki wskazują, iż dodatek wytlóków pomidorowych wpływa na udział barwy czerwonej oraz zwiększenie zdolności antyoksydacyjnych surowo dojrzewającego wyrobu mięsnego. Najbardziej obiecujące wyniki uzyskano dla kielbasy z 1,5-procentowym dodatkiem wytlóków pomidorowych. Wyniki badań sugerują, że produkty uboczne pozyskiwane z przetwórstwa pomidorów mogą być stosowane w przemyśle mięsnym w produkcji wyrobów o obniżonym dodatku azotanu (III) sodu do poprawy ich aktywności antyoksydacyjnych.

Słowa kluczowe: kielbasy surowo dojrzewające, wytloki pomidorowe, azotany, właściwości antyoksydacyjne

*Mgr inż. P. Skwarek, ORCID: 0000-0003-3602-0161; Dr hab., prof. UP M. Karwowska, ORCID: 0000-0002-7206-9715; Katedra Technologii Żywności Pochodzenia Zwierzęcego, Wydział Nauk o Żywności i Biotechnologii, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, ul. Skromna 8, 20-704, Lublin;
Kontakt: e-mail: patrycja.skwarek@up.lublin.pl*

Wprowadzenie

Spośród wielu rodzajów artykułów spożywczych produkty mięsne stanowią istotny element w diecie współczesnego człowieka. Kielbasy należą do najstarszych produktów żywnościowych. Współcześnie na całym świecie produkowanych jest wiele rodzajów tych produktów. Związane jest to przede wszystkim z dostępnością różnych rodzajów mięsa jak również metodami przetwarzania przekazywanymi z pokolenia na pokolenie [8]. Jednak szczególne znaczenie dla konsumentów mają kielbasy surowo dojrzewające fermentowane, które cenione są ze względu na właściwości organoleptyczne oraz wartość odżywczą [7]. Właściwości organoleptyczne tych produktów są wynikiem wielu zmian zachodzących w surowcach i składnikach receptury, dzięki aktywności enzymów tkanki mięsnej i obecnych mikroorganizmów [29].

Pomimo rosnącej popularności fermentowanych wyrobów mięsnych, przemysł mięsny znajduje się pod presją zarówno konsumentów, jak i dietetyków, aby wprowadzać w przetwórstwie mięsa innowacje w celu podnoszenia wartości odżywczej przetworów mięsnych [8]. Jedną ze współczesnych strategii jest ograniczenie lub eliminowanie dodatków syntetycznych, głównie azotanów (III) i (V) sodu [29]. Jednak eliminacja tych związków jest dużym wyzwaniem i prowadzi do pewnych problemów technologicznych ze względu na wielokierunkowe funkcje, jakie pełnią one w produktach mięsnych. Odgrywają bowiem ważną rolę w hamowaniu rozwoju drobnoustrojów, nadają charakterystyczny kolor i smak przetworom mięsnym, ale także ograniczają procesy utleniania [21]. Biorąc więc pod uwagę wielokierunkowe właściwości azotanów (III) i (V) sodu, badacze poszukują potencjalnych alternatyw. Wśród nich wiele uwagi poświęcono związkom bioaktywnym, których źródłem mogą być surowce pochodzenia roślinnego. Istnieją bowiem dowody na to, iż związki te ekstrahowane ze źródeł naturalnych posiadają właściwości przeciwutleniające, przeciwdrobnoustrojowe oraz przeciwbakteryjne [12]. Jednym z przykładów surowców bogatych w związki bioaktywne są pomidory, a w szczególności produkty uboczne ich przetwórstwa, takie jak wytloki pomidorowe. Są one doskonałym źródłem karotenoidów, których spożycie przynosi wiele korzyści dla organizmu ludzkiego. Zarówno skórki, jak i nasiona pomidorów bogate są głównie w likopen, β -karoten oraz luteinę. Przetwórstwo pomidorów generuje duże ilości produktów ubocznych, dlatego też pozyskiwanie karotenoidów ze skórki pomidora, mogłoby być dobrym rozwiązaniem pomagającym ograniczyć straty powstające w przetwórstwie żywności, które wpisują się w ideę trendu „zero waste” [6]. Bezpośrednie dodanie wytlóków pomidorowych do żywności, takiej jak produkty mięsne może być także obiecującym sposobem na zaspokojenie wciąż rosnącego zapotrzebowania na naturalne przeciwutleniacze [2]. W tym kontekście zastosowanie wytlóków pomidorowych w produktach mięsnych w celu redukcji dodatku azotanu (III) sodu poprawy barwy oraz zwiększenia aktywności przeciwutleniającej produktów jest ciekawym i nowatorskim rozwiązaniem.

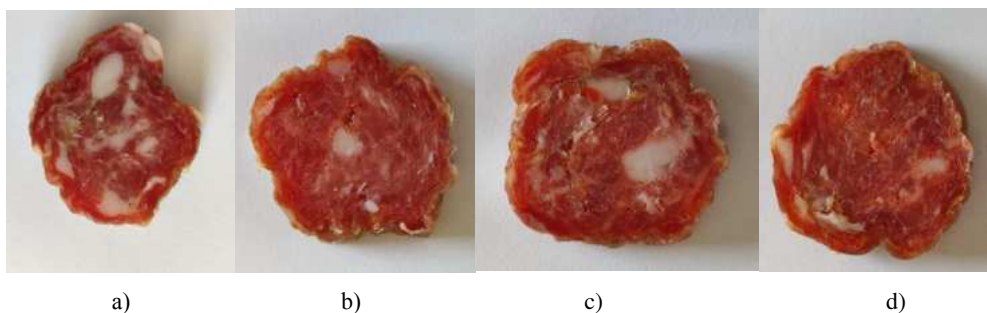
Celem przeprowadzonych badań była ocena wpływu dodatku wytlóków pomidorowych na parametry fizykochemiczne oraz właściwości przeciwutleniające surowo dojrzewających kielbas o obniżonym dodatku azotanu(III) sodu.

Materiał i metody badań

Materiał do badań stanowiły surowo dojrzewające kielbasy wyprodukowane w Katedrze Technologii Żywności Pochodzenia Zwierzęcego Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie w warunkach półtechnicznych. Produkty mięsne wytworzono z mięśni szynki oraz słoniny wieprzowej pochodzących od polskich tuczników rasy Wielka Biała Polska, pozyskanych z miejscowej ubojni w 48 h po uboju. Wyprodukowano cztery warianty kielbas z obniżonym dodatkiem azotanu (III) sodu (50 mg kg^{-1}) w stosunku do ilości dopuszczalnej zgodnie z Rozporządzeniem Komisji (UE) nr 1129/2011 [11].

Jako składniki dodatkowe do produkcji kielbas wykorzystano rozdrobnione wytłoki pomidorowe (nasiona i skórki), które wcześniej poddano procesowi liofilizacji. Liofilizowane wytłoki pomidorowe charakteryzowały się właściwościami antyoksydacyjnymi w zakresie od $0,112 \text{ mg Trolox eqv. g}^{-1}$ w badaniach z rodnikiem ABTS^{•+} do $0,120 \text{ mg Trolox eqv. g}^{-1}$ w badaniach z rodnikiem DPPH[•]. Średnia całkowita zawartość fenoli (TPC) wytłóków wynosiła $4,080 \text{ mg gallic acid eqv. g}^{-1}$ [26]. Zawartość składników bioaktywnych, w tym likopenu oraz beta-karotenu, oznaczona w liofilizowanych wytłokach pomidorowych była na poziomie odpowiednio $0,74 \text{ mg/100 g}$ i $0,68 \text{ mg/100 g}$. Do każdego wariantu dodano także $0,6 \%$ glukozy i $2,8 \%$ mieszaniny pekującej (sól morską + azotan(III) sodu) oraz komercyjne kultury starterowe (Moguntia, Bessa START). Według deklaracji producenta w skład mieszanki wchodziły: *Staphylococcus xylosus* oraz *Pediococcus pentosaceus*. Zgodnie z zaleceniami zastosowano je w ilości 30 g na 50 kg surowca mięsnego. Wychłodzony do temp. 2°C surowiec mięsny i tłuszczowy krojono, a następnie rozdrabniano przy użyciu wilka (KU2-3EK, Mesko-AGD Skarżysko-Kamienna, Polska), w którym zastosowano siatkę o średnicy otworów $0,01 \text{ m}$. Przygotowane surowce mięsne i tłuszczowe podzielono na cztery porcje i przygotowano cztery warianty kielbas: SK – próba kontrolna; STP $0,5 \%$ – próba z $0,5$ -procentowym dodatkiem wytłóków pomidorowych; STP 1% – próba z 1 -procentowym dodatkiem wytłóków pomidorowych; STP $1,5 \%$ – próba z $1,5$ -procentowym dodatkiem wytłóków pomidorowych. Wszystkie składniki mieszano z wykorzystaniem urządzenia typu KU2-3EK (Mesko-AGD, Skarżysko-Kamienna, Polska) z dołączonym mieszadłem typu R4 ($100 \text{ obr. min}^{-1}$, 3 min). Tak przygotowane farsze nadziewano w osłonki włókniste o średnicy 65 mm , formując batony o masie ok. 500 g . Następnie kielbasy ważono i zawieszano w komorze o kontrolowanej temperaturze i wilgotności (ITALFROST-DE RIGO-GS, Pszczyna, Polska) do uzyskania ubytku masy $30 \pm 3 \%$ (17 dni). Warunki produkcji obejmowały: Etap 1 – T $20 \div$

22 °C, RH 55 ÷ 65 %, 3 dni; Etap 2 – T 14 ÷ 16 °C, wilgotność względna 68 ÷ 75 %, 3 dni; Etap 3 – T 13 °C, RH 76 %, 11 dni. Po tym czasie próby pakowano próżniowo w woreczki z polietylenu o małej gęstości (LDPE) i przechowywano w temp. 4 °C przez 3 miesiące (90 dni).



Fot. 1. Przekrój kielbas po okresie chłodniczego przechowywania (90 dni): a) próba kontrolna; b) próba z 0,5-procentowym dodatkiem wytlóków pomidorowych; c) próba z 1-procentowym dodatkiem wytlóków pomidorowych; d) próba z 1,5-procentowym dodatkiem wytlóków pomidorowych.

Fig. 1. Cross-section of sausages after cold storage (90 days): a) control sample; b) sample with 0.5 % addition of tomato pomace; c) sample with 1 % addition of tomato pomace; d) sample with 1.5 % addition of tomato pomace.

Pomiar pH wykonywano w wodnych homogenatach produktów za pomocą pH-metru cyfrowego (CPC-501 Elmetron, Zabrze, Polska) wyposażonego w czujnik temperatury oraz elektrodę pH (ERH-111 Hydromet, Gliwice, Polska).

Aktywność wody (a_w) mierzono dla reprezentatywnych próbek pobranych po wcześniejszym rozdrobnieniu całych batonów z poszczególnych partii produktów za pomocą analizatora aktywności wody (Novasina AG, Lachen, Szwajcaria). Analizator został skalibrowany standardami wilgotności Novasina SAL-T (33 %, 75 %, 84 % i 90 % wilgotności względnej).

Pomiar barwy w systemie CIE $L^*a^*b^*$ wykonano za pomocą kolorymetru X-Rite 8200 (X-Rite, Inc., Grand Rapids, MI, USA) na przekrojach kielbas (bezpośrednio po wycięciu prób) metodą odbiciową wykorzystując próby o grubości ok. 50 mm. Każdorazowo przed użyciem kolorymetr był kalibrowany. Średnica pola pomiarowego wynosiła 12 mm. Pomiar prowadzono w zakresie od 360 do 740 nm. Jako źródło światła zastosowano oświetlacz D65 i standardowy obserwator kolorymetryczny 10°. Wyniki wyrażono w jednostkach systemu CIE $L^*a^*b^*$ [10]. Dla każdej próby wykonano pomiary w trzech miejscach przekroju. Całkowitą różnicę barwy (ΔE) podczas przechowywania obliczono zgodnie z AMSA [1].

Analizę amin biogennych (BA) przeprowadzono przy użyciu analizatora aminokwasów AAA 500 (Ingos, Praha, Czechy), wyposażonego w kolumnę jonowymienną

Ostion LG ANB ($7 \times 0,37$ cm, 75°C). Rozdział prowadzono przez stopniową elucję gradientową z użyciem buforów cytrynowych Na^+/K^+ . Roztwory BA przygotowano z buforem rozcieńczającym złożonym z 1,5 mM NaN_3 , 197 mM NaCl , i 73 mM kwasu cytrynowego w wodzie Milli-Q. System składał się z napełniającej kolumny chromatograficznej i stalowej kolumny wstępnej, dwóch pomp chromatograficznych do transportu buforów elucyjnych i odczynnika do derywatyzacji, chłodzonej karuzeli na próbki, zaworu dozującego, reaktora termicznego, detektora Vis oraz chłodzonej komory do odczynnik do derywatyzacji. Objętość wstrzykniętej próbki wynosiła 100 μL . Temperaturę reaktora ustawiono na 120°C . Zawartość BA (histaminy, tyraminy, putrescyny, kadaweryny, spermidyny, agmatyny i sperminy) oznaczono w odniesieniu do wzorców aminowych dostarczonych przez firmę Ingos (Czechy). Stężenia BA podano w mg kg^{-1} produktu.

Właściwości antyoksydacyjne względem rodnika ABTS^{++} i $\text{DPPH}^\bullet$ mierzono zgodnie z metodą opisaną przez Junga i wsp. [20], Ferysiuk i wsp. [18] oraz Erela [15] oraz metodą, którą zastosowali: Blois [4], Jung i i wsp. [20], Ferysiuk i wsp. [18] z niewielkimi modyfikacjami.

Analizy mikrobiologiczne obejmowały liczbę bakterii fermentacji mlekowej (LAB), bakterii *Enterobacteriaceae* (EB) oraz *Escherichia coli* (EC). Analizy wykonano przy użyciu automatycznego systemu zliczania drobnoustrojów TEMPO[®] LAB (Biomerieux, TEMPO[®] System, Marcy l'Etoile, Francja). Do oznaczeń mikrobiologicznych wykorzystano oryginalne testy TEMPO[®] do oznaczania liczby bakterii kwasu mlekowego (TEMPO LAB), *Enterobacteriaceae* (TEMPO EB) oraz *Escherichia coli* (TEMPO EC) w produktach spożywczych. Warunki inkubacji zastosowane w testach TEMPO LAB, TEMPO EB i TEMPO EC były następujące: czas inkubacji $40 \div 48$ h (LAB), 22–27 h (EB, EC); temperatura inkubacji: 37°C (LAB) i 35°C (EB, EC). Wyniki wyrażono jako $\log \text{CFU g}^{-1}$.

Doświadczenie przeprowadzono na dwóch partiach surowca. Wszystkie pomiary wykonano w minimum 3 powtórzeniach. Wartości analizowanych zmiennych przedstawiono za pomocą średniej $\pm$ odchylenia standardowe. Normalność rozkładu zmiennych w badanych grupach sprawdzono za pomocą testu Shapiro-Wilka. Różnice między grupami oceniano za pomocą testu ANOVA (wraz z testem post-hoc RIR Tukeya), a w przypadku niespełnienia warunków jego zastosowania testem Kruskala-Wallisa. Przyjęto poziom istotności $p < 0,05$, wskazujący na istnienie istotnych statystycznie różnic lub zależności. Bazę danych oraz analizę statystyczną przeprowadzono w oparciu o program komputerowy Statistica 9.1 (StatSoft, Polska).

Wyniki i dyskusja

Wartości pH i aktywności wody (a_w) doświadczalnych kielbas z różnym poziomem dodatku wytłoków pomidorowych po okresie 3 miesięcy chłodniczego przechodo-

wywania (90 dni) przedstawiono w tabeli 1. Próby kielbas zawierające dodatek wytlóków pomidorowych charakteryzowały się statystycznie niższymi wartościami pH w porównaniu z próbą kontrolną. Wartości kwasowości dla wszystkich prób doświadczalnych były typowe dla produktów mięsnych fermentowanych i kształtowały się w zakresie $4,74 \div 4,93$. Podobne zależności zaobserwowali także Eyiler i Oztan [16], którzy stwierdzili, iż wraz ze wzrostem stężenia proszku pomidorowego zwiększał się również spadek pH w wyrobach mięsnych. Jest to prawdopodobnie związane z niskim pH proszku pomidorowego ($\text{pH } 4,48 \div 5,02$). Kwasowość kielbas po okresie chłodniczego przechowywania opisana w niniejszej pracy była nieznacznie niższa w porównaniu do uzyskanej po zakończeniu procesu produkcji zgodnie z wynikami opublikowanymi przez autorów w poprzedniej pracy [26]. W przypadku aktywności wody zaobserwowano odwrotną zależność w porównaniu do pH. Próba wyrobu mięsnego z 1,5-procentowym dodatkiem wytlóków pomidorowych charakteryzowała się najwyższą wartością tego parametru. Aktywność wody doświadczalnych kielbas kształtowała się w zakresie $0,83 \div 0,86$. Uzyskane wartości omawianego parametru były niższe niż uzyskane w surowo dojrzewających kielbasach analizowanych po zakończonym procesie produkcyjnym [26]. Aktywność wody we wszystkich wariantach wyprodukowanych kielbas doświadczalnych była niższa niż minimalna niezbędna do rozwoju większości patogennych mikroorganizmów [22], co jest pozytywnym zjawiskiem w kontekście trwałości i bezpieczeństwa produktów.

Tabela 1. Wartości pH i aktywności wody (a_w) surowo dojrzewających kielbas po przechowywaniu (90 dni)

Table 1. pH values and water activity (a_w) of dry fermented sausages after storage (90 days)

Parametr Parameter	SK	STP 0,5 %	STP 1 %	STP 1,5 %
pH	$4,93^b \pm 0,03$	$4,77^a \pm 0,02$	$4,75^a \pm 0,01$	$4,74^a \pm 0,01$
a_w	$0,83^a \pm 0,002$	$0,85^{ab} \pm 0,004$	$0,84^a \pm 0,01$	$0,86^b \pm 0,01$

Objaśnienia / Explanatory notes:

W tabeli przedstawiono wartości średnie $\pm$ odchylenia standardowe / Table shows mean values $\pm$ standard deviation; $n = 3$; Warianty / Variants: SK – próba kontrolna; STP 0,5 % – próba z 0,5-procentowym dodatkiem wytlóków pomidorowych; STP 1 % – próba z 1-procentowym dodatkiem wytlóków pomidorowych; STP1,5 % – próba z 1,5-procentowym dodatkiem wytlóków pomidorowych. SK – control sample; STP 0,5 % – sample with 0,5 % addition of tomato pomace; STP 1 % – sample with 1 % addition of tomato pomace; STP1,5 % – sample with 1,5% addition of tomato pomace; a - c – wartości średnie w wierszach oznaczone różnymi małymi literami różnią się statystycznie istotnie (w obrębie danej cechy) przy $p < 0,05$ / mean values in rows denoted by different small superscript letters differ statistically significantly (within a given characteristic) at $p < 0.05$.

W tabeli 2 przedstawiono ilość zidentyfikowanych amin biogennych w doświadczalnych kielbasach surowo dojrzewających po okresie chłodniczego przechowywania (90 dni). Wykazano obecność dwóch amin (putrescyny i kadaweryny) we wszystkich próbach doświadczalnych. Analiza statystyczna wykazała istotne różnice w zawartości ($p \leq 0.05$) pierwszej z nich pomiędzy próbami. Próby z dodatkiem wytlóków pomidorowych charakteryzowały się istotnie niższą zawartością putrescyny w porównaniu z próbą kontrolną. Zaobserwowano, że wraz ze wzrostem udziału dodatku zmniejszała się ilość tej aminy biogennej. Nie zaobserwowano jednak istotnych statystycznie różnic w przypadku kadaweryny. Zawartość putrescyny kształtowała się w zakresie odpowiednio 60 - 120 mg kg⁻¹. Zawartość kadaweryny była taka sama dla wszystkich doświadczalnych kielbas (90 mg kg⁻¹). Całkowita zawartość amin biogennych wyrażona wartościami średnimi w surowo dojrzewających kielbasach wynosiła od 150 mg kg⁻¹ dla próby STP 1,5% do 210 mg kg⁻¹ dla próby SK. De Mey i wsp. [13] porównując zawartość amin biogennych w handlowych kielbasach fermentowanych, uzyskali wyższe stężenia dla obydwu amin (putrescyna: 316 mg kg⁻¹; kadaweryna: 614 mg kg⁻¹). Podobne wyniki uzyskali Borrajo i wsp. [5]. Autorzy ci zauważyli jednak odwrotny do obserwowanego w niniejszych badaniach trend w zawartości putrescyny i kadaweryny, których najmniej było w próbach kielbas z dodatkiem nasion chia i czarnuszki. Odnosząc się natomiast do wyników uzyskanych dla kielbas analizowanych po zakończonym procesie produkcyjnym [26] można zauważyć, iż stężenie putrescyny było wyższe dla kielbas po przechowywaniu, zaś niższe w przypadku zawartości kadaweryny. W kontekście narażenia fermentowanych produktów mięsnych na obecność amin biogennych wyzwaniem dla przemysłu mięsnego jest opracowanie technologii uzyskiwania produktów wolnych lub prawie wolnych od tych związków [19]. Zastosowane rozwiązanie polegające na wzbogaceniu produktów w roślinne dodatki technologiczne wpisuje się w ogólnoświatowy trend obserwowany w badaniach naukowych w ostatnich latach [27]. W tym kontekście podsumowując uzyskane w niniejszej pracy wyniki można stwierdzić, iż dodatek wytlóków pomidorowych jest ciekawą alternatywą dla obniżenia zawartości putrescyny w wyrobach mięsnych.

Tabela 2. Aminy biogenne surowo dojrzewających kielbas [mg kg⁻¹]Table 2. Biogenic amines of dry fermented sausages [mg kg⁻¹]

Parametr / Parameter	SK	STP 0,5 %	STP 1 %	STP 1,5 %
Putrescyna / Putrescine	120,0 ^c ± 10,0	90,0 ^b ± 10,0	61,0 ^{ab} ± 20,0	60,0 ^a ± 10,0
Kadaweryna / Cadaverine	90,0 ^a ± 10,0	90,0 ^a ± 10,0	90,0 ^a ± 10,0	90,0 ^a ± 10,0
Łącznie / Total	210,0 ^b ± 10,0	180,0 ^{ab} ± 10,0	151,0 ^a ± 20,0	150,0 ^a ± 40,0

Objaśnienia jak pod tab. 1. / Explanatory notes as in Table 1.

W tabeli 3 przedstawiono wyniki pomiarów parametrów barwy badanych prób po 90 dniach przechowywania. Zastosowanie wytlóków pomidorowych miało istotny wpływ na udział barwy czerwonej (a^*) uzyskanych wyrobów surowo dojrzewających. Wykazano statystycznie istotne różnice pomiędzy próbą kontrolną a próbą z dodatkiem 1,5 % surowca roślinnego. Zaobserwowano także tendencję wzrostową tego parametru wraz ze wzrostem stężenia dodatku. Podobne zależności zaobserwowali także Eyler i Oztan [16], którzy stwierdzili, iż proszek pomidorowy pełnił funkcję barwnika, a tym samym zwiększał wartość a^* w analizowanych próbach. Bardzo zbliżone wyniki uzyskali również Savadkoohi i wsp. [25]. Porównując natomiast wyniki kielbas analizowanych po zakończeniu procesu produkcji [26] można stwierdzić, iż kielbasy po 90-dniowym okresie chłodniczego przechowywania charakteryzowały się podobnymi wartościami wszystkich parametrów barwy (L^* a^* b^*), co świadczy o stabilności barwy produktów podczas przechowywania. W przypadku kielbas poddawanych analizie po zakończonej produkcji zaobserwowano natomiast statystycznie istotne różnice w przypadku parametrów L^* oraz b^* [26]. Podsumowując wyniki analizy barwy można stwierdzić, że dodatek wytlóków pomidorowych miał wpływ na parametry barwy, przyczyniając się tym samym do poprawy ogólnego wyglądu wyrobu mięsnego i potencjalnie zwiększenia akceptacji konsumentów.

Tabela 3. Parametry barwy CIE L^* a^* b^* surowo dojrzewających kielbas

Table 3. CIE L^* a^* b^* color parameters of dry fermented sausages

Parametr barwy Color parameter	SK	STP 0,5 %	STP 1 %	STP 1,5 %
L^*	$52,30^a \pm 1,59$	$48,62^a \pm 1,23$	$48,02^a \pm 3,85$	$47,05^a \pm 4,46$
a^*	$6,58^a \pm 1,52$	$11,29^{ab} \pm 0,19$	$13,15^{ab} \pm 1,99$	$13,93^b \pm 1,66$
b^*	$10,56^a \pm 3,19$	$11,01^a \pm 1,33$	$12,13^a \pm 1,59$	$12,46^a \pm 1,01$
ΔE	-	5,99	7,99	9,22

Objaśnienia jak pod tab. 1. / Explanatory notes as in Table 1.

