

**UNIWERSYTET PRZYRODNICZY w LUBLINIE**

**Wydział Nauk o Żywności i Biotechnologii**

**Dyscyplina naukowa: Technologia żywności i żywienia**

**Dorota Teterycz**

*Rozprawa doktorska*

**Wpływ dodatku wysokobiałkowych surowców roślinnych  
na właściwości fizykochemiczne oraz jakość kulinarną  
i organoleptyczną makaronów**

*Effect of the addition of high-protein vegetable raw materials  
on the physico-chemical properties  
and the cooking and organoleptic quality of pasta*

Rozprawa doktorska wykonana w Zakładzie Inżynierii i Technologii Zbóż,  
w Katedrze Technologii Żywności Pochodzenia Roślinnego i Gastronomii

Promotor:

dr hab. inż. Aldona Sobota, prof. UP Lublin

Lublin, 2023

### 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 doktora.

Data 31.10.2023

Podpis promotora Sobota Aldona

### 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 31.10.2023

Podpis autora Dorota (Jędrzej)

\* niepotrzebne skreślić

Składam serdeczne podziękowania  
**Pani Profesor Aldonie Sobocie**  
za wsparcie w trakcie realizacji niniejszej pracy,  
za konstruktywną krytykę, życzliwość,  
motywację i cierpliwość.

Dziękuję  
**dr inż. Annie Wirkijowskiej**  
za każdą pomoc  
w czasie tej wyboistej podróży.

Dziękuję wszystkim **Pracownikom**  
**Zakładu Inżynierii i Technologii Zbóż**  
za cudowną atmosferę podczas  
realizacji tego osiągnięcia.

Dziękuję także sobie za to,  
że mimo wątpliwości i chwil słabości  
nie poddałam się i osiągnęłam swój cel.

## **Lista publikacji stanowiących przedmiot rozprawy doktorskiej**

### **PUBLIKACJA I**

**Teterycz, D.,** Sobota, A., Zarzycki, P., & Latoch, A. (2020). Legume flour as a natural colouring component in pasta production. *Journal of Food Science and Technology*, 57, 301-309.

Punkty MEiN: 70

IF: 2,701

### **PUBLIKACJA II**

**Teterycz, D.,** Sobota, A., Przygodzka, D., & Łysakowska, P. (2021). Hemp seed (*Cannabis sativa L.*) enriched pasta: Physicochemical properties and quality evaluation. *Plos One*, 16(3), e0248790.

Punkty MEiN: 100

IF: 3,752

### **PUBLIKACJA III**

**Teterycz, D.,** Sobota, A., & Starek, A. (2023). Possibility of using wheat germ and wheat germ protein isolate for high-protein pasta production. *Cereal Chemistry*, 100(2), 299-309.

Punkty MEiN: 70

IF: 2,4

### **PUBLIKACJA IV**

**Teterycz, D., & Sobota, A.** (2023). Use of High-Protein and High-Dietary-Fibre Vegetable Processing Waste from Bell Pepper and Tomato for Pasta Fortification. *Foods*, 12(13), 2567.

Punkty MEiN: 140

IF: 5,2

**Sumaryczna liczba punktów za publikacje stanowiące przedmiot rozprawy doktorskiej według komunikatu MEiN obowiązującego w roku wydania pracy: 380**

**IF (zgodnie z rokiem opublikowania): 14,053**

**Liczba cytowań według Web of Science/Scopus: 58/66, bez autocytowań: 53/58 (z dnia 25.10.2023)**

# Spis treści

STRESZCZENIE.....	7
ABSTRACT.....	8
<b>1. WPROWADZENIE TEORETYCZNE NA PODSTAWIE PUBLIKACJI WCHODZĄCYCH W SKŁAD ROZPRAWY DOKTORSKIEJ.....</b>	<b>9</b>
1.1. <b>BIĄŁKO I JEGO ROŚLINNE ŹRÓDŁA.....</b>	9
1.2. <b>TREND ZERO WASTE W PRODUKCJI ŻYWNOŚCI.....</b>	10
1.3. <b>CHARAKTERYSTYKA SUROWCÓW WYKORZYSTANYCH W BADANIACH .....</b>	12
1.3.1. <b>Mąki z nasion roślin strączkowych.....</b>	12
1.3.2. <b>Wytłoki oraz mąka z nasion konopi siewnej.....</b>	13
1.3.3. <b>Zarodki i izolat białka z zarodków pszennych .....</b>	14
1.3.4. <b>Odpady z przetwórstwa pomidora i papryki.....</b>	15
<b>2. HIPOTEZA I CEL BADAŃ.....</b>	<b>17</b>
<b>3. UKŁAD DOŚWIADCZEŃ .....</b>	<b>18</b>
<b>4. MATERIAŁY I METODY .....</b>	<b>20</b>
4.1. <b>SUROWCE WYKORZYSTANE W BADANIACH .....</b>	20
4.2. <b>METODY BADAWCZE .....</b>	21
4.3. <b>PRODUKCJA MAKARONÓW .....</b>	22
<b>5. OMÓWIENIE WYNIKÓW I DYSKUSJA .....</b>	<b>24</b>
<b>5.1.    BADANIA WPŁYWU DODATKU MĄK Z NASION ROŚLIN STRĄCZKOWYCH NA WŁAŚCIWOŚCI FIZYKOCHEMICZNE ORAZ JAKOŚĆ KULINARNĄ I ORGANOLEPTYCZNĄ MAKARONÓW .....</b>	<b>24</b>
Skład chemiczny .....	24
Skład aminokwasowy .....	27
Jakość kulinarna .....	29
Tekstura .....	30
Parametry barwy .....	31
Ocena organoleptyczna .....	35
<b>5.2.    BADANIA WPŁYWU DODATKU MĄKI I WYTŁOKÓW Z NASION KONOPI SIEWNEJ NA WŁAŚCIWOŚCI FIZYKOCHEMICZNE, JAKOŚĆ KULINARNĄ I ORGANOLEPTYCZNĄ ORAZ BEZPIECZEŃSTWO ZDROWOTNE MAKARONÓW .....</b>	<b>37</b>
Cechy fizykochemiczne .....	37
Jakość kulinarna .....	43
Parametry fizyczne.....	44
Ocena organoleptyczna .....	47
<b>5.3.    BADANIA WPŁYWU DODATKU ZARODKÓW PSZENNYCH I IZOLATU BIAŁKA Z ZARODKÓW PSZENNYCH NA WŁAŚCIWOŚCI FIZYKOCHEMICZNE ORAZ JAKOŚĆ KULINARNĄ MAKARONÓW ...</b>	<b>51</b>
Parametry produkcji.....	51
Skład chemiczny .....	52
Skład aminokwasowy .....	58
Jakość kulinarna .....	60
Tekstura .....	61
Parametry barwy .....	63

<b>5.4. BADANIA WPŁYWU DODATKU ODPADÓW Z PRZEMYSŁU WARZYWNEGO NA WŁAŚCIWOŚCI FIZYKOCHEMICZNE ORAZ JAKOŚĆ KULINARNĄ MAKARONÓW.....</b>	<b>67</b>
Cechy fizykochemiczne surowców.....	67
Ocena farinograficzna.....	72
Skład chemiczny prób makaronu.....	75
Jakość kulinarna.....	82
Parametry barwy nieugotowanych makaronów.....	86
<b>6. PODSUMOWANIE I WNIOSKI.....</b>	<b>88</b>
<b>7. BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>90</b>
<b>8. ZAŁĄCZNIKI.....</b>	<b>98</b>

## Streszczenie

Produkty zbożowe są ważnym elementem dobrze zbilansowanej diety. Zawierają głównie węglowodany złożone, w tym skrobię oraz ok. 10–15% białka. Ze względu na częstotliwość spożycia, stanowią one istotne źródło białka w diecie człowieka. Większość produktów zbożowych dostępnych w Polsce, w tym makaronów, wytwarzana jest z surowców pszennych, stosunkowo ubogich w białko i o jego niskiej wartości biologicznej. Dlatego badania nad wzbogacaniem makaronu w surowce podnoszące zarówno zawartość białka, jak i powodujące poprawę jego składu aminokwasowego wydają się celowe i uzasadnione.

Białko należy do podstawowych składników odżywczych niezbędnych do prawidłowego funkcjonowania organizmu. Prognozy wskazują, że to właśnie białko będzie składnikiem limitującym światowe bezpieczeństwo żywnościowe. Dane literaturowe dowodzą, że produkcja białka roślinnego w porównaniu z białkiem zwierzęcym wiąże się ze znacznie niższym nakładem gruntów, wody i energii, co jest korzystne dla środowiska naturalnego. Dodatkowo zagospodarowanie produktów ubocznych i odpadów z przemysłu spożywczego jako cennego źródła białka roślinnego wpisuje się w strategię zrównoważonego rozwoju i trend zero-waste.

Tematem pracy było określenie możliwości zastosowania dodatku wysokobiałkowych komponentów roślinnych, w tym surowców ubocznych, w produkcji makaronu w celu zwiększenia zawartości białka oraz poprawy jego wartości żywieniowej.

W ramach doświadczeń zastosowano takie surowce jak: mąki z nasion roślin strączkowych, produkty uboczne z przetwórstwa nasion konopi, produkty uboczne z przetwórstwa pszenicy oraz odpady z przetwórstwa warzyw. Wyniki badań uzyskane w ramach niniejszej pracy dowodzą, że dodatek zastosowanych komponentów roślinnych wpłynął znacząco na podniesienie wartości odżywczej makaronu pszennego, w tym na zwiększenie zawartości białka i poprawę jego składu aminokwasowego. Dodatek tychże surowców pozwolił również na uzyskanie makaronu o zwiększonej zawartości błonnika pokarmowego. Dodatkowo wykazano, że mimo fortyfikacji uzyskane makarony cechowały się akceptowalną jakością kulinarną i cechami organoleptycznymi.

Wzbogacanie makaronów zastosowanymi komponentami roślinnymi wpłynęło nie tylko na poprawę wartości żywieniowej produktów, ale także wydaje się być ważnym kierunkiem rozwoju przemysłu spożywczego. Daje szansę ograniczenia produkcji zwierzęcej oraz ilości odpadów z przetwórstwa żywności, co może wpłynąć korzystnie na środowisko naturalne.

Słowa kluczowe: makaron, białko, aminokwasy, zero-waste, semolina durum

## **Abstract**

Cereal products are an important component of a healthy diet. They primarily contain complex carbohydrates in the form of starch and approximately 10-15% protein. Due to their frequency of consumption, cereal products constitute a significant source of protein in the human diet. Most cereal products in Poland, including pasta, are made from wheat raw materials, which affects their low protein content and quality. Therefore, research on enriching pasta with ingredients that increase both protein content and improve its amino acid composition appears to be necessary.

Protein is one of the essential nutrients required for proper functioning of the body. Forecasts indicate that protein will be the limiting factor for global food security. Literature data show that plant protein production, compared to animal protein, requires significantly less land, water, and energy, which is beneficial for the environment. It is also important to reduce food waste, including by-products and food industry waste, aligning with the zero-waste trend.

Plant proteins, including pasta protein, are incomplete in terms of amino acid composition. The aim of this study was to determine the potential of adding high-protein plant components in pasta production to increase protein content and improve its nutritional value.

In the course of experiments, materials such as legume seed flours, by-products from hemp seed processing, wheat processing by-products, and vegetable processing waste were used. The research results presented in this study prove that the addition of these plant components significantly enhances the nutritional value of wheat pasta, including improving protein content and its amino acid composition. The inclusion of these materials also enables the production of pasta with increased dietary fiber content. Additionally, it was demonstrated that the fortified pasta maintains acceptable culinary quality and organoleptic characteristics.

Enriching pasta with these plant components not only improves the nutritional value of pasta, but also appears to be an important direction for the development of the food industry, aiming to reduce animal production and food processing waste, which can have a positive impact on the environment.

Keywords: pasta, protein, amino acids, zero-waste, durum semolina



# 1. Wprowadzenie teoretyczne na podstawie publikacji wchodzących w skład rozprawy doktorskiej

## 1.1. Białko i jego roślinne źródła

Produkty zbożowe są jednymi z najważniejszych składników prawidłowo zbilansowanej diety człowieka, powszechnie spożywanymi na całym świecie. Zboża i ich przetwory to przede wszystkim źródło węglowodanów złożonych, zwłaszcza skrobi. Dodatkowo w swoim składzie, zawierają one około 10–15% białka. Jest to wartość niższa niż np. w produktach mięsnych, jednak ze względu na częstość spożywania oraz niską zawartość wody, produkty zbożowe mogą zostać uznane za jedno z głównych źródeł białka w diecie człowieka (Sá i in., 2020). W ostatnich latach znacząco maleje spożycie pieczywa w Polsce, natomiast spożycie makaronu wykazuje niewielką tendencję wzrostową. Może to wynikać z łatwości jego przygotowania oraz uniwersalności. Makaron najczęściej produkowany jest z semoliny z pszenicy durum lub mąki z pszenicy zwyczajnej, co determinuje niską wartość biologiczną zawartego w nim białka. Dlatego też wzbogacanie go w surowce podnoszące zarówno zawartość samego białka jak i wpływające na poprawę jego składu aminokwasowego wydają się być celowym i w pełni uzasadnionym kierunkiem badań.

Białko należy do podstawowych składników odżywczych niezbędnych do prawidłowego funkcjonowania organizmu. To makroskładnik zbudowany się z aminokwasów, które tworzą duże, złożone cząsteczki odpowiedzialne za liczne funkcje organizmu. Istnieje 20 powszechnie występujących w diecie aminokwasów, które dzieli się endogenne i egzogenne (niezbędne). Aminokwasy endogenne są łatwo syntetyzowane w organizmie człowieka z innych prekursorów i nie wymagają przyjmowania z dietą. Niektóre aminokwasy endogenne stają się niezbędnymi w pewnych warunkach medycznych lub stresie fizjologicznym z powodu ograniczonej dostępności prekursorów. Aminokwasy te nazywane są "aminokwasami warunkowo niezbędnymi". Dziewięć niezbędnych aminokwasów musi być dostarczanych wraz z pożywieniem, aby zapobiec niedoborom, ponieważ organizm ludzki nie wytwarza enzymów niezbędnych do ich syntezy. Te aminokwasy to fenyloalanina, walina, tryptofan, treonina, izoleucyna, metionina, histydyna, leucyna i lizyna (Ewy i in., 2022).

Prognozy wskazują, że to właśnie białko będzie składnikiem limitującym światowe bezpieczeństwo żywnościowe (Day, 2013). W strukturze spożycia białka ogółem dominuje spożycie białka roślinnego, jednak występują różnice między różnymi regionami na Świecie. W krajach rozwiniętych przeważa spożycie białka zwierzęcego, natomiast w rozwijających się – roślinnego (Mariotti, 2019). Dane literaturowe wskazują, że produkcja białka zwierzęcego

w porównaniu z białkiem roślinnym wiąże się ze znacznie wyższym nakładem gruntów, wody i energii, co jest niekorzystne dla środowiska naturalnego (Van Der Spiegel i in., 2013). W związku z tym stosowanie diety opartej w większym stopniu na surowcach roślinnych jest często uznawane za najskuteczniejszą strategię zmniejszania emisji gazów cieplarnianych powstających na różnych etapach produkcji i konsumpcji żywności.

Biorąc pod uwagę wielkość spożycia, podstawowym źródłem białka roślinnego w diecie człowieka, szczególnie w regionach słabiej rozwiniętych, są właśnie zboża, ale także rośliny oleiste i nasiona roślin strączkowych. Spożycie tych źródeł białka stale rośnie i jednocześnie trwają poszukiwania nowych surowców roślinnych zasobnych w białko, typu wodorosty czy algi. Aspekty związane z bezpieczeństwem żywności bazującej na tych surowcach wymagają jednak dalszych badań i regulacji prawnych (Van der Spiegel, 2013).

Spożycie białka roślinnego zwiększa się także ze względu na rosnący trend, jakim jest dieta wegetariańska i wegańska. Rosnąca popularność powstrzymywania się od spożywania żywności pochodzenia zwierzęcego może być motywowana względami ekologicznymi, humanitarnymi, etycznymi, lub religijnymi (McKeown i Dunn, 2021). Badania prowadzone od wielu lat wskazują także na korzyści zdrowotne wynikające ze stosowania tego typu diety (Hargreaves i in., 2021). Należy jednak pamiętać, że białka roślinne w poszczególnych roślinach mogą być niepełnowartościowe i ważne jest, aby w dietach roślinnych odpowiednio dobierać źródła białka, tak aby w efekcie pokryć zapotrzebowanie na wszystkie aminokwasy egzogenne.

Białko pszenne składa się głównie z gliadyn i glutenin. Produkty przemiału pszenicy, w tym np. semolina durum, będąca głównym surowcem wykorzystywanym w produkcji makaronu, zawiera białko niepełnowartościowe pod względem składu aminokwasowego. Białko to jest ubogie w niezbędne aminokwasy, w szczególności w lizynę i treoninę. Dodatkowo semolina tylko 10%-15% białka (Gopalakrishnan i in., 2011; Sissons, 2023). Dlatego też zasadne jest uzupełnianie wartości odżywczej produktów pszennych innymi surowcami pozwalającymi na zwiększenie zawartości tego makroskładnika oraz poprawę jego składu aminokwasowego.

## **1.2. Trend zero waste w produkcji żywności**

W ostatnich latach świat boryka się z rosnącym problemem marnowania żywności. Obecnie na całym świecie marnuje się 1,3 miliarda ton żywności rocznie, z czego jedna trzecia mogłaby być ponownie wykorzystywana w łańcuchu żywnościowym. Z tej ilości 88 milionów ton marnuje się w Unii Europejskiej. Większość odpadów jest wytwarzana przez konsumentów (53%) oraz producentów żywności (19%). Marnotrawstwo żywności jest omawiane jako aspekt ekonomiczny, społeczny i energetyczny oraz ma wpływ na kwestie środowiskowe (Food Waste

Index Report 2021; Ślusarczyk i Machowska, 2019). Na każdym etapie łańcucha żywnościowego istnieje odpowiedzialność za marnotrawstwo żywności, dlatego konieczne jest podjęcie działań mających na celu ograniczenie tych strat. Odpowiedzią na problem marnowania żywności jest rozwijający się w ostatnich latach trend zero-waste. Można go opisać jako "zestaw zasad, które koncentrują się na zapobieganiu marnotrawstwu, co inspirowane do przeprojektowania cyklu życia zasobów, tak aby wszystkie produkty były ponownie wykorzystywane" (Mahanta i in., 2022). Trend ten wpływa na wszystkie obszary życia człowieka, w tym produkcję żywności i zarządzanie gospodarstwem domowym. Podczas procesu produkcji i konsumpcji produktów roślinnych każdego roku powstają tony odpadów, a ich składowanie powoduje obciążenie środowiska. Odpady i produkty uboczne z przetwórstwa roślin stanowią potencjalne źródło białek spożywczych, które można wykorzystać w projektowaniu nowych produktów spożywczych oraz w produkcji pasz dla zwierząt.

Produkty spożywcze są coraz częściej wzbogacane wysokobiałkowymi produktami odpadowymi z przemysłu spożywczego. Jednym ze wzbogacanych produktów jest makaron, ze względu na łatwość modyfikowania jego receptury i rosnącą konsumpcję. Białko zawarte w makaronie jest białkiem niekompletnym, dlatego suplementacja makaronu białkami pochodzącymi z innych źródeł roślinnych stwarza możliwość poprawy jego wartości odżywczej. W literaturze można znaleźć informacje na temat wzbogacania makaronu takimi produktami odpadowymi jak wyciąki z nasion chia (Aranibar i in., 2018), wyciąki z orzeszków ziemnych i marchwi (Badwaik i in., 2014), wyciąki z winogron i oliwek (Balli i in., 2021), otręby pszenne (Ciccoritti i in., 2017; Sobota i in., 2015a), wyciąki z nasion pszczelnika mołdawskiego (Zarzycki in., 2021) czy produkty uboczne z przetwórstwa orzechów kokosowych (Sykut-Domańska i in., 2020). We wszystkich wyżej wymienionych badaniach dodanie produktów ubocznych lub odpadów z przemysłu spożywczego spowodowało wzrost zawartości białka w gotowym produkcie, wskazując na ich wysoki potencjał odżywczy. Stale poszukuje się nowych surowców roślinnych, które zastosowane jako dodatki do makaronów, mogłyby podnieść ich wartość odżywczą i potencjał prozdrowotny.

### 1.3. Charakterystyka surowców wykorzystanych w badaniach

W ramach niniejszej pracy doktorskiej wykorzystano różnorodne surowce roślinne, w tym odpadowe i uboczne produkty przetwórstwa żywności w celu zwiększenia zawartości białka w makaronie i uzupełnienia jego składu aminokwasowego. Surowce te to:

- mąki z nasion roślin strączkowych takich jak: soczewica czerwona (*Lens culinaris* Medik.), groszek zielony (*Pisum sativum* L.) i lędźwian siewny (*Lathyrus sativus*);
- wyłoki oraz mąka z nasion konopi siewnej (*Cannabis sativa* L.);
- zarodki i izolat białka z zarodków pszennych (*Triticum aestivum* L.);
- odpady z przetwórstwa pomidora (*Solanum lycopersicum*) i papryki jednorocznej (*Capsicum annuum* L.).

Poniżej przedstawiono krótką charakterystykę poszczególnych surowców.

#### 1.3.1. Mąki z nasion roślin strączkowych

Nasiona roślin strączkowych są doskonałym źródłem białka (16-55%), bogatym w aminokwasy niezbędne, w tym lizynę. Skład aminokwasowy białka roślin strączkowych jest podobny do białka mięsa (Sparvoli i in., 2015). Białka nasion roślin strączkowych to głównie globuliny i albuminy. Ponadto rośliny strączkowe są bogate w skrobię (18-55%) (Sparvoli i in., 2015) i błonnik pokarmowy (Dodevska i in. 2013). Surowce te zawierają składniki mineralne, zwłaszcza żelazo, cynk i wapń, a także składniki aktywne biologicznie, w tym polifenole, kwas foliowy, saponiny, oligosacharydy czy inhibitory enzymów proteolitycznych (Kumar i in., 2022). Ponadto nasiona roślin strączkowych są tanim surowcem, często określanym jako "mięso ubogich" (Sparvoli i in., 2015; Duranti 2006).

Niektóre nasiona roślin strączkowych charakteryzują się specyficznym kolorem wynikającym z obecności różnych pigmentów w liścieniach i okrywie nasiennej. Przykładowo, zawartość chlorofilu (21 mg/100 g) determinuje zielony kolor niedojrzałych nasion grochu, karotenoidy w soczewicy czerwonej (5-28 mg/100 g) nadają nasionom charakterystyczny czerwono-pomarańczowy kolor, a intensywny żółty kolor nasion lędźwianu wynika z dużej zawartości luteiny (5,68 µg/g) i β-karotenu (0,21 µg/g) (Hanh i in., 2016; Zhang i in., 2015; Grela i in., 1999). Dlatego nasiona tych roślin strączkowych mogą być wykorzystywane nie tylko do wzbogacania wartości odżywczej makaronów, ale także jako naturalne składniki barwiące decydujące o atrakcyjnym kolorze produktów.

### 1.3.2. Wytloki oraz mąka z nasion konopi siewnej

Nasiona konopi są bogatym źródłem składników odżywczych. Zawierają około 35% tłuszczu, 25% białka, 28% całkowitego błonnika pokarmowego (TDF) i 5,6% popiołu (Callaway, 2004). Białko konopi składa się głównie z białka magazynującego, edestyny (11S globulina), która stanowi 60-80% białka całkowitego w tym surowcu. Pozostałą część frakcji białkowej stanowi albumina (2S) (Wang i Xiong, 2019). Białko nasion konopi jest wysoce strawne, w zakresie od 84-86% dla całych nasion do 83-92% dla mąki z nasion, ale jednocześnie ma dość niski skorygowany wskaźnik strawności białek (PDCASS), 49-54% dla całych nasion konopi i 46-51% dla mąki z nasion konopi. Na ograniczenie strawności wpływa niska zawartość niezbędnych aminokwasów, takich jak lizyna i tryptofan (House i in., 2010). Badania wskazują ponadto, że podczas trawienia białka konopnego mogą powstawać bioaktywne peptydy o działaniu przeciwutleniającym, przeciwnadciśnieniowym, przeciwdrobnoustrojowym i cytomodulacyjnym (Wang i Xiong, 2019). Nasiona konopi są bogatym źródłem TDF. Dominującą frakcją (około 80%) jest nierozpuszczalny błonnik pokarmowy (IDF). Głównymi minerałami występującymi w nasionach konopi są fosfor (1160 mg/100 g), potas (859 mg/100 g), magnez (483 mg/100 g) i wapń (145 mg/100 g). Głównym zastosowaniem nasion konopi jest produkcja oleju (Aluko, 2017). Olej z omawianego surowca może być bardzo cennym składnikiem diety ze względu na wysoką zawartość nienasyconych kwasów tłuszczowych i odpowiedni stosunek omega-6 do omega-3 (3:1) (Kiralán i in., 2010). Produkty uboczne tłoczenia oleju konopnego, tj. wytloki konopne, ze względu na wysoką zawartość białka (33,5%), błonnika pokarmowego (42,6%) i składników mineralnych (7,2%) mogą być również wykorzystywane do poprawy wartości odżywczej żywności (Radocaj i in., 2014). Wytloki konopne są zwykle mielone, co czyni je bardzo wszechstronnym surowcem wykorzystywanym m.in. w przemyśle zbożowym (Radocaj i in., 2014; Lukin i Bitiutskikh, 2017).

Żywność na bazie konopi musi spełniać wymagania dotyczące zawartości THC (tetrahydrokannabinol). Według Fresh Hemp Foods Ltd. (2018), dzienne całkowite spożycie THC nie powinno przekraczać 1-7  $\mu\text{g}/\text{kg}$  masy ciała, w zależności od ograniczeń obowiązujących w danym kraju. Ważne jest, aby nie przekraczać podanej dawki, ponieważ udowodniono, że regularne przyjmowanie THC wiąże się z poważnymi skutkami ubocznymi, w tym upośledzeniem funkcji poznawczych, lękiem, paranoją, przewlekłą psychozą i uzależnieniem (Hadener i in., 2019). Badania pokazują jednak, że  $\Delta$ -9-tetrahydrokannabinol stanowi jedynie 10% całkowitej zawartości THC w produktach, podczas gdy druga część to kwas karboksylowy  $\Delta$ -9-tetrahydrokannabinolu (THCA), który nie ma działania psychoaktywnego. Konwersja THCA do  $\Delta$ -9-tetrahydrokannabinolu zachodzi tylko podczas długotrwałej obróbki

cieplnej w temperaturze wyższej od 115°C. Takich warunków nie można uzyskać podczas suszenia lub gotowania makaronu, więc najprawdopodobniej nie ma niebezpieczeństwa, że THCA stanie się psychoaktywną formą THC w takim produkcie. Innym ważnym składnikiem nasion konopi, dla którego stosuje się limity spożycia, jest kannabidiol (CBD). Nie ma on działania psychoaktywnego, ale zaleca się, aby zawartość CBD nie przekraczała 7,5 mg/100 g produktu spożywczego (Australia New Zealand Food Standards Code–Standard 1.4.4., 2020) lub jego dzienna podaż w diecie dorosłej osoby była mniejsza niż 20 mg (EIHA, 2018). CBD ma działanie neuroprotekcyjne, dlatego może być stosowany w chorobach neurodegeneracyjnych lub padaczce. W medycynie naturalnej jest stosowany również jako lek przeciwbólowy i przeciwzapalny (Li i in., 2020).

### **1.3.3. Zarodki i izolat białka z zarodków pszennych**

Zarodki pszenne, obok otrębów, są głównym produktem ubocznym przemysłu młynarskiego, stanowiąc 2,5% masy ziarna. Ta anatomiczna część ziarniaka zawiera wszystkie niezbędne składniki potrzebne do wzrostu nowej rośliny. Zarodki pszenne są więc bogate w pełnowartościowe białko (30% s.m.), wartościowe (głównie nienasycone) kwasy tłuszczowe (10-12% s.m.) oraz węglowodany (58-61% s.m.) (Jha i in., 2013). Są również cennym źródłem witamin, takich jak tokoferole, czy deficytowych w diecie człowieka minerałów, takich jak wapń i magnez (Boukid i in., 2018).

Białko zarodków pszenicy składa się głównie z albuminy i globuliny (odpowiednio 34,5% i 15,6% białka). Skład aminokwasowy białka zarodków pszenicy jest zbliżony do składu białka referencyjnego podanego przez Organizację Narodów Zjednoczonych d.s. Wyżywienia i Rolnictwa (FAO) (Boukid i in., 2018; FAO, 2007; Liao i in., 2020). Ze względu na wysoką zawartość enzymów, na przykład lipazy i lipooksygenazy oraz obecność nienasyconych kwasów tłuszczowych, zarodki pszenicy charakteryzują się krótkim okresem przydatności do spożycia (Marti i in., 2014; Marzocchi i in., 2022). Obecnie stosuje się wiele metod obróbki fizycznej, chemicznej i biologicznej w celu wydłużenia ich trwałości (Boukid i in., 2018; Liao i in., 2020). Badania pokazują, że makaron z zarodkami pszennymi, które nie były poddane żadnym dodatkowym zabiegom może być z powodzeniem przechowywany przez okres do 6 miesięcy (Tarzi i in., 2012). Aby wydłużyć czas przechowywania produktów wzbogaconych celowe wydaje się wykorzystanie wyizolowanego białka z zarodków pszenicy. Badania pokazują, że możliwe jest uzyskanie izolatu, w którego składzie ponad 90% stanowi białko (Fan i in., 2022; Hettiarachchy i in., 1996). Daje to szansę na znaczne zwiększenie zawartości tego makroskładnika odżywczego w produktach makaronowych, bez znaczącego pogorszenia ich

jakości, co udało się uzyskać w badaniach Alzuwaid i in. (2020) przy 15% dodatku izolatu białka z otrębów pszennych do makaronu.

#### **1.3.4. Odpady z przetwórstwa pomidora i papryki**

Odpady z przetwórstwa papryki i pomidora sięgają nawet 40% ich całkowitej masy (Eslami i in., 2022; Scoma i in., 2016). Zagospodarowanie tych odpadów stanowi ogólnoswiatowy problem, zarówno pod względem środowiskowym, jak i ekonomicznym, a ponowne wykorzystanie produktów odpadowych może obniżyć koszty produkcji żywności (Poli i in., 2011).

Pomidor jest powszechnie uprawianą rośliną warzywną, której światowa produkcja w 2021 roku wyniosła ponad 189 milionów ton (FAOSTAT, 2021). Podczas przemysłowego przetwarzania pomidora powstają duże ilości odpadów, zawierające: skórki, nasiona, części włókniste i pozostałości miąższu. Chociaż wytloki z pomidora nie mają wartości handlowej, są bogatym źródłem składników odżywczych i związków biologicznie aktywnych. Zarówno świeże, jak i przetworzone pomidory mają wysoką wartość odżywczą ze względu na zawartość witamin, folianów, karotenoidów i związków fenolowych. Najobficiej występującym karotenoidem w pomidorach jest likopen, który stanowi tu 80-90% wszystkich karotenoidów (Calvo i in., 2008). Skórki pomidora okazują się być bogatszym źródłem likopenu i związków polifenolowych niż miąższ (George i in., 2004; Toor i Savage, 2005). Jak donoszą Nour i in. (2018) oraz Del Valle i in. (2006), suszone wytloki z pomidora (nasiona i skórka) zawierają nawet 17-23% białka, co stwarza możliwość ich wykorzystania do wzbogacania różnorodnych produktów spożywczych w białko.

Owoce papryki jednorocznej mogą mieć różną barwę (czerwoną, zieloną, pomarańczową i żółtą) w zależności od odmiany, etapu dojrzewania i zdolności do syntezy chlorofili lub karotenoidów. Są one ważnym źródłem witamin (prowitaminy A, E i C) oraz różnorodnych związków bioaktywnych w tym polifenoli, które korzystnie wpływają na zdrowia człowieka. Ponadto badania naukowe wskazują, że związki bioaktywne ekstrahowane z papryki mają między innymi działanie przeciwzapalne, przeciwcukrzycowe, przeciwdrobnoustrojowe i immunomodulujące (Samtiya i in., 2021; Sagar i in., 2018; Coman i in., 2020). Owoce papryki są także cennym źródłem błonnika pokarmowego. Zawartość białka w całym owocu papryki jest niewielka i wynosi ok. 9% s.m. (Hanif i in., 2006). Jednak zawartość tego makroskładnika w poszczególnych częściach anatomicznych jest znacząco różna. Zawartość białka w błonkach i nasionach papryki, które stanowią produkty odpadowe w przetwórstwie papryki, wynosi odpowiednio nawet 28,38% i 28,31% s.m. (Adeyeye, 2014). Stwarza to możliwość

wykorzystania tych części anatomicznych owoców do wzbogacania żywności nie tylko w białko, ale również w związki biologicznie aktywne, w tym błonnik pokarmowy.



## 2. Hipoteza i cel badań

Na podstawie przeglądu danych literaturowych postawiono następującą hipotezę badawczą:

Dodatek wysokobiałkowych surowców roślinnych wpływa na właściwości fizyczne, jakość kulinarną makaronu oraz jego skład chemiczny, w tym zwiększa zawartość białka i wpływa korzystnie na jego profil aminokwasowy.

Cel główny niniejszych badań stanowiła ocena wpływu dodatku wysokobiałkowych komponentów roślinnych na:

- skład chemiczny makaronu (zawartość podstawowych makroskładników odżywczych, skład aminokwasowy, zawartość wybranych elementów mineralnych i związków biologicznie aktywnych),
- właściwości fizyczne produktu (m.in. parametry tekstury, parametry barwy, współczynnik rozpuszczalności wodnej suchej substancji (WSI) oraz współczynnik absorpcji wody (WAI),
- cechy kulinarne wyrobów makaronowych (minimalny czas gotowania, przyrost masy, straty suchej masy w czasie gotowania),
- jakość organoleptyczną makaronów.



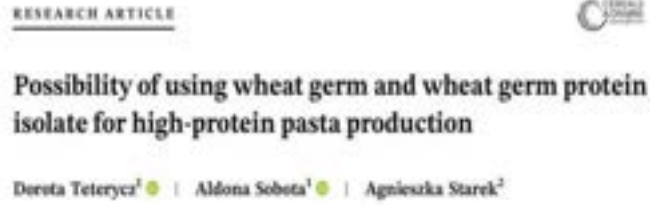

Cele szczegółowe badań zrealizowanych w ramach rozprawy doktorskiej obejmowały:

- ocenę wpływu dodatku mąk z nasion roślin strączkowych na właściwości fizykochemiczne oraz jakość kulinarną i organoleptyczną makaronów,
- ocenę wpływu dodatku mąki i wyłoków z nasion konopi siewnej na właściwości fizykochemiczne, jakość kulinarną i organoleptyczną oraz bezpieczeństwo zdrowotne makaronów,
- ocenę wpływu dodatku zarodków pszennych i izolatu białka z zarodków pszennych na właściwości fizykochemiczne oraz jakość kulinarną makaronów,
- ocenę wpływu odpadów z przemysłu warzywnego na właściwości fizykochemiczne oraz jakość kulinarną makaronów.

### 3. Układ doświadczeń

Poniżej przedstawiono plan eksperymentów, które pozwoliły na zweryfikowanie postawionej hipotezy badawczej oraz zrealizowanie celu głównego i celów szczegółowych badań. Zakres prac badawczych został przedstawiony w Tabeli 1, natomiast metody weryfikacji postawionej hipotezy badawczej zaprezentowano w Tabeli 2. Wyniki uzyskane podczas badań zostały przedstawione w przedłożonych publikacjach, składających się na rozprawę doktorską.

**Tabela 1.** Etapy weryfikacji hipotezy badawczej

Etap	Założenia	Publikacja
I	Badania dotyczące zastosowania mąk z nasion roślin strączkowych jako źródła białka w produkcji makaronów <b>Model doświadczenia I</b>	
II	Badania dotyczące zastosowania wyłoków i mąki z nasion konopi siewnej jako źródła białka w produkcji makaronów <b>Model doświadczenia II</b>	
III	Badania dotyczące zastosowania zarodków pszennych oraz izolatu białka z zarodków pszennych jako źródła białka w produkcji makaronów <b>Model doświadczenia III</b>	
IV	Badania dotyczące zastosowania odpadów z przemysłu warzywnego jako źródła białka w produkcji makaronów <b>Model doświadczenia IV</b>	

Sumaryczna liczba punktów za publikacje stanowiące przedmiot rozprawy doktorskiej według komunikatu MEiN obowiązującego w roku wydania pracy: 380

IF (zgodnie z rokiem opublikowania): 14,053

Liczba cytowań według Web of Science/Scopus: 58/66, bez autocytaowań: 53/58 (z dnia 25.10.2023)

**Tabela 2.** Metody weryfikacji hipotezy badawczej

<b>Metody weryfikacji hipotezy badawczej</b>	<b>Model doświadczenia I</b> Publikacja I	<b>Model doświadczenia II</b> Publikacja II	<b>Model doświadczenia III</b> Publikacja III	<b>Model doświadczenia IV</b> Publikacja IV
Podstawowy skład chemiczny	✓	✓	✓	✓
Skład aminokwasowy	✓		✓	✓
Zawartość substancji mineralnych				✓
Zawartość kannabinoidów (THC i CBD)		✓		
Współczynnik absorpcji wody (WAI)		✓		
Współczynnik rozpuszczalności wodnej suchej substancji (WSI)		✓		
Jakość kulinarna	✓	✓	✓	✓
Tekstura	✓	✓	✓	
Parametry barwy	✓		✓	✓
Ocena farinograficzna surowców				✓
Skład granulometryczny surowców		✓		✓
Ocena organoleptyczna makaronów	✓	✓		

THC -  $\Delta$ -9-tetrahydrokannabinol, CBD – kannabidiol

## **4. Materiały i metody**

### **4.1. Surowce wykorzystane w badaniach**

**W modelu doświadczenia I (Publikacja I) wykorzystano następujące surowce:**

- semolina durum (Jula Malom, Kunszállás, Węgry);
- mąka z nasion groszku zielonego (FPH PAULA Sp. z o. o., Kalisz, Polska);
- mąka z soczewicy czerwonej (Młyn Niedźwiady, Kalisz, Polska);
- mąka z lędźwianu (EKORAB, Staszów, Polska).

**W modelu doświadczenia II (Publikacja II) wykorzystano następujące surowce:**

- semolina durum (Jula Malom, Kunszállás, Węgry);
- odtłuszczona mąka konopna (BioPlanet, Leszno, Polska);
- wytloki z nasion konopi siewnej (Galeria Konopi, Zabrze, Polska).

**W modelu doświadczenia III (Publikacja III) wykorzystano następujące surowce:**

- semolina durum (Jula Malom, Kunszállás, Węgry);
- zarodki pszenne (Swojski Spichlerz, Częstochowa, Polska);
- izolat białka z zarodków pszennych (białko z zarodków zakupionych w firmie Swojski Spichlerz (Częstochowa, Polska) wyizolowano w Zakładzie Inżynierii i Technologii Zbóż UP w Lublinie).

**W modelu doświadczenia Model doświadczenia IV (Publikacja IV) wykorzystano następujące surowce:**

- semolina durum (Jula Malom, Kunszállás, Węgry);
- odpady z przetwórstwa warzyw: wytloki z pomidora, błonki papryki, nasiona papryki (Krokus, Pajaków, Polska), odpowiednio przygotowano do produkcji (wysuszono, rozdrobniono i odtłuszczono) w Zakładzie Inżynierii i Technologii Zbóż.

## 4.2. Metody badawcze

Pełny opis zastosowanych metod badawczych został przedstawiony w serii czterech publikacji składających się na rozprawę doktorską. Poniżej przedstawiono uproszczony zakres przeprowadzonych badań .

### Badania właściwości fizycznych surowców i/lub makaronów obejmowały:

- badanie współczynnika rozpuszczalności suchej substancji (WSI) i współczynnika wodochłonności (WAI) [AACC 56-20] (Model II),
- badanie parametrów barwy [CIE L\*a\*b\*] (spektrofotometr sferyczny 8200 X-Rate, Inc. USA – Model I; Chroma Meter CR-5; Konica Minolta, Sakai, Osaka, Japan – Model III i IV),
- badanie parametrów tekstury [AACC 16-50] (TAXT Plus texture analyser Stable Micro System Godalming, Anglia – Model I; Zwick/Roell Z0.5 testing machine, Zwick, Ulm, Niemcy – Model II i III),
- ocenę farinograficzną surowców (Farinograph-E model 8110142, Brabender, Duisburg, Niemcy) (Model IV),
- badanie składu granulometrycznego surowców (analizator sitowy, ZBPP, Bydgoszcz, Poland) (Model II i IV).

### Badania składu chemicznego surowców i makaronów obejmowały:

- badanie podstawowego składu chemicznego: oznaczenie wilgotności [AACC 44-15A], zawartości popiołu [AACC 08-01], białka [AACC 46-08] (TM8400 z zastosowaniem ASN (Application Sub Notes) 3100), tłuszczu całkowitego [hydroliza materiału w kwasie solnym i ekstrakcja heksanem] (Soxtec<sup>TM</sup>8000 z AN 310), błonnika pokarmowego całkowitego (TDF) w tym frakcji rozpuszczalnej (SDF) i nierozpuszczalnej (IDF) [AACC 32-05; 32-21; AOAC 991.43; 985.29] oraz wyliczenie zawartości węglowodanów przyswajalnych (z różnicy),
- badanie składu aminokwasowego białka (AAA 400 analyser, Ingos, Czechy),
- badanie zawartości składników biologicznie aktywnych – (kannabinoidów) metodą wysokosprawnej chromatografii cieczowej ze spektrometrią mas (HPLC 1260 Agilent Technologies, Germany; zastosowana kolumna chromatograficzna: Poroshell 120 EC-C18 column 3,0 x 50 mm; 2,7 µm, Agilent Technologies, USA; spektrometr mas typu potrójny kwadrupol QqQ 6460, Agilent Technologies, USA; rodzaj jonizacji: APCI negative/positive),

- skład mineralny (ICP Mass Spectrometer MS-820, Varian Inc., Palo Alto, CA, USA; FAAS, Solaar939, Unicam, Cambridge, UK; ET-AAS spektrofotometr (VARIAN AA 280 FS, Varian Inc., Palo Alto, CA, USA; Shimadzu UV-1800 spektrofotometr).

#### Badania jakości kulinarnej makaronów obejmowały:

- wyznaczenie minimalnego czasu gotowania [AACC 16-50],
- badanie strat suchej substancji w czasie gotowania [AACC 44-15A],
- badanie odporności na rozgotowanie [metodyka własna],
- badanie przyrostu masy produktu w wyniku gotowania [AACC 16-50].

#### Ocena organoleptyczna:

- osoby uczestniczące w ocenie organoleptycznej przeszły odpowiednie szkolenie z oceny parametrów organoleptycznych, oceniły makarony w stanie surowym i ugotowanym w ustalonym czasie po ugotowaniu z wykorzystaniem 5-stopniowej skali ocen: 5 – ocena najwyższa, 1 – ocena najniższa, w której współczynniki ważkości dla każdej z ocenianych cech miały jednakową wartość.

### **4.3. Produkcja makaronów**

Makarony zostały wyprodukowane z wykorzystaniem dwóch technologii: walcowania (laminowania) – **Model doświadczenia I** oraz technologii tłoczenia – **Modele doświadczeń: II, III i IV.**

#### Technologia walcowania

Ciasto makaronowe zostało przygotowane poprzez mieszanie semoliny durum z mąkami z nasion roślin strączkowych w mikserze planetarnym. Podczas mieszania stopniowo dodawano wodę o temperaturze 30°C. Ciasto mieszano przez 3 minuty, ugniatano ręcznie i pozostawiano w celu odpoczynku na 15 minut. Maszynka do makaronu Atlas 180 (Marcato S.R.L, Campodarsego, Włochy) została użyta do formowania i kalibracji grubości arkuszy ciasta. Grubość ciasta stopniowo redukowano na walcach o zmniejszającej się wielkości szczeliny roboczej: 4,8; 3,3; 1,9 i 1,5 mm. Arkusze ciasta cięto na pasma o szerokości 7 mm i długości 500 mm, które następnie wstępnie podsuszano w strumieniu ciepłego powietrza (40°C) przez 2 minuty. Następnie wstęgi makaronu formowano w gniazda i umieszczano na sitach suszarniczych. Gniazda suszono w suszarni komorowej (ESS, typ 4C, La Parmigiana S.R.L., Włochy) przez 7 godzin. Zakres temperatur w czasie suszenia wynosił 55-35°C, a wilgotność względna powietrza zmieniała się w zakresie od 75% do 55%.

### Technologia tłoczenia

Próby makaronu zostały wyprodukowane w warunkach laboratoryjnych w skali półtechnicznej przy użyciu prasy ślimakowej MAC 30S-Lab (ItalPast, Fidenza, Włochy). Surowce, zostały połączone w odpowiednich proporcjach w celu uzyskania próby o masie 3 kg. Ilość dodanej wody zapewniała uzyskanie wilgotności mieszanki na poziomie 32%. Surowce mieszano ze sobą przez 15 minut w warunkach ciśnienia atmosferycznego w mieszalniku wstępnym prasy makaronowej. Następnie, ciasto makaronowe mieszano i wytłaczano w warunkach próżniowych. Temperatura cylindra prasy makaronowej oscylowała na poziomie  $28\pm 1^{\circ}\text{C}$ . Do produkcji makaronu użyto matryc teflonowych, umożliwiających tłoczenie makaronu w kształcie wstążki (Model III i IV) lub świderka (Model II). Próby suszono w suszarni komorowej EAC 30-Lab (ItalPast, Fidenza, Włochy) stosując niskie temperatury ( $35\text{-}55^{\circ}\text{C}$ ) i wilgotność względną powietrza suszącego na poziomie 85-55% (Tetrycz i in., 2019).

## 5. Omówienie wyników i dyskusja

### 5.1. Badania wpływu dodatku mąk z nasion roślin strączkowych na właściwości fizykochemiczne oraz jakość kulinarną i organoleptyczną makaronów (Publikacja I – Model doświadczenia I)

W ramach modelu doświadczenia I przygotowano mieszanki semoliny durum i mąk z nasion roślin strączkowych, a ich szczegółowy skład zaprezentowano w Tabeli 3.

**Tabela 3.** Model doświadczenia I

Próba	Semolina	Mąka z zielonego groszku	Mąka z soczewicy czerwonej	Mąka z lędźwianu	Woda
	(%)				(g/kg mieszanki)
CON	100				200
P5	95	5			200
P10	90	10			200
P15	85	15			200
P20	80	20			190
RL5	95		5		200
RL10	90		10		200
RL15	85		15		200
RL20	80		20		190
GP5	95			5	200
GP10	90			10	200
GP15	85			15	200
GP20	80			20	200

CON – próba kontrolna; P- makaron z mąką z zielonego groszku, RL – makaron z mąką z soczewicy czerwonej, GP – makaron z mąką z lędźwianu.

### Skład chemiczny

W celu określenia wielkości dodatku mąki z nasion roślin strączkowych do makaronów przeprowadzono badania pilotażowe. Na ich podstawie stwierdzono, że wprowadzenie do 20%



mąk z nasion roślin strączkowych: zielonego groszku (P), czerwonej soczewicy (RL) i lędźwianu (GP) do makaronu z semoliny durum gwarantuje wysoką jakość produktów.

Dodatek mąk strączkowych do makaronu znacząco wpłynął na skład chemiczny otrzymanych prób (Tabela 4). Badania wykazały, że mąki z nasion roślin strączkowych zawierają więcej białka niż semolina durum: odpowiednio 24,5-30,23% s.m. vs. 13% s.m. Co za tym idzie, dodatek surowca strączkowego spowodował znaczny ( $p \leq 0,05$ ) wzrost zawartości białka w próbach makaronu. Największą zawartością tego makroskładnika, wynoszącą 15,58-16,29% s.m., cechowały się produkty z największym dodatkiem mąk strączkowych (20%). Podobną zawartość białka (15,9% s.m.) w makaronie z 20% dodatkiem mąki z ciecierzycy odnotowali Osorio-Díaz i in. (2008).

Zawartość całkowitego błonnika pokarmowego (TDF), w tym frakcji rozpuszczalnej (SDF) i nierozpuszczalnej (IDF) w makaronie również wzrastała wraz z dodatkiem mąk z nasion roślin strączkowych. Dodatek 20% mąk z nasion roślin strączkowych do prób makaronu (P, RL i GP) spowodował około 2-krotny wzrost zawartości TDF. Było to związane z jego wysoką zawartością w surowcach strączkowych (15,91-17,29% s.m.). Najwyższą zawartość frakcji błonnika nierozpuszczalnego odnotowano w próbach RL20 i P20 (odpowiednio 3,92 i 3,64% s.m.). Zawartość rozpuszczalnej frakcji błonnika we wszystkich analizowanych próbach makaronu była niższa niż IDF i wahała się w granicach od 1,20% s.m. (CON) do 2,39% s.m. (GP20).

W próbach z dodatkiem mąki z nasion roślin strączkowych odnotowano wzrost zawartości popiołu (Tabela 4). Zawartość popiołu w semolinie wynosiła 0,76% s.m.; w przypadku mąk z nasion roślin strączkowych była wyższa i wahała się od 2,45 do 2,97% s.m. (Tabela 4).

**Tabela 4.** Skład chemiczny surowców i prób makaronu wzbogaconych dodatkiem mąki z nasion roślin strączkowych

Próba	Wilgotność	Popiół	Białko	IDF	SDF	TDF
	(%)					
<b>Surowce</b>						
Semolina durum	9,26 <sup>b</sup> ±0,26	0,76 <sup>d</sup> ±0,01	13,00 <sup>c</sup> ±0,82	1,62 <sup>c</sup> ±0,02	1,82 <sup>c</sup> ±0,06	3,44 <sup>c</sup> ±0,04
Mąka z zielonego groszku	7,86 <sup>c</sup> ±0,06	2,65 <sup>b</sup> ±0,02	24,50 <sup>b</sup> ±1,58	11,77 <sup>b</sup> ±0,33	4,14 <sup>b</sup> ±0,28	15,91 <sup>b</sup> ±0,05
Mąka z soczewicy czerwonej	10,31 <sup>a</sup> ±0,04	2,45 <sup>c</sup> ±0,04	26,62 <sup>b</sup> ±1,67	13,22 <sup>a</sup> ±1,07	4,07 <sup>b</sup> ±0,08	17,29 <sup>a</sup> ±0,99
Mąka z lędwianu	7,85 <sup>c</sup> ±0,09	2,97 <sup>a</sup> ±0,01	30,23 <sup>a</sup> ±1,95	11,55 <sup>b</sup> ±0,17	4,63 <sup>a</sup> ±0,06	16,18 <sup>ab</sup> ±0,04
<b>Próby makaronu</b>						
CON	11,99 <sup>a</sup> ±0,08	0,76 <sup>h</sup> ±0,02	13,04 <sup>g</sup> ±0,82	1,75 <sup>h</sup> ±0,06	1,20 <sup>f</sup> ±0,04	2,95 <sup>h</sup> ±0,10
P5	10,08 <sup>c</sup> ±0,17	0,84 <sup>gh</sup> ±0,06	13,63 <sup>fg</sup> ±0,86	1,91 <sup>gh</sup> ±0,03	1,82 <sup>de</sup> ±0,13	3,73 <sup>g</sup> ±0,09
P10	9,88 <sup>cde</sup> ±0,19	1,00 <sup>e</sup> ±0,01	14,17 <sup>efd</sup> ±0,89	2,36 <sup>f</sup> ±0,11	2,05 <sup>bcd</sup> ±0,21	4,41 <sup>ef</sup> ±0,32
P15	9,76 <sup>de</sup> ±0,16	1,02 <sup>e</sup> ±0,02	14,54 <sup>cde</sup> ±0,78	3,29 <sup>cd</sup> ±0,12	2,14 <sup>abcd</sup> ±0,01	5,43 <sup>bc</sup> ±0,12
P20	9,45 <sup>f</sup> ±0,09	1,25 <sup>a</sup> ±0,01	15,58 <sup>ab</sup> ±0,99	3,64 <sup>ab</sup> ±0,41	2,21 <sup>a</sup> ±0,14	5,85 <sup>ab</sup> ±0,54
RL5	10,09 <sup>c</sup> ±0,05	0,83 <sup>gh</sup> ±0,02	13,71 <sup>efg</sup> ±0,86	2,15 <sup>fg</sup> ±0,05	1,93 <sup>de</sup> ±0,06	4,08 <sup>fg</sup> ±0,11
RL10	10,33 <sup>b</sup> ±0,10	0,92 <sup>f</sup> ±0,02	14,47 <sup>cdef</sup> ±0,91	2,70 <sup>c</sup> ±0,22	2,01 <sup>dc</sup> ±0,17	4,71 <sup>e</sup> ±0,05
RL15	9,87 <sup>cde</sup> ±0,11	1,12 <sup>bc</sup> ±0,01	15,21 <sup>bc</sup> ±0,96	3,27 <sup>cd</sup> ±0,01	2,18 <sup>abcd</sup> ±0,31	5,45 <sup>bc</sup> ±0,29
RL20	9,74 <sup>de</sup> ±0,11	1,08 <sup>cd</sup> ±0,02	15,89 <sup>ab</sup> ±1,00	3,92 <sup>a</sup> ±0,19	2,29 <sup>ab</sup> ±0,07	6,21 <sup>a</sup> ±0,27
GP5	9,88 <sup>cde</sup> ±0,11	0,88 <sup>fg</sup> ±0,05	13,72 <sup>efg</sup> ±0,87	1,93 <sup>gh</sup> ±0,04	1,71 <sup>e</sup> ±0,19	3,64 <sup>g</sup> ±0,16
GP10	9,84 <sup>de</sup> ±0,05	1,01 <sup>e</sup> ±0,02	14,63 <sup>cd</sup> ±0,92	2,68 <sup>c</sup> ±0,14	2,17 <sup>abcd</sup> ±0,11	4,85 <sup>cd</sup> ±0,03
GP15	9,99 <sup>cd</sup> ±0,15	1,05 <sup>de</sup> ±0,04	15,69 <sup>ab</sup> ±0,99	3,01 <sup>d</sup> ±0,19	2,26 <sup>abc</sup> ±0,08	5,27 <sup>cd</sup> ±0,27
GP20	9,68 <sup>e</sup> ±0,21	1,13 <sup>bc</sup> ±0,02	16,29 <sup>a</sup> ±1,03	3,59 <sup>bc</sup> ±0,32	2,39 <sup>a</sup> ±0,06	5,98 <sup>a</sup> ±0,39

CON – próba kontrolna; P- makaron z mąką z zielonego groszku, RL – makaron z mąką z soczewicy czerwonej, GP – makaron z mąką z lędwianu. % s.m. - % suchej masy; TDF – błonnik całkowity; TDF – błonnik nierozpuszczalny; SDF – błonnik rozpuszczalny. Dane przedstawiono jako wartość średnią (n=3) ± odchylenie standardowe. Wartości w kolumnach (oddzielnie surowce i próby makaronu) oznaczone różnymi literami są znacząco różne (Test Duncana; p ≤ 0,05).

## **Skład aminokwasowy**

Białka roślin strączkowych cechuje niska zawartość aminokwasów zawierających siarkę (cysteina, metionina). Z drugiej strony, zawartość niezbędnych aminokwasów, takich jak np. lizyna, jest większa niż w pszenicy (Nadathur i in., 2016). Białko pszenicy uzupełnia niedobory aminokwasów siarkowych w białku roślin strączkowych. Natomiast białko nasion roślin strączkowych dostarcza lizyny, której brakuje w pszenicy. W makaronie z 15% dodatkiem mąki z roślin strączkowych nastąpił znaczny wzrost zawartości niezbędnych aminokwasów, takich jak lizyna (wzrost o 60-88%), treonina (wzrost o 10-33%) i izoleucyna (wzrost o 1-22%) (Tabela 5). Najwyższą zawartość lizyny (4,60 mg/g próby) odnotowano w próbce z 15% dodatkiem mąki z soczewicy czerwonej (RL15). Wood (2009) w makaronie z 15% dodatkiem mąki z ciecierzycy odnotowała niższą zawartość lizyny niż w niniejszym badaniu. Wynosiła ona 3,6 mg/g próby. Znaczący wzrost zawartości leucyny i fenyloalaniny odnotowano jedynie w przypadku makaronu z dodatkiem mąki z soczewicy czerwonej (RL) i lędźwianu (GP). Z drugiej strony, zawartość metioniny i tryptofanu w próbce wzbogaconej mąką z roślin strączkowych (P, RL i GP) była zmniejszona odpowiednio o 6-9% i 9-35% (Tabela 5). W porównaniu z próbą CON, w makaronie z dodatkiem mąki z nasion roślin strączkowych (P, RL, GP) odnotowano wyższą zawartość argininy, waliny i kwasu asparaginowego. Bahnassey i in. (1986) odnotowali podobną tendencję. W składzie aminokwasów w próbach makaronu wzbogaconych 10-15% dodatkiem mąki z roślin strączkowych (fasola navy i fasola pinto), nastąpił znaczny wzrost zawartości alaniny, argininy, kwasu asparaginowego i glicyny.

**Tabela 5.** Skład aminokwasowy prób makaronu (mg/g próby)

Aminokwas	Próba			
	CON	P15	RL15	GP15
<b>Endogenne</b>				
Alanina	3,47 <sup>c</sup> ±0,02	3,80 <sup>b</sup> ±0,02	4,61 <sup>a</sup> ±0,01	4,50 <sup>a</sup> ±0,02
Arginina	4,04 <sup>d</sup> ±0,01	4,84 <sup>c</sup> ±0,01	5,93 <sup>b</sup> ±0,01	6,06 <sup>a</sup> ±0,02
Kwas asparaginowy	5,37 <sup>d</sup> ±0,03	7,60 <sup>c</sup> ±0,02	8,99 <sup>a</sup> ±0,03	8,87 <sup>b</sup> ±0,03
Cysteina + Cystyna	4,34 <sup>c</sup> ±0,01	4,42 <sup>b</sup> ±0,02	4,27 <sup>d</sup> ±0,02	4,62 <sup>a</sup> ±0,01
Kwas glutaminowy	44,43 <sup>c</sup> ±0,05	37,79 <sup>d</sup> ±0,04	45,15 <sup>a</sup> ±0,06	44,66 <sup>b</sup> ±0,03
Glicyna	3,62 <sup>c</sup> ±0,03	3,89 <sup>b</sup> ±0,03	4,60 <sup>a</sup> ±0,03	4,55 <sup>a</sup> ±0,03
Prolina	16,32 <sup>a</sup> ±0,01	13,41 <sup>d</sup> ±0,01	15,86 <sup>b</sup> ±0,01	15,66 <sup>c</sup> ±0,01
Seryna	5,74 <sup>c</sup> ±0,01	5,59 <sup>d</sup> ±0,03	6,97 <sup>a</sup> ±0,02	6,73 <sup>b</sup> ±0,01
Tyrozyna	2,37 <sup>c</sup> ±0,02	2,42 <sup>c</sup> ±0,03	2,64 <sup>b</sup> ±0,03	2,86 <sup>a</sup> ±0,01
<b>Egzogenne</b>				
Histydyna	2,63 <sup>b</sup> ±0,03	2,64 <sup>b</sup> ±0,02	3,31 <sup>a</sup> ±0,02	3,34 <sup>a</sup> ±0,01
Izoleucyna	4,12 <sup>d</sup> ±0,02	4,18 <sup>c</sup> ±0,02	5,02 <sup>a</sup> ±0,02	4,94 <sup>b</sup> ±0,02
Leucyna	8,12 <sup>c</sup> ±0,02	8,05 <sup>d</sup> ±0,01	9,73 <sup>a</sup> ±0,02	9,43 <sup>b</sup> ±0,03
Lizyna	2,45 <sup>d</sup> ±0,02	3,93 <sup>c</sup> ±0,03	4,60 <sup>a</sup> ±0,03	4,42 <sup>b</sup> ±0,03
Metionina	2,78 <sup>a</sup> ±0,01	2,63 <sup>b</sup> ±0,02	2,37 <sup>d</sup> ±0,02	2,47 <sup>c</sup> ±0,02
Fenylalanina	6,09 <sup>c</sup> ±0,01	6,12 <sup>c</sup> ±0,02	7,44 <sup>a</sup> ±0,01	7,06 <sup>b</sup> ±0,02
Treonina	3,01 <sup>d</sup> ±0,02	3,31 <sup>c</sup> ±0,03	4,01 <sup>a</sup> ±0,02	3,93 <sup>b</sup> ±0,02
Tryptofan	4,45 <sup>a</sup> ±0,01	2,89 <sup>d</sup> ±0,02	4,06 <sup>b</sup> ±0,02	3,85 <sup>c</sup> ±0,01
Walina	4,67 <sup>c</sup> ±0,03	4,73 <sup>c</sup> ±0,01	5,70 <sup>a</sup> ±0,03	5,53 <sup>b</sup> ±0,03

CON – próba kontrolna; P- makaron z mąką z zielonego groszku, RL – makaron z mąką z soczewicy czerwonej, GP – makaron z mąką z łądzwianu. Dane przedstawiono jako wartość średnią (n=3) ± odchylenie standardowe. Wartości w wierszach oznaczone różnymi literami są znacząco różne (Test Duncana; p ≤ 0,05).

## Jakość kulinarna

Według Dick i Youngs (1988) makaron wysokiej jakości powinien charakteryzować się trzykrotnym wzrostem masy po ugotowaniu. Sobota i Skwira (2009) badając jakość makaronów tłoczonych dostępnych na rynku polskim odnotowały wskaźnik przyrostu masy na poziomie 2,14 - 4,14. W prezentowanych badaniach istotnie niższą ( $p \leq 0,05$ ) absorpcję wody w czasie gotowania odnotowano dla makaronów z dodatkiem mąk strączkowych w porównaniu do makaronu z semoliny durum (CON). Wskaźnik przyrostu masy dla produktów ugotowanych wynosił od 2,24 (GP10, GP20) do 2,61 (CON) (Tabela 6). Efekt ten może być spowodowany osłabieniem matrycy glutenowej w wyniku zastosowania dodatku mąki z nasion roślin strączkowych, która nie zawiera białek glutenowych. Doxastakis i in. (2007) i Petitot i in. (2010) również zaobserwowali obniżenie absorpcji wody podczas gotowania, spaghetti wzbogaconego mąką z łubinu lub bobiku. Rosa-Sibakov i in. (2016) powiązali tę tendencję z szybszym pęcznieniem granulek skrobi. Według tych autorów woda mogła łatwiej przenikać do makaronu wzbogaconego mąką z nasion roślin strączkowych, skracając czas potrzebny do żelatynizacji skrobi, co ograniczyło wchłanianie wody podczas gotowania.

Jednym z głównych parametrów jakości kulinarnej makaronu są straty suchej substancji podczas gotowania. Makaron o zadowalającej jakości nie powinien tracić więcej niż 8% s.m. (Dick i Youngs, 1988). Makaron walcowany, wzbogacony 5-20% dodatkiem mąki z nasion roślin strączkowych (P, RL, GP) charakteryzował się stosunkowo niskimi stratami suchej substancji podczas gotowania (5,02-8,23%), ale nadal wyższymi niż próba CON. Najwyższe straty zaobserwowano dla makaronu z 20% dodatkiem mąk strączkowych, jednak straty przekroczyły 8% tylko w przypadku próby GP20, wzbogaconej mąką z lędźwianu. Muneer i in. (2018), dla makaronu wzbogaconego izolatem białka i błonnikiem pokarmowym z żółtego grochu, odnotowali znacznie większe straty suchej substancji podczas gotowania (41,2-45,8%). Jeśli chodzi o tradycyjny makaron pszenny, wzrost zawartości białka i związana z nim większa zawartość glutenu determinują niższe straty suchej substancji podczas gotowania (Sobota i Zarzycki, 2013). Zastąpienie białek glutenowych (gliadyny i gluteniny) białkiem z nasion roślin strączkowych zwiększa te straty. Przypisuje się to mniejszej zawartości białek glutenowych i osłabieniu siatki glutenowej (Laleg i in., 2017). Rosa-Sibakov i in. (2016) podkreślają, że białka nasion roślin strączkowych (głównie globuliny i albuminy) nie tworzą elastycznej sieci, takiej jak białka glutenowe. Według autorów mniejsza elastyczność matrycy białkowej może ułatwić przechodzenie suchej substancji do wody podczas gotowania. Ponadto wyższy poziom błonnika pokarmowego w mąkach z roślin strączkowych niż w semolinie

durum (15,91-17,29% s.m. vs. 3,44% s.m.) (Tabela 4) może również osłabiać matrycę glutenową i przyczyniać się do zwiększenia strat suchej substancji (Tabela 6).

**Tabela 6.** Jakość kulinarna i tekstura makaronów

Próba	Minimalny czas gotowania	Współczynnik przyrostu masy	Straty suchej substancji podczas gotowania	Twardość
	(min)		(% s.m.)	
CON	7,5	2,61 <sup>a</sup> ±0,06	5,02 <sup>f</sup> ±0,13	3,32 <sup>d</sup> ±0,12
P5	7,5	2,46 <sup>b</sup> ±0,04	5,71 <sup>e</sup> ±0,14	4,15 <sup>b</sup> ±0,23
P10	8	2,46 <sup>b</sup> ±0,01	6,42 <sup>d</sup> ±0,03	4,13 <sup>b</sup> ±0,12
P15	8	2,48 <sup>b</sup> ±0,05	7,48 <sup>b</sup> ±0,22	4,05 <sup>b</sup> ±0,07
P20	8	2,49 <sup>d</sup> ±0,04	7,58 <sup>b</sup> ±0,11	2,86 <sup>e</sup> ±0,28
RL5	8	2,40 <sup>b</sup> ±0,07	6,63 <sup>d</sup> ±0,27	3,31 <sup>d</sup> ±0,12
RL10	8	2,32 <sup>c</sup> ±0,08	7,01 <sup>c</sup> ±0,18	3,16 <sup>d</sup> ±0,18
RL15	8	2,32 <sup>c</sup> ±0,05	6,98 <sup>c</sup> ±0,52	3,87 <sup>c</sup> ±0,20
RL20	8	2,44 <sup>b</sup> ±0,02	7,47 <sup>b</sup> ±0,04	5,02 <sup>a</sup> ±0,38
GP5	7,5	2,35 <sup>c</sup> ±0,03	5,25 <sup>f</sup> ±0,14	3,35 <sup>d</sup> ±0,20
GP10	8,5	2,24 <sup>d</sup> ±0,02	7,13 <sup>c</sup> ±0,45	1,93 <sup>f</sup> ±0,12
GP15	8,5	2,25 <sup>d</sup> ±0,03	7,46 <sup>b</sup> ±0,19	2,05 <sup>f</sup> ±0,08
GP20	8,5	2,24 <sup>d</sup> ±0,04	8,23 <sup>a</sup> ±0,28	2,00 <sup>f</sup> ±0,06

CON – próba kontrolna: P- makaron z mąką z zielonego groszku, RL – makaron z mąką z soczewicy czerwonej, GP – makaron z mąką z łądzwianu. Dane przedstawiono jako wartość średnią (n=3 dla minimalnego czasu gotowania, współczynnika przyrostu masy i strat suchej substancji podczas gotowania; n=20 dla twardości) ± odchylenie standardowe. Wartości w kolumnach oznaczone różnymi literami są znacząco różne (Test Duncana; p ≤ 0,05).

## Tekstura

Twardość jest bardzo ważnym wskaźnikiem jakości makaronu. Najwyższą twardość wykazywał makaron z dodatkiem mąki z soczewicy (RL20), podczas gdy najniższą odnotowano dla makaronu z dodatkiem mąki z łądzwianu (GP10-20) (Tabela 6). Badania wykazały, że twardość zależy od rodzaju i ilości mąki strączkowej dodanej do produktów. Wzbogacenie makaronu 5-15% dodatkiem mąki z zielonego groszku (P) i 15-20% mąki z czerwonej soczewicy (RL) znacząco zwiększyło twardość produktu. Odwrotną tendencję odnotowano w przypadku prób wzbogaconych 10-20% dodatkiem mąki z łądzwianu (GP). Zhao i in. (2005) oraz Petitot i in. (2010) stwierdzili, że makaron wzbogacony mąką z roślin strączkowych (bobu, zielonego i żółtego grochu, soczewicy i ciecierzycy) charakteryzował się

wyższą twardością niż makaron z pszenicy durum. Autorzy zasugerowali, że tendencja ta może być związana z wyższą zawartością białka w tych produktach. Istotny wpływ na parametry tekstury może mieć także absorpcja wody podczas gotowania. Niższa absorpcja wody odnotowana w przypadku makaronów wysokobiałkowych (z dodatkiem składników strączkowych, takich jak łubin, izolat białka i mąka z bobiku) może być czynnikiem determinującym wyższą jędrność i twardość produktów (Rosa-Sibakov i in., 2016; Petitot i in., 2010). Dłuższy czas gotowania makaronu przyczynia się do wyższej zawartości wody w produktach (Sobota i in., 2015a) i może powodować zmniejszenie jędrności i twardości ugotowanego makaronu.














## Parametry barwy

Badania przeprowadzone w ramach Modelu doświadczenia I dowiodły, że mąka z nasion roślin strączkowych może być wykorzystana nie tylko jako składnik poprawiający wartość odżywczą makaronu, ale także jako naturalny składnik barwiący. Parametry barwy ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) surowego i ugotowanego makaronu zmieniały się znacząco ( $p \leq 0,05$ ) wraz z dodatkiem mąki z nasion roślin strączkowych (Tabela 8). Jasność ( $L^*$ ) wszystkich surowych prób makaronu zmniejszała się wraz ze wzrostem zawartości komponentów strączkowych. Wynik ten jest zgodny z badaniami przeprowadzonymi przez Zhao i in. (2005), Wood (2009), Petitot i in. (2010) oraz Handayani i in. (2022). Ciemniejszy kolor makaronu z dodatkiem mąki z nasion roślin strączkowych można przypisać wyższej zawartości popiołu i specyficznej barwie mąk strączkowych. Wartość parametru  $a^*$ , opisującego barwę produktów w zakresie od zielonej do czerwonej, w makaronach nieugotowanych wzrastała wraz z dodatkiem mąki z nasion roślin strączkowych. Nieugotowany makaron wzbogacony wszystkimi mąkami strączkowymi na poziomie 20% charakteryzował się bardziej żółtą barwą ( $b^*$ ) w porównaniu z próbą kontrolną. W wyniku gotowania makaronu wszystkie parametry barwy uległy zmniejszeniu w stosunku do prób nieugotowanych. Analizując wpływ dodatku mąki z nasion strączkowych na barwę makaronu ugotowanego odnotowano znaczący wzrost parametru  $a^*$  w porównaniu z CON w przypadku prób z 5-20% dodatkiem soczewicy czerwonej (RL) oraz 20% dodatkiem mąki z zielonego groszku (P). Odwrotną tendencję zaobserwowano dla prób z dodatkiem mąki z lędzwanu (GP). Próby makaronu wzbogacone 10-20% tej mąki (GP) charakteryzowały się znacznie bardziej ( $p \leq 0,05$ ) zieloną barwą w porównaniu z próbą kontrolną (CON) (Tabela 8).

Jednym z parametrów oceny barwy makaronu jest  $\Delta E$ , opisująca różnicę w barwie pomiędzy próbą badaną a próbą CON. Parametr ten znacząco wzrósł po dodaniu każdej z mąk strączkowych. Najbardziej intensywną zmianę barwy odnotowano dla prób z dodatkiem mąki z soczewicy czerwonej (RL), dlatego wydaje się być ona najlepszym komponentem kształtującym barwę spośród wszystkich testowanych surowców.  $\Delta E$  dla nieugotowanego makaronu RL20 wynosiła 11,31, podczas gdy wartość ta dla produktu ugotowanego była znacznie mniejsza i wynosiła 3,84. We wszystkich badanych próbach makaronu różnica barwy ( $\Delta E$ ) zmniejszyła się po ugotowaniu. Podobną tendencję odnotowała Wood (2009) dla makaronu z dodatkiem mąki z ciecierzycy. Najmniejszą zmianą barwy w wyniku gotowania, a w konsekwencji najbardziej trwałą barwą cechowały się makarony wzbogacone mąką z zielonego groszku.



**Tabela 7.** Zdjęcia otrzymanych prób makaronu

	CON	P5	P10	P15	P20
					
		RL5	RL10	RL15	RL20
					
		GP5	GP10	GP15	GP20
					

CON – próba kontrolna; P- makaron z mąką z zielonego groszku, RL – makaron z mąką z soczewicy czerwonej, GP – makaron z mąką z łądzwanu.

**Tabela 8.** Barwa makaronu nieugotowanego i ugotowanego

Próba	Makaron nieugotowany				Makaron ugotowany			
	L*	a*	b*	ΔE	L*	a*	b*	ΔE
CON	74,64 <sup>a</sup> ±1,81	-0,17 <sup>i</sup> ±1,70	21,01 <sup>f</sup> ±1,59	-	68,95 <sup>a</sup> ±1,00	-2,08 <sup>fg</sup> ±0,12	9,27 <sup>c</sup> ±0,93	-
P5	73,38 <sup>b</sup> ±2,58	-0,18 <sup>i</sup> ±1,54	18,80 <sup>h</sup> ±0,97	2,54	67,79 <sup>b</sup> ±1,44	-2,15 <sup>gh</sup> ±0,14	8,53 <sup>d</sup> ±1,43	1,38
P10	72,66 <sup>c</sup> ±1,87	0,03 <sup>h</sup> ±0,08	19,66 <sup>g</sup> ±0,90	2,4	67,46 <sup>bc</sup> ±1,73	-2,05 <sup>fg</sup> ±0,12	10,39 <sup>ab</sup> ±1,03	1,86
P15	70,81 <sup>d</sup> ±2,53	0,45 <sup>g</sup> ±0,31	19,68 <sup>g</sup> ±3,24	4,1	66,94 <sup>bcd</sup> ±0,80	-2,07 <sup>fg</sup> ±0,14	10,48 <sup>ab</sup> ±0,74	2,35
P20	68,94 <sup>f</sup> ±2,05	0,55 <sup>gf</sup> ±0,14	23,94 <sup>d</sup> ±1,31	6,45	65,92 <sup>def</sup> ±1,48	-1,86 <sup>e</sup> ±0,18	9,94 <sup>b</sup> ±1,11	3,73
RL5	74,42 <sup>ab</sup> ±1,96	2,47 <sup>d</sup> ±0,37	19,11 <sup>gh</sup> ±0,68	3,26	64,80 <sup>g</sup> ±2,39	-1,64 <sup>d</sup> ±0,15	7,50 <sup>e</sup> ±0,92	2,87
RL10	71,06 <sup>d</sup> ±2,10	4,58 <sup>c</sup> ±0,35	21,01 <sup>f</sup> ±0,74	5,94	65,57 <sup>gef</sup> ±2,96	-1,40 <sup>c</sup> ±0,17	8,65 <sup>cd</sup> ±0,97	3,51
RL15	70,24 <sup>de</sup> ±1,89	6,78 <sup>b</sup> ±0,35	22,33 <sup>e</sup> ±1,07	8,33	65,32 <sup>gf</sup> ±1,86	-1,00 <sup>b</sup> ±0,25	8,85 <sup>cd</sup> ±1,38	3,77
RL20	69,50 <sup>ef</sup> ±1,68	9,08 <sup>a</sup> ±0,56	25,01 <sup>c</sup> ±1,03	11,31	66,42 <sup>cde</sup> ±1,90	-0,90 <sup>a</sup> ±0,29	10,39 <sup>ab</sup> ±1,54	3,84
GP5	73,67 <sup>abc</sup> ±2,38	-0,10 <sup>hi</sup> ±0,14	18,69 <sup>h</sup> ±0,84	2,51	68,95 <sup>a</sup> ±1,39	-2,01 <sup>f</sup> ±0,18	9,05 <sup>cd</sup> ±0,91	0,23
GP10	70,11 <sup>def</sup> ±1,44	-0,02 <sup>hi</sup> ±0,13	23,22 <sup>d</sup> ±0,83	5,04	67,25 <sup>bc</sup> ±2,00	-2,19 <sup>h</sup> ±0,14	9,36 <sup>cd</sup> ±1,19	1,71
GP15	67,73 <sup>g</sup> ±1,92	0,70 <sup>f</sup> ±0,19	26,80 <sup>b</sup> ±0,80	9,06	66,65 <sup>cde</sup> ±1,71	-2,21 <sup>h</sup> ±0,19	10,08 <sup>ab</sup> ±1,09	2,44
GP20	66,82 <sup>g</sup> ±1,76	0,89 <sup>e</sup> ±0,29	27,87 <sup>a</sup> ±1,86	10,46	65,63 <sup>efg</sup> ±1,19	-2,33 <sup>i</sup> ±0,14	10,78 <sup>a</sup> ±1,18	3,66

CON – próba kontrolna; P- makaron z mąką z zielonego groszku, RL – makaron z mąką z soczewicy czerwonej, GP – makaron z mąką z lędwianu; L\* – jasność, a\* – barwa w zakresie od zielonej do czerwonej, b\* – barwa w zakresie od niebieskiej do żółtej. Dane przedstawiono jako wartość średnią (n=20) ± odchylenie standardowe. Wartości w kolumnach oznaczone różnymi literami są znacząco różne (Test Duncana; p ≤ 0,05).

## Ocena organoleptyczna

Bardzo ważnym czynnikiem decydującym o jakości produktu spożywczego jest jego wysoka wartość odżywcza połączona z pełną akceptowalnością konsumentów. Dlatego ocena organoleptyczna wykonana przez odpowiednio przeszkolony panel konsumentów jest bardzo ważna przed wprowadzeniem produktu na rynek. Ugotowane próby makaronu zostały ocenione w pięciopunktowej skali pod względem wyglądu, barwy, smaku, zapachu, twardości, kleistości i sprężystości przez grupę 30 konsumentów (Tabela 9). Na podstawie indywidualnych ocen obliczono średni wynik dla każdej ocenianej cechy, a następnie wyliczono średnią ocenę dla każdej próby makaronu. Najwyższy wynik dla prób fortyfikowanych odnotowano w przypadku makaronu GP5, prawdopodobnie ze względu na jego wysokie podobieństwo do próby CON. Niemniej jednak niewielkie różnice w wartościach oceny średniej (4,13-4,27) wskazują, że próby makaronu z mąką z soczewicy czerwonej (RL) są produktami najbardziej akceptowalnymi przez konsumentów. Najniższe średnie noty w ocenie organoleptycznej uzyskały makarony wzbogacone 15 i 20% dodatkiem lędźwianu siewnego. Cechą znacząco ograniczającą jakość organoleptyczną tych prób był wygląd po ugotowaniu: makaron tracił kształt i wykazywał tendencję do tworzenia zlepów.

**Tabela 9.** Ocena organoleptyczna ugotowanych makaronów

Próba	Wygląd	Barwa	Smak	Zapach	Twardość	Kleistość	Sprężystość	Ocena średnia
CON	4,8 <sup>a</sup> ± 0,4	4,6 <sup>a</sup> ± 0,3	4,6 <sup>a</sup> ± 0,3	4,7 <sup>a</sup> ± 0,1	4,8 <sup>a</sup> ± 0,1	4,8 <sup>a</sup> ± 0,4	4,4 <sup>a</sup> ± 0,2	4,65 <sup>a</sup> ± 0,29
P5	4,4 <sup>b</sup> ± 0,1	4,2 <sup>b</sup> ± 0,1	4,2 <sup>bc</sup> ± 0,2	4,6 <sup>ab</sup> ± 0,3	4,8 <sup>a</sup> ± 0,1	4,8 <sup>a</sup> ± 0,4	4,2 <sup>b</sup> ± 0,1	4,45 <sup>ab</sup> ± 0,16
P10	4,1 <sup>bc</sup> ± 0,1	4,2 <sup>b</sup> ± 0,1	4,2 <sup>bc</sup> ± 0,1	4,6 <sup>ab</sup> ± 0,3	4,3 <sub>b</sub> ± 0,4	4,8 <sup>a</sup> ± 0,4	4,1 <sup>bc</sup> ± 0,2	4,33 <sup>bc</sup> ± 0,25
P15	3,6 <sup>de</sup> ± 0,1	3,8 <sup>cd</sup> ± 0,1	3,8 <sup>ef</sup> ± 0,1	4,2 <sup>cd</sup> ± 0,1	4,2 <sub>b</sub> ± 0,4	4,2 <sup>b</sup> ± 0,1	3,5 <sup>d</sup> ± 0,1	3,90 <sup>de</sup> ± 0,25
P20	3,9 <sup>cd</sup> ± 0,1	4,2 <sup>b</sup> ± 0,1	3,9 <sup>de</sup> ± 0,2	4,4 <sup>bc</sup> ± 0,2	4,5 <sub>ab</sub> ± 0,1	4,2 <sup>b</sup> ± 0,1	3,5 <sup>d</sup> ± 0,1	4,08 <sup>bcd</sup> ± 0,33
RL5	4,0 <sup>c</sup> ± 0,0	4,3 <sup>b</sup> ± 0,1	4,0 <sup>cde</sup> ± 0,0	4,4 <sup>bc</sup> ± 0,2	4,3 <sub>b</sub> ± 0,1	4,3 <sup>b</sup> ± 0,1	4,2 <sup>b</sup> ± 0,1	4,21 <sup>bc</sup> ± 0,25
RL10	4,0 <sup>c</sup> ± 0,0	3,9 <sup>c</sup> ± 0,1	4,4 <sup>ab</sup> ± 0,1	4,7 <sup>a</sup> ± 0,1	4,3 <sub>b</sub> ± 0,1	4,4 <sup>ab</sup> ± 0,1	4,2 <sup>b</sup> ± 0,1	4,27 <sup>bc</sup> ± 0,25
RL15	3,5 <sup>ef</sup> ± 0,1	3,6 <sup>d</sup> ± 0,1	4,4 <sup>ab</sup> ± 0,1	4,4 <sup>bc</sup> ± 0,2	4,6 <sub>ab</sub> ± 0,2	4,6 <sup>ab</sup> ± 0,1	4,2 <sup>b</sup> ± 0,1	4,19 <sup>c</sup> ± 0,20
RL20	3,2 <sup>fg</sup> ± 0,3	3,8 <sup>cd</sup> ± 0,1	4,2 <sup>bc</sup> ± 0,2	4,6 <sup>ab</sup> ± 0,1	4,4 <sub>ab</sub> ± 0,2	4,5 <sup>ab</sup> ± 0,2	4,2 <sup>b</sup> ± 0,1	4,13 <sup>cd</sup> ± 0,11
GP5	4,2 <sup>bc</sup> ± 0,1	4,6 <sup>ab</sup> ± 0,4	4,5 <sup>a</sup> ± 0,2	4,6 <sup>ab</sup> ± 0,1	4,5 <sup>ab</sup> ± 0,3	4,6 <sup>ab</sup> ± 0,1	4,4 <sup>a</sup> ± 0,2	4,49 <sup>ab</sup> ± 0,25
GP10	3,4 <sup>ef</sup> ± 0,1	3,9 <sup>c</sup> ± 0,1	4,1 <sup>cd</sup> ± 0,3	4,5 <sup>b</sup> ± 0,1	4,5 <sup>ab</sup> ± 0,3	4,6 <sup>ab</sup> ± 0,1	4,0 <sup>c</sup> ± 0,0	4,14 <sup>cd</sup> ± 0,33
GP15	2,9 <sup>g</sup> ± 0,3	3,6 <sup>d</sup> ± 0,3	3,6 <sup>f</sup> ± 0,4	4,1 <sup>de</sup> ± 0,1	4,6 <sup>ab</sup> ± 0,1	4,2 <sup>b</sup> ± 0,2	3,6 <sup>d</sup> ± 0,2	3,80 <sup>ef</sup> ± 0,11
GP20	2,4 <sup>h</sup> ± 0,4	3,6 <sup>d</sup> ± 0,1	3,8 <sup>ef</sup> ± 0,2	3,9 <sup>e</sup> ± 0,1	4,5 <sup>ab</sup> ± 0,2	4,3 <sup>b</sup> ± 0,1	3,7 <sup>d</sup> ± 0,2	3,74 <sup>f</sup> ± 0,25

CON – próba kontrolna; P- makaron z mąką z zielonego groszku, RL – makaron z mąką z soczewicy czerwonej, GP – makaron z mąką z lędźwianu. Dane przedstawiono jako wartość średnią (n=30) ± odchylenie standardowe. Wartości w kolumnach oznaczone różnymi literami są znacząco różne (Test Duncana; p ≤ 0,05)

## 5.2. Badania wpływu dodatku mąki i wytlóków z nasion konopi siewnej na właściwości fizykochemiczne, jakość kulinarną i organoleptyczną oraz bezpieczeństwo zdrowotne makaronów (Model doświadczenia II – Publikacja II)

Skład surowcowy mieszanek wykorzystanych do produkcji makaronu, wchodzących w skład modelu doświadczenia II przedstawiono w Tabeli 10.

**Tabela 10.** Model doświadczenia II

Próba	Semolina durum	Mąka konopna	Wytłoki konopne	Woda
		%		g/kg mieszanki
CON	100	0		306
HF-5	95	5		309
HF-10	90	10		313
HF-15	85	15		316
HF-20	80	20		320
HF-25	75	25		323
HF-30	70	30		327
HF-35	65	35		330
HF-40	60	40		333
HC-2.5	97,5		2,5	307
HC-5	95		5	309
HC-7.5	92,5		7,5	311
HC-10	90		10	312

CON – próba kontrolna; HF – makaron z dodatkiem mąki konopnej; HC – makaron z dodatkiem wytlóków konopnych.

### Cechy fizykochemiczne

Wytłoki konopne użyte w badaniu zostały uzyskane poprzez wytlócenie oleju z nasion konopi siewnej, podczas gdy mąka konopna została uzyskana z obłuszczonych, zmielonych i odtłuszczonych na drodze ekstrakcji nasion konopi. Analiza sitowa surowców użytych do produkcji makaronu i określona na jej podstawie średnica zastępcza wykazywała, że stosunkowo gruboziarnistym komponentem były wytlóki z nasion konopi (Tabela 11). Uniemożliwiło to dodanie tego surowca do makaronu na poziomie większym niż 10%, ponieważ zwiększony udział wytlóków w mieszance z semoliną destabilizował proces tłoczenia ograniczając równomierny przepływ masy ciasta przez siatkę kompensacyjną, umieszczoną przed matrycą prasy

makaronowej. Mąka konopna okazała się być lepszym surowcem do produkcji makaronu nie tylko ze względu na mniejszą granulację cząstek, ale także ze względu na wyższą wartość odżywczą. Może to być związane z różnymi metodami odtłuszczenia nasion konopi, a tym samym różną zawartością tłuszczu w obu surowcach (7,79% s.m. w mące konopnej vs. 12,57% s.m. w wytlókach konopnych). Mąka konopna poza tym była również lepszym źródłem białka niż wylók (35,47% s.m. vs. 34,19% s.m.). Statystycznie istotne różnice na korzyść mąki konopnej odnotowano także w przypadku TDF, IDF oraz zawartości popiołu. W mące konopnej zawartość TDF wynosiła 46,44% s.m., podczas gdy w wylókach konopnych stanowiła 43,82% s.m. Ponieważ substancje bioaktywne THC i CBD (THC – tetrahydrokannabinol, CBD – kannabidiol) znajdujące się w nasionach konopi są wysoce lipofilne (Bruni i in., 2018), zawartość tych substancji była kilkukrotnie wyższa w zasobniejszych w tłuszcz wylókach niż w mące konopnej. Zawartość THC w obu surowcach nie przekraczała jednak limitów określonych przez Unię Europejską (UE) (3 mg/kg) (Rozporządzenie (WE) 2022/1393).

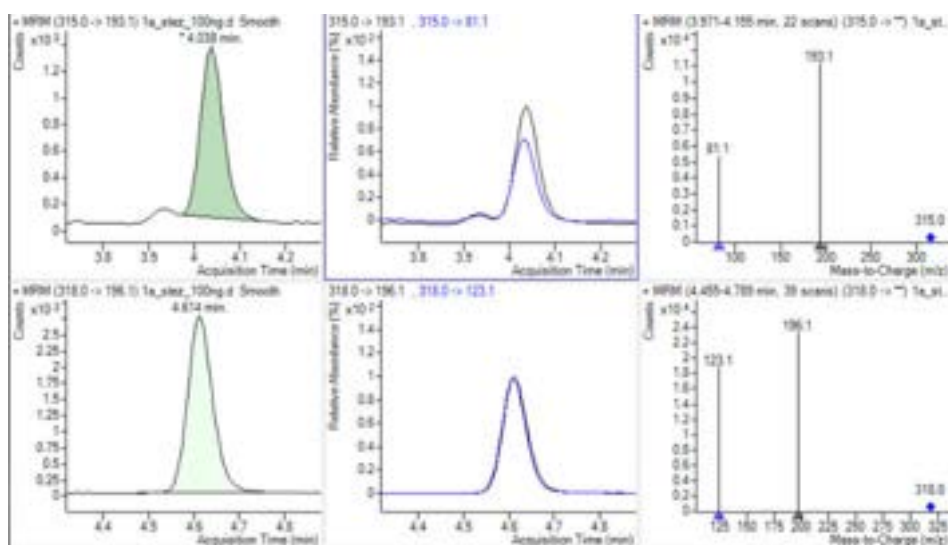
Zawartość składników odżywczych w próbach makaronu podana w Tabeli 12, różniła się statystycznie ( $p \leq 0,05$ ) w zależności od składu surowcowego. Każdorazowo wzrost dodatku mąki konopnej powodował znaczący ( $p \leq 0,05$ ) wzrost zawartości białka, błonnika, tłuszczu i popiołu w porównaniu do próby kontrolnej (CON). Podobne zależności odnotowali inni autorzy. Makaron wzbogacony do 23% produktami ubocznymi z przetwórstwa siemienia lnianego (Zarzycki in., 2020) lub do 25% produktami ubocznymi z przetwórstwa kokosa (Sykut-Domańska i in., 2020) miał lepszy skład odżywczy i podobnie jak w prezentowanych badaniach, charakteryzował się znacznie większą zawartością białka, tłuszczu i popiołu w porównaniu z próbą kontrolną (CON).

**Tabela 11.** Cechy fizykochemiczne surowców

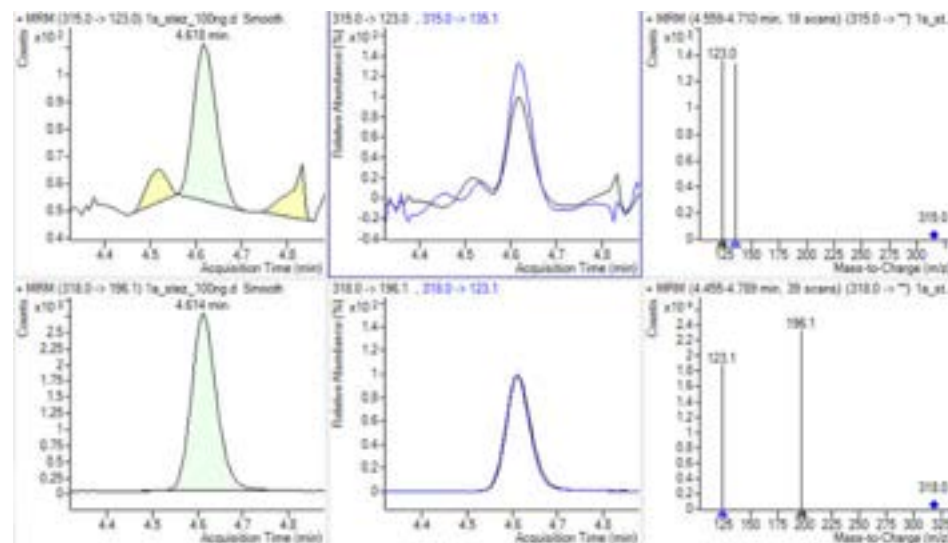
Raw material	Średnica zastępcza	Wilgotność	Popiół	Białko	Tłuszcz	IDF	SDF	TDF	Węglowodany*	THC	CBD
	µm	%				% s.m.				µg 100 g <sup>-1</sup> m.m.	
Semolina	268,28 <sup>c</sup> ±1,36	11,21 <sup>a</sup> ±0,12	0,81 <sup>c</sup> ±0,01	14,60 <sup>c</sup> ±0,02	1,27 <sup>c</sup> ±0,05	2,74 <sup>c</sup> ±0,04	1,50 <sup>b</sup> ±0,13	4,24 <sup>c</sup> ±0,09	79,08 <sup>a</sup> ±0,16	nd	nd
Mąka konopna	303,10 <sup>b</sup> ±0,78	6,50 <sup>b</sup> ±0,01	7,79 <sup>a</sup> ±0,03	35,47 <sup>a</sup> ±0,29	7,79 <sup>b</sup> ±0,14	41,74 <sup>a</sup> ±0,12	4,70 <sup>a</sup> ±0,55	46,44 <sup>a</sup> ±0,44	2,60 <sup>b</sup> ±0,32	720,00 <sup>b</sup> ±15,00	1070,00 <sup>b</sup> ±22,00
Wytłoki konopne	473,49 <sup>a</sup> ±1,52	6,79 <sup>b</sup> ±0,01	6,12 <sup>b</sup> ±0,01	34,19 <sup>b</sup> ±0,19	12,57 <sup>a</sup> ±0,25	39,98 <sup>b</sup> ±0,49	4,29 <sup>a</sup> ±0,55	43,82 <sup>b</sup> ±0,35	3,30 <sup>b</sup> ±0,29	5640,00 <sup>a</sup> ±16,00	2260,00 <sup>a</sup> ±25,00

\* zawartość węglowodanów obliczona na podstawie różnicy. nd - nie wykryto. IDF - nierozpuszczalny błonnik pokarmowy. SDF - rozpuszczalny błonnik pokarmowy. TDF - całkowity błonnik pokarmowy. THC - Δ-9-tetrahydrokannabinol. CBD - kannabidiol. Wartości (n = 3) oznaczone różnymi literami w tej samej kolumnie różnią się istotnie (Test Tukeya, p ≤ 0,05).

39



**Rysunek 1.** Chromatogramy i widma MRM dla THC i standardu wewnętrznego - THC-D3.



**Rysunek 2.** Chromatogramy i widma MRM dla CBD i standardu wewnętrznego- THC-D3.

**Tabela 12.** Skład chemiczny prób makaronów wzbogaconych dodatkiem komponentów konopnych

Próba	Wilgotność	Popiół	Białko	Tłuszcz	IDF	SDF	TDF	Węglowodany*	Wartość energetyczna
	%	% s.m.							kcal 100g <sup>-1</sup> s.m.
CON	10,16 <sup>abc</sup> ±0,08	0,79 <sup>j</sup> ±0,01	14,58 <sup>i</sup> ±0,12	1,25 <sup>i</sup> ±0,04	2,92 <sup>i</sup> ±0,09	1,51 <sup>e</sup> ±0,05	4,43 <sup>l</sup> ±0,14	78,95 <sup>a</sup> ±0,20	397,39 <sup>abc</sup> ±0,04
HF-5	10,15 <sup>abc</sup> ±0,13	1,21 <sup>h</sup> ±0,04	15,49 <sup>hi</sup> ±0,36	1,64 <sup>h</sup> ±0,13	4,62 <sup>hi</sup> ±0,18	1,74 <sup>de</sup> ±0,08	6,36 <sup>ij</sup> ±0,26	75,30 <sup>b</sup> ±0,40	395,48 <sup>c</sup> ±0,17
HF-10	10,69 <sup>ab</sup> ±0,27	1,52 <sup>f</sup> ±0,06	16,32 <sup>g</sup> ±0,27	2,00 <sup>g</sup> ±0,01	6,74 <sup>g</sup> ±0,14	1,76 <sup>de</sup> ±0,14	8,50 <sup>g</sup> ±0,28	71,66 <sup>c</sup> ±0,94	393,00 <sup>d</sup> ±0,54
HF-15	10,13 <sup>abc</sup> ±0,26	1,91 <sup>e</sup> ±0,08	17,20 <sup>f</sup> ±0,10	2,33 <sup>f</sup> ±0,16	8,55 <sup>f</sup> ±0,22	2,03 <sup>cd</sup> ±0,01	10,88 <sup>f</sup> ±0,23	67,68 <sup>d</sup> ±0,03	389,89 <sup>d</sup> ±0,45
HF-20	10,04 <sup>bc</sup> ±0,23	2,11 <sup>e</sup> ±0,09	17,90 <sup>e</sup> ±0,08	2,63 <sup>e</sup> ±0,10	10,44 <sup>e</sup> ±0,17	2,20 <sup>c</sup> ±0,05	12,64 <sup>e</sup> ±0,22	64,72 <sup>e</sup> ±0,35	387,87 <sup>e</sup> ±0,60
HF-25	10,45 <sup>abc</sup> ±0,03	2,59 <sup>d</sup> ±0,05	18,72 <sup>d</sup> ±0,10	2,91 <sup>d</sup> ±0,24	12,74 <sup>d</sup> ±0,16	2,28 <sup>bc</sup> ±0,08	15,02 <sup>d</sup> ±0,24	60,76 <sup>f</sup> ±0,15	384,51 <sup>f</sup> ±0,54
HF-30	10,63 <sup>ab</sup> ±0,40	2,95 <sup>c</sup> ±0,12	19,53 <sup>c</sup> ±0,05	3,23 <sup>c</sup> ±0,13	14,48 <sup>c</sup> ±0,15	2,54 <sup>ab</sup> ±0,01	17,02 <sup>c</sup> ±0,16	57,27 <sup>g</sup> ±0,26	382,11 <sup>g</sup> ±0,28
HF-35	9,76 <sup>c</sup> ±0,08	3,33 <sup>b</sup> ±0,01	20,24 <sup>b</sup> ±0,10	3,66 <sup>ab</sup> ±0,24	16,13 <sup>b</sup> ±0,03	2,70 <sup>a</sup> ±0,18	18,83 <sup>b</sup> ±0,22	53,94 <sup>h</sup> ±0,34	380,64 <sup>g</sup> ±0,25
HF-40	9,73 <sup>c</sup> ±0,28	3,57 <sup>a</sup> ±0,03	20,87 <sup>a</sup> ±0,03	3,98 <sup>a</sup> ±0,16	18,71 <sup>a</sup> ±0,11	2,78 <sup>a</sup> ±0,05	21,49 <sup>a</sup> ±0,17	50,09 <sup>i</sup> ±0,49	376,92 <sup>h</sup> ±0,45
HC-2.5	10,74 <sup>ab</sup> ±0,01	0,97 <sup>ij</sup> ±0,02	15,21 <sup>i</sup> ±0,02	1,76 <sup>h</sup> ±0,07	3,70 <sup>ij</sup> ±0,16	1,59 <sup>e</sup> ±0,04	5,29 <sup>kl</sup> ±0,21	76,77 <sup>ab</sup> ±0,52	398,22 <sup>a</sup> ±0,02
HC-5	10,14 <sup>abc</sup> ±0,01	1,14 <sup>hi</sup> ±0,04	15,39 <sup>hi</sup> ±0,08	2,27 <sup>f</sup> ±0,03	4,71 <sup>hi</sup> ±0,16	1,67 <sup>e</sup> ±0,15	6,38 <sup>ij</sup> ±0,31	74,82 <sup>b</sup> ±0,48	398,59 <sup>a</sup> ±0,52
HC-7.5	10,87 <sup>a</sup> ±0,08	1,27 <sup>gh</sup> ±0,01	15,63 <sup>h</sup> ±0,05	2,44 <sup>ef</sup> ±0,05	5,65 <sup>gh</sup> ±0,16	1,74 <sup>de</sup> ±0,05	7,39 <sup>hi</sup> ±0,21	73,27 <sup>bc</sup> ±0,26	397,42 <sup>ab</sup> ±0,73
HC-10	10,47 <sup>abc</sup> ±0,10	1,47 <sup>fg</sup> ±0,04	16,14 <sup>g</sup> ±0,26	2,61 <sup>e</sup> ±0,12	6,38 <sup>g</sup> ±0,15	1,83 <sup>de</sup> ±0,01	8,21 <sup>gh</sup> ±0,16	71,57 <sup>c</sup> ±0,33	396,63 <sup>bc</sup> ±0,44

CON – próba kontrolna; HF – makaron z dodatkiem mąki konopnej; HC – makaron z dodatkiem wyłoków konopnych.

\* zawartość węglowodanów obliczona na podstawie różnicy. IDF - nierozpuszczalny błonnik pokarmowy. SDF - rozpuszczalny błonnik pokarmowy; TDF - całkowity błonnik pokarmowy. Wartości (n = 3) oznaczone różnymi literami w tej samej kolumnie różnią się istotnie (Test Tukeya, p ≤ 0,05)



Zawartość białka w próbach z mąką konopną wzrosła od 6% (dla HF-5) do 43% (dla HF-40) w odniesieniu do próby kontrolnej. W przypadku dodatku wyłoków konopnych wzrost wynosił od 4% (dla próby HC-2.5) do 10% (dla próby HC-10). Definicja Unii Europejskiej mówi, że w produkcie wysokobiałkowym co najmniej 20% energii powinno pochodzić z białka (Rozporządzenie (WE) Nr 1924/2006). Kryterium to spełniły próby HF-30, HF-35 i HF-40, cechujące się zawartością białka na poziomie 19,53-20,87% s.m., dla których udział energii z białka wynosił odpowiednio 20,44-22,15%. Podobny odsetek energii z białka uzyskali Pojic i in. (2015) w chlebie pszennym z dodatkiem wyłoków konopnych. Badania te wykazały, że dodatek wyłoków konopnych do pieczywa pszenneego na poziomie 20% pozwalał uzyskać produkt, w którym 19,76% energii dostarczało białko. Zawartość białka w próbach z tym samym dodatkiem mąki konopnej i wyłoków konopnych, tj. HF-5 i HC-5 oraz HF-10 i HC-10 nie różniła się statystycznie ( $p \leq 0,05$ ).

Zawartość tłuszczu w próbach HF-5 i HF-40 wahała się od 1,64 do 3,98% s.m., natomiast w próbach HC-2.5 i HC-10 od 1,76 do 2,61% s.m. Dodatek mąki konopnej na poziomie 40% spowodował ponad trzykrotny wzrost zawartości tłuszczu w stosunku do próby kontrolnej (CON), podczas gdy najwyższy dodatek wyłoków (HC-10) zwiększył zawartość tego makroskładnika ponad dwukrotnie.

Makaron z surowcami konopnymi może być ważnym źródłem błonnika pokarmowego w diecie. Zgodnie z normami żywieniowymi obowiązującym w większości krajów, zaleca się codzienne spożycie błonnika na poziomie 25-35 g dla osób dorosłych (Stephen i in., 2017). Porcja (75 g) makaronu zawierająca 30% mąki konopnej może pokryć w 50% codzienne zapotrzebowanie na błonnik pokarmowy. Stosunek błonnika rozpuszczalnego do nierozpuszczalnego w żywności powinien wynosić 1:3 (Sobota i in., 2020). W niniejszym badaniu stosunek ten wahał się od 1:1,93: dla CON do 1: 6,73 dla HF-40. Makaron konopny nie jest zatem dobrym źródłem błonnika rozpuszczalnego, ponieważ dominującą frakcją jest tu błonnik nierozpuszczalny. Dlatego przy komponowaniu posiłków z makaronem konopnym należy wziąć pod uwagę możliwość dodatku składników, np. warzyw, zasobniejszych w rozpuszczalną frakcję błonnika.

Zawartość popiołu w próbie CON wynosiła 0,75% s.m. Dodatek 30% mąki konopnej zwiększał tę zawartość około 4-krotnie, natomiast dodatek 10% wyłoków około 1,8-krotnie. Wartość energetyczna prób zmniejszała się wraz z dodatkiem surowców konopnych, co wynika głównie ze zwiększonej zawartości niskoenergetycznego składnika jakim jest błonnik pokarmowy. Parametr ten dla prób z dodatkiem mąki konopnej malał od 1% (dla HF-5) do 5% (dla HF-40) w porównaniu do CON. Obniżenie wartości energetycznej makaronu z dodatkiem

surowca wysokobłonnikowego odnotowali również Michalak-Majewska i in. (2020) w makaronie wzbogaconym łuską z cebuli.

**Tabela 13.** Zawartość  $\Delta$ -9-tetrahydrokannabinolu (THC) i kannabidiolu (CBD) w próbach makaronu

Próba	THC	CBD
	$\mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1} \text{ m.m.}$	
CON	nd	nd
HF-5	36,00 <sup>l</sup> ±1,00	53,00 <sup>l</sup> ±2,00
HF-10	72,00 <sup>k</sup> ±3,00	107,00 <sup>j</sup> ±3,00
HF-15	100,00 <sup>i</sup> ±3,00	160,00 <sup>h</sup> ±2,00
HF-20	144,00 <sup>h</sup> ±0,50	214,00 <sup>f</sup> ±4,00
HF-25	180,00 <sup>g</sup> ±2,00	267,00 <sup>d</sup> ±5,00
HF-30	221,00 <sup>f</sup> ±4,00	321,00 <sup>c</sup> ±6,00
HF-35	255,00 <sup>e</sup> ±5,00	374,00 <sup>b</sup> ±2,00
HF-40	288,00 <sup>c</sup> ±2,00	428,00 <sup>a</sup> ±3,00
HC-2,5	141,00 <sup>i</sup> ±3,00	56,00 <sup>k</sup> ±3,00
HC-5	282,00 <sup>d</sup> ±3,00	111,00 <sup>i</sup> ±4,00
HC-7,5	423,00 <sup>b</sup> ±2,00	167,00 <sup>g</sup> ±5,00
HC-10	565,00 <sup>a</sup> ±1,00	227,00 <sup>e</sup> ±1,00

CON – próba kontrolna; HF – makaron z dodatkiem mąki konopnej; HC – makaron z dodatkiem wyciągów konopnych. Wartości (n = 3) oznaczone różnymi literami w tej samej kolumnie różnią się istotnie (Test Tukeya,  $p \leq 0,05$ ).

Ważnym aspektem bezpieczeństwa żywności zawierającej komponenty konopne jest zawartość THC (tetrahydrokannabinolu) i CBD (kannabidiolu) w produktach. Zawartość kannabinoidów we wzbogaconych próbach makaronu przedstawiono w Tabeli 13. W zależności od kraju, dozwolony poziom THC w żywności znacząco się różni. Zgodnie z danymi opublikowanymi przez Fresh Hemp Foods Ltd. (2018), dzienne dopuszczalne spożycie THC z żywnością dla osoby o średniej masie ciała 70 kg powinno mieścić się w zakresie 70-490  $\mu\text{g}$ . Biorąc pod uwagę, że dzienne spożycie makaronu w przeliczeniu na suchy produkt powinno wynosić ok. 75 g (PHE, 2020), spożycie zalecanej porcji makaronu wzbogaconego komponentami konopnymi wiąże się z podażą THC w zakresie od 27  $\mu\text{g}$  dla próby HF-5 do 424  $\mu\text{g}$  dla próby HC-10. Zawartość CBD we wszystkich próbach również

spełniała ustalone normy, dopuszczające dzienne spożycie kannabidiolu przez dorosłą osobę na poziomie do 20 mg (Australia New Zealand Food Standards Code–Standard 1.4.4. 2020), co wskazuje na bezpieczeństwo zdrowotne produktów.

## **Jakość kulinarna**

Minimalny czas gotowania prób makaronu (Tabela 14) wzrastał wraz z dodatkiem wytlóków konopnych i mąki konopnej. Podobną tendencję zaobserwowali Sykut-Domańska i in. (2020), wzbogacając makarony wytlókami i mąką z kokosa oraz Zarzycki i in. (2020), którzy fortyfikowali makarony mąką i wytlókami lnianymi. Tendencja ta może wynikać ze wzrostu zawartości TDF w produktach. Błonnik pokarmowy, wykazując wysoką absorpcję wody, konkurował o wodę ze skrobią, utrudniając jej pęcznienie i opóźniając kleikowanie granulek skrobi. W rezultacie czas gotowania makaronu ulegał wydłużeniu.

Współczynnik przyrostu masy badanych prób przekraczał wartość 2,0. W niniejszym badaniu wskaźnik ten wzrastał wraz ze wzrostem udziału mąki konopnej do 20%, a następnie malał. Można stwierdzić, że wysokiemu udziałowi mąki konopnej towarzyszyło znaczne osłabienie sieci glutenowej. Może to być spowodowane osłabieniem matrycy glutenowej w wyniku wprowadzenia do receptur makaronów surowców konopnych, które cechowały się wysoką zawartością błonnika pokarmowego i białka, ale nie zawierały glutenu. Należy zauważyć, że główne składniki białek nasion konopi tj. rozpuszczalne w wodzie albuminy i rozpuszczalne w roztworze soli globuliny (edestyny), osłabiają matrycę białkową i wpływają na pogorszenie jakości makaronu. Podobną tendencję zaobserwowano w **Publikacji I** badając makarony z dodatkiem mąki z nasion roślin strączkowych. Ten sam argument może tłumaczyć wyższe straty suchej substancji odnotowane podczas gotowania makaronów wzbogaconych komponentami konopnymi. Straty we wszystkich próbach nie przekroczyły zalecanej wielkości wynoszącej 8% s.m. Niemniej wartość tego parametru znacząco wzrosła wraz z dodatkiem surowców konopnych, przy czym większe straty odnotowano dla prób wzbogacanych wytlókami. Straty na poziomie 5,45% s.m. odnotowano dla próby z 20% udziałem mąki konopnej i tylko 7,5% udziałem wytlóków. Większe wartości strat suchej substancji podczas gotowania makaronów wzbogaconych wytlókami konopnymi mogły być związane z większymi rozmiarami cząstek wytlóków w porównaniu z mąką konopną. Dodane do makaronu surowce wysokobłonnikowe, charakteryzujące się dużym rozmiarem cząstek, mogły utrudniać tworzenie się jednolitej matrycy glutenowej w cieście makaronowym i dezintegrować jej ciągłość. Podczas gotowania woda łatwiej wnikała w strukturę makaronu, a odkryta skrobia

była bardziej podatna na wymywanie, odpowiadając w efekcie za większe straty suchej substancji podczas gotowania (Sobota i in., 2015a). Podobną tendencję odnotowali Sykut-Domańska i in. (2020), wzbogacając makaron produktami ubocznymi z przetwórstwa kokosa oraz Sobota i in. (2015a), fortyfikując makaron otrębami pszennymi.

**Tabela 14.** Jakość kulinarna makaronów wzbogaconych komponentami konopnymi

Próba	Minimalny czas	Współczynnik	Straty suchej substancji
	gotowania	przyrostu masy	podczas gotowania
	Min		% s.m.
CON	6,00 <sup>f</sup> ±0,00	2,11 <sup>cd</sup> ±0,03	4,74 <sup>g</sup> ±0,10
HF-5	6,50 <sup>e</sup> ±0,00	2,11 <sup>cd</sup> ±0,08	5,01 <sup>efg</sup> ±0,10
HF-10	7,00 <sup>d</sup> ±0,25	2,17 <sup>abc</sup> ±0,02	5,17 <sup>def</sup> ±0,03
HF-15	7,50 <sup>c</sup> ±0,25	2,24 <sup>ab</sup> ±0,01	5,33 <sup>de</sup> ±0,10
HF-20	8,00 <sup>b</sup> ±0,25	2,25 <sup>a</sup> ±0,01	5,45 <sup>cd</sup> ±0,07
HF-25	8,50 <sup>a</sup> ±0,25	2,21 <sup>abc</sup> ±0,07	5,77 <sup>bc</sup> ±0,11
HF-30	8,50 <sup>a</sup> ±0,00	2,12 <sup>bcd</sup> ±0,05	5,91 <sup>ab</sup> ±0,16
HF-35	8,50 <sup>a</sup> ±0,25	2,09 <sup>cd</sup> ±0,13	6,05 <sup>ab</sup> ±0,10
HF-40	8,50 <sup>a</sup> ±0,00	2,04 <sup>d</sup> ±0,12	6,26 <sup>a</sup> ±0,05
HC-2.5	6,50 <sup>e</sup> ±0,25	2,21 <sup>abc</sup> ±0,07	4,89 <sup>fg</sup> ±0,20
HC-5	7,50 <sup>c</sup> ±0,25	2,24 <sup>a</sup> ±0,07	5,17 <sup>def</sup> ±0,25
HC-7.5	7,50 <sup>c</sup> ±0,00	2,24 <sup>a</sup> ±0,06	5,45 <sup>cd</sup> ±0,12
HC-10	8,00 <sup>b</sup> ±0,25	2,26 <sup>a</sup> ±0,11	5,51 <sup>cd</sup> ±0,27

CON – próba kontrolna; HF – makaron z dodatkiem mąki konopnej; HC – makaron z dodatkiem wytlóków konopnych. Wartości (n = 4) oznaczone różnymi literami w tej samej kolumnie różnią się istotnie (Test Tukeya,  $p \leq 0,05$ ).

## Parametry fizyczne

Wartość WSI (współczynnik rozpuszczalności wodnej suchej substancji) dla prób makaronu wzbogaconych minimum 5% dodatkiem mąki konopnej była wyższa w porównaniu z próbą kontrolną, jednak nie była to różnica statystycznie istotna ( $p \leq 0,05$ ) (Tabela 15). W przypadku prób wzbogaconych HC (wytłoki konopne) nie odnotowano wpływu dodatku komponentu konopnego na wartość WSI. Jednakże dodatek mąki konopnej oraz wytlóków znacząco wpłynął na wskaźnik absorpcji wody (WAI). Wartość WAI w próbach z dodatkiem mąki konopnej wzrastała do poziomu wzbogacenia HF (mąka konopna) równego 20%, a następnie malała. Podobną tendencję odnotowano w przypadku wskaźnika przyrostu masy (Tabela 14). Może to być związane z osłabieniem sieci białkowej makaronu, który przy dużej

substytucji komponentem konopnym nie jest w stanie wchłonąć więcej wody. W przypadku makaronu z dodatkiem wytlóków WAI wzrastał nieznacznie wraz ze zwiększeniem poziomu dodatku tego surowca. Wyniki WSI nie różniły się znacząco dla tych samych poziomów dodatku HF i HC (5%, 10%), co oznacza, że rodzaj komponentu konopnego nie wpływa znacząco na rozpuszczalność wodną suchej substancji w makaronach.

**Tabela 15.** Cechy fizyczne surowców i prób makaronów

Próby	WSI	WAI
	% s.m.	%
<b>Semolina</b>	4,62 <sup>b</sup> ±0,08	79,61 <sup>b</sup> ±0,61
<b>Mąka konopna</b>	9,37 <sup>a</sup> ±0,03	133,55 <sup>a</sup> ±1,83
<b>Wytłoki konopne</b>	9,11 <sup>a</sup> ±0,09	128,89 <sup>a</sup> ±0,49
<b>CON</b>	6,94 <sup>e</sup> ±0,04	131,84 <sup>f</sup> ±3,93
<b>HF-5</b>	7,14 <sup>de</sup> ±0,08	173,21 <sup>de</sup> ±4,59
<b>HF-10</b>	7,63 <sup>abc</sup> ±0,08	187,02 <sup>cd</sup> ±2,53
<b>HF-15</b>	7,86 <sup>a</sup> ±0,12	208,98 <sup>b</sup> ±0,55
<b>HF-20</b>	8,00 <sup>a</sup> ±0,14	235,09 <sup>a</sup> ±2,30
<b>HF-25</b>	8,05 <sup>a</sup> ±0,01	220,57 <sup>ab</sup> ±3,82
<b>HF-30</b>	7,81 <sup>ab</sup> ±0,04	205,34 <sup>bc</sup> ±2,30
<b>HF-35</b>	7,71 <sup>ab</sup> ±0,19	168,27 <sup>de</sup> ±3,40
<b>HF-40</b>	7,66 <sup>ab</sup> ±0,30	158,03 <sup>e</sup> ±2,85
<b>HC-2.5</b>	7,07 <sup>e</sup> ±0,11	170,07 <sup>de</sup> ±3,09
<b>HC-5</b>	7,18 <sup>cde</sup> ±0,05	176,61 <sup>de</sup> ±3,43
<b>HC-7.5</b>	7,37 <sup>bcd</sup> ±0,15	182,18 <sup>d</sup> ±2,13
<b>HC-10</b>	7,61 <sup>bcd</sup> ±0,05	184,87 <sup>d</sup> ±1,43

CON – próba kontrolna; HF – makaron z dodatkiem mąki konopnej; HC – makaron z dodatkiem wytlóków konopnych. WSI – indeks rozpuszczalności wodnej; WAI – współczynnik absorpcji wodnej. Wartości (n = 4) oznaczone różnymi literami w tej samej kolumnie różnią się istotnie (Test Tukeya, p ≤ 0,05).

Parametry tekstury ugotowanego makaronu uzyskane w TPA (Texture Profile Analysis) przedstawiono w tabeli 16. Wyniki wskazują, że ani surowce użyte w modelu, ani ich ilość nie miały wpływu na sprężystość produktów. Sprężystość wszystkich prób makaronów wzbogaconych mąką i wytlókami konopnymi nie różniła się statystycznie w porównaniu z próbą CON. Wszystkie próby makaronu cechowały się wysoką sprężystością. Zostało to również zauważone przez panel konsumencki, który ocenił ten parametr bardzo wysoko

w przypadku wszystkich ocenianych produktów (Tabela 17). Twardość makaronu wahała się w zakresie od 2,93 N dla próby CON do 5,80 N dla makaronu HC-10. Parametr ten wzrastał w funkcji zwiększającego się w zakresie od 5 do 25% dodatku mąki konopnej, a następnie malał w przypadku produktów wzbogaconych 30-40% dodatkiem HF. Podobną tendencję zaobserwowano również w przypadku żujności makaronu, wartości WAI i wskaźnika przyrostu masy w czasie gotowania produktów. Zgodnie z Monteiro i in. (2019), próby makaronu o wyższej zawartości białka stają się twardsze. Wyniki badań własnych wykazały jednak, że dzieje się tak tylko do pewnego poziomu dodatku. Mąka konopna wprowadzona do makaronu wpływała nie tylko na wzrost zawartość białka, ale powodowała także wzrost zawartość błonnika pokarmowego, co może sprzyjać dezintegracji struktury matrycy białkowej w makaronie, a tym samym pogorszyć parametry tekstury produktu (Makhlouf i in., 2019). Próby z dodatkiem wyłoków charakteryzowały się znacznie większą twardością i żujnością niż makarony z porównywalną zawartością mąki konopnej. Większa granulacja surowca i utrudniony przepływ ciasta przez otwory kształtujące w matrycy przyczyniły się do zmniejszenia gęstości uzwojenia świderków, co jest wyraźnie widoczne na zdjęciach zamieszczonych w Tabeli 18 (odpowiednio próby HC-2.5 - HC-10). To z kolei spowodowało wyższą twardość produktu. Kohezyjność jest miarą spoistości materiału. W przypadku makaronu z mąką konopną wartość kohezyjności zmniejszyła się wraz z dodatkiem tego surowca. Było to najprawdopodobniej związane z wyższą zawartością błonnika, który dezintegruje strukturę siatki glutenowej w makaronie. Spoistość makaronu z wyłokami konopnymi była niższa w porównaniu do prób z taką samą zawartością mąki konopnej. Większe cząstki tego surowca powodowały większą dezintegrację matrycy białkowej i tym samym zmniejszały kohezyjność produktów.

**Tabela 16.** Parametry tekstury ugotowanych prób makaronów

Próba	Twardość	Sprężystość	Kohezyjność	Żujność
	N			N
CON	2,93 <sup>e</sup> ±0,23	0,991 <sup>a</sup> ±0,006	0,66 <sup>a</sup> ±0,01	1,98 <sup>de</sup> ±0,15
HF-5	2,98 <sup>e</sup> ±0,21	0,991 <sup>a</sup> ±0,005	0,66 <sup>a</sup> ±0,01	1,93 <sup>de</sup> ±0,15
HF-10	3,70 <sup>cde</sup> ±0,23	0,991 <sup>a</sup> ±0,006	0,63 <sup>ab</sup> ±0,01	2,35 <sup>bcd</sup> ±0,15
HF-15	4,00 <sup>cde</sup> ±0,23	0,991 <sup>a</sup> ±0,006	0,61 <sup>abc</sup> ±0,01	2,38 <sup>bcd</sup> ±0,15
HF-20	4,32 <sup>bcd</sup> ±0,21	0,992 <sup>a</sup> ±0,005	0,58 <sup>bcd</sup> ±0,01	2,49 <sup>bcd</sup> ±0,15
HF-25	4,34 <sup>bcd</sup> ±0,24	0,991 <sup>a</sup> ±0,006	0,58 <sup>bcd</sup> ±0,01	2,49 <sup>bcd</sup> ±0,17
HF-30	3,69 <sup>cde</sup> ±0,23	0,987 <sup>a</sup> ±0,006	0,58 <sup>bcd</sup> ±0,01	2,06 <sup>cde</sup> ±0,16
HF-35	3,41 <sup>de</sup> ±0,24	0,989 <sup>a</sup> ±0,006	0,56 <sup>cd</sup> ±0,01	1,88 <sup>de</sup> ±0,17
HF-40	2,94 <sup>e</sup> ±0,23	0,987 <sup>a</sup> ±0,006	0,56 <sup>cd</sup> ±0,01	1,68 <sup>e</sup> ±0,16
HC-2.5	4,86 <sup>abc</sup> ±0,27	0,990 <sup>a</sup> ±0,007	0,60 <sup>abc</sup> ±0,02	2,92 <sup>ab</sup> ±0,18
HC-5	5,42 <sup>ab</sup> ±0,27	0,991 <sup>a</sup> ±0,007	0,53 <sup>d</sup> ±0,02	2,88 <sup>abc</sup> ±0,18
HC-7.5	5,61 <sup>a</sup> ±0,28	0,991 <sup>a</sup> ±0,007	0,52 <sup>d</sup> ±0,02	3,03 <sup>ab</sup> ±0,18
HC-10	5,80 <sup>a</sup> ±0,24	0,992 <sup>a</sup> ±0,006	0,52 <sup>d</sup> ±0,01	3,38 <sup>a</sup> ±0,17

CON – próba kontrolna; HF – makaron z dodatkiem mąki konopnej; HC – makaron z dodatkiem wytlóków konopnych. Wartości (n = 20) oznaczone różnymi literami w tej samej kolumnie różnią się istotnie (Test Tukeya, p ≤ 0,05).

## Ocena organoleptyczna

Akceptacja konsumentów jest jednym z najważniejszych kryteriów oceny nowo opracowanego produktu spożywczego. Oliveira i in. (2013) podają, że produkt jest akceptowalny, gdy jego noty nie są niższe niż 70% noty maksymalnej, czyli w skali pięciopunktowej jest to próg równy notcie 3,5. Wszystkie oceniane produkty z dodatkiem komponentów konopnych uzyskały wysokie noty w ocenie organoleptycznej. W przypadku produktów ugotowanych średnie oceny organoleptyczne były większe od 4 co dowodzi o potencjalnie wysokiej akceptowalności tych produktów przez konsumentów (Tabela 17). Parametrem znacząco ograniczającym jakość kulinarną ugotowanych makaronów był smak. Najniższe oceny smaku, który według Russo i Reggiani (2015) jest najważniejszą dla konsumentów cechą żywności, odnotowano dla prób HF-30 - HF40. Były one niższe od 3,5,

dlatego też te próby makaronu należy uznać za nieakceptowalne pod względem smaku. Podczas oceny tego parametru paneliści zgłaszali gorzki posmak produktu. Może to być związane z obecnością saponin w nasionach konopi (Harris, 1997). Jak podają Burton i in. (2022), ich zawartość w suchej masie może sięgać nawet 69 mg/kg.
















**Tabela 17. Ocena organoleptyczna prób makaronów wzbogaconych komponentami konopnymi**

Próba	Makaron nieugotowany				Makaron ugotowany							
	Wygląd	Barwa	Zapach	Ocena średnia	Wygląd	Barwa	Smak	Zapach	Twardość	Kleistość	Sprężystość	Ocena średnia
CON	5,00 <sup>a</sup> ±0,00	4,89 <sup>a</sup> ±0,33	5,00 <sup>a</sup> ±0,00	4,96 <sup>a</sup> ±0,11	4,78 <sup>a</sup> ±0,44	4,89 <sup>a</sup> ±0,33	4,89 <sup>a</sup> ±0,33	4,89 <sup>a</sup> ±0,33	4,89 <sup>a</sup> ±0,33	4,67 <sup>a</sup> ±0,5	4,78 <sup>a</sup> ±0,44	4,83 <sup>a</sup> ±0,27
HF-5	4,78 <sup>ab</sup> ±0,67	4,67 <sup>a</sup> ±0,50	4,56 <sup>ab</sup> ±0,53	4,67 <sup>ab</sup> ±0,33	4,78 <sup>a</sup> ±0,44	4,78 <sup>ab</sup> ±0,44	4,33 <sup>ab</sup> ±0,50	4,44 <sup>ab</sup> ±0,53	4,89 <sup>a</sup> ±0,33	4,89 <sup>a</sup> ±0,33	4,78 <sup>a</sup> ±0,44	4,70 <sup>ab</sup> ±0,26
HF-10	4,44 <sup>abc</sup> ±0,53	4,33 <sup>a</sup> ±0,50	4,78 <sup>ab</sup> ±0,44	4,52 <sup>abc</sup> ±0,34	4,78 <sup>a</sup> ±0,44	4,56 <sup>abc</sup> ±0,53	4,33 <sup>ab</sup> ±0,71	4,22 <sup>abc</sup> ±0,67	4,89 <sup>a</sup> ±0,33	4,89 <sup>a</sup> ±0,33	4,78 <sup>a</sup> ±0,44	4,63 <sup>ab</sup> ±0,28
HF-15	4,56 <sup>ab</sup> ±0,53	4,44 <sup>a</sup> ±0,53	4,44 <sup>ab</sup> ±0,53	4,48 <sup>abc</sup> ±0,41	4,56 <sup>a</sup> ±0,53	4,33 <sup>abc</sup> ±0,50	4,11 <sup>abc</sup> ±0,33	4,33 <sup>abc</sup> ±0,71	4,78 <sup>a</sup> ±0,44	4,89 <sup>a</sup> ±0,33	4,89 <sup>a</sup> ±0,33	4,56 <sup>abc</sup> ±0,24
HF-20	4,56 <sup>ab</sup> ±0,53	4,67 <sup>a</sup> ±0,50	4,22 <sup>ab</sup> ±0,67	4,48 <sup>abc</sup> ±0,47	4,44 <sup>ab</sup> ±0,53	4,44 <sup>abc</sup> ±0,73	3,78 <sup>bcd</sup> ±0,78	3,89 <sup>abc</sup> ±0,60	4,67 <sup>a</sup> ±0,50	4,78 <sup>a</sup> ±0,44	4,78 <sup>a</sup> ±0,44	4,30 <sup>bcd</sup> ±0,24
HF-25	4,56 <sup>ab</sup> ±0,53	4,67 <sup>a</sup> ±0,50	4,22 <sup>ab</sup> ±0,67	4,48 <sup>abc</sup> ±0,47	4,33 <sup>ab</sup> ±0,50	4,11 <sup>abc</sup> ±0,60	3,78 <sup>bcd</sup> ±0,73	3,89 <sup>abc</sup> ±0,60	4,78 <sup>a</sup> ±0,44	4,89 <sup>a</sup> ±0,33	4,89 <sup>a</sup> ±0,33	4,33 <sup>bcd</sup> ±0,23
HF-30	4,22 <sup>abc</sup> ±0,67	4,44 <sup>a</sup> ±0,73	4,33 <sup>ab</sup> ±0,71	4,33 <sup>abc</sup> ±0,29	4,22 <sup>ab</sup> ±0,67	3,89 <sup>bc</sup> ±0,60	3,44 <sup>bcd</sup> ±0,50	3,56 <sup>bc</sup> ±0,73	4,78 <sup>a</sup> ±0,44	4,89 <sup>a</sup> ±0,33	4,78 <sup>a</sup> ±0,44	4,16 <sup>cd</sup> ±0,15
HF-35	4,00 <sup>bc</sup> ±0,71	4,11 <sup>a</sup> ±0,60	4,00 <sup>b</sup> ±0,50	4,04 <sup>bc</sup> ±0,42	3,89 <sup>ab</sup> ±0,6	3,67 <sup>c</sup> ±0,87	3,44 <sup>bcd</sup> ±0,60	3,56 <sup>bc</sup> ±0,73	4,89 <sup>a</sup> ±0,33	4,89 <sup>a</sup> ±0,33	4,89 <sup>a</sup> ±0,33	4,13 <sup>cd</sup> ±0,38
HF-40	3,56 <sup>c</sup> ±0,73	4,22 <sup>a</sup> ±0,67	4,00 <sup>b</sup> ±0,50	3,93 <sup>c</sup> ±0,32	3,56 <sup>b</sup> ±0,88	3,78 <sup>c</sup> ±0,67	3,11 <sup>cd</sup> ±0,53	3,33 <sup>c</sup> ±0,87	4,89 <sup>a</sup> ±0,33	4,78 <sup>a</sup> ±0,44	4,89 <sup>a</sup> ±0,33	4,10 <sup>d</sup> ±0,33
HC-2.5	4,33 <sup>abc</sup> ±0,71	4,11 <sup>a</sup> ±0,60	4,44 <sup>ab</sup> ±0,73	4,30 <sup>abc</sup> ±0,54	4,44 <sup>ab</sup> ±0,53	4,22 <sup>abc</sup> ±0,67	4,00 <sup>abcd</sup> ±0,71	4,44 <sup>ab</sup> ±0,53	4,78 <sup>a</sup> ±0,44	4,67 <sup>a</sup> ±0,50	5,00 <sup>a</sup> ±0,00	4,51 <sup>abcd</sup> ±0,20
HC-5	4,22 <sup>abc</sup> ±0,83	4,22 <sup>a</sup> ±0,83	4,33 <sup>ab</sup> ±0,71	4,26 <sup>bc</sup> ±0,64	4,22 <sup>ab</sup> ±0,67	4,33 <sup>abc</sup> ±0,71	3,78 <sup>bcd</sup> ±0,83	4,11 <sup>abc</sup> ±0,78	4,89 <sup>a</sup> ±0,33	4,78 <sup>a</sup> ±0,44	4,89 <sup>a</sup> ±0,33	4,43 <sup>abcd</sup> ±0,34
HC-7.5	4,11 <sup>abc</sup> ±0,78	4,33 <sup>a</sup> ±0,50	4,22 <sup>ab</sup> ±0,83	4,22 <sup>bc</sup> ±0,62	4,22 <sup>ab</sup> ±0,67	4,11 <sup>abc</sup> ±0,78	3,78 <sup>bcd</sup> ±0,67	4,00 <sup>abc</sup> ±0,71	4,89 <sup>a</sup> ±0,33	4,78 <sup>a</sup> ±0,44	5,00 <sup>a</sup> ±0,00	4,40 <sup>abcd</sup> ±0,30
HC-10	4,11 <sup>abc</sup> ±0,33	4,00 <sup>a</sup> ±0,50	4,22 <sup>ab</sup> ±0,67	4,11 <sup>bc</sup> ±0,37	4,11 <sup>ab</sup> ±0,60	3,78 <sup>c</sup> ±0,44	3,78 <sup>bcd</sup> ±0,83	4,00 <sup>abc</sup> ±0,50	4,78 <sup>a</sup> ±0,44	4,78 <sup>a</sup> ±0,44	5,00 <sup>a</sup> ±0,00	4,32 <sup>bcd</sup> ±0,21

CON – próba kontrolna; HF – makaron z dodatkiem mąki konopnej; HC – makaron z dodatkiem wyłoków konopnych. Wartości (n = 18) oznaczone różnymi literami w tej samej kolumnie różnią się istotnie (Test Tukeya, p ≤ 0,05).

**Tabela 18.** Zdjęcia otrzymanych prób makaronu

CON	HF-5	HF-10	HF-15	HF-20
				
	HF-25	HF-30	HF-35	HF-40
				
	HC-2.5	HC-5	HC-7.5	HC-10
				

CON – próba kontrolna; HF – makaron z dodatkiem mąki konopnej; HC – makaron z dodatkiem wycieków konopnych. U góry zdjęcia znajdują się próby ugotowane, natomiast na dole próby nieugotowane.

### 5.3. Badania wpływu dodatku zarodków pszennych i izolatu białka z zarodków pszennych na właściwości fizykochemiczne oraz jakość kulinarną makaronów (Model doświadczenia III – Publikacja III)

W ramach modelu doświadczenia III przygotowano mieszanki semoliny durum, zarodków pszennych i białka wyizolowanego z zarodków pszennych, a ich szczegółowy skład zaprezentowano w Tabeli 19.