Wyniki aktywności przeciwutleniającej wobec rodnika $ABTS^{++}$ oraz $DPPH^*$ przedstawiono w tabeli 4. Stwierdzono istotne różnice właściwości przeciwutleniających pomiędzy próbami surowo dojrzewających kielbas. Wykazano, iż wraz ze wzrostem stężenia dodatku wytlóków pomidorowych wzrasta także aktywność antyoksydacyjna wyrobów mięsnych. Aktywność prób wyrobów mięsnych wobec rodnika $DPPH^*$ kształtowała się w zakresie $0,033 \div 0,080$ mg ekwiwalentu Trolox g^{-1} zaś dla rodnika $ABTS^{++}$ $0,064 \div 0,130$ mg ekwiwalentu Trolox g^{-1} . Obserwacje te są zgodne z wynikami innych autorów oceniających wpływ surowców roślinnych bogatych w związki bioaktywne na aktywność przeciwutleniającą produktów mięsnych. Riazzi i wsp. [24] wykazali, że produkty mięsne o obniżonej zawartości azotanów z dodatkiem wytlóków

z winogron wykazywały wyższą aktywność przeciwutleniającą w porównaniu z próbami kontrolnymi. Również Ramli i wsp. [23] zauważyli podobną tendencję. Surowo dojrzewające kielbasy z dodatkiem wytlóków pomidorowych analizowane po zakończonej produkcji charakteryzowały się większą aktywnością przeciwutleniającą wobec rodnika DPPH[•] w porównaniu z tymi po okresie chłodniczego przechowywania i podobną w przypadku rodnika ABTS^{•+} [26]. Jednak w obu tych przypadkach stwierdzono, iż próby z dodatkiem wytlóków pomidorowych wykazywały silniejsze właściwości antyoksydacyjne. Dodatek wytlóków pomidorowych w ilości 1,5 % istotnie zwiększał aktywność przeciwutleniającą produktu mięsnego w porównaniu z dodatkiem 0,5 % wytlóków pomidorowych. Na podstawie uzyskanych wyników można zatem stwierdzić, że wytloki pomidorowe mogą być składnikiem żywności funkcjonalnej. Dzięki swoim właściwościom przeciwutleniającym mogą być stosowane w przemyśle mięsnym do poprawy aktywności antyoksydacyjnej produktów mięsnych z obniżonym dodatkiem azotanów (III) sodu.

Tabela 4. Aktywność przeciwutleniająca surowo dojrzewających kielbas

Table 4. Antioxidant activity of dry fermented sausages

Parametr / Parameter	SK	STP 0,5 %	STP 1 %	STP 1,5 %
DPPH [•] [mg ekw. Trolox/ g ⁻¹] DPPH [•] [mg Trolox eqv. g ⁻¹]	0,033 ^a ± 0,001	0,051 ^b ± 0,004	0,060 ^b ± 0,002	0,080 ^c ± 0,005
ABTS ^{•+} [mg ekw. Trolox/ g ⁻¹] ABTS ^{•+} [mg Trolox eqv. g ⁻¹]	0,064 ^a ± 0,01	0,100 ^b ± 0,003	0,123 ^c ± 0,001	0,130 ^c ± 0,001

Objaśnienia jak pod tab. 1. / Explanatory notes as in Table 1.

Wyniki analiz mikrobiologicznych zostały przedstawione w tabeli 5. Nie zaobserwowano różnic w liczbie *E. Coli* oraz bakterii z rodziny *Enterobacteriaceae* pomiędzy doświadczalnymi próbami wyrobów mięsnych. Ich liczba w doświadczalnych kielbasach surowo dojrzewających po okresie chłodniczego przechowywania wynosiła < 10 CFU g⁻¹. Analiza statystyczna wykazała natomiast istotne różnice w liczebności bakterii fermentacji mlekowej. Zaobserwowano bowiem, iż próba z 1,5-procentowym dodatkiem wytlóków pomidorowych charakteryzowała się statystycznie mniejszą liczbą bakterii kwasu mlekowego w porównaniu z pozostałymi próbami. Porównując uzyskane w niniejszej pracy wyniki z wynikami innych autorów można zaobserwować, iż większość z nich odnotowała spadek liczby bakterii z grupy *Enterobacteriaceae* jako efekt dodatku surowców roślinnych bogatych w składniki bioaktywne [3, 5, 26]. Liczba bakterii fermentacji mlekowej w doświadczalnych surowo dojrzewających wyro-

bach mięsnych z dodatkiem wytlóków pomidorowych kształtowała się w zakresie $7,24 \div 7,96 \log \text{CFU g}^{-1}$. Uzyskane wartości świadczą o prawidłowym przebiegu procesu fermentacji podczas produkcji wyrobów mięsnych. Zaobserwowano, że dodatek wytlóków pomidorowych na poziomie 1,5 % hamował namnażanie się bakterii z tej grupy. Odwrotną zależność zaobserwowali Borrajo i wsp. [5], którzy wykazali, że dodatek nasion chia lub czarnuszki nasilał proliferację bakterii LAB. Porównując natomiast wyniki uzyskane dla kielbas analizowanych po zakończeniu produkcji [26] można zaobserwować, że liczba bakterii fermentacji mlekowej była nieznacznie niższa w przypadku wyrobów poddawanych analizie po okresie chłodniczego przechowywania. Obniżenie liczby bakterii mogło być spowodowane nagromadzeniem kwasu mlekowego, który hamował rozwój bakterii mlekowych, o czym może również świadczyć niższe pH prób kielbas fermentowanych wyprodukowanych z dodatkiem wytlóków pomidorowych.

Tabela 5. Wyniki analiz mikrobiologicznych surowo dojrzewających kielbas

Table 5. The results of microbiological analyzes of dry fermented sausages

Bakteria / Bacteria	SK	STP 0,5 %	STP 1,0 %	STP 1,5 %
<i>Enterobacteriaceae</i> [log CFU g ⁻¹]	< 10	< 10	< 10	< 10
<i>Lactic acid bacteria</i> [log CFU g ⁻¹]	7,77 ^b ± 0,11	7,96 ^b ± 0,28	7,61 ^{ab} ± 0,09	7,24 ^a ± 0,14
<i>Escherichia coli</i> [log CFU g ⁻¹]	< 10	< 10	< 10	< 10

Objaśnienia jak pod tab. 1. / Explanatory notes as in Table 1.

Włączenie surowca bogatego w związki bioaktywne, takie jak wytloki pomidorowe podczas produkcji surowo dojrzewających kielbas stanowi jedną z nowatorskich strategii rozwoju produktów mięsnych z obniżonym dodatkiem azotanów(III) i (V) sodu zgodnie z ideą „czystej etykiety”. Wyniki uzyskane w przeprowadzonych badaniach wskazują, że redukcja azotanów do poziomu 50 mg kg⁻¹ z jednoczesnym dodatkiem wytlóków pomidorowych pozwala na uzyskanie fermentowanych kielbas surowo dojrzewających o dobrych właściwościach fizykochemicznych z jednoczesnym podniesieniem ich właściwości antyoksydacyjnych. Zmniejszenie dodatku azotanów(III) sodu do poziomu 50 mg kg⁻¹ zmniejsza także ryzyko tworzenia N-nitrozozwiązków, a dodatek wytlóków pomidorowych bogatych w związki o działaniu przeciwutleniającym podwyższa aktywność przeciwutleniającą produktów mięsnych. Zastosowane wytloki pomidorowe charakteryzowały się bowiem silnymi właściwościami antyoksydacyjnymi wobec rodnika ABTS^{•+} oraz DPPH[•], jak również miały w swoim składzie dużą całkowitą zawartość fenoli [24]. Mogą być one zatem stosowane jako naturalny

dodatek do produkcji kielbas surowych dojrzewających z obniżonym dodatkiem azotanu(III) sodu. Możliwość wykorzystania tego produktu ubocznego w przetwórstwie mięsa wspiera działania w kierunku zmniejszenie strat żywności.

Wnioski

1. Dodatek wyłoków pomidorowych skutecznie zwiększył potencjał antyoksydacyjny surowo dojrzewających kielbas, co prawdopodobnie wynika z wzbogacenia produktów w związki fenolowe. Produkt zawierający 1,5 % dodatku wyłoków pomidorowych charakteryzował się najsilniejszymi właściwościami antyoksydacyjnymi.
2. Zwiększenie stężenia dodatku wyłoków pomidorowych spowodowało zwiększenie udziału barwy czerwonej produktu mięsnego, co może mieć pozytywny wpływ na akceptację konsumentów.
3. Dodatek wyłoków pomidorowych skutecznie obniżał zawartość putrescyny oraz całkowitą zawartość amin biogennych w analizowanych wyrobach mięsnych, co pozytywnie wpływa na bezpieczeństwo produktów zmniejszając potencjalne ryzyko powstawania N-nitrozoamin.
4. Dodatek surowca roślinnego na poziomie 1,5 % hamował wzrost bakterii kwasu mlekowego w kielbasach surowo dojrzewających, co może być efektem nagromadzenia kwasu mlekowego.

Literatura

- [1] AMSA. Meat Color Measurements Guidelines; American Meat Science Association: Savoy, IL, USA, 2012.
- [2] Azabou S., Abid Y., Sebii H., Felfoul I., Gargouri A., Attia H.: Potential of the solid-state fermentation of tomato by products by *Fusarium solani* pisi for enzymatic extraction of lycopene. *LWT-Food Sci. Technol.*, 2016, 68, 280–287.
- [3] Bazargani-Gilani B., Aliakbari J., Tajik H.: Effect of pomegranate juice dipping and chitosan coating enriched with *Zataria multiflora* Boiss essential oil on the shelf-life of chicken meat during refrigerated storage. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, 2015, 29, 280–287.
- [4] Blois M.S.: Antioxidant determination by the use of a stable free radical. *Nature*, 1958, 181, 1199–1200.
- [5] Borrajo P., Karwowska M., Stasiak D.M., Lorenzo J.M., Żyśko M., Solska E.: Comparison of the Effect of Enhancing Dry Fermented Sausages with *Salvia hispanica* and *Nigella sativa* Seed on Selected Physicochemical Properties Related to Food Safety during Processing. *Appl. Sci.*, 2021, 11, 9181.
- [6] Calvo M.M., Garcia M.L., Selgas M.D.: Dry fermented sausages enriched with lycopene from tomato peel. *Meat Sci.*, 2008, 80, 167–172.
- [7] Campbell-Platt G.: Fermented meats - A world perspective. In.: *Fermented Meats*. Eds. G. Campbell-Platt, P.E. Cook. Blackie Academic & Professional, New York, USA, 1995, pp. 39–52.
- [8] Carballo J.: Sausages: Nutrition, Safety, Processing and Quality Improvement. *Foods*, 2021, 10, 890.

- [9] Cegielka A.: “Clean label” as one of the leading trends in the meat industry in the world and in Poland- A review. *Rocz. Państw. Zakł. Hig.*, 2020, 71, 43–55.
- [10] Commission Internationale de l’Eclairage: Recommendations on Uniform Colour Spaces, Colour Difference Equations, Psychometric Color Terms; Supplement No. 2; Bureau Central de la CIE: Paris, France, 1978.
- [11] Commission Regulation (EU). No. 1129/2011 of 11 November 2011 amending Annex II to Regulation (EC) No. 1333/2008 of the European Parliament and of the Council by establishing a Union list of food additives. *J. Eur. Union*, 2011, 295, 1–177.
- [12] De Andrade Lima M., Kestekoglou I., Charalampopoulos D., Chatzifragkou A.: Supercritical Fluid Extraction of Carotenoids from Vegetable Waste Matrices. *Molecules*, 2019, 24, 466.
- [13] De Mey E., De Klerck K., De Maere H.L., Derdelinckx G., Peeters M.C., Fraeye I., Heyden Y.V., Paelinck H.: The occurrence of N-nitrosamines, residual nitrite and biogenic amines in commercial dry fermented sausages and evaluation of their occasional relation. *Meat Sci.*, 2014, 96, 821–828.
- [14] dos Santos Cruxen C.E., Graciele C., Funck D., Haubert L., da Silva Dannenber D., de Lima Marques J., Chaves F.C., Silvaab W.P., Fiorentini A.M.: Selection of native bacterial starter culture in the production of fermented meat sausages: Application potential, safety aspects, and emerging technologies. *Food Res. Int.*, 2019, 122, 371–382.
- [15] Erel O.: A novel automated direct measurement method for total antioxidant capacity using a new generation, more stable ABTS radical cation. *Clin. Biochem.*, 2004, 37, 277–285.
- [16] Eyiler E., Oztan A.: Production of frankfurters with tomato powder as a natural additive. *LWT-Food Sci. Technol.*, 2011, 44, 307–311.
- [17] Ferreres F., Taveira M., Pereira D.M., Valentão P., Andrade P.B.: Tomato (*Lycopersicon esculentum*) seeds: New flavonols and cytotoxic effect. *J. Agric. Food Chem.*, 2010, 58, 2854–2861.
- [18] Ferysiuk K., Wójciak K.M., Materska M.: Phytochemical profile of *Silybum marianum* (L.) Gaertn. and Graminis rhizoma and its influence on the bioactivity and shelf life of industrially produced pâté. *Int. J. Food Sci. Technol.*, 2020, 55, 1586–1598.
- [19] Grootveld M., Percival B.C., Zhang J.: Extensive chemometric investigations of distinctive patterns and levels of biogenic amines in fermented foods: Human health implications. *Foods*, 2020, 9, 1807.
- [20] Jung S., Choe J., Kim B., Yun H., Kruk Z.A., Jo C.: Effect of dietary mixture of gallic acid and linoleic acid on antioxidative potential and quality of breast meat from broilers. *Meat Sci.*, 2010, 86, 520–526.
- [21] Ma L., Hu L., Feng X., Wang S.: Nitrate and nitrite in health and disease. *Aging Dis.*, 2018, 9, 938–945.
- [22] Principles of preservation of shelf-stable dried meat products. [on line] USDA – United States Department of Agriculture. Dostęp w Internecie [24.10.2014]: https://www.fsis.usda.gov/shared/PDF/FSRE_SS_7Principles.pdf
- [23] Ramli A.N.M., Manap N.W.A., Bhuyar P., Azelee N.I.W.: Passion fruit (*Passiflora edulis*) peel powder extract and its application towards antibacterial and antioxidant activity on the preserved meat products. *Appl. Sci.*, 2020, 2, 1748.
- [24] Riaz F., Zeynali F., Hoseini E., Behmadi H., Savadkoobi S.: Oxidation phenomena and color properties of grape pomace on nitrite-reduced meat emulsion systems. *Meat Sci.*, 2016, 121, 350–358.
- [25] Savadkoobi S., Hoogenkamp Shamsi K., Farahnaky A.: Color, sensory and textural attributes of beef frankfurter, beef ham and meat-free sausage containing tomato pomace. *Meat Sci.*, 2014, 97, 410–418.
- [26] Skwarek P., Karwowska M.: Fatty Acids Profile and Antioxidant Properties of Raw Fermented Sausages with the Addition of Tomato Pomace. *Biomolecules*, 2022, 12(11), 1695.

- [27] Świder O., Wójcicki M., Roszko M.L.: Aminy biogenne – oszacowanie ryzyka spożycia i możliwości ograniczenia ich formowania w żywności fermentowanej. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2021, 28, 2 (127), 21 – 35.
- [28] Toldrá F.: Biochemistry of fermented meat. In.: *Food Biochemistry and Food Processing*. Eds. J. Wiley. Hoboken, NJ, USA, 2012, pp. 331–343.
- [29] Ursachi C.S., Perta-Crisan S., Munteanu F.D.: Strategies to improve meat products' quality. *Foods*, 2020, 9, 1883.

TOMATO POMACE AS AN INNOVATIVE INGREDIENT FOR NITRATE-REDUCED DRY FERMENTED SAUSAGES

S u m m a r y

Background. The aim of the study was to evaluate the effect of freeze-dried tomato pomace on the quality of dry fermented meat products with reduced nitrogen compounds. In this study, the effect of the addition of tomato pomace on the physicochemical parameters, antioxidant properties and microbiological safety of dry fermented sausages with reduced nitrate content after three months of storage was evaluated. Four experimental variants of pork sausages differing in the addition of tomato pomace were produced: a control sample and samples with 0.5 %, 1 % and 1.5 % addition of freeze-dried tomato pomace. The sausages produced were analyzed for: pH, water activity, color parameters (CIE L* a* b*), biogenic amine content. The change in antioxidant properties depending on the amount of additive used (in relation to ABTS^{•+} and DPPH[•] radicals) was also evaluated. Microbiological analyses were also carried out to determine product safety.

Results and conclusion. The products were characterized by similar water activity and pH in the range of $0.83 \div 0.86$ and $4.74 \div 4.93$, respectively. The effect of tomato pomace addition was observed to increase antioxidant activity with increasing additive concentration. The product with 1.5% addition of freeze-dried tomato pomace also had the highest redness (a*), which affected the overall appearance of the finished product. Sausage samples with the addition of tomato pomace were also characterized by a lower putrescine content compared to the control sample. Thus, the results obtained indicate that the addition of tomato pomace affects the redness and increased antioxidant capacity of dry fermented meat products. The most promising results were obtained for dry fermented sausage with 1.5 % addition of tomato pomace. Therefore, the results suggest that tomato by-products can be used in the meat industry to reduce nitrates in meat products and improve their antioxidant activity.

Key words: dry fermented sausages, tomato pomace, nitrates, antioxidant properties 

Research Article

The Effect of Tomato Pomace on the Oxidative and Microbiological Stability of Raw Fermented Sausages With Reduced Addition of Nitrites

Patrycja Skwarek and Małgorzata Karwowska 

Department of Animal Food Technology, Sub-Department of Meat Technology and Food Quality, University of Life Sciences in Lublin, Lublin, Poland

Correspondence should be addressed to Małgorzata Karwowska; malgorzata.karwowska@up.lublin.pl

Received 6 October 2024; Accepted 5 March 2025

Academic Editor: Giorgia Spigno

Copyright © 2025 Patrycja Skwarek and Małgorzata Karwowska. International Journal of Food Science published by John Wiley & Sons Ltd. This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

The aim of the study was to assess the impact of the addition of freeze-dried tomato pomace (TP) on the physicochemical parameters, oxidative changes, and microbiological stability of raw fermented sausages with reduced addition of nitrites. It was shown that the addition of TP reduced the pH value of experimental meat products. All analyzed meat products were characterized by similar low water activity in the range of 0.842–0.865. The addition of TP also increased the antioxidant activity of sausages, which effectively inhibited oxidative changes in lipids of meat products by reducing the TBARS values. The use of 1.5% and 2.5% TP also resulted in an increase of redness (a^*) of the sausages, which may have a positive impact on its acceptance by consumers. Additionally, sausages containing TP were characterized by a higher heme iron content as well as higher carbonyl groups. The addition of TP did not affect the number of lactic acid bacteria in sausages. The most promising results were obtained for dry fermented sausage with 2.5% addition of TP. It can therefore be concluded that the use of TP as a natural antioxidant makes it possible to reduce nitrates in the production of meat products and additionally helps to reduce food waste.

Keywords: carbonyl groups; oxidative stability; raw fermented sausages; tomato pomace

1. Introduction

Meat consumption has long been an important component of the human diet and is considered necessary for the proper development of the human body [1]. It is an important source of energy and a number of nutrients, including high-quality protein, minerals, and vitamins [2]. Nowadays, many types of meat products are produced. One of them are raw fermented sausages; their consumption is constantly increasing, mainly due to their unique sensory properties. Moreover, fermented sausages are considered a healthy and safe product that has a beneficial effect on humans [3]. This is mainly related to their unique nutritional composition and health-promoting properties resulting from the fermentation process. They are an excellent source of high-quality protein that contains all the essential exogenous

amino acids. Additionally, they contain saturated and unsaturated fatty acids, mainly oleic acid and polyunsaturated fatty acids omega-3 and omega-6, which have a beneficial effect on the human body, lowering LDL cholesterol levels, thus supporting the circulatory system. In addition, fermented meat products are rich in essential microelements, including B vitamins, as well as minerals (heme iron, zinc, selenium, phosphorus), crucial in protection against oxidative stress [4]. Moreover, bacteria, mainly *Lactobacillus*, *Ped-iococcus*, and *Staphylococcus*, also play an important role during the fermentation process, which can support the intestinal microflora and improve digestion. Due to the fact that they lower the pH of raw fermented products and participate in the transformation of proteins and fats during proteolysis and lipolysis processes, they may affect the safety, taste, texture, and shelf life of the finished product. In the

production of raw fermented sausages, starter cultures are often used to ensure a controlled fermentation process, which is crucial for stabilizing the characteristic red color, limiting the development of undesirable bacteria and molds, and the development of flavor compounds [5]. However, due to the relatively high level of fat and the characteristic processing technology, fermented sausages are susceptible to lipid and protein oxidation and the growth of undesirable bacteria [6]. These reactions are one of the main causes of deterioration of the quality of meat and meat products because they affect their color, taste, consistency, and nutritional value and thus also contribute to shortening their shelf life [7]. Lipid oxidation is also responsible for the formation of off-flavors in meat products (including rancid taste) and also affects the texture and digestibility of proteins [8, 9]. Lipid oxidation occurs as a result of a reaction of free-chains that generate many by-products, particularly aldehydes. Malondialdehyde (MDA), one of the most closely studied aldehydes, is considered an indicator of oxidative damage in fats [10]. Protein is also an important ingredient in meat. Moderate protein degradation during the processing and storage of meat products can help improve their taste and nutritional value. However, excessive oxidation of proteins can lead to deterioration of the quality of the meat product, negatively affecting its texture, color, and taste. Protein oxidation is a free radical chain reaction, similar to lipid oxidation. One of the most commonly observed effects of protein oxidation in meat is the formation of carbonyl compounds [11].

However, the rate of oxidation processes can be effectively slowed down by using antioxidants. Nitrogen compounds are one of the most popular additives used in the meat industry which have, among others, antioxidant properties. In the curing process, they are mainly used to improve the shelf life of the product, as they effectively inhibit the growth of many harmful microorganisms [12]. Thanks to their antimicrobial properties they effectively inhibit the growth of *Clostridium botulinum* and *Staphylococcus aureus* (STA) bacteria. Through their action, they inhibit their metabolism and the production of botulinum toxin and toxins responsible for food poisoning, protecting the product and ensuring its microbiological safety [13]. In addition to their preservative effect, their use also contributes to the development of the characteristic red–pink color and taste of processed meat [14]. Moreover, stable complexes between nitrite-derived compounds and heme iron inhibit the release of free iron, which is therefore not available to initiate lipid peroxidation [15]. According to Safa et al. [16], nitrogen compounds significantly delay the formation of carbonyl compounds responsible for the rancid taste. However, nitrates and nitrites are among the most frequently questioned food additives by consumers [17]. High levels of these substances in the human body can lead to methemoglobinemia, a condition in which hemoglobin is converted to methemoglobin, thereby losing its ability to transport oxygen, which can be fatal in severe cases [18]. Nitrite, particularly in an acidic environment, often reacts with various components of meat, such as amino acids, myoglobin, and phenolic compounds. Additionally, as a nitrosation agent, it reacts

with secondary amines to form highly carcinogenic nitrosamines [19]. Furthermore, nitrite can reduce the absorption of proteins and fats from food, which may lead to thyroid dysfunction [20]. It is therefore important to remember that the European Union has established rules on maximum levels of nitrites in meat products to protect the health of consumers while ensuring their effectiveness in preventing the development of pathogens. According to Commission Regulation (EC) No. 1129/2011 on food additives, sodium nitrite (E250) in raw fermented meat products cannot be used in an amount greater than 150 mg/kg of the finished product (Commission Regulation (EU) No. 1129/2011 [21]). Therefore, a challenge for the meat industry is to develop methods to reduce these additives in meat products to limit their consumption [22]. Nowadays, the strategies used are mainly based on improving the composition of meat products by including bioactive ingredients, reducing the amount of exogenous additives and native harmful compounds.

One of the more and more commonly used methods is the use of natural plant raw materials, which allow the reduction/elimination of nitrates from the final product, while achieving the same or similar effects in meat products. Moreover, their use also has a beneficial effect on increasing the antioxidant properties of meat products due to their strong antioxidant properties [23]. An example of this is the use of by-products such as fruit and vegetable pomace, including tomato pomace (TP). Promising results from various studies suggest that using tomato by-products as natural additives can help extend the shelf life of meat products, offering consumers food with only natural ingredients. The use of these additives often leads to improvements in nutritional value, reduced lipid oxidation, and increased stability of the shelf life, while maintaining or even enhancing sensory properties and overall acceptability [24]. Tomatoes characterized excellent antioxidant properties and intense red color, including the presence of lycopene; they can be utilized in the meat industry to prevent oxidative degradation and discoloration, as well as to produce functional foods.

Research conducted as part of the previous experiment [25] confirmed the benefits of using TP as an addition to raw ripening products. The results obtained inspired further research on the use of higher levels of TP and their impact on the oxidative stability of sausages. In this context, the aim of study was to analyze the effect of freeze-dried TP in the amount of 1.5% and 2.5% on the physicochemical parameters, amino acid profile, antioxidant properties, and oxidative changes occurring in raw-ripened sausages with reduced nitrate content, both after production and after 3 months of storage. Additionally, microbiological analyses were also carried out to determine product safety and storage stability.