Tabela 19. Model doświadczenia III

Próba	Receptura		Parametry produkcji		
	Semolina	WG [%]	WGPI	Ciśnienie tłoczenia [MPa]	Wydajność prasy [kg/h]
CON	100			11,65 <sup>a</sup> ± 0,71	32,00 <sup>a</sup> ± 0,11
WG-5	95	5		11,10 <sup>b</sup> ± 1,41	30,34 <sup>b</sup> ± 0,30
WG-10	90	10		10,65 <sup>bc</sup> ± 2,12	27,74 <sup>c</sup> ± 0,30
WG-15	85	15		10,00 <sup>de</sup> ± 1,41	24,17 <sup>de</sup> ± 0,22
WG-20	80	20		9,85 <sup>e</sup> ± 0,71	23,53 <sup>ef</sup> ± 0,58
WG-25	75	25		9,70 <sup>e</sup> ± 1,41	22,45 <sup>f</sup> ± 0,42
WGPI-4	96		4	11,05 <sup>b</sup> ± 0,71	28,51 <sup>c</sup> ± 0,53
WGPI-8	92		8	10,35 <sup>cd</sup> ± 0,71	25,40 <sup>d</sup> ± 0,36
WGPI-12	88		12	9,95 <sup>de</sup> ± 0,71	23,13 <sup>ef</sup> ± 0,06

CON- próba kontrolna (100% semolina durum); WG - makaron z zarodkami pszennymi; WGPI - makaron z izolatem białka z zarodków pszennych.

#### Parametry produkcji

Tabela 19 przedstawia model doświadczenia i podstawowe parametry zarejestrowane podczas produkcji makaronu, takie jak ciśnienie i wydajność tłoczenia. Najwyższą wartość ciśnienia tłoczenia odnotowano dla próby CON (11,65 MPa). Każdorazowa fortyfikacja, zarówno WG (zarodkami pszennymi), jak i WGPI (izolatem białka z zarodków pszennych) powodowały obniżenie ciśnienia tłoczenia. Statystycznie istotne różnice ( $p \leq 0,05$ ) odnotowano dla 5% dodatku WG i 4% dodatku WGPI. Wraz ze wzrostem poziomu substytucji semoliny WG i WGPI wydajność tłoczenia również malała, z 32,00 kg/h dla CON do 22,45 kg/h dla próby WG-25 i do 23,13 kg/h dla próby WGPI-12. Również w przypadku wydajności tłoczenia

nawet najmniejszy dodatek WG i WGPI spowodował statystycznie istotne obniżenie tego parametru. Wynika z tego, że zwiększona zawartość białka w próbach może skutkować zwiększoną lepkością ciasta, a tym samym niższą wydajnością tłoczenia (Guy, 2001). Z drugiej strony zwiększona zawartość tłuszczu wykazującego właściwości smarne (Zarzycki i in., 2021), może ułatwiać przepływ ciasta przez otwory matrycy prasy i tym samym stymulować wydajność procesu. Tłumaczy to mniejsze różnice w wydajności tłoczenia zaobserwowane dla prób z WG, które cechowały się większą zawartością tłuszczu, podczas gdy próby z WGPI odznaczały się niższą zawartością lipidów (Tabela 19 i 20).

## **Skład chemiczny**

Zawartość białka w semolinie i zarodkach pszennych (WG) wynosiła odpowiednio 15,27% i 31,75% s.m. (Tabela 20). Badania wykazały, że uzyskany izolat białka z zarodków pszennych (WGPI) zawierał aż 91,76% s.m. białka, co jest wartością większą niż w przypadku izolatów uzyskanych przez Hettiarachchy i in. (1996) oraz Zhu i in. (2006b), w których zawartość białka wynosiła odpowiednio 90% i 84,18%. Tak wysoka koncentracja białka w otrzymanym preparacie stwarza ogromne możliwości jego wykorzystania do wzbogacania produktów spożywczych, zwłaszcza wegańskich. Jeśli chodzi o zawartość tłuszczu, WG wyróżniały się najwyższą jego zawartością spośród wszystkich badanych surowców (11,30% s.m.). W WGPI zawartość tłuszczu była znikoma (0,12% s.m.) ze względu na odtłuszczenie zarodków przed izolacją białka. Preparat WGPI zawierał również mniej błonnika pokarmowego (TDF) i węglowodanów w porównaniu z innymi surowcami zastosowanymi w badaniach (Tabela 20).

Analizę składu chemicznego przeprowadzono również dla prób makaronu, zarówno nieugotowanego, jak i ugotowanego (Tabela 21). Dodatek WG i WGPI znacząco zwiększył zawartość składników odżywczych w makaronie takich jak białko i związki mineralne oznaczane jako popiół. Należy podkreślić, że każdorazowy dodatek WG lub WGPI spowodował statystycznie istotny wzrost zawartości białka ( $p \leq 0,05$ ) w stosunku do CON. Zawartość popiołu wzrosła z 0,95% s.m. dla próby CON do 1,86% s.m. dla WG-25 oraz do 1,64% s.m. dla WGPI-12. Z kolei zawartość białka wzrosła z 14,88% s.m. dla CON do 20,08% s.m. dla WG-25 i do 22,77% s.m. dla WGPI-12, co stanowi wzrost odpowiednio o 35% i 53% w porównaniu do zawartości białka w próbie kontrolnej. W badaniach z koncentratem białka pozyskanym z otrębów pszennych, który wykorzystano do wzbogacenia spaghetti, zawartość

białka wzrosła z 12,3% s.m. dla próby kontrolnej do 23,4% s.m. w przypadku próby z 20% dodatkiem koncentratu (Alzuwaid i in., 2021).

**Tabela 20.** Skład chemiczny surowców

Próba	Wilgotność	Popiół	Białko	Tłuszcz	IDF	SDF	TDF	Węglowodany*
	%	% s.m.						
<b>Semolina durum</b>	10,14 <sup>a</sup> ± 0,24	0,92 <sup>c</sup> ± 0,01	15,27 <sup>c</sup> ± 1,20	1,12 <sup>b</sup> ± 0,11	2,93 <sup>b</sup> ± 0,31	1,80 <sup>b</sup> ± 0,1	4,74 <sup>b</sup> ± 0,41	77,95 <sup>a</sup> ± 1,62
<b>Zarodki pszenne</b>	5,37 <sup>c</sup> ± 0,06	4,61 <sup>a</sup> ± 0,02	31,75 <sup>b</sup> ± 0,80	11,30 <sup>a</sup> ± 0,03	4,50 <sup>a</sup> ± 0,05	3,39 <sup>a</sup> ± 0,2	7,90 <sup>a</sup> ± 0,25	44,44 <sup>b</sup> ± 0,60
<b>Izolat białka z zarodków pszennych</b>	8,96 <sup>b</sup> ± 0,03	3,42 <sup>b</sup> ± 0,01	91,76 <sup>a</sup> ± 0,20	0,12 <sup>c</sup> ± 0,05	1,29 <sup>c</sup> ± 0,06	0,94 <sup>c</sup> ± 0,04	2,24 <sup>c</sup> ± 0,1	2,46 <sup>c</sup> ± 0,17

\* zawartość węglowodanów obliczona na podstawie różnicy. IDF - nierozpuszczalny błonnik pokarmowy. SDF - rozpuszczalny błonnik pokarmowy. TDF - całkowity błonnik pokarmowy. Wartości (n = 3) oznaczone różnymi literami w tej samej kolumnie różnią się istotnie (Test Tukeya, p ≤ 0,05).

Zawartość tłuszczu w próbach zwiększała się wraz z dodatkiem WG z 1,03 % s.m. do 4,80% s.m. dla WG-25 i zmniejszała się w wyniku zastosowania dodatku WGPI do 0,29% s.m. dla WGPI-12. W przypadku dodatku WG do żywności, wysoka zawartość tłuszczu bogatego w nienasycone kwasy tłuszczowe jest jednym z czynników ograniczających trwałość produktów ze względu na dużą podatność na oksydację NNKT (Boukid i in., 2018). W przypadku makaronu z WGPI cechującego się śladową zawartością tłuszczu, zjawisko to można wyeliminować, uzyskując produkt bardziej stabilny podczas przechowywania (Nadarajah i Mahendran, 2015).

Dodatek 25% WG wpływał na wzrost całkowitej zawartości błonnika pokarmowego (TDF). Próba WG-25 cechowała się wyższą o 50% zawartością TDF w porównaniu z próbą kontrolną (CON), podczas gdy dodatek 12% WGPI powodował obniżenie zawartości TDF o 12%. Odnotowane zmiany TDF w makaronach wzbogaconych WGPI nie były jednak istotne statystycznie ( $p \leq 0,05$ ). Makaron z WG można zatem uznać za lepsze źródło błonnika pokarmowego, a istotny statystycznie wzrost zawartości TDF zaobserwowano przy substytucji semoliny zarodkami pszennymi na poziomie równym i większym od 15%. Próby z dodatkiem 15-25% zarodków pszennych można uznać za produkty wysokobłonnikowe (minimum 6% błonnika pokarmowego). Próba WG-25 zawierała mniejsze ilości węglowodanów niż WGPI-12 (65,50% s.m. vs. 70,69% s.m.), co również przemawia na jej korzyść. Niemniej jednak zarówno dodatek zarodków jak i izolatu białka wpłynął na mniejszą zawartość tego makroskładnika w makaronach wzbogaconych w porównaniu do próby CON. Podobną tendencję odnotowali Zarzycki i in. (2021), dodając do makaronu wytloki z pszczeniaka mołdawskiego i uzyskując zmniejszenie zawartości węglowodanów w produktach.

**Tabela 21.** Skład chemiczny prób makaronu

Próba	Wilgotność	Popiół	Białko	Tłuszcz	IDF	SDF	TDF	Węglowodany*	Wartość energetyczna	Energia z białka
	%				% s.m.				kcal/100g s.m.	%
<b>Makaron nieugotowany</b>										
CON	10,00 <sup>abc</sup> ± 0,11	0,95 <sup>fA</sup> ± 0,02	14,88 <sup>gB</sup> ± 0,01	1,03 <sup>fA</sup> ± 0,13	2,91 <sup>bcA</sup> ± 0,13	2,26 <sup>cA</sup> ± 0,05	5,17 <sup>dA</sup> ± 0,17	77,96 <sup>aA</sup> ± 0,31	391,02 <sup>dA</sup> ± 0,2	15,23 <sup>hB</sup> ± 0,01
WG-5	9,81 <sup>bcd</sup> ± 0,07	1,12 <sup>efA</sup> ± 0,04	15,81 <sup>fB</sup> ± 0,07	1,74 <sup>eA</sup> ± 0,21	3,37 <sup>abA</sup> ± 0,37	1,95 <sup>cA</sup> ± 0,14	5,32 <sup>cdA</sup> ± 0,23	76,02 <sup>bA</sup> ± 0,42	393,55 <sup>cA</sup> ± 0,45	16,06 <sup>gB</sup> ± 0,08
WG-10	9,49 <sup>cde</sup> ± 0,29	1,26 <sup>deA</sup> ± 0,01	16,75 <sup>eB</sup> ± 0,04	2,75 <sup>dA</sup> ± 0,11	3,31 <sup>abcA</sup> ± 0,12	2,34 <sup>cA</sup> ± 0,02	5,65 <sup>cdA</sup> ± 0,14	73,59 <sup>eda</sup> ± 0,21	397,42 <sup>bA</sup> ± 0,27	16,85 <sup>fB</sup> ± 0,05
WG-15	9,10 <sup>de</sup> ± 0,34	1,53 <sup>cbA</sup> ± 0,07	17,79 <sup>dB</sup> ± 0,01	3,36 <sup>cA</sup> ± 0,09	3,34 <sup>abcA</sup> ± 0,23	3,04 <sup>bA</sup> ± 0,14	6,39 <sup>bcA</sup> ± 0,37	70,94 <sup>fA</sup> ± 0,22	397,90 <sup>bA</sup> ± 0,93	17,89 <sup>eB</sup> ± 0,05
WG-20	9,46 <sup>cde</sup> ± 0,09	1,68 <sup>abA</sup> ± 0,08	18,99 <sup>eB</sup> ± 0,01	4,02 <sup>bA</sup> ± 0,17	3,98 <sup>aA</sup> ± 0,46	3,27 <sup>abA</sup> ± 0,22	7,24 <sup>abA</sup> ± 0,68	68,06 <sup>gA</sup> ± 0,78	398,88 <sup>baA</sup> ± 0,19	19,04 <sup>dB</sup> ± 0,02
WG-25	8,98 <sup>e</sup> ± 0,27	1,86 <sup>aA</sup> ± 0,03	20,08 <sup>bB</sup> ± 0,03	4,80 <sup>aA</sup> ± 0,09	4,18 <sup>aA</sup> ± 0,21	3,58 <sup>aA</sup> ± 0,17	7,77 <sup>aA</sup> ± 0,04	65,50 <sup>hA</sup> ± 0,13	401,02 <sup>aA</sup> ± 0,21	20,03 <sup>cB</sup> ± 0,04
WGPI-4	10,56 <sup>abc</sup> ± 0,02	1,23 <sup>deA</sup> ± 0,05	19,02 <sup>cB</sup> ± 0,11	0,31 <sup>gA</sup> ± 0,01	2,97 <sup>bcA</sup> ± 0,08	2,03 <sup>cA</sup> ± 0,08	5,00 <sup>dA</sup> ± 0,01	74,45 <sup>cA</sup> ± 0,17	386,64 <sup>eA</sup> ± 0,14	19,67 <sup>cA</sup> ± 0,12
WGPI-8	10,10 <sup>abc</sup> ± 0,02	1,36 <sup>cdA</sup> ± 0,06	20,53 <sup>bB</sup> ± 0,39	0,30 <sup>gA</sup> ± 0,01	2,56 <sup>bcA</sup> ± 0,11	2,21 <sup>cA</sup> ± 0,03	4,78 <sup>dA</sup> ± 0,14	73,02 <sup>deA</sup> ± 0,2	386,59 <sup>eA</sup> ± 0,54	21,24 <sup>bB</sup> ± 0,37
WGPI-12	10,69 <sup>a</sup> ± 0,23	1,64 <sup>ba</sup> ± 0,05	22,77 <sup>ab</sup> ± 0,08	0,29 <sup>gA</sup> ± 0,01	2,42 <sup>cA</sup> ± 0,12	2,15 <sup>cA</sup> ± 0,01	4,57 <sup>dA</sup> ± 0,12	70,69 <sup>feA</sup> ± 0,01	385,98 <sup>eA</sup> ± 0,07	23,59 <sup>aB</sup> ± 0,08
<b>Makaron ugotowany</b>										
CON	67,4 <sup>a</sup> ± 0,25	0,93 <sup>eA</sup> ± 0,01	16,12 <sup>gA</sup> ± 0,04	0,78 <sup>efB</sup> ± 0,04	3,09 <sup>cdeA</sup> ± 0,09	2,18 <sup>bA</sup> ± 0,16	5,27 <sup>deA</sup> ± 0,25	77,4 <sup>aA</sup> ± 0,26	387,16 <sup>cB</sup> ± 0,74	16,66 <sup>fA</sup> ± 0,07
WG-5	66,38 <sup>b</sup> ± 0,18	1,09 <sup>deA</sup> ± 0,03	18,51 <sup>fA</sup> ± 0,64	1,39 <sup>eA</sup> ± 0,08	3,54 <sup>bcdA</sup> ± 0,29	1,83 <sup>bA</sup> ± 0,11	5,37 <sup>deA</sup> ± 0,18	73,65 <sup>bA</sup> ± 0,93	391,88 <sup>bB</sup> ± 0,07	18,91 <sup>eA</sup> ± 0,65
WG-10	66,17 <sup>bc</sup> ± 0,21	1,24 <sup>cdA</sup> ± 0,04	19,72 <sup>deA</sup> ± 0,08	2,07 <sup>dB</sup> ± 0,08	3,77 <sup>cbA</sup> ± 0,15	2,17 <sup>bA</sup> ± 0,06	5,94 <sup>cdA</sup> ± 0,21	71,04 <sup>cB</sup> ± 0,09	393,51 <sup>bB</sup> ± 0,97	20,07 <sup>dA</sup> ± 0,03
WG-15	65,34 <sup>cd</sup> ± 0,08	1,39 <sup>bcA</sup> ± 0,01	20,42 <sup>dA</sup> ± 0,04	3,12 <sup>cA</sup> ± 0,13	3,72 <sup>bcA</sup> ± 0,25	2,91 <sup>aA</sup> ± 0,14	6,63 <sup>bcA</sup> ± 0,39	68,45 <sup>dB</sup> ± 0,21	396,76 <sup>aA</sup> ± 1,41	20,6 <sup>dA</sup> ± 0,04
WG-20	64,68 <sup>d</sup> ± 0,45	1,54 <sup>abA</sup> ± 0,01	21,64 <sup>cA</sup> ± 0,09	3,90 <sup>bA</sup> ± 0,18	4,34 <sup>abA</sup> ± 0,45	3,06 <sup>aA</sup> ± 0,08	7,4 <sup>abA</sup> ± 0,54	65,53 <sup>eA</sup> ± 0,64	398,52 <sup>aA</sup> ± 0,24	21,74 <sup>cA</sup> ± 0,06
WG-25	63,55 <sup>e</sup> ± 0,42	1,81 <sup>aA</sup> ± 0,04	22,65 <sup>bA</sup> ± 0,13	4,44 <sup>aA</sup> ± 0,16	4,59 <sup>aA</sup> ± 0,04	3,37 <sup>aA</sup> ± 0,22	7,96 <sup>aA</sup> ± 0,18	63,15 <sup>fB</sup> ± 0,17	399,04 <sup>aB</sup> ± 0,56	22,73 <sup>bA</sup> ± 0,17
WGPI-4	67,07 <sup>ab</sup> ± 0,06	1,22 <sup>dA</sup> ± 0,20	19,37 <sup>efA</sup> ± 0,16	0,28 <sup>fA</sup> ± 0,01	3,19 <sup>cdeA</sup> ± 0,09	1,79 <sup>bA</sup> ± 0,14	4,98 <sup>deA</sup> ± 0,05	74,53 <sup>bA</sup> ± 0,08	388,03 <sup>cA</sup> ± 0,94	19,99 <sup>dA</sup> ± 0,13
WGPI-8	66,91 <sup>ab</sup> ± 0,12	1,36 <sup>bcdA</sup> ± 0,05	22,74 <sup>bA</sup> ± 0,16	0,24 <sup>fA</sup> ± 0,04	2,71 <sup>deA</sup> ± 0,05	2,06 <sup>bA</sup> ± 0,10	4,77 <sup>eA</sup> ± 0,15	70,91 <sup>cA</sup> ± 0,10	386,22 <sup>cA</sup> ± 0,26	23,57 <sup>bA</sup> ± 0,16
WGPI-12	66,22 <sup>bc</sup> ± 0,14	1,35 <sup>bcdB</sup> ± 0,03	23,97 <sup>aA</sup> ± 0,09	0,31 <sup>fA</sup> ± 0,01	2,68 <sup>eA</sup> ± 0,18	1,99 <sup>bB</sup> ± 0,01	4,67 <sup>eA</sup> ± 0,19	69,7 <sup>cdA</sup> ± 0,30	386,81 <sup>cA</sup> ± 0,58	24,81 <sup>aA</sup> ± 0,13

\*Węglowodany obliczone z różnicy. CON - próba kontrolna; WG - makaron z zarodkami pszennymi; WGPI - makaron z izolatem białka z zarodków pszennych, IDF - nierozpuszczalny błonnik pokarmowy; SDF - rozpuszczalny błonnik pokarmowy; TDF - całkowity błonnik pokarmowy. Średnie (n = 3) z różnymi małymi literami w tej samej kolumnie (oddzielnie niegotowane lub gotowane) różnią się istotnie (Test Tukeya, p ≤ 0,05). Średnie z różnymi dużymi literami wskazują na statystyczną różnicę (p ≤ 0,05) dla prób z tym samym dodatkiem kielków pszenicy lub izolatu białka kielków pszenicy w próbach makaronu nieugotowanego i ugotowanego.



Wartość energetyczna makaronu wynosiła 391,02 kcal/100 g s.m. dla CON i wzrastała wraz z dodatkiem WG w zakresie od 393,55 kcal/100 g s.m. dla WG-5 do 401,02 kcal/100 g s.m. dla WG-25. Istotnie większą wartością energetyczną cechował się już makaron z najmniejszym 5% dodatkiem WG. Zwiększona kaloryczność prób z dodatkiem WG wynikała głównie z wyższej zawartości tłuszczu. Z kolei po dodaniu 4-12% WGPI kaloryczność prób zmniejszała się nieznacznie ( $p \leq 0,05$ ) do poziomu 386,59 -385,98 kcal/100 g s.m.

W próbie kontrolnej (CON) białko dostarczało zaledwie 15,23% energii natomiast aby uzyskać produkt wysokobiałkowy, wymagany był minimum 25% dodatek WG (20,03% energii z białka) i tylko 8% dodatek WGPI (21,24% energii z białka). Dlatego też WGPI wydaje się być lepszym surowcem do wzbogacania makaronu w białko. Zastosowanie nawet najmniejszego 4% dodatku WGPI do makaronu wpływało na istotnie większą zawartość białka w makaronie ( $p \leq 0,05$ ) w porównaniu z próbą CON. Podobne obliczenia zostały zastosowane w **Publikacji II (Model doświadczenia II)** dla makaronu z dodatkiem mąki i wytlóków konopnych. W badaniu tym największą wartość energii z białka, wynosząca 22,15% uzyskano dla makaronu wzbogaconego aż 40% dodatkiem mąki konopnej.

Skład chemiczny suchej masy makaronu oceniono w ugotowanych i nieugotowanych próbach makaronu (Tabela 21). Produkty ugotowane cechowały się statystycznie wyższą zawartością białka i TDF w porównaniu do produktów nieugotowanych. Najprawdopodobniej było to związane z obniżeniem zawartości węglowodanów w ugotowanych próbach, w tym głównie skrobi, która w większym stopniu niż inne makroskładniki odżywcze migruje do wody podczas gotowania (Fuad i Prabhasankar, 2010). Większość ugotowanych prób makaronu nie różniła się statystycznie od makaronów nieugotowanych, biorąc pod uwagę zawartość popiołu i tłuszczu. Ze względu na wyższą zawartość białka w suchej masie, procentowy udział energii z białka w próbach ugotowanych był większy niż w próbach nieugotowanych i wynosił od 18,91 do 22,73% dla prób z dodatkiem WG i od 19,99 do 24,81% dla prób z dodatkiem WGPI. Podobnie jak w przypadku makaronu nieugotowanego, fortyfikacja makaronu nawet najmniejszym - 4% dodatkiem WGPI lub 5% dodatkiem WG skutkowała istotnie większą ( $p \leq 0,05$ ) zawartością białka.

## **Skład aminokwasowy**

Obok zawartości białka w makaronach istotny jest również jego skład aminokwasowy, warunkujący wartość biologiczną tego makroskładnika odżywczego. Oceniając wartość biologiczną białka porównuje się jego skład aminokwasowy ze składem białka referencyjnego, podanym przez FAO (2007). Zawartość poszczególnych aminokwasów w 1 g białka zbadano dla surowców, próby CON i prób makaronów wysokobiałkowych (WG-25 i WGPI-12) (Tabela 22). Biorąc pod uwagę zawartość aminokwasów w białku WG (zarodki pszenne) i WGPI (izolat białka z zarodków pszennych) w odniesieniu do wzorca podanego przez FAO, oba białka można uznać za kompletne pod względem składu aminokwasowego. Analiza składu aminokwasowego białka WG wykazała, że jest ono bogatym źródłem lizyny i treoniny, które z kolei są aminokwasami ograniczającymi wartość biologiczną białka obecnego w bielmie pszenicy. O znacznie niższej zawartości ww. aminokwasów w semolinie durum w porównaniu z WG i WGPI dowodzą wyniki zaprezentowane w Tabeli 22. Zawartość lizyny i treoniny w semolinie wynosiła odpowiednio 23,03 i 21,17 mg/g białka i wartości te były niższe niż w przypadku białka referencyjnego (Tabela 22). Zawartość tych samych aminokwasów w WG wynosiła odpowiednio 70,35 i 44,97 mg/g białka, i były to znacznie większe wartości niż te podane przez FAO. Podobną zawartość lizyny (66,9 mg/g białka) w białku z zarodków pszennych odnotował Zhu i in. (2006a). Jeszcze wyższą zawartość lizyny i treoniny wynoszącą odpowiednio 75,56 i 47,27 mg/g białka. odnotowano w białku WGPI. Oba surowce (WG i WGPI) cechowały się dodatkowo wysoką zawartością alaniny, glicyny i waliny. Należy również zwrócić uwagę na fakt, że wszystkie surowce wykorzystane w badaniach były tak samo zasobne w aminokwasy aromatyczne (AAA: Phe + Tyr). Biorąc pod uwagę aminokwasy siarkowe (SAA: Cys + Met) najwyższą ich zawartość odnotowano w izolacie białka z zarodków (53,88 mg/g białka), mniej zasobne w te aminokwasy były same zarodki pszenne (45,47 mg/g białka), a najmniejszą ich zawartość odnotowano w semolinie durum (31,1 mg/g białka). Warto zaznaczyć, że WGPI cechował się mniejszą zawartością tryptofanu w porównaniu z innymi surowcami zastosowanymi w badaniach, co może wynikać z zastosowania pH > 9,0 podczas izolacji białka (Bellmaine i in., 2020). Zhu i in. (2006a) również odnotowali obniżenie zawartości tryptofanu w izolacie białka z 11,5 mg/g w białku pszenicy do 6,80 mg/g w uzyskanym izolacie.

**Tabela 22.** Skład aminokwasowy surowców i wybranych prób makaronu (mg/g białka)

Próby	Ala	Asp	Glu	Gly	Pro	Ser	Tyr	Arg	Phe	His	Ile	Leu	Lys	Thr	Trp	Val	SAA (Met + Cys)	AAA (Phe + Tyr)	Aminokwas ograniczający	Punktacja aminokwasowa z wykorzystaniem wzoru punktowego dla dorosłych*
Wzorzec punktowy aminokwasów dla dorosłych *										15	30	59	45	23	6	39	22	38		
Semolina durum	34,39 <sup>d</sup> ± 0,84	45,28 <sup>c</sup> ± 1,24	332,11 <sup>a</sup> ± 6,22	33,32 <sup>d</sup> ± 0,74	140,93 <sup>a</sup> ± 3,38	46,5 <sup>b</sup> ± 1,01	20,38 <sup>d</sup> ± 0,53	38,11 <sup>c</sup> ± 0,16	53,96 <sup>ab</sup> ± 1,12	23,42 <sup>d</sup> ± 0,18	35,16 <sup>bc</sup> ± 0,35	55,06 <sup>c</sup> ± 0,54	23,03 <sup>c</sup> ± 0,5	21,17 <sup>d</sup> ± 0,05	14,34 <sup>c</sup> ± 0,33	44,75 <sup>cd</sup> ± 0,9	31,1 <sup>d</sup> ± 0,37	75,45 <sup>b</sup> ± 1,65	Lizyna	51
Zarodki pszenne	69,74 <sup>a</sup> ± 0,27	62,62 <sup>c</sup> ± 1,16	149,16 <sup>d</sup> ± 0,69	60,72 <sup>a</sup> ± 1,24	88,3 <sup>c</sup> ± 0,6	47,84 <sup>b</sup> ± 1,08	23,26 <sup>bc</sup> ± 0,66	82,61 <sup>b</sup> ± 1,93	51,37 <sup>bc</sup> ± 0,74	28,05 <sup>b</sup> ± 0,62	33,44 <sup>c</sup> ± 0,31	63,8 <sup>d</sup> ± 0,39	70,35 <sup>b</sup> ± 0,89	44,97 <sup>a</sup> ± 1,04	21,59 <sup>a</sup> ± 0,18	52,74 <sup>ab</sup> ± 1,82	45,47 <sup>b</sup> ± 0,46	74,34 <sup>b</sup> ± 1,39	-	-
Izolat białka z zarodków pszennych	62,26 <sup>b</sup> ± 0,69	87,57 <sup>a</sup> ± 0,61	142,11 <sup>d</sup> ± 0,85	56,91 <sup>b</sup> ± 1,25	45,99 <sup>c</sup> ± 0,38	47,36 <sup>b</sup> ± 0,63	29,95 <sup>a</sup> ± 0,42	88,9 <sup>a</sup> ± 0,84	50,8 <sup>c</sup> ± 0,94	30,83 <sup>a</sup> ± 0,37	39,09 <sup>a</sup> ± 0,88	82,07 <sup>a</sup> ± 0,46	75,56 <sup>a</sup> ± 0,17	47,27 <sup>a</sup> ± 0,32	7,65 <sup>c</sup> ± 0,6	54,38 <sup>a</sup> ± 1,22	53,88 <sup>a</sup> ± 0,58	75,32 <sup>b</sup> ± 1,36	-	-
CON	35,17 <sup>d</sup> ± 0,18	43,74 <sup>c</sup> ± 0,38	331,2 <sup>a</sup> ± 0,59	34,12 <sup>d</sup> ± 0,05	139,65 <sup>a</sup> ± 0,2	49,24 <sup>b</sup> ± 0,37	20,83 <sup>d</sup> ± 0,69	37,14 <sup>c</sup> ± 0,51	54,62 <sup>a</sup> ± 0,31	22,51 <sup>d</sup> ± 0,04	34,18 <sup>c</sup> ± 0,02	55,04 <sup>c</sup> ± 0,44	23,1 <sup>c</sup> ± 0,39	21,02 <sup>d</sup> ± 0,99	14,62 <sup>c</sup> ± 0,08	46,93 <sup>cd</sup> ± 0,5	30,41 <sup>d</sup> ± 0,2	80,75 <sup>a</sup> ± 0,39	Lizyna	51
WG-25	47,3 <sup>c</sup> ± 0,07	55,97 <sup>d</sup> ± 0,07	261,16 <sup>b</sup> ± 0,69	43,28 <sup>c</sup> ± 0,22	97,84 <sup>b</sup> ± 0,58	47,33 <sup>b</sup> ± 0,62	21,42 <sup>cd</sup> ± 0,47	56,63 <sup>d</sup> ± 0,36	51,68 <sup>bc</sup> ± 0,34	25,17 <sup>c</sup> ± 0,38	35,24 <sup>bc</sup> ± 0,63	68,67 <sup>c</sup> ± 1,34	42,65 <sup>d</sup> ± 0,76	33,29 <sup>c</sup> ± 0,69	19,42 <sup>b</sup> ± 0,01	47,9 <sup>bc</sup> ± 0,36	38,22 <sup>c</sup> ± 0,16	74,63 <sup>b</sup> ± 0,82	Lizyna	95
WGPI-12	45,51 <sup>c</sup> ± 0,66	72,3 <sup>b</sup> ± 0,59	245,28 <sup>c</sup> ± 1,46	44,47 <sup>c</sup> ± 0,63	79,32 <sup>d</sup> ± 3,42	55,07 <sup>a</sup> ± 0,41	24,81 <sup>b</sup> ± 0,63	61,26 <sup>c</sup> ± 0,16	50,51 <sup>c</sup> ± 0,58	28,93 <sup>b</sup> ± 0,45	36,9 <sup>ab</sup> ± 0,91	72,6 <sup>b</sup> ± 1,37	46,4 <sup>c</sup> ± 0,15	40,12 <sup>b</sup> ± 0,14	9,46 <sup>d</sup> ± 0,46	42,14 <sup>d</sup> ± 2,26	46,6 <sup>b</sup> ± 0,08	73,1 <sup>b</sup> ± 0,05	-	-

CON - próba kontrolna; WG - makaron z zarodkami pszennymi; WGPI - makaron z izolatem białka z zarodków pszennych, IDF - nierozpuszczalny błonnik pokarmowy; SDF - rozpuszczalny błonnik pokarmowy; SAA – aminokwasy siarkowe; AAA – aminokwasy aromatyczne. Średnie (n = 2) z różnymi literami w tej samej kolumnie różnią się istotnie (Test Tukeya, p ≤ 0,05).

\* World Health Organization/Food and \*Agriculture Organization/United Nations University (2007) Protein and Amino Acid Requirements in Human Nutrition Report of a Joint WHO/FAO/UNU Expert Consultation. WHO Technical Report Series no. 935. Geneva: WHO.

Dodatek WG i WGPI wpłynął korzystnie na skład aminokwasowy prób makaronu. Próba WGPI-12 zawierała wszystkie aminokwasy, w tym lizynę i treoninę określone we wzorcu białkowym, w odpowiednich ilościach. W przypadku próby WG-25 lizyna nadal była aminokwasem ograniczającym. Jej zawartość wynosiła 42,65 mg/g białka i stanowiła 95% wartości referencyjnej. Dodatek WGPI spowodował uzyskanie produktu wysokobiałkowego, cechującego się pełnowartościowym białkiem. Osipova i in. (2018) próbowali uzyskać pełnowartościowe białko, zgodnie ze standardem FAO, dodając do makaronu izolat białka grochu w ilości 10%, jednak wyniki wykazały, że treonina nadal pozostawała aminokwasem ograniczającym wartość biologiczną tego białka.

## **Jakość kulinarna**

Dodatek WG i WGPI wpłynął na wydłużenie czasu gotowania makaronu, jednak zmiany odnotowane dla makaronu wzbogaconego WG nie były statystycznie istotne ( $p \leq 0,05$ ) (Tabela 23). Wydłużony czas gotowania makaronu wzbogaconego był najprawdopodobniej spowodowany wyższą zawartością białka w tych produktach, które konkurowało ze skrobią o wchłanianie wody podczas gotowania (Savita i in., 2013). Podobne wyniki uzyskali Lambrecht i in. (2017) stosując dodatek albuminy pszennej do makaronu. Z drugiej strony współczynnik przyrostu masy po ugotowaniu był niższy dla makaronów wzbogaconych, co również mogło być spowodowane większą zawartością białka, a tym samym mniejszą zawartością skrobi, która wykazuje wyższą zdolność absorpcji wody (Sözer i Kaya, 2003). W przypadku badanych prób straty suchej substancji podczas gotowania wahały się w przedziale od 4,34% s.m. dla próby CON do 5,89% s.m. dla WGPI-12. Poziom strat suchej substancji, cechujący dobrej jakości makaron, jak już wcześniej wspomniano, nie powinien być większy od 8%. Wartość ta nie została przekroczona nawet podczas wydłużonego o 50% czasu gotowania (badanie odporności makaronu na rozgotowanie). Tak niskie straty wskazują, że białko zarodków nie osłabia matrycy glutenowej makaronu. Badania wykazały, straty suchej substancji w czasie gotowania makaronu zarówno przy stosowaniu optymalnego czasu gotowania jak też czasu wydłużonego o 50% były mniejsze w przypadku prób z WGPI niż WG. Może to wynikać z niższej zawartości błonnika pokarmowego w izolacie białka niż w zarodkach pszennych. Błonnik pokarmowy obecny w WG może być czynnikiem dezintegrującym matrycę białkową, czyniąc skrobię obecną w makaronie bardziej podatną na wymywanie podczas gotowania, co zaobserwowano także w badaniach zrealizowanych w ramach **Modelu doświadczenia II**.

**Tabela 23.** Jakość kulinarna i tekstura makaronu

Próba	Minimalny czas gotowania	Indeks przyrostu masy	Straty podczas gotowania	Odporność na rozgotowanie	Twardość
	min		% s.m.	% s.m.	N
CON	5,25 <sup>c</sup> ± 0,35	2,19 <sup>a</sup> ± 0,01	4,34 <sup>ef</sup> ± 0,21	5,83 <sup>f</sup> ± 0,16	0,83 <sup>e</sup> ± 0,02
WG-5	5,50 <sup>c</sup> ± 0,15	1,94 <sup>c</sup> ± 0,01	4,81 <sup>cde</sup> ± 0,18	6,12 <sup>e</sup> ± 0,13	1,04 <sup>d</sup> ± 0,02
WG-10	5,50 <sup>c</sup> ± 0,15	1,96 <sup>c</sup> ± 0,02	5,01 <sup>cd</sup> ± 0,17	6,41 <sup>d</sup> ± 0,08	1,27 <sup>b</sup> ± 0,02
WG-15	5,50 <sup>c</sup> ± 0,11	1,90 <sup>c</sup> ± 0,01	5,23 <sup>bcd</sup> ± 0,14	6,77 <sup>c</sup> ± 0,17	1,35 <sup>ab</sup> ± 0,08
WG-20	5,50 <sup>c</sup> ± 0,11	1,80 <sup>k</sup> ± 0,04	5,32 <sup>bc</sup> ± 0,02	7,11 <sup>b</sup> ± 0,07	1,35 <sup>ab</sup> ± 0,04
WG-25	5,50 <sup>c</sup> ± 0,11	1,79 <sup>d</sup> ± 0,02	5,67 <sup>ab</sup> ± 0,05	7,93 <sup>a</sup> ± 0,37	1,42 <sup>a</sup> ± 0,01
WGPI-4	6,00 <sup>b</sup> ± 0,25	2,16 <sup>a</sup> ± 0,01	4,03 <sup>f</sup> ± 0,12	4,46 <sup>h</sup> ± 0,30	1,00 <sup>d</sup> ± 0,02
WGPI-8	6,00 <sup>b</sup> ± 0,11	2,13 <sup>b</sup> ± 0,01	4,73 <sup>de</sup> ± 0,06	5,29 <sup>g</sup> ± 0,12	1,06 <sup>cd</sup> ± 0,02
WGPI-12	7,00 <sup>a</sup> ± 0,25	2,11 <sup>b</sup> ± 0,01	5,89 <sup>a</sup> ± 0,13	6,29 <sup>de</sup> ± 0,03	1,14 <sup>c</sup> ± 0,02

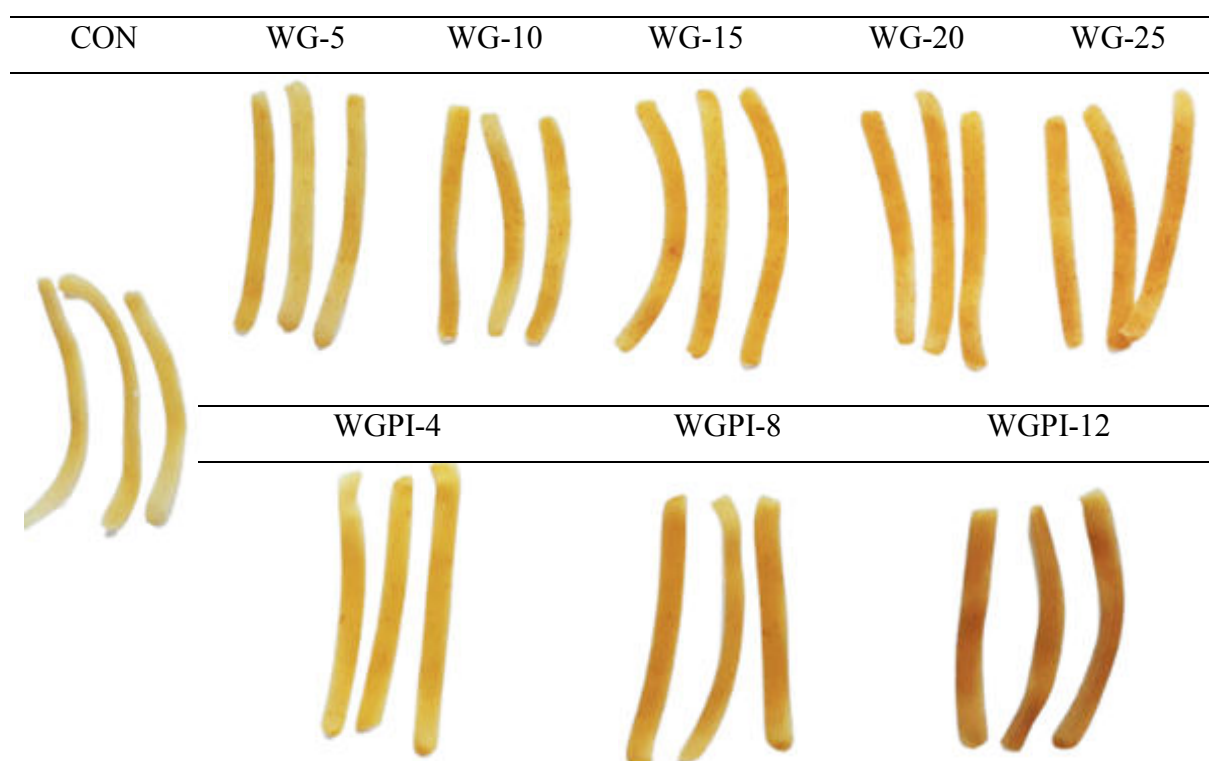
CON - próba kontrolna; WG - makaron z zarodkami pszennymi; WGPI - makaron z izolatem białka z zarodków pszennych. Średnie (n = 20 dla twardości, n = 2 dla pozostałych oznaczeń) z różnymi literami w tej samej kolumnie różnią się istotnie (Test Tukeya, p ≤ 0,05).

## Tekstura

Twardość ugotowanych prób makaronu wzrastała wraz ze wzrostem zawartości białka. Podobne wyniki uzyskali El-Sohaimy i in. (2020) wzbogacając makaron mąką z ciecierzycy i izolatem białka z ciecierzycy. W niniejszym badaniu jędrność dla próby CON wynosiła 0,83 N, podczas gdy dla próby z najwyższym dodatkiem WG parametr ten wzrósł nawet o 62%. Zwiększoną twardość odnotowano również w próbach z WGPI, mieściła się ona w zakresie od 1,00 N dla WGPI-4 do 1,14 dla WGPI-12, co stanowiło wzrost o 20-37% w odniesieniu do próby kontrolnej. Zmiany twardości produktów wzbogaconych WGPI były mniejsze, pomimo że próby makaronów z WGPI cechowały się wyższą zawartością białka. Te wyniki wskazują, że nie tylko białko wpływa na zmiany twardości. Istotne znaczenie w kształtowaniu tekstury produktu może mieć również tłuszcz (Sobota i in., 2015a; Sobota i in., 2015b). Tłuszcz wchodząc w interakcje głównie z amylozą – może nie tylko ograniczać migrację tego polimeru do wody w czasie gotowania makaronu, ale również wzmacniać strukturę siatki glutenowej i determinować parametry tekstury ugotowanych produktów. Warto zauważyć, że

porównywalny poziom straty suchej masy zaobserwowano dla makaronów wzbogaconych 12% dodatkiem WGPI i aż 25% dodatkiem WG.

**Tabela 24.** Zdjęcia otrzymanych prób makaronu



CON - próba kontrolna; WG - makaron z zarodkami pszennymi; WGPI - makaron z izolatem białka z zarodków pszennych.

### **Parametry barwy**

W trakcie badań zmierzono parametry barwy makaronów fortyfikowanych przed i po ugotowaniu i porównano je z barwą próby kontrolnej (Tabela 25). Analiza parametru  $L^*$ , który mówi o jasności produktu, wykazała, że makaron nieugotowany staje się coraz ciemniejszy wraz z dodatkiem WG i WGPI. Parametr  $L^*$  dla CON wynosił 56,36, dla prób z 5-10% dodatkiem WG nie zaobserwowano znaczących zmian tego parametru, natomiast próby z dodatkiem WG na poziomie 15-25% były znacznie ciemniejsze, a wartość parametru  $L^*$  dla tych produktów kształtowała się w zakresie 51,39-55,05-. Dodatek WGPI, który był surowcem ciemniejszym niż zarodki pszenne, determinował ciemniejszą barwę prób. Dla makaronów z dodatkiem izolatu parametr  $L^*$  mieścił się w przedziale 51,85-46,9. Odnotowane zmiany w barwy makaronów fortyfikowanych, w tym parametru  $L^*$ , wynikały z barwy samych surowców. Zarodki pszenne ze względu na wysoką zawartość karotenoidów charakteryzowały się bardziej pomarańczową i ciemniejszą barwą niż semolina durum. Natomiast uzyskany izolat WGPI charakteryzował się jasnobrązową barwą, co w efekcie również przełożyło się na ciemniejszą barwę makaronu z udziałem tego komponentu. Makarony ugotowane cechowały się jaśniejszą barwą w porównaniu do prób nieugotowanych. W tym przypadku statystycznie

mniejszymi wartościami parametru  $L^*$  w porównaniu z próbą kontrolną charakteryzowały się produkty wzbogacone już 10% dodatkiem WG i 4% dodatkiem WGPI. Podobną tendencję odnotowali Ahmed i in. (2010) badając parametry barwy ciastek z dodatkiem izolatu z zarodków pszenicy w ilości 10, 20 i 30%.



**Tabela 25.** Parametry barwy prób makaronu wzbogaconego dodatkiem zarodków i izolatu białka z zarodków pszennych

	<b>L*</b>	<b>a*</b>	<b>b*</b>	<b>ΔE</b>	<b>L*</b>	<b>a*</b>	<b>b*</b>	<b>ΔE</b>
	<b>Makaron nieugotowany</b>				<b>Makaron ugotowany</b>			
<b>CON</b>	56,36 <sup>ab</sup> ± 1,84	0,40 <sup>d</sup> ± 0,15	11,62 <sup>e</sup> ± 0,83	-	71,77 <sup>a</sup> ± 1,42	-2,60 <sup>f</sup> ± 0,11	6,98 <sup>g</sup> ± 1,32	-
<b>WG-5</b>	57,60 <sup>a</sup> ± 2,45	0,39 <sup>d</sup> ± 0,29	13,02 <sup>d</sup> ± 0,66	1,40	70,57 <sup>ab</sup> ± 1,23	-2,31 <sup>e</sup> ± 0,16	10,91 <sup>de</sup> ± 0,24	5,49
<b>WG-10</b>	55,88 <sup>ab</sup> ± 1,9	0,58 <sup>d</sup> ± 0,48	15,03 <sup>c</sup> ± 1,13	3,50	68,63 <sup>bc</sup> ± 1,47	-1,96 <sup>cd</sup> ± 0,16	13,16 <sup>c</sup> ± 0,79	8,26
<b>WG-15</b>	55,05 <sup>b</sup> ± 2,91	1,28 <sup>c</sup> ± 0,59	17,82 <sup>b</sup> ± 0,76	6,90	67,45 <sup>cd</sup> ± 2,98	-1,96 <sup>cd</sup> ± 0,4	14,42 <sup>b</sup> ± 0,6	9,89
<b>WG-20</b>	51,80 <sup>c</sup> ± 1,72	1,66 <sup>b</sup> ± 0,3	17,91 <sup>b</sup> ± 0,86	7,85	66,84 <sup>cd</sup> ± 2,38	-0,97 <sup>b</sup> ± 0,36	15,21 <sup>a</sup> ± 0,39	10,98
<b>WG-25</b>	51,39 <sup>c</sup> ± 1,51	2,32 <sup>a</sup> ± 0,37	20,12 <sup>a</sup> ± 1,41	10,13	65,98 <sup>d</sup> ± 3,3	-0,61 <sup>a</sup> ± 0,44	15,41 <sup>a</sup> ± 0,83	11,75
<b>WGPI-4</b>	51,85 <sup>c</sup> ± 1,38	1,43 <sup>bc</sup> ± 0,09	12,49 <sup>de</sup> ± 1,12	4,62	67,47 <sup>dc</sup> ± 1,54	-2,18 <sup>de</sup> ± 0,19	10,12 <sup>f</sup> ± 0,71	6,73
<b>WGPI-8</b>	51,05 <sup>c</sup> ± 0,84	1,53 <sup>bc</sup> ± 0,29	13,08 <sup>d</sup> ± 1,08	5,87	65,5 <sup>d</sup> ± 1,95	-1,97 <sup>cd</sup> ± 0,23	10,24 <sup>ef</sup> ± 0,45	8,39
<b>WGPI-12</b>	46,90 <sup>d</sup> ± 2,14	2,62 <sup>a</sup> ± 0,39	14,74 <sup>c</sup> ± 1,28	10,65	63,23 <sup>e</sup> ± 1,84	-1,70 <sup>c</sup> ± 0,16	11,26 <sup>d</sup> ± 0,52	10,36

CON - próba kontrolna; WG - makaron z zarodkami pszennymi; WGPI - makaron z izolatem białka z zarodków pszennych; L\* – jasność, a\* – barwa w zakresie od zielonej do czerwonej, b\* – barwa w zakresie od niebieskiej do żółtej. Dane przedstawiono jako wartość średnią (n=20) ± odchylenie standardowe. Wartości w kolumnach oznaczone różnymi literami są znacząco różne (Test Tukeya; p ≤ 0,05).

Parametr  $a^*$ , opisujący barwę w zakresie od zielonej do czerwonej, dla makaronu surowego wzrósł z 0,4 dla próby CON do 2,32 dla WG-25 i do 2,62 dla WGPI-12. Znaczący wzrost zaobserwowano przy poziomie dodatku WG 15% i WGPI 4%. Wzrost ( $p \leq 0,05$ ) zaobserwowano również dla parametru  $b^*$  opisującego zmianę barwy w zakresie od niebieskiej do żółtej. Wzrost obu tych parametrów skutkował bardziej pomarańczową barwą prób. Parametry  $a^*$  i  $b^*$  dla prób ugotowanych również wzrastały wraz z poziomem fortyfikacji WG i WGPI, jednak w przypadku parametru  $a^*$  odnotowano wartości ujemne, mieszczące się w przedziale od -2,60 dla CON do -0,61 dla WG-25 i do -1,70 dla WGPI-12. W badaniach Zarzyckiego i in. (2021), dotyczących makaronu z dodatkiem wyłoków z pszczelnika mołdawskiego wartość parametru  $a^*$  również zwiększała się dla prób fortyfikowanych.

Parametr  $\Delta E$  wzrastał wraz z wielkością dodatku WG i WGPI. Ogólną różnicę między barwą prób wzbogaconych a barwą próby kontrolnej można uznać za co najmniej zauważalną ( $\Delta E > 3,0$ ) dla większości nieugotowanych prób z wyjątkiem WG-5. W przypadku prób ugotowanych, z wyjątkiem WG-5, różnicę można uznać za dużą ( $\Delta E > 5,0$ ). W przypadku surowego makaronu najwyższe  $\Delta E$  odnotowano dla próby WGPI-12 (10,65), a dla makaronu ugotowanego dla próby WG-25 (11,75). Większe różnice w barwie w stosunku do CON były widoczne w przypadku makaronów ugotowanych niż nieugotowanych.

#### 5.4. Badania wpływu dodatku odpadów z przemysłu warzywnego na właściwości fizykochemiczne oraz jakość kulinarną makaronów (Model doświadczenia IV – Publikacja IV)

W ramach modelu doświadczenia IV przygotowano mieszanki semoliny durum i surowców odpadowych z przetwórstwa warzyw: wytlóków z pomidora, błonek z papryki oraz nasion papryki. Szczegółowy skład mieszanek oraz parametry procesu tłoczenia makaronów przedstawiono w Tabeli 26.

Tabela 26. Model doświadczenia IV

Próby	Receptura			Parametry produkcji		
	Semolina	Odłuszczone nasiona papryki	Błonki papryki	Wytłoki z pomidora	Ciśnienie	Wydajność tłoczenia
		[%]			[MPa]	[kg/h]
CON	100				12,95 <sup>a</sup> ± 0,71	31,06 <sup>a</sup> ± 0,07
DPS 10	90	10			12,85 <sup>ab</sup> ± 2,12	30,78 <sup>a</sup> ± 0,08
DPS 20	80	20			12,35 <sup>d</sup> ± 0,71	30,30 <sup>ab</sup> ± 0,08
DPS 30	70	30			12,45 <sup>cd</sup> ± 0,71	30,16 <sup>abc</sup> ± 0,20
PP 10	90		10		12,75 <sup>abc</sup> ± 0,71	29,94 <sup>abc</sup> ± 0,39
PP 20	80		20		12,45 <sup>dc</sup> ± 0,71	29,01 <sup>bc</sup> ± 0,92
PP 30	70		30		12,25 <sup>d</sup> ± 0,71	28,93 <sup>bc</sup> ± 0,16
TW 10	90			10	12,95 <sup>a</sup> ± 0,71	30,77 <sup>a</sup> ± 0,27
TW 20	80			20	12,75 <sup>abc</sup> ± 0,71	29,76 <sup>abc</sup> ± 0,51
TW 30	70			30	12,55 <sup>bcd</sup> ± 0,71	28,56 <sup>b</sup> ± 0,51

CON - próba kontrolna; DPS – makaron z odłuszczoneymi nasionami papryki; PP – makaron z błonkami papryki; TW – makaron z wytlókami z pomidora. Dane przedstawiono jako wartość średnią (n=3) ± odchylenie standardowe. Wartości w kolumnach oznaczone różnymi literami są znacząco różne (Test Tukeya; p ≤ 0,05).

#### Cechy fizykochemiczne surowców

Analiza chemiczna surowców (Tabela 27) została przeprowadzona w celu określenia wilgotności, zawartości popiołu, białka, tłuszczu, węglowodanów (z różnicy) oraz całkowitego

(TDF), rozpuszczalnego (SDF) i nierozpuszczalnego (IDF) błonnika pokarmowego. Zawartość białka w błonkach (PP) i odtłuszczonych nasionach papryki (DPS) wynosiła odpowiednio 30,77% s.m. i 26,07% s.m. Adeyeye (2014) odnotował zawartość białka na poziomie 28,39% s.m. w błonkach papryki i 28,31% s.m. w nieodtłuszczonych nasionach. Wszystkie surowce analizowane w tym badaniu okazały się być dobrym źródłem błonnika pokarmowego. Należy jednak zaznaczyć, że błonki papryki zawierały prawie dwukrotnie mniej błonnika (TDF) niż odtłuszczone nasiona papryki i wyciąki z pomidora (TW). Dodatkowo należy zwrócić uwagę na stosunkowo dużą zawartość frakcji rozpuszczalnej błonnika (SDF) w tym surowcu. Zawartość SDF kształtowała się tu na poziomie 16,63% s.m. i była zbliżona do zawartości IDF. To sprawia, że błonki z papryki mogą być bardzo dobrym źródłem rozpuszczalnej frakcji błonnika pokarmowego, która jest frakcją deficytową zarówno w produktach pszennych, jak też w diecie człowieka. Zawartość tłuszczu w błonkach papryki wynosiła 3,15% s.m. natomiast w odtłuszczonych nasionach papryki była ponad 3-krotnie większa i wynosiła 10,40% s.m. Przed odtłuszczeniem nasiona zawierały aż 26,01% tłuszczu w suchej masie, co stanowiło wartość zbliżoną do wyników prezentowanych przez Cvetković i in. (2022). W wyciąkach pomidorowych białko stanowiło aż 24,56% s.m., tłuszcz 11,73% s.m., a substancje mineralne oznaczone w postaci popiołu 3,76% s.m. Zawartość popiołu w odtłuszczonych nasionach papryki wynosiła 3,49% s.m. natomiast w błonkach papryki aż 13,29% s.m. i była znacznie większa niż zawartość tego składnika w semolinie (0,87% s.m.) (Tabela 27 i Tabela 28). W badaniach przeprowadzonych przez Adeyeye (2014) zawartość popiołu w nieodtłuszczonych nasionach papryki i błonkach wynosiła odpowiednio 4,14% s.m. i 9,66% s.m. Badania wykazały, że PP jest dobrym źródłem potasu (36,43 mg/g) (Tabela 28), który ma pozytywny wpływ na układ sercowo-naczyniowy człowieka (Weaver, 2013). Z kolei nasiona papryki mają niską zawartość sodu i są bogate w cynk, który odgrywa istotną rolę w prawidłowym funkcjonowaniu organizmu człowieka. Cynk jest też składnikiem wielu enzymów, obniża poziom cholesterolu, odgrywa istotną rolę w metabolizmie węglowodanów, wpływa na przyswajanie witamin i prawidłowe funkcjonowanie narządów rozrodczych. Jego niedobór jest coraz częściej obserwowany w diecie człowieka (Roohani, 2013). Analizowane nasiona papryki miały również wyższą zawartość chromu (6,35 mg/g) niż pozostałe surowce. Wszystkie komponenty odpadowe wykorzystane w badaniach okazały się również lepszym źródłem wapnia niż semolina. W wyciąkach z pomidora zawartość tego makroelementu wynosiła 1,3 mg/g i była ponad siedmiokrotnie większa niż w semolinie. Uzyskane wyniki badań są zgodne z wynikami badań Nour i in. (2018).

**Tabela 27.** Skład chemiczny surowców

Surowce	Wilgotność	Popiół	Białko	Tłuszcz	Węglowodany*	TDF	IDF	SDF
	%				% s.m.			
<b>Semolina durum</b>	8,45 <sup>b</sup> ± 0,28	0,87 <sup>d</sup> ± 0,07	16,19 <sup>d</sup> ± 0,08	1,24 <sup>d</sup> ± 0,01	75,85 <sup>a</sup> ± 0,07	4,74 <sup>c</sup> ± 0,11	3,51 <sup>d</sup> ± 0,11	1,27 <sup>d</sup> ± 0,05
<b>Odtłuszczone nasiona papryki</b>	5,96 <sup>c</sup> ± 0,01	3,49 <sup>c</sup> ± 0,04	26,07 <sup>b</sup> ± 0,06	10,40 <sup>b</sup> ± 0,21	2,32 <sup>c</sup> ± 0,08	60,89 <sup>a</sup> ± 0,13	53,71 <sup>a</sup> ± 0,12	7,19 <sup>c</sup> ± 0,25
<b>Błonki papryki</b>	11,84 <sup>a</sup> ± 0,38	13,29 <sup>a</sup> ± 0,13	30,77 <sup>a</sup> ± 0,01	3,15 <sup>c</sup> ± 0,04	19,28 <sup>b</sup> ± 0,39	33,49 <sup>b</sup> ± 0,55	16,86 <sup>c</sup> ± 1,56	16,63 <sup>a</sup> ± 1,01
<b>Wytłoki z pomidora</b>	6,41 <sup>c</sup> ± 0,08	3,76 <sup>b</sup> ± 0,01	24,56 <sup>c</sup> ± 0,02	11,73 <sup>a</sup> ± 0,04	3,11 <sup>c</sup> ± 0,32	60,92 <sup>a</sup> ± 0,37	49,72 <sup>b</sup> ± 0,36	11,20 <sup>b</sup> ± 0,01

\* zawartość węglowodanów obliczona z różnicy. IDF - nierozpuszczalny błonnik pokarmowy. SDF - rozpuszczalny błonnik pokarmowy. TDF - całkowity błonnik pokarmowy. Wartości (n = 3) oznaczone różnymi literami w tej samej kolumnie różnią się istotnie (Test Tukeya, p ≤ 0,05).

**Tabela 28. Zawartość wybranych składników mineralnych w surowcach i próbach makaronu**

Próba	P	Ca	Mg	K	Cr	Na	Zn
	mg/g	mg/g	mg/g	mg/g	µg/g	µg/g	µg/g
<b>Surowce</b>							
Semolina durum	2,20 <sup>d</sup> ± 0,02	0,19 <sup>d</sup> ± 0,03	0,59 <sup>d</sup> ± 0,08	2,33 <sup>d</sup> ± 0,04	0,44 <sup>d</sup> ± 0,05	nd	11,41 <sup>d</sup> ± 0,16
Odtłuszczone nasiona papryki	7,07 <sup>a</sup> ± 0,02	0,86 <sup>c</sup> ± 0,08	2,79 <sup>a</sup> ± 0,04	7,35 <sup>c</sup> ± 0,06	6,35 <sup>a</sup> ± 0,04	23,50 <sup>b</sup> ± 0,01	39,59 <sup>a</sup> ± 0,11
Błonki papryki	3,58 <sup>c</sup> ± 0,05	1,02 <sup>b</sup> ± 0,07	1,19 <sup>c</sup> ± 0,04	36,43 <sup>a</sup> ± 0,11	1,46 <sup>c</sup> ± 0,06	115,00 <sup>a</sup> ± 4,24	23,56 <sup>c</sup> ± 0,08
Wytłoki z pomidora	5,14 <sup>b</sup> ± 0,03	1,39 <sup>a</sup> ± 0,05	2,27 <sup>b</sup> ± 0,02	10,69 <sup>b</sup> ± 0,08	3,06 <sup>b</sup> ± 0,08	113,00 <sup>a</sup> ± 2,83	25,66 <sup>b</sup> ± 0,08
<b>Próby makaronu</b>							
CON	2,23 <sup>d</sup> ± 0,02	0,23 <sup>d</sup> ± 0,02	0,59 <sup>d</sup> ± 0,04	2,31 <sup>d</sup> ± 0,01	0,45 <sup>d</sup> ± 0,09	nd	11,38 <sup>d</sup> ± 0,05
DPS 30	3,76 <sup>a</sup> ± 0,04	0,35 <sup>c</sup> ± 0,08	1,22 <sup>a</sup> ± 0,03	3,87 <sup>c</sup> ± 0,06	1,93 <sup>a</sup> ± 0,04	8,50 <sup>c</sup> ± 0,05	20,80 <sup>a</sup> ± 0,04
PP 30	2,65 <sup>c</sup> ± 0,06	0,47 <sup>b</sup> ± 0,06	0,72 <sup>c</sup> ± 0,07	11,49 <sup>a</sup> ± 0,10	0,91 <sup>c</sup> ± 0,02	41,00 <sup>a</sup> ± 0,28	17,31 <sup>b</sup> ± 0,07
TW 30	3,10 <sup>b</sup> ± 0,02	0,53 <sup>a</sup> ± 0,09	1,04 <sup>b</sup> ± 0,04	4,89 <sup>b</sup> ± 0,10	1,34 <sup>b</sup> ± 0,04	31,70 <sup>b</sup> ± 0,28	16,88 <sup>c</sup> ± 0,06

CON - próba kontrolna; DPS – makaron z odtłuszczonymi nasionami papryki; PP – makaron z błonkami papryki; TW – makaron z wytlókami z pomidora. Dane przedstawiono jako wartość średnią (n=3) ± odchylenie standardowe. nd = nie wykryto. Wartości w kolumnach (oddzielnie dla surowców i prób makaronu) oznaczone różnymi literami są znacząco różne (Test Tukeya; p ≤ 0,05).

**Tabela 29.** Analiza sitowa surowców

Surowce	Fracje ( $\mu\text{m}$ )							Średnica zastępcza ( $\mu\text{m}$ )
	>410	315–410	250–315	160–250	125–160	80–125	<80	
	(%)							
<b>Semolina durum</b>	9,17 <sup>b</sup> ± 0,15	27,58 <sup>b</sup> ± 0,36	21,83 <sup>a</sup> ± 0,26	22,52 <sup>d</sup> ± 0,23	6,36 <sup>b</sup> ± 0,24	11,48 <sup>c</sup> ± 0,04	0,51 <sup>c</sup> ± 0,04	264,38 <sup>c</sup> ± 1,06
<b>Odtłuszczone nasiona papryki</b>	61,91 <sup>a</sup> ± 0,44	10,75 <sup>c</sup> ± 0,17	5,49 <sup>c</sup> ± 0,08	17,84 <sup>c</sup> ± 0,39	0,30 <sup>d</sup> ± 0,09	1,97 <sup>c</sup> ± 0,09	1,06 <sup>c</sup> ± 0,09	341,28 <sup>a</sup> ± 0,64
<b>Błonki papryki</b>	1,55 <sup>d</sup> ± 0,15	8,41 <sup>d</sup> ± 0,41	14,86 <sup>b</sup> ± 0,52	28,27 <sup>b</sup> ± 1,02	23,35 <sup>a</sup> ± 0,23	20,5 <sup>b</sup> ± 0,21	1,75 <sup>b</sup> ± 0,21	191,73 <sup>d</sup> ± 0,74
<b>Wytłoki z pomidora</b>	3,86 <sup>c</sup> ± 0,24	48,47 <sup>a</sup> ± 0,26	5,96 <sup>c</sup> ± 0,10	37,79 <sup>a</sup> ± 0,61	2,29 <sup>c</sup> ± 0,39	1,12 <sup>a</sup> ± 0,15	3,05 <sup>a</sup> ± 0,15	287,66 <sup>b</sup> ± 0,79

Dane przedstawiono jako wartość średnią (n=3) ± odchylenie standardowe. Wartości w kolumnach oznaczone różnymi literami są znacząco różne (Test Tukeya; p ≤ 0,05).

Wyniki analizy sitowej surowców wykorzystanych w badaniach przedstawiono w Tabeli 29. W przypadku semoliny dominowały frakcje o wielkości ziaren w przedziale 160-400  $\mu\text{m}$ , a średnica zastępcza cząstek wyniosła 264,38  $\mu\text{m}$ . Najbardziej gruboziarnistym surowcem z największym udziałem frakcji  $>410 \mu\text{m}$  (61,91%) okazały się być rozdrobnione i odtłuszczone nasiona papryki. Wytłoki pomidorowe również charakteryzowały się stosunkowo gruboziarnistą granulacją (48,47% frakcji o wymiarach cząstek mieszczących się w zakresie 315-410  $\mu\text{m}$ ). Błonki papryki natomiast zawierały większy udział frakcji drobnoziarnistych o wymiarach cząstek 125-250  $\mu\text{m}$ .

## Ocena farinograficzna

Określenie charakterystyki farinograficznej mąki jest pomocne w projektowaniu nowych receptur produktów. Jej wyniki ułatwiają zarządzanie parametrami procesu produkcyjnego i dają odpowiedź na pytanie o wpływ dodatku konkretnego komponentu na wodochłonność mąki i konsystencję ciasta. W Tabeli 30 podano podstawowe cechy farinograficzne semoliny i mieszanek semoliny z dodatkiem odpadów warzywnych. Czas rozwoju ciasta w przypadku próby CON (100% semolina durum) wynosił 5,17 min. Wprowadzenie do semoliny dodatku komponentów warzywnych tj. PP (błonki papryki) i TW (wytłoki z pomidora) wpłynęło na wydłużenie czasu rozwoju. Odnotowana tendencja najprawdopodobniej mogła być spowodowana większą zawartością rozpuszczalnej frakcji błonnika pokarmowego, który konkurował o wodę ze skrobią oraz białkiem i spowalniał tworzenie matrycy glutenowej. W przypadku wzbogacania semoliny dodatkiem PP w zakresie 10-30% i TW w zakresie 20-30% w celu uzyskania odpowiedniej konsystencji ciasta należy zastosować dłuższy czas jego mieszania. Substytucja semoliny w mieszankach spowodowała także wzrost wodochłonności. Najwyższe wartości tego parametru wykazywały próby wzbogacone TW. Poziom wodochłonności w CON wynosił 54,1%, co jest wynikiem podobnym do podanego przez Welc-Stanowską i in. (2023). Wodochłonność w niniejszych badaniach zależała również od zawartości błonnika w mieszance, co jest zgodne z wcześniej wymienionymi badaniami. Dodatek surowców wysokobłonnikowych przyczynił się do większej zdolności mieszanki do absorpcji wody.



**Tabela 30.** Cechy farinograficzne semoliny i jej mieszanek z odpadami warzywnymi

Samples	Czas rozwoju	Wodochłonność	Stabilność ciasta	Stopień rozmiękczenia (po 12 min)	Liczba jakości
	min	%	min	FU	mm
CON	5,17 <sup>e</sup> ± 0,07	56,60 <sup>f</sup> ± 0,14	12,53 <sup>c</sup> ± 0,05	35,50 <sup>c</sup> ± 0,71	149,50 <sup>e</sup> ± 0,71
DPS 10	4,44 <sup>f</sup> ± 0,09	56,55 <sup>f</sup> ± 0,21	10,20 <sup>d</sup> ± 0,13	35,50 <sup>c</sup> ± 0,16	138,00 <sup>e</sup> ± 2,12
DPS 20	4,39 <sup>f</sup> ± 0,21	57,55 <sup>e</sup> ± 0,04	5,19 <sup>g</sup> ± 0,02	34,50 <sup>c</sup> ± 1,41	100,00 <sup>f</sup> ± 2,83
DPS 30	5,32 <sup>e</sup> ± 0,09	58,15 <sup>d</sup> ± 0,04	4,16 <sup>h</sup> ± 0,08	19,00 <sup>f</sup> ± 0,71	255,50 <sup>b</sup> ± 3,54
PP 10	6,48 <sup>d</sup> ± 0,17	56,15 <sup>f</sup> ± 0,07	7,39 <sup>f</sup> ± 0,06	32,11 <sup>cd</sup> ± 0,71	104,50 <sup>f</sup> ± 1,41
PP 20	10,39 <sup>b</sup> ± 0,03	57,33 <sup>e</sup> ± 0,07	20,46 <sup>b</sup> ± 0,04	28,00 <sup>d</sup> ± 0,71	238,00 <sup>c</sup> ± 1,41
PP 30	15,40 <sup>a</sup> ± 0,02	58,78 <sup>d</sup> ± 0,07	39,20 <sup>a</sup> ± 0,06	12,50 <sup>g</sup> ± 1,41	352,50 <sup>a</sup> ± 6,36
TW 10	5,40 <sup>e</sup> ± 0,16	61,00 <sup>c</sup> ± 0,28	7,17 <sup>f</sup> ± 0,04	46,50 <sup>a</sup> ± 2,12	104,50 <sup>f</sup> ± 2,12
TW 20	6,20 <sup>d</sup> ± 0,01	63,65 <sup>b</sup> ± 0,07	5,18 <sup>g</sup> ± 0,14	44,50 <sup>a</sup> ± 0,71	101,00 <sup>f</sup> ± 7,07
TW 30	8,29 <sup>c</sup> ± 0,06	64,65 <sup>a</sup> ± 0,07	8,30 <sup>e</sup> ± 0,10	23,50 <sup>e</sup> ± 0,71	208,00 <sup>d</sup> ± 1,41

CON - próba kontrolna; DPS – makaron z odtłuszczonymi nasionami papryki; PP – makaron z błonkami papryki; TW – makaron z wyłokami z pomidora. Dane przedstawiono jako wartość średnią (n=3) ± odchylenie standardowe. Wartości w kolumnach oznaczone różnymi literami są znacząco różne (Test Tukeya; p ≤ 0,05).

Stabilność ciasta wynosiła 12,53 min w próbie CON i zmniejszała się w próbach wzbogaconych TW (wytłoki z pomidora) i DPS (odtłuszczone nasiona papryki). Wzrost tego parametru zaobserwowano natomiast w próbach z największym, 20 i 30% dodatkiem błonek z papryki (odpowiednio 20,46 i 39,30 min). Zwiększona stabilność ciasta mogła być spowodowana tworzeniem się kompleksów gluten - kwasy fenolowe. Podczas formowania ciasta wiązania wodorowe mogą tworzyć się między łańcuchem polipeptydowym a grupą hydroksylową kwasów fenolowych obecnych w błonkach papryki oraz między łańcuchem polipeptydowym a tlenem grupy karboksylowej. Według Welc-Stanowskiej i in. (2023) może to być również przyczyną niskiej wartości stopnia rozmiękczenia ciasta. Znacznie niższym stopniem rozmiękczenia ciasta w porównaniu z próbą kontrolną (CON) charakteryzowały się próby z największym, 30% dodatkiem komponentów warzywnych. Odwrotną tendencję w cieście chlebowym wzbogaconym błonkami papryki odnotowali Mastilović i in. (2018). W ich badaniach stopień rozmiękczenia znacząco wzrastał wraz z dodatkiem odpadów z papryki do ciasta. Dane literaturowe wskazują, że na właściwości farinograficzne ciasta może mieć również wpływ zawartość poszczególnych składników mineralnych. Jony magnezu i wapnia obecne w PP (Tabela 28) mogą stymulować tworzenie mocnej siatki glutenowej, zwiększając odporność ciasta na mieszanie i ograniczając jego rozmiękczenie (Sehn i in., 2015). Na matrycę glutenową może również wpływać zawartość potasu i sodu, które, jak sugerują Abedi i Pourmohammadi (2021), sprzyjają tworzeniu mocnej i stabilnej siatki glutenowej.

W trakcie opracowywania nowej receptury makaronu mogą pojawiać się różne problemy związane z poprawnym i stabilnym przebiegiem procesu tłoczenia makaronu, dlatego konieczne było przeprowadzenie badań wstępnych. Wyniki tych badań wykazały, że 30% dodatek do makaronu wybranych surowców odpadowych był maksymalnym poziomem dodatku, który nie destabilizował procesu tłoczenia. W Tabeli 26 przedstawiono model badawczy oraz podstawowe parametry procesu, takie jak ciśnienie tłoczenia i wydajność prasy makaronowej. Najwyższe ciśnienie tłoczenia uzyskano dla próby CON (12,95 MPa). Każdorazowy dodatek surowców roślinnych powodował obniżenie ciśnienia w porównaniu z próbą CON. Statystycznie istotne różnice odnotowano dla prób DPS20, DPS30, PP20, PP30 i TW30. Najniższą wartość ciśnienia tłoczenia (12,25 MPa) odnotowano dla próby PP30. Wydajność tłoczenia również zmniejszyła się wraz ze wzrostem poziomu fortyfikacji makaronów komponentami warzywnymi, ale różnice te w większości przypadków nie były statystycznie istotne ( $p \leq 0,05$ ).

Albuminy są głównymi białkami pomidora (Benderska i in., 2021), podczas gdy globuliny są głównymi białkami papryki (Colombari i in., 2022). Obydwa rodzaje białek mogą wykazywać aktywność enzymatyczną i znacząco wpływać na parametry ekstruzji poprzez osłabienie matrycy glutenowej. W przypadku dodatku TW, wysoka zawartość tłuszczu mogła spowodować zmniejszenie ciśnienia tłoczenia i wydajności prasy makaronowej (Tabela 26).

## **Skład chemiczny prób makaronu**

Próby makaronów wzbogaconych odpadami warzywnymi poddano analizie składu chemicznego (Tabela 31). Już 10% poziom fortyfikacji makaronów wszystkimi trzema dodatkami warzywnymi spowodował statystycznie istotny wzrost ( $p \leq 0,05$ ) zawartości białka. Produkty wzbogacone dodatkami komponentów warzywnych cechowały się zawartością białka na poziomie od 17,26% s.m. dla DPS10 do 20,61% s.m. dla TW30, co stanowiło wzrost zawartości tego makroskładnika odpowiednio o 6 i 27%. W badaniu przeprowadzonym przez Ahmad i in. (2017) dodatek 8% wyłoków z pomidora do ciastek spowodował wzrost zawartości białka o 23%. W badaniach własnych dodatek 10% wyłoków z pomidora zwiększył zawartość białka w próbce o 17%. Tendencję wzrostową odnotowano także w przypadku zawartości popiołu, gdzie każdy wariant fortyfikacji również powodował statystycznie istotny wzrost zawartości tego składnika. Największe zmiany odnotowano w próbkach fortyfikowanych PP (błonki papryki), co było związane z wysoką zawartością składników mineralnych w surowcu (13,39% s.m.).

Zawartość tłuszczu w próbach fortyfikowanych wzrosła w stosunku do próby CON, ale różnice te nie były istotne statystycznie dla próbek DPS10, PP20 i TW10. Największy (prawie czterokrotny) wzrost zawartości tego makroskładnika odżywczego odnotowano dla próby TW30 (4,54% s.m.). Tłuszcz zawarty w badanych surowcach odpadowych zawierał głównie nienasycone kwasy tłuszczowe (Eller i in., 2010; Chouaibi i in., 2019), których obecność może mieć negatywny wpływ na trwałość produktu, ze względu na ich większą podatność na utlenianie (Schaich, 2016).

Dodatek PP (błonki z papryki), DPS (odtłuszczone nasiona papryki) i TW (wyłoki z pomidora) miał również znaczący wpływ na zawartość TDF w próbach makaronu. Każdy wariant fortyfikacji powodował statystycznie istotny wzrost zawartości całkowitego błonnika pokarmowego ( $p \leq 0,05$ ). Najmniejszy wzrost zaobserwowano w próbach wzbogaconych błonkami papryki, podczas gdy nawet ok. 6-krotny i 5,5-krotny wzrost zaobserwowano odpowiednio w próbach DPS30 i TW30. Tak duży wzrost zawartości TDF w omawianych

produktach był podyktowany wysoką zawartością, tego makroskładnika odżywczego, przekraczającą 60% s.m. w odtłuszczonych nasionach z papryki i wyciekach z pomidora. Można zatem stwierdzić, że DPS i TW są lepszymi surowcami błonnikowymi niż PP. Warto jednak podkreślić, że najwyższą zawartość rozpuszczalnego błonnika pokarmowego, który jest składnikiem szczególnie deficytowym w diecie odnotowano w produktach z dodatkiem PP (8,77% s.m. w próbie PP30). Wszystkie fortyfikowane próby makaronów spełniają warunki oświadczenia żywieniowego (Rozporządzenie (WE) Nr 1924/2006) i mogą być określane mianem produktów o wysokiej zawartości błonnika (zawartość TDF > 6 g/100 g).

**Tabela 31.** Skład chemiczny prób makaronu

Próba	Wilgotność	Popiół	Białko	Tłuszcz	TDF	IDF	SDF	Węglowodany*	Wartość energetyczna	Energia z białka
	%				% s.m.				kcal/100 g s.m.	%
<b>CON</b>	9,45 <sup>b</sup> ± 0,02	1,03 <sup>g</sup> ± 0,01	16,16 <sup>h</sup> ± 0,08	1,11 <sup>g</sup> ± 0,08	4,74 <sup>f</sup> ± 0,1	2,94 <sup>h</sup> ± 0,06	1,81 <sup>g</sup> ± 0,04	76,95 <sup>a</sup> ± 0,17	391,95 <sup>a</sup> ± 0,22	16,49 <sup>f</sup> ± 0,09
<b>DPS 10</b>	9,21 <sup>c</sup> ± 0,02	1,48 <sup>f</sup> ± 0,02	17,26 <sup>g</sup> ± 0,03	1,38 <sup>fg</sup> ± 0,03	13,48 <sup>cd</sup> ± 0,23	8,60 <sup>e</sup> ± 0,02	4,87 <sup>f</sup> ± 0,25	66,44 <sup>c</sup> ± 0,24	374,02 <sup>bc</sup> ± 0,64	18,46 <sup>e</sup> ± 0,07
<b>DPS 20</b>	9,07 <sup>c</sup> ± 0,04	1,67 <sup>e</sup> ± 0,04	17,42 <sup>fg</sup> ± 0,06	2,52 <sup>d</sup> ± 0,05	20,20 <sup>b</sup> ± 0,38	14,34 <sup>c</sup> ± 0,4	5,86 <sup>cd</sup> ± 0,03	58,19 <sup>d</sup> ± 0,32	365,52 <sup>d</sup> ± 1,19	19,06 <sup>d</sup> ± 0,05
<b>DPS 30</b>	8,73 <sup>d</sup> ± 0,03	1,99 <sup>c</sup> ± 0,02	17,68 <sup>f</sup> ± 0,02	3,44 <sup>b</sup> ± 0,05	27,99 <sup>a</sup> ± 1,05	20,69 <sup>a</sup> ± 0,76	7,30 <sup>b</sup> ± 0,29	48,90 <sup>e</sup> ± 1,14	353,26 <sup>e</sup> ± 1,95	20,02 <sup>c</sup> ± 0,14
<b>PP 10</b>	8,86 <sup>d</sup> ± 0,03	1,79 <sup>d</sup> ± 0,03	17,87 <sup>e</sup> ± 0,12	0,99 <sup>g</sup> ± 0,01	9,63 <sup>e</sup> ± 0,46	4,31 <sup>gh</sup> ± 0,11	5,32 <sup>def</sup> ± 0,05	69,72 <sup>b</sup> ± 0,04	378,53 <sup>b</sup> ± 0,39	18,88 <sup>e</sup> ± 0,11
<b>PP 20</b>	9,51 <sup>b</sup> ± 0,07	2,56 <sup>b</sup> ± 0,03	18,55 <sup>d</sup> ± 0,06	1,16 <sup>ef</sup> ± 0,04	12,25 <sup>d</sup> ± 0,25	5,08 <sup>fg</sup> ± 0,51	7,17 <sup>b</sup> ± 0,05	65,48 <sup>c</sup> ± 0,39	371,06 <sup>c</sup> ± 1,24	20,00 <sup>e</sup> ± 0,07
<b>PP 30</b>	10,74 <sup>a</sup> ± 0,07	3,33 <sup>a</sup> ± 0,01	19,24 <sup>cd</sup> ± 0,05	1,29 <sup>e</sup> ± 0,04	14,57 <sup>c</sup> ± 0,16	5,80 <sup>f</sup> ± 0,21	8,77 <sup>a</sup> ± 0,03	61,57 <sup>d</sup> ± 0,15	363,99 <sup>d</sup> ± 0,65	21,14 <sup>b</sup> ± 0,01
<b>TW 10</b>	9,14 <sup>c</sup> ± 0,07	1,56 <sup>e</sup> ± 0,01	18,96 <sup>c</sup> ± 0,09	1,38 <sup>fg</sup> ± 0,05	13,54 <sup>cd</sup> ± 0,28	8,24 <sup>c</sup> ± 0,34	5,29 <sup>ef</sup> ± 0,05	64,56 <sup>c</sup> ± 0,26	373,58 <sup>b</sup> ± 0,54	20,30 <sup>e</sup> ± 0,06
<b>TW 20</b>	8,73 <sup>d</sup> ± 0,08	1,77 <sup>d</sup> ± 0,03	19,25 <sup>b</sup> ± 0,09	2,95 <sup>c</sup> ± 0,05	18,56 <sup>b</sup> ± 0,01	12,87 <sup>d</sup> ± 0,16	5,70 <sup>de</sup> ± 0,17	57,47 <sup>d</sup> ± 0,01	370,55 <sup>c</sup> ± 0,14	20,78 <sup>b</sup> ± 0,14
<b>TW 30</b>	8,41 <sup>e</sup> ± 0,05	1,88 <sup>d</sup> ± 0,01	20,61 <sup>a</sup> ± 0,08	4,54 <sup>a</sup> ± 0,05	25,44 <sup>a</sup> ± 0,22	19,04 <sup>b</sup> ± 0,14	6,40 <sup>c</sup> ± 0,08	47,43 <sup>e</sup> ± 0,27	363,90 <sup>d</sup> ± 0,53	22,65 <sup>a</sup> ± 0,11

\*Węglowodany obliczone z różnicy. DPS – makaron z odtłuszczonymi nasionami papryki; PP – makaron z błonkami papryki; TW – makaron z wyciekami z pomidora. IDF - nierozpuszczalny błonnik pokarmowy; SDF - rozpuszczalny błonnik pokarmowy; TDF - całkowity błonnik pokarmowy. Dane przedstawiono jako wartość średnią (n=3) ± odchylenie standardowe. Wartości w kolumnach oznaczone różnymi literami są znacząco różne (Test Tukeya; p ≤ 0,05).

W związku z większą zawartością białka i TDF w otrzymanych próbach makaronu w porównaniu z CON, zawartość węglowodanów w tych produktach była znacznie mniejsza ( $p \leq 0,05$ ). W porównaniu z próbą kontrolną makarony fortyfikowane cechowały się obniżoną zawartością węglowodanów od 10,10% dla PP10 do nawet 62,22% i 57,36%, odpowiednio dla TW30 i DPS30. Podobną zależność odnotowano w badaniach zaprezentowanych w **Publikacji III**.

Wartość energetyczna CON wynosiła 391,5 kcal/100 g, i była zbliżona do próby kontrolnej prezentowanej w ramach **Publikacji II**, tj. 397,39 kcal/100 g. Wartość kaloryczna prób wzbogaconych odtłuszczonymi nasionami papryki, błonkami papryki i wytlókami z pomidora zmniejszyła się istotnie ( $p \leq 0,05$ ) w każdym wariantcie fortyfikacji. Najmniejszą kalorycznością spośród badanych makaronów cechował się produkt wzbogacony 30% dodatkiem odtłuszczonych nasion papryki. Głównym czynnikiem odpowiedzialnym za niższą wartość kaloryczną produktów wzbogacanych była wysoka zawartość błonnika o wartości energetycznej wynoszącej zaledwie 2 kcal/g.

Badania wykazały, że sześć z dziesięciu otrzymanych prób makaronu można sklasyfikować jako produkty wysokobiałkowe, zgodnie z definicją UE. Kryterium według którego minimum 20% energii powinno pochodzić z białka spełniły próby wzbogacone 30% dodatkiem DPS (odtłuszczone nasiona papryki), minimum 20% dodatkiem PP (błonki papryki) oraz wszystkie próby z dodatkiem TW (wytłoki z pomidora). Najwyższą wartość uzyskano dla próby z 30% dodatkiem TW (22,65%), co może sugerować, że jest to najlepszy spośród wszystkich wykorzystanych w badaniach, surowiec do wzbogacania żywności w białko. Makaron wysokobiałkowy uzyskano także wzbogacając ciasto makaronowe 25% dodatkiem zarodków pszennych i 12% dodatkiem izolatu białka z zarodków pszennych (**Publikacja III**) oraz 40% dodatkiem mąki z nasion konopi (**Publikacja II**).

Zawartość składników mineralnych w wybranych próbach makaronu podano w Tabeli 28. Każdorazowa fortyfikacja skutkowała statystycznie istotnym ( $p \leq 0,05$ ) wzrostem poziomu składników mineralnych w stosunku do ich zawartości w próbie CON, co jest bardzo ważne z żywieniowego punktu widzenia, zwłaszcza że na przestrzeni lat obserwuje się obniżenie się zawartości mikro- i makroelementów w roślinach uprawnych (White i Broadley, 2005). Próba DPS30 cechowała się prawie dwukrotnie większą zawartością Zn i Mg oraz ponad czterokrotnie większą zawartością Cr w stosunku do próby CON. Próbę PP30 wyróżniał najwyższy poziom K i Na, co mogło przyczynić się do poprawy parametrów reologicznych ciasta (Abedi i Pourmohammadi, 2021), natomiast makaron TW30 był najbardziej zasobny

w Ca. Podobnie badania przeprowadzone przez Mehta i in. (2018) wykazały znaczny wzrost zawartości Ca w chlebie wzbogaconym wyciekami z pomidora.

W niniejszym badaniu określono skład aminokwasowy dla surowców i prób makaronu (Tabela 32 i Tabela 33). Spośród wszystkich surowców odpadowych odtłuszczone nasiona papryki (DPS) charakteryzowały się najlepszym składem aminokwasowym. Zawartość aminokwasów niezbędnych w tym surowcu była zbliżona do wzorcowego składu aminokwasowego białka, zaproponowanego przez WHO. Głównymi aminokwasami ograniczającymi wartość biologiczną białka semoliny były lizyna i tryptofan, błonek papryki - histydyna, a białka obecnego w wyciekach z pomidora - tryptofan. Niemniej jednak zawartość lizyny w surowcach warzywnych była około dwukrotnie większa niż w semolinie (21,78 mg/g białka vs 41,89-47,9 mg/g białka) i dlatego ich dodatek może wpłynąć na poprawę wartości biologicznej białka pszenicy. Ponadto surowce te były bardzo dobrym źródłem aminokwasów siarkowych (Met + Cys) (123,25 mg/g białka w odtłuszczonych nasionach z papryki) i Asp (215 mg/g białka w błonkach papryki), co również jest bardzo obiecujące w kontekście ich wykorzystania do wzbogacania produktów spożywczych z niedoborami tych aminokwasów. Jednak badane surowce odpadowe zawierały mniej Glu i Pro niż semolina.

Analiza składu aminokwasowego wykazała, że wzbogacenie makaronu w produkty odpadowe z przetwórstwa warzyw wpłynęło korzystnie na wartość biologiczną białka. Na szczególną uwagę zasługują lizyna i treonina, które są ograniczającymi aminokwasami w białku pszenicy. Wzrost zawartości lizyny zaobserwowano w każdej wzbogaconej próbie makaronu, przy czym największy wzrost (aż o 58%) zaobserwowano w próbie TW30. W otrzymanych produktach fortyfikowanych wzrosła również zawartość treoniny. Według WHO zawartość treoniny powinna wynosić 23 mg/g białka, co zostało osiągnięte w próbach PP30 i TW30. Wzorcowa zawartość lizyny wynosi 45 mg/g białka i niestety lizyna nadal była aminokwasem ograniczającym w makaronach wzbogaconych komponentami warzywnymi. Wzorcowy skład aminokwasowy nie został osiągnięty również w badaniach innych autorów, gdy makaron był wzbogacony proszkiem z odpadów z przetwórstwa karmelii szczawiowej (*Hibiscus sabdariffa*) (Baigts-Allende i in., 2022), niemniej dodatek tych odpadów roślinnych znacznie poprawił skład aminokwasowy makaronu.

**Tabela 32.** Zawartość aminokwasów endogennych w surowcach i próbach makaronu (mg/g białka)

Aminokwas	Ala	Asp	Glu	Gly	Pro	Ser	Arg
<b>Surowce</b>							
<b>Semolina durum</b>	31,55 <sup>c</sup> ± 0,41	49,04 <sup>d</sup> ± 0,49	301,27 <sup>a</sup> ± 0,09	28,54 <sup>c</sup> ± 0,44	115,29 <sup>a</sup> ± 0,83	45,97 <sup>a</sup> ± 0,06	36,9 <sup>c</sup> ± 0,15
<b>Odtłuszczone nasiona papryki</b>	43,69 <sup>a</sup> ± 0,04	100,13 <sup>c</sup> ± 0,18	195,94 <sup>d</sup> ± 0,37	48,35 <sup>a</sup> ± 0,42	48,06 <sup>b</sup> ± 0,01	42,52 <sup>b</sup> ± 0,08	83,90 <sup>a</sup> ± 0,50
<b>Błonki papryki</b>	14,50 <sup>d</sup> ± 0,26	215,48 <sup>a</sup> ± 0,19	219,83 <sup>b</sup> ± 0,75	12,61 <sup>d</sup> ± 0,28	12,32 <sup>d</sup> ± 0,33	32,60 <sup>d</sup> ± 0,25	21,61 <sup>d</sup> ± 0,05
<b>Wytłoki z pomidora</b>	35,14 <sup>b</sup> ± 0,04	114,88 <sup>b</sup> ± 1,04	202,35 <sup>c</sup> ± 0,29	44,1 <sup>b</sup> ± 0,03	45,73 <sup>c</sup> ± 0,03	41,04 <sup>c</sup> ± 0,03	62,75 <sup>b</sup> ± 0,35
<b>Próby makaronu</b>							
<b>CON</b>	31,68 <sup>bc</sup> ± 0,42	49,16 <sup>g</sup> ± 0,48	301,39 <sup>a</sup> ± 0,09	28,66 <sup>ef</sup> ± 0,43	115,41 <sup>a</sup> ± 0,84	46,10 <sup>a</sup> ± 0,07	37,09 <sup>f</sup> ± 0,15
<b>DPS 10</b>	31,64 <sup>bc</sup> ± 0,55	47,15 <sup>g</sup> ± 0,20	267,15 <sup>ed</sup> ± 3,80	27,34 <sup>gh</sup> ± 0,12	103,78 <sup>b</sup> ± 3,52	42,87 <sup>c</sup> ± 0,24	39,09 <sup>ed</sup> ± 0,10
<b>DPS 20</b>	33,05 <sup>ab</sup> ± 0,04	56,96 <sup>f</sup> ± 0,31	250,51 <sup>f</sup> ± 3,47	32,85 <sup>b</sup> ± 0,23	90,40 <sup>d</sup> ± 0,31	42,10 <sup>d</sup> ± 0,19	43,45 <sup>b</sup> ± 0,34
<b>DPS 30</b>	33,98 <sup>a</sup> ± 0,04	63,45 <sup>d</sup> ± 0,11	235,01 <sup>g</sup> ± 0,15	34,08 <sup>a</sup> ± 0,07	81,25 <sup>c</sup> ± 0,44	40,88 <sup>c</sup> ± 0,37	49,06 <sup>a</sup> ± 0,11
<b>PP 10</b>	30,24 <sup>cde</sup> ± 0,08	77,78 <sup>c</sup> ± 1,02	282,86 <sup>b</sup> ± 1,05	27,95 <sup>fg</sup> ± 0,53	97,57 <sup>c</sup> ± 0,49	43,80 <sup>b</sup> ± 0,08	31,04 <sup>g</sup> ± 0,02
<b>PP 20</b>	28,40 <sup>f</sup> ± 0,19	101,05 <sup>b</sup> ± 0,45	274,79 <sup>c</sup> ± 0,33	26,42 <sup>h</sup> ± 0,15	78,11 <sup>e</sup> ± 0,07	40,40 <sup>e</sup> ± 0,22	30,92 <sup>g</sup> ± 0,10
<b>PP 30</b>	28,76 <sup>ef</sup> ± 0,41	133,26 <sup>a</sup> ± 0,55	260,94 <sup>c</sup> ± 0,59	25,07 <sup>i</sup> ± 0,41	61,64 <sup>f</sup> ± 0,62	38,12 <sup>f</sup> ± 0,21	30,38 <sup>g</sup> ± 0,24
<b>TW 10</b>	29,75 <sup>def</sup> ± 0,16	57,27 <sup>f</sup> ± 0,16	277,28 <sup>bc</sup> ± 2,32	29,35 <sup>de</sup> ± 0,08	101,52 <sup>bc</sup> ± 1,83	38,68 <sup>f</sup> ± 0,08	38,41 <sup>e</sup> ± 0,22
<b>TW 20</b>	30,75 <sup>cd</sup> ± 1,17	60,32 <sup>e</sup> ± 0,84	270,42 <sup>cd</sup> ± 0,72	30,34 <sup>d</sup> ± 0,20	90,10 <sup>d</sup> ± 1,21	38,08 <sup>f</sup> ± 0,16	39,62 <sup>d</sup> ± 0,52
<b>TW 30</b>	29,86 <sup>cdef</sup> ± 0,26	61,42 <sup>de</sup> ± 0,68	246,4 <sup>f</sup> ± 0,42	31,60 <sup>c</sup> ± 0,26	81,78 <sup>e</sup> ± 0,72	37,25 <sup>g</sup> ± 0,08	41,10 <sup>c</sup> ± 0,11

CON – próba kontrolna. DPS – makaron z odtłuszczonymi nasionami papryki; PP – makaron z błonkami papryki; TW – makaron z wytłokami z pomidora. Średnie (n = 2) z różnymi literami w tej samej kolumnie (oddzielnie dla surowców i prób makaronu) różnią się istotnie (Test Tukeya, p ≤ 0,05).



**Tabela 33.** Zawartość aminokwasów egzogennych w surowcach i próbach makaronu w porównaniu ze wzorem punktacji aminokwasów dla dorosłych (FAO, 2007) (mg/g białka).

Aminokwas	His	Ile	Leu	Lys	Thr	Trp	Val	AAA (Phe + Tyr)	SAA (Met + Cys)	Aminokwas s ograniczający	Punktacja aminokwasów a z wykorzystaniem wzoru punktowego dla dorosłych*
<b>Wzór punktacji aminokwasowej dla dorosłych*</b>	<b>15</b>	<b>30</b>	<b>59</b>	<b>45</b>	<b>23</b>	<b>6</b>	<b>39</b>	<b>38</b>	<b>22</b>		
<b>Surowce</b>											
<b>Semolina durum</b>	19,28 <sup>c</sup> ± 0,39	35,63 <sup>a</sup> ± 0,97	56,82 <sup>ab</sup> ± 0,44	21,78 <sup>c</sup> ± 0,69	21,26 <sup>c</sup> ± 0,06	17,46 <sup>a</sup> ± 0,21	44,88 <sup>a</sup> ± 0,50	60,79 <sup>c</sup> ± 0,91	31,67 <sup>c</sup> ± 0,64	Lys, Thr	48
<b>Odłuszczone nasiona papryki</b>	27,23 <sup>a</sup> ± 0,01	32,41 <sup>b</sup> ± 0,22	60,35 <sup>a</sup> ± 0,25	47,42 <sup>a</sup> ± 0,34	21,66 <sup>c</sup> ± 0,01	14,34 <sup>b</sup> ± 0,08	39,48 <sup>c</sup> ± 0,31	74,80 <sup>a</sup> ± 0,30	123,25 <sup>a</sup> ± 5,51	-	
<b>Błonki papryki</b>	13,50 <sup>d</sup> ± 0,12	29,50 <sup>c</sup> ± 0,19	53,29 <sup>ab</sup> ± 4,14	41,89 <sup>b</sup> ± 0,93	34,21 <sup>b</sup> ± 0,18	6,90 <sup>c</sup> ± 0,17	39,67 <sup>c</sup> ± 0,07	38,44 <sup>d</sup> ± 0,30	82,61 <sup>b</sup> ± 0,07	His	90
<b>Wytłoki</b>	21,89 <sup>b</sup> ± 0,09	28,59 <sup>c</sup> ± 0,04	50,37 <sup>b</sup> ± 0,11	47,90 <sup>a</sup> ± 0,45	41,95 <sup>a</sup> ± 0,53	3,68 <sup>d</sup> ± 0,05	42,76 <sup>b</sup> ± 0,31	64,42 <sup>b</sup> ± 0,32	83,09 <sup>b</sup> ± 2,93	Trp	61
<b>Próby makaronu</b>											
<b>CON</b>	19,41 <sup>ef</sup> ± 0,39	35,75 <sup>a</sup> ± 0,97	56,95 <sup>b</sup> ± 0,43	21,90 <sup>c</sup> ± 0,68	21,63 <sup>f</sup> ± 0,20	17,58 <sup>a</sup> ± 0,22	41,4 <sup>bcd</sup> ± 0,06	60,91 <sup>c</sup> ± 0,91	32,59 <sup>g</sup> ± 0,44	Lys	48
<b>DPS 10</b>	20,70 <sup>c</sup> ± 0,11	33,77 <sup>b</sup> ± 0,26	57,64 <sup>ab</sup> ± 0,54	22,67 <sup>c</sup> ± 0,44	21,78 <sup>f</sup> ± 0,64	16,12 <sup>bc</sup> ± 0,29	43,44 <sup>ab</sup> ± 0,30	60,84 <sup>c</sup> ± 0,74	44,73 <sup>de</sup> ± 0,71	Lys	50
<b>DPS 20</b>	22,31 <sup>b</sup> ± 0,08	32,08 <sup>cde</sup> ± 0,02	58,51 <sup>ab</sup> ± 0,06	29,49 <sup>b</sup> ± 0,05	21,29 <sup>f</sup> ± 0,10	15,85 <sup>bcd</sup> ± 0,05	42,26 <sup>abc</sup> ± 0,15	63,86 <sup>b</sup> ± 0,53	53,51 <sup>bc</sup> ± 1,63	Lys	65
<b>DPS 30</b>	23,35 <sup>a</sup> ± 0,14	30,79 <sup>c</sup> ± 0,33	59,07 <sup>a</sup> ± 0,07	33,97 <sup>a</sup> ± 0,48	21,07 <sup>f</sup> ± 0,06	15,57 <sup>cd</sup> ± 0,01	42,05 <sup>abc</sup> ± 0,09	66,10 <sup>a</sup> ± 0,18	67,69 <sup>a</sup> ± 0,64	Lys	75
<b>PP 10</b>	19,06 <sup>fg</sup> ± 0,33	33,44 <sup>bc</sup> ± 0,27	54,52 <sup>c</sup> ± 0,08	22,00 <sup>c</sup> ± 0,05	25,42 <sup>de</sup> ± 0,04	16,67 <sup>b</sup> ± 0,21	39,82 <sup>cde</sup> ± 0,24	61,73 <sup>c</sup> ± 0,45	40,17 <sup>f</sup> ± 0,08	Lys	48
<b>PP 20</b>	18,30 <sup>gh</sup> ± 0,37	32,08 <sup>cde</sup> ± 0,10	53,44 <sup>cd</sup> ± 0,32	23,76 <sup>de</sup> ± 0,13	26,17 <sup>cd</sup> ± 0,24	15,24 <sup>de</sup> ± 0,10	38,08 <sup>c</sup> ± 2,04	56,25 <sup>d</sup> ± 0,41	50,75 <sup>c</sup> ± 0,69	Lys	53
<b>PP 30</b>	17,85 <sup>h</sup> ± 0,07	31,38 <sup>cd</sup> ± 0,40	51,68 <sup>c</sup> ± 0,93	24,67 <sup>cd</sup> ± 0,16	27,00 <sup>c</sup> ± 0,03	14,22 <sup>fg</sup> ± 0,05	39,16 <sup>de</sup> ± 0,07	54,85 <sup>d</sup> ± 0,07	56,84 <sup>b</sup> ± 1,97	Lys	55
<b>TW 10</b>	19,72 <sup>def</sup> ± 0,08	33,26 <sup>bc</sup> ± 0,41	54,22 <sup>cd</sup> ± 0,16	25,94 <sup>c</sup> ± 1,02	24,68 <sup>c</sup> ± 0,16	14,41 <sup>ef</sup> ± 0,25	44,25 <sup>a</sup> ± 0,02	60,17 <sup>c</sup> ± 0,53	40,65 <sup>ef</sup> ± 0,02	Lys	58
<b>TW 20</b>	20,06 <sup>cd</sup> ± 0,09	32,51 <sup>bcd</sup> ± 0,20	54,55 <sup>c</sup> ± 0,24	29,81 <sup>b</sup> ± 0,64	28,56 <sup>b</sup> ± 0,50	13,45 <sup>gh</sup> ± 0,28	43,52 <sup>ab</sup> ± 0,70	63,77 <sup>b</sup> ± 0,31	45,76 <sup>d</sup> ± 2,08	Lys	66
<b>TW 30</b>	20,34 <sup>cd</sup> ± 0,01	30,55 <sup>c</sup> ± 0,26	52,83 <sup>de</sup> ± 0,38	34,84 <sup>a</sup> ± 0,40	29,82 <sup>a</sup> ± 0,07	12,76 <sup>h</sup> ± 0,36	43,13 <sup>ab</sup> ± 0,17	64,17 <sup>ab</sup> ± 0,06	50,50 <sup>c</sup> ± 0,54	Lys	77

CON – próba kontrolna. DPS – makaron z odłuszczonymi nasionami papryki; PP – makaron z błonkami papryki; TW – makaron z wytłokami z pomidora. SAA – aminokwasy siarkowe; AAA – aminokwasy aromatyczne. Średnie (n = 2) z różnymi literami w tej samej kolumnie (oddzielnie dla surowców i prób makaronu) różnią się istotnie (Test Tukeya, p ≤ 0,05).

\* World Health Organization/Food and Agriculture Organization/United Nations University (2007) Protein and Amino Acid Requirements in Human Nutrition Report of a Joint WHO/FAO/UNU Expert Consultation. WHO Technical Report Series no. 935. Geneva: WHO.

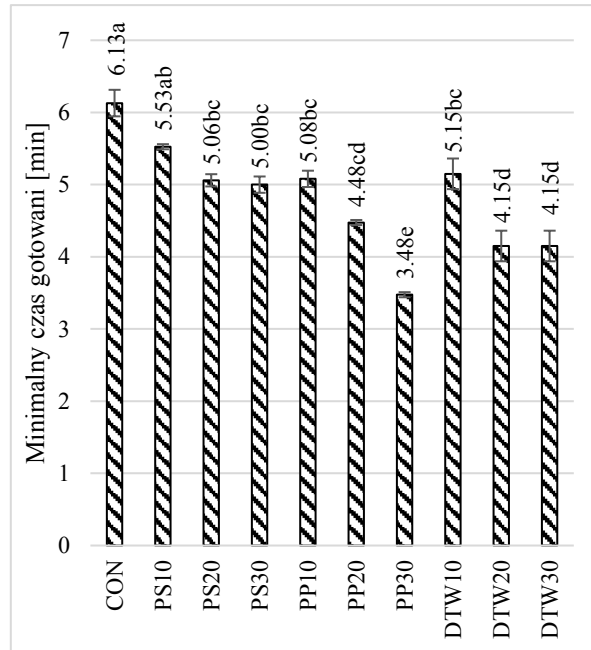
## Jakość kulinarna

Wyniki badań jakości kulinarnej makaronów wzbogaconych komponentami warzywnymi zaprezentowano na Rysunku 3. Jednym z najważniejszych wyznaczników jakości jest minimalny czas gotowania. Konsumenci preferują makarony o krótkim czasie gotowania. Badanie wykazało, że minimalny czas gotowania zmniejszał się wraz ze wzrostem dodatku surowców odpadowych z przetwórstwa warzyw, przy czym najkrótszego czasu gotowania wymagały próby wzbogacone błonkami papryki (3,48 min dla PP30 vs. 6,13 min dla CON ).

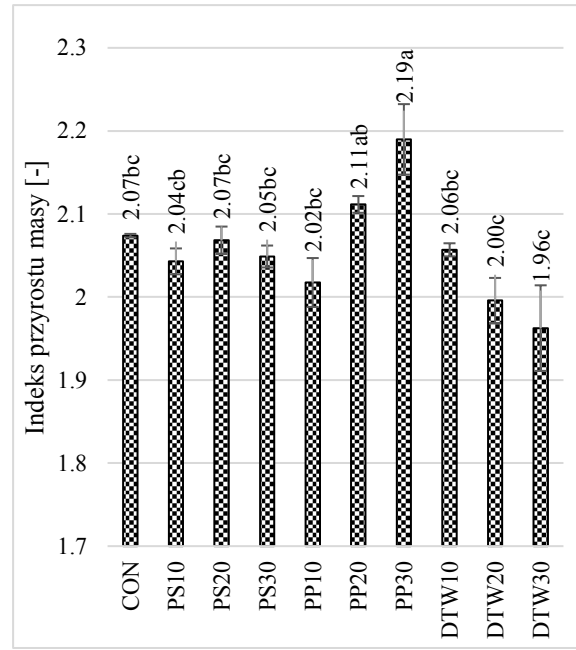
Współczynnik przyrostu masy jest miarą zdolności produktu do absorpcji wody podczas gotowania. Makaron o dobrych właściwościach powinien charakteryzować się wskaźnikiem przyrostu masy na poziomie co najmniej 2 (Sobota i Skwira, 2009). Uznaje się, że wzrost wartości współczynnika przyrostu masy jest wprost proporcjonalny do czasu gotowania makaronu (Kultys i Moczowska-Wyrwisz, 2022). Wysoką zdolnością do absorpcji wody cechuje się skrobia, ale literatura wskazuje również na dużą wodochłonność błonnika pokarmowego (szczególnie frakcji rozpuszczalnej), białka czy polifenoli (Gumul i in., 2023). Statystycznie istotne zmiany tego parametru ( $p \leq 0,05$ ) w porównaniu z próbą CON (2,07) odnotowano tylko w makaronie PP30 (2,19). Pomimo najkrótszego czasu gotowania produkt ten wyróżniał się największym współczynnikiem przyrostu masy. Mogło to być związane z wysoką zawartością pektyn w PP (błonki papryki), zaliczanych do rozpuszczalnej frakcji błonnika (SDF) (Conforti i Zinck, 2002). Ponadto polifenole obecne w papryce (Jeong i in., 2011) mogły również wchodzić w interakcje z białkiem, skrobią i innymi polisacharydami, wpływając na zwiększoną absorpcję wody przez produkt (Sivam i in., 2013).

Straty suchej substancji podczas gotowania nie powinny przekraczać 8%. Istotny wzrost ( $p \leq 0,05$ ) wartości tego parametru odnotowano we wszystkich produktach fortyfikowanych. Pomimo najwyższej wartości współczynnika przyrostu masy, próba PP30 wykazywała również największą wartość strat podczas gotowania. Wpływ na to mogła mieć również wysoka zawartość błonnika rozpuszczalnego, oraz wysoki stopień rozdrobnienia surowca warzywnego (Tabela 29). Średnica zastępcza – opisująca średnią wielkość cząstek surowca – w przypadku błonek papryki była znacznie mniejsza niż w przypadku semoliny, co ułatwiało przechodzenie drobnoziarnistych frakcji komponentu roślinnego do wody podczas gotowania. Granulacja pozostałych surowców warzywnych była większa w porównaniu z PP i semoliną. Jedynie makaron PP30 cechował się stratami suchej substancji przekraczającymi dopuszczalną wartość 8% (9,99% s.m.). Należy jednak podkreślić, że straty podczas gotowania zależą nie tylko od składu chemicznego produktu, ale także od jego stosunku objętości do powierzchni

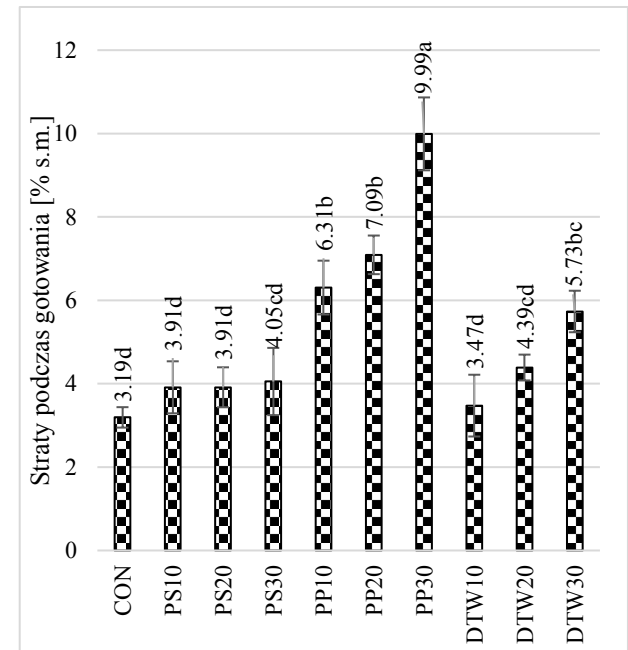
(Shreenithee i Prabhasankar, 2013). W przypadku produktu w kształcie cienkiej wstążki duża powierzchnia kontaktu makaronu z wodą może również powodować wyższy poziom strat suchej masy.



(a)













(b)



(c)

**Rysunek 3.** Jakość kulinarna makaronu: (a) minimalny czas gotowania; (b) współczynnik przyrostu masy; oraz (c) straty suchej substancji podczas gotowania. CON - próba kontrolna; DPS – makaron z odtłuszczonymi nasionami papryki; PP - makaron z błonkami papryki; TW - makaron z wyłokami z pomidora. Dane przedstawiono jako średnie ( $n = 3$ )  $\pm$  odchylenie standardowe, średnie ( $n = 2$ ) z różnymi literami na tym samym wykresie różnią się istotnie (Test Tukeya,  $p \leq 0,05$ ).

**Tabela 34.** Zdjęcia otrzymanych prób makaronu

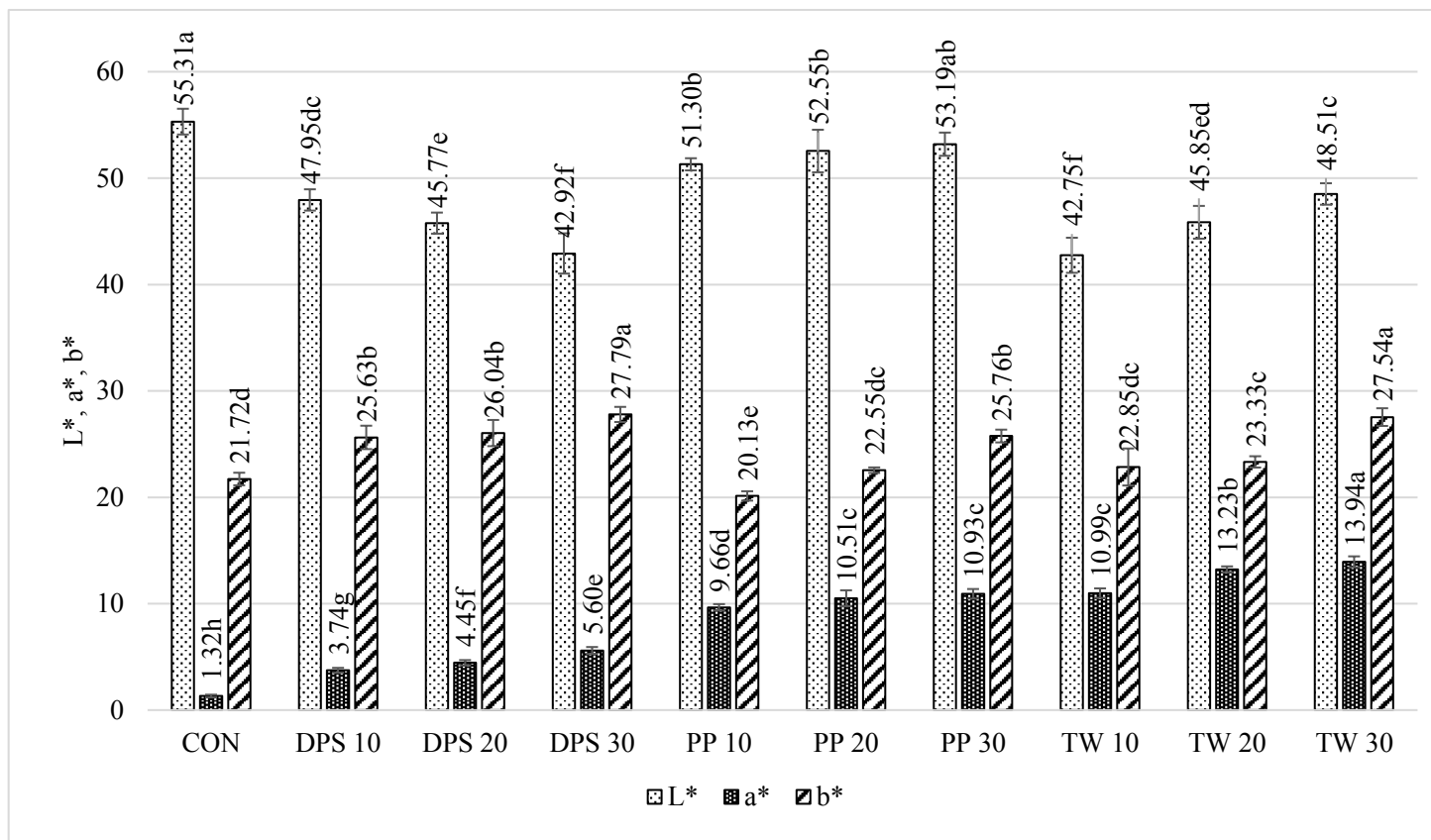
CON	DPS10	DPS20	DPS30
			
PP10	PP20	PP30	
			
TW10	TW20	TW30	
			

CON – próba kontrolna. DPS – makaron z odtuszczonymi nasionami papryki; PP – makaron z błonkami papryki; TW – makaron z wyciekami z pomidora.

## Parametry barwy nieugotowanych makaronów

Barwa makaronu jest pierwszą cechą ocenianą przez konsumenta podczas zakupu, zatem istotne jest, aby była postrzegana pozytywnie. W badaniu zmierzono parametry barwy makaronu nieugotowanego (Rysunek 4). Analiza parametru  $L^*$  wykazała znaczące ( $p \leq 0,05$ ) pociemnienie wszystkich produktów fortyfikowanych w porównaniu z próbą CON. Makaron CON był najjaśniejszy (55,31). Najniższe wartości parametru  $L^*$  odnotowano dla prób wzbogaconych TW (wytłoki z pomidora) (42,75-48,51) i DPS (odtłuszczone nasiona papryki) (47,95-42,92), podczas gdy próby wzbogacone błonkami papryki cechowały się najwyższymi wartościami tego parametru (51,30-53,19), wśród produktów fortyfikowanych. Co ciekawe wraz ze wzrostem poziomu fortyfikacji PP (błonki papryki) i TW odnotowano niewielki wzrost parametru  $L^*$ . Może to być związane z obecnością nieuwodnionych w czasie procesu produkcji makaronu jasnych cząstek surowców wysokobłonnikowych, co widoczne jest na zdjęciach przedstawionych w Tabeli 34. TW (wytłoki z pomidora) i PP (błonki papryki) są dobrym źródłem karotenoidów, głównie kapsantyny (papryka) (Saini i in., 2022) i likopenu (pomidory) (Madia i in., 2021), które sprawiają, że barwa produktów stawała się bardziej czerwona w funkcji wzrastającego udziału tych komponentów. Zawartość tych składników niewątpliwie wpłynęła również na wartość parametru  $a^*$ . W przypadku makaronu wzbogaconego PP i TW, parametr  $a^*$  wykazał ponad 8-krotny wzrost w próbie PP30 (10,93) i aż 10-krotny wzrost w próbie TW30 (13,94), w porównaniu z CON (1,32). Wartość parametru  $a^*$  również wzrosła w próbach wzbogaconych nasionami papryki i wynosiła od 3,74 dla DPS10 do 5,60 dla DPS30.

W porównaniu z CON, statystycznie istotne różnice w wartości parametru  $b^*$  odnotowano we wszystkich próbach, z wyjątkiem PP10, PP20 i TW10. Biorąc pod uwagę wszystkie parametry barwy, makaron suplementowany DPS stawał się ciemnożółty, podczas gdy makaron wzbogacony PP i odpadami pomidorowymi stawał się intensywnie pomarańczowy (Tabela 9). Podobną tendencję odnotowano w przypadku makaronu wzbogaconego papryką (Covaliov i in., 2022) i chleba wzbogaconego wytlókami pomidorowymi (Nour i in., 2015).



**Rysunek 4.** Parametry barwy suszonych prób makaronu. CON - próba kontrolna; DPS – makaron z odtuszczonej nasionami papryki; PP - makaron z błonkami papryki; TW - makaron z wytlótkami z pomidora. L\*: barwa biała/czarna (jasność); a\*: barwa czerwona/zielona; b\*: barwa niebieska/żółta. Średnie (n = 30) z różnymi literami na tym samym wykresie różnią się istotnie (Test Tukeya, p ≤ 0,05).

## 6. Podsumowanie i wnioski

Wyniki badań wchodzących w skład niniejszej pracy doktorskiej wskazują na szerokie możliwości zastosowania różnorodnych surowców roślinnych do fortyfikacji makaronu w białko i inne cenne makro- i mikroskładniki odżywcze. Dodatek mąki konopnej na poziomie minimum 30%, zarodków pszennych na poziomie 25%, odtłuszczonych nasion papryki na poziomie 30% i błonek papryki na poziomie 20% pozwalał uzyskać produkt wysokobiałkowy zgodnie z kryteriami zawartymi w rozporządzeniu Unii Europejskiej. Należy jednak podkreślić, że to samo kryterium zostało spełnione dla prób z dodatkiem izolatu białka z zarodków pszennych i wyłoków z pomidora już na poziomie odpowiednio 8 i 10%. Dodatkowo, makaron z 12% dodatkiem izolatu białka z zarodków pszennych posiadał białko o wzorcowym składzie aminokwasowym.

Jakość kulinarna oraz akceptacja konsumentcka większości fortyfikowanych prób makaronu została utrzymana na akceptowalnym poziomie. Dodatek wykorzystywanych surowców roślinnych nie zakłócał również w znaczący sposób przebiegu procesu technologicznego, dając możliwość przeniesienia wyników badań na większą skalę przemysłową.

Wykorzystanie wybranych wysokobiałkowych surowców roślinnych do wzbogacenia wartości odżywczej makaronów może przyczynić się również do lepszego wykorzystania zasobów oraz ograniczenia ilości odpadów i produktów ubocznych z przemysłu spożywczego, wpisując się w trend zero-waste propagowany w ostatnich latach.

### **Na podstawie wyników badań wyciągnięto następujące wnioski:**

1. Dodatek komponentów roślinnych zastosowanych w badaniach wpłynął na poprawę składu chemicznego oraz wartości odżywczej makaronów. Otrzymane produkty cechowały się zwiększoną zawartością białka oraz błonnika pokarmowego w stosunku do makaronu kontrolnego wykonanego wyłącznie z semoliny durum.
2. Dodatek wysokobiałkowych komponentów roślinnych wpłynął na poprawę składu aminokwasowego białka obecnego w makaronie.
3. Częściowa substytucja semoliny surowcami roślinnymi zasobnymi w białko wpłynęła na jakość kulinarną makaronów, między innymi zwiększając straty suchej substancji podczas gotowania. W przypadku większości fortyfikowanych produktów straty te nie przekraczały 8% co dowodzi o wysokiej jakości kulinarnej makaronów.
4. Fortyfikacja makaronów wysokobiałkowymi surowcami roślinnymi wpłynęła na wyniki oceny organoleptycznej, obniżając je w stosunku do wyników oceny makaronu kontrolnego



z pszenicy durum. Jednak w większości produkty fortyfikowane uzyskały wysokie noty w ocenie organoleptycznej co potwierdza, że są wyrobami akceptowalnymi przez konsumentów.

5. Dodatek mąk z nasion roślin strączkowych wpłynął pozytywnie na skład chemiczny makaronów i ich barwę oraz pozwolił uzyskać produkty cechujące się dobrą jakością kulinarną i organoleptyczną.
6. Fortyfikacja makaronów surowcami konopnymi znacząco wpłynęła na poprawę wartości odżywczej makaronu, pozwalając uzyskać makaron wysokobłonnikowy. Makaron wysokobiałkowy udało się uzyskać przy minimum 30% dodatku mąki konopnej. Dodatek surowców konopnych do makaronu, mimo wzbogacenia w kannabinoidy, pozwolił uzyskać produkty bezpieczne pod względem zdrowotnym.
7. Dodatek zarodków pszennych na poziomie 25% i izolatu białka z zarodków pszennych na poziomie 8% pozwolił uzyskać makaron wysokobiałkowy. Dodatkowo makaron wzbogacony 12% dodatkiem izolatu białka otrzymanego z zarodków pszennych cechował się białkiem pełnowartościowym pod względem składu aminokwasowego.
8. Wzbogacenie makaronu odpadami z przetwórstwa warzyw pozwoliło uzyskać makaron wysokobiałkowy przy 30% dodatku odtłuszczonych nasion z papryki, 20% dodatku błonek papryki i tylko 10% dodatku wyłoków z pomidora. Dodatkowo wszystkie makarony fortyfikowane komponentami warzywnymi mogą być określane mianem produktów wysokobłonnikowych.

## 7. Bibliografia

AACC. (2000). American Association of Cereal Chemistry Approved Methods (10th ed).

Abedi, E., i Pourmohammadi, K. (2021). Chemical modifications and their effects on gluten protein: An extensive review. *Food chemistry*, 343, 128398.

Adeyeye, E. I. (2014). The contribution of flesh, placenta and seeds to the nutritional attributes of a variety of *Capsicum annuum* (Bell pepper). *Elixir Food Science*, 68, 22587-22594.

Ahmad, U., Mushtaq, Z., Ahmad, R. S., i Asghar, N. (2017). Characterization, oxidative perspectives and consumer acceptability of tomato waste powder supplemented cookies. *JAPS: Journal of Animal i Plant Sciences*, 27(6).

Ahmed, F. L., Rezq, A. A., i Attia, A. R. M. (2010). Additional effect of defatted wheat germ protein isolate on nutritional value and functional properties of yogurts and biscuits. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 4(8), 3139-3147.

Aluko, R. E. (2017). Hemp seed (*Cannabis sativa L.*) proteins: composition, structure, enzymatic modification, and functional or bioactive properties. In: Sustainable Protein Sources (pp. 121-132). Academic Press.

Alzuwaid, N. T., Fellows, C. M., Laddomada, B., & Sissons, M. (2020). Impact of wheat bran particle size on the technological and phytochemical properties of durum wheat pasta. *Journal of Cereal Science*, 95, 103033.

Alzuwaid, N. T., Fleming, D., Fellows, C. M., i Sissons, M. (2021). Fortification of durum wheat spaghetti and common wheat bread with wheat bran protein concentrate-impacts on nutrition and technological properties. *Food chemistry*, 334, 127497.

AOAC—Association of Official Analytical Chemists International (2016). Official Methods (20 th ed.). Rockville.

Aranibar, C., Pigni, N. B., Martinez, M., Aguirre, A., Ribotta, P., Wunderlin, D., i Borneo, R. (2018). Utilization of a partially-deoiled chia flour to improve the nutritional and antioxidant properties of wheat pasta. *LWT*, 89, 381-387.

Australia New Zealand Food Standards Code—Standard 1.4.4. Prohibited and restricted plants and fungi. <https://www.legislation.gov.au/Details/F2017C01047>

Badwaik, L. S., Prasad, K., i Seth, D. (2014). Optimization of ingredient levels for the development of peanut based fiber rich pasta. *Journal Of Food Science and Technology*, 51, 2713-2719.

Bahnassey, Y., Khan, K., i Harrold, R. (1986). Fortification of spaghetti with edible legumes. I. Physicochemical, antinutritional, amino acid, and mineral composition. *Cereal Chemistry*, 63(3), 210-215.

Baigts-Allende, D. K., Pérez-Alva, A., Metri-Ojeda, J. C., Estrada-Beristain, C., Ramírez-Rodrigues, M. A., Arroyo-Silva, A., i Ramírez-Rodrigues, M. M. (2022). Use of *Hibiscus sabdariffa* by-Product to Enhance the Nutritional Quality of Pasta. *Waste and Biomass Valorization*, 14(4), 1267-1279.

Balli, D., Cecchi, L., Innocenti, M., Bellumori, M., i Mulinacci, N. (2021). Food by-products valorisation: Grape pomace and olive pomace (pâté) as sources of phenolic compounds and fiber for enrichment of tagliatelle pasta. *Food Chemistry*, 355, 129642.

Bellmaine, S., Schnellbaecher, A., i Zimmer, A. (2020). Reactivity and degradation products of tryptophan in solution and proteins. *Free Radical Biology and Medicine*, 160, 696-718.

Benderska, O., Bessarab, A., Iegorov, B., Kashkano, M., i Shutyuk, V. (2021). Biological value of tomato processing by-products. *Food Sci. Technol.*, 15, 28–36.

Boukid, F., Folloni, S., Ranieri, R., i Vittadini, E. (2018). A compendium of wheat germ: Separation, stabilization and food applications. *Trends in Food Science i Technology*, 78, 120-133.

Bruni, N., Della Pepa, C., Oliaro-Bosso, S., Pessione, E., Gastaldi, D., i Dosio, F. (2018). Cannabinoid delivery systems for pain and inflammation treatment. *Molecules*, 23(10), 2478.

- Burton, R. A., Andres, M., Cole, M., Cowley, J. M., i Augustin, M. A. (2022). Industrial hemp seed: From the field to value-added food ingredients. *Journal of Cannabis Research*, 4(1), 1-13.
- Callaway, J. C. (2004). Hempseed as a nutritional resource: An overview. *Euphytica*, 140, 65-72.
- Calvo, M. M., García, M. L., i Selgas, M. D. (2008). Dry fermented sausages enriched with lycopene from tomato peel. *Meat science*, 80(2), 167-172.
- Chouaibi, M., Rezig, L., Hamdi, S., i Ferrari, G. (2019). Chemical characteristics and compositions of red pepper seed oils extracted by different methods. *Industrial Crops and Products*, 128, 363-370.
- Ciccoritti, R., Taddei, F., Nicoletti, I., Gazza, L., Corradini, D., D'Egidio, M. G., i Martini, D. (2017). Use of bran fractions and debranned kernels for the development of pasta with high nutritional and healthy potential. *Food Chemistry*, 225, 77-86.
- Colombari, L. F., Chamma, L., da Silva, G. F., Zanetti, W. A. L., Putti, F. F., i Cardoso, A. I. I. (2022). Maturation and post-harvest resting of fruits affect the macronutrients and protein content in sweet pepper seeds. *Plants*, 11(16), 2084.
- Coman, V., Teleky, B. E., Mitrea, L., Martău, G. A., Szabo, K., Călinoiu, L. F., i Vodnar, D. C. (2020). Bioactive potential of fruit and vegetable wastes. *Advances In Food and Nutrition Research*, 91, 157-225.
- Conforti, F. D., i Zinck, J. B. (2002). Hydrocolloid-lipid coating affect on weight loss, pectin content, and textural quality of green bell peppers. *Journal of Food Science*, 67(4), 1360-1363.
- Covaliov, B.E., Deseatnicova, O., Reșitca, V., Suhodol, M.N., Grosu, C., Siminiuc, R. (2022). Impact of plant additives: Parsley (*Petroselinum crispum*) leaves and red bell pepper (*Capsicum annuum*) on the quality of eggless wheat pasta. *Czech J. Food Sci.*, 40, 281–289.
- Cvetković, T., Ranilović, J., i Jokić, S. (2022). Quality of pepper seed by-products: A review. *Foods*, 11(5), 748.
- Day, L. (2013). Proteins from land plants—potential resources for human nutrition and food security. *Trends in Food Science and Technology*, 32(1), 25-42.
- Del Valle, M., Cámara, M., i Torija, M. E. (2006). Chemical characterization of tomato pomace. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86(8), 1232-1236.
- Dick, J. W., i Youngs, V. L. (1988). Evaluation of durum wheat, semolina, and pasta in the United States. In: G. Fabriani and C. Lintas, Eds., *Durum Wheat, Chemistry and Technology*, AACC Press, St. Paul, 1998, pp. 238-248.
- Dodevska, M. S., Djordjevic, B. I., Sobajic, S. S., Miletic, I. D., Djordjevic, P. B., i Dimitrijevic-Sreckovic, V. S. (2013). Characterisation of dietary fibre components in cereals and legumes used in Serbian diet. *Food Chemistry*, 141(3), 1624-1629.
- Doxastakis, G., Papageorgiou, M., Mandalou, D., Irakli, M., Papalamprou, E., D'Agostina, A. i Arnoldi, A. (2007). Technological properties and non-enzymatic browning of white lupin protein enriched spaghetti. *Food Chemistry*, 101(1), 57-64.
- Duranti, M. (2006). Grain legume proteins and nutraceutical properties. *Fitoterapia*, 77(2), 67-82.
- EIHA—European Industrial Hemp Association. Reasonable regulation of cannabidiol (CBD) in food, cosmetics, as herbal natural medicine and as medicinal product. Hürth (Germany), 2018. <http://eiha.org/media/2016/10/18-10-EIHA-CBD-position-paper.pdf>
- Eller, F. J., Moser, J. K., Kenar, J. A., i Taylor, S. L. (2010). Extraction and analysis of tomato seed oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 87, 755-762.
- El-Sohaimy, S. A., Brennan, M., Darwish, A. M., i Brennan, C. (2020). Physicochemical, texture and sensorial evaluation of pasta enriched with chickpea flour and protein isolate. *Annals of Agricultural Sciences*, 65(1), 28-34.

- Eslami, E., Carpentieri, S., Pataro, G., i Ferrari, G. (2022). A Comprehensive Overview of Tomato Processing By-Product Valorization by Conventional Methods versus Emerging Technologies. *Foods*, 12(1), 166.
- Ewy, M. W., Patel, A., Abdelmagid, M. G., Mohamed Elfadil, O., Bonnes, S. L., Salonen, B. R., i Mundi, M. S. (2022). Plant-based diet: is it as good as an animal-based diet when it comes to protein?. *Current Nutrition Reports*, 11(2), 337-346.
- Fan, L., Yang, M., Ma, S., i Huang, J. (2022). Isolation, purification, and characterization of the globulin from wheat germ. *International Journal of Food Science and Technology*, 57(3), 1708-1717.
- FAOSTAT. (2021). Food and Agriculture Organisation Statistics Database. Retrieved from <http://www.fao.org/faostat/en/>
- Food and Agriculture Organization/World Health Organization/United Nations University (2007). Protein and Amino Acid Requirements in Human Nutrition Report of a Joint WHO/FAO/UNU Expert Consultation. (WHO Technical Report, Series no. 935). WHO.
- Food Waste Index Report 2021; United Nations Environment Programme. Available online: <https://www.unep.org/resources/report/unep-food-waste-index-report-2021> (accessed on 6 March 2023).
- Fresh Hemp Foods Ltd. Hemp Protein Powder GRAS Notice t1: 771. The safety and the generally recognized as safe (GRAS) status of the proposed use of hemp protein powder in human food. Prepared By: Marc C. Sanchez. 2018.
- Fuad, T., i Prabhasankar, P. (2010). Role of ingredients in pasta product quality: A review on recent developments. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 50(8), 787-798.
- George, B., Kaur, C., Khurdiya, D. S., & Kapoor, H. C. (2004). Antioxidants in tomato (*Lycopersium esculentum*) as a function of genotype. *Food Chemistry*, 84(1), 45-51.
- Gopalakrishnan, J., Menon, R., Padmaja, G., Sajeev, M. S., & Moorthy, S. N. (2011). Nutritional and functional characteristics of protein-fortified pasta from sweet potato. *Food and Nutrition Sciences*, 2(09), 944-955.
- Grela, E. R., Jensen, S. K., i Jakobsen, K. (1999). Fatty acid composition and content of tocopherols and carotenoids in raw and extruded grass pea (*Lathyrus sativus* L). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 79(15), 2075-2078.
- Gumul, D., Kruczek, M., Ivanišová, E., Słupski, J., i Kowalski, S. (2023). Apple pomace as an ingredient enriching wheat pasta with health-promoting compounds. *Foods*, 12(4), 804.
- Guy, R. (2001) Raw materials for extrusion cooking. In: *Extrusion Cooking Technologies and Applications* (R. Guy ed.), pp 3–26. Woodhead Publishing Limited, Cambridge, England.
- Hadener, M., König, S., i Weinmann, W. (2019). Quantitative determination of CBD and THC and their acid precursors in confiscated cannabis samples by HPLC-DAD. *Forensic Science International*, 299, 142-150.
- Handayani, A. P., Singaram, N., i Aun, C. K. (2022). Physicochemical Properties of Semolina-Based Pasta Incorporated with Chickpea Flour and Dried Moringa Leaves. *IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology*, 1, 34-39.
- Hanh, N. T., Hoang, N. V., i Tao, P. T. P. (2016). Change of chlorophyll and vitamin C in green peas (*Pisum Sativum*) during thermal processing. *Vietnam J Agric Sci*, 14(7), 1068-1074.
- Hanif, R., Iqbal, Z., Iqbal, M., Hanif, S., i Rasheed, M. (2006). Use of vegetables as nutritional food: role in human health. *Journal of Agricultural and Biological Science*, 1(1), 18-22.
- Hargreaves, S. M., Raposo, A., Saraiva, A., i Zandonadi, R. P. (2021). Vegetarian diet: an overview through the perspective of quality of life domains. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(8), 4067.
- Harris, J. M. (1997). The impact of food product characteristics on Consumer Purchasing Behavior: The Case of Frankfurters. *Journal of Food Distribution Research*, 28(856-2016-57645), 92-97.