2. Material and Methods

2.1. Dry Fermented Sausage Production. The study analyzed dry fermented sausages produced with an addition of 50-mg sodium nitrite per kilogram of meat. The sodium nitrite

concentration was reduced compared to the maximum permissible levels (150-mg sodium nitrite per kilogram of meat) specified in Commission Regulation (EU) No. 1129/2011 [21]. The sausages were made using ham and back fat from Polish large white pigs, obtained from a local slaughterhouse 48 h postmortem. The raw materials were transported to the laboratory under refrigeration conditions. The research was conducted at the Department of Meat Technology and Food Quality at the University of Life Sciences in Lublin under semitechnical conditions. The meat and fat were ground using a commercial grinder (model KU2-3EK, Mesko-AGD Skarżysko-Kamienna, Poland) with a grinding plate of 0.01-m diameter. The dry fermented sausages were made using a mixture of 85% meat and 15% fat. Each batch of the sausage mixture was added with 0.6% glucose and 2.8% curing mixture, which consisted of sea salt and sodium nitrite. This formulation ensured a sodium nitrite concentration in the mixture of 50 mg/kg. Commercial starter cultures (Moguntia, Bessa START) were also added. According to the manufacturer's declaration, the mixture included *Staphylococcus xylosum* and *Pediococcus pentosaceus*. They were used in an amount of 30 g per 50 kg of meat raw material. The study also used lyophilized TP (seeds and skins), which was lyophilized at -50°C in a lyophilizer (Labconco Free-Zone, United States) and ground into particles smaller than 0.3 mm just before use. Three sausage variants were prepared: SK—control sample, STP 1.5%—sample with 1.5% TP addition, and STP 2.5%—sample with 2.5% TP addition. After mixing the ingredients in a universal machine model KU2-3EK (Mesko-AGD, Skarżysko-Kamienna, Poland) with a R4 type mixer (100 rpm, 3 min), the raw mixture was stuffed into fibrous casings ($\varnothing$ 65 mm; Viskase, Chicago, United States) using a manual sausage stuffer. The sausages weighed approximately 500 g. In the subsequent stages, the sausages were placed in fermentation chambers (model ITALFROST-DE RIGO-GS, Pszczyna, Poland), where the fermentation process continued until a weight loss of $30 \pm 3\%$ was achieved, which took 20 days. The fermentation process was divided into three phases: Stage 1—temperature 20°C – 22°C , relative humidity 55%–65%, for 3 days; Stage 2—temperature 14°C – 16°C , relative humidity 68%–75%, for 3 days; Stage 3—temperature 13°C , relative humidity 76%, for 14 days. The groups of dry fermented sausages are depicted in Figure 1. The measurements were conducted after production (Day 0) and again following a storage period of 3 months (90 days).

2.2. Proximate Chemical Composition. The moisture, protein, collagen, and fat content of dry fermented sausages was measured on samples weighing approximately 200 g after grinding, using a Food Scan Lab 78,810 analyzer (Foss Tecator Co., Ltd., Hillerød, Denmark).

2.3. The Physicochemical Parameters (pH and Water Activity). The pH value was determined in homogenates obtained by homogenizing 10 g of the product sample with 50 mL of distilled water for 1 min. The pH measurement was performed using a digital pH meter CPC-501 (Elmetron, Zabrze, Poland), equipped with a temperature sensor

and a pH electrode (model ERH-111, Hydromet, Gliwice, Poland). Before starting the analysis, the pH meter was calibrated with buffer solutions of pH 4.0, 7.0, and 9.0. Water activity (aw) was measured using a water activity analyzer (Novasina AG, Lachen, Switzerland), which was calibrated with Novasina SAL-T humidity standards corresponding to relative humidities of 33%, 75%, 84%, and 90%. A 5-g sample was placed in the device's chamber, and the measurement was carried out automatically at a temperature of 20°C .

2.4. Antioxidant Activity. The measurement was conducted on experimental sausages according to the method previously described by Skwarek and Karwowska [25]. The samples' ability to scavenge ABTS^{•+} and DPPH free radicals was assessed by comparing the results to a Trolox standard curve. The results were expressed in milligrams per gram of product.

2.5. Oxidation Stability (Thiobarbituric Acid Reactive Substances (TBARS) Values). The lipid oxidation process was analyzed using the method for measuring substances reactive to 2-thiobarbituric acid (TBARS). The quantification of compounds reacting with thiobarbituric acid (TBA) was conducted following the procedure described by Pikul et al. [26], with perchloric acid used as the solvent. Absorbance was measured at 532 nm using a UV spectrophotometer (Nicolet Evolution 300, Thermo Electron Corp., Waltham, Massachusetts, United States). The results were presented as milligram of MDA per kilogram of sample.

2.6. Protein Carbonyl Content. Protein carbonyl content was measured using the MAK094 kit (Sigma-Aldrich, St. Louis, Missouri, United States) designed for detecting carbonyls in proteins, following the procedures outlined in the technical bulletin. The results are presented as nanomoles of carbonyls per milligram of protein.

2.7. Amino Acid Content. The content of amino acids (mg g^{-1}) was analyzed as indicators of the progressive change of proteolytic proteins in dry fermented sausages. The content of free amino acids was determined using the method described by Stadnik and Dolatowski [27]. The analysis was carried out using an automatic amino acid analyzer AAA 400 (Ingos Ltd., Czech Republic), equipped with an ion-exchange column Ostion LG ANB (36×0.37 cm) operating at 70°C . The following amino acids present in dry fermented sausages were analyzed: asparagine (Asn), threonine (Thr), serine (Ser), glutamine (Glu), proline (Pro), glycine (Gly), alanine (Ala), valine (Val), isoleucine (Ile), leucine (Leu), tyrosine (Tyr), phenylalanine (Phe), histidine (His), lysine (Lys), and arginine (Arg).

2.8. Microbiological Analyses. Microbiological tests were conducted to determine the number of lactic acid bacteria (LAB), Enterobacteriaceae (EB), *Escherichia coli* (EC), yeasts and molds (YM), and STA. An automatic microbial counting system, TEMPO LAB (Biomerieux, TEMPO System, Marcy l'Etoile, France) was used for this purpose. Microbiological determinations were performed using original TEMPO tests: TEMPO LAB for LAB, TEMPO EB for EB,

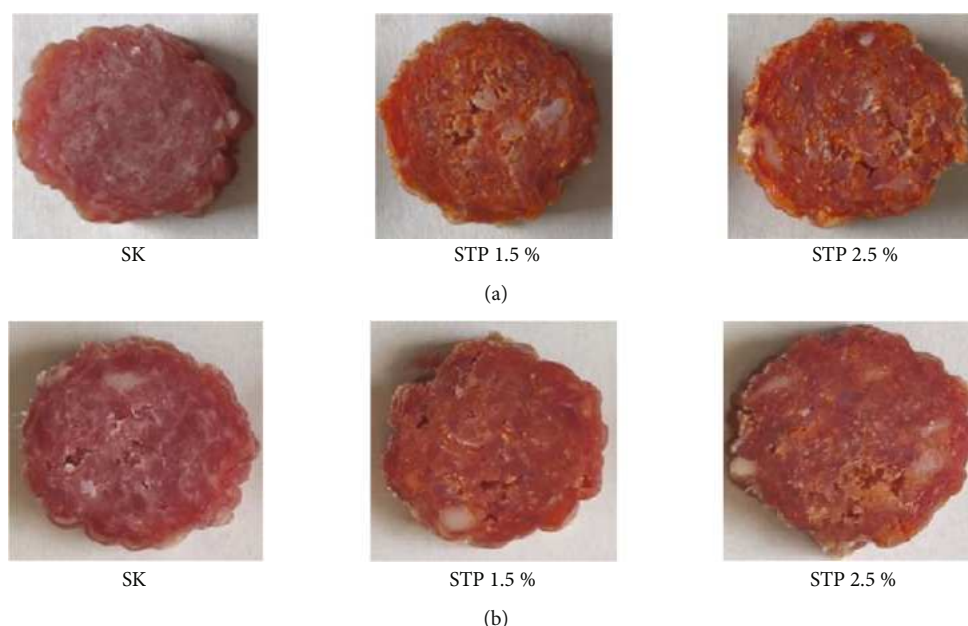


FIGURE 1: Cross-sectional appearance of fermented sausages (a) after the production and (b) after 3 months of storage (90 days). SK—control sample; STP 1.5%—sample with 1.5% addition of TP; STP 2.5%—sample with 2.5% addition of TP.

TEMPO EC for EC, TEMPO YM for YM, and TEMPO STA for STA. Sample incubation conditions were as follows: for LAB, incubation time was 40–48 h at 37°C; for EB and EC, 22–27 h at 35°C; for YM, 72–76 h at 25°C; and for STA, 24–27 h at 37°C. The results were expressed as the logarithm of colony-forming unit per gram of product (log CFU/g).

2.9. Color Measurements. The color of dry fermented sausages was analyzed using the L^* , a^* , and b^* parameters (L^* —lightness, a^* —redness, b^* —yellowness) with an X-Rite 8200 colorimeter (X-Rite, Inc., Grand Rapids, Michigan, United States). Color measurements were performed on samples with 5-cm thick and a depth of 20 mm [28]. Before measurements, the colorimeter was calibrated using the provided black and white plates. The measurement was made on the cross section immediately after cutting. The instrumental settings included using a 12-mm diameter aperture, a D65 light source, and a 10° standard colorimetric observer. The color difference (ΔE) between the control and test samples during storage was calculated according to AMSA [28] using the following formula:

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2}.$$

For interpreting the results, the following criteria were applied: $0 < \Delta E < 1$, the difference is not noticeable to the observer; $1 < \Delta E < 2$, the difference can only be perceived by an experienced observer; $2 < \Delta E < 3.5$, the difference is visible to both experienced and inexperienced observers; $3.5 < \Delta E < 5$, the color difference is clearly noticeable; $\Delta E > 5$, the observer perceives two distinctly different colors [29].

2.10. Heme Iron Content. The heme iron content in the samples was determined using the method proposed by Hornsey

[30]. Absorbance measurements were performed with a UV-VIS spectrophotometer model Nicolet Evolution 300, manufactured by Thermo Electron Corp., Waltham, Massachusetts, United States. The total pigment and heme iron content in the samples was calculated according to the procedure described by Lee et al., with results expressed in mg/kg^{-1} .

2.11. Instrumental Evaluation of the Texture. The texture parameters were analyzed using the TA.XT2 Texture Analyzer (Stable Micro Systems Ltd., Godalming, United Kingdom). Cylindrical samples of meat products, with a diameter of 20 mm and a length of 20 mm, were used for the test. The test was conducted at a speed of 10 mm/min, with a compression level of 50% of the initial sample height. Measurements were carried out at a temperature of 20°C–22°C. Hardness (Newton) was determined from the force-time curve obtained during the test.

2.12. Statistical Analysis. The experiment was conducted twice. The collected data were analyzed using Statistica 9.1 (StatSoft, Poland). Results are presented as means $\pm$ standard deviations, with each sample analyzed in triplicate. The normality of the distribution of variables in each group was assessed using the Shapiro–Wilk test. Effects between categorical factors (storage time and type of sausage) and variables among subgroups were analyzed using factorial ANOVA. Homogeneous groups were identified using the post hoc HSD Tukey test. A significance level of $p < 0.05$ was adopted, indicating statistically significant differences.

3. Results

3.1. Proximate Chemical Composition of Fermented Sausage. The experimental fermented sausages with TP were

TABLE 1: Proximate chemical composition (percentage) of dry fermented sausages.

Parameter	Treatment	Storage time (days)	
		0	90
Fat	SK	22.10 ± 0.56 ^{aA}	21.30 ± 1.81 ^{aA}
	STP 1.5%	21.01 ± 0.03 ^{aA}	21.35 ± 0.22 ^{aA}
	STP 2.5%	21.94 ± 0.07 ^{aA}	21.87 ± 0.51 ^{aA}
Protein	SK	43.72 ± 0.82 ^{aA}	43.93 ± 2.05 ^{aA}
	STP 1.5%	44.31 ± 0.02 ^{aA}	41.89 ± 0.31 ^{aA}
	STP 2.5%	44.05 ± 0.24 ^{aA}	42.29 ± 0.03 ^{aA}
Moisture	SK	30.69 ± 1.32 ^{aA}	31.42 ± 0.72 ^{aA}
	STP 1.5%	31.59 ± 0.22 ^{aA}	31.90 ± 0.03 ^{aA}
	STP 2.5%	30.29 ± 0.12 ^{aA}	30.55 ± 0.65 ^{aA}
Collagen	SK	4.34 ± 0.35 ^{aB}	2.90 ± 0.32 ^{aA}
	STP 1.5%	4.05 ± 0.02 ^{aA}	3.44 ± 0.25 ^{aA}
	STP 2.5%	4.29 ± 0.14 ^{aA}	4.15 ± 0.43 ^{aA}
Salt	SK	3.51 ± 0.07 ^{bA}	3.94 ± 0.07 ^{aB}
	STP 1.5%	3.45 ± 0.03 ^{abA}	3.93 ± 0.14 ^{aA}
	STP 2.5%	3.26 ± 0.00 ^{aA}	3.88 ± 0.24 ^{aA}

Note: SK—control sample; STP 1.5%—sample with 1.5% addition of TP; STP 2.5%—sample with 2.5% addition of TP. Means marked with the same lowercase letters a–b in the same column are not statistically different ($p \leq 0.05$). Means marked with the same capital letter A–B in the same line (within the same variant of variable in different time) are not statistically different ($p \leq 0.05$).

characterized by a high protein content (41.89%–44.31%) as shown in Table 1. The statistical analysis did not reveal statistically significant differences in fat, protein, and moisture content ($p \leq 0.05$) between the sausage variants both after production and after 90 days of storage. In the case of these ingredients, no significant effect of storage time was found. A significant difference in the collagen content was observed between the control sample analyzed after the production process and the control sample analyzed after 90 days of refrigerated storage, but no statistical differences in this parameter were observed within the variable on the same day. The salt concentration in the three groups of fermented sausages was similar due to the same amount added during production, although the samples with the addition of TP were characterized by a slightly lower concentration of this ingredient. However, this phenomenon could be caused by the large amount of sugars in the TP.

3.2. Results of pH and Water Activity. Table 2 shows the pH and water activity values of raw fermented sausages with different concentrations of TP. Statistical analysis showed a significant impact of the concentration of TP and storage on the pH of fermented sausages. The increase in the percentage of TP significantly reduced the pH of the sausages. At the same time, the pH of the samples with the addition of TP was significantly higher compared to the samples after production (0 day). Statistical analysis showed a significant effect of TP addition and no effect of storage on the water

TABLE 2: pH and water activity of dry fermented sausages during processing.

Parameter	Treatment	Storage time (days)	
		0	90
pH	SK	4.51 ± 0.01 ^{cA}	4.57 ± 0.01 ^{bA}
	STP 1.5%	4.32 ± 0.01 ^{bA}	4.38 ± 0.02 ^{aB}
	STP 2.5%	4.27 ± 0.01 ^{aA}	4.34 ± 0.01 ^{aB}
Water activity	SK	0.848 ± 0.005 ^{aA}	0.863 ± 0.002 ^{bA}
	STP 1.5%	0.856 ± 0.003 ^{abA}	0.862 ± 0.001 ^{abA}
	STP 2.5%	0.860 ± 0.002 ^{bA}	0.859 ± 0.001 ^{aA}

Note: SK—control sample; STP 1.5%—sample with 1.5% addition of TP; STP 2.5%—sample with 2.5% addition of TP. Means marked with the same lowercase letters a–c in the same column are not statistically different from each other ($p \leq 0.05$). Means marked with the same capital letter A–B in the same line (within the same variant of variable in different time) are not statistically different from each other ($p \leq 0.05$).

activity of fermented sausages. After the production, the sample with 2.5% TP had the highest water activity.

3.3. Antioxidant Activity and Oxidative Stability of Raw Fermented Sausages. The results of measuring the antioxidant activity of sausages showed statistically significant differences ($p \leq 0.05$) between the samples (Table 3). The samples with the addition of 2.5% TP were characterized by the highest antioxidant activity both against the ABTS+ radical and DPPH. It was also found that the antioxidant activity of the samples was significantly higher in sausages analyzed after 90 days of storage compared to samples tested after production.

Statistical analysis showed a significant impact of TP addition and storage on the TBARS value. The effect of the addition of TP on the reduction of secondary fat oxidation products was found. It was also observed that with increasing TP concentration, less oxidative degradation of meat products occurred. After 90 days of storage, the samples were characterized by significantly lower TBARS compared to the results obtained on Day 0.

3.4. Amino Acid Content in Raw Fermented Sausages. Table 4 shows the amino acid profile of fermented sausages. There was no significant effect ($p \leq 0.05$) of TP on the amino acid profile of sausages. Statistical analysis showed significant differences in the content of Ala, Pro, Arg, and Leu in the control sample on the 0 and 90 days. The control sample was characterized by significantly higher Ala and Leu content on Day 0 compared to Day 90. A similar phenomenon was observed for the sample with 1.5% TP in the case of Pro and the sample with 2.5% for Arg.

3.5. Results of Microbiological Analyses. Statistical analysis of the results of microbiological analyses (Table 5) did not show a significant effect of the TP addition on the number of LAB and YM. However, a significant effect of storage was found, as products with TP on Day 90 were characterized by a significantly lower LAB compared to Day 0. The number of LAB in the analyzed products ranged from 6.80

TABLE 3: Antioxidant activity and oxidative stability of dry fermented sausages.

Parameter	Treatment	Storage time (days)	
		0	90
ABTS (mg Trolox eqv. g ⁻¹)	SK	0.049 ± 0.003 ^{aA}	0.089 ± 0.006 ^{aB}
	STP 1.5%	0.069 ± 0.003 ^{bA}	0.117 ± 0.003 ^{bB}
	STP 2.5%	0.073 ± 0.003 ^{bA}	0.125 ± 0.002 ^{bB}
DPPH (mg Trolox eqv. g ⁻¹)	SK	0.046 ± 0.003 ^{aA}	0.068 ± 0.006 ^{aB}
	STP 1.5%	0.080 ± 0.004 ^{bA}	0.086 ± 0.002 ^{bA}
	STP 2.5%	0.115 ± 0.017 ^{cA}	0.120 ± 0.003 ^{cA}
TBARS (mg MDA kg ⁻¹)	SK	2.44 ± 0.08 ^{bB}	1.60 ± 0.20 ^{bA}
	STP 1.5%	2.16 ± 0.04 ^{aB}	1.27 ± 0.13 ^{bA}
	STP 2.5%	2.06 ± 0.04 ^{aB}	0.89 ± 0.09 ^{aA}
Carbonyl content (nmole carbonyl mg protein ⁻¹)	SK	0.637 ± 0.015 ^{aA}	0.451 ± 0.201 ^{aA}
	STP 1.5%	0.681 ± 0.147 ^{abA}	0.709 ± 0.075 ^{aA}
	STP 2.5%	0.913 ± 0.067 ^{bA}	1.378 ± 0.041 ^{bB}

Note: SK—control sample; STP 1.5%—sample with 1.5% addition of TP; STP 2.5%—sample with 2.5% addition of TP. Means marked with the same lowercase letters a–c in the same column are not statistically different from each other ($p \leq 0.05$). Means marked with the same capital letter A–B in the same line (within the same variant of variable in different time) are not statistically different from each other ($p \leq 0.05$).

to 8.60 log CFU g⁻¹. None of the sausages contained EC, EB, or STA.

3.6. Color Parameters, Heme Iron Content, and Hardness. The L^* , a^* , and b^* values of sausage samples with the addition of TP are presented in Table 6. It was found that the level of TP addition and storage had a statistically significant ($p \leq 0.05$) effect on the tested color parameters. The increase in the concentration of the TP resulted in a decrease in lightness in the analyzed meat products. Additionally, it was observed that during storage, the lightness value decreased for all variants of experimental sausages. The influence of the TP level and storage time was observed for the color parameter a^* and b^* . Sausages without plant additives had the lowest redness. The addition of TP resulted in a significant increase of redness in the sausages compared to the control sample. In the case of the b^* parameter, the same tendency was observed, which could be due to the presence of a large amount of carotenoids in TP. Color differences (ΔE) between samples of raw fermented sausages with different amounts of TP showed that the greatest color changes occurred in the case of sausages with the highest TP content. Obtained ΔE values greater than 5 mean that the observer notices two different colors of the samples.

Statistical analysis showed significant differences in the content of heme iron in raw-ripened sausages. The addition of TP had a significant impact on the increase in the heme iron content of the samples. The sample with 2.5% TP had the highest value of this parameter. Statistically significant differences ($p \leq 0.05$) were also observed in terms of storage. All samples analyzed after production were characterized by a higher content of heme iron compared to sausages tested after 90 days of refrigerated storage.

The texture measurement results showed that the addition of TP had a significant effect ($p \leq 0.05$) on the hardness of the tested sausages. It was found that as the concentration

of TP increases, the hardness of meat products increases, which may be related to the gelling properties of proteins present in TP, thus causing chemical retention of water in the protein matrix and an increase in the hardness of raw fermented sausages.

4. Discussion

The meat industry needs effective and safe solutions to inhibit the oxidation processes of ingredients of meat products using natural ingredients to replace chemical additives. Currently, much attention is paid to the use of by-products from fruit and vegetable processing as valuable bioactive ingredients. The results of the experiment performed in this study showed a significant impact of the addition of TP (1.5%–2.5%) on selected parameters of raw fermented sausages. It was found that the addition of TP had no effect on the fat and protein content in meat products, even though TPs are rich in proteins (34%) and lipids (30%) [31]. The results obtained were similar to those published in previous work [25]. The observed differences in collagen content between the control sample analyzed after the production process compared to those analyzed after 90 days of storage could be mainly due to the enzymatic degradation of collagen and the hydrolysis processes that occur during maturation and storage. Sausages with TP, which contain high amounts of lycopene capable of neutralize free radicals, as well as responsible for the breakdown of collagen and other structural proteins, could slow the loss and degradation of collagen as a result of their antioxidant action, thereby contributing to prolonging the shelf life and improving the texture of the finished meat product [24].

Statistical analysis showed that the use of TP had an impact on the physicochemical properties of the tested sausages. The pH of meat products was below 5.0, which is an important factor inhibiting the development of pathogenic

TABLE 4: Amino acid content in dry fermented sausages during processing (mg g^{-1}).

Parameter	Treatment	Storage time (days)	
		0	90
Asp	SK	$41.00 \pm 0.56^{\text{aA}}$	$40.00 \pm 1.41^{\text{aA}}$
	STP 1.5%	$39.65 \pm 1.48^{\text{aA}}$	$38.10 \pm 0.14^{\text{aA}}$
	STP 2.5%	$39.95 \pm 0.63^{\text{aA}}$	$38.40 \pm 0.28^{\text{aA}}$
Thr	SK	$22.40 \pm 0.70^{\text{aA}}$	$22.35 \pm 1.06^{\text{aA}}$
	STP 1.5%	$21.75 \pm 0.77^{\text{aA}}$	$21.55 \pm 0.21^{\text{aA}}$
	STP 2.5%	$21.40 \pm 0.28^{\text{aA}}$	$21.50 \pm 0.14^{\text{aA}}$
Ser	SK	$14.35 \pm 0.35^{\text{aA}}$	$14.15 \pm 0.91^{\text{aA}}$
	STP 1.5%	$13.95 \pm 0.21^{\text{aA}}$	$13.45 \pm 0.07^{\text{aA}}$
	STP 2.5%	$14.00 \pm 0.14^{\text{aA}}$	$13.80 \pm 0.00^{\text{aA}}$
Glu	SK	$64.55 \pm 1.76^{\text{aA}}$	$62.90 \pm 3.81^{\text{aA}}$
	STP 1.5%	$62.40 \pm 1.83^{\text{aA}}$	$61.75 \pm 0.63^{\text{aA}}$
	STP 2.5%	$62.80 \pm 1.41^{\text{aA}}$	$62.85 \pm 0.63^{\text{aA}}$
Pro	SK	$31.90 \pm 1.41^{\text{aA}}$	$31.95 \pm 2.61^{\text{aA}}$
	STP 1.5%	$31.80 \pm 0.84^{\text{aB}}$	$29.75 \pm 1.06^{\text{aA}}$
	STP 2.5%	$30.45 \pm 1.20^{\text{aA}}$	$29.80 \pm 0.28^{\text{aA}}$
Gly	SK	$16.45 \pm 0.63^{\text{aA}}$	$15.55 \pm 0.77^{\text{aA}}$
	STP 1.5%	$15.35 \pm 0.21^{\text{aA}}$	$14.90 \pm 0.28^{\text{aA}}$
	STP 2.5%	$15.90 \pm 0.00^{\text{aA}}$	$15.20 \pm 0.14^{\text{aA}}$
Ala	SK	$19.55 \pm 0.77^{\text{aB}}$	$18.80 \pm 0.84^{\text{aA}}$
	STP 1.5%	$18.60 \pm 0.42^{\text{aA}}$	$18.10 \pm 0.14^{\text{aA}}$
	STP 2.5%	$18.75 \pm 0.07^{\text{aA}}$	$18.30 \pm 0.00^{\text{aA}}$
Val	SK	$17.90 \pm 0.56^{\text{aA}}$	$17.35 \pm 0.63^{\text{aA}}$
	STP 1.5%	$17.35 \pm 0.77^{\text{aA}}$	$16.75 \pm 0.35^{\text{aA}}$
	STP 2.5%	$17.20 \pm 0.28^{\text{aA}}$	$16.70 \pm 0.14^{\text{aA}}$
Ile	SK	$16.85 \pm 0.35^{\text{aA}}$	$16.70 \pm 0.70^{\text{aA}}$
	STP 1.5%	$16.45 \pm 0.63^{\text{aA}}$	$15.95 \pm 0.63^{\text{aA}}$
	STP 2.5%	$16.50 \pm 0.14^{\text{aA}}$	$15.85 \pm 0.07^{\text{aA}}$
Leu	SK	$27.95 \pm 0.91^{\text{aB}}$	$26.70 \pm 0.84^{\text{aA}}$
	STP 1.5%	$26.30 \pm 0.99^{\text{aA}}$	$25.65 \pm 0.07^{\text{aA}}$
	STP 2.5%	$26.50 \pm 0.28^{\text{aA}}$	$26.15 \pm 0.07^{\text{aA}}$
Tyr	SK	$14.55 \pm 0.63^{\text{aA}}$	$14.50 \pm 0.70^{\text{aA}}$
	STP 1.5%	$14.10 \pm 0.56^{\text{aA}}$	$13.80 \pm 0.14^{\text{aA}}$
	STP 2.5%	$13.95 \pm 0.07^{\text{aA}}$	$14.15 \pm 0.07^{\text{aA}}$
Phe	SK	$14.65 \pm 0.35^{\text{aA}}$	$14.50 \pm 0.70^{\text{aA}}$
	STP 1.5%	$14.35 \pm 0.49^{\text{aA}}$	$13.95 \pm 0.21^{\text{aA}}$
	STP 2.5%	$14.25 \pm 0.21^{\text{aA}}$	$14.00 \pm 0.00^{\text{aA}}$
His	SK	$14.80 \pm 0.56^{\text{aA}}$	$14.55 \pm 0.35^{\text{aA}}$
	STP 1.5%	$14.10 \pm 0.42^{\text{aA}}$	$13.80 \pm 0.14^{\text{aA}}$
	STP 2.5%	$14.40 \pm 0.00^{\text{aA}}$	$14.20 \pm 0.14^{\text{aA}}$
Lys	SK	$25.10 \pm 0.99^{\text{aA}}$	$23.70 \pm 0.56^{\text{aA}}$
	STP 1.5%	$22.85 \pm 0.49^{\text{aA}}$	$22.55 \pm 0.07^{\text{aA}}$
	STP 2.5%	$24.10 \pm 0.00^{\text{aA}}$	$23.25 \pm 0.35^{\text{aA}}$

TABLE 4: Continued.

Parameter	Treatment	Storage time (days)	
		0	90
Arg	SK	$22.60 \pm 0.99^{\text{aA}}$	$22.00 \pm 0.70^{\text{aA}}$
	STP 1.5%	$22.15 \pm 0.91^{\text{aA}}$	$20.80 \pm 0.28^{\text{aA}}$
	STP 2.5%	$21.80 \pm 0.28^{\text{aB}}$	$21.10 \pm 0.28^{\text{aA}}$

Note: SK—control sample; STP 1.5%—sample with 1.5% addition of TP; STP 2.5%—sample with 2.5% addition of TP. Means marked with the same lowercase letters a–c in the same column are not statistically different from each other ($p \leq 0.05$). Means marked with the same capital letter A–B in the same line (within the same variant of variable in different time) are not statistically different from each other ($p \leq 0.05$). Abbreviations: Ala, alanine; Arg, arginine; Asp, asparagine; Glu, glutamine; Gly, glycine; His, histidine; Ile, isoleucine; Leu, leucine; Lys, lysine; Phe, phenylalanine; Pro, proline; Ser, serine; Thr, threonine; Tyr, tyrosine; Val, valine.

TABLE 5: Results of microbiological analyses of dry fermented sausages.

Parameter	Treatment	Storage time (days)	
		0	90
LAB ($\log \text{CFU g}^{-1}$)	SK	$8.26 \pm 0.21^{\text{aA}}$	$7.73 \pm 0.52^{\text{aA}}$
	STP 1.5%	$8.55 \pm 0.42^{\text{aB}}$	$7.47 \pm 0.10^{\text{aA}}$
	STP 2.5%	$8.60 \pm 0.06^{\text{aB}}$	$6.80 \pm 0.42^{\text{aA}}$
YM ($\log \text{CFU g}^{-1}$)	SK	$1.65 \pm 0.58^{\text{aA}}$	$1.17 \pm 0.29^{\text{aA}}$
	STP 1.5%	$2.19 \pm 0.13^{\text{aA}}$	$1.53 \pm 0.49^{\text{aA}}$
	STP 2.5%	$2.51 \pm 1.62^{\text{aA}}$	$1.00 \pm 0.00^{\text{aA}}$
EC (CFU g^{-1})	SK	< 10	< 10
	STP 1.5%	< 10	< 10
	STP 2.5%	< 10	< 10
EB (CFU g^{-1})	SK	< 10	< 10
	STP 1.5%	< 10	< 10
	STP 2.5%	< 10	< 10
STA (CFU g^{-1})	SK	< 10	< 10
	STP 1.5%	< 10	< 10
	STP 2.5%	< 10	< 10

Note: SK—control sample; STP 1.5%—sample with 1.5% addition of TP; STP 2.5%—sample with 2.5% addition of TP. Means with the same letter a–b do not differ significantly ($p > 0.05$) within the variable in the same day (column); means with the same cover letter A–B do not differ significantly ($p > 0.05$) within the same variant of variable in different day (row).

Abbreviations: EB, Enterobacteriaceae; EC, *E. coli*; LAB, lactic acid bacteria; STA, *Staphylococcus aureus*; YM, yeast and molds.

microorganisms [32]. Similar to our experiment, other researchers [33–35] confirmed that addition of TP to meat products resulted in a decrease in the pH of sausages and this decrease depended on the concentration of the plant additive. This is probably related to the fact that TP is characterized by high acidity (pH 4.48–5.02). Water activity in experimental raw fermented sausages ranged from 0.848 to 0.863. These results were lower compared to the results published in the previous experiment [25], which resulted in the

TABLE 6: CIE L^* , a^* , b^* color parameters, heme iron content, and hardness of dry fermented sausages.

Parameter	Treatment	Storage time (days)	
		0	90
L^*	SK	49.25 ± 3.29 ^{aB}	47.95 ± 2.39 ^{bA}
	STP 1.5%	48.99 ± 2.00 ^{aB}	46.13 ± 1.15 ^{abA}
	STP 2.5%	47.61 ± 1.71 ^{aB}	44.96 ± 1.62 ^{aA}
a^*	SK	11.15 ± 0.58 ^{aA}	11.18 ± 0.78 ^{aA}
	STP 1.5%	20.85 ± 2.47 ^{bA}	20.63 ± 1.13 ^{bA}
	STP 2.5%	22.35 ± 1.72 ^{bA}	22.86 ± 1.39 ^{cA}
b^*	SK	8.66 ± 0.56 ^{aA}	9.11 ± 0.88 ^{aA}
	STP 1.5%	21.42 ± 3.20 ^{bA}	19.99 ± 2.56 ^{bA}
	STP 2.5%	23.75 ± 3.12 ^{bA}	21.82 ± 4.31 ^{bA}
ΔE	SK		
	STP 1.5%	16.43 ± 3.74 ^{aA}	14.80 ± 2.97 ^{aA}
	STP 2.5%	18.92 ± 3.31 ^{aA}	17.75 ± 2.19 ^{aA}
Heme iron content (mg kg ⁻¹)	SK	15.99 ± 2.34 ^{aA}	11.75 ± 0.12 ^{aA}
	STP 1.5%	19.11 ± 1.13 ^{abB}	12.63 ± 0.48 ^{bA}
	STP 2.5%	24.58 ± 3.60 ^{bB}	13.26 ± 0.14 ^{bA}
Hardness (N)	SK	15.50 ± 6.23 ^{aA}	22.40 ± 3.35 ^{aB}
	STP 1.5%	21.78 ± 3.99 ^{aA}	24.57 ± 4.07 ^{aA}
	STP 2.5%	32.68 ± 8.81 ^{bA}	29.41 ± 1.44 ^{bA}

Note: SK—control sample; STP 1.5%—sample with 1.5% addition of TP; STP 2.5%—sample with 2.5% addition of TP. Means marked with the same lowercase letters a–b in the same column are not statistically different from each other ($p \leq 0.05$). Means marked with the same capital letter A–B in the same line (within the same variant of variable in different time) are not statistically different from each other ($p \leq 0.05$).

inhibition of the growth of EC and EB, ensuring the microbiological stability of the meat product and thus not negatively affecting the development of LAB.

The influence of the addition of TP on the increase in the antioxidant activity of sausages was observed. This increase was also closely related to the concentration of the added plant additive. These observations were also confirmed by other researchers [36, 37]. The results obtained in this experiment were also similar to those published in our previous articles [25, 38]. However, contrary to previous studies, an opposite trend was observed, which showed that sausages analyzed after the cold storage process had higher antioxidant activity than those tested after the production process. This is a beneficial phenomenon because it allows the oxidation reactions to slow down and protects against their adverse effects on meat products.

In this context, it was shown that the addition of TP influenced the TBARS value in the experimental sausages, contributing to the delay of the fat oxidation and increasing the oxidative stability of meat products. This was most likely due to the fact that lycopene which is a strong antioxidant effectively neutralizes free oxygen radicals, including hydroxyl and peroxide radicals. These radicals are the main initiators of the fat oxidation reaction, which may reduce the rate of lipid oxidation in meat, and thus reduce the TBARS value. Moreover, polyphenols and vitamin C present in TP inhibit oxidation processes by interacting with metals, preventing their participation in reactions catalyzing fat oxidation. Lycopene, polyphenols, and vitamin C work syner-

gistically, slowing down the development of peroxidation and preventing the formation of harmful oxidation products [24, 39]. Additionally, the obtained results ranged from 2.0 to 2.5 mg MDA kg⁻¹ and did not exceed the level that results in the formation of unpleasant aroma and taste in meat and its products [40]. Similar observations were also reported by Candogan [41], Kim et al. [42], Kęska et al. [43], and Babaoğlu et al. [44]. The results obtained in our research indicated that the addition of by-products of the fruit and vegetable industry, including TP, inhibits the formation of primary and secondary lipid oxidation products in meat products. This effect can be attributed to lycopene and bioactive compounds (beta-carotene, polyphenols) contained in by-products, which contribute most to increasing the antioxidant activity of meat products. Additionally, the content of carotenoids (lycopene and β -carotene) in TP made it possible to obtain raw fermented sausages with reduced nitrite addition (up to 50 mg/kg) with a low TBARS value [45].

Protein oxidation, similar to lipid oxidation, is an important cause of meat quality deterioration. Our study found a significant effect ($p \leq 0.05$) of the addition of TP on the content of carbonyl groups in the fermented sausages. They were characterized by a higher content of this parameter compared to the control sample. The results obtained differed from the observations of other authors [44, 46]. However, the effect of various plant additives on protein oxidation is not yet fully understood, unlike their effect on lipid oxidation. Many plant extracts such as blackcurrant, grapes, and pomegranate have an inhibitory effect on

protein oxidation [47–49]. Studies by other authors have confirmed that the addition of rosemary and apple [50, 51] is ineffective in relation to the oxidation of proteins in various meat products. The different effectiveness of plant additives may result from different chemical structures of phenolic compounds [51].

Raw fermented sausages were characterized by a high content of some amino acids, mainly Asp (38.10–41.00 mg/g), Thr (21.40–22.40 mg/g), Glu (61.75–64.55 mg/g), Pro (29.75–31.95 mg/g), Leu (25.65–27.95 mg/g), Lys (22.55–25.10 mg/g), and Arg (20.80–22.60 mg/g), which confirms their nutritional value. Apart from a few cases, there was no significant effect ($p \leq 0.05$) of the addition of TP on the amino acid content in the experimental sausages. In this study, the results obtained differed from those of other authors [52, 53]. In the current study, the most abundant amino acids were Asn and Glu. The possible reason for such high values of these amino acids in the analyzed products was the fact that the basic amino acids found in tomato seed protein include glutamic acid (19.44%–24.37%) and aspartic acid (8.82%–10.32%) which are a source of Glu and Asn [54].

In the experimental sausages, the LAB content ranged from 6.80 to 8.60 log CFU g⁻¹. There was no significant effect of TP addition on the number of LAB in fermented sausages. These results were similar to those published in our previous studies [25, 38] and by other authors [44]. Microbiological analysis for mold and yeast content showed no significant differences between groups of tested meat products. Raw fermented sausages were characterized by low mold and yeast content (1.00–2.51 log CFU g⁻¹). These results were lower compared to studies by other authors [55–57]. EC, EB, and STA were not detected in all samples (< 10 CFU g⁻¹).

Statistical analysis showed that the addition of TP had a significant effect ($p \leq 0.05$) on the color parameters of the final product. The L^* value (lightness) of sausages decreased as a result of the increased concentration of TP. The results obtained are similar to those published in our previous paper [25] and by other authors [34, 35, 42, 58]. This phenomenon can be explained by the fact that TP is dark in color and adding it to meat products reduces the lightness of the color. It was observed that increasing the content of TP added to the tested experimental sausages also resulted in an increase in the a^* and b^* values, which is consistent with the results of Calvo et al. [58] and Ghafouri-Oskuei et al. [35]. The reason for the increase in the a^* value in sausage samples with the addition of plant raw material can be attributed to lycopene, which is present in TP [59]. Although lycopene is a red pigment, its addition to meat may also change its color toward orange, which may be explained by the increase in the b^* parameter in batches containing the addition of TP [34].

Statistical analysis showed a significant effect ($p \leq 0.05$) of TP addition on the heme iron content in fermented sausages. It was found that with the increase in the addition of TP, the content of this parameter also increased. Statistically significant differences ($p \leq 0.05$) were also observed in terms of storage time. All samples analyzed after production were characterized by a higher content of this parameter com-

pared to sausages tested after 90 days of cold storage. The results obtained differed from those of other authors [60, 61]. The addition of TP rich in lycopene resulted in a lower release of iron bound in heme and thus a delay in the lipid oxidation, which was confirmed by the discussed earlier TBARS content results. This phenomenon could be due to the fact that lycopene and phenolic compounds present in TP can slow down the oxidation of hemoglobin. Additionally, they can increase the bioavailability of iron, especially that contained in heme, by breaking down protein complexes and improving its absorption by the body. It can therefore be assumed that their antioxidant properties and metal chelating ability may promote the release of iron from heme, thus affecting the overall quality of meat products [62, 63].

The TP used also significantly increased the hardness of the tested sausages. It was found that as the TP concentration increased, the hardness of meat products also increased. These observations were also confirmed by other authors [58, 64, 65]. This phenomenon is caused by the fact that TP contains large amounts of fiber, which modify the texture of meat products [64].

5. Conclusion

The research showed that the addition of TP increased the antioxidant activity of raw fermented sausages; therefore, it can be assumed that it enriched the products with lycopene and phenolic compounds that effectively inhibited oxidative changes in lipids. Fortification of sausages with TP also resulted in an increase of redness. Additionally, these sausages contained a higher amount of heme iron. However, the plant additive was not effective in inhibiting the protein oxidation in fermented sausage. Nevertheless, the obtained products were of high quality and TP had a positive impact on improving the characteristics of the meat product. The addition of TP increased the antioxidant activity of the tested sausages, which contributed to delaying fat oxidation, slowing down the processes of releasing iron bound in heme and increasing the oxidative stability of meat products and maintaining microbiological stability. Additionally, it improved the color of the final product, which may have a positive effect for consumer acceptance. It can therefore be concluded that TP in an amount as low as 2.5% can be used as a natural addition to the production of raw fermented sausages, thus enabling the reduction of nitrite consumption.

Data Availability Statement

The data that support the findings of this study are available from the corresponding author upon reasonable request.

Conflicts of Interest

The authors declare no conflicts of interest.

Funding

No funding was received for this manuscript.

References

- [1] J. D. Higgs, "The Changing Nature of Red Meat: 20 Years of Improving Nutritional Quality," *Trends in Food Science & Technology* 11, no. 3 (2000): 85–95, [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(00\)00055-8](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(00)00055-8).
- [2] P. M. Pereira and A. F. Vicente, "Meat Nutritional Composition and Nutritive Role in the Human Diet," *Meat Science* 93, no. 3 (2013): 586–592, <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.09.018>.
- [3] X. Chen, R. Mi, B. Qi, et al., "Effect of Proteolytic Starter Culture Isolated From Chinese Dong Fermented Pork (Nanx Wudl) on Microbiological, Biochemical and Organoleptic Attributes in Dry Fermented Sausages," *Food Science and Human Wellness* 10, no. 1 (2021): 13–22, <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2020.05.012>.
- [4] P. E. S. Munekata, M. Pateiro, I. Tomasevic, et al., "Functional Fermented Meat Products With Probiotics - A Review," *Journal of Applied Microbiology* 133, no. 1 (2022): 91–103, <https://doi.org/10.1111/jam.15337>.
- [5] X. Zhang, Y. Zhang, Y. Chen, Z. Wang, and W. Guo, "Functional Characteristics of *Lactobacillus* and Yeast Single Starter Cultures in the Ripening Process of Dry Fermented Sausage," *Frontiers in Microbiology* 11 (2020): 611260.
- [6] H. Van Ba, H. W. Seo, S. H. Cho, et al., "Effects of Extraction Methods of Shiitake By-Products on Their Antioxidant and Antimicrobial Activities in Fermented Sausages During Storage," *Food Control* 79 (2017): 109–118, <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.03.034>.
- [7] J. Jiang and Y. L. Xiong, "Natural Antioxidants as Food and Feed Additives to Promote Health Benefits and Quality of Meat Products: A Review," *Meat Science* 120 (2016): 107–117, <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.04.005>.
- [8] R. Domínguez, M. Pateiro, M. Gagaoua, F. J. Barba, W. Zhang, and J. M. Lorenzo, "A Comprehensive Review on Lipid Oxidation in Meat and Meat Products," *Antioxidants* 8, no. 10 (2019): 429, <https://doi.org/10.3390/antiox8100429>.
- [9] M. L. Soladoye Juarez, J. L. Aalhus, P. Shand, and M. Estévez, "Protein Oxidation in Processed Meat: Mechanisms and Potential Implications on Human Health," *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 14, no. 2 (2015): 106–122, <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12127>.
- [10] M. A. Ghani, C. Barril, D. R. Bedgood, and P. D. Prenzler, "Measurement of Antioxidant Activity With the Thiobarbituric Acid Reactive Substances Assay," *Food Chemistry* 230 (2017): 195–207, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.02.127>.
- [11] M. Estévez, "Protein Carbonyls in Meat Systems: A Review," *Meat Science* 89, no. 3 (2011): 259–279, <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.04.025>.
- [12] J. H. Choi, D. H. Song, J. S. Hong, et al., "Nitrite Scavenging Impact of Fermented Soy Sauce In Vitro and in a Pork Sausage Model," *Meat Science* 151 (2019): 36–42, <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.01.001>.
- [13] M. H. Shakil, A. T. Trisha, M. Rahman, et al., "Nitrites in Cured Meats, Health Risk Issues, Alternatives to Nitrites: A Review," *Foods* 11, no. 21 (2022): 3355, <https://doi.org/10.3390/foods11213355>.
- [14] K. O. Honikel, "The Use and Control of Nitrate and Nitrite for the Processing of Meat Products," *Meat Science* 78, no. 1–2 (2008): 68–76, <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.05.030>.
- [15] S. André, W. Jira, K. H. Schwind, H. Wagner, and F. Schwägle, "Chemical Safety of Meat and Meat Products," *Meat Science* 86, no. 1 (2010): 38–48, <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.04.020>.
- [16] H. Safa, S. Portanguen, and P. S. Mirade, "Reducing the Levels of Sodium, Saturated Animal Fat, and Nitrite in Dry-Cured Pork Meat Products: A Major Challenge," *Food and Nutrition Sciences* 8, no. 4 (2017): 419–443, <https://doi.org/10.4236/fns.2017.84029>.
- [17] P. E. Munekata, R. Domínguez-Valencia, E. M. Santos, and J. M. Lorenzo, "Cruciferous Vegetables as Sources of Nitrate in Meat Products," *Current Opinion in Food Science* 38 (2021): 1–7, <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.10.021>.
- [18] W. Bedale, J. J. Sindelar, and A. L. Milkowski, "Dietary Nitrate and Nitrite: Benefits, Risks, and Evolving Perceptions," *Meat Science* 120 (2016): 85–92, <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.03.009>.
- [19] Y. Hung, T. M. de Kok, and W. Verbeke, "Consumer Attitude and Purchase Intention Towards Processed Meat Products With Natural Compounds and A Reduced Level of Nitrite," *Meat Science* 121 (2016): 119–126, <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.06.002>.
- [20] R. Stanisławczyk, "Nitrozoaminy w Przetworach Mięsnych," *Gospodarka Mięsna* 10 (2014): 16–21.
- [21] "Commission Regulation (EU) No 1129/2011 of 11 November 2011 Amending Annex II to Regulation (EC) No 1333/2008 of the European Parliament and of the Council by Establishing a Union List of Food Additives Text With EEA Relevance," <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32011R1129>.
- [22] A. U. Alahakoon, D. D. Jayasena, S. Ramachandra, and C. Jo, "Alternatives to Nitrite in Processed Meat: Up to Date," *Trends in Food Science & Technology* 45, no. 1 (2015): 37–49, <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.05.008>.
- [23] J. E. Hayes, I. Canonico, and P. Allen, "Effects of Organic Tomato Pulp Powder and Nitrite Level on the Physicochemical, Textural and Sensory Properties of Pork Luncheon Roll," *Meat Science* 95, no. 3 (2013): 755–762, <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.04.049>.
- [24] R. Domínguez, P. Gullón, M. Pateiro, P. E. S. Munekata, W. Zhang, and J. M. Lorenzo, "Tomato as Potential Source of Natural Additives for Meat Industry. A Review," *Antioxidants* 9, no. 1 (2020): 73, <https://doi.org/10.3390/antiox9010073>.
- [25] P. Skwarek and M. Karwowska, "Fatty Acids Profile and Antioxidant Properties of Raw Fermented Sausages With the Addition of Tomato Pomace," *Biomolecules* 12, no. 11 (2022): 1695, <https://doi.org/10.3390/biom12111695>.
- [26] J. Pikul, D. E. Leszczynski, and F. A. Kummerow, "Evaluation of Three Modified TBA Methods for Measuring Lipid Oxidation in Chicken Meat," *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 37, no. 5 (1989): 1309–1313, <https://doi.org/10.1021/jf00089a022>.
- [27] J. Stadnik and Z. J. Dolatowski, "Free Amino Acids and Biogenic Amines Content During Ageing of Dry-Cured Pork Loins Inoculated With *Lactobacillus casei* LOCK 0900 Probiotic Strain," *Food Science Technology Research* 21, no. 2 (2015): 167–174, <https://doi.org/10.3136/fstr.21.167>.