- Hettiarachchy, N. S., Griffin, V. K., i Gnanasambandam, R. (1996). Preparation and Functional Properties of a Protein Isolate. *Cereal Chemistry*, 73(3), 363-367.
- House, J. D., Neufeld, J., i Leson, G. (2010). Evaluating the quality of protein from hemp seed (*Cannabis sativa L.*) products through the use of the protein digestibility-corrected amino acid score method. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(22), 11801-11807.
- Jeong, W. Y., Jin, J. S., Cho, Y. A., Lee, J. H., Park, S., Jeong, S. W., i Shin, S. C. (2011). Determination of polyphenols in three *Capsicum annuum L.* (bell pepper) varieties using high-performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry: Their contribution to overall antioxidant and anticancer activity. *Journal of Separation Science*, 34(21), 2967-2974.
- Jha, P. K., Kudachikar, V. B., i Kumar, S. (2013). Lipase inactivation in wheat germ by gamma irradiation. *Radiation Physics and Chemistry*, 86, 136-139.
- Kiralan, M., Gül, V., i Kara, S. M. (2010). Fatty acid composition of hempseed oils from different locations in Turkey. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 8(2), 385-390.
- Kultys, E., i Moczowska-Wyrwisz, M. (2022). Effect of using carrot pomace and beetroot-apple pomace on physicochemical and sensory properties of pasta. *LWT*, 168, 113858.
- Kumar, Y., Basu, S., Goswami, D., Devi, M., Shivhare, U. S., i Vishwakarma, R. K. (2022). Anti-nutritional compounds in pulses: Implications and alleviation methods. *Legume Science*, 4(2), e111.
- Laleg, K., Barron, C., Cordelle, S., Schlich, P., Walrand, S., i Micard, V. (2017). How the structure, nutritional and sensory attributes of pasta made from legume flour is affected by the proportion of legume protein. *LWT-Food Science and Technology*, 79, 471-478.
- Lambrecht, M. A., Rombouts, I., Nivelles, M. A., i Delcour, J. A. (2017). The role of wheat and egg constituents in the formation of a covalent and non-covalent protein network in fresh and cooked egg noodles. *Journal of Food Science*, 82(1), 24-35.
- Li, H., Liu, Y., Tian, D., Tian, L., Ju, X., Qi, L., i Liang, C. (2020). Overview of cannabidiol (CBD) and its analogues: Structures, biological activities, and neuroprotective mechanisms in epilepsy and Alzheimer's disease. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 192, 112163.
- Liao, M., Damayanti, W., Zhao, Y., Xu, X., Zheng, Y., Wu, J., i Jiao, S. (2020). Hot air-assisted radio frequency stabilizing treatment effects on physicochemical properties, enzyme activities and nutritional quality of wheat germ. *Food and Bioprocess Technology*, 13, 901-910.
- Lukin, A., i Bitiutskikh, K. (2017). On potential use of hemp flour in bread production. Bulletin of the Transilvania University of Brasov. Series II: Forestry• Wood Industry• Agricultural Food Engineering, 113-118.
- Madia, V. N., De Vita, D., Ialongo, D., Tudino, V., De Leo, A., Scipione, L., i Messori, A. (2021). Recent advances in recovery of lycopene from tomato waste: A potent antioxidant with endless benefits. *Molecules*, 26(15), 4495.
- Mahanta, N. R., Samuel, A. K., i Sachan, D. (2022). Emerging trends of zero waste in the built environment and a paradigm shift toward sustainability. *Emerging Trends to Approaching Zero Waste*, 1-35.
- Makhlouf, S., Jones, S., Ye, S. H., Sancho-Madriz, M., Burns-Whitmore, B., i Li, Y. O. (2019). Effect of selected dietary fibre sources and addition levels on physical and cooking quality attributes of fibre-enhanced pasta. *Food Quality and Safety*, 3(2), 117-127.
- Mariotti, F. (2019). Animal and plant protein sources and cardiometabolic health. *Advances in Nutrition*, 10 (Supplement\_4), S351-S366.
- Marti, A., Torri, L., Casiraghi, M. C., Franzetti, L., Limbo, S., Morandin, F., i Pagani, M. A. (2014). Wheat germ stabilization by heat-treatment or sourdough fermentation: Effects on dough rheology and bread properties. *LWT-Food Science and Technology*, 59(2), 1100-1106.

- Marzocchi, S., Caboni, F. M., Miani, G. M., i Pasini, F. (2022). Wheat germ and lipid oxidation. *Foods*, 11(7), 1032.
- Mastilović, J., Kevrešan, Ž., Vukić, M., Ivanović, M., Radovanović, J., & Džinić, D. (2018). Possibilities for utilization of dietary fiber rich supplement from pepper (*Capsicum annum L.*) processing waste in bakery products. *Journal of Engineering & Processing Management*, 10(1), 28-33.
- McKeown, P. i Dunn, R. A. (2021). A 'Life Style Choice' or a philosophical belief?: The argument for veganism and vegetarianism to be a protected philosophical belief and the position in England and Wales. *Liverpool Law Review*, (42), 207-241
- Mehta, D., Prasad, P., Sangwan, R. S., i Yadav, S. K. (2018). Tomato processing by product valorisation in bread and muffin: Improvement in physicochemical properties and shelf life stability. *Journal of Food Science and Technology*, 55(7), 2560-2568.
- Michalak-Majewska, M., Teterycz, D., Muszyński, S., Radzki, W., i Sykut-Domańska, E. (2020). Influence of onion skin powder on nutritional and quality attributes of wheat pasta. *PLoS One*, 15(1), e0227942.
- Monteiro, M. L. G., Mársico, E. T., Deliza, R., Castro, V. S., Mutz, Y. S., Junior, M. S. S., i Conte-Junior, C. A. (2019). Physicochemical and sensory characteristics of pasta enriched with fish (*Oreochromis niloticus*) waste flour. *LWT*, 111, 751-758.
- Muneer, F., Johansson, E., Hedenqvist, M. S., Plivelic, T. S., Markedal, K. E., Petersen, I. L., i Kuktaite, R. (2018). The impact of newly produced protein and dietary fiber rich fractions of yellow pea (*Pisum sativum L.*) on the structure and mechanical properties of pasta-like sheets. *Food Research International*, 106, 607-618.
- Nadarajah, S., i Mahendran, T. (2015). Influence of storage conditions on the quality characteristics of wheat-defatted coconut flour biscuits packed in metalized polypropylene. *International Journal of Engineering Research and Technology*, 4(7), 2278-0181.
- Nadathur, S., Wanasundara, J. P., i Scanlin, L. (Eds.). (2016). Sustainable protein sources. Academic Press, pp 7–8.
- Nour, V., Ionica, M. E., i Trandafir, I. (2015). Bread enriched in lycopene and other bioactive compounds by addition of dry tomato waste. *Journal of Food Science and Technology*, 52, 8260-8267.
- Nour, V., Panaite, T. D., Ropota, M., Turcu, R., Trandafir, I., & Corbu, A. R. (2018). Nutritional and bioactive compounds in dried tomato processing waste. *CyTA-Journal of Food*, 16(1), 222-229.
- Oliveira, D. M., Marques, D. R., Kwiatkowski, A., Monteiro, A. R. G., i Clemente, E. (2013). Sensory analysis and chemical characterization of cereal enriched with grape peel and seed flour. *Acta Scientiarum. Technology*, 35(3), 427-431.
- Osipova, G. A., Berezina, N. A., Seregina, T. V., Hmeleva, E. V., Nikitin, I. A., & Zavalishin, I. V. (2018). Research of Effect of Protein-Containing Additives on Pasta Quality and Biological Value. In: International scientific and practical conference "Agro-SMART-Smart solutions for agriculture"(Agro-SMART 2018) (pp. 262-268). Atlantis Press.
- Osorio-Diaz, P., Agama-Acevedo, E., Mendoza-Vinalay, M., Tovar, J., & Bello-Perez, L. A. (2008). Pasta added with chickpea flour: chemical composition, in vitro starch digestibility and predicted glycemic index. *CyTA-Journal of Food*, 6(1), 6-12.
- Petitot, M., Boyer, L., Minier, C., i Micard, V. (2010). Fortification of pasta with split pea and faba bean flours: Pasta processing and quality evaluation. *Food Research International*, 43(2), 634-641.
- PHE (Public Health England) NDNS: results from years 5 and 6 (combined). 2016. [www.gov.uk/government/collections/national-diet-and-nutrition-survey](http://www.gov.uk/government/collections/national-diet-and-nutrition-survey) (Last visited August 26, 2020).
- Pojić, M., Dapčević Hadnađev, T., Hadnađev, M., Rakita, S., i Brlek, T. (2015). Bread supplementation with hemp seed cake: A by-product of hemp oil processing. *Journal of Food Quality*, 38(6), 431-440.

- Poli, A., Anzelmo, G., Fiorentino, G., Nicolaus, B., Tommonaro, G., i Di Donato, P. (2011). Polysaccharides from wastes of vegetable industrial processing: new opportunities for their eco-friendly re-use. *Biotechnology of Biopolymers*, 33-56.
- Radocaj, O., Dimić, E., i Tsao, R. (2014). Effects of hemp (*Cannabis sativa* L.) seed oil press-cake and decaffeinated green tea leaves (*Camellia sinensis*) on functional characteristics of gluten-free crackers. *Journal of Food Science*, 79(3), C318-C325.
- Roohani, N., Hurrell, R., Kelishadi, R., i Schulin, R. (2013). Zinc and its importance for human health: An integrative review. *Journal Of Research in Medical Sciences: The Official Journal of Isfahan University of Medical Sciences*, 18(2), 144.
- Rosa-Sibakov, N., Heiniö, R. L., Cassan, D., Holopainen-Mantila, U., Micard, V., Lantto, R., i Sozer, N. (2016). Effect of bioprocessing and fractionation on the structural, textural and sensory properties of gluten-free faba bean pasta. *LWT-Food Science and Technology*, 67, 27-36.
- Rozporządzenie (WE) Nr 1924/2006 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 20 grudnia 2006 r. w sprawie oświadczeń żywieniowych i zdrowotnych dotyczących żywności.
- Rozporządzenie Komisji (UE) 2022/1393 z dnia 11 sierpnia 2022 r. zmieniające rozporządzenie (WE) nr 1881/2006 w odniesieniu do najwyższych dopuszczalnych poziomów delta-9-tetrahydrokannabinolu ( $\Delta^9$ -THC) w nasionach konopi i produktach z nich uzyskanych.
- Russo, R., i Reggiani, R. (2013). Variability in antinutritional compounds in hempseed meal of Italian and French varieties. *Plants*, 1(2), 25-29.
- Sá, A. G. A., Moreno, Y. M. F., i Carciofi, B. A. M. (2020). Plant proteins as high-quality nutritional source for human diet. *Trends in Food Science and Technology*, 97, 170-184.
- Sagar, N. A., Pareek, S., Sharma, S., Yahia, E. M., i Lobo, M. G. (2018). Fruit and vegetable waste: Bioactive compounds, their extraction, and possible utilization. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17(3), 512-531.
- Saini, R. K., Prasad, P., Lokesh, V., Shang, X., Shin, J., Keum, Y. S., i Lee, J. H. (2022). Carotenoids: Dietary sources, extraction, encapsulation, bioavailability, and health benefits—A review of recent advancements. *Antioxidants*, 11(4), 795.
- Samtiya, M., Aluko, R. E., Dhewa, T., i Moreno-Rojas, J. M. (2021). Potential health benefits of plant food-derived bioactive components: An overview. *Foods*, 10(4), 839.
- Savita, S., Arshwinder, K., Gurkirat, K., i Vikas, N. (2013). Influence of different protein sources on cooking and sensory quality of pasta. *Int. J. Eng. Res. Appl*, 3(2), 1757-1763.
- Schaich, K. M. (2016). Analysis of lipid and protein oxidation in fats, oils, and foods. In *Oxidative stability and shelf life of foods containing oils and fats* (pp. 1-131). AOCS Press. Pp. 1–131.
- Scoma, A., Rebecchi, S., Bertin, L., i Fava, F. (2016). High impact biowastes from South European agro-industries as feedstock for second-generation biorefineries. *Critical Reviews in Biotechnology*, 36(1), 175-189.
- Sehn, G. A. R., Nogueira, A. D. C., Almeida, E. L., Chang, Y. K., i Steel, C. J. (2015). Fortification of wheat dough with calcium and magnesium ions affects empirical rheological properties. *Cereal Chemistry*, 92(4), 405-410.
- Shreenithee, C. R., i Prabhasankar, P. (2013). Effect of different shapes on the quality, microstructure, sensory and nutritional characteristics of yellow pea flour incorporated pasta. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 7, 166-176.
- Sissons, M., Egan, N., & Simpfendorfer, S. (2023). Effect of Nitrogen Fertilization and Inoculation of Durum Wheat with *Fusarium pseudograminearum* on Yield, Technological Quality and Gluten Protein Composition. *Agronomy*, 13(6), 1658.

- Sivam, A. S., Sun-Waterhouse, D., Perera, C. O., i Waterhouse, G. I. N. (2013). Application of FT-IR and Raman spectroscopy for the study of biopolymers in breads fortified with fibre and polyphenols. *Food Research International*, 50(2), 574-585.
- Ślusarczyk, B.; Machowska, E. (2019). Food Waste in the World and in Poland. *Acad. Rev.*, 1, 91–100.
- Sobota, A., i Skwira, A. (2009). Physical properties and chemical composition of extruded pasta. *Acta Agrophysica*, 13(1), 245-260.
- Sobota, A., i Zarzycki, P. (2013). Effect of pasta cooking time on the content and fractional composition of dietary fiber. *Journal of Food Quality*, 36(2), 127-132.
- Sobota, A., Rzedzicki, Z., Zarzycki, P., i Kuzawińska, E. (2015a). Application of common wheat bran for the industrial production of high-fibre pasta. *International Journal of Food Science and Technology*, 50(1), 111-119.
- Sobota, A., Rzedzicki, Z., Zarzycki, P., Wirkijowska, A., & Sykut-Domańska, E. (2015b). Zmiany zawartości tłuszczu wolnego w czasie procesu produkcji makaronu jajecznego. *Żywność Nauka Technologia Jakość*, 22(5).
- Sobota, A., Świeca, M., Gęsiński, K., Wirkijowska, A., i Bochnak, J. (2020). Yellow-coated quinoa (*Chenopodium quinoa Willd*) – physicochemical, nutritional, and antioxidant properties. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100(5), 2035-2042.
- Sözer, N., i Kaya, A. (2003). Changes in cooking and textural properties of spaghetti cooked with different levels of salt in the cooking water. *Journal of Texture Studies*, 34(4), 381-390.
- Sparvoli, F., Bollini, R., i Cominelli, E. (2015). Nutritional value. Grain legumes, 291-325.
- Stephen, A. M., Champ, M. M. J., Cloran, S. J., Fleith, M., Van Lieshout, L., Mejbörn, H., i Burley, V. J. (2017). Dietary fibre in Europe: current state of knowledge on definitions, sources, recommendations, intakes and relationships to health. *Nutrition research reviews*, 30(2), 149-190.
- Sykut-Domańska, E., Zarzycki, P., Sobota, A., Teterycz, D., Wirkijowska, A., Blicharz-Kania, A., i Mazurkiewicz, J. (2020). The potential use of by-products from coconut industry for production of pasta. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(7), e14490.
- Tarzi, B. G., Shakeri, V., i Ghavami, M. (2012). Quality evaluation of pasta enriched with heated and unheated wheat germ during storage. *Advances in Environmental Biology*, 1700-1708.
- Teterycz, D., Sobota, A., Kozłowicz, K., i Zarzycki, P. (2019). Substitution of semolina durum with common wheat flour in egg and eggless pasta. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 18(4), 439-451.
- Toor, R. K., & Savage, G. P. (2005). Antioxidant activity in different fractions of tomatoes. *Food Research International*, 38(5), 487-494.
- Van der Spiegel, M., Noordam, M. Y., i Van der Fels-Klerx, H. J. (2013). Safety of novel protein sources (insects, microalgae, seaweed, duckweed, and rapeseed) and legislative aspects for their application in food and feed production. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 12(6), 662-678.
- Wang, Q., i Xiong, Y. L. (2019). Processing, nutrition, and functionality of hempseed protein: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18(4), 936-952.
- Weaver, C. M. (2013). Potassium and health. *Advances in Nutrition*, 4(3), 368S-377S.
- Welc-Stanowska, R., Kłosok, K., i Nawrocka, A. (2023). Effects of gluten-phenolic acids interaction on the gluten structure and functional properties of gluten and phenolic acids. *Journal of Cereal Science*, 103682.
- White, P. J., i Broadley, M. R. (2005). Historical variation in the mineral composition of edible horticultural products. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 80(6), 660-667.



- Wood, J. A. (2009). Texture, processing and organoleptic properties of chickpea-fortified spaghetti with insights to the underlying mechanisms of traditional durum pasta quality. *Journal of Cereal Science*, 49(1), 128-133.
- Zarzycki, P., Sykut-Domańska, E., Sobota, A., Teterycz, D., Krawęcka, A., Blicharz-Kania, A., i Zdybel, B. (2020). Flaxseed enriched pasta—chemical composition and cooking quality. *Foods*, 9(4), 404.
- Zarzycki, P., Teterycz, D., Wirkijowska, A., Kozłowicz, K., i Stasiak, D. M. (2021). Use of moldavian dragonhead seeds residue for pasta production. *LWT*, 143, 111099.
- Zhang, B., Deng, Z., Ramdath, D. D., Tang, Y., Chen, P. X., Liu, R., i Tsao, R. (2015). Phenolic profiles of 20 Canadian lentil cultivars and their contribution to antioxidant activity and inhibitory effects on  $\alpha$ -glucosidase and pancreatic lipase. *Food Chemistry*, 172, 862-872.
- Zhao, Y. H., Manthey, F. A., Chang, S. K., Hou, H. J., i Yuan, S. H. (2005). Quality characteristics of spaghetti as affected by green and yellow pea, lentil, and chickpea flours. *Journal of Food Science*, 70(6), 371-376.
- Zhu, K. X., Zhou, H. M., i Qian, H. F. (2006a). Comparative study of chemical composition and physicochemical properties of defatted wheat germ flour and its protein isolate. *Journal of Food Biochemistry*, 30(3), 329–341.
- Zhu, K. X., Zhou, H. M., i Qian, H. F. (2006b). Proteins extracted from defatted wheat germ: nutritional and structural properties. *Cereal Chemistry*, 83(1), 69–75.

## **8. Załączniki**

- Publikacje wchodzące w skład rozprawy doktorskiej
- Oświadczenia współautorów publikacji stanowiących przedmiot rozprawy doktorskiej
- Zestawienie dorobku naukowego

## Legume flour as a natural colouring component in pasta production

Dorota Teterycz<sup>1</sup> · Aldona Sobota<sup>1</sup>  · Piotr Zarzycki<sup>1</sup> · Agnieszka Latoch<sup>2</sup>

Revised: 22 March 2019 / Accepted: 22 August 2019 / Published online: 28 August 2019  
© The Author(s) 2019

**Abstract** In recent years, natural food colouring components have been sought. The conducted study presents the possibility of using different legume flours as a colouring component in durum wheat semolina pasta. The impact of legume flours addition on chemical composition, cooking quality, and sensory properties of pasta was also investigated. The pasta was fortified with 0–20% of green pea, red lentil, and grass pea flours and was made using lamination technology. An increase in the amount of the legume flour caused a significant increase in the content of dietary fibre, ash, protein, and essential amino acids, including lysine. The addition of the legume flours changed the colour of the pasta samples. Most suitable colouring component of all the studied legume flours was the red lentil flour. The pasta with 20% addition of red lentil flour had the most intense colouring ( $\Delta E = 11.31$ ), highest level of consumer acceptance and were characterized by acceptable cooking losses (7.47% d.m.), appropriate weight increase index (2.44), and high firmness.

**Keywords** Pasta · Legume flour · Colouring component · Green pea · Red lentil · Grass pea · Cooking quality

**Electronic supplementary material** The online version of this article (<https://doi.org/10.1007/s13197-019-04061-5>) contains supplementary material, which is available to authorized users.

✉ Aldona Sobota  
aldona.sobota@up.lublin.pl

<sup>1</sup> Division of Engineering and Cereals Technology, Department of Plant Food Technology and Gastronomy, University of Life Sciences in Lublin, Skromna 8, 20-704 Lublin, Poland

<sup>2</sup> Department of Meat Technology and Food Quality, University of Life Sciences in Lublin, Skromna 8, 20-704 Lublin, Poland

### Introduction

Pasta is one of the most popular cereal product in the world. Its main advantages are versatility, ease of preparation, low price, and long shelf life (Kaur et al. 2013). In recent years, consumption of pasta has been steadily increasing. This creates a possibility to produce new types of pasta, for example enriched with unconventional raw materials.

Lamination technology, next to “extrusion”, is one of the most popular method of the pasta-making. It is also called as “sheet rolling” or “roll pressure stretching” technique (Hou et al. 2010). The lamination technology consists in preparing a dough with a moisture content of 30–40% in a premixer and then rolling it between steel rollers into a sheet. The diameter between consecutive pairs of rolls decreases, which results in thinner sheets of dough up to the desired thickness. The dough sheets are then cut into appropriate shapes and dried in the same way as the pressed pasta. In laminating technology it does not use vacuum, as it is in the case of extruded pasta production (Zardetto and Dalla Rosa 2006).

The basic and most commonly used raw material for pasta making is durum semolina. It is appreciated for its intense yellow colour, high protein content, and high gluten quality (Troccoli et al. 2000). The strong gluten in durum wheat pasta determines its high cooking quality, including low cooking losses, resistance to overcooking, and good firmness and elasticity after cooking (Sissons 2008). Durum semolina pasta contains 10.9–13.5% protein and more minerals and fat than common wheat flour pasta (Sobota et al. 2015). However, wheat protein is not a valuable source of the indispensable amino acids. Lysine is the limiting amino-acid for its biological value (Mogra and Micha 2013). According to many authors, a good way to

increase the nutritional value of wheat pasta is the addition of legume flours (Osorio-Díaz et al. 2008; Wood 2009). Legume seeds are an excellent source of protein (16–55%), rich in essential amino-acids, including lysine. The amino-acid composition of legume protein is similar to meat protein (Sparvoli et al. 2015). In addition, legumes are rich in starch (18–55%) (Sparvoli et al. 2015) and dietary fibre (Dodevska et al. 2013). These raw materials contain minerals, especially iron, zinc, and calcium, as well as biologically active components, including polyphenols and folic acid. In addition, legume seeds are cheap raw materials, often referred to as “poor men’s meat” (Sparvoli et al. 2015; Duranti 2006).

A very important factor determining the choice of a product by the consumer is its colour. The brain associates colour with taste and the initial perception of food occurs during the first 90 s of observation and about 75% of the assessment is based on colour (Singh 2006). In addition, different colour of the well-known product arouses curiosity and willingness to taste (Dias et al. 2012). Synthetic dyes are often added to food products to enhance their attractiveness. Nowadays, there is an increasing demand for natural colouring components that are much more readily accepted and gain greater trust among consumers (Kowalska et al. 2017).

Some legume seeds are characterized by specific colour resulting from the presence of a variety of pigments in the cotyledons and seed coats. For example, the content of chlorophyll (21 mg/100 g) determines the green colour of unripe pea seeds, the carotenoids in red lentils (5–28 mg/100 g) give the seeds their characteristic red–orange colour, and the intense yellow colour of grass pea seeds is the result of the content of lutein (5.68 µg/g) and β-carotene (0.21 µg/g) (Hanh et al. 2016; Zhang et al. 2015; Grell et al. 1999). Therefore, the seed of these legumes can be used not only for fortifying the nutritional value of pasta, but also as natural colouring components determining their attractive colour. There are no studies on the possibility of using legume seeds as natural colouring components in the production of pasta. It is purposeful and justified to determine the share of the additive that allows to obtain an attractive colour of products. It is also important to investigate that the product’s colour is durable and does not change during cooking.

## Materials and methods

### Raw materials

The materials used in this study were semolina durum (Jula Malom, Kunszállás, Hungary) and three legume flours of different colours: green pea flour (P) (FPH Paulas, Ltd.,

Kalisz, Poland), red lentil flour (RL) (Niedźwiady Mill, Kalisz, Poland), and grass pea flour (GP) (EKORAB, Staszów, Poland).

### Chemical analysis

The chemical composition of the pasta samples and raw materials was determined in accordance with AACC methods (2000). Crude protein content (AACC, Method 46-08) minerals content determined as ash (AACC, Method 08-01) and moisture content (AACC, Method 44-15A) were examined. The content of amino acids in selected samples was determined using the AAA 400 analyser (Ingos, Czech Republic). An enzymatic method was used to investigate the content of total dietary fibre (TDF) and its fractions (soluble—SDF and insoluble—IDF) in the pasta and raw materials (AACC 32-05, AACC 32-21, AOAC 991.43, and AOAC 985.29) (AACC 2000; AOAC, 1990).

### Pasta making

The pasta was produced in a long-cut form (Tagliatelle) using the lamination technology. The model of the experiment is presented in Table 1. The dough was prepared by mixing durum semolina with legume flours in a planetary mixer. During stirring in the mixer, water at a temperature of approximately 30 °C was gradually added. The dough was mixed for 3 min, kneaded, and left to rest for 15 min. An Atlas 180 pasta machine (Marcato S.R.L., Campodarsego, Italy) was used to sheet and calibrate the thickness of the dough sheets. The dough thickness was reduced at 4 passages of rollers with a gradually decreasing gap of 4.8, 3.3, 1.9, and 1.5 mm, respectively. The dough sheets were cut into strands of 7 mm wide and 500 mm long and initially dried in a stream of warm air (40 °C) for 2 min. The initially dried pasta strands were formed into nests and placed on the sieves. The nests were dried in pasta static dryers (ESS, type 4C, La Parnigiana S.R.L., Italy) for 7 h. The temperature range was 55–35 °C and relative air humidity was changed from 75% to 55%.

### Cooking properties of pasta

*Minimal cooking time* was determined by removing the pasta samples from the boiling distilled water every 30 s and squeezing it between two glass plates until the white central core of the pasta disappeared.

*Weight increase index (A)* of the products was determined as:

$$A = W/W_0$$

**Table 1** Model of experiment

Pasta sample	Semolina	Green pea flour (%)	Red lentil flour (%)	Grass pea flour (%)	Water (ml/1000 g of sample)
CON	100				200
P5	95	5			200
P10	90	10			200
P15	85	15			200
P20	80	20			190
RL5	95		5		200
RL10	90		10		200
RL15	85		15		200
RL20	80		20		190
GP5	95			5	200
GP10	90			10	200
GP15	85			15	200
GP20	80			20	190

Flours from: *P* green pea, *RL* red lentil, *GP* grass pea

In this equation  $W$  and  $W_0$  were the weight of cooked and uncooked pasta (g), respectively.

*Cooking loss* was determined by assaying the content of total solids in the liquid after cooking (AACC, Method 44-15A).

#### The colour of cooked and raw pasta

The parameters of raw and cooked pasta were determined with the reflective method using a spherical spectrophotometer 8200 (X-Rate, Inc. USA). They were assessed using a standard light source (D65) and a standard colorimetric observer with a  $10^\circ$  visual field. A 12.3 mm diameter hole was used for the measurement. Colour coordinates ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) were determined using the CIE system. The spectrophotometer was calibrated with white and black standard plates. Changes in the colour of the pasta as a result of addition of the legume flours ( $\Delta E$ ) were determined relative to the CON sample (raw and cooked)

as:  $\Delta E = \sqrt{(L_2^* - L_1^*)^2 + (a_2^* - a_1^*)^2 + (b_2^* - b_1^*)^2}$ , where  $L_2^*$ ,  $a_2^*$ ,  $b_2^*$  are colour parameters of control sample taken as reference, and  $L_1^*$ ,  $a_1^*$ ,  $b_1^*$  referred to colour parameters of pasta samples with legume flours.

#### Firmness of pasta

A sample of 50 g of pasta was boiled in 600 ml of water for 8 min, drained off for 5 min and cooled for 5 min. The cooked, single strand of pasta was cut on a textured basis. The maximum force required (firmness) to cut the cooked pasta samples (single strand) was determined using a TA-XT Plus texture analyser (Stable Micro System, Godalming, England). Pasta strands were cut with a tooth moving

at the speed of  $1 \text{ mm s}^{-1}$  with a straight steel blade (0.3 mm). On the basis of the trial, the maximum force required for cutting the product [N] was determined.

#### Organoleptic analysis

The organoleptic analysis of the cooked pasta was made by a 12-person consumer panel (20–25 years old). Pasta samples was cooked in distilled water for prescribed minimal cooking time and presented on the white plates. Organoleptic characteristics, such as appearance, colour, taste, smell, hardness, adhesiveness and springness were evaluated on a scale of 1 to 5, where 5 was the maximum value of the study parameters. An average note was calculated from all the assessments.

#### Statistical analysis

The chemical analyses and assessment of cooking properties were carried out with three replications. Colour parameters were determined in twenty replications, and firmness was evaluated in eight replications for each sample. Mean values were calculated. The significance of differences among the results were determined using the Duncan test ( $P < 0.05$ ). The statistical analysis of the results was performed using the program SAS 9.1.3. (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA).

#### Results and discussion

The introduction up to 20% of the legume flours: green pea (P), red lentil (RL), and grass pea (GP) to durum pasta guaranteed a high quality of the products. In the samples

with the addition of the legume flours an increase in the ash content was noted (Table 2). The ash content was 0.76% in the semolina; in the case of the legume flours, it was higher and ranged from 2.45 to 2.97% (Table 2). According to Jahreis et al. (2016), the ash content in legumes (green pea, lupine) was within the range of 3.1–4.3%.

The content of dietary fibre (TDF), including soluble (SDF) and insoluble fractions (IDF), in the pasta also increased with the addition of the legume flours (Table 2). The 20% addition of the legume flours to the pasta samples (P, RL, and GP) caused an approximately 2-fold increase in the content of TDF. It was related to its high content in the legume flours (15.91–17.29% d.m.) (Table 2). The highest content of insoluble fibre fractions was recorded for samples RL20 and P20 (3.92 and 3.64% d.m., respectively). The content of the soluble fibre fraction in all the analysed pasta samples was lower than that in IDF and ranged from 1.20% d.m. (CON) to 2.39% d.m. (GP20).

Studies showed that legume flours contain more protein than semolina durum. The investigated legume flours were characterized by a protein content of 24.5–30.23% d.m., while it was only 13% d.m. in the semolina (Table 2). Therefore, the addition of the legume raw material caused a substantial increase in the protein content in the pasta samples. The protein content in the analysed products with

20% addition of the green pea, red lentil, and grass pea flours was 15.58%, 15.89%, and 16.29%, respectively. Similar content of protein (15.9%) in pasta with 20% addition of chickpea flour was noted by Osorio-Díaz et al. (2008).

Amino acids are divided into the following groups: essential and nonessential. Legume proteins are low in sulphur-containing amino-acids (cysteine, methionine). On the other hand, the amounts of an essential amino acid such as lysine are greater than in wheat (Nadathur et al. 2016). Wheat protein supplements deficiencies of sulphuric amino acids in leguminous protein. On the other hand, the protein of leguminous seeds provides lysine, which is missing in wheat. Legume seeds may contain from 1.2 mg/g lysine in chickpea to 2.19 mg/g of lysine in cowpea (Singh et al. 2010). In the pasta with the addition of the legume flours (15%), there was a significant increase in the content of essential amino acids such as lysine (60–88%), threonine (10–33%), and isoleucine (1–22%) (Table 3). The highest content of lysine (4.60 mg/g) was recorded in sample with 15% addition of red lentil flour (RL15). According to Wood (2009) in pasta with a 15% chickpea flour addition, lysine content is lower and amounts to 3.6 mg/g. A significant increase in leucine and phenylalanine was noted only in the case of the pasta with the red lentil (RL) and

**Table 2** Chemical composition of raw materials and pasta samples

Raw materials	Moisture $\pm$ SD (%)	Ash $\pm$ SD (% d.m.)	Protein $\pm$ SD	IDF $\pm$ SD	SDF $\pm$ SD	TDF $\pm$ SD
Semolina durum	9.26 $\pm$ 0.26	0.76 $\pm$ 0.01	13.00 $\pm$ 0.82	1.62 $\pm$ 0.02	1.82 $\pm$ 0.06	3.44 $\pm$ 0.04
P	7.86 $\pm$ 0.06	2.65 $\pm$ 0.02	24.50 $\pm$ 1.58	11.77 $\pm$ 0.33	4.14 $\pm$ 0.28	15.91 $\pm$ 0.05
RL	10.31 $\pm$ 0.04	2.45 $\pm$ 0.04	26.62 $\pm$ 1.67	13.22 $\pm$ 1.07	4.07 $\pm$ 0.08	17.29 $\pm$ 0.99
GP	7.85 $\pm$ 0.09	2.97 $\pm$ 0.01	30.23 $\pm$ 1.95	11.55 $\pm$ 0.17	4.63 $\pm$ 0.06	16.18 $\pm$ 0.04
<i>Pasta samples</i>						
CON	11.99 <sup>a</sup> $\pm$ 0.08	0.76 <sup>b</sup> $\pm$ 0.02	13.04 <sup>d</sup> $\pm$ 0.82	1.75 <sup>e</sup> $\pm$ 0.06	1.20 <sup>f</sup> $\pm$ 0.04	2.95 <sup>h</sup> $\pm$ 0.10
P5	10.08 <sup>c</sup> $\pm$ 0.17	0.84 <sup>bc</sup> $\pm$ 0.06	13.63 <sup>de</sup> $\pm$ 0.86	1.91 <sup>ef</sup> $\pm$ 0.03	1.82 <sup>gh</sup> $\pm$ 0.13	3.73 <sup>i</sup> $\pm$ 0.09
P10	9.88 <sup>de</sup> $\pm$ 0.19	1.00 <sup>c</sup> $\pm$ 0.01	14.17 <sup>ef</sup> $\pm$ 0.89	2.36 <sup>f</sup> $\pm$ 0.11	2.05 <sup>gh</sup> $\pm$ 0.21	4.41 <sup>ij</sup> $\pm$ 0.32
P15	9.76 <sup>de</sup> $\pm$ 0.16	1.02 <sup>c</sup> $\pm$ 0.02	14.54 <sup>ef</sup> $\pm$ 0.78	3.29 <sup>g</sup> $\pm$ 0.12	2.14 <sup>gh</sup> $\pm$ 0.01	5.43 <sup>kl</sup> $\pm$ 0.12
P20	9.45 <sup>f</sup> $\pm$ 0.09	1.25 <sup>d</sup> $\pm$ 0.01	15.58 <sup>fg</sup> $\pm$ 0.99	3.64 <sup>gh</sup> $\pm$ 0.41	2.21 <sup>h</sup> $\pm$ 0.14	5.85 <sup>lm</sup> $\pm$ 0.54
RL5	10.09 <sup>c</sup> $\pm$ 0.05	0.83 <sup>bc</sup> $\pm$ 0.02	13.71 <sup>de</sup> $\pm$ 0.86	2.15 <sup>fg</sup> $\pm$ 0.05	1.93 <sup>gh</sup> $\pm$ 0.06	4.08 <sup>ij</sup> $\pm$ 0.11
RL10	10.33 <sup>b</sup> $\pm$ 0.10	0.92 <sup>bc</sup> $\pm$ 0.02	14.47 <sup>ef</sup> $\pm$ 0.91	2.70 <sup>f</sup> $\pm$ 0.22	2.01 <sup>gh</sup> $\pm$ 0.17	4.71 <sup>k</sup> $\pm$ 0.05
RL15	9.87 <sup>de</sup> $\pm$ 0.11	1.12 <sup>cd</sup> $\pm$ 0.01	15.21 <sup>fg</sup> $\pm$ 0.96	3.27 <sup>g</sup> $\pm$ 0.01	2.18 <sup>gh</sup> $\pm$ 0.31	5.45 <sup>kl</sup> $\pm$ 0.29
RL20	9.74 <sup>de</sup> $\pm$ 0.11	1.08 <sup>cd</sup> $\pm$ 0.02	15.89 <sup>fg</sup> $\pm$ 1.00	3.92 <sup>g</sup> $\pm$ 0.19	2.29 <sup>gh</sup> $\pm$ 0.07	6.21 <sup>l</sup> $\pm$ 0.27
GP5	9.88 <sup>de</sup> $\pm$ 0.11	0.88 <sup>bc</sup> $\pm$ 0.05	13.72 <sup>de</sup> $\pm$ 0.87	1.93 <sup>ef</sup> $\pm$ 0.04	1.71 <sup>f</sup> $\pm$ 0.19	3.64 <sup>j</sup> $\pm$ 0.16
GP10	9.84 <sup>de</sup> $\pm$ 0.05	1.01 <sup>c</sup> $\pm$ 0.02	14.63 <sup>ef</sup> $\pm$ 0.92	2.68 <sup>f</sup> $\pm$ 0.14	2.17 <sup>gh</sup> $\pm$ 0.11	4.85 <sup>kl</sup> $\pm$ 0.03
GP15	9.99 <sup>d</sup> $\pm$ 0.15	1.05 <sup>cd</sup> $\pm$ 0.04	15.69 <sup>fg</sup> $\pm$ 0.99	3.01 <sup>f</sup> $\pm$ 0.19	2.26 <sup>gh</sup> $\pm$ 0.08	5.27 <sup>kl</sup> $\pm$ 0.27
GP20	9.68 <sup>e</sup> $\pm$ 0.21	1.13 <sup>cd</sup> $\pm$ 0.02	16.29 <sup>g</sup> $\pm$ 1.03	3.59 <sup>g</sup> $\pm$ 0.32	2.39 <sup>g</sup> $\pm$ 0.06	5.98 <sup>l</sup> $\pm$ 0.39

CON control sample (semolina durum pasta), P green pea flour, RL red lentil flour, GP grass pea flour, SD standard deviation for three determinations

The different letters (a–h) within the same column indicate statistically significant differences ( $P < 0.05$ ) between the results

**Table 3** Amino acid composition of selected pasta samples (mg/g)

Amino acid	Pasta sample			
	CON	P15	RL15	GP15
<i>Nonessential</i>				
Glutamic acid	44.43 <sup>a</sup> ± 0.05	37.79 <sup>d</sup> ± 0.04	45.15 <sup>a</sup> ± 0.06	44.66 <sup>b</sup> ± 0.03
Proline	16.32 <sup>a</sup> ± 0.01	13.41 <sup>d</sup> ± 0.01	15.86 <sup>b</sup> ± 0.01	15.66 <sup>c</sup> ± 0.01
Aspartic acid	5.37 <sup>d</sup> ± 0.03	7.60 <sup>c</sup> ± 0.02	8.99 <sup>a</sup> ± 0.03	8.87 <sup>b</sup> ± 0.03
Serine	5.74 <sup>c</sup> ± 0.01	5.59 <sup>d</sup> ± 0.03	6.97 <sup>a</sup> ± 0.02	6.73 <sup>b</sup> ± 0.01
Glycine	3.62 <sup>b</sup> ± 0.03	3.89 <sup>b</sup> ± 0.03	4.60 <sup>a</sup> ± 0.03	4.55 <sup>a</sup> ± 0.03
Tyrosine	2.37 <sup>c</sup> ± 0.02	2.42 <sup>c</sup> ± 0.03	2.64 <sup>b</sup> ± 0.03	2.86 <sup>a</sup> ± 0.01
<i>Essential</i>				
Leucine	8.12 <sup>c</sup> ± 0.02	8.05 <sup>d</sup> ± 0.01	9.73 <sup>a</sup> ± 0.02	9.43 <sup>b</sup> ± 0.03
Phenylalanine	6.09 <sup>c</sup> ± 0.01	6.12 <sup>c</sup> ± 0.02	7.44 <sup>a</sup> ± 0.01	7.06 <sup>b</sup> ± 0.02
Valine	4.67 <sup>c</sup> ± 0.03	4.73 <sup>c</sup> ± 0.01	5.70 <sup>a</sup> ± 0.03	5.53 <sup>b</sup> ± 0.03
Tryptophan	4.45 <sup>a</sup> ± 0.01	2.89 <sup>d</sup> ± 0.02	4.06 <sup>b</sup> ± 0.02	3.85 <sup>c</sup> ± 0.01
Threonine	3.01 <sup>d</sup> ± 0.02	3.31 <sup>c</sup> ± 0.03	4.01 <sup>a</sup> ± 0.02	3.93 <sup>b</sup> ± 0.02
Methionine	2.78 <sup>a</sup> ± 0.01	2.63 <sup>b</sup> ± 0.02	2.37 <sup>d</sup> ± 0.02	2.47 <sup>c</sup> ± 0.02

CON control sample (semolina durum pasta), P green pea flour, RL red lentil flour, GP grass pea flour, SD standard deviation for three determinations

The different letters (a–d) within the same row indicate statistically significant differences ( $P < 0.05$ ) between the results

grass pea (GP) flour addition. In samples with the 15% addition of these legume components, the contents of leucine, phenylalanine, and threonine were higher compared to pasta enriched with navy bean and pinto bean (Bahnassey et al. 1986). On the other hand, the content of methionine and tryptophan in the sample fortified with legume flour (P, RL and GP) were reduced by 6–9% and 9–35%, respectively (Table 3). Compared to the CON sample (semolina durum pasta), higher contents of arginine, valine, and aspartic acids were noted in the pasta with the addition of the all legumes flour (P, RL, GP) (Table 3). Bahnassey et al. (1986) noted a similar trend. In the amino acid composition in pasta samples enriched with 10–15% addition of legume flour (navy bean and pinto bean), there was a significant increase in the content of alanine, arginine, aspartic acid, and glycine.

Dick and Youngs (1988) argue that high quality pasta is characterized by a threefold weight increase after cooking. For wheat extruded pasta weight increase index to reach the level of 2.14–4.14 (Sobota and Skwira 2009). In presented study significantly lower water uptake was noted for the pasta with the addition of legume flours compared to the semolina durum pasta (CON). The index of weight increase for cooked products was between 2.24 (GP10, GP20) and 2.61 (CON) (Table 4). This effect can be caused by weakening of the gluten matrix due to the addition of legumes flour which does not contain gluten. Doxastakis et al. (2007) and Petitot et al. (2010) also observed a decrease in water absorption during cooking, when

spaghetti was enriched with lupine or faba bean flour. Rosa-Sibakov et al. (2016) related this tendency with the higher swelling of starch granules. According to these authors, water was able to penetrate more easily in legume-enriched pasta allowing faster starch gelatinization and which reduced water absorption during cooking.

One of the major parameters of pasta cooking quality is cooking losses. Pasta of satisfactory quality should not lose more than 8% d.m. (Dick and Youngs 1988). The laminated pasta enriched with 5–20% of the legume flours (P, RL, GP) was characterized by relatively low cooking losses (5.02–8.23%), but still higher than CON. The highest passage into the cooking water observed for the pasta with the 20% addition of the legume flours, but the cooking loss exceeded 8% only for one of the analysed samples (GP20). Similar cooking losses (4.8–5.8%) were noted by Ahmad et al. (2018) in extruded pasta fortified with 5–25% detoxified matri flour (grass pea). In the case pasta-like sheets enriched with a protein isolate and dietary fibre from yellow pea, Muneer et al. (2018) noted cooking losses between 41.2% and 45.8%. As regards of traditional wheat pasta, an increase in the gluten protein content is associated with lower cooking losses (Sobota and Zarzycki 2013), but substitution of gluten proteins (gliadins and glutenins) by legume protein increase cooking losses. This is attributed to dilution of the gluten network and weakening of its overall structure (Laleg et al. 2017). Rosa-Sibakov et al. (2016) emphasize that legume proteins (mainly globulins and albumins) do not form an elastic network such as

**Table 4** Cooking quality and firmness of pasta samples

Pasta sample	Minimal cooking time (min)	Weight increase index $\pm$ SD	Cooking loss $\pm$ SD (%)	Firmness $\pm$ SD (N)
CON	7.5	2.61 <sup>a</sup> $\pm$ 0.06	5.02 <sup>f</sup> $\pm$ 0.13	3.32 <sup>d</sup> $\pm$ 0.12
P5	7.5	2.46 <sup>b</sup> $\pm$ 0.04	5.71 <sup>e</sup> $\pm$ 0.14	4.15 <sup>b</sup> $\pm$ 0.23
P10	8	2.46 <sup>b</sup> $\pm$ 0.01	6.42 <sup>d</sup> $\pm$ 0.03	4.13 <sup>b</sup> $\pm$ 0.12
P15	8	2.48 <sup>b</sup> $\pm$ 0.05	7.48 <sup>c</sup> $\pm$ 0.22	4.05 <sup>b</sup> $\pm$ 0.07
P20	8	2.49 <sup>b</sup> $\pm$ 0.04	7.58 <sup>c</sup> $\pm$ 0.11	2.86 <sup>f</sup> $\pm$ 0.28
RL5	8	2.4 <sup>b</sup> $\pm$ 0.07	6.63 <sup>d</sup> $\pm$ 0.27	3.31 <sup>d</sup> $\pm$ 0.12
RL10	8	2.32 <sup>c</sup> $\pm$ 0.08	7.01 <sup>c</sup> $\pm$ 0.18	3.16 <sup>e</sup> $\pm$ 0.18
RL15	8	2.32 <sup>c</sup> $\pm$ 0.05	6.98 <sup>c</sup> $\pm$ 0.52	3.87 <sup>e</sup> $\pm$ 0.20
RL20	8	2.44 <sup>b</sup> $\pm$ 0.02	7.47 <sup>c</sup> $\pm$ 0.04	5.02 <sup>a</sup> $\pm$ 0.38
GP5	7.5	2.38 <sup>c</sup> $\pm$ 0.03	5.25 <sup>e</sup> $\pm$ 0.14	3.35 <sup>d</sup> $\pm$ 0.20
GP10	8.5	2.24 <sup>d</sup> $\pm$ 0.02	7.13 <sup>c</sup> $\pm$ 0.45	1.93 <sup>f</sup> $\pm$ 0.12
GP15	8.5	2.25 <sup>d</sup> $\pm$ 0.03	7.46 <sup>c</sup> $\pm$ 0.19	2.05 <sup>f</sup> $\pm$ 0.08
GP20	8.5	2.24 <sup>d</sup> $\pm$ 0.04	8.23 <sup>a</sup> $\pm$ 0.28	2.00 <sup>f</sup> $\pm$ 0.06

CON control sample (semolina durum pasta), P green pea flour, RL red lentil flour, GP grass pea flour, SD standard deviation for three determinations

The different letters (a–f) within the same column indicate statistically significant differences ( $P < 0.05$ ) between the results

gluten proteins. Poor elasticity of the protein matrix may cause passage of dry matter into cooking water. In addition, the higher levels of dietary fibres in legume flours than in semolina durum (15.91–17.29% d.m. vs. 3.44% d.m.) (Table 2) may also weaken the gluten matrix and increase dry matter losses (Tables 2 and 4).

Firmness is a very important quality factor of pasta. The highest firmness was exhibited by the pasta with the lentil flour addition (RL20), while the lowest firmness was noted for the pasta with the grass pea flour (GP10–20) (Table 4). The study has shown that firmness depends on the type and amount of the legume flour inclusion to the products. Fortification of the pasta with 5–15% of the green pea flour (P) and 15–20% of the red lentil flour (RL) significantly increased the firmness. A reverse tendency was noted in the case of samples enriched with 10–20% of the grass pea flour (GP). Sissons et al. (2005), Zhao et al. (2005), and Petitot et al. (2010) reported that pasta enriched with legume flour (faba bean, green and yellow pea, lentil, and chickpea) was characterized by higher hardness and firmness than durum wheat pasta. The authors suggested that the tendency could be related to the higher protein content in these products. A significant influence on the texture parameters may be exerted by water absorption during cooking. Lower water absorption recorded in the case of high protein pasta (with addition of legume components such as lupine, protein isolate and faba bean flour) may be a factor determining higher firmness and hardness of the products (Rosa-Sibakov et al. 2016; Petitot et al. 2010). A longer cooking time of pasta contributes to higher moisture

content in products (Sobota et al. 2015) and may cause a decrease in pasta firmness and hardness. Dziki et al. (2013) observed that the addition of soybean flour decreased pasta firmness.

The legume flour was used as a natural colouring component in the pasta. Colour parameters ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) of raw and cooked pasta changed significantly with the addition of the legume flours (Table 5). The lightness ( $L^*$  value) of all raw and cooked samples of the pasta decreased as the legume components increased. This result is in agreement with studies conducted by Zhao et al. (2005), Wood (2009), and Petitot et al. (2010). The darker colour of the legume-supplemented pasta may be attributed to the higher content of ash and the specific colour of the legume flour. Parameter  $a^*$  (green–red) for each raw pasta sample increased with the addition of the legume flours. The uncooked pasta fortified with the green pea flour (P) became less yellow ( $b^*$ ), but samples with the red lentil flour and the grass pea flour were characterized by more intensive yellow colour ( $b^*$ ). As a result of cooking, the lightness ( $L^*$ ), redness ( $a^*$ ), and yellowness ( $b^*$ ) of the pasta was reduced. Similarly, Petitot et al. (2010) noted a decrease in redness and yellowness, but found that brightness ( $L^*$ ) of legume-fortified pasta increased after cooking. A significant increase in parameter  $a^*$  was noted for the cooked pasta sample with 5–20% addition of red lentil (RL) and 20% addition of green pea flour (P). An opposite tendency was observed for samples with the grass pea flour (GP). Pasta samples fortified with 10–20% of the



**Table 5** Colour parameters for raw and cooked pasta samples

Pasta sample	Raw pasta				Cooked pasta			
	L* ± SD	a* ± SD	b* ± SD	ΔE	L* ± SD	a* ± SD	b* ± SD	ΔE
CON	74.64 <sup>a</sup> ± 1.81	- 0.17 <sup>i</sup> ± 1.70	21.01 <sup>f</sup> ± 1.59	-	68.95 <sup>a</sup> ± 1.00	- 2.08 <sup>g</sup> ± 0.12	9.27 <sup>c</sup> ± 0.93	-
P5	73.38 <sup>b</sup> ± 2.58	- 0.18 <sup>i</sup> ± 1.54	18.80 <sup>b</sup> ± 0.97	2.54	67.79 <sup>b</sup> ± 1.44	- 2.15 <sup>gh</sup> ± 0.14	8.53 <sup>d</sup> ± 1.43	1.38
P10	72.66 <sup>c</sup> ± 1.87	0.03 <sup>b</sup> ± 0.08	19.66 <sup>b</sup> ± 0.90	2.40	67.46 <sup>bc</sup> ± 1.73	- 2.05 <sup>gh</sup> ± 0.12	10.39 <sup>ab</sup> ± 1.03	1.86
P15	70.81 <sup>d</sup> ± 2.53	0.45 <sup>b</sup> ± 0.31	19.68 <sup>b</sup> ± 3.24	4.10	66.94 <sup>bc</sup> ± 0.80	- 2.07 <sup>gh</sup> ± 0.14	10.48 <sup>ab</sup> ± 0.74	2.35
P20	68.94 <sup>f</sup> ± 2.05	0.55 <sup>bc</sup> ± 0.14	23.94 <sup>d</sup> ± 1.31	6.45	65.92 <sup>cd</sup> ± 1.48	- 1.86 <sup>f</sup> ± 0.18	9.94 <sup>d</sup> ± 1.11	3.73
RL5	74.42 <sup>ab</sup> ± 1.96	2.47 <sup>g</sup> ± 0.37	19.11 <sup>bc</sup> ± 0.68	3.26	64.80 <sup>d</sup> ± 2.39	- 1.64 <sup>f</sup> ± 0.15	7.50 <sup>e</sup> ± 0.92	2.87
RL10	71.06 <sup>d</sup> ± 2.10	4.58 <sup>c</sup> ± 0.35	21.01 <sup>f</sup> ± 0.74	5.94	65.57 <sup>cd</sup> ± 2.96	- 1.40 <sup>f</sup> ± 0.17	8.65 <sup>cd</sup> ± 0.97	3.51
RL15	70.24 <sup>de</sup> ± 1.89	6.78 <sup>b</sup> ± 0.35	22.33 <sup>e</sup> ± 1.07	8.33	65.32 <sup>cd</sup> ± 1.86	- 1.00 <sup>g</sup> ± 0.25	8.85 <sup>cd</sup> ± 1.38	3.77
RL20	69.50 <sup>ef</sup> ± 1.68	9.08 <sup>a</sup> ± 0.56	25.01 <sup>e</sup> ± 1.03	11.31	66.42 <sup>bc</sup> ± 1.90	- 0.90 <sup>g</sup> ± 0.29	10.39 <sup>ab</sup> ± 1.54	3.84
GP5	73.67 <sup>bc</sup> ± 2.38	- 0.10 <sup>bc</sup> ± 0.14	18.69 <sup>b</sup> ± 0.84	2.51	68.95 <sup>a</sup> ± 1.39	- 2.01 <sup>f</sup> ± 0.18	9.05 <sup>cd</sup> ± 0.91	0.23
GP10	70.11 <sup>de</sup> ± 1.44	- 0.02 <sup>bc</sup> ± 0.13	23.22 <sup>d</sup> ± 0.83	5.04	67.25 <sup>bc</sup> ± 2.00	- 2.19 <sup>g</sup> ± 0.14	9.36 <sup>cd</sup> ± 1.19	1.71
GP15	67.73 <sup>f</sup> ± 1.92	0.70 <sup>f</sup> ± 0.19	26.80 <sup>b</sup> ± 0.80	9.06	66.65 <sup>bc</sup> ± 1.71	- 2.21 <sup>g</sup> ± 0.19	10.08 <sup>ab</sup> ± 1.09	2.44
GP20	66.82 <sup>f</sup> ± 1.76	0.89 <sup>f</sup> ± 0.29	27.87 <sup>a</sup> ± 1.86	10.46	65.63 <sup>cd</sup> ± 1.19	- 2.33 <sup>g</sup> ± 0.14	10.78 <sup>a</sup> ± 1.18	3.66

CON control sample (semolina durum pasta), P green pea flour, RL red lentil flour, GP grass pea flour, SD standard deviation for three determinations

The different letters (a–i) within the same column indicate statistically significant differences (*P* < 0.05) between the results

**Table 6** Sensory analysis

Pasta sample	Appearance	Colour	Taste	Smell	Hardness	Adhesiveness	Springness	Average score
CON	4.8	4.6	4.6	4.7	4.8	4.8	4.4	4.65
P5	4.4	4.2	4.2	4.6	4.8	4.8	4.2	4.45
P10	4.1	4.2	4.2	4.6	4.3	4.8	4.1	4.33
P15	3.6	3.8	3.8	4.2	4.2	4.2	3.5	3.90
P20	3.9	4.2	3.9	4.4	4.5	4.2	3.5	4.08
RL5	4	4.3	4	4.4	4.3	4.3	4.2	4.21
RL10	4	3.9	4.4	4.7	4.3	4.4	4.2	4.27
RL15	3.5	3.6	4.4	4.4	4.6	4.6	4.2	4.19
RL20	3.2	3.8	4.2	4.6	4.4	4.5	4.2	4.13
GP5	4.2	4.6	4.5	4.6	4.5	4.6	4.4	4.49
GP10	3.4	3.9	4.1	4.5	4.5	4.6	4	4.14
GP15	2.9	3.6	3.6	4.1	4.6	4.2	3.6	3.80
GP20	2.4	3.6	3.8	3.9	4.5	4.3	3.7	3.74

CON control sample (semolina durum pasta), P green pea flour, RL red lentil flour, GP grass pea flour

grass pea flour (GP) characterised significant more green colour compared to the control sample pasta (CON).

One of the parameters in the assessment of pasta colour is the L\* a\* b\* difference (ΔE). ΔE is an equally weighted combination of the coordinate (L\*, a\*, b\*) differences. This parameter significantly increased with the addition of the legume flours. The most intense colour was caused by the addition of the red lentil flour (RL), which is why this flour seems to be the best of the studied colouring

components for pasta production. ΔE for the uncooked RL20 pasta was 11.31, whereas this value for the cooked product was much smaller and amounted to 3.84. In all the tested pasta samples, the colour difference (ΔE) decreased after cooking. A similar trend was recorded by Wood (2009) for pasta with addition of chickpea flour. The smallest change in colour as a result of pasta cooking and, consequently, the highest colour fastness was recorded for the samples fortified with the green pea flour.

A very important factor determining the quality of a food product is the balance between its nutritional value and consumer acceptability. Therefore, consumers' assessment is very important before the product is placed on the market. The pasta samples were evaluated on a five-point scale by a random group of 30 consumers for their appearance, colour, taste, smell, hardness, adhesiveness, and springiness (Table 6). On the basis of individual assessments, an average score for each sample was calculated. The highest score for the fortified samples was noted for the GP5 sample, probably due to its high similarity to the CON sample. Nevertheless, the small differences in the evaluation values (4.13–4.27) indicate that the pasta samples with the red lentil flour (RL) are the most acceptable products.

## Conclusion

The present studies show the possibility of using legumes flour to change the colour and improve the amino acid composition of pasta products. The red lentil flour (RL) was the best colouring component. The addition of legume flour increases significantly the protein and dietary fibre content in pasta (TDF, IDF, SDF). The content of lysine, i.e. a limiting amino acid in wheat products, increased by 60–88% in the pasta samples fortified with the 15% addition of the legume flours. The pasta with the legume flours was characterized by acceptable values of weight increase and cooking losses during cooking. Incorporation selected legume flour e.g. red lentil flour to the semolina durum pasta may have a positive impact on intensity of pasta colour and its consumer acceptance.

## Compliance with ethical standards

**Conflict of interest** The conflict of interest has not been declared by any of the authors.

**Open Access** This article is distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons license, and indicate if changes were made.

## References

- AACC (2000) Approved methods of the American association of cereal chemists. American Association of Cereal Chemists Inc, St. Paul
- Ahmad N, Ur-Rehman S, Shabbir MA et al (2018) Fortification of durum wheat semolina with detoxified matri (*Lathyrus sativus*) flour to improve the nutritional properties of pasta. *J Food Sci Technol* 55(6):2114–2121
- AOAC (1990) Official methods of analysis of the association of analytical chemists. Association of Official Analytical Chemists, Arlington
- Bahmassey Y, Khan K, Harrold R (1986) Fortification of Spaghetti with edible legumes. I. Physicochemical, antinutritional, amino acid and mineral composition. *Cereal Chem* 63(3):210–215
- Dias NAA, Lara SB, Miranda LS, Pires ISC, Pires CV, Halboth NV (2012) Influence of color on acceptance and identification of flavor of foods by adults. *Ciênc Tecnol Aliment* 32(2):296–301
- Dick JW, Youngs VL (1988) Evaluation of durum wheat semolina and pasta in the United States. In: Fabiani G, Lintas C (eds) Durum wheat: chemistry and technology. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, pp 237–248
- Dodevska MS, Djordjevic BI, Sobajic SS et al (2013) Characterization of dietary fibre components in cereals and legumes used in Serbian diet. *Food Chem* 141:1624–1629
- Doxastakis G, Papageorgiou M, Mandalou D et al (2007) Technological properties and non-enzymatic browning of white lupin protein enriched spaghetti. *Food Chem* 101:57–64
- Duranti M (2006) Grain legume proteins and nutraceutical properties. *Fiterapia* 77:67–82
- Dziki D, Rózyło R, Biernacka B (2013) The quality of fortified pasta (in polish). *Erg Food Process* 7:11–16
- Grela ER, Jensen S, Jakobsen K (1999) Fatty acid composition and content of tocopherols and carotenoids in raw and extruded grass pea (*Lathyrus sativus* L.). *J Sci Food Agric* 79:2075–2078
- Hanh NT, Huang NV, Tao PTP (2016) Change of chlorophyll and vitamin C in green peas (*Pisum Sativum*) during thermal processing. *Vietnam J Agric Sci* 14(7):1068–1074
- Hou GG, Otsubo S, Okusu H, Shen L (2010) Noodle processing technology. In: Gary G (ed) Asian noodles: science, technology and processing. Hou, New Jersey, Canada, pp 99–120
- Jahreis G, Brese M, Leiterer M, Schaefer U, Bohm V (2016) Legume flours: nutritionally important sources of protein and dietary fiber. *Ernaehrungs Umschau International* 2:36–42
- Kaur G, Sharma S, Nagi HPS, Ranote PS (2013) Enrichment of pasta with different plant proteins. *J Food Sci Technol* 50(5):1000–1005
- 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 Food Sci Technol* 67:150–159
- Laleg K, Barron C, Cordelle S et al (2017) How the structure, nutritional and sensory attributes of pasta made from legume flour is affected by the proportion of legume protein. *LWT Food Sci Technol* 79:471–478
- Mogra R, Micha S (2013) Value addition of traditional wheat flour vermicelli. *J Food Sci Technol* 50(4):815–820
- Muneeb F, Johansson E, Hedenqvist MS et al (2018) The impact of newly produced protein and dietary fiber rich fractions of yellow pea (*Pisum sativum* L.) on the structure and mechanical properties of pasta-like sheets. *Food Res Int* 106:607–618
- Nadathur S, Wanasundara J, Scanlin L (2016) Sustainable protein sources. Academic Press, Cambridge, pp 7–8
- Osorio-Diaz P, Agama-Acevedo E, Mendoza-Vinalay M et al (2008) Pasta added with chickpea flour: chemical composition, in vitro starch digestibility and predicted glycaemic index pasta. *Ciênc Tecnol Aliment* 6(1):6–12
- Petitot M, Boyer L, Minier C, Micard V (2010) Fortification of pasta with split pea and faba beans flours: pasta processing and quality evaluation. *Food Res Int* 43:634–641
- Rosa-Sibakov RN, Heinio RL, Cassan D et al (2016) Effect of bioprocessing and fractionation on the structural, textural and

- sensory properties of gluten-free faba bean pasta. *LWT Food Sci Technol* 67:27–36
- Singh S (2006) Impact of color on marketing. *Manag Decis* 44:783–789
- Singh JV, Chhillar BS, Joshi UN, Yadav BD (2010) *Forage legumes*. Scientific Publisher, Jodhpur, pp 378–379
- Sissons MJ (2008) Role of durum wheat composition on the quality of pasta and bread (Invited review). *Food* 2(2):75–90
- Sissons MJ, Egan NE, Gianibelli MC (2005) New insights into the role of gluten on durum pasta quality using reconstitution method. *Cereal Chem* 82(5):601–608
- Sobota A, Skwira A (2009) Physical properties and chemical composition of extruded pasta (in Polish). *Acta Agrophysica* 13(1):245–260
- Sobota A, Zarzycki P (2013) Effect of pasta cooking time on the content and fractional composition of dietary fiber. *J. Food Quality* 36:127–132
- Sobota A, Rzedzicki Z, Zarzycki P, Kuzawifiska E (2015) Application of common wheat bran for the industrial production of high fibre pasta. *Int J Food Sci Technol* 50:111–119
- Sparvoli F, Bollini R, Cominelli E (2015) Nutritional value. In: DeRon AM (ed) *Grain Legumes*. Springer, Berlin, pp 291–318
- Troccoli A, Bonelli GM, De Vita P et al (2000) Durum wheat quality: a multidisciplinary concept. Mini review. *J Cereal Sci* 32:99–113
- Wood AJ (2009) Texture, processing and organoleptic properties of chickpea-fortified spaghetti with insights to the underlying mechanisms of traditional durum pasta quality. *J Cereal Sci* 49:128–133
- Zardetto S, Dalla Rosa M (2006) Study of the effect of lamination process on pasta by physical chemical determination and near infrared spectroscopy analysis. *J Food Eng* 74(3):402–409
- Zhang B, Deng ZD, Ramdath D et al (2015) Phenolic profiles of 20 Canadian lentil cultivars and their contribution to antioxidant activity and inhibitory effects on  $\alpha$ -glucosidase and pancreatic lipase. *Food Chem* 172:862–872
- Zhao YH, Mantley FA, Chang SKC et al (2005) Quality characteristics of spaghetti as affected by green and yellow pea, lentil, and chickpea flour. *J Food Sci* 70(6):371–376

**Publisher's Note** Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

## RESEARCH ARTICLE

Hemp seed (*Cannabis sativa* L.) enriched pasta: Physicochemical properties and quality evaluationDorota Teterycz<sup>1</sup>, Aldona Sobota<sup>1\*</sup>, Dominika Przygodzka<sup>2</sup>, Paulina Lysakowska<sup>1</sup>**1** Department of Plant Food Technology and Gastronomy, Division of Engineering and Cereals Technology, University of Life Sciences in Lublin, Lublin, Poland, **2** Chair and Department of Forensic Medicine, Medical University of Lublin, Lublin, Poland\* [aldona.sobota@up.lublin.pl](mailto:aldona.sobota@up.lublin.pl)

## Abstract

Hemp seed (*Cannabis sativa* L.) contain large amounts of nutrients, e.g. protein, dietary fiber, minerals, and unsaturated fatty acids, which make them a good fortifying component in food production. The aim of the present study was to determine the effect of hemp addition on the physicochemical properties, cooking quality, texture parameters and sensory properties of durum wheat pasta. The samples were fortified with 5–40% of commercially available hemp flour or 2.5–10% of hemp cake obtained from hemp seed oil pressing. Our study showed that the addition of hemp seed raw materials led to an increase in the protein, total dietary fiber (TDF), ash and fat content in the pasta samples. Due to its lower granulation and higher nutritional value, hemp flour was found to be a better raw material for the fortification of pasta than hemp cake. Pasta enriched with hemp flour at the level of 30–40% contains 19.53–28.87% d.m. of protein and 17.02–21.49% d.m. of TDF and according to the EU, a definition can be described as a high-protein and high-fiber products. All enriched pasta samples were also characterized by safe  $\Delta$ -9-tetrahydrocannabinol (THC) and cannabidiol (CBD) content, and their sensory properties were accepted by consumers.