- [28] AMSA, *Meat Color Measurements Guidelines* (American Meat Science Association, 2012).
- [29] W. S. Mokrzycki and M. Tatol, "Color Difference ΔE —A Survey," in *Proceedings of the Machine Graphic & Vision* (Warsaw University of Life Sciences, 2012), <https://wisotop.de/assets/2017/DeltaE-%2520Survey-2.pdf>.
- [30] H. C. Hornsey, "The Colour of Cooked Cured Pork. I.—Estimation of the Nitric Oxide-Haem Pigments," *Journal of the Science of Food and Agriculture* 7, no. 8 (1959): 534–540, <https://doi.org/10.1002/jfsa.2740070804>.
- [31] M. Kumar, D. Chandran, M. Tomar, et al., "Valorization Potential of Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) Seed: Nutra-ceutical Quality, Food Properties, Safety Aspects, and Application as a Health-Promoting Ingredient in Foods," *Horticulturae* 8, no. 3 (2022): 265, <https://doi.org/10.3390/horticulturae8030265>.
- [32] USDA—United States Department of Agriculture, "Principles of Preservation of Shelf-Stable Dried Meat Products" 2005, Agricultural and Food Sciences. <https://www.meathaccp.wisc.edu/validation/assets/Principles%2520for%2520preservation.pdf>.
- [33] E. Eyiler and A. Oztan, "Production of Frankfurters With Tomato Powder as a Natural Additive," *LWT-Food Science and Technology* 44, no. 1 (2011): 307–311, <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.07.004>.
- [34] M. L. García, M. M. Calvo, and M. D. Selgas, "Beef Hamburgers Enriched in Lycopene Using Dry Tomato Peel as an Ingredient," *Meat Science* 83, no. 1 (2009): 45–49, <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.03.009>.
- [35] H. Ghafouri-Oskuei, A. Javadi, M. R. Asl, S. Azadmard-Damirchi, and M. Armin, "Quality Properties of Sausage Incorporated With Flaxseed and Tomato Powders," *Meat Science* 161 (2020): 107957, <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.107957>.
- [36] A. N. M. Ramli, N. W. A. Manap, P. Bhuyar, and N. I. W. Azelee, "Passion Fruit (*Passiflora edulis*) Peel Powder Extract and Its Application Towards Antibacterial and Antioxidant Activity on the Preserved Meat Products," *Applied Sciences* 2, no. 10 (2020): 1748, <https://doi.org/10.1007/s42452-020-03550-z>.
- [37] F. Riaz, F. Zeynali, E. Hoseini, H. Behmadi, and S. Savadkoobi, "Oxidation Phenomena and Color Properties of Grape Pomace on Nitrite-Reduced Meat Emulsion Systems," *Meat Science* 121 (2016): 350–358, <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.07.008>.
- [38] P. Skwarek and M. Karwowska, "Tomato Pomace as an Innovative Ingredient of Raw-Fermented Sausages With Reduced Sodium Nitrate Content," *Food, Science, Technology, Quality* 30, no. 1 (2023): 73–85, <https://doi.org/10.15193/zntj/2023/134/438>.
- [39] D. M. Vilela, L. de Oliveira, S. M. de Alencar, and D. S. da Silva, "Lipid Oxidation in Meat: Mechanisms and Protective Factors - A Review," *Food Science and Technology* 38 (2018): 9–20, <https://doi.org/10.1590/fst.32518>.
- [40] Y. Zhang, B. W. Holman, E. N. Ponnampalam, et al., "Understanding Beef Flavour and Overall Liking Traits Using Two Different Methods for Determination of Thio Barbituric Acid Reactive Substance (TBARS)," *Meat Science* 149 (2019): 114–119, <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.11.018>.
- [41] K. Candogan, "The Effect of Tomato Paste on Some Quality Characteristics of Beef Patties During Refrigerated Storage," *European Food Research and Technology* 215, no. 4 (2002): 305–309, <https://doi.org/10.1007/s00217-002-0567-1>.
- [42] I. S. Kim, S. K. Jin, M. R. Yang, et al., "Efficacy of Tomato Powder as Antioxidant in Cooked Pork Patties," *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 26, no. 9 (2013): 1339–1346, <https://doi.org/10.5713/ajas.2013.13079>.
- [43] P. Kęska, K. Wójciak, J. Stadnik, et al., "Influence of Apple Pomace on the Oxidation Status, Fatty Acid Content, Colour Stability and Microbiological Profile of Baked Meat Products," *International Journal of Food Science and Technology* 59, no. 3 (2024): 1591–1604, <https://doi.org/10.1111/ijfs.16908>.
- [44] A. S. Babaoğlu, K. Unal, N. M. Dilek, H. B. Poçan, and M. Karakaya, "Antioxidant and Antimicrobial Effects of Blackberry, Black Chokeberry, Blueberry, and Red Currant Pomace Extracts on Beef Patties Subject to Refrigerated Storage," *Meat Science* 187 (2022): 108765, <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2022.108765>.
- [45] S. K. Jin, J. S. Choi, H. S. Yang, T. S. Park, and D. G. Yim, "Natural Curing Agents as Nitrite Alternatives and Their Effects on the Physicochemical, Microbiological Properties and Sensory Evaluation of Sausages During Storage," *Meat Science* 146 (2018): 34–40, <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.07.032>.
- [46] E. R. B. Bellucci, P. E. S. Munkata, M. Pateiro, J. M. Lorenzo, and A. C. da Silva Barretto, "Red Pitaya Extract as Natural Antioxidant in Pork Patties With Total Replacement of Animal Fat," *Meat Science* 171 (2021): 108284, <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108284>.
- [47] N. Jia, B. Kong, Q. Liu, X. Diao, and X. Xia, "Antioxidant Activity of Black Currant (*Ribes nigrum* L.) Extract and Its Inhibitory Effect on Lipid and Protein Oxidation of Pork Patties During Chilled Storage," *Meat Science* 91, no. 4 (2012): 533–539, <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.03.010>.
- [48] S. Jongberg, S. H. Skov, M. A. Tørngren, L. H. Skibsted, and M. N. Lund, "Effect of White Grape Extract and Modified Atmosphere Packaging on Lipid and Protein Oxidation in Chill Stored Beef Patties," *Food Chemistry* 128, no. 2 (2011): 276–283, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.03.015>.
- [49] S. Vaithyanathan, B. Naveena, M. Muthukumar, P. Girish, and N. Kondaiah, "Effect of Dipping in Pomegranate (*Punica granatum*) Fruit Juice Phenolic Solution on the Shelf Life of Chicken Meat Under Refrigerated Storage (4°C)," *Meat Science* 88, no. 3 (2011): 409–414, <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.01.019>.
- [50] M. N. Lund, M. S. Hviid, and L. H. Skibsted, "The Combined Effect of Antioxidants and Modified Atmosphere Packaging on Protein and Lipid Oxidation in Beef Patties During Chill Storage," *Meat Science* 76, no. 2 (2007): 226–233, <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.11.003>.
- [51] W. Sun, Y. Zhang, G. Zhou, X. Xu, and Z. Peng, "Effect of Apple Polyphenol on Oxidative Stability of Sliced Cooked Cured Beef and Pork Hams During Chilled Storage," *Journal of Muscle Foods* 21, no. 4 (2010): 722–737, <https://doi.org/10.1111/j.1745-4573.2010.00215.x>.
- [52] P. Kęska, K. Wójciak, and D. M. Stasiak, "Influence of Sonication and *Taraxacum officinale* Addition on the Antioxidant and Anti-ACE Activity of Protein Extracts From Sous Vide Beef Marinated With Sour Milk and After In Vitro Digestion," *Molecules* 25, no. 20 (2020): 4692, <https://doi.org/10.3390/molecules25204692>.
- [53] K. M. Wójciak, P. Kęska, A. Okoń, E. Solska, J. Libera, and Z. J. Dolatowski, "The Influence of Acid Whey on the Antioxidant Peptides Generated to Reduce Oxidation and Improve Colour Stability in Uncured Roast Beef," *Journal of the Science of Food*

- and *Agriculture* 98, no. 10 (2018): 3728–3734, <https://doi.org/10.1002/jsfa.8883>.
- [54] S. J. Latlief and D. Knorr, “Tomato seed protein concentrates: Effects of methods of recovery upon yield and compositional characteristics,” *Journal of Food Science* 48, no. 6 (1983): 1583–1586, <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1983.tb05036.x>.
 - [55] J. P. Encinas, T. M. López-Díaz, M. L. García-López, A. Otero, and B. Moreno, “Yeast Populations on Spanish Fermented Sausages,” *Meat Science* 54, no. 3 (2000): 203–208, [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(99\)00080-7](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(99)00080-7).
 - [56] J. Fernández-López, E. Sendra, E. Sayas-Barberá, C. Navarro, and J. A. Pérez-Alvarez, “Physico-Chemical and Microbiological Profiles of “Salchichón” (Spanish Dry-Fermented Sausage) Enriched With Orange Fiber,” *Meat Science* 80, no. 2 (2008): 410–417, <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.01.010>.
 - [57] V. M. Moretti, G. Madonia, C. Diaferia, et al., “Chemical and Microbiological Parameters and Sensory Attributes of a Typical Sicilian Salami Ripened in Different Conditions,” *Meat Science* 66, no. 4 (2004): 845–854, <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2003.08.006>.
 - [58] M. M. Calvo, M. L. García, and M. D. Selgas, “Dry Fermented Sausages Enriched With Lycopene From Tomato Peel,” *Meat Science* 80, no. 2 (2008): 167–172, <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.11.016>.
 - [59] M. Østerlie and J. Lerfall, “Lycopene From Tomato Products Added Minced Meat: Effect on Storage Quality and Colour,” *Food Research International* 38, no. 8-9 (2005): 925–929, <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2004.12.003>.
 - [60] M. Karwowska and Z. J. Dolatowski, “Effect of Acid Whey and Freeze-Dried Cranberries on Lipid Oxidation and Fatty Acid Composition of Nitrite-/Nitrate-Free Fermented Sausage Made From Deer Meat,” *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 30, no. 1 (2017): 85–93, <https://doi.org/10.5713/ajas.16.0023>.
 - [61] M. Karwowska, J. Stadnik, and K. Wójciak, “The Effect of Different Levels of Sodium Nitrate on the Physicochemical Parameters and Nutritional Value of Traditionally Produced Fermented Loins,” *Applied Sciences* 11, no. 7 (2021): 2983, <https://doi.org/10.3390/app11072983>.
 - [62] E. Nkhili, M. Loonis, S. Mihai, H. El Hajjid, and O. Dangles, “Reactivity of Food Phenols With Iron and Copper Ions: Binding, Dioxygen Activation and Oxidation Mechanisms,” *Food Function* 5, no. 6 (2014): 1186–1202, <https://doi.org/10.1039/c4fo00007b>.
 - [63] M. Yoshino and K. Murakami, “Interaction of Iron With Polyphenolic Compounds: Application to Antioxidant Characterization,” *Analytical Biochemistry* 257 (1998): 40–44, <https://doi.org/10.1006/abio.1997.2522>.
 - [64] R. H. Salem, “Quality Characteristics of Beef Sausages With Tomato Peel as a Colour and Functional Additive During Frozen Storage,” *World Applied Sciences Journal* 22, no. 8 (2013): 1085–1093.
 - [65] S. Savadkoobi, H. Hoogenkamp, K. Shamsi, and A. Farahnaky, “Color, Sensory and Textural Attributes of Beef Frankfurter, Beef Ham and Meat-Free Sausage Containing Tomato Pomace,” *Meat Science* 97, no. 4 (2014): 410–418, <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.03.017>.

Article

Development of Volatile Compounds in Raw Fermented Sausages with Reduced Nitrogen Compounds—The Effect of Tomato Pomace Addition

Patrycja Skwarek ¹ , Jose M. Lorenzo ^{2,3} , Laura Purriños ² and Małgorzata Karwowska ^{1,*} 

¹ Sub-Department of Meat Technology and Food Quality, Department of Animal Food Technology, University of Life Sciences in Lublin, Skromna 8, 20-704 Lublin, Poland; patrycja.skwarek@up.lublin.pl

² Centro Tecnológico de la Carne de Galicia, Rúa Galicia N° 4, Parque Tecnológico de Galicia, San Cibrao das Viñas, 32900 Ourense, Spain; jmlorenzo@ceteca.net (J.M.L.); laurapurrinos@ceteca.net (L.P.)

³ Area de Tecnología de los Alimentos, Facultad de Ciencias de Ourense, Universidad de Vigo, 32004 Ourense, Spain

* Correspondence: malgorzata.karwowska@up.lublin.pl

Abstract: The aim of this study was to assess the impact of tomato pomace (TP) on the content of volatile compounds and L-carnitine and the sensory characteristics of raw fermented sausages produced with reduced nitrite. The produced sausages were divided into three experimental groups: control sample, sample with 1.5% addition of freeze-dried tomato pomace, and sample with 2.5% addition of TP. The results showed that the addition of tomato pomace significantly affected the quality of raw fermented sausages. Lower L-carnitine content was observed in samples with TP. The main groups of volatile compounds identified in fermented sausages were alcohols, aldehydes, hydrocarbons, and ketones. The addition of TP influenced the smell and taste of the sausages, which were characterized by a more intense tomato taste and smell and more intense red color compared to the control sample. Despite the influence of TP addition on some sensory features, the products were characterized by a high score of overall quality of over 7 c.u. on a 10-point scale, similar to the control sausage.

Keywords: raw fermented sausages; tomato pomace; volatile compounds; bioactive compounds; sensory analysis



Citation: Skwarek, P.; Lorenzo, J.M.; Purriños, L.; Karwowska, M.

Development of Volatile Compounds in Raw Fermented Sausages with Reduced Nitrogen Compounds—The Effect of Tomato Pomace Addition.

Molecules **2024**, *29*, 5826. <https://doi.org/10.3390/molecules29245826>

Academic Editors:

Emilia Janiszewska-Turak,
Anna Gramza-Michałowska and
Katarzyna Pobiega

Received: 13 November 2024

Revised: 5 December 2024

Accepted: 7 December 2024

Published: 10 December 2024



Copyright: © 2024 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introduction

Due to insufficient storage stability, meat had to be subjected to various methods of preservation in the past. One strategy was to grind the meat with salt and spices and to reduce the water content by drying. In this way, fermented sausages were created, which are still valuable traditional meat products today. Nowadays, many different types of sausages are produced using very different recipes and production processes. Traditional fermented sausages were considered healthy and safe food. Recently, however, eating these types of meat products has been linked to health risks due to the presence of nitrites/nitrates and nitrosamines [1]. Nitrites are widely used in meat products due to their beneficial effects on food quality and safety. They effectively prevent the growth of pathogens, including *Clostridium botulinum*; impart a characteristic color to the meat; and limit lipid oxidation processes, extending shelf life and preventing rancidity. At the same time, their use raises concerns about the formation of N-nitroso compounds, including nitrosamines, which have carcinogenic properties [2,3]. In this context, the meat industry is under pressure to search for natural and safe ingredients that would replace the use of synthetic additives in line with “clean label” trend. Therefore, replacing synthetic additives with plant raw materials in meat product recipes could be an interesting and innovative alternative [4]. One example is tomato pomace, which is a byproduct of tomatoes and is rich in valuable nutrients. It contains significant amounts of dietary fiber, pectin, lycopene, polyphenols, and vitamins,

which makes it an attractive addition in various branches of the food industry. It has antioxidant properties and the ability to neutralize free radicals thanks to high contents of lycopene and polyphenols, which help protect cells against oxidative stress and may support the prevention of lifestyle diseases. Additionally, thanks to the content of lycopene, it improves the intensity of the red color of food products, such as raw fermented sausages. Moreover, it has antibacterial properties, which result from the presence of phenolic acids and flavonoids [5]. Therefore, this natural ingredient has great potential as an additive to meat products, which is also confirmed by our previous research results [6]. However, there is a lack of research assessing the impact of this plant raw material on the content of volatile organic compounds (VOCs) and bioactive compounds (L-carnitine) and the sensory parameters in fermented meat products. It is well known that volatile compounds of fermented products are formed as a result of numerous and complex reactions. Most of these reactions occur during the ripening phase and result mainly from carbohydrate fermentation and lipolytic and proteolytic processes [7].

Biochemical reactions, including lipolysis and proteolysis, which occur during the production of raw fermented sausages, are also necessary for the development of volatile compounds, as they provide precursors, free amino acids, and fatty acids, which are broken down in later stages to produce aromatic compounds [8]. The studies conducted so far contain little information regarding the impact of a reduction in nitrogen compounds on the development of specific flavor in meat products. A common trend in the study of volatile compounds is to analyze changes in their profile due to various factors, including reduction/elimination of nitrites, addition of plant raw materials, and identification of individual groups of volatile compounds [9]. Red meat, including pork, is also a rich source of many valuable endogenous compounds, such as proteins of high biological value, essential amino acids, microelements, and bioactive compounds (carnitine, conjugated linoleic acid (CLA), endogenous antioxidants, and creatine), which have antioxidant and health-promoting properties, including immunomodulating and protective effects against oxidative stress [10,11]. However, as is well known, oxidative reactions of both proteins and fats affect the quality of meat products, including sensory quality (taste, color, and texture). In addition, they negatively affect color, which in turn affects consumer acceptance, resulting in product rejection, as consumers often associate color with freshness and quality of meat [12]. Therefore, the important challenge associated with tomato byproducts is to maintain the sensory properties of meat products that can be accepted by consumers. As is known, the presence of L-carnitine in fermented products may indirectly affect the activity of microorganisms and the profile of metabolites. Lactic acid bacteria, often used in fermentation, can modify the metabolism of lipids and proteins, which later influences the formation of specific volatile compounds. Changes in lipid metabolism caused by the activity of L-carnitine may also lead to differences in the aromatic profile during meat maturation [13,14].

In this context, the main aim of this work was to evaluate the effect of tomato pomace powder on the development of volatile compounds, L-carnitine content, and sensory profile of raw fermented sausages produced with reduced nitrogen compounds.

2. Results

2.1. Volatile Compounds

Table 1 presents the effect of tomato pomace addition on the content of volatile compounds in raw fermented sausages. A total of 62 volatile compounds were identified in the experimental meat products after the production process. They were classified according to their functional group: 11 alcohols, 9 aldehydes, 3 carboxylic acids, 1 cyclic hydrocarbon, 2 cyclic hydrocarbons (aromatic), 7 esters, 1 ether, 8 hydrocarbons, 2 hydrocarbons (cyclic), 7 ketones, 8 terpenoids, and 8 compounds classified as “other”. The main groups were alcohols, aldehydes, hydrocarbons, and ketones. Statistically significant differences ($p < 0.05$) were observed between treatments in the content of volatile compounds from the group of alcohols, aldehydes, carboxylic acids, esters, and ketones. Total compounds did not differ

statistically significantly between the samples. However, SK sausage presented the greatest amount of total volatile substances, mainly contributed by esters, ether, ketones, and others (Figure 1). On the other hand, carboxylic acids represented more than 40% of the total compounds in the samples with TP.

Table 1. Content of volatile compounds ($\text{AU} \times 10^3 \text{ g}^{-1}$ of sample) in raw fermented sausages.

Family	Compound	<i>m/z</i>	LRI	SK	TP 1.5%	TP 2.5%
Alcohols	Cyclobutanol	44	485	651.46 ± 963.43 ^a	97.97 ± 79.75 ^a	97.96 ± 25.55 ^a
	1-Butanol, 3-methyl-	70	791	443.42 ± 329.91 ^a	367.32 ± 317.50 ^a	176.25 ± 8.52 ^a
	1-Butanol, 2-methyl-	56	794	73.68 ± 45.63 ^a	97.99 ± 55.07 ^a	69.48 ± 5.86 ^a
	1-Pentanol	70	828	212.54 ± 266.72 ^a	191.96 ± 42.86 ^a	233.03 ± 47.99 ^a
	R-(−)-1,2-propanediol	45	855	15.90 ± 10.70 ^a	25.97 ± 10.66 ^a	30.99 ± 18.19 ^a
	2,3-Butanediol, [R-(R*,R*)]-	45	889	2265.65 ± 1353.10 ^a	1841.62 ± 1319.58 ^a	3294.99 ± 1703.35 ^a
	2-Heptanol	45	954	37.11 ± 11.83 ^a	84.05 ± 1.62 ^b	96.71 ± 6.42 ^b
	6-Hepten-1-ol, 2-methyl-	95	1035	1.47 ± 0.16 ^a	69.09 ± 5.02 ^b	100.79 ± 11.00 ^c
	Benzyl alcohol	108	1097	180.59 ± 75.09 ^a	204.83 ± 51.33 ^a	276.03 ± 65.96 ^a
	Phenol, 2-methoxy-	124	1127	2.14 ± 0.12 ^a	17.03 ± 3.59 ^b	35.91 ± 6.61 ^c
	Phenylethyl alcohol	91	1153	41.10 ± 14.02 ^a	39.83 ± 16.33 ^a	57.44 ± 10.66 ^a
	Total alcohols			3925.05 ± 2343.66 ^a	3037.66 ± 1851.25 ^a	4469.58 ± 1663.33 ^a
Aldehydes	Butanal, 3-methyl-	58	648	19.35 ± 15.07 ^a	96.96 ± 20.35 ^b	123.85 ± 18.65 ^b
	Butanal, 2-methyl-	58	661	12.17 ± 9.75 ^a	49.48 ± 6.73 ^b	67.72 ± 4.50 ^b
	Pentanal	58	714	61.87 ± 28.94 ^a	129.75 ± 36.36 ^a	224.99 ± 28.13 ^b
	Hexanal	56	845	1433.80 ± 1535.38 ^a	361.15 ± 92 ^a	1270.75 ± 1525.15 ^a
	Heptanal	70	949	131.27 ± 143.30 ^a	52.12 ± 5.88 ^a	97.73 ± 76.05 ^a
	Methional	104	976	3.22 ± 0.27 ^a	26.32 ± 5.90 ^b	45.51 ± 2.57 ^c
	Benzaldehyde	106	1019	69.44 ± 31.50 ^a	285.28 ± 83.81 ^b	319.00 ± 44.18 ^b
	Benzeneacetaldehyde	91	1091	11.63 ± 10.13 ^a	23.36 ± 3.34 ^{ab}	35.13 ± 8.20 ^b
	Nonanal	98	1117	49.04 ± 40.11 ^a	35.64 ± 9.28 ^a	43.54 ± 20.16 ^a
	Total aldehydes		8022	1791.79 ± 1768.93 ^a	1060.06 ± 223.18 ^a	2228.23 ± 1715.36 ^a
Carboxylic acids	Acetic acid	43	676	2809.05 ± 2367.05 ^a	9387.22 ± 1206.98 ^b	11,189.16 ± 1063.71 ^b
	Butanoic acid	60	894	1201.48 ± 298.93 ^a	2097.12 ± 296.77 ^b	2767.75 ± 236.72 ^b
	Hexanoic acid	60	1054	16.96 ± 15.26 ^a	60.50 ± 17.13 ^b	106.04 ± 9.27 ^c
	Total carboxylic acids			4027.48 ± 2645.47 ^a	11,544.84 ± 1503.33 ^b	14,062.95 ± 1059.91 ^b
Cyclic hydrocarbon	Spiro[2,4]hepta-4,6-diene	91	785	348.42 ± 85.95 ^a	365.44 ± 17.02 ^a	374.37 ± 13.70 ^a
Cyclic hydrocarbon (aromatic)	Ethylbenzene	91	893	90.73 ± 12.60 ^a	87.55 ± 1.32 ^a	98.87 ± 13.16 ^a
	Benzene, 1,3-dimethyl-	91	902	230.49 ± 27.87 ^a	248.28 ± 6.69 ^a	276.66 ± 30.18 ^a
	Total cyclic hydrocarbon (aromatic)			321.23 ± 38.84 ^a	335.83 ± 7.49 ^a	375.54 ± 42.50 ^a
Esters	Acetic acid, methyl ester	74	523	28.26 ± 16.42 ^a	140.38 ± 17.10 ^b	152.31 ± 22.90 ^b
	Ethyl Acetate	61	585	2003.42 ± 2461.30 ^a	692.36 ± 162.74 ^a	486.01 ± 42.40 ^a
	Butanoic acid, methyl ester	74	737	24.44 ± 8.89 ^a	115.80 ± 18.55 ^b	122.91 ± 19.35 ^b
	Butanoic acid, ethyl ester	88	834	3499.45 ± 5218.62 ^a	385.67 ± 94.47 ^a	273.30 ± 39.06 ^a
	ETHYL (S)-(-)-LACTATE	45	873	8204.74 ± 12,720.72 ^a	1093.88 ± 201.49 ^a	863.88 ± 202.41 ^a
	Hexanoic acid, methyl ester	74	959	16.26 ± 1.57 ^a	43.64 ± 12.54 ^{ab}	56.45 ± 14.68 ^b
	Methyl salicylate	152	1194	0.00 ± 0.00 ^a	21.73 ± 4.74 ^b	43.34 ± 5.08 ^c
	total esters			13,776.57 ± 20,369.95 ^a	2493.46 ± 496.38 ^a	1998.19 ± 327.29 ^a
Ether	Dimethyl ether	45	503	16,476.45 ± 22,876 ^a	2418.96 ± 567.22 ^a	1699.87 ± 287.73 ^a
Hydrocarbons	Pentane	72	500	31.37 ± 16.56 ^a	35.48 ± 5.52 ^a	30.95 ± 7.88 ^a
	Pentane, 2-methyl-	71	527	134.57 ± 107.19 ^a	184.86 ± 45.81 ^a	115.90 ± 57.35 ^a
	n-Hexane	57	545	191.83 ± 114.49 ^a	222.48 ± 24.90 ^a	341.19 ± 166.35 ^a
	Butane, 2,2,3,3-tetramethyl-	57	640	68.25 ± 56.71 ^a	96.91 ± 27.46 ^a	80.45 ± 11.05 ^a
	Octane	85	800	407.91 ± 166.03 ^a	242.65 ± 71.33 ^a	189.97 ± 41.99 ^a
	Heptane,					
	2,2,4,6,6-pentamethyl-	57	997	195.81 ± 71.28 ^a	235.60 ± 26.79 ^a	575.96 ± 274.02 ^a
	Decane	57	1000	49.91 ± 12.61 ^a	79.68 ± 2.12 ^a	54.49 ± 16.99 ^a
	2-Undecene, 9-methyl-, (Z)-	98	1099	20.24 ± 6.79 ^a	28.86 ± 3.70 ^a	24.14 ± 6.54 ^a
	Total hydrocarbons			1099.91 ± 470.24 ^a	1126.53 ± 24.41 ^a	1413.05 ± 330.77 ^a
Hydrocarbons (cyclic)	1,3,5,7-Cyclooctatetraene	104	930	230.49 ± 27.87 ^a	248.28 ± 6.69 ^a	276.66 ± 30.18 ^a
	Cyclopropane, propyl-	56	931	32.64 ± 6.32 ^a	32.67 ± 4.27 ^a	41.34 ± 5.15 ^a
	Total hydrocarbons (cyclic)			263.13 ± 33.76 ^a	280.95 ± 4.01 ^a	318.01 ± 35.30 ^a
Ketones	Acetone	58	513	93.21 ± 70.14 ^a	202.20 ± 8.26 ^b	243.62 ± 19.43 ^b
	2-Butanone	72	581	65.00 ± 53.13 ^a	164.42 ± 15.24 ^b	163.61 ± 8.69 ^b
	Acetoin	45	774	14,992.04 ± 19,377.11 ^a	2437.17 ± 3742.92 ^a	731.88 ± 547.26 ^a
	1-Hepten-3-one	70	900	3.33 ± 1.24 ^a	14.79 ± 1.99 ^b	14.86 ± 1.41 ^b
	5-Hepten-2-one, 6-methyl-	108	1029	4.17 ± 1.49 ^a	211.77 ± 21.78 ^b	308.77 ± 80.64 ^b
	Acetophenone	105	1108	50.19 ± 23.45 ^a	51.57 ± 7.59 ^a	53.73 ± 14.39 ^a
	2-Nonanone	58	1110	32.19 ± 6.18 ^a	73.38 ± 11.94 ^b	84.97 ± 6.75 ^b
	Total ketones			15,240.12 ± 19,415.14 ^a	3155.30 ± 3776.26 ^a	1601.43 ± 456.67 ^a

Table 1. Cont.

Family	Compound	<i>m/z</i>	LRI	SK	TP 1.5%	TP 2.5%
Terpenoids	Prenol	71	837	461.29 ± 134.28 ^a	430.10 ± 50.07 ^a	391.75 ± 57.73 ^a
	3-Carene	93	951	143.79 ± 85.24 ^a	184.54 ± 59.62 ^a	275.08 ± 94.93 ^a
	Bicyclo[3.1.0]hex-2-ene, 4-methyl-1-(1-methylethyl)-	93	995	34.74 ± 19.59 ^a	44.73 ± 15.69 ^a	65.21 ± 20.96 ^a
	Total terpenoids			639.82 ± 109.97 ^a	659.36 ± 118.74 ^a	732.03 ± 64.37 ^a
Others	2-Hydrazinoethanol	45	517	16,086.76 ± 23,160.04 ^a	268.46 ± 38.95 ^a	238.74 ± 68.00 ^a
	Sulphuric acid dibutyl ester	56	535	47.87 ± 34.37 ^a	66.59 ± 10.74 ^a	39.83 ± 18.02 ^a
	Disulfide, dimethyl	94	764	30.65 ± 27.99 ^a	313.95 ± 210.47 ^a	376.11 ± 168.18 ^a
	Dimethyl trisulfide	126	1008	21.69 ± 26.84 ^a	143.56 ± 132.11 ^a	129.88 ± 67.15 ^a
	Furfurylmethylamphetamine	81	1009	93.13 ± 90.99 ^a	37.88 ± 4.67 ^a	67.68 ± 41.03 ^a
	Dimethyl sulfone	79	1050	187.97 ± 77.66 ^a	330.27 ± 151.09 ^a	560.07 ± 359.20 ^a
	2-Isobutylthiazole	99	1058	66.33 ± 109.06 ^a	225.28 ± 68.56 ^{ab}	283.74 ± 12.21 ^b
	2,4-Imidazolidinedione	114	1295	9.00 ± 9.01 ^a	18.43 ± 11.13 ^a	32.98 ± 16.94 ^a
	1-methyl-					
Total others				16,543.40 ± 23,018.47 ^a	1404.43 ± 269.50 ^a	1729.04 ± 462.02 ^a
Total compounds				74,453.35 ± 55,416.33 ^a	27,882.83 ± 5596.69 ^a	31,002.29 ± 1301.87 ^a

SK—control sample; TP 1.5%—sample with 1.5% addition of tomato pomace; TP 2.5%—sample with 2.5% addition of tomato pomace. Means with different lowercase letters (a–c) differ significantly (*p* < 0.05). LRI—linear retention index; *m/z*—mass-to-charge ratio.

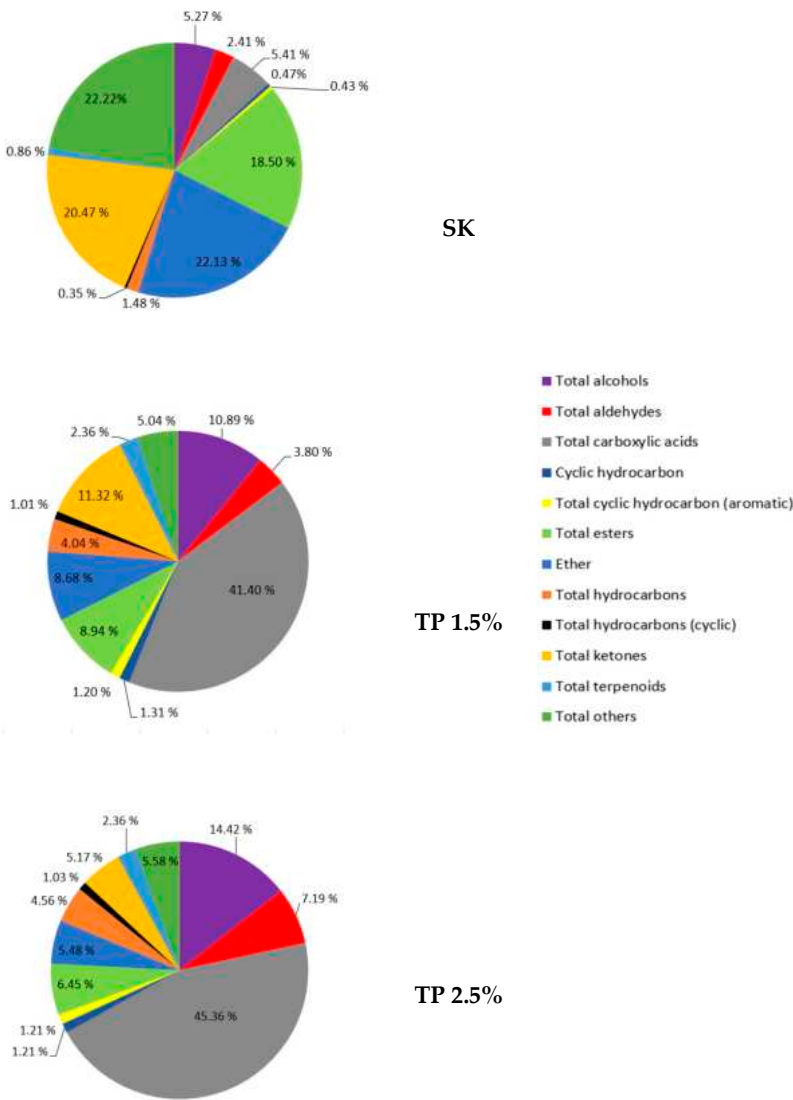


Figure 1. Volatile families in raw fermented sausages. SK—control sample; TP 1.5%—sample with 1.5% addition of tomato pomace; TP 2.5%—sample with 2.5% addition of tomato pomace.

2.2. L-Carnitine

The use of freeze-dried tomato pomace had a statistically significant effect on the level of L-carnitine in raw fermented sausage (Table 2). The control sample was characterized by a higher content of this bioactive compound compared to the samples with tomato pomace addition. The content of L-carnitine in the experimental sausages ranged from 1.39 to 2.51 mg 100 g^{−1}.

Table 2. L-carnitine content in raw fermented sausages.

Parameter	SK	TP 1.5%	TP 2.5%
L-carnitine (mg 100 g ^{−1} of product)	2.51 ± 0.18 ^b	1.60 ± 0.10 ^a	1.39 ± 0.04 ^a

SK—control sample; TP 1.5%—sample with 1.5% addition of tomato pomace; TP 2.5%—sample with 2.5% addition of tomato pomace. Means with different lowercase letters (a, b) differ significantly ($p < 0.05$).

2.3. Sensory Parameters

Table 3 presents the results of the sensory evaluation of raw fermented sausages with the addition of tomato pomace. In general, the addition of tomato pomace in the amounts of 1.5% (TP 1.5%) and 2.5% (TP 2.5%) presented similar overall quality obtained for the control sausage (SK). No significant differences among treatments were indicated in case of most of the evaluated parameters, such as color of fat, juiciness, hardness, intensity of other odors and flavors, intensity of saltiness, and sweet flavor. Statistically significant differences were shown between the sausage treatments in terms of color, intensity of meat, and tomato flavor and aroma. The addition of tomato pomace caused significantly higher values of the evaluation of meat color intensity by cross-section. The meat aroma intensity decreased, while the tomato aroma intensity increased significantly. Interestingly, the addition of tomato pomace in amounts of both 1.5 and 2.5% affected the intensity of tomato aroma to a similar extent.

Table 3. Sensory parameters of raw fermented sausages.

Parameter	SK	TP 1.5%	TP 2.5%
Color of meat in cross-section	6.02 ± 0.982 ^a	8.38 ± 1.02 ^b	9.03 ± 0.98 ^b
Color of fat in cross-section	8.42 ± 1.11 ^a	7.592 ± 1.58 ^a	7.58 ± 2.10 ^a
Juiciness	5.27 ± 0.96 ^a	5.90 ± 1.24 ^a	5.98 ± 1.17 ^a
Hardness	4.42 ± 1.16 ^a	3.84 ± 1.62 ^a	4.15 ± 1.89 ^a
Intensity of meat odor	6.52 ± 1.74 ^b	2.84 ± 1.77 ^a	2.91 ± 2.40 ^a
Intensity of tomato odor	0.78 ± 1.59 ^a	4.77 ± 2.21 ^b	5.89 ± 1.64 ^b
The intensity of other odor	1.59 ± 1.52 ^a	1.65 ± 0.97 ^a	1.72 ± 1.56 ^a
Intensity of meat flavor	7.67 ± 1.32 ^b	3.91 ± 2.32 ^a	3.59 ± 1.93 ^a
Intensity of tomato flavor	0.92 ± 1.70 ^a	5.39 ± 2.76 ^b	6.76 ± 1.34 ^b
Intensity of salty flavor	5.09 ± 1.82 ^a	4.52 ± 2.52 ^a	4.32 ± 2.30 ^a
Intensity of sweet flavor	0.99 ± 0.87 ^a	1.88 ± 2.27 ^a	2.19 ± 2.39 ^a
Intensity of other flavor	0.73 ± 1.10 ^a	1.35 ± 1.92 ^a	1.91 ± 2.16 ^a
Overall quality	7.45 ± 1.88 ^a	7.85 ± 1.46 ^a	8.03 ± 0.93 ^a

SK—control sample; TP 1.5%—sample with 1.5% addition of tomato pomace; TP 2.5%—sample with 2.5% addition of tomato pomace. Means with different lowercase letters (a, b) differ significantly ($p < 0.05$).

3. Discussion

The specific taste of meat products is determined by mixtures of volatile compounds. The share of individual volatile compounds in the creation of a characteristic taste varies. Only a small part of this huge number of volatile compounds present in food products contributes to the development of taste, which is created as a result of multidirectional reactions occurring between non-volatile precursors contained in raw meat [15]. Volatile compounds are created as a result of many factors such as the Maillard reaction, lipid oxidation, interactions between Maillard reaction products and lipid oxidation products, as

well as thiamine degradation. The taste is determined by many factors related to the raw material (e.g., breed, sex, diet, and age of the animal; slaughter conditions and process; time and conditions of meat storage; type of muscles), additives used, and the technological process [16].

Alcohols play a key role in the development of the aroma of raw fermented meat products. In this study, no statistically significant differences were found in the total alcohol content between the tested samples. They contained significant amounts of 1-pentanol (with a sweet, balsamic aroma), 1-butanol, and 3-methyl (fruity, whiskey), which are formed as a result of fat oxidation and degradation of amino acids. Comparing the obtained results, it was found that the content of volatile compounds was higher in comparison to those obtained for raw fermented sausages with the addition of chia and black cumin seeds [17]. In this study, volatile compounds (belonging to the group of alcohols) from tomatoes were also identified, which included 2-heptanol, 6-hepten-1-ol, 2-methyl, benzyl alcohol, phenol, and 2-methoxy [18,19]. The content of these volatile compounds was statistically significantly higher compared to the control sample and increased with the increase in the addition of tomato pomace. 2-heptanol and 6-hepten-1-ol give a fresh, fruity scent that can enrich the aroma of the sausage, giving it a more complex note. 2-methyl, benzyl alcohol, in turn, introduces floral, sweet accents that improve the overall sensory experience. Phenol, 2-methoxy in small amounts can add spicy, slightly smoky fragrance notes that are valued in this type of meat product. Therefore, tomato pomace affects the aromatic profile of fermented sausages, enriching them with new, fresh notes, but high concentrations of these compounds may lead to the aroma of the sausage being dominated by an intense fruity, floral, or chemical smell, making the product less attractive. Proper control over the amount of tomato pomace added allows for obtaining an optimal aromatic profile while avoiding excessive impact on the final taste of the product [20].

In fermented sausages, the main aromatic compounds are aldehydes, including hexanal, pentanal, octanal, and 2-nonenal (grass and green odors) [21]. Lactic acid bacteria also produce aldehydes such as 2-methyl- and 3-methyl-butanal [22]. Higher concentrations of the mentioned aldehydes were found in sausages with 2.5% tomato pomace, which suggests that their addition accelerates the degradation of amino acids. Benzaldehyde and benzeneacetaldehyde improve the taste, and 3-methyl butanal is one of the strongest aromatic compounds in fermented sausages [23,24]. These volatile compounds are present in large quantities in tomatoes. As a result, it had a positive effect on the taste and smell of sausages, which was confirmed by the results of the organoleptic analysis [25]. It should be noted, however, that these compounds can enhance the flavor of sausages, giving them a more intense, fresh, and slightly tangy character. However, their excess may lead to the flavor of the sausage being dominated by plant-like notes or overly intense acidity, which is not always desirable. Moreover, the highest value among all aldehydes was achieved by hexanal, produced as a result of the oxidation of linoleic acid, which is an indicator of meat quality and oxidative stability. In tests with the addition of tomato pomace, a lower content of this compound was found, which proves the pomace's antioxidant effect [26]. It can therefore be concluded that tomato pomace, rich in natural antioxidants, can act as a pro-oxidant, reducing the content of aldehydes responsible for fat oxidation. These results are consistent with studies by other authors [17,27]. This was most likely due to the fact that the authors tested the same type of meat product, and as we know, as a result of fermentation and chemical reactions occurring during this process, characteristic groups of aldehydes are formed.

Carboxylic acids were another group of volatile compounds found in the fermented sausages assessed. The origin of carboxylic acids results mainly from the oxidation of unsaturated fatty acids and the hydrolysis of phospholipids and triglycerides [28]. The most important aromatic compounds from the group of carboxylic acids that are formed in fermented products include acetic acid, butanoic acid, and 3-methylbutanoic acid (cheese notes) [21]. This was also confirmed in our own studies, which found only three compounds belonging to this family. The control sample was characterized by their lowest content of

these compounds. Both butanoic acid (unpleasant fermented, resembling rotten cheese) and acetic acid (pungent, sour) are products that are formed as a result of the fermentation of carbohydrates produced by lactic acid bacteria. They are closely related to the typical aroma of fermented sausages, because they emit a very strong smell [24]. In the current study, the meat products with tomato pomace contained more of these acids, which was consistent with the observations of other authors who studied sausages fermented with the addition of various seeds [17]. These compounds were present in similar amounts in all the experimental sausages (for acetic acid: from 2809.05 to 11,189.16 AU $\times 10^3 \text{ g}^{-1}$; for butanoic acid: from 1201.48 to 2767.75 AU $\times 10^3 \text{ g}^{-1}$). Taking into account the data on acetic acid, a larger amount of tomato pomace caused an increase in this substance, which is characterized by a very intense vinegar smell. This compound is also classified as a volatile compound originating from bacterial metabolism. It is known that lactic acid bacteria metabolize carbohydrates, reducing the pH drop as a result of the formation of lactic acid, which makes the taste of fermented meat products rather sour. Moreover, the addition of tomato pomace, which is characterized by high acidity, causes an even greater decrease in pH and, consequently, an increase in the content of acetic acid in the produced sausages, which also confirms our observations [29].

In the experimental sausages, seven esters were identified, formed through lipid autoxidation (hexanoic acid), carbohydrate fermentation (acetic acid, butanoic acid), and staphylococcal esterase activity (ethyl acetate). Ethyl lactate, a compound with a popcorn, buttery, fruity, and floral aroma, was also found, confirming the presence of lactic acid bacteria involved in fermentation. The total ester content did not differ significantly ($p > 0.05$) between treatments. However, sausages with tomato pomace had higher levels of acetic acid, butanoic acid, and hexanoic acid, likely due to the higher carboxylic acid content in the pomace. Compared to the studies of other authors [17,30], the presence of methyl salicylate was found only in the present study. It is one of the most important volatile substances responsible for the taste of tomatoes [30]. As could be observed, only the control sample did not contain this compound, and with the increased concentration of tomato pomace, the sausages were characterized by a significantly higher level of this volatile compound. In the conducted studies, no statistically significant differences were observed in the content of total hydrocarbons and cyclic hydrocarbons. Samples with tomato pomace, however, contained larger amounts of n-hexane, butane, 2,2,3,3-tetramethyl, heptane, 2,2,4,6,6-pentamethyl, 1,3,5,7-cyclooctatetraene, cyclopropane, and propyl, and smaller amounts of octane. The aromatic compounds present in the sausages mainly came from lipid autoxidation: heptane, n-hexane, and pentane. It should be noted that branched hydrocarbons were the most abundant. A total of eight different compounds were identified, followed by two cyclic hydrocarbons. However, statistically significant differences were found in the quantity of individual volatile compounds from the ketone family between the tested groups of raw fermented sausages. The highest content of almost all ketones was characteristic of sausages with the addition of tomato pomace. It was noted that a larger share of this plant additive caused a significant increase ($p < 0.05$) in the content of these ketones. Two methyl ketones (5-hepten-2-one, 6-methyl, 2-nonanone) were detected in the produced sausages, which, as a result of the degradation of free fatty acids, contribute to the formation of the fatty aroma of meat products [31]. The largest amount of acetoin was identified in the tested meat products, which is produced mainly as a result of microbiological fermentation of carbohydrates with the participation of lactic acid bacteria [23]. Another byproduct of LAB metabolism is 2-butanone. Samples with tomato pomace were characterized by a higher content of this compound [32]. In the experimental sausages, the presence of compounds such as acetone, 1-hepten-3-one, 5-hepten-2-one, 6-methyl, acetophenone, and 2-nonanone was associated with the addition of tomato pomace. Their content increased with the increase in the concentration of the plant additive. Both 1-hepten-3-one and 5-hepten-2-one, 6-methyl are among the main volatile aromas of tomatoes, while 2-nonanone is characterized by a fruity smell and sweet taste [25,33].

The next group of compounds identified in the experimental sausages were terpenoids. Among the identified compounds from the terpenoid group were 3-carene and bicyclo[3.1.0]hex-2-ene, 4 methyl-1-(1-methylethyl) (beta-thujene). 3-Carene is a bicyclic monoterpene consisting of fused cyclohexene and cyclopropane rings. It is characterized by a sweet and pungent odor, best described as a combination of fir needles, musky earth, and damp forests [34]. β -thujene is also a bicyclic monoterpene that can be derived from various vegetable oils. It also occurs in relatively high concentrations in the essential oils of some plants. It is considered an important volatile compound, giving a woody character [35]. No statistically significant differences in the content of substances from the terpenoid group were found between the samples. In the category “other”, a total of eight volatile compounds were identified. The most abundant volatile compound in this category was 2-isobutylthiazole, and its content increased with the increase in the concentration of tomato pomace. It is a component characteristic of ripe tomatoes [36].

The consumer acceptability of fermented meat products is largely influenced by the final taste. The typical taste and smell of dried sausage cannot be attributed only to volatile substances, but to a large number of volatile and non-volatile compounds present in the product in appropriate proportions. Volatile compounds mainly affect the aroma of raw fermented sausage [37]. The fermentation process of sausages, apart from ensuring product safety and extending shelf life, is also aimed at imparting specific taste and smell characteristics. It should also be noted that reducing the nitrite content in raw fermented sausages could also have an impact on the content of volatile compounds and the final taste of the assessed product. Reducing the content of nitrogen compounds in this type of meat product may affect the activity of lactic acid bacteria, which may lead to a change in the profile of volatile compounds due to differences in bacterial metabolism. It may also influence the content of bioactive compounds, such as L-carnitine, which affects the metabolism of fats and proteins. This treatment may also affect the speed of sausage ripening and the speed of reactions, leading to the formation of volatile compounds. This may result in differences in the intensity of some scents, e.g., floral, fruity, or herbal. In this study, it was assumed that the addition of tomato pomace would increase the attractiveness of the meat product and thus additionally have a health-promoting effect. In general, all samples obtained good results in all assessed sensory parameters. Moreover, no significant differences were found in the values of fat color in cross-section, juiciness, hardness, intensity of other smells, salty, sweet, other taste, and overall quality, and therefore they were mostly comparable to the control sample. However, significant differences were observed between treatments in terms of meat color in cross-section, meat and tomato flavor, and aroma intensity. According to Domínguez et al. [38], the main volatile compounds influencing the aroma of the final product belong to different chemical families, but not all of them have the same importance in the overall perception of aroma. Alcohols have a significant effect on the aroma of dried fermented meats due to their low aroma threshold, as they participate in many metabolic pathways, including lipid oxidation, amino acid metabolism, and methyl ketone reduction [39]. Aldehydes, esters, and ketones are also among the most important groups of compounds derived from lipid degradation in meat products and thus shape the taste and aroma of the final product [40]. In this study, in raw fermented sausages, it was within these groups that the largest number of volatile compounds was identified, a large part of which were compounds derived from tomato pomace, influencing the taste and aroma of the produced raw fermented sausages.

Due to the content of natural pigments (carotenoids and polyphenols), color is one of the main sensory effects induced by tomato pomace. In general, the addition of TP to a food product causes a decrease in lightness (color value L^*) while significantly increasing redness (color value a^*) and yellowness (color value b^*) [41,42]. This was confirmed in our studies, where the panelists noticed differences in the color of sausages with the addition of tomato pomace. Samples of TP 1.5% and TP 2.5% were characterized by a more intense red color. These were in line with the results obtained by other authors, who reported statistically significant differences ($p < 0.05$) in the color between samples of pork products

with the addition of tomato paste [43]. The studies of Kim et al. [44] showed that the addition of tomato powder had no effect on the smell, taste, texture, or overall acceptability of pork sausages. However, this was contrary to the observations in the present study, in which the sensory panel team observed significant changes in the taste of sausages caused by the addition of tomato pomace compared to the control samples. The differences in the results could be due to the fact that different types of meat products were produced using different techniques, including cooking or heat treatment, which could mask the smell and taste of tomatoes in the final product. Our observations regarding the taste parameter were consistent with studies on the quality of beef hamburgers enriched with lycopene using dried tomato peel [45]. The researchers confirmed that meat products with the addition of dried tomato peel were characterized by a more intense tomato taste compared to the control sample.

In addition to chemical composition and sensory properties, the amount of bioactive compounds are very important in the development of new food products. L-Carnitine is a component necessary for energy production and lipid metabolism in many organs and tissues, such as skeletal muscle and the heart. Additionally, L-carnitine participates in the oxidation of fatty acids in peroxisomes, maintaining the CoA/acyl-CoA ratio in the cell, and the utilization of ketone bodies. L-carnitine deficiency can lead to metabolic disorders affecting muscle and heart function and manifest as myopathy or heart disease [46]. Animal products, especially meat, are a very valuable source of L-carnitine in the human diet, and its content depends on the type of product, animal species, and the processing used. To the best of our knowledge, there are few studies available in the literature on the content of L-carnitine in various food products. However, it has been found that the level of carnitine in processed meat is significantly lower compared to raw meat [47]. The results of this study showed that the content of L-carnitine in raw fermented sausages with the addition of tomato pomace was statistically lower compared to the control sample. Additionally, it was found that the results were lower compared to the results obtained by other researchers for other meat products. In raw fermented sausages from fallow deer and beef with the addition of acid whey, the content of L-carnitine ranged from 70.66 to 152.0 mg 100 g⁻¹ of the product [48]. It was therefore many times higher compared to the results obtained in the current study. This could be due to the fact that tomato pomace contains sugars (e.g., glucose, fructose) that can be easily metabolized by lactic acid bacteria. This may lead to more intense fermentation and increased production of metabolites such as organic acids. This, in turn, may promote the degradation of L-carnitine, which is more susceptible to hydrolysis in an acidic environment. Additionally, despite the presence of antioxidants, tomato pomace may contain residues of plant enzymes (e.g., polyphenol oxidases). In the process of ripening meat products, they may generate reactive oxygen species (ROS), which oxidize L-carnitine. The addition of tomato pomace modifies the fermentation and ripening process, which reduces the stability and availability of L-carnitine in the final product [49].

4. Materials and Methods

4.1. Preparation of Experimental Material

In the experiment, raw fermented sausages containing 50 mg/kg of sodium nitrite and tomato pomace were studied. The raw materials were ham muscles from pork and backfat from Polish Large White fatteners. These materials were collected directly from a local slaughterhouse and delivered to the laboratory under refrigerated conditions within 48 h after slaughter. The sausage mixture was prepared in a ratio of 85% ham muscles to 15% backfat. Additional ingredients included 0.6% glucose, 2.8% curing mixture (sea salt + sodium nitrite), tomato pomace, and commercial starter cultures (Moguntia, Bessa START, Georgsmarienhütte, Germany). As stated by the manufacturer, the starter cultures contained *Staphylococcus xylosus* and *Pediococcus pentosaceus*. Commercial cultures were added in amounts of 30 g per 50 kg of meat and fat mixture. The meat and fat were ground using a grinder (KU2-3EK, Mesko-AGD, Skarżysko-Kamienna, Poland) with a plate having holes of 0.01 m diameter. The method of obtaining tomato pomace (TP) was presented in a

previous publication [7]. The tomato pomace, consisting of seeds and peels, was ground just before use with a knife mill (Bosch TSM6A017C, München, Germany) to particles smaller than 0.3 mm in diameter. Three sausage variants were prepared: SK—control sample; STP 1.5%—sample with 1.5% tomato pomace; and STP 2.5%—sample with 2.5% tomato pomace. All ingredients were mixed using a universal machine (KU2-3EK, Mesko-AGD, Skarżysko-Kamienna, Poland) with an attached R4 agitator (100 rpm for 3 min), then filled into fibrous casings ($\varnothing$ 65 mm, Viskase Corporation, Chicago, IL, USA) using a manual sausage stuffer. The fermentation and drying process was carried out in fermentation chambers (ITALFROST-DE RIGO-GS, Pszczyna, Poland) for 30 days under controlled humidity and temperature conditions. The production conditions were as follows: Stage 1—temperature 20–22 °C, relative humidity 55–65%, for 3 days; Stage 2—temperature 14–16 °C, relative humidity 68–75%, for 3 days; Stage 3—temperature 13 °C, relative humidity 76%, for 13 days. Each post-production sample was analyzed three times for the content of volatile compounds and L-carnitine, and the sausages also underwent sensory analysis.