## OPEN ACCESS

**Citation:** Teterycz D, Sobota A, Przygodzka D, Lysakowska P (2021) Hemp seed (*Cannabis sativa* L.) enriched pasta: Physicochemical properties and quality evaluation. PLoS ONE 16(3): e0248790. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0248790>

**Editor:** Walek Eltaleb, Higher Institute of Applied Sciences and Technology of Gabes University of Gabes, TUNISIA

**Received:** October 7, 2020

**Accepted:** March 5, 2021

**Published:** March 18, 2021

**Copyright:** © 2021 Teterycz et al. This is an open access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

**Data Availability Statement:** All relevant data are within the manuscript and its Supporting Information files.

**Funding:** The author(s) received no specific funding for this work.

**Competing interests:** The authors have declared that no competing interests exist.

## 1. Introduction

In recent years, increasing interest in vegan and vegetarian diets has been observed. A problem in this type of diets is to provide the appropriate amount of protein. Consumers are looking for new plant-based raw materials that could be a good source of protein. One of the high-protein raw materials, which is increasingly becoming part of a healthy balanced human diet is hemp (*Cannabis sativa* L.) [1]. Interest in this plant has been growing since 1996 when varieties with THC ( $\Delta$ -9-tetrahydrocannabinol) content below 0.3% were approved for cultivation in EU countries. Currently, this limit is reduced to 0.2% [2].

Hemp seeds are a rich source of nutrients. They contain about 35% oil, 25% of protein, 28% of total dietary fiber (TDF) and 5.6% of minerals [3]. Hemp protein consists mainly of a storage protein edestin (11S globulin), which accounts for 60–80% of the total protein in this raw material. Albumin (2S) constitutes the rest of the protein fraction [4]. Hemp seed protein is highly digestible, ranging from 84–86% for whole seeds to 83–92% for seed meal, but at the

same time has a fairly low Protein Digestibility-Corrected Amino Acid Score (PDCASS), 49–54% for whole hemp seed and 46–51% for hemp seed meal. This parameter is limited by relatively low content of essential amino acids such as lysine and tryptophan [5]. However, studies indicate that hemp protein digestion may produce bioactive peptides with antioxidant, antihypertensive, antimicrobial and cytomodulatory activity [4]. The hemp seed is a rich source of TDF. The dominant fraction of TDF (about 80%) is insoluble dietary fiber (IDF). The main minerals found in hemp seeds are phosphorus (1160 mg/100 g), potassium (859 mg/100 g), magnesium (483 mg/100 g) and calcium (145 mg/100 g) [3]. The main use of hemp seed processing is oil production [6]. Oil from hemp seeds can be a very valuable component of the diet due to its high content of unsaturated fatty acids and an appropriate omega-6 to omega-3 ratio (3:1) [7]. A by-product of hemp oil production, i.e. hemp oil cake, due to high content of protein (33.5%), dietary fiber (42.6%) and minerals (7.2%) can also be used to improve the nutritional value of foods [8, 9]. Hemp cake is usually grounded, which makes it a highly versatile raw material used, among others, in the cereal industry [9, 10].

Hemp-based food must meet the THC content requirements. According to Fresh Hemp Foods Ltd. [11], the daily THC total intake should not exceed 1–7 µg/kg body weight, depending on the country's restriction. It is important not to exceed the recommended dose, as it has been proven that regular intake of THC is associated with serious side effects, including cognitive deficiency, anxiety, paranoia, chronic psychosis, and addiction [12]. However, research shows that  $\Delta$ -9-tetrahydrocannabinol accounts for only 10% of the total THC content in the products, whereas the other part is  $\Delta$ -9-tetrahydrocannabinol carboxylic acid (THCA), which has no psychoactive effect. The conversion of THCA to THC only takes place during long-term heat treatment at 115°C [13]. These conditions cannot be obtained when drying or cooking pasta, so there is most likely no danger of THCA becoming psychoactive form, THC in such product. Another important component of cannabis seeds for which intake limits are applied is cannabidiol (CBD). It has no psychoactive effect, but it is recommended that the CBD content should not exceed 7.5 mg/100 g of the food product [14] or less consumption than 20 mg per day for an adult [15]. CBD has a neuroprotective effect; hence, it can be used in neurodegenerative diseases or epilepsy. In natural medicine, it is also used as an analgesic and anti-inflammatory medicine [16].

In recent years, research has been undertaken to assess the possibility of using hemp raw materials in products such as bread [10, 17] and cookies [18]. However, there is no research on the possibility of using hemp component for the fortification of the nutritional value of durum wheat pasta. The aim of the present study was to evaluate the effect of the hemp flour or hemp cake addition on the physicochemical properties, texture parameters, cooking and sensory qualities of the pasta.

## 2. Materials and methods

### 2.1. Raw materials

The raw materials used in the study included durum semolina produced by Julia Malom (Kunzallas, Hungary), commercially available defatted hemp flour (BioPlanet, Leszno, Poland), and hemp cake prepared from seed (cultivar Finola) by Galeria Konopi (Zabrze, Poland) and obtained after cold press extraction of hemp oil. The cold pressing process was carried out using a screw press (Press M222/15F, Miramar, Nowa Wieś, Poland), with screw speed 30 rpm and barrel temperature 45°C.

### 2.2. Fractional composition of raw materials

The particle size of the semolina durum and hemp raw materials were determined using the method described by Sobota et al. [19]. The degree of fragmentation of the raw materials was

estimated by means of sieve analysis. A sample of 100 g was sieved for 10 min with a sieve shaker (ZBPP, Bydgoszcz, Poland) using sieves of 410, 315, 250, 160, 125, 80  $\mu\text{m}$ . The equivalent diameter was determined according to the formula given by Kasprzak et al. [20].

### 2.3. Production of pasta

Pasta samples were produced in laboratory semi-technical scale conditions using a pasta extruder MAC 30S-Lab (ItalPast, Fidenza, Italy). The level of addition of hemp flour and hemp cake was established by means of preliminary tests determining a maximum addition that did not interfere with the technological process (Table 1). The raw materials, i.e. durum semolina, hemp flour, hemp cake, and water, were combined in appropriate proportions to obtain 3 kg of each sample. The amount of water addition ensured 32% moisture content in the mixture. The addition of water to the samples with hemp raw materials was higher due to their lower moisture content. The raw materials were mixed together for 15 minutes in a premixer. Next, pasta dough was mixed and extruded in vacuum conditions at low temperature (28°C). The extrusion pressure was 110 bar. A Teflon die was used for pasta production. Samples of pasta (Fusilli) were dried in an EAC 30-Lab pasta dryer (ItalPast, Fidenza, Italy) using a low-temperature profile (35–55°C) and 85–55% relative humidity of the drying air.

### 2.4. Chemical analysis of raw materials and pasta samples

The chemical composition was analyzed to determine the content of protein, fat, dietary fiber, moisture and ash. The total dietary fiber (TDF) content in the pasta and raw material samples was determined with the enzymatic methods of the American Association of Cereal Chemists (AACC) and the Association of Official Agricultural Chemists (AOAC, 2000: Methods 32–05 and 32–21, AOAC, 991.43, AOAC 985–29). The water content was determined with the air-oven method (AACC 44–15A). The ash content was determined with the basic method (AACC 08–01) [21, 22].

The protein content was determined using a Kjeltac TM8400 machine with the ASN (Application Sub Notes) 3100 application. The total fat content was determined after acid hydrolysis by continuous extraction. The SoxhletTM8000 with AN 310 and hexane as a solvent

Table 1. Model of experiment.

Pasta sample	Semolina	Hemp flour	Hemp cake	Water addition
		%		g/kg of raw mixture
CON	100	0		306
HF-5	95	5		309
HF-10	90	10		313
HF-15	85	15		316
HF-20	80	20		320
HF-25	75	25		323
HF-30	70	30		327
HF-35	65	35		330
HF-40	60	40		333
HC-2.5	97.5		2.5	307
HC-5	95		5	309
HC-7.5	92.5		7.5	311
HC-10	90		10	312

CON—control sample, HF—hemp flour, HC—hemp cake.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0248790.t001>

was used. The available carbohydrate content was calculated from the difference:  $100 - (\text{weight in grams} [\text{protein} + \text{fat} + \text{TDF} + \text{ash}])$  in 100 g of dry matter of the pasta or raw material. The content of wet gluten in the wheat raw material was determined with the handwashing method (AACC 38–10) (AACC, 2000). The energy value for the pasta samples was calculated using the modified Atwater coefficient (protein—4 kcal, carbohydrates—4 kcal, fat—9 kcal, TDF—2 kcal). The determination of the chemical composition of the raw materials and pasta was conducted in three replications.

The THC and CBD content in the raw materials was determined by means of a high-performance liquid chromatograph (HPLC 1260 Agilent Technologies, Germany), a Poroshell 120 EC-C18,  $3.0 \times 50$  mm;  $2.7 \mu\text{m}$  column (Agilent Technologies, USA), and a mass spectrometer (triple quadrupole type (QqQ 6460, Agilent Technologies, USA) with APCI negative/positive ionisation.

### 2.5. Cooking quality of pasta samples

Cooking quality parameters such as minimal cooking time, weight increase index, and cooking losses were determined according to the methodology proposed by Teterycz et al. [23].

### 2.6. Water solubility index and water absorption index

The water solubility index (WSI) and the water absorption index (WAI) were determined according to the method described by Zarzycki et al. [24].

### 2.7. Texture characteristics assessment

The pasta samples were cooked according to the minimum cooking time set. The test material prepared in this way was subjected to instrumental testing using a Zwick/Roell testing machine, cooperating with a computer. A double compression test TPA (Texture Profile Analysis) was performed. The specimens were compressed at the speed of the device head movement of  $50 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$  up to 50% of the height of the sample. The determination for each of the samples was performed in 5 repetitions. The basic texture parameters (hardness, springiness, cohesiveness, chewiness) were calculated on the basis of the measurement curve.

### 2.8. Organoleptic analysis

The organoleptic properties of cooked pasta were assessed by an 18-person (25–50 years old). The panelists were selected from habitual consumers of pasta based on the following criteria: willingness to participate (voluntary written declaration of participation in the research), good health, nonsmoker, and not allergic to gluten/wheat products. Before the test, the participants were trained and tested for determination of their sensory sensitivity. Pasta samples were cooked in distilled water for the prescribed minimal cooking time and presented on white plates. The consumers were provided with plain water (at room temperature) to clean their palate before the test and between the pasta samples. The sensory evaluation was conducted in a laboratory at led lighting and ambient temperature.

The organoleptic characteristics, i.e. appearance, color, taste, smell, springiness, hardness and adhesiveness were evaluated on a scale of 1 to 5, where 5 was the maximum value of the parameters. An average note was calculated from all the assessments.

### 2.9. Ethics

The Bioethics Commission (Poland) decided that the study did not require the consent of the Commission. The sensory evaluation of the pasta samples was carried out after determination

of the content of cannabinoids and after confirmation of their safe level by preliminary *in vivo* tests conducted by two persons. Only adult volunteers who declared that they were healthy, non-smokers, and not allergic to gluten, were allowed to take part in the study. The panelist agreed in writing to participate in the study. All participants were informed about every detail, including the characteristics and safety of the product. The study did not involve any risk of pain or discomfort for its participants. The test was designed to minimize the amount of consumed products and the panelist could leave the research at any time. The participants evaluated the products objectively and agreed to anonymous publication of their evaluation results.

### 2.9. Statistical analysis

The mean values and standard deviations were calculated. The results were statistically analyzed using one-way analysis of variance with replication (ANOVA, STATISTICA 13, StatSoft, Inc., Tulsa, USA). The significance difference between mean values was determined with the Tukey HSD test ( $p < 0.05$ ).

## 3. Result and discussion

Hemp cake used in the study was obtained by pressing the oil from seeds while the hemp flour was obtained from dehulled, grounded and solvent extracted defatted hemp seeds. The sieve analysis of the raw materials used to produce the pasta indicates a very high equivalent diameter of hemp cake (Table 2). This prevented the addition of this raw material at a level higher than 10% to the pasta, as the increased share of hemp cake would have plugged the dies. Hemp flour is a better raw material for pasta production not only because of the acceptable granulation but also because of the higher nutritional properties. This may be related to the different methods of defatting the seeds and thus the different fat content in both raw materials (7.79% d.m. in the hemp flour vs. 12.57% d.m. in the hemp cake;  $p < 0.05$ ). Hemp flour was a better source of protein than hemp cake (35.47% d.m. vs. 34.19% d.m.;  $p < 0.05$ ) (Table 2). Statistically significant differences in favour of the hemp flour were also noted for TDF, IDF, and ash content. In the hemp flour TDF, content was 46.44% d.m. while in the hemp cake 43.82% d.m. Since the bioactive substances THC and CBD found in hemp seed are highly lipophilic [25], the content of these substances was several times higher in the hemp cake than in the hemp flour. However, the THC content in both raw materials did not exceed the limits set by the European Union (0.2%).

The nutrient content of pasta samples is given in Table 3. The content of individual nutrients varied statistically depending on the raw material composition of the sample. Each increase in the addition of the hemp flour resulted in an increase in the protein, fiber, fat, and ash content, compared to the control sample made from durum semolina (CON). The addition of the hemp cake also increased the content of the individual nutrients mentioned above. Similar results were noted in investigations of pasta enriched with flaxseed and coconut by-products (cake and flour). Pasta fortified with the flaxseed component up to 23% [26] or coconut residue up to 25% [27] had an improved nutritional composition and was characterized by a significantly higher content of protein, fat and ash, compared to the control sample.

The protein content in samples with hemp flour increased by 6% for HF-5 to 43% for HF-40 compared to the CON sample. For the addition of hemp cake the increase is between 4% for sample HC-2.5 and 10% for sample HC-10 compared to the CON sample. The definition of the European Union says that a high-protein product is a product where at least 20% of energy comes from protein [28]. This criterion was met by samples HF-30, HF-35, and HF-40 with their protein content of 19.53–20.87% d.m. and 20.44–22.15% energy from protein. A similar value was obtained by Pojić et al. [17]. These studies showed that the addition of hemp



Table 2. Physicochemical properties of raw materials.

Raw material	Equivalent diameter µm	Moisture		Ash	Protein	Fat	IDF		SDF	TDF	Carbo-hydrates*	THC	CBD
		%	%				% d.m.	% d.m.					
Semolina	268.20 <sup>a</sup> ± 1.36	11.21 <sup>a</sup> ± 0.12	0.81 <sup>a</sup> ± 0.01	14.60 <sup>a</sup> ± 0.02	1.27 <sup>a</sup> ± 0.05	2.74 <sup>a</sup> ± 0.04	1.50 <sup>a</sup> ± 0.13	4.24 <sup>a</sup> ± 0.09	79.00 <sup>a</sup> ± 0.16	nd	nd	nd	
Hemp flour	303.10 <sup>b</sup> ± 0.78	6.50 <sup>b</sup> ± 0.01	7.79 <sup>b</sup> ± 0.03	35.67 <sup>b</sup> ± 0.29	7.79 <sup>b</sup> ± 0.14	41.74 <sup>b</sup> ± 0.12	4.70 <sup>b</sup> ± 0.55	46.44 <sup>b</sup> ± 0.44	2.60 <sup>b</sup> ± 0.32	720.00 <sup>b</sup> ± 15.00	1070.00 <sup>b</sup> ± 22.00		
Hemp cake	473.40 <sup>c</sup> ± 1.52	6.79 <sup>b</sup> ± 0.01	6.12 <sup>b</sup> ± 0.01	34.19 <sup>b</sup> ± 0.19	12.57 <sup>b</sup> ± 0.25	39.98 <sup>b</sup> ± 0.49	4.29 <sup>b</sup> ± 0.55	43.82 <sup>b</sup> ± 0.35	3.30 <sup>b</sup> ± 0.29	5640.00 <sup>c</sup> ± 16.00	2260.00 <sup>c</sup> ± 25.00		

\* Carbohydrate content calculated by difference, nd-not detected, IDF-insoluble dietary fiber, SDF-soluble dietary fiber, TDF-total dietary fiber, THC-Δ-9-tetrahydrocannabinol, CBD-cannabidiol. Means (n = 3) with different letters in the same column are significantly different (P < 0.05).

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0248700.t002>

Table 3. Chemical composition of pasta samples.

Pasta sample	Moisture	Ash	Protein	Fat	IDF	SDF	TDF	Carbo-hydrates <sup>a</sup>	Energy
	%				% d.m.				kcal/100 g d.m.
CON	10.16 <sup>ab</sup> ±0.08	0.79 <sup>a</sup> ±0.01	14.58 <sup>a</sup> ±0.12	1.25 <sup>a</sup> ±0.04	2.92 <sup>a</sup> ±0.09	1.51 <sup>a</sup> ±0.05	4.43 <sup>a</sup> ±0.14	78.95 <sup>a</sup> ±0.20	397.39 <sup>bc</sup> ±0.04
HF-5	10.15 <sup>bc</sup> ±0.13	1.21 <sup>b</sup> ±0.04	15.49 <sup>b</sup> ±0.36	1.64 <sup>b</sup> ±0.13	4.62 <sup>b</sup> ±0.18	1.74 <sup>ab</sup> ±0.08	6.36 <sup>b</sup> ±0.26	75.30 <sup>b</sup> ±0.40	395.48 <sup>c</sup> ±0.17
HF-10	10.69 <sup>cd</sup> ±0.27	1.52 <sup>c</sup> ±0.06	16.32 <sup>c</sup> ±0.27	2.00 <sup>b</sup> ±0.01	6.74 <sup>b</sup> ±0.14	1.76 <sup>ab</sup> ±0.14	8.50 <sup>b</sup> ±0.28	71.66 <sup>b</sup> ±0.94	393.00 <sup>d</sup> ±0.54
HF-15	10.13 <sup>bc</sup> ±0.26	1.91 <sup>c</sup> ±0.08	17.20 <sup>c</sup> ±0.10	2.33 <sup>b</sup> ±0.16	8.55 <sup>b</sup> ±0.22	2.03 <sup>ab</sup> ±0.01	10.88 <sup>b</sup> ±0.23	67.66 <sup>b</sup> ±0.03	389.89 <sup>d</sup> ±0.45
HF-20	10.04 <sup>b</sup> ±0.23	2.11 <sup>d</sup> ±0.09	17.90 <sup>c</sup> ±0.08	2.63 <sup>b</sup> ±0.10	10.44 <sup>b</sup> ±0.17	2.20 <sup>ab</sup> ±0.05	12.64 <sup>b</sup> ±0.22	64.72 <sup>b</sup> ±0.35	387.87 <sup>e</sup> ±0.60
HF-25	10.45 <sup>bc</sup> ±0.03	2.59 <sup>d</sup> ±0.05	18.72 <sup>c</sup> ±0.10	2.91 <sup>b</sup> ±0.24	12.74 <sup>b</sup> ±0.16	2.28 <sup>ab</sup> ±0.08	15.02 <sup>b</sup> ±0.24	60.76 <sup>b</sup> ±0.15	384.51 <sup>f</sup> ±0.54
HF-30	10.63 <sup>cd</sup> ±0.40	2.95 <sup>d</sup> ±0.12	19.53 <sup>c</sup> ±0.05	3.23 <sup>b</sup> ±0.13	14.48 <sup>b</sup> ±0.15	2.54 <sup>ab</sup> ±0.01	17.02 <sup>b</sup> ±0.16	57.27 <sup>b</sup> ±0.26	382.11 <sup>g</sup> ±0.28
HF-35	9.76 <sup>c</sup> ±0.08	3.33 <sup>d</sup> ±0.01	20.24 <sup>c</sup> ±0.10	3.66 <sup>b</sup> ±0.24	16.13 <sup>b</sup> ±0.03	2.70 <sup>ab</sup> ±0.18	18.83 <sup>b</sup> ±0.22	53.94 <sup>b</sup> ±0.34	380.64 <sup>g</sup> ±0.25
HF-40	9.73 <sup>c</sup> ±0.28	3.57 <sup>d</sup> ±0.03	20.87 <sup>c</sup> ±0.03	3.98 <sup>b</sup> ±0.16	18.71 <sup>b</sup> ±0.11	2.78 <sup>ab</sup> ±0.05	21.49 <sup>b</sup> ±0.17	50.09 <sup>b</sup> ±0.49	376.92 <sup>g</sup> ±0.45
HC-2.5	10.74 <sup>cd</sup> ±0.01	0.97 <sup>a</sup> ±0.02	15.21 <sup>a</sup> ±0.02	1.76 <sup>b</sup> ±0.07	3.70 <sup>a</sup> ±0.16	1.59 <sup>a</sup> ±0.04	5.29 <sup>ab</sup> ±0.21	76.77 <sup>ab</sup> ±0.52	398.22 <sup>f</sup> ±0.02
HC-5	10.14 <sup>bc</sup> ±0.01	1.14 <sup>a</sup> ±0.04	15.39 <sup>b</sup> ±0.08	2.27 <sup>b</sup> ±0.03	4.71 <sup>a</sup> ±0.16	1.67 <sup>a</sup> ±0.15	6.38 <sup>b</sup> ±0.31	74.82 <sup>b</sup> ±0.48	398.59 <sup>f</sup> ±0.52
HC-7.5	10.87 <sup>d</sup> ±0.08	1.27 <sup>ab</sup> ±0.01	15.63 <sup>b</sup> ±0.05	2.44 <sup>b</sup> ±0.05	5.65 <sup>a</sup> ±0.16	1.74 <sup>ab</sup> ±0.05	7.39 <sup>b</sup> ±0.21	73.27 <sup>b</sup> ±0.26	397.42 <sup>g</sup> ±0.73
HC-10	10.47 <sup>bc</sup> ±0.10	1.47 <sup>ab</sup> ±0.04	16.14 <sup>b</sup> ±0.26	2.61 <sup>b</sup> ±0.12	6.38 <sup>a</sup> ±0.15	1.83 <sup>ab</sup> ±0.01	8.21 <sup>b</sup> ±0.16	71.57 <sup>b</sup> ±0.33	396.63 <sup>g</sup> ±0.44

<sup>a</sup> carbohydrate content calculated by difference. d.m.—dry mass, w.m.—wet mass. CON—control sample. HF—hemp flour. HC—hemp cake. nd—not detected. IDF—insoluble dietary fiber. SDF—soluble dietary fiber. TDF—total dietary fiber. Means (n = 3) with different letters in the same column are significantly different (P < 0.05).

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0248790.t003>

flour to wheat bread at the level of 20% gives product in which 19.76% of the energy provided by protein. The protein content in the samples with the same addition of the hemp flour and hemp cake, i.e. HF-5 and HC-5 and HF-10 and HC-10, did not differ statistically. The fat content varied between 1.64 and 3.98% d.m. in HF-5 and HF-40, respectively, in the samples of pasta with hemp flour and between 1.76–2.61 in HC-2.5 and HC-10, respectively in the hemp cake-supplemented pasta samples. The addition of hemp flour at the level of 40% resulted in more than tripling of the fat content in relation to the control sample, while the highest addition of hemp cake (HC-10) increased the content of this macronutrient by 40%. Pasta with hemp raw materials can be an important source of dietary fiber in the diet. Most countries recommend a daily fiber intake of 25–35 g for adults [29]. A portion (75 g) of pasta with 30% hemp flour can cover up to 50% of the daily dietary fiber requirement. The ratio of soluble fiber to insoluble fiber in food should be approx. 1:2 [30]. In the present study, this ratio ranged from 1.93:1 for the CON to 6.73:1 for the HF-40. Hemp pasta is therefore not a good source of soluble fiber, since the insoluble dietary fiber is the predominant fraction. Therefore, when composing meals from hemp pasta, an adequate supply of the soluble fiber fraction should be taken into account. The mineral content of the CON sample was 0.75% d.m. The addition of 30% hemp flour increases this content about 4 times while 10% hemp cake additive about 1.8 times. The energy value of the samples decreases with the addition of hemp raw materials, which is mainly due to the increased content of dietary fiber. This parameter for samples with hemp flour decreases from 1% for HF-5 to 5% for HF-40 compared to CON. A decrease in the energetic value of pasta with the addition of high-fiber raw material was also noted by Michalak-Majewska et al. [31] in pasta with onion skin.

An important aspect of the safety of hemp food consumption is the THC and CBD content in the products. The content of the cannabinoids in enriched pasta samples is presented in Table 4. Depending on the country, the permitted intake of THC with food varies considerably. According to the data provided by Fresh Hemp Foods Ltd. [11], the daily intake of THC with food for a person with an average body weight of 70 kg should be in the range of 70–490 µg. Taking into account that the daily intake of pasta converted into dry product should be

**Table 4. The content of  $\Delta$ -9-tetrahydrocannabinol (THC) and cannabidiol (CBD) in pasta samples.**

Pasta sample	THC	CBD
	$\mu\text{g}/100 \text{ g w.w.}$	
CON	nd	nd
HF-5	36.00 <sup>a</sup> ±1.00	53.00 <sup>a</sup> ±2.00
HF-10	72.00 <sup>b</sup> ±3.00	107.00 <sup>b</sup> ±3.00
HF-15	100.00 <sup>c</sup> ±3.00	160.00 <sup>c</sup> ±2.00
HF-20	144.00 <sup>d</sup> ±0.50	214.00 <sup>d</sup> ±4.00
HF-25	180.00 <sup>e</sup> ±2.00	267.00 <sup>e</sup> ±5.00
HF-30	221.00 <sup>f</sup> ±4.00	321.00 <sup>f</sup> ±6.00
HF-35	255.00 <sup>g</sup> ±5.00	374.00 <sup>g</sup> ±2.00
HF-40	288.00 <sup>h</sup> ±2.00	428.00 <sup>h</sup> ±3.00
HC-2.5	141.00 <sup>d</sup> ±3.00	96.00 <sup>d</sup> ±3.00
HC-5	282.00 <sup>e</sup> ±3.00	111.00 <sup>d</sup> ±4.00
HC-7.5	423.00 <sup>f</sup> ±2.00	167.00 <sup>e</sup> ±5.00
HC-10	565.00 <sup>g</sup> ±1.00	227.00 <sup>f</sup> ±1.00

CON—control sample, HF—hemp flour, HC—hemp cake, nd—not detected, THC— $\Delta$ -9-tetrahydrocannabinol, CBD—cannabidiol. Means ( $n = 3$ ) with different letters in the same column are significantly different ( $P < 0.05$ ).

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0248790.t004>

75 g [32], the intake of the recommended portion prepared in the trials is associated with a supply of THC ranging from 27  $\mu\text{g}$  for sample HF-5 to 424  $\mu\text{g}$  for sample HC-10. The CBD content in all trials also met the set standards of less than 20 mg per day for an adult [14], which indicates the health safety of the products.

The minimal cooking time increased with the addition of the hemp cake and the hemp flour. A similar trend was noted by Sykut-Domańska et al. [27], who enriched pasta with coconut residue and flour, and Zarzycki et al. [26] who fortified pasta with flaxseed flour and cake. This trend may be a result of an increase in the TDF content in the sample. Dietary fiber, showing high water absorption and competing for water with starch, impedes swelling and pasting of starch granules. As a result, the cooking time of the pasta is prolonged.

The weight increase index of the tested samples exceeded 2.0 (Table 5). In the present study, this index increased as the proportion of hemp flour increased up to 20% and then decreased. It can be concluded that a high proportion of hemp flour is accompanied by a significant weakening of the gluten network. This may be caused by the weakening of the gluten matrix as a result of the addition of hemp raw materials, which have high dietary fiber and protein content, but do not contain gluten. It should be noted that the main components of hemp seed proteins—soluble in water albumins and soluble in salt solution globulins (edestin), weaken the protein matrix and affected the deterioration of pasta quality. A similar trend was observed by Teterycz et al. [23] in pasta with the addition of legume seeds flour. The same argument may explain higher cooking losses. The losses in all the samples did not exceed the required 8%, but the value of this parameter increased significantly with the addition of hemp raw materials, with greater differences recorded for samples supplemented with the hemp cake. A loss of 5.45% of d.m. was recorded for the sample with 20% of the hemp flour and only 7.5% of the hemp cake. The higher values of cooking losses may be associated with the larger particle sizes of the hemp cake, compared to the hemp flour. Incorporated to the pasta high-fiber raw materials, characterized by high particle size may inhibit the formation of the gluten matrix in the pasta dough. During cooking, water penetrates the pasta structure more easily and the uncovered starch is more susceptible to leaching, thus increasing cooking losses [19].

Table 5. Cooking quality of pasta samples.

Pasta sample	Minimal cooking time	Weight increase index	Cooking loss % d.m.
	min		
CON	6.00 <sup>a</sup> ±0.00	2.11 <sup>cd</sup> ±0.03	4.74 <sup>d</sup> ±0.10
HF-5	6.50 <sup>a</sup> ±0.00	2.11 <sup>cd</sup> ±0.08	5.01 <sup>cd</sup> ±0.10
HF-10	7.00 <sup>b</sup> ±0.25	2.17 <sup>cd</sup> ±0.02	5.17 <sup>cd</sup> ±0.03
HF-15	7.50 <sup>b</sup> ±0.25	2.24 <sup>cd</sup> ±0.01	5.33 <sup>cd</sup> ±0.10
HF-20	8.00 <sup>b</sup> ±0.25	2.25 <sup>cd</sup> ±0.01	5.45 <sup>d</sup> ±0.07
HF-25	8.50 <sup>b</sup> ±0.25	2.21 <sup>cd</sup> ±0.07	5.77 <sup>cd</sup> ±0.11
HF-30	8.50 <sup>b</sup> ±0.00	2.12 <sup>cd</sup> ±0.05	5.91 <sup>cd</sup> ±0.16
HF-35	8.50 <sup>b</sup> ±0.25	2.09 <sup>d</sup> ±0.13	6.05 <sup>cd</sup> ±0.10
HF-40	8.50 <sup>b</sup> ±0.00	2.04 <sup>d</sup> ±0.12	6.26 <sup>d</sup> ±0.05
HC-2.5	6.50 <sup>a</sup> ±0.25	2.21 <sup>cd</sup> ±0.07	4.89 <sup>b</sup> ±0.20
HC-5	7.50 <sup>b</sup> ±0.25	2.24 <sup>cd</sup> ±0.07	5.17 <sup>cd</sup> ±0.25
HC-7.5	7.50 <sup>b</sup> ±0.00	2.24 <sup>cd</sup> ±0.06	5.45 <sup>d</sup> ±0.12
HC-10	8.00 <sup>b</sup> ±0.25	2.26 <sup>d</sup> ±0.11	5.51 <sup>d</sup> ±0.27

CON—control sample, HF—hemp flour, HC—hemp cake. Means (n = 3) with different letters in the same column are significantly different (P < 0.05).

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0248790.t005>

A similar tendency was noted by Sobota et al. [33] in pasta enriched with vegetable components. The authors noted higher cooking losses in the case of pasta enriched with vegetable powders, which were characterized by higher dietary fiber content and higher granulation than vegetable concentrates. Sykut-Domańska et al. [27], who enriched pasta with coconut residue after oil extraction, and Sobota et al. [19], who supplemented pasta with wheat bran, reported a similar trend.

The value of WSI for pasta samples enriched with more than 5% of hemp flour was higher, compared to the control sample (Table 6). In the case of HC, no effect of the additive on the WSI value was noted. However, the addition of hemp flour as well as hemp cake significantly affected the water absorption index (WAI) of the samples. The WAI value in the hemp flour-supplemented samples increased up to the 20% addition of HF and then decreased. A similar tendency was noted for the weight increase index (Table 5). This may be related to the weakening of the protein network of the pasta, which then cannot absorb more water. In the case of hemp cake-supplemented pasta WAI increased slightly when the share of the hemp component increased from 2.5 to 10%. The WSI results did not differ significantly for the same HF and HC additives (5%, 10%).

The texture parameters of cooked pasta obtained in TPA are presented in Table 7. The results indicate that neither the raw materials used in the model nor their quantity affected the springiness values of the products in relation to the CON sample. All pasta samples were very springy. This was also noticed by the consumer panel, who also evaluated this parameter very highly in all samples (Table 8). The hardness of the pasta ranged from 2.93 N for CON to 5.80 N for HC-10. This parameter increased in the hemp flour addition range from 5 to 25% and then decreased in the range of 30–40%. A similar trend was also observed in the case of pasta chewiness, WAI value, and weight increase index. In accordance with Monteiro et al., [34] pasta samples with higher protein content become harder. However, our research noted that this happens only to a certain level of addition. By introducing hemp flour into pasta, we increase not only the protein content but also the fiber content, which can damage the structure of pasta and thus lower its texture parameters [35]. The samples with the hemp cake were characterized by significantly higher hardness and chewiness than the pasta with the same

Table 6. Physical properties of raw materials and pasta samples.

Samples	WSI	WAI
	% d.m.	%
Semolina	4.82 <sup>b</sup> ±0.08	79.61 <sup>b</sup> ±0.61
Hemp flour	9.37 <sup>a</sup> ±0.03	133.55 <sup>a</sup> ±1.83
Hemp cake	9.11 <sup>a</sup> ±0.09	128.89 <sup>a</sup> ±0.49
CON	6.94 <sup>c</sup> ±0.04	131.84 <sup>c</sup> ±3.93
HF-5	7.14 <sup>bc</sup> ±0.08	173.21 <sup>bc</sup> ±4.59
HF-10	7.63 <sup>bc</sup> ±0.08	187.02 <sup>bc</sup> ±2.53
HF-15	7.86 <sup>c</sup> ±0.12	208.98 <sup>c</sup> ±0.55
HF-20	8.00 <sup>c</sup> ±0.14	235.09 <sup>c</sup> ±2.30
HF-25	8.05 <sup>c</sup> ±0.01	220.57 <sup>bc</sup> ±3.82
HF-30	7.81 <sup>bc</sup> ±0.04	205.34 <sup>bc</sup> ±2.30
HF-35	7.71 <sup>bc</sup> ±0.19	168.27 <sup>bc</sup> ±3.40
HF-40	7.66 <sup>bc</sup> ±0.30	158.03 <sup>c</sup> ±2.85
HC-2.5	7.07 <sup>c</sup> ±0.11	170.07 <sup>bc</sup> ±3.09
HC-5	7.18 <sup>bc</sup> ±0.05	176.61 <sup>bc</sup> ±3.43
HC-7.5	7.37 <sup>bc</sup> ±0.15	182.18 <sup>bc</sup> ±2.13
HC-10	7.61 <sup>bc</sup> ±0.05	184.87 <sup>c</sup> ±1.43

CON—control sample. HF—hemp flour. HC—hemp cake. Means (n = 3) with different letters in the same column are significantly different (P < 0.05).

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0248790.t006>

content of hemp flour. Due to its higher granulation, it caused the denser twisting of the fusilli form, which is clearly visible in the (S1 and S2 Figs). This, in turn, resulted in the higher hardness of the product. Cohesiveness indicates coherence of the material. In the case of the pasta with the hemp flour, the cohesiveness value decreased with the addition of this material. This is related to higher water absorption and higher fiber content. The cohesion of the pasta with

Table 7. Texture parameters of cooked pasta samples.

Pasta sample	Hardness	Springiness	Chewiness	Cohesiveness
	N		N	
CON	2.93 <sup>a</sup> ±0.23	0.991 <sup>a</sup> ±0.006	1.98 <sup>bc</sup> ±0.15	0.66 <sup>d</sup> ±0.01
HF-5	2.98 <sup>a</sup> ±0.21	0.991 <sup>a</sup> ±0.005	1.93 <sup>bc</sup> ±0.15	0.66 <sup>d</sup> ±0.01
HF-10	3.70 <sup>bc</sup> ±0.23	0.991 <sup>a</sup> ±0.006	2.35 <sup>bc</sup> ±0.15	0.63 <sup>cd</sup> ±0.01
HF-15	4.00 <sup>cd</sup> ±0.23	0.991 <sup>a</sup> ±0.006	2.38 <sup>bc</sup> ±0.15	0.61 <sup>cd</sup> ±0.01
HF-20	4.32 <sup>cd</sup> ±0.21	0.992 <sup>a</sup> ±0.005	2.49 <sup>bc</sup> ±0.15	0.58 <sup>cd</sup> ±0.01
HF-25	4.34 <sup>cd</sup> ±0.24	0.991 <sup>a</sup> ±0.006	2.49 <sup>bc</sup> ±0.17	0.58 <sup>cd</sup> ±0.01
HF-30	3.69 <sup>bc</sup> ±0.23	0.987 <sup>a</sup> ±0.006	2.06 <sup>bc</sup> ±0.16	0.58 <sup>cd</sup> ±0.01
HF-35	3.41 <sup>bc</sup> ±0.24	0.989 <sup>a</sup> ±0.006	1.88 <sup>bc</sup> ±0.17	0.56 <sup>cd</sup> ±0.01
HF-40	2.94 <sup>a</sup> ±0.23	0.987 <sup>a</sup> ±0.006	1.68 <sup>bc</sup> ±0.16	0.56 <sup>cd</sup> ±0.01
HC-2.5	4.86 <sup>cd</sup> ±0.27	0.990 <sup>a</sup> ±0.007	2.92 <sup>bc</sup> ±0.18	0.60 <sup>cd</sup> ±0.02
HC-5	5.42 <sup>cd</sup> ±0.27	0.991 <sup>a</sup> ±0.007	2.88 <sup>bc</sup> ±0.18	0.53 <sup>cd</sup> ±0.02
HC-7.5	5.61 <sup>cd</sup> ±0.28	0.991 <sup>a</sup> ±0.007	3.03 <sup>bc</sup> ±0.18	0.52 <sup>cd</sup> ±0.02
HC-10	5.80 <sup>cd</sup> ±0.24	0.992 <sup>a</sup> ±0.006	3.38 <sup>bc</sup> ±0.17	0.52 <sup>cd</sup> ±0.01

CON—control sample. HF—hemp flour. HC—hemp cake. Means (n = 5) with different letters in the same column are significantly different (P < 0.05).

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0248790.t007>

Table 8. Sensory analysis of uncooked and cooked pasta samples.

Pasta sample	Appearance	Color	Smell	Average score	Appearance	Color	Taste	Smell	Hardness	Adhesiveness	Springiness	Average score
CON	5.00 <sup>a</sup> ±0.00	4.89 <sup>a</sup> ±0.33	5.00 <sup>a</sup> ±0.00	4.96 <sup>a</sup> ±0.11	4.78 <sup>a</sup> ±0.44	4.89 <sup>a</sup> ±0.33	4.89 <sup>a</sup> ±0.33	4.89 <sup>a</sup> ±0.33	4.89 <sup>a</sup> ±0.33	4.67 <sup>a</sup> ±0.5	4.78 <sup>a</sup> ±0.44	4.83 <sup>a</sup> ±0.27
HF-5	4.78 <sup>ab</sup> ±0.67	4.67 <sup>a</sup> ±0.50	4.56 <sup>ab</sup> ±0.53	4.67 <sup>ab</sup> ±0.33	4.78 <sup>a</sup> ±0.44	4.78 <sup>a</sup> ±0.44	4.33 <sup>ab</sup> ±0.50	4.44 <sup>ab</sup> ±0.53	4.89 <sup>a</sup> ±0.33	4.89 <sup>a</sup> ±0.33	4.78 <sup>a</sup> ±0.44	4.70 <sup>ab</sup> ±0.26
HF-10	4.44 <sup>abc</sup> ±0.53	4.33 <sup>a</sup> ±0.50	4.78 <sup>ab</sup> ±0.44	4.52 <sup>abc</sup> ±0.34	4.78 <sup>a</sup> ±0.44	4.56 <sup>abc</sup> ±0.53	4.33 <sup>ab</sup> ±0.71	4.22 <sup>abc</sup> ±0.67	4.89 <sup>a</sup> ±0.33	4.89 <sup>a</sup> ±0.33	4.78 <sup>a</sup> ±0.44	4.63 <sup>ab</sup> ±0.28
HF-15	4.56 <sup>ab</sup> ±0.53	4.44 <sup>a</sup> ±0.53	4.44 <sup>a</sup> ±0.53	4.48 <sup>ab</sup> ±0.41	4.56 <sup>ab</sup> ±0.53	4.33 <sup>ab</sup> ±0.50	4.11 <sup>bc</sup> ±0.33	4.33 <sup>ab</sup> ±0.71	4.78 <sup>a</sup> ±0.44	4.89 <sup>a</sup> ±0.33	4.89 <sup>a</sup> ±0.33	4.56 <sup>ab</sup> ±0.24
HF-20	4.56 <sup>ab</sup> ±0.53	4.67 <sup>a</sup> ±0.50	4.22 <sup>a</sup> ±0.67	4.48 <sup>ab</sup> ±0.47	4.44 <sup>ab</sup> ±0.53	4.44 <sup>ab</sup> ±0.73	3.78 <sup>bc</sup> ±0.78	3.89 <sup>bc</sup> ±0.60	4.67 <sup>a</sup> ±0.50	4.78 <sup>a</sup> ±0.44	4.78 <sup>a</sup> ±0.44	4.30 <sup>ab</sup> ±0.24
HF-25	4.56 <sup>ab</sup> ±0.53	4.67 <sup>a</sup> ±0.50	4.22 <sup>a</sup> ±0.67	4.48 <sup>ab</sup> ±0.47	4.33 <sup>a</sup> ±0.50	4.11 <sup>bc</sup> ±0.60	3.78 <sup>bc</sup> ±0.73	3.89 <sup>bc</sup> ±0.60	4.78 <sup>a</sup> ±0.44	4.89 <sup>a</sup> ±0.33	4.89 <sup>a</sup> ±0.33	4.33 <sup>ab</sup> ±0.23
HF-30	4.22 <sup>abc</sup> ±0.67	4.44 <sup>a</sup> ±0.73	4.33 <sup>a</sup> ±0.71	4.33 <sup>ab</sup> ±0.29	4.22 <sup>a</sup> ±0.67	3.89 <sup>bc</sup> ±0.60	3.44 <sup>cd</sup> ±0.50	3.56 <sup>bc</sup> ±0.73	4.78 <sup>a</sup> ±0.44	4.89 <sup>a</sup> ±0.33	4.78 <sup>a</sup> ±0.44	4.16 <sup>cd</sup> ±0.15
HF-35	4.00 <sup>bc</sup> ±0.71	4.11 <sup>a</sup> ±0.60	4.00 <sup>b</sup> ±0.50	4.04 <sup>c</sup> ±0.42	3.89 <sup>bc</sup> ±0.6	3.67 <sup>cd</sup> ±0.87	3.44 <sup>cd</sup> ±0.60	3.56 <sup>bc</sup> ±0.73	4.89 <sup>a</sup> ±0.33	4.89 <sup>a</sup> ±0.33	4.89 <sup>a</sup> ±0.33	4.13 <sup>cd</sup> ±0.38
HF-40	3.56 <sup>cd</sup> ±0.73	4.22 <sup>a</sup> ±0.67	4.00 <sup>b</sup> ±0.50	3.93 <sup>c</sup> ±0.32	3.56 <sup>cd</sup> ±0.88	3.78 <sup>bc</sup> ±0.67	3.11 <sup>d</sup> ±0.53	3.33 <sup>cd</sup> ±0.87	4.89 <sup>a</sup> ±0.33	4.78 <sup>a</sup> ±0.44	4.89 <sup>a</sup> ±0.33	4.10 <sup>cd</sup> ±0.33
HC-2.5	4.33 <sup>ab</sup> ±0.71	4.11 <sup>a</sup> ±0.60	4.44 <sup>a</sup> ±0.73	4.30 <sup>ab</sup> ±0.54	4.44 <sup>ab</sup> ±0.53	4.22 <sup>ab</sup> ±0.67	4.00 <sup>ab</sup> ±0.71	4.44 <sup>ab</sup> ±0.53	4.78 <sup>a</sup> ±0.44	4.67 <sup>a</sup> ±0.50	5.00 <sup>a</sup> ±0.00	4.51 <sup>abcd</sup> ±0.20
HC-5	4.22 <sup>ab</sup> ±0.83	4.22 <sup>a</sup> ±0.83	4.33 <sup>a</sup> ±0.71	4.26 <sup>ab</sup> ±0.64	4.22 <sup>a</sup> ±0.67	4.33 <sup>a</sup> ±0.71	3.78 <sup>bc</sup> ±0.83	4.11 <sup>bc</sup> ±0.78	4.89 <sup>a</sup> ±0.33	4.78 <sup>a</sup> ±0.44	4.89 <sup>a</sup> ±0.33	4.43 <sup>abcd</sup> ±0.34
HC-7.5	4.11 <sup>ab</sup> ±0.78	4.33 <sup>a</sup> ±0.50	4.22 <sup>a</sup> ±0.83	4.22 <sup>a</sup> ±0.62	4.22 <sup>a</sup> ±0.67	4.11 <sup>bc</sup> ±0.78	3.78 <sup>bc</sup> ±0.67	4.00 <sup>bc</sup> ±0.71	4.89 <sup>a</sup> ±0.33	4.78 <sup>a</sup> ±0.44	5.00 <sup>a</sup> ±0.00	4.40 <sup>abcd</sup> ±0.30
HC-10	4.11 <sup>ab</sup> ±0.33	4.00 <sup>a</sup> ±0.50	4.22 <sup>a</sup> ±0.67	4.11 <sup>ab</sup> ±0.37	4.11 <sup>ab</sup> ±0.60	3.78 <sup>bc</sup> ±0.44	3.78 <sup>bc</sup> ±0.83	4.00 <sup>bc</sup> ±0.50	4.78 <sup>a</sup> ±0.44	4.78 <sup>a</sup> ±0.44	5.00 <sup>a</sup> ±0.00	4.32 <sup>abcd</sup> ±0.21

CON=control sample, HF=hemp flour, HC=hemp cake. Means (n = 20) with different letters in the same column are significantly different (P < 0.05).

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0248700.t008>

the hemp cake was lower, compared to samples with the same percentage of the hemp flour. The larger particles of this raw material disturbed the structure of the pasta and reduced its cohesiveness.

Consumer acceptance is one of the most important criteria for evaluating a newly developed food product. The consumer panel selected for the survey assessed the samples at a satisfactory level (Table 8). The lowest scores for taste, which is the most important food feature according to consumers [36], were recorded for the HF-40 sample, but none of the taste scores were lower than 3 which may indicate satisfactory consumer acceptance. During the evaluation of this parameter, the panelists reported a bitter taste of the product. It may be associated with the presence of saponins in cannabis material [37]. The average consumer assessment of uncooked pasta indicates that only samples HF-40 received a score below 4, and for cooked pasta, all the notes were above 4, which is a very promising result.

## Conclusion

The results of the research indicate the possibility of using hemp components to improve the nutritional value of pasta while maintaining its safety. It should be concluded, however, that the addition of hemp flour (HF) rather than hemp cake (HC) is a better solution because the former component facilitates the technological process and thus increases the possibility of fortification. Both hemp raw materials allow enriching pasta with protein, dietary fiber, mainly its insoluble fraction and minerals. Taking into account the chemical composition and quality parameters of pasta, the optimal addition to pasta is 30% for hemp flour (HF-30) and 10% for hemp cake (HC-10). Pasta with 30% addition of hemp flour can be described as a high-protein and high-fiber product and at the same time characterized by satisfactory organoleptic properties and good cooking qualities. THC and CBD content in all enriched pasta was on a safe level. Although pasta with hemp raw materials contains more protein than conventional pasta, it seems advisable to conduct further research to determine the digestibility of protein and bio-active peptides content in obtained products.

## Supporting information

**S1 Fig. The pasta samples enriched with hemp flour.**  
(DOCX)

**S2 Fig. The pasta samples enriched with hemp cake.**  
(DOCX)

## Author Contributions

**Conceptualization:** Dorota Teterycz, Aldona Sobota.

**Data curation:** Dorota Teterycz.

**Funding acquisition:** Aldona Sobota, Dominika Przygodzka.

**Investigation:** Dorota Teterycz, Dominika Przygodzka, Paulina Lysakowska.

**Methodology:** Aldona Sobota, Dominika Przygodzka.

**Validation:** Aldona Sobota.

**Writing – original draft:** Dorota Teterycz.

**Writing – review & editing:** Aldona Sobota.

## References

1. Andre CM, Hausman JF, Guerriero G. Cannabis sativa: the plant of the thousand and one molecules. *Front. Plant Sci.* 2016; 7: 19. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00019> PMID: 26870049
2. EMCDDA—European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction. Cannabis legislation in Europe: an overview. Lisbon, March 2017.
3. Callaway JC. Hempseed as a nutritional resource: An overview. *Euphytica*, 2004; 140:65–72.
4. Wang Q, Xiong YL. Processing, Nutrition, and Functionality of Hempseed Protein: A Review. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, 2019; 18: 936–962. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12450> PMID: 33336999
5. House JD, Neufeld J, Leson G. Evaluating the quality of protein from hemp seed (*Cannabis sativa* L.) products through the use of the protein digestibility-corrected amino acid score method. *J. Agric. Food Chem.*, 2010; 24: 11801–11807. <https://doi.org/10.1021/jf102636b> PMID: 20977230
6. Aluko RE. Hemp seed (*Cannabis sativa* L.) proteins: composition, structure, enzymatic modification, and functional or bioactive properties. In: Nadathur S.R., Wanasundara J.P.D., Scarin L., (eds.). *Sustainable protein sources*. San Diego, CA: Academic Press., 2017; pp. 121–132.
7. Kiralan M, Gul V, Metin KS. Fatty acid composition of hempseed oils from different locations in Turkey. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 2010; 8(2):385–390.
8. Wang YY, Norajit K, Kim MH, Kim YH, Ryu GH. Influence of extrusion condition and hemp addition on wheat dough and bread properties. *Food Sci. Biotechnol.*, 2013; 22: 89–97.
9. Radočaj O, Dimić E, Tsao R. Effects of hemp (*Cannabis sativa* L.) seed oil press-cake and decaffeinated green tea leaves (*Camellia sinensis*) on functional characteristics of gluten-free crackers. *J. Food Sci.*, 2014; 79: C318–C325. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12370> PMID: 24527987
10. Lukin A, Bitutsikh K. (2017). On potential use of hemp flour in bread production. *Bulletin of the Transilvania University of Brasov. Forestry, Wood Industry, Agricultural Food Engineering. Series II*, 2017; 10: 113–118.
11. Fresh Hemp Foods Ltd. Hemp Protein Powder GRAS Notice 11: 771. The safety and the generally recognized as safe (GRAS) status of the proposed use of hemp protein powder in human food. Prepared By: Marc C. Sanchez. 2018. <https://www.fda.gov/media/118583/download> (Last visited August 26, 2020).
12. Hädener M, König S, Weinmann W. Quantitative determination of CBD and THC and their acid precursors in confiscated cannabis samples by HPLC-DAD. *Forensic Science International*, 2019; 299: 142–150. <https://doi.org/10.1016/j.foresint.2019.03.046> PMID: 31005710
13. Bañas B, Beitzke Carus B, Iffland K, Kruse D, Sarmiento L, Srijia D. European Industrial Hemp Association (EIHA) on: Reasonable guidance values for THC (Tetrahydrocannabinol) in food products. Nova-Institute, Hürth, 2017. <http://eiha.org/media/2015/08/15-07-24-Report-Scientifically-Safe-Guidelines-THC-Food-nova-EIHA.pdf>
14. Australia New Zealand Food Standards Code—Standard 1.4.4. Prohibited and restricted plants and fungi. <https://www.legislation.gov.au/Details/F2017C01047> (Last visited August 30, 2020).
15. EIHA—European Industrial Hemp Association. Reasonable regulation of cannabidiol (CBD) in food, cosmetics, as herbal natural medicine and as medicinal product. Hürth (Germany), 2018. <http://eiha.org/media/2016/10/18-10-EIHA-CBD-position-paper.pdf> (Last visited August 30, 2020).
16. Li H, Liu Y, Tian D, Tian L, Ju X, Qi L, et al. Overview of cannabidiol (CBD) and its analogues: Structures, biological activities, and neuroprotective mechanisms in epilepsy and Alzheimer's disease. *Eur. J. Med. Chem.*, 2020; 121: 108959. <https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2020.112163> PMID: 32109623
17. Pojč MM, Hadnađev TD, Hadnađev M, Rakita S, Brlek T. Bread Supplementation with Hemp Seed Cake: A By-Product of Hemp Oil Processing. *Journal of Food Quality*, 2015; 38: 431–440.
18. Hrušková M, Švec I. Cookie making potential of composite flour containing wheat, barley and hemp. *Czech. J. Food Sci.*, 2015; 33(6): 545–555.
19. Sobota A, Rzedzicki Z, Zarzycki P, Kuzawinska E. Application of common wheat bran for the industrial production of high-fibre pasta. *Int. J. Food Sci. Technol.*, 2015; 50: 111–119.
20. Kasprzak M, Rzedzicki Z, Sykut-Domanska E. Effect of Oat Wholemeal Added on Quality Profile of Wheat Bread (in Polish). *Food. Science. Technology. Quality*, 2011; 18(1): 124–139.
21. AACCC—American Association of Cereal Chemistry Approved Methods. 10th ed. St. Paul, 2000.
22. AOAC—Association of Official Analytical Chemists International. Official Methods (20th ed.). 2016. Rockville.
23. Teterycz D, Sobota A, Zarzycki P, Latoch A. Legume flour as a natural colouring component in pasta production. *J. Food Sci. Technol.*, 2020; 57: 301–309. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-04061-5> PMID: 31975733



24. Zarzycki P, Sobota A, Kuzawińska E, Wirkijowska A, Sykut-Domańska E. Estimation of degree of starch gelatinisation in instant pasta using measurements of viscosity and water absorption of ground instant pasta dispersions. *Acta Agroph.*, 2017; 24(4): 625–632.
25. Bruni N, Della Pepa C, Ollaro-Bosso S, Pessione E, Gastaldi D, Dosio F. Cannabinoid Delivery Systems for Pain and Inflammation Treatment. *Molecules*, 2018; 23(10): 2478. <https://doi.org/10.3390/molecules23102478> PMID: 30262735
26. Zarzycki P, Sykut-Domańska E, Sobota A, Teterycz D, Krawczyńska A, Blicharz-Kania A, et al. Flaxseed Enriched Pasta—Chemical Composition and Cooking Quality. *Foods*, 2020, 9(4), 404. <https://doi.org/10.3390/foods9040404> PMID: 32244646
27. Sykut-Domańska E, Zarzycki P, Sobota A, Teterycz D, Wirkijowska A, Blicharz-Kania A, et al. The potential use of by-products from coconut industry for production of pasta. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2020; 44: 14490. <https://doi.org/10.1111/jpp.14490>.
28. Regulation (EC) No 1924/2006 of the European Parliament and of the Council of 20 December 2006 on nutrition and health claims made on foods.
29. Stephen AM, Champ MM, Cloran SJ, Feith M, van Lieshout L, Mejbom H, et al. Dietary fibre in Europe: Current state of knowledge on definitions, sources, recommendations, intakes and relationships to health. *Nutr. Res. Rev.* 2017; 30: 149–190. <https://doi.org/10.1017/S095442241700004X> PMID: 28676135
30. Sobota A, Świeca M, Gęsiński K, Wirkijowska A, Bochnak J. Yellow-coated quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)—physicochemical, nutritional, and antioxidant properties. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2020; 100, 2035–2042. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10222> PMID: 31858602
31. Michalak-Majewska M, Teterycz D, Muszyński S, Radzki W, Sykut-Domańska E. Influence of onion skin powder on nutritional and quality attributes of wheat pasta. *PLoS ONE*, 2020, 15, e0227942. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0227942> PMID: 31986166
32. PHE (Public Health England) NDNS: results from years 5 and 6 (combined). 2016. [www.gov.uk/government/collections/national-diet-and-nutrition-survey](http://www.gov.uk/government/collections/national-diet-and-nutrition-survey) (Last visited August 26, 2020).
33. Sobota A, Wirkijowska A, Zarzycki P. Application of vegetable concentrates and powders in coloured pasta production. *International Journal of Food Science & Technology*, 2020; 55: 2677–2687. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14521>
34. Monteiro MLG, Mársico ET, Deliza R, Castro VS, Mutz YS, Junior MSS, Conte-Junior CA. Physicochemical and sensory characteristics of pasta enriched with fish (*Oreochromis niloticus*) waste flour. *LWT-Food Science and Technology*, 2019; 111: 751–758.
35. Makhlof S, Jones S, Ye SH, Sancho-Madriz M, Burns-Whitmore B, Li YO. Effect of selected dietary fibre sources and addition levels on physical and cooking quality attributes of fibre-enhanced pasta. *Food Quality and Safety*, 2019; 3(2): 117–127.
36. Russo R, Peggiani R. Variability in Antinutritional Compounds in Hempseed Meal of Italian and French Varieties. *Plant*, 2013; 1(2): 25–29.
37. Harris JM. The impact of food product characteristics on consumer purchasing behavior: The case of frankfurters. *Journal of Food Distribution Research*, 1997; 28: 92–97.

## RESEARCH ARTICLE



# Possibility of using wheat germ and wheat germ protein isolate for high-protein pasta production

Dorota Teterycz<sup>1</sup> | Aldona Sobota<sup>1</sup> | Agnieszka Starek<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Plant Food Technology and Gastronomy, Division of Engineering and Cereals Technology, Faculty of Food Science and Biotechnology, University of Life Sciences in Lublin, Lublin, Poland

<sup>2</sup>Department of Biological Bases of Food and Feed Technologies, University of Life Sciences in Lublin, Lublin, Poland

## Correspondence

Aldona Sobota, Department of Plant Food Technology and Gastronomy, Division of Engineering and Cereals Technology, Faculty of Food Science and Biotechnology, University of Life Sciences in Lublin, Skromna 8, 20-704 Lublin, Poland.

Email: [aldona.sobota@up.lublin.pl](mailto:aldona.sobota@up.lublin.pl)

## Abstract

**Background and Objectives:** There is a growing demand in the food market for vegan and vegetarian products. However, they often contain incomplete protein and small amounts of protein. Therefore, plant-enriched products with increased nutritional and biological value are increasingly being sought. This study was undertaken to determine the effect of adding wheat germ (WG) (wheat milling by-product) and wheat germ protein isolate (WGPI) to durum wheat pasta. The aim of this study was to obtain high-protein wheat pasta with an improved amino acid composition. Another objective was to evaluate the physicochemical parameters and assess the cooking quality of obtained pasta samples.

**Findings:** Pasta was enriched with the addition of milled WG at 5%, 10%, 15%, 20%, and 25% or WGPI at 4%, 8%, and 12%. The study showed that the addition of 25% WG and 12% WGPI increased the protein content in the pasta by 35% and 53%, respectively, compared to the control sample. Both raw materials improved the amino acid composition of the pasta but only the addition of 12% WGPI resulted in a twofold increase in the lysine content and yielded a product with complete protein.

**Conclusions:** High-protein pasta was obtained through enrichment of wheat semolina pasta with 25% of WG or 8% of WGPI. The WG and WGPI addition yielded pasta with high cooking quality and increased firmness.

**Significance and Novelty:** Protein isolate obtained from wheat germ can be successfully used to produce high-protein pasta.

## KEYWORDS

amino acid composition, cereal products, durum wheat pasta, milling by-products

## 1 | INTRODUCTION

Due to the growing trend of using vegetarian and vegan diets, consumers are constantly looking for good sources of plant protein. The primary sources of this protein in the human diet are pulses, cereals, and oilseeds. Consumption of these crops is steadily increasing, but the concurrent search for new sources of protein is still

being continued (Gardner et al., 2019). To meet consumers' expectations and their specific nutritional needs, new plant-based products with balanced compositions are appearing in the market. The introduction of new protein sources into the human diet should be based on well-known and widely accepted products. Pasta, which is a universal easy-to-prepare product with constantly increasing consumption, can be an ideal

carrier of new protein sources (Wang et al., 2022). Pasta itself contains incomplete protein that is poor in such essential amino acids as lysine and threonine. Additionally, it contains only about 10%–15% of protein (Gopalakrishnan et al., 2011; Sissons, 2022); hence, fortification of pasta to improve the quality and quantity of protein seems to be justified.

An interesting method for wheat pasta enrichment is supplementation with parts of grain that are abundant in protein and essential amino acids. Wheat germ, which in addition to bran is the main by-product of the milling industry, accounting for 2.5% of grain weight, seems to be an ideal raw material. This anatomical part of the kernel contains all the necessary components needed for the growth of a new plant. Wheat germ is therefore rich in complete protein (30% d.m.), valuable (mainly unsaturated) fat (10%–12% d.m.), and total carbohydrates (58%–61% d.m.) (Jha et al., 2013). It is also a valuable source of vitamins such as tocopherols or minerals such as calcium and magnesium (Boukid et al., 2018).

Wheat germ protein is mainly composed of albumin and globulin (34.5% and 15.6% of total protein, respectively). The amino acid composition of wheat germ protein is similar to that of the reference protein reported by Food and Agriculture Organization (FAO) (Boukid et al., 2018; FAO, 2007; Liao et al., 2020). Due to the high content of enzymes, for example, lipase and lipoxygenase, and the presence of unsaturated fatty acids, wheat germ is characterized by a short shelf life (Marti et al., 2014; Marzocchi et al., 2022). Currently, many physical, chemical, and biological methods are used to extend the shelf life of wheat germ (Boukid et al., 2018; Liao et al., 2020). However, studies show that pasta with wheat germ without these treatments can be successfully stored for up to 6 months (Tarzi et al., 2012). To extend this storage time, it seems expedient to isolate the protein from wheat germ. It has been reported that it is possible to obtain protein isolate from wheat germ at a yield of over 90% (Fan et al., 2022; Hettiarachchy et al., 1996), which can make it possible to increase the content of this macronutrient in final products.

In the literature, there is information about the addition of wheat germ to bread, yoghurt, cookies, and noodles (Boukid et al., 2018; Majzoubi et al., 2022; Perri et al., 2022). There is also information about germ addition to pasta, but its level was not higher than 20% (Pinarlı et al., 2004). Furthermore, there is no research on the use of protein isolate obtained from wheat germ in pasta production.

Therefore, the aim of this study was to determine the effect of adding wheat germ and wheat germ protein isolate to pasta made from durum wheat semolina to obtain high-protein pasta according to the definition of

the European Union (minimum of 20% of the product's energy is derived from protein) (Regulation (EC) No 1924/2006) and to improve its amino acid composition (European Parliament, Council of the European Union, 2006). Another aim was to evaluate the physicochemical parameters and assess the cooking quality of the obtained pasta samples.

## 2 | MATERIALS AND METHODS

### 2.1 | Raw materials

The raw materials used in this study were durum semolina (Julia Malom, Kunszallas, Hungary), common wheat germ (Swojski Spichlerz, Częstochowa, Poland), and protein isolate from defatted wheat germ prepared by alkaline extraction and isoelectric precipitation according to the methodology given by (Alzuwaid et al., 2019) with own small modifications. The modifications involved separation of the supernatant from the precipitate. Instead of the filtration through nylon cloth, the supernatant was centrifuged again at overload 5600g for 15 min (centrifuge type MPW-380, MPW Med. Instruments). The supernatant from the first and second centrifugation was combined to stabilize the pH to 4.2 using 1 M HCl. The further procedure followed that described by Alzuwaid et al. (2019). The chemical composition of the raw materials used is given in Table 2.

### 2.2 | Pasta preparation

Pasta samples were produced in laboratory conditions on a semi-technical scale using a MAC 30S-Lab pasta extruder (ItalPast). The level of addition of wheat germ (WG) and wheat germ protein isolate (WGPI) was determined based on preliminary studies (Data not shown). In our study, the addition of WG at the 5%/10%/15%/20%/25% levels and WGPI at the 4%/8%/12% levels was used. The raw materials, that is, durum semolina, WG or WGPI, and water, were mixed in appropriate proportions. The amount of water added ensured 32% moisture content in the mixture. The raw materials were mixed together for 15 min in a premixer. The pasta dough was then extruded under vacuum. The extruder barrel temperature was controlled and did not exceed 28°C. A Teflon die was used to produce the pasta. Pasta samples (Tagliatelle) were dried for 7 h in an EAC 30-Lab pasta dryer (ItalPast) using a low temperature profile (35–55°C) and 85%–55% relative humidity of drying air. Further, the pasta was stored in plastic bags at a temperature of –18°C.

## 2.3 | Chemical analysis of raw materials and pasta samples

The chemical analysis of raw materials and dried and cooked pasta samples were determined included contents of: protein, fat, dietary fiber, ash, digestible carbohydrates (with a difference), moisture and essential and non-essential amino acids. Moisture content was determined by the air-burn method (AACC, 2000). Ash content was determined by method AACC 08-01 (2000). Protein content was determined using Kjeltac TMS400 (Foss). A 5.70 nitrogen-to-protein conversion ratio was used. Total fat content was determined after acid hydrolysis by continuous extraction method. SoxtecTM8000 (Foss) machine and hexane as solvent was used. The content of amino acids in selected samples was determined using the AAA 400 analyzer (Ingos). Amino acid scores for raw materials and selected samples were also calculated (Caire-Juvera et al., 2013). The total dietary fiber (TDF) content was determined by the enzymatic methods of the American Association of Cereal Chemists (AACC, 2000) and the Association of Official Agricultural Chemists (AOAC, 2021) (AACC: methods 32-05 and 32-21, AOAC, 991.43, AOAC 985-29). The digestible carbohydrate content was calculated from the difference: 100 – (mass in grams [protein + fat + TDF + ash]) in 100 g dry weight of pasta or raw material. The energy value for pasta samples was calculated using the modified Atwater coefficient (protein—4 kcal, carbohydrate—4 kcal, fat—9 kcal, TDF—kcal). The determination of chemical composition of raw materials and pasta was made in triplicate.

## 2.4 | Cooking quality of pasta samples

Cooking quality parameters such as minimum cooking time, weight increase index, cooking and overcooking losses were determined according to the methodology described by Teterycz et al. (2019).

## 2.5 | Evaluation of texture characteristics

The pasta samples were cooked according to the determined minimum cooking time. The research material prepared in this way was subjected to instrumental tests using a Zwick/Roell Z0.5 testing machine, cooperating with a computer. Pasta strands were cut with a tooth moving at the speed of 1 mm s<sup>-1</sup> with a straight steel blade (0.3 mm) (AACC, 2000). On the basis of the trial, the maximum force required for cutting the product [N] was determined.

## 2.6 | The color of cooked and raw pasta

The parameters of dried and cooked pasta were determined by the reflectance method based on Commission Internationale de l'Eclairage L\*a\*b\* color system, using an spherical spectrophotometer (Chroma Meter CR-5; Konica Minolta). The evaluation was performed using a standard light source (D65) and a standard colorimetric observer with a field of view of 10°. A 3 mm diameter aperture was used for measurement. Color coordinates (L\*, a\*, b\*) were determined according to the CIE system. The spectrophotometer was calibrated using white and black standard plates. Pasta color changes due to the addition of wheat germ (WG) or wheat germ protein isolate (WGPI) ( $\Delta E$ ) were determined relative to the CON (control) sample (raw and cooked) as:

$$\Delta E = \sqrt{(L_2^* - L_1^*)^2 + (a_2^* - a_1^*)^2 + (b_2^* - b_1^*)^2},$$

where:  $L_2^*$ ,  $a_2^*$ ,  $b_2^*$  were the color parameters of the CON sample taken as reference, and  $L_1^*$ ,  $a_1^*$ ,  $b_1^*$  referred to the color parameters of the pasta samples with the addition of WG or WGPI.