4.2. Analysis of Volatile Compounds

The analysis of volatile compounds was conducted using the SPME–gas chromatography–mass spectrometry (GC-MS) technique (Agilent Technologies, Santa Clara, CA, USA); following the method described by Pérez-Santaescolástica et al. [50], an SPME device (Supelco, Bellefonte, PA, USA) equipped with a 10 mm long fused silica fiber coated with a 50/30 μ m DVD/CAR/PDMS layer was utilized. Before analysis, each sample was separately ground to obtain a homogeneous mixture. Extraction was performed by solid-phase microextraction. One gram of each sample was placed in a 20 mL vial with a cap. The samples were conditioned at 37 °C for 15 min to ensure uniform temperature. The extraction was then carried out by inserting the SPME fiber into the vial for 30 min. The fiber was then removed and transferred to the injection port of the GC-MS system. Chromatographic separation was performed using a 7890B chromatograph system (Agilent Technologies, Santa Clara, CA, USA) coupled with a 5977B mass spectrometer (Agilent Technologies). The capillary column used was DB-624 (length 30 m $\times$ 0.25 ID mm $\times$ 1.40 μ m film thickness; J&W Scientific, Folsom, CA, USA). The injection port was operated in splitless mode, with the split valve opening after 2 min. Helium was used as the carrier gas at a constant flow rate of 1.2 mL/min (9.59 psi). The temperature program was as follows: initial temperature of 40 °C held for 10 min, then to 200 °C at 5 °C/min, followed by 250 °C at 20 °C/min with a final hold of 5 min; total scanning time was 50.8 min. Compounds were identified by comparing their mass spectra with those in the NIST05 library (National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, USA) and/or by calculating the retention index relative to a series of reference alkanes (C5–C19) (for calculating the Kovats index, Supelco 44585-U, Bellefonte, PA, USA), with a fit factor of more than 85% taken into account. The results are reported in units of area ($\text{AU} \times 10^3 \text{ g}^{-1} \text{ sample}$).

4.3. Determination of L-Carnitine Content

The L-carnitine content was determined using the L-Carnitine Assay Kit MAK063 (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA), according to the procedure provided in the manufacturers technical bulletin. The results were expressed in milligrams of L-carnitine per 100 g of product.

4.4. Sensory Evaluation

The sensory quality was assessed using descriptive analysis with an unstructured linear graphical scale of 100 mm, converted to numerical values ranging from 0 to 10 conventional units (c.u.), according to ISO 13299:1998 (QDA) [51]. The sausages were sliced into approximately 2 mm thick pieces using an electric slicer and placed in transparent, odorless plastic containers with lids. Each sample was individually coded with three digits and presented randomly to minimize transfer effects. The samples were kept in the containers at room temperature (24 ± 1 °C) for 30 min before evaluation. Panelists assessed

the samples in plastic containers with lids against a white background using evaluation cards. The parameters evaluated and their descriptors were as follows: meat color—from gray to very red; cross-sectional fat color—from gray to white; slice compactness—from low to very high; juiciness—from dry to very juicy; hardness—from low to very high; overall quality—from poor to very good. Additionally, the intensity of smell (meat, tomato, and other odors) and taste (meat, tomato, salty, sweet, and other flavors) were assessed. The evaluation was conducted by a 13-member panel from the Department of Meat Technology and Food Quality at the University of Life Sciences in Lublin. Consistent temperature, lighting, and elimination of distracting factors such as noise and unpleasant odors were maintained during the analysis.

4.5. Statistical Analysis

The data collected during this study were processed using Statistica software version 9.1 (StatSoft, Kraków, Poland) and presented as mean $\pm$ standard deviation. All measurements were performed with at least three replicates. The normality of the variable distributions in the study groups was assessed using the Shapiro–Wilk test. Data analysis was conducted using two-way analysis of variance (ANOVA). Differences between mean values were determined using Tukey’s test. A significance level of $p < 0.05$ was adopted, indicating the presence of statistically significant differences or relationships.

5. Conclusions

The results found in the present study confirmed that the tomato pomace had a significant effect on raw fermented sausages, since it contributed to the amount of volatile compounds as well as sensory attributes. The sausages with TP in the amount of 1.5% and 2.5% were characterized by positive sensory features, and their overall quality was rated on above 7 c.u. on a 10-point scale, similar to the control sausage. Significant differences were observed in the content of individual volatile substances included in the groups of volatile compounds (alcohols, aldehydes, hydrocarbons, and ketones) between the tested groups of sausages. The effect of the addition of tomato pomace in amounts of both 1.5% and 2.5% had a very similar effect on the assessed characteristics of raw fermented sausages.

Author Contributions: Conceptualization, M.K. and P.S.; methodology, P.S., M.K., L.P. and J.M.L.; investigation, P.S.; data curation, P.S., J.M.L. and L.P.; writing—original draft preparation, P.S. and M.K.; writing—review and editing, M.K. and J.M.L.; supervision, M.K. and J.M.L.; project administration, M.K. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research received no external funding.

Institutional Review Board Statement: The study was conducted in accordance with the Declaration of Helsinki, and approved by Ethics Committee of University of Life Sciences in Lublin (protocol code UKE/20/02/2024, date of approval 20 February 2024).

Informed Consent Statement: Informed consent was obtained from all subjects involved in the study.

Data Availability Statement: The original contributions presented in the study are included in the article, further inquiries can be directed to the corresponding author.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflicts of interest.

References

1. Holck, A.; Axelsson, L.; McLeod, A.; Rode, T.M.; Heir, E. Health and Safety Considerations of Fermented Sausages. *J. Food Qual.* **2017**, *2017*, 9753894. [[CrossRef](#)]
2. Zhang, Y.; Zhang, Y.; Jia, J.; Peng, H.; Qian, Q.; Pan, Z.; Liu, D. Nitrite and nitrate in meat processing: Functions and alternatives. *Curr. Res. Food Sci.* **2023**, *6*, 100470. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
3. Ozaki, M.M.; MuneKata, P.E.S.; Jacinto-Valderrama, R.A.; Efraim, P.; Pateiro, M.; Lorenzo, J.M.; Pollonio, M.A.R. Beetroot and radish powders as natural nitrite source for fermented dry sausages. *Meat Sci.* **2021**, *171*, 108275. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]

4. Grasso, S.; Estévez, M.; Lorenzo, J.M.; Pateiro, M.; Ponnampalam, E.N. The utilisation of agricultural by-products in processed meat products: Effects on physicochemical, nutritional and sensory quality—Invited Review. *Meat Sci.* **2024**, *211*, 109451. [\[CrossRef\]](#)
5. Chabi, I.B.; Zannou, O.; Dedehou, E.S.C.; Kayodé, P.; Ayegnon, B.P.; Odouaro, O.B.; Maqsood, S.; Galanakis, C.H.M. Tomato pomace as a source of valuable functional ingredients for improving physicochemical and sensory properties and extending the shelf life of foods: A review. *Heliyon* **2024**, *10*, e25261. [\[CrossRef\]](#)
6. Skwarek, P.; Karwowska, M. Fatty acids profile and antioxidant properties of raw fermented sausages with the addition of tomato pomace. *Biomolecules* **2022**, *12*, 1695. [\[CrossRef\]](#)
7. Montanari, C.; Gatto, V.; Torriani, S.; Barbieri, F.; Bargossi, E.; Lanciotti, R.; Grazia, L.; Magnani, R.; Tabanelli, G.; Gardini, F. Effects of the diameter on physico-chemical, microbiological and volatile profile in dry fermented sausages produced with two different starter cultures. *Food Biosci.* **2018**, *22*, 9–18. [\[CrossRef\]](#)
8. Almeida, M.A.; Fadda, S.G.; Sentandreu Vicente, M.Á.; Montes Villanueva, N.D.; da Silva Pinto, J.S.; Contreras Castillo, C.J. Study of the volatile compounds of dry fermented sausage with salt reduction and its relationship with sensory acceptance. *Food Prod. Process. Nutr.* **2024**, *6*, 53. [\[CrossRef\]](#)
9. Gómez, M.; Lorenzo, J.M. Effect of fat level on physicochemical, volatile compounds and sensory characteristics of dry-ripened “chorizo” from Celta pig breed. *Meat Sci.* **2013**, *95*, 658–666. [\[CrossRef\]](#)
10. Williams, P. Nutritional composition of red meat. *Nutr. Diet.* **2007**, *64*, 113–119. [\[CrossRef\]](#)
11. Zhang, X.; Chen, F.; Wang, M. Bioactive substances of animal origin. In *Handbook of Food Chemistry*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2015; pp. 1009–1033.
12. Agregán, R.; Barba, F.J.; Gavahian, M.; Franco, D.; Khaneghah, A.M.; Carballo, J.; Lorenzo, J.M. Fucus vesiculosus extracts as natural antioxidants for improvement of physicochemical properties and shelf life of pork patties formulated with oleogels. *J. Sci. Food Agric.* **2019**, *99*, 4561–4570. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
13. Abdul Hakim, B.N.; Ng, J.X.; Oslan, S.N.H. A Comprehensive Review of Bioactive Compounds from Lactic Acid Bacteria: Potential Functions as Functional Food in Dietetics and the Food Industry. *Foods* **2023**, *12*, 2850. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
14. Jairath, G.; Biswas, A.K.; Mal, G.; Suman, S.P. Bioactive Compounds in Meat: Their Roles in Modulating Palatability and Nutritional Value. *Meat Muscle Biol.* **2024**, *8*, 16992. [\[CrossRef\]](#)
15. Grosch, W. Detection of potent odorants in foods by aroma extract dilution analysis. *Trends Food Sci. Technol.* **1993**, *4*, 68–73. [\[CrossRef\]](#)
16. Kosowska, M.; Majcher, M.A.; Fortuna, T. Volatile compounds in meat and meat products. *Food Sci. Technol.* **2017**, *37*, 1–7. [\[CrossRef\]](#)
17. Borrajo, P.; Karwowska, M.; Lorenzo, J.M. The Effect of Salvia hispanica and Nigella sativa Seed on the Volatile Profile and Sensory Parameters Related to Volatile Compounds of Dry Fermented Sausage. *Molecules* **2022**, *27*, 652. [\[CrossRef\]](#)
18. Alonso, A.; Vázquez-Araújo, L.; García-Martínez, S.; Ruiz, J.J.; Carbonell-Barrachina, A.A. Volatile compounds of traditional and virus-resistant breeding lines of Muchamiel tomatoes. *Eur. Food Res. Technol.* **2009**, *230*, 315–323. [\[CrossRef\]](#)
19. Concina, I.; Falasconi, M.; Gobbi, E.; Bianchil, F.; Musci, M.; Mattarozzi, M.; Pardo, M.; Mangia, A.; Careri, M.; Sberveglieri, G. Differentiation of the volatile profile of microbiologically contaminated canned tomatoes by dynamic headspace extraction followed by gas chromatography-mass spectrometry analysis. *Talanta* **2009**, *77*, 962–970.
20. Bleicher, J.; Ebner, E.E.; Bak, K.H. Formation and Analysis of Volatile and Odor Compounds in Meat—A Review. *Molecules* **2022**, *27*, 6703. [\[CrossRef\]](#)
21. Flores, M. Understanding the implications of current health trends on the aroma of wet and dry cured meat products. *Meat Sci.* **2018**, *144*, 53–61. [\[CrossRef\]](#)
22. Argyri, A.A.; Mallouchos, A.; Panagou, E.Z.; Nychas, G.E. The dynamics of the HS/SPME–GC/MS as a tool to assess the spoilage of minced beef stored under different packaging and temperature conditions. *Int. J. Food Microbiol.* **2015**, *193*, 51–58. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
23. Hu, Y.; Zhang, L.; Liu, Q.; Wang, Y.; Chen, Q.; Kong, B. The potential correlation between bacterial diversity and the characteristic volatile flavour of traditional dry sausages from Northeast China. *J. Food Microbiol.* **2020**, *91*, 103505. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
24. Belleggia, L.; Ferrocino, I.; Reale, A.; Boscaino, F.; Di, T.; Rita, M.; Coccolin, L.; Milanovi, V.; Cardinali, F.; Garofalo, C.; et al. Portuguese cacholeira blood sausage: A first taste of its microbiota and volatile organic compounds. *Food Res. Int.* **2020**, *136*, 109567. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
25. Li, J.; Di, T.; Bai, J. Distribution of Volatile Compounds in Different Fruit Structures in Four Tomato Cultivars. *Molecules* **2019**, *24*, 2594. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
26. Solomando, J.C.; Antequera, T.; Martín, A.; Perez-Palacios, T. Effect of Omega-3 Microcapsules Addition on the Profile of Volatile Compounds in Enriched Dry-Cured and Cooked Sausages. *Foods* **2020**, *9*, 1683. [\[CrossRef\]](#)
27. Karwowska, M.; Kononiuk, A.D.; Borrajo, P.; Lorenzo, J.M. Comparative Studies on the Fatty Acid Profile and Volatile Compounds of Fallow Deer and Beef Fermented Sausages without Nitrite Produced with the Addition of Acid Whey. *Appl. Sci.* **2021**, *11*, 1320. [\[CrossRef\]](#)
28. Sirtori, F.; Dimauro, C.; Bozzi, R.; Aquilani, C.; Franci, O.; Calamai, L.; Pezzati, A.; Pugliese, C. Evolution of volatile compounds and physical, chemical and sensory characteristics of Toscano PDO ham from fresh to dry-cured product. *Eur. Food Res. Technol.* **2020**, *246*, 409–424. [\[CrossRef\]](#)

29. Toldrá, F.; Flores, M. Processed Pork Meat Flavors. In *Handbook of Food Products Manufacturing*; Hui, Y.H., Ed.; John Wiley & Sons, Inc.: Hoboken, NJ, USA, 2007; Volume 2, pp. 281–301.
30. Sapkota, M.; Pereira, L.; Wang, Y.; Zhang, L.; Topcu, Y.; Tieman, D.; Knaap, E. Structural variation underlies functional diversity at methyl salicylate loci in tomato. *PLoS Genet.* **2024**, *20*, 1011125. [[CrossRef](#)]
31. Yan, Q.; Simmons, T.R.; Cordell, W.T.; Lozada, N.J.H.; Breckner, C.J.; Chen, X.; Jindra, M.A.; Pfleger, B.F. Metabolic engineering of β -oxidation to leverage thioesterases for production of 2-heptanone, 2-nonanone and 2-undecanone. *Metab. Eng.* **2020**, *61*, 335–343. [[CrossRef](#)]
32. Aquilani, C.; Sirtori, F.; Flores, M.; Bozzi, R.; Le Bret, B.; Pugliese, C. Effect of natural antioxidants from grape seed and chestnut in combination with hydroxytyrosol, as sodium nitrite substitutes in Cinta Senese dry-fermented sausages. *Meat Sci.* **2018**, *145*, 389–398. [[CrossRef](#)]
33. Buttery, R.G.; Takeoka, G.R. Some Unusual Minor Volatile Components of Tomato. *J. Agric. Food Chem.* **2004**, *52*, 6264–6266. [[CrossRef](#)]
34. Tang, Z.; Chen, H.; Zhang, M.; Fan, Z.; Zhong, Q.; Chen, W.; Yun, Y.-H.; Chen, W. Antibacterial Mechanism of 3-Carene against the Meat Spoilage Bacterium *Pseudomonas lundensis* and Its Application in Pork During Refrigerated Storage. *Nutrients* **2020**, *11*, 92. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
35. Li, X.G.; Ma, Y.M.; Liu, L.P.; Hou, H.B.; Ma, J.P.; Xiao, F. Volatile terpene composition in cones of *Pinus armandii*. *Acta Bot. Boreal-Occid. Sin.* **2005**, *25*, 2072–2076.
36. Christiansen, K.F.; Olsen, E.; Vegarud, G.; Langsrud, T.; Lea, P.; Haugen, J.E.; Egeland, B. Flavor Release of the Tomato Flavor Enhancer, 2-Isobutylthiazole from Whey Protein Stabilized Model Dressings. *Food Sci. Technol. Int.* **2011**, *17*, 143–154. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
37. Ordonez, J.A.; Hierro, E.M.; Bruna, J.M.; Hoz, L. Changes in the components of dry-fermented sausages during ripening. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* **1999**, *39*, 329–367. [[CrossRef](#)]
38. Domínguez, R.; Purriños, L.; Pérez-Santaescolástica, C.; Pateiro, M.; Barba, F.J.; Tomasevic, I.; Campagnol, P.C.B.; Lo-reno, J.M. Characterization of Volatile Compounds of Dry-Cured Meat Products Using HS-SPME-GC/MS Technique. *Food Anal. Methods* **2019**, *12*, 1263–1284.
39. Lv, J.; Xu, W.; Ji, C.; Lin, X. Relationships between the bacterial diversity and metabolites of a Chinese fermented pork product, sour meat. *Int. J. Food Sci. Technol.* **2021**, *56*, 2742–2750. [[CrossRef](#)]
40. Domaradzki, P.; Florek, M.; Litwińczuk, Z. Shaping the flavor and aroma profile of beef during the dry maturation process. *Food Sci. Technol. Qual.* **2020**, *27*, 5–30.
41. Yagci, S.; Caliskan, R.; Gunes, Z.S.; Capanoglu, E.; Tomas, M. Impact of tomato pomace powder added to extruded snacks on the in vitro gastrointestinal behaviour and stability of bioactive compounds. *Food Chem.* **2022**, *368*, 13084. [[CrossRef](#)]
42. Mehta, D.; Prasad, P.; Sangwan, R.S.; Yadav, S.K. Tomato processing byproduct valorization in bread and muffin: Improvement in physicochemical properties and shelf life stability. *J. Food Sci. Technol.* **2018**, *55*, 2560–2568. [[CrossRef](#)]
43. Deda, M.S.S.; Bloukas, J.G.G.; Fista, G.A.A. Effect of tomato paste and nitrite level on processing and quality characteristics of frankfurters. *Meat Sci.* **2007**, *76*, 501–508. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
44. Kim, I.I.S.; Jin, S.K.; Mandal, P.K.; Kang, S.N. Quality of low fat pork sausages with tomato powder as color and functional additive during refrigerated storage. *J. Food Sci.* **2011**, *48*, 591–597.
45. Luisa García, M.; Calvo, M.M.; Selgas, M.D. Beef hamburgers enriched in lycopene using dry tomato peel as an ingredient. *Meat Sci.* **2009**, *83*, 45–49. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
46. Pekala, J.; Patkowska-Sokola, B.; Bodkowski, R.; Jamroz, D.; Nowakowski, P.; Lochynski, S.; Librowski, T. L-carnitine-metabolic functions and meaning in humans life. *Curr. Drug Metab.* **2011**, *12*, 667–678. [[CrossRef](#)]
47. Demarquoy, J.; Georges, B.; Rigault, C.; Royer, M.C.; Claret, A.; Soty, M.; Le Borgne, F. Radioisotopic determination of L-carnitine content in foods commonly eaten in Western countries. *Food Chem.* **2004**, *86*, 137–142. [[CrossRef](#)]
48. Kononiuk, A.; Karwowska, M. Bioactive Compounds in Fermented Sausages Prepared from Beef and Fallow Deer Meat with Acid Whey Addition. *Molecule* **2020**, *25*, 2429. [[CrossRef](#)]
49. Laranjeira, T.; Costa, A.; Faria-Silva, C.; Ribeiro, D.; Ferreira de Oliveira, J.M.P.; Simões, S.; Ascenso, A. Sustainable valorization of tomato by-products to obtain bio-active compounds: Their potential in inflammation and cancer management. *Molecules* **2022**, *27*, 1701. [[CrossRef](#)]
50. Pérez-Santaescolástica, C.; Carballo, J.; Fulladosa, E.; Munekata, P.E.S.; Bastianello Campagnol, P.C.; Gómez, B.; Lorenzo, J.M. Influence of high-pressure processing at different temperatures on free amino acid and volatile compound profiles of dry-cured ham. *Food Res. Int.* **2019**, *116*, 49–56. [[CrossRef](#)]
51. ISO/DIS 13299.2; Sensory Analysis—Methodology—General Guidance for Establishing a Sensory Profile. Polish Committee for Standardization: Warsaw, Poland, 1998.

Disclaimer/Publisher’s Note: The statements, opinions and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of MDPI and/or the editor(s). MDPI and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products referred to in the content.

11. Oświadczenia współautorów publikacji stanowiących przedmiot rozprawy doktorskiej

mgr inż. Patrycja Skwarek

Lublin, 30.06.2025

Katedra Technologii Żywności Pochodzenia Zwierzęcego

Zakład Technologii Mięsa i Zarządzania Jakością

Wydział Nauk o Żywności i Biotechnologii

Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

ul. Skromna 8, 20-704 Lublin

patrycja.skwarek@up.lublin.pl

Rada Dyscypliny

Technologia żywności i żywienia

Uniwersytetu Przyrodniczego

w Lublinie

Oświadczenie o współautorstwie

Niniejszym oświadczam się, że w pracy:

1. Patrycja Skwarek, Małgorzata Karwowska. Fruit and vegetable processing by-products as functional meat product ingredients -a chance to improve the nutritional value. *LWT- Food Science and Technology*, 2023, 189, 115442

mój udział polegał na współtworzeniu koncepcji, dokonaniu przeglądu literatury, interpretacji danych literaturowych, przygotowaniu tabel i wizualizacji danych, napisaniu pierwszej wersji manuskryptu, redakcji publikacji.

2. Patrycja Skwarek, Małgorzata Karwowska. Fatty acids profile and antioxidant properties of raw fermented sausages with the addition of tomato pomace. *Biomolecules*, 2022, 12 (11), 1695

mój udział polegał na współtworzeniu koncepcji, opracowaniu metodologii badań, zaplanowaniu i przeprowadzeniu badań, opracowaniu i analizie uzyskanych wyników, przygotowaniu tabel i wizualizacji danych, napisaniu pierwszej wersji manuskryptu, redakcji publikacji.

3. Patrycja Skwarek, Małgorzata Karwowska. Wytłoki pomidorowe jako innowacyjny składnik kielbas surowo dojrzewających o obniżonej zawartości azotanu(III) sodu. *ŻYWNOSĆ. Nauka. Technologia. Jakość*, 2023, 30, 1 (134), 73 – 85

mój udział polegał na współtworzeniu koncepcji, opracowaniu metodologii badań, zaplanowaniu i przeprowadzeniu badań, opracowaniu i analizie uzyskanych wyników, przygotowaniu tabel i wizualizacji danych, napisaniu pierwszej wersji manuskryptu, redakcji publikacji a także korekcie manuskryptu po recenzjach.

4. Patrycja Skwarek, Małgorzata Karwowska. The effect of tomato pomace on the oxidative and microbiological stability of raw fermented sausages with reduced addition of nitrites. *International Journal of Food Science*, 2025, 1, 6146090

mój udział polegał na współtworzeniu koncepcji, opracowaniu metodologii badań, zaplanowaniu i przeprowadzeniu badań, opracowaniu i analizie uzyskanych wyników, przygotowaniu tabel i wizualizacji danych, napisaniu pierwszej wersji manuskryptu, redakcji publikacji a także korekcie manuskryptu po recenzjach.

5. Patrycja Skwarek, Jose Manuel Lorenzo , Laura Purriños, Małgorzata Karwowska. Development of Volatile Compounds in Raw Fermented Sausages with Reduced Nitrogen Compounds - The Effect of Tomato Pomace Addition. *Molecules*, 2024, 29(24), 5826

mój udział polegał na współtworzeniu koncepcji, opracowaniu metodologii badań, zaplanowaniu i przeprowadzeniu badań, opracowaniu i analizie uzyskanych wyników, przygotowaniu tabel i wizualizacji danych, napisaniu pierwszej wersji manuskryptu, redakcji publikacji.

.....
Patrycja Skwarek

Podpis

prof. dr hab. inż. Małgorzata Karwowska

Lublin, 30.06.2025

Katedra Technologii Żywności Pochodzenia Zwierzęcego

Zakład Technologii Mięsa i Zarządzania Jakością

Wydział Nauk o Żywności i Biotechnologii

Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

ul. Skromna 8, 20-704 Lublin

malgorzata.karwowska@up.lublin.pl

Rada Dyscypliny

Technologia żywności i żywienia

Uniwersytetu Przyrodniczego

w Lublinie

Oświadczenie o współautorstwie

Niniejszym oświadczam się, że w pracy:

1. Patrycja Skwarek, Małgorzata Karwowska. Fruit and vegetable processing by-products as functional meat product ingredients -a chance to improve the nutritional value. *LWT- Food Science and Technology*, 2023, 189, 115442

mój udział polegał na nadzorze merytorycznym w opracowaniu koncepcji, udziale w napisaniu publikacji, redakcji publikacji, korespondencji z redakcją i korekcie manuskryptu po recenzjach.

2. Patrycja Skwarek, Małgorzata Karwowska. Fatty acids profile and antioxidant properties of raw fermented sausages with the addition of tomato pomace. *Biomolecules*, 2022, 12 (11), 1695

mój udział polegał na nadzorze merytorycznym w opracowaniu koncepcji oraz założeniach metodologicznych, nadzorze prac laboratoryjnych, redakcji publikacji, korespondencji z redakcją i korekcie manuskryptu po recenzjach.

3. Patrycja Skwarek, Małgorzata Karwowska. Wytłoki pomidorowe jako innowacyjny składnik kielbas surowo dojrzewających o obniżonej zawartości azotan(III) sodu. *ŻYWNOSĆ. Nauka. Technologia. Jakość*, 2023, 30, 1 (134), 73 – 85

mój udział polegał na nadzorze merytorycznym w opracowaniu koncepcji oraz założeń metodologicznych, nadzorze prac laboratoryjnych, redakcji publikacji, korespondencji z redakcją i korekcie manuskryptu po recenzjach.

4. Patrycja Skwarek, Małgorzata Karwowska. The effect of tomato pomace on the oxidative and microbiological stability of raw fermented sausages with reduced addition of nitrites. *International Journal of Food Science*, 2025, 1, 6146090

mój udział polegał na nadzorze merytorycznym w opracowaniu koncepcji oraz założeń metodologicznych, nadzorze prac laboratoryjnych, redakcji publikacji, korespondencji z redakcją i korekcie manuskryptu po recenzjach.

5. Patrycja Skwarek, Jose Manuel Lorenzo, Laura Purriños, Małgorzata Karwowska. Development of Volatile Compounds in Raw Fermented Sausages with Reduced Nitrogen Compounds - The Effect of Tomato Pomace Addition. *Molecules*, 2024, 29(24), 5826

mój udział polegał na nadzorze merytorycznym w opracowaniu koncepcji oraz założeń metodologicznych, nadzorze prac laboratoryjnych, redakcji publikacji, udziale w przygotowaniu, edycji i korekcie manuskryptu po recenzjach oraz nadzorowaniu i administrowaniu projektem.

Małgorzata Karwowska

Podpis

Lublin, 30.06.2025

Jose Manuel Lorenzo, PhD, professor
Centro Tecnológico de la Carne de Galicia
Avenida de Galicia nº4, Parque Tecnológico de Galicia
San Cibrao das Viñas, 32900 Ourense, Spain
jmlorenzo@ceteca.net

Discipline Council
Food Technology and Human Nutrition
University of Life Sciences in Lublin

Declaration of co-authorship

I hereby declare that in the paper:

1. Patrycja Skwarek, Jose Manuel Lorenzo, Laura Purriños, Malgorzata Karwowska. Development of Volatile Compounds in Raw Fermented Sausages with Reduced Nitrogen Compounds - The Effect of Tomato Pomace Addition. *Molecules*, 2024, 29(24), 5826.

My contribution included: co-development of methodology, data curation, writing - review and editing, supervision.

LORENZO
RODRIGUEZ
JOSE MANUEL
- 44448571J

Firmado
digitalmente por
LORENZO
RODRIGUEZ JOSE
MANUEL - 44448571J
Fecha: 2025.07.03
09:31:07 +02'00'

.....

Signature

Lublin, 30.06.2025

dr Laura Purriños

Centro Tecnológico de la Carne de Galicia

Avenida de Galicia nº4, Parque Tecnológico de Galicia

San Cibrao das Viñas, 32900 Ourense, Spain

laurapurrios@ceteca.net

Discipline Council

Food Technology and Human Nutrition

University of Life Sciences

in Lublin

Declaration of co-authorship

I hereby declare that in the paper:

1. Patrycja Skwarek, Jose Manuel Lorenzo, Laura Purriños, Malgorzata Karwowska. Development of Volatile Compounds in Raw Fermented Sausages with Reduced Nitrogen Compounds - The Effect of Tomato Pomace Addition. *Molecules*, 2024, 29(24), 5826.

My contribution included co-development of methodology and data curation.

PURRIÑOS
PEREZ
LAURA -
..7671.3673W...13:18:44 +02'00'....

Firmado digitalmente por
PURRIÑOS PEREZ
LAURA - 76713673W
Fecha: 2025.06.30

Signature

12. Wykaz dorobku naukowego i dane bibliograficzne

Lublin, 10.07.2025

Biblioteka Główna UP w Lublinie

Bibliografia Publikacji Pracowników Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie

Zestawienie publikacji za lata 2021-2025 dla autora:

mgr inż. Patrycja Skwarek (doktorant - szkoła doktorska)

1. Publikacje w czasopismach naukowych

1.1 Publikacje w czasopiśmie naukowym posiadającym Impact Factor IF

Lp	Opis bibliograficzny	IF	Pkt. MNiSW
1.	Influence of tomato pomace on the quality of canned pork meat with reduced nitrogen compounds. [AUT.] PATRYCJA SKWAREK, MIROSLAVA KAČÁNIOVÁ, [AUT. KORESP.] MAŁGORZATA KARWOWSKA, [AUT.] KAROLINA WÓJCIAK. <i>Appl. Sci.-Basel</i> 2025 Volume 15 Issue 11 Article number; 6271, il., bibliogr., sum.	2,500	100,00
2.	Nutritional values, physicochemical and microbiological properties of turkey thigh muscle—effect of wild garlic (<i>Allium ursinum</i> L.) supplementation. [AUT. KORESP.] MAŁGORZATA KARWOWSKA, [AUT.] PATRYCJA SKWAREK, ELŻBIETA SOLSKA, AGATA NOWACZYK, DARIUSZ M. STASIAK, MATEUSZ NIEDZIELAK. <i>Appl. Sci.-Basel</i> 2025 Volume 15 Issue 5 Article number: 2715, il., bibliogr., sum. DOI: 10.3390/app15052715	2,500	100,00
3.	Safety, sensory quality and nutritional value of hybrid meat products made from turkey meat and red beans preserved with a bioprotective culture. [AUT. KORESP.] MAŁGORZATA KARWOWSKA, [AUT.] PATRYCJA SKWAREK, ELŻBIETA SOLSKA, AGATA NOWACZYK, ANDRZEJ GOŁAWSKI, PRZEMYSŁAW WOJTAŚ, DARIUSZ M. STASIAK. <i>Molecules (Basel,Online)</i> 2025 Vol. 30 Iss. 3 Article number: 691, il., bibliogr., sum. DOI: 10.3390/molecules30030691	4,600	140,00
4.	The effect of tomato pomace on the oxidative and microbiological stability of raw fermented sausages with reduced addition of nitrites. [AUT.] PATRYCJA SKWAREK, [AUT. KORESP.] MAŁGORZATA	3,100	100,00



	KARWOWSKA. <i>Int. J. Food Sci.</i> 2025 Vol. 2025. Issue 1 Article number; 6146090, il., bibliogr. sum. DOI: 10.1155/ijfo/6146090		
5.	Development of volatile compounds in raw fermented sausages with reduced nitrogen compounds—the effect of tomato pomace addition. [AUT.] PATRYCJA SKWAREK, JOSE MANUEL LORENZO, LAURA PURRIÑOS, [AUT. KORESP.] MAŁGORZATA KARWOWSKA. <i>Molecules (Basel,Online)</i> 2024 Vol. 29 Iss. 24 Article number: 5826, il., bibliogr., sum. DOI: 10.3390/molecules29245826	4,600	140,00
6.	Tomato pomace powder as a functional ingredient in minced meat products—influence on technological and sensory properties of traditional serbian minced meat product Čevapi. [AUT. KORESP.] SLAVIŠA STAJIĆ, [AUT.] PATRYCJA SKWAREK, SANJA ĐURĐEVIĆ, [AUT. KORESP.] MAŁGORZATA KARWOWSKA, [AUT.] BORIS PISINOV, IGOR TOMASEVIC, VLADIMIR KURČUBIĆ. <i>Processes</i> 2024 Vol. 12 Iss. 7 Article number: 1330, il., bibliogr., sum. DOI: 10.3390/pr12071330	2,800	70,00
7.	Fruit and vegetable processing by-products as functional meat product ingredients -a chance to improve the nutritional value. [AUT.] PATRYCJA SKWAREK, [AUT. KORESP.] MAŁGORZATA KARWOWSKA. <i>Lebensm. - Wiss. Technol.</i> 2023 Vol. 189 Article number 115442, il., bibliogr., sum. DOI: 10.1016/j.lwt.2023.115442	6,000	100,00
8.	Fatty acids profile and antioxidant properties of raw fermented sausages with the addition of tomato pomace. [AUT.] PATRYCJA SKWAREK, [AUT. KORESP.] MAŁGORZATA KARWOWSKA. <i>Biomolecules</i> 2022 Vol. 11 Iss. 12 Article number 1695, il., bibliogr.,sum. DOI: 10.3390/biom12111695	5,500	100,00
	Suma:	31,600	850,00

1.2 Publikacja w czasopiśmie naukowym nieposiadającym IF

Lp	Opis bibliograficzny	Pkt. MNiSW
1.	Wytłoki pomidorowe jako innowacyjny składnik kielbas surowo dojrzewających o obniżonej zawartości azotanu(III) sodu. [AUT.] PATRYCJA SKWAREK, MAŁGORZATA KARWOWSKA. <i>Żywn. Nauka Technol. Jakość (2016-)</i> 2023 Vol. 30 nr 1 (134) s. 73-85, il. bibliogr., streszcz., sum. DOI: 10.15193/zntj/2023/134/438	200,00



2. Bezpieczeństwo mikrobiologiczne mięsa drobiowego w krajach UE w latach 2019-2020. [AUT.] PATRYCJA SKWAREK, JUSTYNA LIBERA. *Żywn. Nauka Technol. Jakość (2016-)* 2021 Vol. 28 nr 2 (127) s. 78-89, il. bibliogr., streszcz., sum. DOI: 10.15193/zntj/2021/127/379 20,00
- Suma: 220,00

2. Monografie naukowe

2.1. Autorstwo rozdziału w monografii naukowej

Lp	Opis bibliograficzny	Pkt. MNiSW
1.	Jakość wybranych probiotycznych jogurtów i napojów mlecznych dostępnych na lokalnym rynku (Quality of selected probiotic yoghurts and dairy drinks available on the local market). [AUT.] PATRYCJA SKWAREK, KAROLINA BUĆ, JUSTYNA LIBERA. W: Wybrane zagadnienia z zakresu produkcji surowców, żywności kosmetyków pod redakcją / Marka Babicz, Kingi Kropiwek-Domańskiej Lublin 2021, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, il., bibliogr., sum. 20,00	20,00
2.	Ocena preferencji żywieniowych studentów Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie. [AUT.] PATRYCJA SKWAREK, KAROL JAKUBOWSKI, JUSTYNA LIBERA, ADA KRAWĘCKA. W: Żywnienie i produkcja żywności – przegląd najnowszych doniesień / red. Beata Bujalska, Joanna Kozłowska Lublin 2021, Wydawnictwo Naukowe TYGIEL Sp. z o. o, s. 49-6, il., bibliogr., sum., streszcz, 978-83-66489-97-4. 20,00	20,00
3.	Problem obecności ciał obcych w żywności - analiza raportów systemu wczesnego ostrzegania o niebezpiecznej żywności i paszach (RASFF) w okresie od 01.01.2019 do 31.12.2020r. [AUT. KORESP.] PATRYCJA SKWAREK, [AUT.] JUSTYNA LIBERA, DOROTA TETERYCZ. W: Młodzi liderzy jakości 2021. Wrzesień 2021. Instytut Nauk o Jakości Uniwersytet Ekonomiczny w Poznaniu. Poznań 2021. Poznań 2021, Uniwersytet Ekonomiczny w Poznaniu, s. 141-147, 978-83-960669-1-6. 20,00	20,00
4.	Występowanie społeczeństwa konsumpcyjnego w dzisiejszych czasach oraz skutki tego zjawiska. [AUT.] PATRYCJA SKWAREK, DOROTA TETERYCZ. W: Dysfunkcje i szanse współczesnego społeczeństwa. Redakcja / Monika Iwaniuk, Beata Bujalska Lublin 2021, Wydawnictwo Naukowe TYGIEL Sp. z o. o, s. 130-144, 978-83-66489-85-1. 20,00	20,00
5.	Występowanie trendów <i>clean label</i> i <i>zero waste</i> w strategiach produkcji żywności. [AUT.] PATRYCJA SKWAREK, JUSTYNA LIBERA. W: Wybrane problemy środowiska przyrodniczego w ujęciu naukowym Lublin 2021, Wydawnictwo Naukowe TYGIEL Sp. z o. o, s. 186-195, il., bibliogr., streszcz., sum, 978-83-66489-62-2. 20,00	20,00
	Suma:	100,00



3. Inne

3.1. Materiały konferencyjne

Lp	Opis bibliograficzny
1.	The influence of freeze-dried tomato pomace on the profile of volatile aromatic compounds and sensory properties of raw fermented sausages with reduced nitrite content. [AUT. KORESP.] PATRYCJA SKWAREK, [AUT.] MAŁGORZATA KARWOWSKA. W: 4th International PhD Student's Conference at the University of Life Sciences in Lublin, Poland: ENVIRONMENT – PLANT – ANIMAL – PRODUCT ,9 April 2025 Abstract number: F010. Lublin 2025, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie. DOI: 10.24326/ICDSUPL4.F010
2.	Application of biprotective cultutres in hybrid meat products. [AUT. KORESP.] MAŁGORZATA KARWOWSKA, [AUT.] DARIUSZ M. STASIAK, PATRYCJA SKWAREK. W: Proceedings of the 10th International Conference on the Quality and Safety in Food Production Chain s.44. Wrocław 2024, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu. DOI: 10.30825/4.18.2024
3.	Hybrydowe produkty mięsne jako żywność funkcjonalna (X Ogólnopolska konferencja naukowa; Żywność - Żywnienie - Dietetyka. Żywność funkcjonalna a diety niekonwencjonalne). [AUT.] MAŁGORZATA KARWOWSKA, PATRYCJA SKWAREK, ELŻBIETA SOLSKA, AGATA NOWACZYK, PRZEMYSŁAW WOJTAŚ. W: X Ogólnopolska konferencja naukowa; Żywność - Żywnienie - Dietetyka. Żywność funkcjonalna a diety niekonwencjonalne. s.37-38. Częstochowa 2024.
4.	Sterilized canned lamb with non-standard starch as a fat replacement – comparison of properties during storage. [AUT. KORESP.] ROBERT WARACZEWSKI, [AUT.] JOANNA STASIAK, PATRYCJA SKWAREK, DARIUSZ STASIAK, BARTOSZ SOŁOWIEJ. W: 3rd International PhD Student's Conference at the University of Life Sciences in Lublin, Poland: ENVIRONMENT – PLANT – ANIMAL – PRODUCT, 24 April 2024 F016. Lublin 2024, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie. DOI: 10.24326/ICDSUPL3.F016
5.	Tomato pomace as natural antioxidants inhibiting oxidation processes in raw fermented sausages. [AUT. KORESP.] PATRYCJA SKWAREK, [AUT.] MAŁGORZATA KARWOWSKA. W: 3rd International PhD Student's Conference at the University of Life Sciences in Lublin, Poland: ENVIRONMENT – PLANT – ANIMAL – PRODUCT, 24 April 2024 F014. Lublin 2024, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie. DOI: 10.24326/ICDSUPL3.F014
6.	Wpływ zastosowania czosnku niedźwiedziego (Allinum Ursinum L) w żywieniu indyków na potencjał przeciwutleniający mięsa. [AUT.] PATRYCJA SKWAREK, MAŁGORZATA KARWOWSKA. W: Żywność wobec wyzwań współczesnego świata. XXVIII sesja naukowa sekcji młodej kadry naukowej. Książka streszczeń. 16-17 maj 2024, Gdańsk s. 43. Gdańsk 2024.
7.	Zastosowanie bioprotekcji w produkcji wyrobów z mięsa indyka o cechach żywności wygodnej. [AUT.] MAŁGORZATA KARWOWSKA, DARIUSZ M. STASIAK, PATRYCJA SKWAREK, KRZYSZTOF BORKOWSKI. W: Konferencja naukowa; "Przyszłość żywności czy żywność przyszłości?". Komunikaty naukowe s.32. Kraków



- 2024, Oddział Małopolski Polskiego Towarzystwa Technologów Żywności, 978-83-962880-5-9.
8. **Influence of tomato pomace on selected quality characteristics of raw fermented sausages.** [AUT.] PATRYCJA SKWAREK, MAŁGORZATA KARWOWSKA. W: 2nd International PhD Student's Conference at the University of Life Sciences in Lublin, Poland: ENVIRONMENT – PLANT – ANIMAL – PRODUCT, 19 April 2023 T046. Lublin 2023, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie. DOI: 10.24326/ICDSUPL2.T046
 9. **The utilization of non-standard hydrocolloids in meat gel strengthening of sterilized canned lamb.** [AUT.] ROBERT WARACZEWSKI, PATRYCJA SKWAREK, JOANNA STASIAK. W: Książka streszczeń. XXVII sesja naukowa sekcji młodej kadry naukowej "Rozwój nauk o żywności. Zrównoważona przyszłość" 11-12 maja 2023, Warszawa (The book of abstracts. Xth international session of young scientific staff "Food science development. Sustainable future" 11-12 may 2023, Warsaw) s.78, sum. Warszawa 2023, Polskie Towarzystwo Technologów Żywności.
 10. **Wytłoki pomidorowe jako innowacyjny dodatek do kielbas surowo dojrzewających o obniżonej zawartości azotanów.** [AUT.] PATRYCJA SKWAREK, MAŁGORZATA KARWOWSKA. W: "Rozwój nauk o żywności. Zrównoważona przyszłość". Książka streszczeń. XXVII sesja naukowa sekcji młodej kadry naukowej 11-12 maj, Warszawa s. 54. Warszawa 2023.
 11. **Bezpieczeństwo wyrobu surowego dojrzewającego z mięsa jelenia szlachetnego.** [AUT.] MAŁGORZATA KARWOWSKA, PATRYCJA SKWAREK, JUSTYNA MASŁOWSKA, IWONA OCHNIK, ANNA KONONIUŁ, JULIA KACZMARCZYK, ANNA KORZEKWA. W: VI Sympozjum Naukowe "Bezpieczeństwo żywnościowe i żywności". Kiry (k. Zakopanego), 25-27 kwietnia 2022 r s. 12. [b.m], [b.w].
 12. **Tomato by-products as innovative additives for meat products.** [AUT. KORESP.] PATRYCJA SKWAREK, [AUT.] MAŁGORZATA KARWOWSKA. W: 1st International PhD Student's Conference at the University of Life Sciences in Lublin, Poland: ENVIRONMENT – PLANT – ANIMAL – PRODUCT Abstract number T031. Lublin 2022, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie. DOI: 10.24326/ICDSUPL1.T031
 13. **Wykorzystanie składników roślinnych bogatych w substancje bioaktywne, pochodzących z produktów ubocznych przetwórstwa spożywczego jako potencjalnych dodatków do wyrobów mięsnych.** [AUT.] PATRYCJA SKWAREK, MAŁGORZATA KARWOWSKA. W: IV Ogólnopolska Konferencja Naukowa „Problem odpadów i ich zagospodarowania”. Abstrakty s. 29-30. Lublin 2022, Wydawnictwo Naukowe TYGIEL Sp. z o. o, 978-83-67194-19-8.
 14. **Jakość żywności na podstawie raportu RASFF w okresie od 01.01.2019 do 31.12.2020 roku w krajach Unii Europejskiej.** [AUT.] PATRYCJA SKWAREK, JUSTYNA LIBERA. W: Młodzi Liderzy Jakości 2021. Książka abstraktów s. 37. Poznań 2021, Uniwersytet Ekonomiczny w Poznaniu.
 15. **Nanotechnologie wykorzystywane w przemyśle spożywczym.** [AUT.] PATRYCJA SKWAREK. W: V Ogólnopolska Konferencja Naukowa Nanotechnologia wobec oczekiwań XXI w. Abstrakty. Redakcja: Alicja Danielewska, Monika Maciąg s. 20. Lublin 2021, Wydawnictwo Naukowe TYGIEL Sp. z o. o, 978-83-66861-35-0.
 16. **Ocena preferencji żywieniowych studentów Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie.** [AUT.] PATRYCJA SKWAREK, JUSTYNA LIBERA, KAROL JAKUBOWSKI, ADA



- KRAWĘCKA. W: III Ogólnopolska Konferencja Naukowa Nutricib „Żywność i żywienie – przegląd i badania” 27.05.2021. Abstrakty s. 24. Lublin 2021, Wydawnictwo Naukowe TYGIEL Sp. z o. o, 978-83-66861-36-7.
17. Porównanie jakości wybranych czerwonych win dostępnych na rynku i wina produkowanego w warunkach domowych. [AUT.] PATRYCJA SKWAREK, URSZULA GAWLIK-DZIKI. W: IV Ogólnopolska Konferencja Naukowa „Nauki przyrodnicze na rzecz człowieka i środowiska”. Abstrakty. Redakcja: Beata Bujalska, Konrad Skrzątek s. 27-28. Lublin 2021, Wydawnictwo Naukowe TYGIEL Sp. z o. o, 978-83-66861-19-0.
18. Projekt potencjalnie probiotycznego napoju mlecznego z dodatkiem nasion *ostropestu*. [AUT.] PATRYCJA SKWAREK, JUSTYNA LIBERA, KATARZYNA WOŹNIAK. W: IV Ogólnopolska Konferencja Naukowa „Rośliny w naukach medycznych i przyrodniczych” 28.05.2021. Abstrakty s. 31-32. Lublin 2021, Wydawnictwo Naukowe TYGIEL Sp. z o. o, 978-83-66861-39-8.
19. Występowanie trendów *clean label* oraz *zero waste* w strategiach produkcji żywności (XIII Interdyscyplinarna Konferencja Naukowa TYGIEL 2021 „Interdyscyplinarność kluczem do rozwoju”. Abstrakty. Redakcja: Izabela Mołdoch-Mendoń, Kamil Maciąg). [AUT.] PATRYCJA SKWAREK, JUSTYNA LIBERA. W: XIII Interdyscyplinarna Konferencja Naukowa TYGIEL 2021 „Interdyscyplinarność kluczem do rozwoju”. Abstrakty. Redakcja: Izabela Mołdoch-Mendoń, Kamil Maciąg. s. 129-130. Lublin 2021, Wydawnictwo Naukowe TYGIEL Sp. z o. o, 978-83-66861-14-5.



Sumaryczny IF- 31,600

Sumaryczna liczba punktów MNiSW- 1170,00

Szczegółowe wyjaśnienia:

- Wskaźnik Impact Factor został podany na podstawie bazy Journal Citation Reports (JCR) zgodnie z rokiem wydania publikacji.
- Punktacja została podana na podstawie Wykazu Czasopism Punktowanych MNiSW/MEiN obowiązujących dla roku wydania publikacji z wyjątkiem:
 - publikacji z 2017 i 2018 r., którym punkty zostały przypisane na podstawie "Wykazu czasopism naukowych zawierający historię czasopisma z publikowanych wykazów za lata 2013-2016";
 - publikacji z roku 2019 - 2022 którym punkty zostały przypisane na podstawie: „Komunikat Ministra Edukacji i Nauki z dnia 21 grudnia 2021 r. o zmianie i sprostowaniu komunikatu w sprawie wykazu czasopism naukowych i recenzowanych materiałów z konferencji międzynarodowych”.
- Punktacja za autorstwo rozdziałów w monografiach zostały przyznane na podstawie rozporządzeń obowiązujących w konkretnych latach opublikowania prac.

UNIWERSYTET PRZYRODNICZY W LUBLINIE
BIBLIOTEKA GŁÓWNA
REGIONALNY OŚRODEK ROLNICZEJ
INFORMACJI NAUKOWEJ
20-950 Lublin, ul. Akademicka 13
NIP 712-010-37-75, REGON 000001896

Wykaz sporządziła:
Agata Miśtak

Agata Miśtak



Zestawienie wyników cytowań sporządzone przez pracownika Oddziału Informacji Naukowej Biblioteki Głównej Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie (wg kwerendy na dzień 10.07.2025r.)

Mgr inż. Patrycja Skwarek

Według bazy Web of Science Core Collection – Basic Search	
Liczba prac indeksowanych w bazie	8
Liczba cytowań opublikowanych prac	36
Liczba cytowań opublikowanych prac bez autocytowań	30
Liczba artykułów cytujących	36
Liczba artykułów cytujących bez autocytowań	30
Średnia liczba cytowań na pozycję	4.5
Indeks Hirsha	2
Według bazy Scopus – Author Search	
Liczba prac indeksowanych w bazie	10
Liczba cytowań opublikowanych prac	43
Liczba cytowań opublikowanych prac bez autocytowań	35
Indeks Hirsha	2

Zestawienie sporządziła

Agata Miśtak