## 2.7 | Statistical analysis

Mean values and standard deviations were calculated. Results were statistically analyzed using one-way analysis of variance with replication (ANOVA, STATISTICA 13, Statsoft).

# 3 | RESULTS AND DISCUSSION

## 3.1 | Pasta manufacture

Creating a new formulation of a food product is always a challenge for technologists due to new physicochemical properties. Table 1 shows the experimental design and the basic parameters recorded during pasta production, such as pressure and extruder output. The highest value of extrusion pressure was recorded for the CON sample (11.65 MPa). Each time fortification was added, both WG and WGPI resulted in reduction of extrusion pressure. Statistically significant differences ( $p > .05$ ) were recorded for the addition of 5% WG and 4% WGPI. With the addition of WG and WGPI, extruder capacity also decreased, from 32.00 kg h<sup>-1</sup> for CON to 22.45 kg h<sup>-1</sup> for WG-25 sample and to 23.13 kg h<sup>-1</sup> for WGPI-12 sample. For extruder capacity, also the least addition of WG and WGPI resulted in statistically significant differences. Albumins and globulins

TABLE 1 Model of experiment and extrusion parameters

Pasta sample	Pasta formula %			Extrusion parameters	
	Semolina	WG	WGPI	Pressure MPa	Extruder capacity kg h <sup>-1</sup>
CON	100			11.65 <sup>a</sup> ± 0.71	32.00 <sup>a</sup> ± 0.11
WG-5	95	5		11.10 <sup>b</sup> ± 1.41	30.34 <sup>b</sup> ± 0.3
WG-10	90	10		10.65 <sup>b,c</sup> ± 2.12	27.74 <sup>c</sup> ± 0.3
WG-15	85	15		10.00 <sup>d,e</sup> ± 1.41	24.17 <sup>d,e</sup> ± 0.22
WG-20	80	20		9.85 <sup>e</sup> ± 0.71	23.53 <sup>e,f</sup> ± 0.58
WG-25	75	25		9.70 <sup>f</sup> ± 1.41	22.45 <sup>f</sup> ± 0.42
WGPI-4	96		4	11.05 <sup>b</sup> ± 0.71	28.51 <sup>c</sup> ± 0.53
WGPI-8	92		8	10.35 <sup>d</sup> ± 0.71	25.40 <sup>d</sup> ± 0.36
WGPI-12	88		12	9.95 <sup>d,e</sup> ± 0.71	23.13 <sup>e,f</sup> ± 0.06

Note: Data are presented as mean (n = 4) ± standard deviation, means in the same column with different letters are significantly different (Tukey test; p < .05). Abbreviations: CON, control sample (100% semolina durum); WG, wheat germ pasta; WGPI, wheat germ protein isolate pasta.

TABLE 2 Chemical composition of raw materials

Raw materials	% d.m.		Protein	Fat	IDF	SDF	TDF	Carbohydrates
	Moisture	Ash						
Durum semolina	10.14 <sup>a</sup> ± 0.24	0.92 <sup>c</sup> ± 0.01	15.27 <sup>c</sup> ± 1.20	1.12 <sup>b</sup> ± 0.11	2.93 <sup>b</sup> ± 0.31	1.80 <sup>b</sup> ± 0.1	4.74 <sup>b</sup> ± 0.41	77.95 <sup>a</sup> ± 1.62
Wheat germ	5.37 <sup>c</sup> ± 0.06	4.61 <sup>b</sup> ± 0.02	31.75 <sup>b</sup> ± 0.80	11.30 <sup>a</sup> ± 0.03	4.50 <sup>c</sup> ± 0.05	3.39 <sup>a</sup> ± 0.2	7.90 <sup>a</sup> ± 0.25	44.44 <sup>b</sup> ± 0.60
Wheat germ protein isolate	8.96 <sup>b</sup> ± 0.03	3.42 <sup>b</sup> ± 0.01	91.76 <sup>a</sup> ± 0.20	0.12 <sup>c</sup> ± 0.05	1.29 <sup>c</sup> ± 0.06	0.94 <sup>c</sup> ± 0.04	2.24 <sup>c</sup> ± 0.1	2.46 <sup>c</sup> ± 0.17

Note: Data are presented as mean (n = 3) ± standard deviation, means in the same column with different letters are significantly different (Tukey test; p < .05). Abbreviations: IDF, insoluble dietary fiber; SDF, soluble dietary fiber; TDF, total dietary fiber.

present in wheat germ are metabolic proteins (mainly enzymatic). They can exhibit amylolytic and proteolytic activity thus affecting the dough rheology. It was proven that wheat albumin and globulins negatively affected the properties of fresh pasta. The addition of globulins reduced the formation of a strong gluten network; the pasta, when extruded, had less strength and was more susceptible to stretching (more plastic, "loose" dough) (Lambrecht et al., 2017). The decrease in extruder capacity was lower for the samples with WG then with the sample enriched with WGPI (Tab 1).

### 3.2 | Chemical analysis of raw materials

Chemical analysis of the raw materials included testing for moisture, ash, protein, fat and dietary fiber content by fraction. Based on the content of the above mentioned components, the carbohydrate content was also calculated (Table 2). The protein content of semolina and WG

(wheat germ) was 15.27% and 31.75% d.m., respectively. The study showed that the obtained wheat germ protein isolate (WGPI) contained 91.76% d.m., which is higher than those reported by Hettiarachchy et al. (1996) and Zhu et al. (2006b), 90% and 84.18%, respectively. Such a high protein content in the resulting protein preparation offers great opportunities for its use in food products, especially vegan food products. Regarding fat content, WG had the highest value (11.30% d.m.). In WGPI, the fat content was negligible (0.12% d.m.) due to defatting the germ before isolation of protein. WGPI also contained less total dietary fiber and digestible carbohydrates compared to the other raw materials, 2.24% and 2.46% d.m., respectively.

### 3.3 | Chemical analysis of pasta samples

Chemical composition analysis was also performed for pasta samples, both uncooked and cooked (Table 3). Both

TABLE 3 Chemical composition of pasta samples

Pasta samples	% d.m.										kcal/100 g d.m.		% Energy from protein
	Moisture	Ash	Protein	Fat	IDF	SDF	TDF	Digestible carbohydrates	Energy				
<b>Uncooked</b>													
CON	10.00 <sup>abc</sup> ± 0.11	0.95 <sup>1a</sup> ± 0.02	14.88 <sup>ab</sup> ± 0.01	1.03 <sup>1a</sup> ± 0.13	2.91 <sup>1a</sup> ± 0.13	2.26 <sup>1a</sup> ± 0.13	2.26 <sup>1a</sup> ± 0.05	5.17 <sup>1a</sup> ± 0.17	77.96 ± 0.31	391.02 <sup>1a</sup> ± 0.2	15.23 <sup>1b</sup> ± 0.01		
WG-5	9.81 <sup>1bcd</sup> ± 0.07	1.12 <sup>1a1a</sup> ± 0.04	15.81 <sup>ab</sup> ± 0.07	1.74 <sup>1a</sup> ± 0.21	3.37 <sup>1a</sup> ± 0.21	1.95 <sup>1a</sup> ± 0.37	1.95 <sup>1a</sup> ± 0.14	5.32 <sup>1a</sup> ± 0.23	76.02 ± 0.42	393.55 <sup>1a</sup> ± 0.45	16.06 <sup>1b</sup> ± 0.08		
WG-10	9.49 <sup>1cd</sup> ± 0.29	1.26 <sup>1a1a</sup> ± 0.01	16.75 <sup>ab</sup> ± 0.04	2.75 <sup>1a</sup> ± 0.11	3.31 <sup>1a</sup> ± 0.11	3.31 <sup>1a</sup> ± 0.12	2.34 <sup>1a</sup> ± 0.02	5.65 <sup>1a</sup> ± 0.14	73.59 ± 0.21	397.42 <sup>1a</sup> ± 0.27	16.85 <sup>1b</sup> ± 0.05		
WG-15	9.10 <sup>1d</sup> ± 0.34	1.53 <sup>1a1a</sup> ± 0.07	17.79 <sup>ab</sup> ± 0.01	3.36 <sup>1a</sup> ± 0.09	3.34 <sup>1a</sup> ± 0.09	3.04 <sup>1a</sup> ± 0.23	3.04 <sup>1a</sup> ± 0.14	6.39 <sup>1a</sup> ± 0.37	70.94 ± 0.22	397.90 <sup>1a</sup> ± 0.93	17.89 <sup>1b</sup> ± 0.05		
WG-20	9.46 <sup>1cd</sup> ± 0.09	1.68 <sup>1a1a</sup> ± 0.08	18.99 <sup>ab</sup> ± 0.01	4.02 <sup>1a</sup> ± 0.17	3.98 <sup>1a</sup> ± 0.46	3.27 <sup>1a</sup> ± 0.22	7.24 <sup>1a</sup> ± 0.68	68.06 ± 0.78	398.88 <sup>1a</sup> ± 0.19	19.04 <sup>1b</sup> ± 0.02			
WG-25	8.98 <sup>1c</sup> ± 0.27	1.86 <sup>1a</sup> ± 0.03	20.08 <sup>ab</sup> ± 0.03	4.80 <sup>1a</sup> ± 0.09	4.18 <sup>1a</sup> ± 0.21	3.58 <sup>1a</sup> ± 0.17	7.77 <sup>1a</sup> ± 0.04	65.50 ± 0.13	401.02 <sup>1a</sup> ± 0.21	20.03 <sup>1b</sup> ± 0.04			
WGPI-4	10.56 <sup>1cd</sup> ± 0.02	1.23 <sup>1a1a</sup> ± 0.05	19.02 <sup>ab</sup> ± 0.11	0.31 <sup>1b</sup> ± 0.01	2.97 <sup>1a</sup> ± 0.08	2.03 <sup>1a</sup> ± 0.08	5.00 <sup>1a</sup> ± 0.01	74.45 ± 0.17	386.64 <sup>1a</sup> ± 0.14	19.67 <sup>1a</sup> ± 0.12			
WGPI-8	10.10 <sup>1cd</sup> ± 0.02	1.36 <sup>1a1a</sup> ± 0.06	20.53 <sup>ab</sup> ± 0.39	0.30 <sup>1b</sup> ± 0.01	2.56 <sup>1a</sup> ± 0.11	2.21 <sup>1a</sup> ± 0.03	4.78 <sup>1a</sup> ± 0.14	73.02 ± 0.2	386.59 <sup>1a</sup> ± 0.54	21.24 <sup>1b</sup> ± 0.37			
WGPI-12	10.69 <sup>1cd</sup> ± 0.23	1.64 <sup>1a</sup> ± 0.05	22.77 <sup>ab</sup> ± 0.08	0.29 <sup>1b</sup> ± 0.01	2.42 <sup>1a</sup> ± 0.12	2.15 <sup>1a</sup> ± 0.01	4.57 <sup>1a</sup> ± 0.12	70.69 ± 0.01	385.98 <sup>1a</sup> ± 0.07	23.59 <sup>1b</sup> ± 0.08			
<b>Cooked</b>													
CON	67.4 <sup>a</sup> ± 0.25	0.93 <sup>1a</sup> ± 0.01	16.12 <sup>1a</sup> ± 0.04	0.78 <sup>1a</sup> ± 0.04	3.09 <sup>1a</sup> ± 0.04	2.18 <sup>1a</sup> ± 0.16	5.27 <sup>1a</sup> ± 0.25	77.4 ± 0.26	387.16 <sup>1a</sup> ± 0.74	16.66 <sup>1a</sup> ± 0.07			
WG-5	66.38 <sup>b</sup> ± 0.18	1.09 <sup>1a</sup> ± 0.03	18.51 <sup>1a</sup> ± 0.64	1.39 <sup>1a</sup> ± 0.08	3.54 <sup>1a</sup> ± 0.29	1.83 <sup>1a</sup> ± 0.11	5.37 <sup>1a</sup> ± 0.18	73.65 ± 0.93	391.85 <sup>1a</sup> ± 0.07	18.91 <sup>1a</sup> ± 0.65			
WG-10	66.17 <sup>bc</sup> ± 0.21	1.24 <sup>1a</sup> ± 0.04	19.72 <sup>1a</sup> ± 0.08	2.07 <sup>1a</sup> ± 0.08	3.77 <sup>1a</sup> ± 0.15	2.17 <sup>1a</sup> ± 0.06	5.94 <sup>1a</sup> ± 0.21	71.04 ± 0.09	393.51 <sup>1a</sup> ± 0.97	20.07 <sup>1a</sup> ± 0.03			
WG-15	65.34 <sup>1cd</sup> ± 0.08	1.39 <sup>1a</sup> ± 0.01	20.42 <sup>1a</sup> ± 0.04	3.12 <sup>1a</sup> ± 0.13	3.72 <sup>1a</sup> ± 0.25	2.91 <sup>1a</sup> ± 0.14	6.63 <sup>1a</sup> ± 0.39	68.45 ± 0.21	396.76 <sup>1a</sup> ± 1.41	20.6 <sup>1a</sup> ± 0.04			
WG-20	64.68 <sup>1cd</sup> ± 0.45	1.54 <sup>1a</sup> ± 0.01	21.64 <sup>1a</sup> ± 0.09	3.90 <sup>1a</sup> ± 0.18	4.34 <sup>1a</sup> ± 0.45	3.06 <sup>1a</sup> ± 0.08	7.4 <sup>1a</sup> ± 0.54	65.53 ± 0.64	398.52 <sup>1a</sup> ± 0.24	21.74 <sup>1a</sup> ± 0.06			
WG-25	63.55 <sup>1cd</sup> ± 0.42	1.81 <sup>1a</sup> ± 0.04	22.65 <sup>1a</sup> ± 0.13	4.44 <sup>1a</sup> ± 0.16	4.59 <sup>1a</sup> ± 0.04	3.37 <sup>1a</sup> ± 0.22	7.96 <sup>1a</sup> ± 0.18	63.15 ± 0.17	399.04 <sup>1a</sup> ± 0.56	22.73 <sup>1a</sup> ± 0.17			
WGPI-4	67.07 <sup>1cd</sup> ± 0.06	1.22 <sup>1a</sup> ± 0.20	19.37 <sup>1a</sup> ± 0.16	0.28 <sup>1b</sup> ± 0.01	3.19 <sup>1a</sup> ± 0.09	1.79 <sup>1a</sup> ± 0.14	4.98 <sup>1a</sup> ± 0.05	74.53 ± 0.08	388.03 <sup>1a</sup> ± 0.94	19.99 <sup>1a</sup> ± 0.13			
WGPI-8	66.91 <sup>1cd</sup> ± 0.12	1.36 <sup>1a1a</sup> ± 0.05	22.74 <sup>1a</sup> ± 0.16	0.24 <sup>1b</sup> ± 0.04	2.71 <sup>1a</sup> ± 0.05	2.06 <sup>1a</sup> ± 0.10	4.77 <sup>1a</sup> ± 0.15	70.91 ± 0.10	386.22 <sup>1a</sup> ± 0.26	23.57 <sup>1a</sup> ± 0.16			
WGPI-12	66.22 <sup>1cd</sup> ± 0.14	1.35 <sup>1a1a</sup> ± 0.03	23.97 <sup>1a</sup> ± 0.09	0.31 <sup>1b</sup> ± 0.01	2.68 <sup>1a</sup> ± 0.18	1.99 <sup>1a</sup> ± 0.01	4.67 <sup>1a</sup> ± 0.19	69.7 ± 0.30	386.81 <sup>1a</sup> ± 0.58	24.81 <sup>1a</sup> ± 0.13			

Note: Means (n = 3) with different lowercase letters in the same column (separately uncooked or cooked) are significantly different (p < .05). Means with different capital letters indicate statistical difference (p < .05) for samples with the same addition of wheat germ or wheat germ protein isolate in uncooked and cooked pasta samples.

Abbreviations: CON, control sample (100% semolina durum pasta); IDF, insoluble dietary fiber; SDF, soluble dietary fiber; TDF, total dietary fiber; WG, wheat germ pasta; WGPI, wheat germ protein isolate pasta.

TABLE 4. Amino acid composition of raw materials and selected pasta samples in comparison to amino acid scoring patterns for adults (FAO, 2007) (mg g<sup>-1</sup> protein)

Raw materials and pasta samples	Ala	Asp	Glu	Gly	Pro	Ser	Tyr	Arg	Phe	His
Durum semolina	34.39 <sup>d</sup> ± 0.84	45.28 <sup>e</sup> ± 1.24	332.11 <sup>a</sup> ± 6.22	33.32 <sup>d</sup> ± 0.74	140.03 <sup>a</sup> ± 3.38	46.5 <sup>b</sup> ± 1.01	20.38 <sup>d</sup> ± 0.53	38.11 <sup>e</sup> ± 0.16	53.96 <sup>ab</sup> ± 1.12	23.42 <sup>f</sup> ± 0.18
Wheat germ	69.74 <sup>a</sup> ± 0.27	62.62 <sup>c</sup> ± 1.16	149.16 <sup>d</sup> ± 0.69	60.72 <sup>c</sup> ± 1.24	88.3 <sup>c</sup> ± 0.6	47.84 <sup>b</sup> ± 1.08	23.26 <sup>bc</sup> ± 0.66	82.61 <sup>b</sup> ± 1.93	51.37 <sup>bc</sup> ± 0.74	28.05 <sup>b</sup> ± 0.62
Wheat germ protein isolate	62.26 <sup>b</sup> ± 0.69	87.57 <sup>a</sup> ± 0.61	142.11 <sup>d</sup> ± 0.85	56.91 <sup>b</sup> ± 1.25	45.99 <sup>c</sup> ± 0.38	47.36 <sup>b</sup> ± 0.63	29.95 <sup>c</sup> ± 0.42	88.9 <sup>c</sup> ± 0.84	50.8 <sup>c</sup> ± 0.94	30.83 <sup>b</sup> ± 0.37
CON	35.17 <sup>d</sup> ± 0.18	43.74 <sup>e</sup> ± 0.38	331.2 <sup>a</sup> ± 0.59	34.12 <sup>d</sup> ± 0.05	139.65 <sup>a</sup> ± 0.2	49.24 <sup>b</sup> ± 0.37	20.83 <sup>d</sup> ± 0.69	37.14 <sup>e</sup> ± 0.51	54.62 <sup>b</sup> ± 0.31	22.51 <sup>f</sup> ± 0.04
WG-25	47.3 <sup>c</sup> ± 0.07	55.97 <sup>d</sup> ± 0.07	261.16 <sup>b</sup> ± 0.69	43.28 <sup>c</sup> ± 0.22	97.84 <sup>b</sup> ± 0.58	47.33 <sup>b</sup> ± 0.62	21.42 <sup>cd</sup> ± 0.47	56.03 <sup>d</sup> ± 0.36	51.68 <sup>bc</sup> ± 0.34	25.17 <sup>e</sup> ± 0.38
WGPI-12	45.51 <sup>c</sup> ± 0.66	72.3 <sup>c</sup> ± 0.59	245.28 <sup>c</sup> ± 1.46	44.47 <sup>c</sup> ± 0.63	79.32 <sup>c</sup> ± 3.42	55.07 <sup>c</sup> ± 0.41	24.81 <sup>b</sup> ± 0.63	61.26 <sup>c</sup> ± 0.16	50.51 <sup>c</sup> ± 0.58	28.93 <sup>b</sup> ± 0.45
Raw materials and pasta samples	Ile	Leu	Lys	Thr	Trp	Val	SAA (Met + Cys)	AAA (Phe + Tyr)	Limiting amino acid	Amino acid score using the pattern for adults <sup>a</sup>
Amino acid scoring pattern for adults <sup>a</sup>	30	59	45	23	6	39	22	38	Lysine	51
Durum semolina	35.16 <sup>bc</sup> ± 0.35	55.06 <sup>c</sup> ± 0.54	23.03 <sup>e</sup> ± 0.5	21.17 <sup>cd</sup> ± 0.05	14.34 <sup>c</sup> ± 0.33	44.75 <sup>cd</sup> ± 0.9	31.1 <sup>d</sup> ± 0.37	75.45 <sup>±±</sup> ± 1.65	Lysine	51
Wheat germ	33.44 <sup>c</sup> ± 0.31	63.8 <sup>d</sup> ± 0.39	70.35 <sup>b</sup> ± 0.89	44.97 <sup>c</sup> ± 1.04	21.59 <sup>c</sup> ± 0.18	52.74 <sup>ab</sup> ± 1.82	45.47 <sup>b</sup> ± 0.46	74.34 <sup>b</sup> ± 1.39	-	-
Wheat germ protein isolate	39.09 <sup>c</sup> ± 0.88	82.07 <sup>a</sup> ± 0.46	75.56 <sup>a</sup> ± 0.17	47.27 <sup>c</sup> ± 0.32	7.65 <sup>e</sup> ± 0.6	54.38 <sup>c</sup> ± 1.22	53.88 <sup>a</sup> ± 0.58	75.32 <sup>b</sup> ± 1.36	-	-
CON	34.18 <sup>c</sup> ± 0.02	55.04 <sup>c</sup> ± 0.44	23.1 <sup>e</sup> ± 0.39	21.02 <sup>c</sup> ± 0.09	14.62 <sup>c</sup> ± 0.08	46.93 <sup>cd</sup> ± 0.5	30.41 <sup>d</sup> ± 0.2	80.75 <sup>a</sup> ± 0.39	Lysine	51
WG-25	35.24 <sup>bc</sup> ± 0.63	68.67 <sup>c</sup> ± 1.34	42.65 <sup>d</sup> ± 0.76	33.29 <sup>c</sup> ± 0.69	19.42 <sup>c</sup> ± 0.01	47.9 <sup>bc</sup> ± 0.36	38.22 <sup>c</sup> ± 0.16	74.63 <sup>b</sup> ± 0.82	Lysine	95
WGPI-12	36.9 <sup>bc</sup> ± 0.91	72.6 <sup>b</sup> ± 1.37	46.4 <sup>c</sup> ± 0.15	40.12 <sup>c</sup> ± 0.14	9.46 <sup>d</sup> ± 0.46	42.14 <sup>c</sup> ± 2.26	46.6 <sup>b</sup> ± 0.08	73.1 <sup>b</sup> ± 0.05	-	-

Note: Data are presented as mean (n = 2) ± standard deviation, means in the same column with different letters are significantly different (Tukey test; p < 0.05).

Abbreviations: CON, control sample (100% semolina durum pasta); WG, wheat germ pasta; WGPI, wheat germ protein isolate pasta.

<sup>a</sup>World Health Organization/Food and Agriculture Organization/United Nations University (2007) Protein and Amino Acid Requirements in Human Nutrition Report of a Joint WHO/FAO/UNU Expert Consultation, WHO Technical Report Series no. 915, Geneva: WHO.

the addition of WG and WGPI significantly increased the content of components such as ash and protein. Ash content increased from 0.95% d.m. for CON to 1.86% d.m. for WG-25 and to 1.64% for WGPI-12. Protein content, on the other hand, increased from 14.88% d.m. for CON to 20.08% d.m. for WG-25 and to 22.77% d.m. for WGPI-12 which is an increase of 35% and 53%, respectively, compared to the protein content of control sample. It should be noted that each addition of WG or WGPI resulted in a statistically significant increase in protein content ( $p > .05$ ) relative to CON. In studies with wheat bran protein concentrate to spaghetti, protein content increased from 12.3% for the control sample to 23.4% with concentrate addition at 20% (Alzuwaid et al., 2021).

The fat content of the samples increased with WG addition (up to 4.80% d.m. for WG-25), and decreased with WGPI addition (up to 0.29% d.m. for WGPI-12). In the case of WG addition to food, high fat content rich in unsaturated fatty acids is one of the factors limiting shelf life due to oxidation processes occurring in fats (Boukid et al., 2018). In the case of pasta with WGPI with negligible fat content, this phenomenon can be eliminated, resulting in a more storage-stable product (Nadarajah & Mahendran, 2015).

The addition of 25% WG causes an increase in the total dietary fiber (TDF) content from 5.17% d.m. for CON sample to 7.77% d.m. (WG-25), while the addition of 12% WGPI causes a decrease of TDF to 4.57% d.m., but the change was not statistically significant ( $p > .05$ ). Pasta with WG can therefore be considered a better source of dietary fiber, statistically significant differences in the content of TDF were observed at 15% addition of wheat germ. Samples with addition 15%–25% of wheat germ can be considered as high-fiber products (minimum 6% of dietary fiber), while samples with WGPI contained dietary fiber in the range of 4.57%–5.00% d.m. The WG-25 sample contained lower amounts of carbohydrates than WGPI-12 (65.50% d.m. vs. 70.69% d.m.), which also speaks in its favor. Nevertheless, both raw materials reduced the content of this macronutrient in relation to CON. A similar trend was reported by Zarzycki et al. (2021), adding Moldavian Dragonseed residue to pasta and obtaining a decrease in the carbohydrate content of the samples.

Considering the caloric content of the pasta samples, it was 391.02 kcal 100<sup>-1</sup> g d.m. for CON and increased with the addition of WG ranging from 393.55 kcal 100<sup>-1</sup> g d.m. for WG-5 to 401.02 kcal 100<sup>-1</sup> g d.m. for WG-25. Statistically significant differences were recorded already at 5% WG addition. The increased caloricity of the samples with WG addition is mainly due to higher fat content in this raw material. With the addition of WGPI, on the other hand, the caloricity of the samples decreased

in the range of 386.59–385.98 kcal 100<sup>-1</sup> g d.m. The addition 4% WGPI caused significant differences ( $p > .05$ ) compared to CON, but increasing this addition to 8% and 12% did not cause a significant decrease compared to WGPI-4.

According to the EU definition (Regulation (EC) No 1924/2006), a high-protein product is one in which a minimum of 20% of energy comes from protein (European Parliament, Council of the European Union, 2006). The proportion of energy from protein to total energy was 15.23% for CON. A 25% addition of WG (20.03% energy from protein) was required to obtain a high-protein product, while already an 8% addition of WGPI resulted in a high-protein product with 21.24% energy from protein, so WGPI seems to be a better component to enrich the pasta in protein. Each time fortification resulted in significant differences compared to CON. Similar calculations were used by Teterycz et al. (2021) for pasta with the addition of hemp seed flour and cake. In that study, the highest % of energy from protein was 22.15% for the pasta sample enriched with 40% hemp flour.

Chemical composition per dry weight was also examined for cooked and uncooked pasta samples (Table 3). Cooked samples had statistically higher protein and TDF content compared to uncooked samples. This is largely due to the decrease in carbohydrate concentration in cooked samples mainly starch, which is the component that migrates the most into the water during cooking (Fuad & Prabhasankar, 2010). For most of the cooked samples, there were no statistical differences in ash and fat content compared to uncooked samples. Due to higher protein content per dry weight, the percentage of energy from protein for cooked samples was higher than uncooked samples, ranging from 18.91% to 22.73% for samples with WG and 19.99%–24.81% for samples with WGPI added. Similar to uncooked pasta, each time the pasta was fortified, resulted in statistically significant differences in this parameter.

### 3.4 | Amino acid composition of raw materials and pasta samples

To have a complete view of protein-enhanced products, amino acid composition analysis must be performed. A comparison to the reference protein given by FAO (2007) is commonly used to assess the biological value of protein. The content of individual amino acids per 1 g of protein was examined for the raw materials, CON sample and high-protein pasta samples (WG-25 and WGPI-12) (Table 4). Considering the amino acid content of WG and WGPI protein in relation to the pattern given by FAO,



both proteins can be considered complete in terms of amino acid composition. Analysis of the amino acid composition of WG protein showed that it is a rich source of lysine and threonine, which are the limiting amino acids in wheat endosperm protein, as shown by analysis of the amino acid composition of durum semolina. The lysine and threonine contents of semolina were 23.03 mg g<sup>-1</sup> protein and 21.17 mg g<sup>-1</sup> protein, respectively, and these values are lower than those of the reference protein. The content of the same amino acids in WG was 70.35 mg g<sup>-1</sup> and 44.97 mg g<sup>-1</sup> protein, respectively, which is significantly higher than the values reported by FAO. Even higher lysine and threonine contents were recorded in WGPI protein, 75.56 mg g<sup>-1</sup> and 47.27 mg g<sup>-1</sup> protein, respectively. Both raw materials, WG and WGPI, had high contents of alanine, glycine and valine. On the other hand, all raw materials had high amounts of aromatic amino acids (AAA, Phe + Tyr) and sulfur amino acids (SAA, Cys + Met) in their composition. Similar lysine content (66.9 mg g<sup>-1</sup> protein) was reported by Zhu et al. (2006a) in wheat germ protein. However, in our study the WGPI had a lower tryptophan content compared to the other raw materials, which may be due to the use of pH > 9.0 during isolation (Bellmaine et al., 2020). Zhu et al. (2006a) also reported a decrease in tryptophan content in protein isolate: from 11.5 mg g<sup>-1</sup> protein in wheat protein to 6.80 mg g<sup>-1</sup> protein in protein isolate.

The addition of WG and WGPI therefore significantly affected the amino acid composition of the pasta samples as expected. Sample WGPI-12 contained all the amino acids specified in the formula in adequate amounts, including lysine and threonine. For sample WG-25, lysine was still the limiting amino acid (42.65 mg g<sup>-1</sup> protein).

Thus, the addition of WGPI resulted in a high protein product with complete protein. Obtaining a complete protein according to the FAO standard was also attempted by adding pea protein isolate at 10% (Osipova et al., 2019), but threonine was found to be the limiting amino acid.

### 3.5 | Cooking quality of pasta samples

When preparing pasta with a new formulation, it is necessary to evaluate the cooking quality of the samples made. As shown in Table 5, the addition of WG and WGPI increased the cooking time of the pasta, but the change noted for pasta fortified with WG was not statistically significant ( $p > .05$ ). The increased cooking time is most likely due to the higher protein content, which competes with starch for water absorption during cooking (Savita et al., 2013). Similar results were obtained by Lambrecht et al. (2017) using wheat albumin addition to pasta. Weight increase index after cooking, on the other hand, was lower for the enriched samples, which may also be due to the increased protein content and thus reduced starch content which shows higher water absorption capacity (Sözer & Kaya, 2003). Similar results was noted by Alzuwaid et al. (2021). This tendency may be due to lower water absorption capacity (WAC) of the wheat germ protein isolate than semolina durum. According to the results presented by Alzuwaid et al. (2019) the WAC of the wheat bran protein concentrate is relatively low at 2.9 g/g. Higher WAC was noted for wheat germ (4.2 g/g) (Ling et al., 2019) and wheat starch (5–6 g/g) (Gumul, 2002). Water absorption for wheat germ is 4.2 wheat germ Cooking losses should not exceed 8% for high quality pasta. For the samples tested, these

TABLE 5 Cooking quality and firmness of pasta samples

Pasta samples	Minimal cooking time	Weight increase index	Cooking loss % d.m.	Overcooking loss % d.m.	Firmness N
	min				
CON	5.25 <sup>e</sup> ± 0.35	2.19 <sup>a</sup> ± 0.01	4.34 <sup>e</sup> ± 0.21	5.83 <sup>f</sup> ± 0.16	0.83 <sup>e</sup> ± 0.02
WG-5	5.50 <sup>f</sup> ± 0.15	1.94 <sup>d</sup> ± 0.01	4.81 <sup>de</sup> ± 0.18	6.12 <sup>f</sup> ± 0.13	1.04 <sup>f</sup> ± 0.02
WG-10	5.50 <sup>f</sup> ± 0.15	1.96 <sup>c</sup> ± 0.02	5.01 <sup>cd</sup> ± 0.17	6.41 <sup>d</sup> ± 0.08	1.27 <sup>b</sup> ± 0.02
WG-15	5.50 <sup>f</sup> ± 0.11	1.90 <sup>e</sup> ± 0.01	5.23 <sup>bcd</sup> ± 0.14	6.77 <sup>e</sup> ± 0.17	1.35 <sup>ab</sup> ± 0.08
WG-20	5.50 <sup>f</sup> ± 0.11	1.80 <sup>b</sup> ± 0.04	5.32 <sup>bc</sup> ± 0.02	7.11 <sup>b</sup> ± 0.07	1.35 <sup>ab</sup> ± 0.04
WG-25	5.50 <sup>f</sup> ± 0.11	1.79 <sup>d</sup> ± 0.02	5.67 <sup>ab</sup> ± 0.05	7.93 <sup>a</sup> ± 0.37	1.42 <sup>a</sup> ± 0.01
WGPI-4	6.00 <sup>g</sup> ± 0.25	2.16 <sup>a</sup> ± 0.01	4.03 <sup>f</sup> ± 0.12	4.46 <sup>h</sup> ± 0.30	1.00 <sup>f</sup> ± 0.02
WGPI-8	6.00 <sup>g</sup> ± 0.11	2.13 <sup>b</sup> ± 0.01	4.73 <sup>de</sup> ± 0.06	5.29 <sup>g</sup> ± 0.12	1.06 <sup>cd</sup> ± 0.02
WGPI-12	7.00 <sup>g</sup> ± 0.25	2.11 <sup>b</sup> ± 0.01	5.89 <sup>a</sup> ± 0.13	6.29 <sup>de</sup> ± 0.03	1.14 <sup>d</sup> ± 0.02

Note: Data are presented as mean (n = 4) ± standard deviation, means in the same column with different letters are significantly different (Tukey test;  $p \leq .05$ ).

losses ranged from 4.34% d.m. for CON to 5.89% d.m. for WGPI-12. The 8% losses was also not exceeded during 50% extended cooking time, that is, overcooking losses. Such low losses indicate that the germ protein does not significantly weakness the gluten matrix of the pasta. The study showed that the difference between cooking losses and overcooking losses was smaller for samples with WGPI than WG. This may be due to the lower dietary fiber content in protein isolate than in WG. This is because dietary fiber can destroy the protein matrix, making the pasta particles more susceptible to leaching during cooking (Tetrycz et al., 2021). (Table 6).

### 3.6 | Firmness of pasta samples

In the case of pasta, texture parameters, which determine consumer acceptance, are an important parameter of its quality. In this study, firmness of pasta samples was measured after cooking in minimal cooking time. Firmness increases with increasing protein content in the sample. Similar results were obtained by El-Sohaimy et al. (2020) enriching pasta with chickpea flour (CF)/or chickpea protein isolate (PI). In our study firmness for CON was 0.83 N, while for the sample with the highest WG addition, the parameter increase of up to 62%. An increase was also observed in the WGPI samples, ranging from 1.00 N for WGPI-4 to 1.14 for WGPI-12, representing an increase in the range of 20%–37%. The changes when WGPI was used were smaller even though the samples with WGPI had higher protein content. Not only protein seems to be important here but also fat content (Sobota et al., 2015). Fat interacts mainly with amylose—this improves product texture and reduces dry matter

loss during cooking. It is worth noting that comparable dry matter losses were observed for pasta enriched with 12% WGPI and as much as 25% WG.

### 3.7 | Color parameters of pasta samples

Color, as the first factor evaluated when consumers purchase pasta, should be as attractive to them as possible. During the study, the color parameters of fortified cooked and uncooked pasta were measured and compared to the control sample (Table 6). Analysis of the  $L^*$  parameter, which tells about the brightness of the color, showed that the uncooked pasta becomes increasingly darker with the addition of WG and WGPI. The  $L^*$  parameter for CON was 56.36, for the samples with WG at level 5%–10% there was no significant darkening of the pasta, while for the samples with WG addition at level 15%–25% lightness ranged from 55.05 to 51.39. The addition of WGPI, which was darker than wheat germ, resulted in greater darkening of the samples, in terms of 51.85–46.90. This may be due to the color of the raw materials themselves. Wheat germ due to its high carotenoid content is characterized by a more orange and darker color than durum semolina. In contrast, the protein isolate was characterized by a light brown color, and despite a small addition it also changed the color of pasta. The brightness of color also increased for the cooked samples. Statistically significant differences in the  $L^*$  parameter were observed with the addition of 10% WG and 4% WGPI. A similar trend was reported by Ahmed et al. (2010) in the color parameters of cookies with the addition of wheat germ isolate at 10%–30% of flour quantity.

TABLE 6 Color parameters of pasta samples

Pasta samples	Uncooked			$\Delta E$	Cooked			$\Delta E$
	$L^*$	$a^*$	$b^*$		$L^*$	$a^*$	$b^*$	
CON	56.36 <sup>ab</sup> ± 1.84	0.4 <sup>d</sup> ± 0.15	11.62 <sup>c</sup> ± 0.83	-	71.77 <sup>d</sup> ± 1.42	-2.6 <sup>f</sup> ± 0.11	6.98 <sup>g</sup> ± 1.32	-
WG-5	57.6 <sup>a</sup> ± 2.45	0.39 <sup>d</sup> ± 0.29	13.02 <sup>d</sup> ± 0.66	1.40	70.57 <sup>cd</sup> ± 1.23	-2.31 <sup>e</sup> ± 0.16	10.91 <sup>de</sup> ± 0.24	5.49
WG-10	55.88 <sup>ab</sup> ± 1.9	0.58 <sup>d</sup> ± 0.48	15.03 <sup>e</sup> ± 1.13	3.50	68.63 <sup>bc</sup> ± 1.47	-1.96 <sup>cd</sup> ± 0.16	13.16 <sup>e</sup> ± 0.79	8.26
WG-15	55.05 <sup>b</sup> ± 2.91	1.28 <sup>e</sup> ± 0.59	17.82 <sup>b</sup> ± 0.76	6.90	67.45 <sup>cd</sup> ± 2.98	-1.96 <sup>cd</sup> ± 0.4	14.42 <sup>b</sup> ± 0.6	9.89
WG-20	51.8 <sup>c</sup> ± 1.72	1.66 <sup>b</sup> ± 0.3	17.91 <sup>b</sup> ± 0.86	7.85	66.84 <sup>cd</sup> ± 2.38	-0.97 <sup>b</sup> ± 0.36	15.21 <sup>a</sup> ± 0.39	10.98
WG-25	51.39 <sup>c</sup> ± 1.51	2.32 <sup>a</sup> ± 0.37	20.12 <sup>a</sup> ± 1.41	10.13	65.98 <sup>d</sup> ± 3.3	-0.61 <sup>a</sup> ± 0.44	15.41 <sup>a</sup> ± 0.83	11.75
WGPI-4	51.85 <sup>c</sup> ± 1.38	1.43 <sup>bc</sup> ± 0.09	12.49 <sup>de</sup> ± 1.12	4.62	67.47 <sup>bc</sup> ± 1.54	-2.18 <sup>de</sup> ± 0.19	10.12 <sup>f</sup> ± 0.71	6.73
WGPI-8	51.05 <sup>c</sup> ± 0.84	1.53 <sup>bc</sup> ± 0.29	13.08 <sup>d</sup> ± 1.08	5.87	65.5 <sup>d</sup> ± 1.95	-1.97 <sup>cd</sup> ± 0.23	10.24 <sup>ef</sup> ± 0.45	8.39
WGPI-12	46.9 <sup>d</sup> ± 2.14	2.62 <sup>a</sup> ± 0.39	14.74 <sup>c</sup> ± 1.28	10.65	63.23 <sup>e</sup> ± 1.84	-1.7 <sup>c</sup> ± 0.16	11.26 <sup>d</sup> ± 0.52	10.36

Note: Data are presented as mean ( $n = 15$ ) ± standard deviation, means in the same column with different letters are significantly different (Tukey test;  $p < .05$ ). Abbreviations: CON, control sample (100% semolina durum pasta); WG, wheat germ pasta; WGPI, wheat germ protein isolate pasta.

The parameter  $a^*$ , responsible for color ranging from green to red, for raw pasta increased from 0.4 for CON to 2.32 for WG-25 and up to 2.62 for WGPI-12. A significant increase was observed at the level of WG 15% and WGPI 4% addition. An increase ( $p > .05$ ) was also observed for the  $b^*$  parameter responsible for color ranging from blue to yellow. An increase in both these parameters resulted in more orange color of the samples. Parameters  $a^*$  and  $b^*$  also increased for cooked fortified samples, but in the case of parameter  $a^*$  it took negative values, ranging from  $-2.60$  for CON to  $-0.61$  for WG-25 and up to  $-1.70$  for WGPI-12. In Zarzycki's study with the addition of Moldavian Dragonseed residue (2021), parameter  $a^*$  was also higher for fortified samples.

One of the parameters for pasta color evaluation is the difference  $L^* a^* b^*$  ( $\Delta E$ ).  $\Delta E$  is an evenly weighted combination of coordinate differences ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ). This parameter increased with the addition of WG and WGPI. The overall difference between the color of fortified samples and that of the control sample ( $\Delta E$ ) can be considered at least noticeable ( $>3.0$ ) for most uncooked samples except WG-5. For cooked samples except WG-5, the difference can be considered large ( $>5.0$ ). For dry pasta, the highest  $\Delta E$  was recorded for sample WGPI-12 (10.65) and for cooked pasta for sample WG-25 (11.75). Larger color differences from CON were noted for cooked samples than uncooked samples.

#### 4 | CONCLUSION

The study has shown that both WG and the WGPI are good sources of protein and essential amino acids; thus, they are good raw materials for fortification of products with incomplete protein, such as durum wheat pasta. Pasta supplemented with wheat germ protein isolate (12%) has complete protein, while lysine is still the limited amino acid in pasta enriched with 25% of wheat germ. However, pasta with the addition of a lower dose of WGPI can have higher protein content and contains less oxidation-susceptible fat, which helps to preserve the pasta for a longer time. The inclusion of WGPI changes the color of the product towards darker but more yellow. Pasta fortified with 12% of WGPI can be defined as a high-protein product in accordance with the EU law and has an amino acid composition consistent with the FAO pattern. No balanced amino acid composition can be achieved upon the addition of wheat germ. Additionally, the higher fat content in WG can reduce the pasta shelf life. In turn, the WG addition has a positive effect on the firmness and dry matter loss of pasta. The results of our research are useful for food technology due to their applicability in industry. The use of wheat milling by-products will help improve the amino acid composition of

wheat protein, which is important not only for the production of pasta but also for other cereal products.

#### ACKNOWLEDGMENT

This study did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

#### ORCID

Dorota Teterycz  <http://orcid.org/0000-0002-8714-9814>

Aldona Sobota  <http://orcid.org/0000-0001-6526-6764>

#### REFERENCES

- AACC. (2000). American Association of Cereal Chemistry Approved Methods (10th ed.). Accessed July 29, 2021. <http://methods.aaccnet.org/loc.aspx>
- Ahmed, F. L., Rezaq, A. A., & Attia, A. R. M. (2010). Additional effect of defatted wheat germ protein isolate on nutritional value and functional properties of yogurts and biscuits. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 4(8), 3139–3147.
- Alzuwaid, N., Fleming, D., Fellows, C. M., & Sissons, M. (2021). Fortification of durum wheat spaghetti and common wheat bread with wheat bran protein concentrate—impacts on nutrition and technological properties. *Food Chemistry*, 334, 127497.
- Alzuwaid, N., Sissons, M., Laddomada, B., & Fellows, M. (2019). Nutritional and functional properties of durum wheat bran protein concentrate. *Cereal Chemistry*, 97, 304–315.
- AOAC. (2021). Association of Official Analytical Chemists International. Official Methods (20th ed.). Accessed 29 July, 2019 <https://www.aoac.org/official-methods-of-analysis-21st-edition-2019/>
- Bellmaine, S., Schnellbaecher, A., & Zimmer, A. (2020). Reactivity and degradation products of tryptophan in solution and proteins. *Free Radical Biology and Medicine*, 160, 696–718. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2020.09.002>
- Boukid, F., Folloni, S., Ranieri, R., & Vitadini, E. (2018). A compendium of wheat germ: Separation, stabilization and food applications. *Trends in Food Science & Technology*, 78, 120–133. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.06.001>
- Caire-Juvera, G., Vázquez-Ortiz, F. A., & Grijalva-Haro, M. I. (2013). Amino acid composition, score and in vitro protein digestibility of foods commonly consumed in northwest Mexico. *Nutrición hospitalaria*, 28(2), 365–371. <https://doi.org/10.3305/nh.2013.28.2.6219>
- El-Sohaimy, S. A., Brennan, M., Darwish, M. G. A., & Brennan, C. (2020). Physicochemical, texture and sensorial evaluation of pasta enriched with chickpea flour and protein isolate. *Annals of Agricultural Sciences*, 65(1), 28–34. <https://doi.org/10.1016/j.aas.2020.05.005>
- European Parliament, Council of the European Union. (2006). Regulation (EC) No 1924/2006 of the European Parliament and of the Council of 20 December 2006 on nutrition and health claims made on foods. *Official Journal of the European Union*.
- Fan, L., Yang, M., Ma, S., & Huang, J. (2022). Isolation, purification, and characterization of the globulin from wheat germ. *International Journal of Food Science and Technology*, 57, 1708–1717.
- Food and Agriculture Organization/World Health Organization/United Nations University (2007). *Protein and Amino Acid Requirements*

- in Human Nutrition Report of a Joint WHO/FAO/UNU Expert Consultation. (WHO Technical Report, Series no. 935). WHO.
- Fuad, T., & Prabhaskar, P. (2010). Role of ingredients in pasta product quality: A review on recent developments. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 50(8), 787–798.
- Gardner, C. D., Hartle, J. C., Garrett, R. D., Offringa, L. C., & Wasserman, A. S. (2019). Maximizing the intersection of human health and the health of the environment with regard to the amount and type of protein produced and consumed in the United States. *Nutrition Reviews*, 77(4), 197–215. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuy073>
- Gopalakrishnan, J., Menon, R., Padmaja, G., Sajeev, M. S., & Moorthy, S. N. (2011). Nutritional and functional characteristics of protein-fortified pasta from sweet potato. *Food and Nutrition Sciences*, 02, 944–955.
- Gumul, D. (2002). Characteristics of swelling and gelatinization of starch from immature cereals. *Food Science Technology Quality*, 32(3), 88–100.
- Hettiarachchy, N. S., Griffin, V. K., & Gnanasambandan, R. (1996). Preparation and functional properties of a protein isolate from defatted wheat germ. *Cereal Chemistry*, 73(3), 364–367.
- Jha, P. K., Kudachikar, V. B., & Kumar, S. (2013). Lipase inactivation in wheat germ by gamma irradiation. *Radiation Physics and Chemistry*, 86, 136–139.
- Lambrecht, M. A., Rombouts, I., Nivelle, M. A., & Delcour, J. A. (2017). The role of wheat and egg constituents in the formation of a covalent and non-covalent protein network in fresh and cooked egg noodles. *Journal of Food Science*, 82(1), 24–35.
- Liao, M., Damayanti, W., Zhao, Y., Xu, X., Zheng, Y., Wu, J., & Jiao, S. (2020). Hot air-assisted radio frequency stabilizing treatment effects on physicochemical properties, enzyme activities and nutritional quality of wheat germ. *Food and Bioprocess Technology*, 13, 901–910.
- Ling, B., Ouyang, S., & Wang, S. (2019). Radio-frequency treatment for stabilization of wheat germ: Storage stability and physicochemical properties. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 52, 158–165.
- Majzoobi, M., Ghiasi, F., Ekanandari, M. H., & Farahnaky, A. (2022). Roasted wheat germ: A natural plant product in development of nutritious milk pudding: physicochemical and nutritional properties. *Foods*, 11(12), 1815. <https://doi.org/10.3390/foods11121815>
- Marti, A., Torri, L., Casiraghi, M. C., Franzetti, L., Limbo, S., Morandini, F., & Pagani, M. A. (2014). Wheat germ stabilization by heat-treatment or sourdough fermentation: Effects on dough rheology and bread properties. *LWT-Food Science and Technology*, 59(2), 1100–1106.
- Marzocchi, S., Caboni, F. M., Miani, G. M., & Pasini, F. (2022). Wheat germ and lipid oxidation. *Foods*, 11(7), 1032. <https://doi.org/10.3390/foods11071032>
- Nadarajah, S., & Mabendran, T. (2015). Influence of storage conditions on the quality characteristics of wheat-defatted coconut flour biscuits packed in metalized polypropylene. *International Journal of Engineering Research and Technology*, 4(7), 948–951.
- Osipova, G., Koryachkina, S., Koryachkin, V., Seregina, T., & Zhugina, A. (2019). Effects of protein-containing additives on pasta quality and biological value. *Foods and Raw Materials*, 7(1), 60–66. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2019-1-60-66>
- Perri, G., Miani, M. G., Amendolagine, G., Pontonio, E., & Rizzello, C. G. (2022). Defatted durum wheat germ to produce type-II and III sourdoughs: Characterization and use as bread ingredient. *LWT - Food Science and Technology*, 163, 113566. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113566>
- Pinarlı, I., İbanoglu, Ş., & Öner, M. D. (2004). Effect of storage on the selected properties of macaroni enriched with wheat germ. *Journal of Food Engineering*, 64(2), 249–256.
- Savita, S., Arshwinder, K., Gurkirat, K., & Vikas, N. (2013). Influence of different protein sources on cooking and sensory quality of pasta. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 3(2), 1757–1763.
- Sissons, M. (2022). Development of novel pasta products with evidence based impacts on health—a review. *Foods*, 11(1), 123. <https://doi.org/10.3390/foods11010123>
- Sobota, A., Rzedzicki, Z., Zarzycki, P., Wirkijowska, A., & Sykut-Domańska, E. (2015). Zmiany zawartości tłuszczu wolnego w czasie procesu produkcji makaronu jajecznego. *Zywność Nauka Technologia Jakość*, 5(102), 152–164. <https://doi.org/10.15193/zntj/2015/102/079>
- Sözer, N., & Kaya, A. (2003). Changes in cooking and textural properties of spaghetti cooked with different levels of salt in the cooking water. *Journal of Texture Studies*, 34(4), 381–390.
- Tarzi, B. G., Shakeri, V., & Ghavami, M. (2012). Quality evaluation of pasta enriched with heated and unheated wheat germ during storage. *Advances in Environmental Biology*, 6(5), 1700–1707.
- Teterycz, D., Sobota, A., Kozłowiec, K., & Zarzycki, P. (2019). Substitution of semolina durum with common wheat flour in egg and eggless pasta. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 18(4), 439–451.
- Teterycz, D., Sobota, A., Przygodzka, D., & Lysakowska, P. (2021). Hemp seed (*Cannabis sativa* L.) enriched pasta: Physicochemical properties and quality evaluation. *PLoS One*, 16(3), e0248790.
- Wang, J., Brennan, M. A., Serventi, L., & Brennan, C. S. (2022). Impact of functional vegetable ingredients on the technical and nutritional quality of pasta. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(22), 6069–6080. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1895712>
- Zarzycki, P., Teterycz, D., Wirkijowska, A., Kozłowiec, K., & Stasiak, D. M. (2021). Use of moldavian dragonhead seeds residue for pasta production. *LWT-Food Science and Technology*, 143, 111099.
- Zhu, K. X., Zhou, H. M., & Qian, H. F. (2006a). Comparative study of chemical composition and physicochemical properties of defatted wheat germ flour and its protein isolate. *Journal of Food Biochemistry*, 30(3), 329–341.
- Zhu, K. X., Zhou, H. M., & Qian, H. F. (2006b). Proteins extracted from defatted wheat germ: nutritional and structural properties. *Cereal Chemistry*, 83(1), 69–75.

**How to cite this article:** Teterycz, D., Sobota, A., & Starek, A. (2023). Possibility of using wheat germ and wheat germ protein isolate for high-protein pasta production. *Cereal Chemistry*, 100, 299–309. <https://doi.org/10.1002/cche.10602>

Article

# Use of High-Protein and High-Dietary-Fibre Vegetable Processing Waste from Bell Pepper and Tomato for Pasta Fortification

Dorota Teterycz  and Aldona Sobota \* 

Department of Plant Food Technology and Gastronomy, Division of Engineering and Cereals Technology, University of Life Sciences in Lublin, Skromna 8, 20-704 Lublin, Poland; dorota.teterycz@up.lublin.pl

\* Correspondence: aldona.sobota@up.lublin.pl

**Abstract:** There is worldwide wastage of 1.3 billion tons of food annually. It is recommended that food waste should be reduced at every phase of production. By-products from food processing have high nutritional value so their use in new products is advisable. The aim of the study was to enrich the nutritional value of pasta using waste from the food industry. By-products from tomato processing (tomato waste—TW) and pepper (defatted pepper seeds—DPS, pepper placenta—PP) were used at a level of 10–30% to produce pasta. The farinographic characteristics, chemical composition, cooking quality, and colour of the pasta were studied. The results show a significant ( $p < 0.05$ ), up to 27% increase in the protein content of the TW30 samples, compared with the control (16.16% d.m. vs. 20.61% d.m.). The TDF content increased over five times in DPS30 and TW30 (27.99% d.m. and 25.44% d.m.). The amino acid composition of the pasta improved with the fortification but failed to achieve complete protein by FAO. The DPS30, PP20, PP30 and all TW samples can be considered high-protein products according to the EU definition (a minimum of 20% energy from protein). Vegetable waste can be a valuable additive for the improvement of the nutritional value of food.

**Keywords:** durum wheat pasta; by-products; zero-waste; plant protein sources; pepper seeds; pepper placenta; tomato waste; amino acids composition



**Citation:** Teterycz, D.; Sobota, A. Use of High-Protein and High-Dietary-Fibre Vegetable Processing Waste from Bell Pepper and Tomato for Pasta Fortification. *Foods* **2023**, *12*, 2567. <https://doi.org/10.3390/foods12132567>

Academic Editor: Mike Sissons

Received: 29 May 2023

Revised: 28 June 2023

Accepted: 29 June 2023

Published: 30 June 2023



**Copyright:** © 2023 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

In recent years, the world has been grappling with the growing problem of food waste. Currently, there is worldwide wastage of 1.3 billion tons of food annually, one third of which may be edible. Of this amount, 88 million tons are wasted in the European Union. Most waste is produced by consumers (53%) and producers (19%). Food waste is discussed not only as a phenomenal aspect but also as in terms of its economic, social and energy aspects and has an impact on environmental issues [1,2]. At each stage of the food chain, there is a responsibility for food waste; hence, it is necessary to take actions to reduce these losses. An answer to the problem of food waste is the recently growing zero waste trend. Zero waste can be described as a “set of principles that concentrates on the prevention of waste, which inspires to redesign the life cycle of resources so that all products are reused” [3]. This trend influences all areas of human life, including food production and household management. During the process of vegetable production and consumption, tons of by-products are generated each year, and their storage causes environmental pollution, which can be attributed to their organic composition and moisture content [4]. Waste and by-products from vegetable processing are a large potential source of food proteins that can be used in the design of new food products and in the production of animal feed. The main property of proteins intended for use in food products should be their digestibility, together with the fact that their post-digestion products (peptides) have potential bioactive functions [5].

Everyday food products are increasingly being enriched with high-protein waste products from the plant food industry. One of these products is pasta, due to the ease

of its enrichment and its increasing consumption. Pasta protein is an incomplete protein; hence, supplementation of pasta with proteins from other plant sources can improve its nutritional value. The literature provides information on the enrichment of pasta with such waste products as chia seed pomace [6], peanut and carrot waste [7], grape and olive pomace [8], wheat bran and kernel [9,10], hemp seed cake [11], dragonhead seed residue [12], coconut residue [13], and wheat germ [14]. In all of the above-mentioned studies, the addition of by-products or waste from the food industry has resulted in an increase in the protein content in the finished product, demonstrating their high nutritional potential. At the same time, new plant-based additives for pasta and other foods that have not yet been tested are continuously being sought. One of these additives is processing waste from tomato (*Solanum lycopersicum*) and annual pepper (*Capsicum annuum*). Waste from these vegetables accounts for about 40% of their total weight [15,16]. As reported by Nour et al. [17] and Del Valle et al. [18] dried tomato waste (seeds and skin) contains 17–23% protein, while the protein content in the placenta and seeds of peppers is 28.38% and 28.31% d.m., respectively [19]. In addition, all three of these raw materials are good sources of dietary fibre. However, there is currently no information on their use in pasta production. In view of their nutritional value and the increasing of consumption of pasta, their addition in this product appears to be justified.

Given the above, the aim of the study was to determine the possibility of adding tomato and pepper processing waste (tomato waste, pepper placenta, defatted pepper seeds) to durum wheat pasta and to evaluate the physicochemical properties of the resulting products. The research hypothesis is to improve the nutritional value of pasta with the addition of waste from the vegetable industry.

## 2. Materials and Methods

### 2.1. Raw Materials

The following raw materials were used in the study: durum semolina (Julia Malom, Kunszallas, Hungary); by-products from red bell pepper processing, including pepper placenta (PP) and defatted seeds (DPS); and by-products from tomato processing, including tomato waste (TW) (containing seeds and skin) (Krokus, Pajaków, Poland). The vegetable wastes were dried for 17 h in an EAC 30-Lab pasta dryer (ItalPast, Fidenza, Italy) using a low temperature profile (30–40 °C) and 72–25% relative humidity of drying air. The pepper seeds were defatted by single extraction with hexane. The by-products were then ground in a laboratory mill (Grindomix GM 200, Retsch, Germany) and stored in plastic bags at a temperature of approximately –18 °C.

### 2.2. Farinograph Characteristics of Mixtures

The mixing properties of semolina with vegetable raw materials at different levels were evaluated by standard Farinograph test, using a Farinograph-E (model 8110142, Brabender, Duisburg, Germany) according to the AACC method [20]. The development time, water absorption, dough stability, degree of dough softening (after 12 min), and Farinograph quality number were analysed.

### 2.3. Fractional Composition of Raw Materials

Determination of the particle size of the semolina durum and vegetable raw materials involved estimating the degree of fragmentation through sieve analysis. To achieve this, a 100 g sample underwent sieving for a duration of 10 min. A sieve shaker (ZBPP, Bydgoszcz, Poland) was employed, utilizing sieves with sizes of 400, 315, 250, 160, 125, and 80 µm. The equivalent diameter was subsequently determined.

### 2.4. Preparation of Pasta Samples

Pasta samples were produced in laboratory conditions on a semi-technical scale using a MAC-30S-Lab extruder (ItalPast, Fidenza, Italy). The level of vegetable waste addition was determined in preliminary studies. In this study, each vegetable raw material was

used at the level of 10%, 20%, and 30%. Water was added in a sufficient amount to obtain a mixture with moisture content of 32%. The mixtures were premixed for 15 min. The dough was then extruded under vacuum. The temperature of the extruder barrel did not exceed 28 °C. A Teflon die was used to produce the tagliatelle pasta. In the next step, the pasta was dried for 7 h in an EAC 20-Lab pasta dryer (ItalPast, Fidenza, Italy) at 35–55 °C and 85–55% relative humidity. The samples were then stored at −18 °C. The experiment model and production parameters, such as pressure and extruder capacity, are given in Table 1.

**Table 1.** Model of experiment and pasta processing parameters.

Samples	Pasta Formula				Production Parameters	
	Semolina	Defatted Pepper Seeds	Pepper Placenta	Tomato Waste	Pressure	Extruder Capacity
					[MPa]	[kg/h]
CON	100				12.95 <sup>a</sup> ± 0.71	31.06 <sup>a</sup> ± 0.07
DPS 10	90	10			12.85 <sup>ab</sup> ± 2.12	30.78 <sup>a</sup> ± 0.08
DPS 20	80	20			12.35 <sup>b</sup> ± 0.71	30.30 <sup>ab</sup> ± 0.08
DPS 30	70	30			12.45 <sup>bc</sup> ± 0.71	30.16 <sup>abc</sup> ± 0.20
PP 10	90		10		12.75 <sup>abc</sup> ± 0.71	29.94 <sup>abc</sup> ± 0.39
PP 20	80		20		12.45 <sup>bc</sup> ± 0.71	29.01 <sup>bc</sup> ± 0.92
PP 30	70		30		12.25 <sup>d</sup> ± 0.71	28.93 <sup>bc</sup> ± 0.16
TW 10	90			10	12.95 <sup>a</sup> ± 0.71	30.77 <sup>a</sup> ± 0.27
TW 20	80			20	12.75 <sup>abc</sup> ± 0.71	29.76 <sup>abc</sup> ± 0.51
TW 30	70			30	12.55 <sup>bcd</sup> ± 0.71	28.56 <sup>b</sup> ± 0.51

CON—control sample (100% semolina durum pasta), DPS—defatted pepper seeds pasta; PP—pepper placenta pasta; TW—tomato waste pasta. Means (n = 3) with different letters (a–d) in the same column are significantly different (Tukey test;  $p \leq 0.05$ ).

### 2.5. Chemical Composition of Raw Materials and Pasta Samples

The chemical analyses of the raw materials and of the samples of both raw and cooked pasta were performed to determine the following components: protein, fat, dietary fibre, ash, digestible carbohydrates (by difference), moisture, and essential and nonessential amino acids. The enzymatic method, as described by AACC (2000) and AOAC International (2016), was utilized to assay the dietary fibre content. This method enables the determination of the insoluble dietary fibre fraction (IDF), the soluble dietary fibre fraction (SDF), and the total dietary fibre (TDF). The analyses were conducted using enzyme sets and procedures provided by Megazyme, located in Bray, Ireland. The calculation of the total dietary fibre (TDF) involved summing the IDF and SDF fractions. The moisture content was determined using the dryer-weighing method (AACC 44-15A), and the ash content was determined using the AACC 08-01 method. The protein content was determined using a Kjeltac TM8400 instrument (Foss, Copenhagen, Denmark), with a nitrogen-to-protein conversion ratio of 5.70. The total fat content was determined through acid hydrolysis using the continuous extraction method with a SoxtecTM8000 instrument (Foss, Copenhagen, Denmark) and hexane as the solvent. The amino acids containing sulphur were subjected to separate hydrolysis using 6 M HCl. Prior to hydrolysis, oxidation was carried out using a mixture of formic acid and hydrogen peroxide in a volumetric ratio of 9:1. This oxidation process lasted for 20 h at a temperature of  $4 \pm 1$  °C. The determination of amino acids was performed using an AAA 400 amino acid analyser manufactured by INGOS, located in the Czech Republic. Ion exchange chromatography was employed, followed by post-column ninhydrin-based detection using sodium citrate buffer. The ninhydrin derivatives of amino acids were detected at a wavelength of 570 nm for primary amino acids and at 440 nm for secondary amino acids. The digestible carbohydrate content was calculated by subtracting the combined mass of protein, fat, TDF, and ash from 100 in 100 g of dry weight of pasta or raw material. The energy values for the pasta samples were calculated using the modified

Atwater coefficient (4 kcal for protein, 4 kcal for carbohydrates, 9 kcal for fat, and 2 kcal for TDF). Determinations of the chemical compositions of the raw materials and the pasta were performed in triplicate.

The chromium content was analysed on an inductively coupled plasma excitation mass spectrometer (ICP Mass Spectrometer MS-820, Varian Inc., Palo Alto, CA, USA). Calcium, magnesium, potassium, and sodium contents were determined using a spectrophotometer (FAAS, Solaar939, Unicam, Cambridge, UK) while zinc content was determined using an ET-AAS spectrophotometer (VARIAN AA 280 FS, Varian Inc., Palo Alto, CA, USA). The phosphorus content was determined with the spectrophotometric method using a Shimadzu UV-1800 spectrophotometer.

#### 2.6. Cooking Quality of Pasta Samples

The cooking quality parameters, i.e., the minimum cooking time, weight increase index, and cooking losses, were determined according to [21].

#### 2.7. Color Parameters of Pasta Samples

The parameters of the dried pasta samples were determined with the reflectance method based on the Commission Internationale de l'Éclairage L\*a\*b\* colour system, using a spherical spectrophotometer (Chroma Meter CR-5; Konica Minolta, Sakai, Osaka, Japan). The evaluation was made using a standard light source (D65) and a standard colorimetric observer with a field of view of 10°. An 8 mm diameter aperture was used for the measurement. Colour coordinates (L\*, a\*, b\*) were determined according to the CIE system. The spectrophotometer was calibrated using white and black standard plates.

#### 2.8. Statistical Analysis

Mean values and standard deviations were calculated. The results were statistically analysed ( $p < 0.05$ ) using one-way analysis of variance with replication (ANOVA, STATISTICA 13, Statsoft).

### 3. Results and Discussion

#### 3.1. Physicochemical Properties of Raw Materials

The chemical analysis of the raw materials (Table 2) was performed to determine the content of moisture, ash, protein, fat, carbohydrates (by difference) and soluble (SDF) and insoluble (IDF) dietary fibre. The protein content in the pepper placenta and defatted pepper seeds was 30.77% d.m. and 26.07% d.m., respectively. Adeyeye [19] has reported the protein content of 28.39% d.m. in pepper placenta and 28.31% in non-defatted seeds. All the raw materials analysed in this study are good sources of dietary fibre. The pepper placenta contained almost two-fold lower levels of fibre than defatted pepper seeds and tomato waste but contained almost the same amount of TDF as SDF, making it a very good raw material for soluble fibre enrichment, which is often deficient in the human diet. The fat content was determined to be 3.15% d.m. in the pepper placenta and 10.40% in the defatted pepper seeds. Before defatting, the seeds contained 26.01% d.m. of fat (data not provided), which is similar to the results reported by Cvetković et al. [22]. The tomato waste contained 24.56% d.m. of protein, 11.73% d.m. of fat, and 3.76% d.m. of ash.

The ash content was 0.87% d.m. in the semolina and significantly higher in the other raw materials, i.e., 3.49% d.m. in DPS and 13.29% d.m. in PP. In the study conducted by [19] the content of this ingredient in non-defatted pepper seeds and placenta was 4.14% d.m. and 9.66% d.m., respectively. The content of all the minerals determined in the present study was higher in the vegetable raw materials than in the semolina (Tables 2 and 3). Studies have shown that PP is a good source of K (36.43 mg g<sup>-1</sup>) (Table 3), which has positive effects on the human cardiovascular system [23]. In turn, pepper seeds are low in sodium and rich in zinc, which is beneficial to the nervous system, immune system, and skin, but its deficiency is increasingly being observed in society [24]. The analysed pepper seeds also had higher Cr content (6.35 mg g<sup>-1</sup>) than the other raw materials. The vegetable



raw materials studied were also found to be a better source of Ca than the semolina. The Ca content of tomato waste was 1.3 mg g<sup>-1</sup>, which is in line with the results reported by Nour et al. [17].

**Table 2.** Chemical properties of raw materials.

Raw Materials	Moisture	Ash	Protein	Fat	Carbohydrates *	TDF	IDF	SDF
	%				% d.m.			
Semolina durum	8.45 <sup>b</sup> ± 0.28	0.87 <sup>d</sup> ± 0.07	16.19 <sup>d</sup> ± 0.08	1.24 <sup>d</sup> ± 0.01	75.85 <sup>a</sup> ± 0.07	4.74 <sup>c</sup> ± 0.11	3.51 <sup>d</sup> ± 0.11	1.27 <sup>d</sup> ± 0.05
Defatted pepper seeds	5.96 <sup>c</sup> ± 0.01	3.49 <sup>c</sup> ± 0.04	26.07 <sup>b</sup> ± 0.06	10.40 <sup>b</sup> ± 0.21	2.32 <sup>c</sup> ± 0.08	60.89 <sup>a</sup> ± 0.13	53.71 <sup>a</sup> ± 0.12	7.19 <sup>c</sup> ± 0.25
Pepper placenta	11.84 <sup>a</sup> ± 0.38	13.29 <sup>a</sup> ± 0.13	30.77 <sup>a</sup> ± 0.01	3.15 <sup>c</sup> ± 0.04	19.28 <sup>b</sup> ± 0.39	33.49 <sup>b</sup> ± 0.55	16.86 <sup>c</sup> ± 1.56	16.63 <sup>a</sup> ± 1.01
Tomato waste	6.41 <sup>c</sup> ± 0.08	3.76 <sup>b</sup> ± 0.01	24.56 <sup>c</sup> ± 0.02	11.75 <sup>a</sup> ± 0.04	3.11 <sup>c</sup> ± 0.32	60.92 <sup>a</sup> ± 0.37	49.72 <sup>b</sup> ± 0.36	11.20 <sup>b</sup> ± 0.01

\* carbohydrate content calculated by difference. IDF—insoluble dietary fibre. SDF—soluble dietary fibre. TDF—total dietary fibre. Means (n = 3) with different letters in the same column are significantly different (Tukey test; p ≤ 0.05).

**Table 3.** Mineral composition of raw materials and selected dried pasta samples.

Samples	P	Ca	Mg	K	Cr	Na	Zn
	mg/g	mg/g	mg/g	mg/g	µg/g	µg/g	µg/g
<b>Raw materials</b>							
Semolina durum	2.20 <sup>d</sup> ± 0.02	0.19 <sup>d</sup> ± 0.03	0.59 <sup>d</sup> ± 0.08	2.33 <sup>d</sup> ± 0.04	0.44 <sup>d</sup> ± 0.05	nd	11.41 <sup>d</sup> ± 0.16
Defatted pepper seeds	7.07 <sup>a</sup> ± 0.02	0.86 <sup>c</sup> ± 0.08	2.79 <sup>a</sup> ± 0.04	7.35 <sup>c</sup> ± 0.06	6.35 <sup>a</sup> ± 0.04	23.5 <sup>b</sup> ± 0.01	39.99 <sup>a</sup> ± 0.11
Pepper placenta	3.58 <sup>c</sup> ± 0.05	1.02 <sup>b</sup> ± 0.07	1.19 <sup>c</sup> ± 0.04	36.43 <sup>a</sup> ± 0.11	1.46 <sup>c</sup> ± 0.06	115.00 <sup>a</sup> ± 4.24	23.56 <sup>c</sup> ± 0.08
Tomato waste	5.14 <sup>b</sup> ± 0.03	1.39 <sup>a</sup> ± 0.05	2.27 <sup>b</sup> ± 0.02	10.69 <sup>b</sup> ± 0.08	3.06 <sup>b</sup> ± 0.08	113.00 <sup>a</sup> ± 2.83	25.66 <sup>b</sup> ± 0.08
<b>Pasta samples</b>							
CON	2.23 <sup>d</sup> ± 0.02	0.23 <sup>d</sup> ± 0.02	0.59 <sup>d</sup> ± 0.04	2.31 <sup>d</sup> ± 0.01	0.45 <sup>d</sup> ± 0.09	nd	11.38 <sup>d</sup> ± 0.05
DPS 30	3.76 <sup>a</sup> ± 0.04	0.35 <sup>c</sup> ± 0.08	1.22 <sup>a</sup> ± 0.03	3.87 <sup>a</sup> ± 0.06	1.93 <sup>a</sup> ± 0.04	8.50 <sup>c</sup> ± 0.05	20.80 <sup>a</sup> ± 0.04
PP 30	2.65 <sup>c</sup> ± 0.06	0.47 <sup>b</sup> ± 0.06	0.72 <sup>c</sup> ± 0.07	11.49 <sup>a</sup> ± 0.10	0.91 <sup>c</sup> ± 0.02	41.00 <sup>a</sup> ± 0.28	17.31 <sup>b</sup> ± 0.07
TW 30	3.10 <sup>b</sup> ± 0.02	0.53 <sup>a</sup> ± 0.09	1.04 <sup>b</sup> ± 0.04	4.89 <sup>b</sup> ± 0.10	1.34 <sup>b</sup> ± 0.04	31.70 <sup>b</sup> ± 0.28	16.88 <sup>c</sup> ± 0.06

CON—control sample (100% semolina durum pasta); DPS—defatted pepper seed pasta; PP—pepper placenta pasta; TW—tomato waste pasta; nd—not detected. Data are presented as mean (n = 3) ± standard deviation, means in the same column (raw material or sample) with different letters are significantly different (Tukey test; p ≤ 0.05).

The sieve analysis of the utilized raw materials is presented in Table 4. In the case of semolina, the dominant fractions were 315–400 µm and 160–250 µm (with an equivalent diameter of 264.38 µm). The highest proportion of the largest fraction (>400 µm) was found in defatted pepper seeds (61.91%). Tomato waste also exhibited a higher particle size distribution, with 48.47% of the fraction falling within the 315–400 µm range. On the other hand, pepper placenta contained a higher proportion, with fractions of 160–250 µm and 125–160 µm, indicating a finer particle size compared with semolina.

**3.2. Farinograph Parameters**

Determination of the farinographic characteristics of flour can help to design a new product recipe. Its results make it easier to manage the parameters of the production process and provide an answer to the question of the impact of a specific additive on the water absorption of flour and consistency of the dough. Table 5 gives the basic farinographic characteristics of semolina and semolina mixtures with the vegetable components. The development time of CON was 5.15 min but increased significantly in samples enriched with PP and TW, which is probably related to the high fibre content in the mixtures. This

indicates that a longer dough mixing time should be used in the case of enrichment with these raw materials. Fortification of the semolina caused an increase in water absorption. The highest values were exhibited by the TW-fortified samples. The level of water absorption in CON was 54.1%, a result similar to that reported by Welc-Stanowska et al. [25]. Water absorption also depends on the fibre content in the mixture. The addition of fibre contributes to a greater ability of the mixture to absorb water by hindering water absorption by starch.

**Table 4.** Fractional composition of raw materials.

Raw Materials	Fractions (µm)							Equivalent Diameter (µm)
	>400	315–400	250–315	160–250	125–160	80–125	<80	
Semolina durum	9.17 <sup>b</sup> ± 0.15	27.38 <sup>b</sup> ± 0.36	21.83 <sup>a</sup> ± 0.26	22.52 <sup>d</sup> ± 0.23	6.36 <sup>b</sup> ± 0.24	11.48 <sup>c</sup> ± 0.04	0.51 <sup>c</sup> ± 0.04	264.38 <sup>c</sup> ± 1.06
Defatted pepper seeds	61.91 <sup>a</sup> ± 0.44	10.75 <sup>c</sup> ± 0.17	5.49 <sup>c</sup> ± 0.08	17.84 <sup>a</sup> ± 0.39	0.30 <sup>d</sup> ± 0.09	1.97 <sup>c</sup> ± 0.09	1.06 <sup>c</sup> ± 0.09	341.28 <sup>a</sup> ± 0.64
Pepper placenta	1.55 <sup>d</sup> ± 0.15	8.41 <sup>d</sup> ± 0.41	14.86 <sup>b</sup> ± 0.52	28.27 <sup>b</sup> ± 1.02	23.35 <sup>a</sup> ± 0.23	20.5 <sup>b</sup> ± 0.21	1.75 <sup>b</sup> ± 0.23	191.73 <sup>d</sup> ± 0.74
Tomato waste	3.86 <sup>c</sup> ± 0.24	48.47 <sup>a</sup> ± 0.26	5.96 <sup>c</sup> ± 0.10	37.79 <sup>a</sup> ± 0.61	2.29 <sup>c</sup> ± 0.39	1.12 <sup>a</sup> ± 0.15	3.05 <sup>a</sup> ± 0.15	287.66 <sup>b</sup> ± 0.79

Data are presented as mean (n = 3) ± standard deviation, means in the same column (a–d) with different letters are significantly different (Tukey test; p ≤ 0.05).

**Table 5.** Farinograph characteristics of mixtures.

Samples	Development Time	Water Absorption	Dough Stability	Degree of Dough Softening (after 12 min)	Farinograph Quality Number
	min	%	min	FU	Mm
CON	5.17 <sup>a</sup> ± 0.07	56.60 <sup>i</sup> ± 0.14	12.53 <sup>c</sup> ± 0.05	35.50 <sup>c</sup> ± 0.71	149.50 <sup>a</sup> ± 0.71
DPS 10	4.44 <sup>i</sup> ± 0.09	56.55 <sup>j</sup> ± 0.21	10.20 <sup>d</sup> ± 0.13	35.50 <sup>c</sup> ± 0.16	138.00 <sup>a</sup> ± 2.12
DPS 20	4.39 <sup>i</sup> ± 0.21	57.55 <sup>a</sup> ± 0.04	5.19 <sup>e</sup> ± 0.02	34.50 <sup>c</sup> ± 1.41	100.00 <sup>i</sup> ± 2.83
DPS 30	5.32 <sup>r</sup> ± 0.09	58.15 <sup>d</sup> ± 0.04	4.16 <sup>b</sup> ± 0.08	19.00 <sup>f</sup> ± 0.71	255.50 <sup>b</sup> ± 3.54
PP 10	6.48 <sup>d</sup> ± 0.17	56.15 <sup>i</sup> ± 0.07	7.39 <sup>f</sup> ± 0.06	32.11 <sup>ab</sup> ± 0.71	104.50 <sup>j</sup> ± 1.41
PP 20	10.39 <sup>b</sup> ± 0.03	57.33 <sup>c</sup> ± 0.07	20.46 <sup>b</sup> ± 0.04	28.00 <sup>d</sup> ± 0.71	238.00 <sup>c</sup> ± 1.41
PP 30	15.40 <sup>a</sup> ± 0.02	58.78 <sup>d</sup> ± 0.07	39.20 <sup>a</sup> ± 0.06	12.50 <sup>e</sup> ± 1.41	352.50 <sup>a</sup> ± 6.36
TW 10	5.40 <sup>r</sup> ± 0.16	61.00 <sup>e</sup> ± 0.28	7.17 <sup>f</sup> ± 0.04	46.50 <sup>a</sup> ± 2.12	104.50 <sup>j</sup> ± 2.12
TW 20	6.20 <sup>d</sup> ± 0.01	63.65 <sup>b</sup> ± 0.07	5.18 <sup>e</sup> ± 0.14	44.50 <sup>a</sup> ± 0.71	101.00 <sup>i</sup> ± 7.07
TW 30	8.29 <sup>r</sup> ± 0.06	64.65 <sup>a</sup> ± 0.07	8.30 <sup>e</sup> ± 0.10	23.50 <sup>e</sup> ± 0.71	208.00 <sup>d</sup> ± 1.41

CON—control sample (100% semolina durum pasta), DPS—defatted pepper seeds pasta; PP—pepper placenta pasta; TW—tomato waste pasta. Data are presented as mean (n = 3) ± standard deviation, means in the same column with different letters are significantly different (Tukey test; p ≤ 0.05).

The dough stability was 12.53 min in CON and decreased in the TW- and DPS-enriched samples. An increase in this parameter was observed in the PP20 and PP30 samples (20.46 and 39.30 min, respectively). This may have been caused by the formation of gluten–phenolic acid complexes. During dough formation, hydrogen bonds may form between the polypeptide chain and the hydroxyl group of phenolic acids present in pepper placenta and between the polypeptide chain and the oxygen of the carboxyl group. This may also be the cause of the low softening value of the dough [26]. A similar decreasing trend was noted in the TW samples, which may have had similar causes. The opposite trend in bread dough fortified with pepper placenta has been noted by Jasna et al. [27]. The literature reports that the farinographic characteristics of dough may also be influenced by the content of individual minerals. Magnesium ions present in PP (Table 3) can trigger reactions between proteins increasing dough resistance to mixing and softening [28]. The gluten matrix may also be affected by the potassium and sodium content, with a similar effect on dough stability, as suggested by Abedi and Pourmohammadi [29].

### 3.3. Pasta Processing

The development of a new pasta formulation may cause various problems related to the correctness of the technological process, which is why preliminary studies are necessary. The results of this study (data not provided) show that the 30% supplementation of the pasta with the selected waste raw materials was the maximum addition level that did not interfere with extrusion. Table 1 shows the research model and such basic process parameters as extrusion pressure and extruder capacity. The highest extrusion pressure was obtained for the CON sample (12.95 MPa). Each addition of vegetable raw materials resulted in a decrease in the extrusion pressure, compared with CON. Statistically significant differences were recorded for the DPS20, DPS30 (defatted pepper seed pasta), PP20, PP30 (pepper placenta pasta), and TW30 (tomato waste pasta) samples. The lowest value was recorded for sample PP30 (12.25 MPa). The extruder capacity also decreased with the fortification, but these differences were not statistically significant ( $p < 0.05$ ) in most cases. Albumins are the main tomato waste proteins [30], while globulins are the major bell pepper proteins [31]; both types of proteins can significantly affect extrusion parameters by weakening the gluten matrix. This, in turn, may be related to the enzymatic activity of these proteins. In the case of the TW additive, its high fat content may have induced the reduction in the extrusion pressure and capacity (Table 1).

### 3.4. Chemical Composition of Pasta Samples

The pasta samples were subjected to the analysis of the chemical composition (Table 6). Already at the 10% addition, the fortification with all the three vegetable additives caused a statistically significant increase in the protein content of the pasta from 17.26% d.m. in DPS10 to 20.61% d.m. in TW30, which is an increase of 6 to 27%. A similar relationship was noted for the ash content, where each fortification variant also resulted in a statistically significant increase. The highest increase in the ash content in the pasta sample was recorded in the PP-fortified samples, which was related to the high content of this ingredient in the raw material (13.39% d.m.). In a study conducted by Ahmad et al. [32] the addition of 8% of tomato waste to cookies resulted in a 23% d.m. increase in the protein content. In our study, the addition of 10% of the tomato waste increased the protein content in the sample by 17%.

The fat content in the fortified samples increased in relation to the CON sample, but these differences were not statistically significant for the DPS10, PP20, and TW10 samples. The largest (almost four-fold) increase in this macronutrient was recorded for sample TW30 (4.54% d.m.). The fat contained in the waste raw materials tested consists mainly of unsaturated fatty acids [33,34], which are expected to be present in the diet but may reduce the shelf life of the finished product due to the oxidative processes involved [35].

The addition of PP, DPS, and TW had a significant effect on the TDF content of the samples as well. Each fortification variant caused a statistically significant increase in this parameter ( $p < 0.05$ ). The smallest increase was observed in the pepper placenta-enriched samples, while very similar 5.90-fold and 5.36-fold increase were observed in samples DPS30 (defatted pepper seeds) and TW30 (tomato waste), respectively, which is consistent with the fibre content in the raw materials. Therefore, it can be concluded that DPS and TW are better fibre raw materials than PP; of note, the highest soluble fibre content was recorded in the PP-supplemented samples (8.77% d.m. in PP30). However, all the samples can be considered high-fibre products (TDF content  $> 6$  g/100 g of the pasta samples).

**Table 6.** Chemical composition of pasta samples.

Pasta Samples	Moisture		Ash	Protein	Fat	TDF		IDF	SDF	Carbohydrates *	Energy kcal/100 g d.m.	Energy from Protein	
	%	% d.m.				% d.m.	%					%	%
CON	9.45 <sup>b</sup> ± 0.02	1.03 <sup>g</sup> ± 0.01	16.16 <sup>b</sup> ± 0.08	1.11 <sup>e</sup> ± 0.08	4.74 <sup>f</sup> ± 0.1	2.94 <sup>b</sup> ± 0.06	1.81 <sup>g</sup> ± 0.04	76.95 <sup>a</sup> ± 0.17	391.95 <sup>a</sup> ± 0.22	64.64 <sup>g</sup> ± 0.31	16.49 <sup>f</sup> ± 0.09		
DPS 10	9.21 <sup>c</sup> ± 0.02	1.48 <sup>f</sup> ± 0.02	17.26 <sup>g</sup> ± 0.03	1.38 <sup>fg</sup> ± 0.03	13.48 <sup>cd</sup> ± 0.23	8.60 <sup>c</sup> ± 0.02	4.87 <sup>f</sup> ± 0.25	66.44 <sup>c</sup> ± 0.24	374.02 <sup>bc</sup> ± 0.64	69.04 <sup>f</sup> ± 0.12	18.46 <sup>e</sup> ± 0.07		
DPS 20	9.07 <sup>c</sup> ± 0.04	1.67 <sup>e</sup> ± 0.04	17.42 <sup>fg</sup> ± 0.06	2.52 <sup>d</sup> ± 0.05	20.20 <sup>b</sup> ± 0.38	14.34 <sup>c</sup> ± 0.4	5.86 <sup>cd</sup> ± 0.03	58.19 <sup>d</sup> ± 0.32	365.52 <sup>d</sup> ± 1.19	69.68 <sup>f</sup> ± 0.25	19.06 <sup>d</sup> ± 0.05		
DPS 30	8.73 <sup>d</sup> ± 0.03	1.99 <sup>c</sup> ± 0.02	17.68 <sup>f</sup> ± 0.02	3.44 <sup>b</sup> ± 0.05	27.99 <sup>a</sup> ± 1.05	20.69 <sup>a</sup> ± 0.76	7.30 <sup>b</sup> ± 0.29	48.90 <sup>e</sup> ± 1.14	353.26 <sup>e</sup> ± 1.95	70.72 <sup>e</sup> ± 0.09	20.02 <sup>c</sup> ± 0.14		
PP 10	8.86 <sup>d</sup> ± 0.03	1.79 <sup>d</sup> ± 0.03	17.87 <sup>e</sup> ± 0.12	0.99 <sup>g</sup> ± 0.01	9.63 <sup>e</sup> ± 0.46	4.31 <sup>gh</sup> ± 0.11	5.32 <sup>def</sup> ± 0.05	69.72 <sup>b</sup> ± 0.04	378.53 <sup>b</sup> ± 0.39	71.48 <sup>d</sup> ± 0.47	18.88 <sup>e</sup> ± 0.11		
PP 20	9.51 <sup>b</sup> ± 0.07	2.56 <sup>b</sup> ± 0.03	18.55 <sup>d</sup> ± 0.06	1.16 <sup>ef</sup> ± 0.04	12.25 <sup>d</sup> ± 0.25	5.08 <sup>fg</sup> ± 0.51	7.17 <sup>b</sup> ± 0.05	65.48 <sup>c</sup> ± 0.39	371.06 <sup>c</sup> ± 1.24	74.20 <sup>c</sup> ± 0.25	20.00 <sup>c</sup> ± 0.07		
PP 30	10.74 <sup>a</sup> ± 0.07	3.33 <sup>a</sup> ± 0.01	19.24 <sup>cd</sup> ± 0.05	1.29 <sup>e</sup> ± 0.04	14.57 <sup>c</sup> ± 0.16	5.80 <sup>f</sup> ± 0.21	8.77 <sup>a</sup> ± 0.03	61.57 <sup>d</sup> ± 0.15	363.99 <sup>d</sup> ± 0.65	76.96 <sup>b</sup> ± 0.19	21.14 <sup>b</sup> ± 0.01		
TW 10	9.14 <sup>c</sup> ± 0.07	1.56 <sup>e</sup> ± 0.01	18.86 <sup>c</sup> ± 0.09	1.38 <sup>fg</sup> ± 0.05	13.54 <sup>cd</sup> ± 0.28	8.24 <sup>c</sup> ± 0.34	5.29 <sup>ef</sup> ± 0.05	64.56 <sup>c</sup> ± 0.26	373.58 <sup>b</sup> ± 0.54	75.84 <sup>c</sup> ± 0.34	20.30 <sup>c</sup> ± 0.06		
TW 20	8.73 <sup>d</sup> ± 0.08	1.77 <sup>d</sup> ± 0.03	19.25 <sup>b</sup> ± 0.09	2.95 <sup>c</sup> ± 0.05	18.56 <sup>b</sup> ± 0.01	12.87 <sup>d</sup> ± 0.16	5.70 <sup>de</sup> ± 0.17	57.47 <sup>d</sup> ± 0.01	370.55 <sup>c</sup> ± 0.14	77.00 <sup>b</sup> ± 0.34	20.78 <sup>b</sup> ± 0.14		
TW 30	8.41 <sup>e</sup> ± 0.05	1.88 <sup>d</sup> ± 0.01	20.61 <sup>a</sup> ± 0.08	4.54 <sup>a</sup> ± 0.05	25.44 <sup>a</sup> ± 0.22	19.04 <sup>b</sup> ± 0.14	6.40 <sup>c</sup> ± 0.08	47.43 <sup>e</sup> ± 0.27	363.90 <sup>d</sup> ± 0.53	82.44 <sup>a</sup> ± 0.31	22.65 <sup>a</sup> ± 0.11		

\* Carbohydrate content calculated by difference. CON—control sample (100% semolina durum pasta); DPS—defatted pepper seeds pasta; PP—pepper placenta pasta; TW—tomato waste pasta; IDF—insoluble dietary fibre; SDF—soluble dietary fibre; TDF—total dietary fibre. Data are presented as mean (n = 3) ± standard deviation, means in the same column with different letters are significantly different (Tukey test; p ≤ 0.05).

Given the increased protein and TDF content in the experimental pasta samples compared with CON, the carbohydrate content decreased, and the decrease was statistically significant in all the samples ( $p < 0.05$ ). It ranged from 10.10% for PP10 to as much as 62.22% and 57.36% for TW30 and DPS30, respectively. A similar relationship has been reported for pasta samples fortified with wheat germ and wheat germ protein isolate in a study conducted by Teterycz et al. [14].

The energy value in CON was 391.5 kcal/100 g, and this result was similar to that obtained by [11], i.e., 397.39 kcal/100 g. The calorific value of the samples enriched with defatted pepper seeds, pepper placenta, and tomato waste decreased significantly ( $p < 0.05$ ) in each fortification variant. The smallest decrease of 13.42 and 17.93 kcal/100 g was recorded in the PP10 and DPS10 samples, respectively, while the largest decrease of 38.69 kcal/100 g was recorded in the DPS30 sample. In our research, the higher fibre content, with a calorie value of only 2 kcal/g, was responsible for the lower energy value of the product.

The research showed that the six samples tested could be classified as a high-protein products according to the EU definition [36]. This definition states that, in a high-protein product, a minimum of 20% of the energy comes from protein. This criterion was met by samples enriched with 30% DPS, minimum 20% PP and all samples with TW addition. The highest value was obtained for the sample with 30% PP addition (22.65%), which may suggest that it is the best raw material for protein enrichment of food. A similar high-protein pasta was obtained by enrichment of pasta dough with 25% of wheat germ or 12% of wheat germ protein isolate [14] or in samples with 40% addition of hemp seed flour [11].

### 3.5. Mineral Composition of Selected Dried Pasta Samples

The mineral content of selected pasta samples is given in Table 3. Each time, the fortification resulted in a statistically significant increase in the level of minerals relative to CON, which is very important from a nutritional point of view, especially since there has been a decline in the micro- and macronutrient content of vegetable crops over the years [37]. The DPS30 sample exhibited a nearly two-fold increase in the Zn content, an over four-fold increase in the Cr content, and a two-fold increase in the Mg content relative to CON. Sample PP30 had the highest levels of K and Na, which can contribute to the improvement of the rheological parameters of the dough [29], and TW30 contained the highest amount of Ca. Similarly, a study conducted by [38] reported a significant increase in the Ca content in bread fortified with tomato waste.

### 3.6. Amino Acid Composition in Raw Materials and Pasta Samples

To be able to fully evaluate a product with high protein content, it is necessary to assess the amino acid composition. For this purpose, the amino acid composition of a product is often compared with the reference composition given by the WHO [39]. In this study, the amino acid composition was determined for the raw materials and pasta samples (Tables 7 and 8). Among the raw materials, DPS had the best amino acid composition, where all essential amino acids were present at an appropriate level. The main limiting amino acids were lysine and tryptophan in the durum semolina, histidine in the pepper placenta, and tryptophan in the tomato waste. Nevertheless, the lysine content in the vegetable raw materials was about twice that of semolina (21.78 mg g<sup>-1</sup> protein) and can therefore improve the quality of wheat protein. In addition, these raw materials are a very good source of sulphur amino acids (Met + Cys) (123.25 mg g<sup>-1</sup> protein in DPS) and Asp (215 mg g<sup>-1</sup> protein in pepper placenta), which is also very promising. However, the vegetable raw materials contained less Glu and Pro than the semolina.

Table 7. Non-essential amino acid composition of raw materials and dried pasta samples (mg g<sup>-1</sup> protein).

Amino Acid Scoring Pattern for Adults *						
Amino Acid	Ala	Asp	Glu	Gly	Pro	Arg
<b>Raw materials</b>						
Semolina durum	31.55 <sup>c</sup> ± 0.41	49.04 <sup>d</sup> ± 0.49	301.27 <sup>a</sup> ± 0.09	28.54 <sup>c</sup> ± 0.44	115.29 <sup>a</sup> ± 0.83	45.97 <sup>c</sup> ± 0.06
Defatted pepper seeds	43.69 <sup>a</sup> ± 0.04	100.13 <sup>c</sup> ± 0.18	195.94 <sup>d</sup> ± 0.37	48.35 <sup>a</sup> ± 0.42	48.06 <sup>b</sup> ± 0.01	42.52 <sup>b</sup> ± 0.08
Pepper placenta	14.50 <sup>d</sup> ± 0.26	215.48 <sup>a</sup> ± 0.19	219.83 <sup>b</sup> ± 0.75	12.61 <sup>d</sup> ± 0.28	12.32 <sup>d</sup> ± 0.33	32.60 <sup>d</sup> ± 0.25
Tomato waste	35.14 <sup>b</sup> ± 0.04	114.88 <sup>b</sup> ± 1.04	202.35 <sup>c</sup> ± 0.29	44.16 <sup>b</sup> ± 0.03	45.73 <sup>c</sup> ± 0.03	41.04 <sup>c</sup> ± 0.03
<b>Pasta samples</b>						
CON	31.68 <sup>bc</sup> ± 0.42	49.16 <sup>g</sup> ± 0.48	301.39 <sup>a</sup> ± 0.09	28.66 <sup>cd</sup> ± 0.43	115.41 <sup>a</sup> ± 0.84	46.10 <sup>a</sup> ± 0.07
DPS 10	31.64 <sup>bc</sup> ± 0.55	47.15 <sup>g</sup> ± 0.20	267.15 <sup>cd</sup> ± 3.80	27.34 <sup>gh</sup> ± 0.12	103.78 <sup>b</sup> ± 3.52	42.87 <sup>c</sup> ± 0.24
DPS 20	33.05 <sup>ab</sup> ± 0.04	56.96 <sup>f</sup> ± 0.31	250.51 <sup>f</sup> ± 3.47	32.85 <sup>b</sup> ± 0.23	90.40 <sup>d</sup> ± 0.31	42.10 <sup>d</sup> ± 0.19
DPS 30	33.98 <sup>a</sup> ± 0.04	63.45 <sup>d</sup> ± 0.11	235.01 <sup>g</sup> ± 0.15	34.08 <sup>a</sup> ± 0.07	81.25 <sup>e</sup> ± 0.44	40.88 <sup>e</sup> ± 0.37
PP 10	30.24 <sup>cdk</sup> ± 0.08	77.78 <sup>c</sup> ± 1.02	282.86 <sup>b</sup> ± 1.05	27.95 <sup>fg</sup> ± 0.53	97.57 <sup>c</sup> ± 0.49	43.80 <sup>b</sup> ± 0.08
PP 20	28.40 <sup>f</sup> ± 0.19	101.05 <sup>b</sup> ± 0.45	274.79 <sup>c</sup> ± 0.33	26.42 <sup>h</sup> ± 0.15	78.11 <sup>e</sup> ± 0.07	40.40 <sup>e</sup> ± 0.22
PP 30	28.76 <sup>cd</sup> ± 0.41	133.26 <sup>a</sup> ± 0.55	260.94 <sup>e</sup> ± 0.59	25.07 <sup>i</sup> ± 0.41	61.64 <sup>f</sup> ± 0.62	38.12 <sup>f</sup> ± 0.21
TW 10	29.75 <sup>def</sup> ± 0.16	57.27 <sup>f</sup> ± 0.16	277.28 <sup>bc</sup> ± 2.32	29.35 <sup>de</sup> ± 0.08	101.52 <sup>bc</sup> ± 1.83	38.68 <sup>f</sup> ± 0.08
TW 20	30.75 <sup>cd</sup> ± 1.17	60.32 <sup>e</sup> ± 0.84	270.42 <sup>cd</sup> ± 0.72	30.34 <sup>d</sup> ± 0.20	90.10 <sup>d</sup> ± 1.21	38.08 <sup>f</sup> ± 0.16
TW 30	29.86 <sup>cdef</sup> ± 0.26	61.42 <sup>de</sup> ± 0.68	246.4 <sup>f</sup> ± 0.42	31.60 <sup>c</sup> ± 0.26	81.78 <sup>e</sup> ± 0.72	37.25 <sup>g</sup> ± 0.08
						41.10 <sup>c</sup> ± 0.11

CON—control sample (100% semolina durum pasta); DPS—defatted pepper seed pasta; PP—pepper placenta pasta; TW—tomato waste pasta, AAA—aromatic amino acids; SAA—sulphur containing amino acid. Data are presented as mean (n = 3) ± standard deviation, means in the same column (raw material or sample) with different letters are significantly different (Tukey test; p ≤ 0.05). \* World Health Organization/Food and Agriculture Organization/United Nations University (2007) Protein and Amino Acid Requirements in Human Nutrition Report of a Joint WHO/FAO/UNU Expert Consultation. WHO Technical Report Series no. 935. Geneva: WHO.

Table 8. Essential amino acid composition of raw materials and dried pasta samples in comparison with amino acid scoring pattern for adults (FAO, 2007) (mg g<sup>-1</sup> protein).

Amino Acid	His	Ile	Leu	Lys	Thr	Trp	Val	AAA (Phe + Tyr)	SAAs (Met + Cys)	Limiting Amino Acid	Amino Acid Score Using The Pattern for Adults
	15	30	59	45	23	6	39	38	22		
Raw materials											
Semolina durum	19.28 <sup>a</sup> ± 0.39	35.63 <sup>a</sup> ± 0.97	56.82 <sup>ab</sup> ± 0.44	21.78 <sup>a</sup> ± 0.69	21.26 <sup>c</sup> ± 0.06	17.46 <sup>a</sup> ± 0.21	44.88 <sup>a</sup> ± 0.50	60.79 <sup>c</sup> ± 0.91	31.67 <sup>c</sup> ± 0.64	Lys, Thr	48
Defatted pepper seeds	27.23 <sup>b</sup> ± 0.01	32.41 <sup>b</sup> ± 0.22	60.35 <sup>a</sup> ± 0.25	47.42 <sup>b</sup> ± 0.34	21.66 <sup>c</sup> ± 0.01	14.34 <sup>b</sup> ± 0.08	39.48 <sup>c</sup> ± 0.31	74.80 <sup>a</sup> ± 0.30	123.25 <sup>a</sup> ± 5.51	-	
Pepper placenta	13.50 <sup>d</sup> ± 0.12	29.50 <sup>c</sup> ± 0.19	53.29 <sup>ab</sup> ± 4.14	41.89 <sup>b</sup> ± 0.93	34.21 <sup>b</sup> ± 0.18	6.90 <sup>c</sup> ± 0.17	39.67 <sup>c</sup> ± 0.07	38.44 <sup>d</sup> ± 0.30	82.61 <sup>b</sup> ± 0.07	His,	90
Tomato waste	21.89 <sup>b</sup> ± 0.09	28.59 <sup>c</sup> ± 0.04	50.37 <sup>b</sup> ± 0.11	47.90 <sup>a</sup> ± 0.45	41.95 <sup>a</sup> ± 0.53	3.68 <sup>d</sup> ± 0.05	42.76 <sup>b</sup> ± 0.31	64.42 <sup>b</sup> ± 0.32	83.09 <sup>b</sup> ± 2.93	Trp,	61
Pasta samples											
CON	19.41 <sup>ef</sup> ± 0.39	35.75 <sup>b</sup> ± 0.97	56.95 <sup>b</sup> ± 0.43	21.90 <sup>a</sup> ± 0.68	21.63 <sup>f</sup> ± 0.20	17.58 <sup>a</sup> ± 0.22	41.4 <sup>bed</sup> ± 0.06	60.91 <sup>c</sup> ± 0.91	32.59 <sup>f</sup> ± 0.44	Lys	48
DPS 10	20.70 <sup>c</sup> ± 0.11	33.77 <sup>b</sup> ± 0.26	57.64 <sup>ab</sup> ± 0.54	22.67 <sup>c</sup> ± 0.44	21.78 <sup>f</sup> ± 0.64	16.12 <sup>bc</sup> ± 0.29	43.44 <sup>ab</sup> ± 0.30	60.84 <sup>c</sup> ± 0.74	44.73 <sup>de</sup> ± 0.71	Lys	50
DPS 20	22.31 <sup>b</sup> ± 0.08	32.08 <sup>cde</sup> ± 0.02	58.51 <sup>ab</sup> ± 0.06	29.49 <sup>b</sup> ± 0.05	21.29 <sup>f</sup> ± 0.10	15.85 <sup>bed</sup> ± 0.05	42.26 <sup>abc</sup> ± 0.15	63.86 <sup>b</sup> ± 0.53	53.51 <sup>bc</sup> ± 1.63	Lys	65
DPS 30	23.35 <sup>a</sup> ± 0.14	30.79 <sup>c</sup> ± 0.33	59.07 <sup>a</sup> ± 0.07	33.97 <sup>a</sup> ± 0.48	21.07 <sup>f</sup> ± 0.06	15.57 <sup>cd</sup> ± 0.01	42.05 <sup>abc</sup> ± 0.09	66.10 <sup>a</sup> ± 0.18	67.69 <sup>a</sup> ± 0.64	Lys	75
PP 10	19.06 <sup>fg</sup> ± 0.33	33.44 <sup>bc</sup> ± 0.27	54.52 <sup>c</sup> ± 0.08	22.00 <sup>a</sup> ± 0.05	25.42 <sup>de</sup> ± 0.04	16.67 <sup>b</sup> ± 0.21	39.82 <sup>cde</sup> ± 0.24	61.73 <sup>c</sup> ± 0.45	40.17 <sup>f</sup> ± 0.08	Lys	48
PP 20	18.30 <sup>gh</sup> ± 0.37	32.08 <sup>cde</sup> ± 0.10	53.44 <sup>cd</sup> ± 0.32	23.76 <sup>de</sup> ± 0.13	26.17 <sup>cd</sup> ± 0.24	15.24 <sup>de</sup> ± 0.10	38.08 <sup>a</sup> ± 2.04	56.25 <sup>d</sup> ± 0.41	50.75 <sup>c</sup> ± 0.69	Lys	53
PP 30	17.85 <sup>b</sup> ± 0.07	31.38 <sup>cd</sup> ± 0.40	51.68 <sup>c</sup> ± 0.93	24.67 <sup>cd</sup> ± 0.16	27.00 <sup>c</sup> ± 0.03	14.22 <sup>bc</sup> ± 0.05	39.16 <sup>de</sup> ± 0.07	54.85 <sup>d</sup> ± 0.07	56.84 <sup>b</sup> ± 1.97	Lys	55
TW 10	19.72 <sup>def</sup> ± 0.08	33.26 <sup>bc</sup> ± 0.41	54.22 <sup>cd</sup> ± 0.16	25.94 <sup>c</sup> ± 1.02	24.68 <sup>a</sup> ± 0.16	14.41 <sup>d</sup> ± 0.25	44.25 <sup>a</sup> ± 0.02	60.17 <sup>c</sup> ± 0.53	40.65 <sup>d</sup> ± 0.02	Lys	58
TW 20	20.06 <sup>cd</sup> ± 0.09	32.51 <sup>bed</sup> ± 0.20	54.55 <sup>c</sup> ± 0.24	29.81 <sup>b</sup> ± 0.64	28.56 <sup>b</sup> ± 0.50	13.45 <sup>gh</sup> ± 0.28	43.52 <sup>ab</sup> ± 0.70	63.77 <sup>b</sup> ± 0.31	45.76 <sup>d</sup> ± 2.08	Lys	66
TW 30	20.34 <sup>cd</sup> ± 0.01	30.55 <sup>ef</sup> ± 0.26	52.83 <sup>de</sup> ± 0.38	34.84 <sup>a</sup> ± 0.40	29.82 <sup>a</sup> ± 0.07	12.76 <sup>b</sup> ± 0.36	43.13 <sup>ab</sup> ± 0.17	64.17 <sup>ab</sup> ± 0.06	50.30 <sup>c</sup> ± 0.54	Lys	77

CON—control sample (100% semolina durum pasta); DPS—defatted pepper seed pasta; PP—pepper placenta pasta; TW—tomato waste pasta; AAA—aromatic amino acids; SAA—sulphur containing amino acid. Data are presented as mean (n = 3) ± standard deviation, means in the same column (raw material or sample) with different letters are significantly different (Tukey test; p < 0.05). \* World Health Organization/Food and Agriculture Organization/United Nations University (2007) Protein and Amino Acid Requirements in Human Nutrition Report of a Joint WHO/FAO/UNU Expert Consultation. WHO Technical Report Series no. 935. Geneva: WHO.

The analysis of the amino acid composition showed that the enrichment of the pasta with the vegetable processing by-products improved the overall protein quality. Of particular note are lysine and threonine, which are the limiting amino acids of wheat protein. An increase in the content of lysine was observed in each enriched sample, with the largest increase (by as much as 58%) observed in the TW30 sample. The threonine content increased as well. According to the WHO, the threonine content should be 23 mg per 1 g of protein, which was achieved in samples PP30 and TW30, while the standard content of lysine is 45 mg per 1 g. Unfortunately, lysine was still the limiting amino acid in the samples. The standard amino acid composition was not achieved when pasta was enriched with *Hibiscus sabdariffa* by-product powder [40]. Nevertheless, the addition of vegetable waste significantly improves the amino acid composition in pasta.

### 3.7. Cooking Quality of Pasta Samples

Consumers pay a great deal of attention to the behaviour of pasta during cooking; therefore, a cooking quality evaluation (Figure 1) of the product should be carried out before marketing. One of the most important quality determinants is the minimum cooking time. A shorter cooking time is preferred by the consumer. The study showed that the minimum cooking time decreased with the addition of the vegetable processing by-products, with the greatest decrease recorded in the pepper placenta-enriched samples (3.48 min for PP30), compared with CON (6.13 min).

The water absorption index (WAI) is an indicator of the ability of the product to bind water during cooking. Pasta with good properties should have a WAI of at least 2 [10]. It is recognised that the increase in the WAI value is directly proportional to the pasta cooking time [41]. Starch has the highest water absorption capacity, but the literature also indicates this property in, e.g., pectin, polyphenols, and dietary fibre content [42]. Statistically significant changes in this parameter in comparison with CON (2.07) were recorded only in sample PP30 (2.19), where an increase in WAI was recorded despite the shortest cooking time. This may have been related to the high pectin content of the raw material used [43]. Additionally, the polyphenols present in bell pepper [44] may have interacted with protein, starch, and other polysaccharides, affecting the water absorption of the product [45].

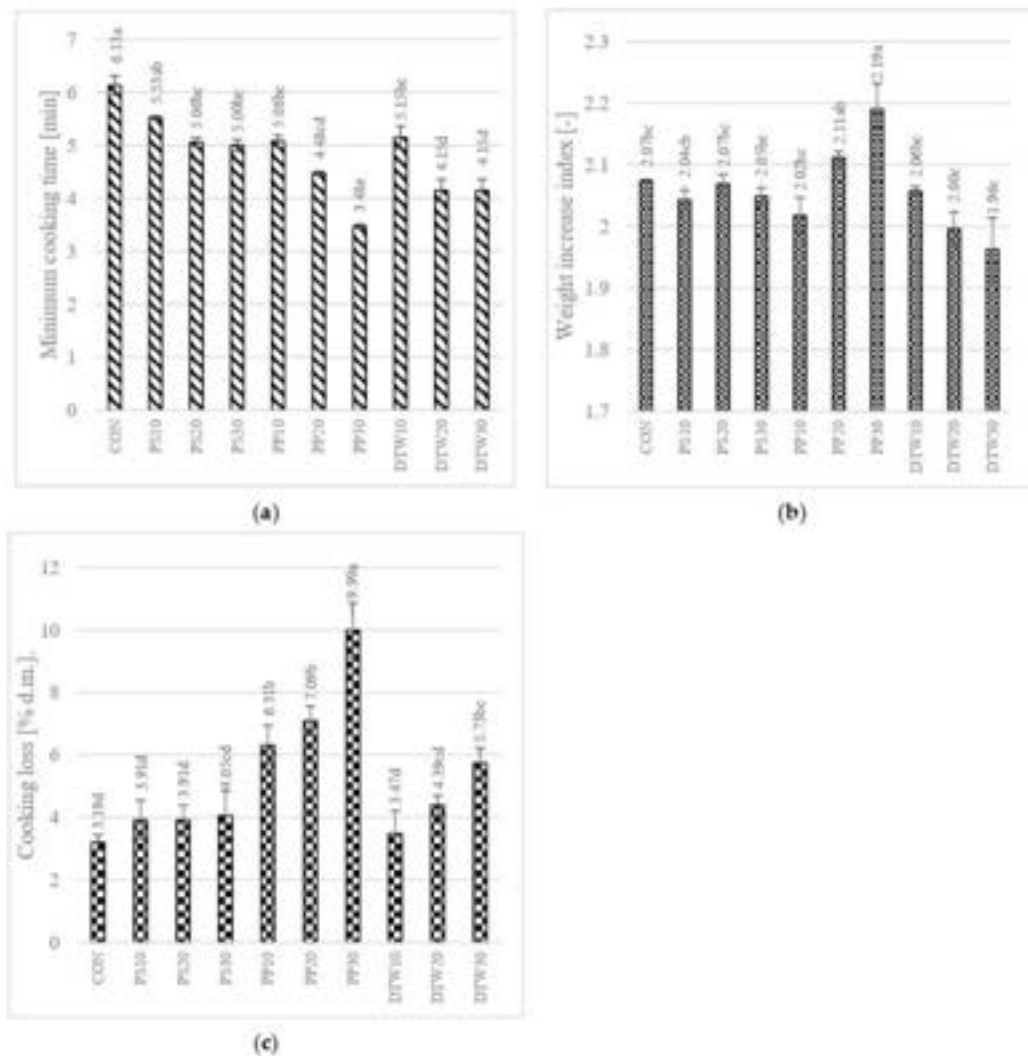
Cooking losses should not exceed 8%. An increase in this parameter was recorded in all the samples, with statistical significance in all of the pepper placenta-fortified samples. Despite the highest WAI value, sample PP30 exhibited the highest cooking loss value. This may have been influenced by the high fibre content, including soluble fibre, and the high degree of milling of the raw material (Table 4). Equivalent diameter—indicating particle size—for pepper placenta was significantly lower than for semolina, facilitating the passage of particles into the water during cooking. For the other raw materials, this parameter was higher compared to semolina. Only for sample PP30 was the optimum value of 8% (9.99%) exceeded. Cooking losses are dependent not only on the chemical composition of the product but also on its shape [46]. This shape (tagliatelle) gives a large contact area between the pasta and the water, which may also cause a higher level of dry matter losses.

### 3.8. Colour Parameters of Dried Pasta Samples

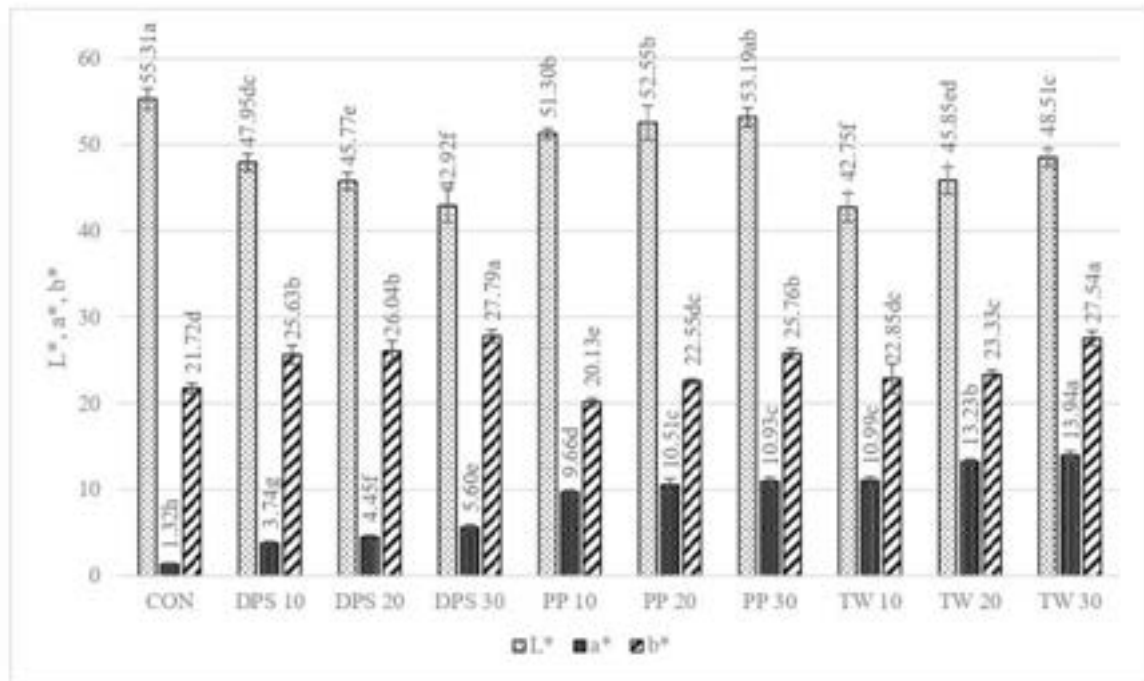
The colour of the pasta is the first characteristic evaluated by the consumer during purchase, and it is important that it is perceived positively. The study measured the parameters of the pasta after drying (Figure 2). The analysis of the  $L^*$  parameter indicated significant ( $p < 0.05$ ) darkening of the enriched pasta, compared with CON, in all samples. CON was the brightest sample (55.31). The lowest  $L^*$  parameters were exhibited by the TW-enriched samples (42.75–48.51) and the DPS fortification variants (47.95–42.92), while the pepper seed-enriched samples had the highest values of this parameter (51.30–53.19). The PP- and TW-supplemented samples exhibited higher values of the brightness parameter. This may be related to the presence of non-hydrated bright fibre particles resulting from coarser particle granulation (Table 4), as can be seen in the photos presented in Table 9. TW



and PP are good sources of carotenoids, mainly capsanthin in pepper [47] and lycopene in tomatoes [48], which were found to make the colour of the product darker than the CON sample. The content of these ingredients undoubtedly affected the a\* parameter as well. It is responsible for the colour change from green to red. In the case of the pasta enriched with PP and TW, the a\* parameter exhibited an over 8-fold increase in sample PP30 (10.93) and an up to 10-fold increase in sample TW30 (13.94), compared with CON (1.32). The a\* parameter also increased in the pepper seed-fortified samples and reached 3.74 in DPS10 to 5.60 in DPS30.







**Figure 1.** Cooking quality of pasta samples. (a) minimum cooking time; (b) weight increase index; and (c) cooking loss. CON—control sample (100% semolina durum pasta); DPS—defatted pepper seed pasta; PP—pepper placenta pasta; TW—tomato waste pasta. Data are presented as mean (n = 3) ± standard deviation, means on the same bar with different letters are significantly different (Tukey test; p < 0.05).



**Figure 2.** Colour parameters of dried pasta samples. CON—control sample (100% semolina durum pasta); DPS—defatted pepper seed pasta; PP—pepper placenta pasta; TW—tomato waste pasta. L\*: lightness; a\*: red/green value; b\*: blue/yellow value. Data are presented as mean (n = 30) ± standard deviation, means on the same bar with different letters are significantly different (Tukey test; p ≤ 0.05).

In comparison with CON, statistically significant differences in the b\* parameter (blue-yellow) were noted in all samples, except PP10, PP20, and TW10. Considering all colour parameters, the DPS-supplemented pasta became dark yellow, while the pasta enriched with PP and tomato waste became intensely orange (Table 9). A similar trend was noted for pasta fortified with bell pepper [49] and for tomato pomace-enriched bread [50].

**Table 9.** The photos of pasta samples.

CON	DPS10	DPS20	DPS30
			
PP10	PP20	PP30	
			
TW10	TW20	TW30	
			

#### 4. Conclusions

The utilization of food processing waste, including vegetable processing waste, appears to be a promising direction for research. This trend enables the creation of new products with novel organoleptic and nutritional properties, while also offering an opportunity to reduce the food waste that has become such a global issue. This study has demonstrated that both tomato and pepper processing waste serve as excellent sources of protein and fibre, which can enhance the nutritional value of cereal products, including pasta. The samples supplemented with tomato waste exhibited the highest protein content and were also rich in fibre. Pasta enriched with a minimum of 20% pepper placenta, at least 30% defatted pepper seeds, and a minimum of 10% tomato waste represents a high-protein and high-fibre product with favourable cooking properties. Despite fortifying the pasta with high-protein raw materials, achieving a balanced protein profile was not possible as lysine remained the limiting amino acid in the samples.

Future research will be extended to include texture analysis, sensory evaluation and digestibility assessment.

**Author Contributions:** Conceptualization, D.T.; methodology, D.T. and A.S.; software, D.T.; validation, D.T. and A.S.; investigation, D.T. and A.S.; resources, D.T.; data curation, D.T.; writing—original draft preparation, D.T.; writing—review and editing, A.S.; visualization, D.T.; supervision, D.T. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

**Funding:** This research received no external funding.

**Data Availability Statement:** The data used to support the findings of this study can be made available by the corresponding author upon request.

**Acknowledgments:** Many thanks to Krokus (Pajaków, Poland) for providing the by-products used in the study.

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

#### References

1. Food Waste Index Report 2021; United Nations Environment Programme. Available online: <https://www.unep.org/resources/report/unep-food-waste-index-report-2021> (accessed on 6 March 2023).
2. Ślusarczyk, B.; Machowska, E. Food Waste in the World and in Poland. *Acad. Rev.* **2019**, *1*, 91–100. [CrossRef]
3. Mahanta, N.R.; Samuel, A.K.; Sachan, D. Emerging trends of zero waste in the built environment and a paradigm shift toward sustainability. In *Emerging Trends in Approaching Zero Waste*; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2022; pp. 1–35.
4. Xu, Y.; Li, Y.; Bao, T.; Zheng, X.; Chen, W.; Wang, J. A recyclable protein resource derived from cauliflower by-products: Potential biological activities of protein hydrolysates. *Food Chem.* **2017**, *221*, 114–122. [CrossRef] [PubMed]
5. Sedlar, T.; Čakarević, J.; Tomić, J.; Popović, L. Vegetable by-products as new sources of functional proteins. *Plant Foods Hum. Nutr.* **2021**, *76*, 31–36. [CrossRef]
6. Aranibar, C.; Pigni, N.B.; Martínez, M.; Aguirre, A.; Ribotta, P.; Wunderlin, D.; Borneo, R. Utilization of a partially-deoiled chia flour to improve the nutritional and antioxidant properties of wheat pasta. *LWT* **2018**, *89*, 381–387. [CrossRef]
7. Badwaik, L.S.; Prasad, K.; Seth, D. Optimization of ingredient levels for the development of peanut based fiber rich pasta. *J. Food Sci. Technol.* **2014**, *51*, 2713–2719. [CrossRef] [PubMed]
8. Balli, D.; Cecchi, L.; Innocenti, M.; Bellumori, M.; Mulinacci, N. Food by-products valorisation: Grape pomace and olive pomace (pâte) as sources of phenolic compounds and fiber for enrichment of tagliatelle pasta. *Food Chem.* **2021**, *355*, 129642. [CrossRef]
9. Ciccioritti, R.; Taddei, F.; Nicoletti, I.; Gazza, L.; Corradini, D.; D'Egidio, M.G.; Martini, D. Use of bran fractions and debranned kernels for the development of pasta with high nutritional and healthy potential. *Food Chem.* **2017**, *225*, 77–86. [CrossRef]
10. Sobota, A.; Skwira, A. Physical properties and chemical composition of extruded pasta. *Acta Agrophysica* **2009**, *13*, 245–260.
11. Teterycz, D.; Sobota, A.; Przygodzka, D.; Lysakowska, P. Hemp seed (*Cannabis sativa* L.) enriched pasta: Physicochemical properties and quality evaluation. *PLoS ONE* **2021**, *16*, e0248790. [CrossRef]
12. Zarzycki, P.; Teterycz, D.; Wirkijowska, A.; Kozłowicz, K.; Stasiak, D.M. Use of moldavian dragonhead seeds residue for pasta production. *LWT* **2021**, *143*, 111099. [CrossRef]
13. Sykut-Domańska, E.; Zarzycki, P.; Sobota, A.; Teterycz, D.; Wirkijowska, A.; Blicharz-Kania, A.; Andrejko, D.; Mazurkiewicz, J. The potential use of by-products from coconut industry for production of pasta. *J. Food Process. Preserv.* **2020**, *44*, e14490. [CrossRef]
14. Teterycz, D.; Sobota, A.; Starek, A. Possibility of using wheat germ and wheat germ protein isolate for high-protein pasta production. *Cereal Chem.* **2022**, *100*, 299–309. [CrossRef]

15. Eslami, E.; Carpentieri, S.; Pataro, G.; Ferrari, G. A Comprehensive Overview of Tomato Processing By-Product Valorization by Conventional Methods versus Emerging Technologies. *Foods* **2022**, *12*, 166. [CrossRef] [PubMed]
16. Scoma, A.; Rebecchi, S.; Bertin, L.; Fava, F. High impact biowastes from South European agro-industries as feedstock for second-generation biorefineries. *Crit. Rev. Biotechnol.* **2016**, *36*, 175–189. [CrossRef] [PubMed]
17. Nour, V.; Panaite, T.D.; Ropota, M.; Turcu, R.; Trandafir, I.; Corbu, A.R. Nutritional and bioactive compounds in dried tomato processing waste. *CyTA-J. Food* **2018**, *16*, 222–229. [CrossRef]
18. Del Valle, M.; Cámara, M.; Torija, M.E. Chemical characterization of tomato pomace. *J. Sci. Food Agric.* **2006**, *86*, 1232–1236. [CrossRef]
19. Adeyeye, E.I. The contribution of flesh, placenta and seeds to the nutritional attributes of a variety of *Capsicum annuum* (Bell pepper). *Elivir Food Sci.* **2014**, *68*, 22587–22594.
20. AACC. *American Association of Cereal Chemistry Approved Methods*, 10th ed.; AACC: St. Paul, MN, USA, 2000.
21. Teterycz, D.; Sobota, A.; Zarzycki, P.; Latoch, A. Legume flour as a natural colouring component in pasta production. *J. Food Sci. Technol.* **2020**, *57*, 301–309. [CrossRef]
22. Cvetković, T.; Ramišević, J.; Jokić, S. Quality of pepper seed by-products: A review. *Foods* **2022**, *11*, 748. [CrossRef]
23. Weaver, C.M. Potassium and health. *Adv. Nutr.* **2013**, *4*, 368S–377S. [CrossRef]
24. Roohani, N.; Hurrell, R.; Kelishadi, R.; Schulin, R. Zinc and its importance for human health: An integrative review. *J. Res. Med. Sci. Off. J. Isfahan Univ. Med. Sci.* **2013**, *18*, 144.
25. Marchylo, B.A.; Dexter, J.E.; Clarke, F.R.; Clarke, J.M.; Preston, K.R. Relationships among bread-making quality, gluten strength, physical dough properties, and pasta cooking quality for some Canadian durum wheat genotypes. *Can. J. Plant Sci.* **2001**, *81*, 611–620. [CrossRef]
26. Welc-Stanowska, R.; Klosok, K.; Nawrocka, A. Effects of gluten-phenolic acids interaction on the gluten structure and functional properties of gluten and phenolic acids. *J. Cereal Sci.* **2023**, *111*, 103682. [CrossRef]
27. Jasna, M.; Žarko, K.; Milan, V.; Marko, I.; Jelena, R.; Dženita, D. Possibilities for utilization of dietary fiber-rich supplement from pepper (*Capsicum annuum* L.) processing waste in bakery products. *J. Eng. Process. Manag.* **2018**, *10*, 28–33. [CrossRef]
28. Sehn, G.A.R.; Nogueira, A.D.C.; Almeida, E.L.; Chang, Y.K.; Steel, C.J. Fortification of wheat dough with calcium and magnesium ions affects empirical rheological properties. *Cereal Chem.* **2015**, *92*, 405–410. [CrossRef]
29. Abedi, E.; Pourmohammadi, K. Chemical modifications and their effects on gluten protein: An extensive review. *Food Chem.* **2021**, *343*, 128398. [CrossRef] [PubMed]
30. Benderska, O.; Bessarab, A.; Iegorov, B.; Kashkano, M.; Shutyak, V. Biological value of tomato processing by-products. *Food Sci. Technol.* **2021**, *15*, 28–36. [CrossRef]
31. Colombari, L.F.; Chamma, L.; da Silva, G.F.; Zanetti, W.A.L.; Putti, F.F.; Cardoso, A.L.I. Maturation and Post-Harvest Resting of Fruits Affect the Macronutrients and Protein Content in Sweet Pepper Seeds. *Plants* **2022**, *11*, 2084. [CrossRef]
32. Ahmad, U.; Mushtaq, Z.; Ahmad, R.S.; Asghar, N. Characterization, oxidative perspectives and consumer acceptability of tomato waste powder supplemented cookies. *JAPS J. Anim. Plant Sci.* **2017**, *27*, 2045–2055.
33. Eller, F.J.; Moser, J.K.; Kenar, J.A.; Taylor, S.L. Extraction and analysis of tomato seed oil. *J. Am. Oil Chem. Soc.* **2010**, *87*, 755–762. [CrossRef]
34. Chouaibi, M.; Rezig, L.; Hamdi, S.; Ferrari, G. Chemical characteristics and compositions of red pepper seed oils extracted by different methods. *Ind. Crops Prod.* **2019**, *128*, 363–370. [CrossRef]
35. Schaich, K.M. Analysis of lipid and protein oxidation in fats, oils, and foods. In *Oxidative Stability and Shelf Life of Foods Containing Oils and Fats*; AOCS Press: Urbana, IL, USA, 2016; pp. 1–131.
36. Regulation (EC) No 1924/2006 of the European Parliament and of the Council of 20 December 2006 on Nutrition and Health Claims Made on Foods. Available online: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/TXT/?uri=CELEX%3A32006R1924> (accessed on 6 March 2023).
37. White, P.J.; Broadley, M.R. Historical variation in the mineral composition of edible horticultural products. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* **2005**, *80*, 660–667. [CrossRef]
38. 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] [PubMed]
39. World Health Organization; Food and Agriculture Organization; United Nations University. *Protein and Amino Acid Requirements in Human Nutrition Report of a Joint WHO/FAO/UNU Expert Consultation*; WHO Technical Report Series no. 935; WHO: Geneva, Switzerland, 2007.
40. Baigts-Allende, D.K.; Pérez-Alva, A.; Metri-Ojeda, J.C.; Estrada-Beristain, C.; Ramírez-Rodríguez, M.A.; Arroyo-Silva, A.; Ramírez-Rodríguez, M.M. Use of Hibiscus sabdariffa by-Product to Enhance the Nutritional Quality of Pasta. *Waste Biomass Valoriz.* **2022**, *14*, 1267–1279. [CrossRef]
41. Kultys, E.; Moczowska-Wyrwisz, M. Effect of using carrot pomace and beetroot-apple pomace on physicochemical and sensory properties of pasta. *LWT* **2022**, *168*, 113858. [CrossRef]
42. Gumul, D.; Kruczek, M.; Ivanišová, E.; Słupski, J.; Kowalski, S. Apple pomace as an ingredient enriching wheat pasta with health-promoting compounds. *Foods* **2023**, *12*, 804. [CrossRef]
43. Conforti, F.D.; Zinck, J.B. Hydrocolloid-lipid coating affect on weight loss, pectin content, and textural quality of green bell peppers. *J. Food Sci.* **2002**, *67*, 1360–1363. [CrossRef]

44. Jeong, W.Y.; Jin, J.S.; Cho, Y.A.; Lee, J.H.; Park, S.; Jeong, S.W.; Kim, Y.H.; Lim, C.S.; El-Aty, A.A.; Kim, G.S.; et al. Determination of polyphenols in three *Capsicum annuum* L. (bell pepper) varieties using high-performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry: Their contribution to overall antioxidant and anticancer activity. *J. Sep. Sci.* **2011**, *34*, 2967–2974. [[CrossRef](#)]
45. Sivam, A.S.; Sun-Waterhouse, D.; Perera, C.O.; Waterhouse, G.I.N. Application of FT-IR and Raman spectroscopy for the study of biopolymers in breads fortified with fibre and polyphenols. *Food Res. Int.* **2013**, *50*, 574–585. [[CrossRef](#)]
46. Shreenitha, C.R.; Prabhasankar, P. Effect of different shapes on the quality, microstructure, sensory and nutritional characteristics of yellow pea flour incorporated pasta. *J. Food Meas. Charact.* **2013**, *7*, 166–176. [[CrossRef](#)]
47. Saini, R.K.; Prasad, P.; Lokesh, V.; Shang, X.; Shin, J.; Keum, Y.S.; Lee, J.H. Carotenoids: Dietary sources, extraction, encapsulation, bioavailability, and health benefits—A review of recent advancements. *Antioxidants* **2022**, *11*, 795. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
48. Madia, V.N.; De Vita, D.; Ialongo, D.; Tadino, V.; De Leo, A.; Scipione, L.; Di Santo, R.; Costi, R.; Messori, A. Recent advances in recovery of lycopene from tomato waste: A potent antioxidant with endless benefits. *Molecules* **2021**, *26*, 4495. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
49. Covaliov, B.E.; Deseatnicova, O.; Reșitca, V.; Suhodol, M.N.; Grosu, C.; Siminiuc, R. Impact of plant additives: Parsley (*Petroselinum crispum*) leaves and red bell pepper (*Capsicum annuum*) on the quality of eggless wheat pasta. *Czech J. Food Sci.* **2022**, *40*, 281–289. [[CrossRef](#)]
50. Nour, V.; Ionica, M.E.; Trandafir, I. Bread enriched in lycopene and other bioactive compounds by addition of dry tomato waste. *J. Food Sci. Technol.* **2015**, *52*, 8260–8267. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]

**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.

Lublin, 30.10.2023

### Oświadczenie autora publikacji

Niniejszym, oświadcza się, że publikacje:

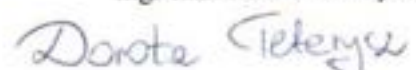
- (1) Teterycz, D., Sobota, A., Zarzycki, P., & Latoch, A. (2020). Legume flour as a natural colouring component in pasta production. *Journal of Food Science and Technology*, 57, 301-309.
- (2) Teterycz, D., Sobota, A., Przygodzka, D., & Łysakowska, P. (2021). Hemp seed (*Cannabis sativa* L.) enriched pasta: Physicochemical properties and quality evaluation. *Plos One*, 16(3), e0248790.
- (3) Teterycz, D., Sobota, A., & Starek, A. (2023). Possibility of using wheat germ and wheat germ protein isolate for high-protein pasta production. *Cereal Chemistry*, 100(2), 299-309.
- (4) Teterycz, D., & Sobota, A. (2023). Use of High-Protein and High-Dietary-Fibre Vegetable Processing Waste from Bell Pepper and Tomato for Pasta Fortification. *Foods*, 12(13), 2567

powstały w wyniku poniżej określonego, indywidualnego wkładu pracy współautorki:

#### **mgr inż. Dorota Teterycz**

- (1) udział w opracowaniu koncepcji badań, wykonanie prób do analizy, wykonanie analiz fizykochemicznych i jakości kulinarnej, pomiar barwy, przeprowadzenie oceny organoleptycznej, opracowanie wyników i ich interpretacja, przygotowanie manuskryptu i odpowiedzi na recenzje;
- (2) udział w opracowaniu koncepcji badań, przygotowanie surowców i prób do analizy, wykonanie analiz fizykochemicznych (z wyjątkiem oznaczenia zawartości substancji biologicznie czynnych) i jakości kulinarnej, pomiar barwy, przeprowadzenie oceny organoleptycznej, opracowanie wyników i ich interpretacja, przygotowanie manuskryptu i odpowiedzi na recenzje;
- (3) udział w opracowaniu koncepcji badań, przygotowanie surowców i prób do analizy, wykonanie analiz fizykochemicznych i jakości kulinarnej, pomiar barwy, opracowanie wyników i ich interpretacja, przygotowanie manuskryptu i odpowiedzi na recenzje;
- (4) udział w opracowaniu koncepcji badań, przygotowanie surowców i prób do analizy, wykonanie analiz fizykochemicznych i jakości kulinarnej, pomiar barwy, opracowanie wyników i ich interpretacja, przygotowanie manuskryptu i odpowiedzi na recenzje.

mgr inż. Dorota Teterycz



### Oświadczenie autora publikacji

Niniejszym, oświadcza się, że publikacje:

(1) Teterycz, D., Sobota, A., Zarzycki, P., & Latoch, A. (2020). Legume flour as a natural colouring component in pasta production. *Journal of Food Science and Technology*, 57, 301-309.

(2) Teterycz, D., Sobota, A., Przygodzka, D., & Łysakowska, P. (2021). Hemp seed (*Cannabis sativa* L.) enriched pasta: Physicochemical properties and quality evaluation. *Plos One*, 16(3), e0248790.

(3) Teterycz, D., Sobota, A., & Starek, A. (2023). Possibility of using wheat germ and wheat germ protein isolate for high-protein pasta production. *Cereal Chemistry*, 100(2), 299-309.

(4) Teterycz, D., & Sobota, A. (2023). Use of High-Protein and High-Dietary-Fibre Vegetable Processing Waste from Bell Pepper and Tomato for Pasta Fortification. *Foods*, 12(13), 2567

powstały w wyniku poniżej określonego, indywidualnego wkładu pracy współautorki:

**dr hab. inż. Aldona Sobota, prof. uczelni**

(1,2,3,4) współtworzenie koncepcji badań, redagowanie manuskryptu i współtworzenie odpowiedzi na recenzje, pełnienie roli autora korespondencyjnego.

  
dr hab. inż. Aldona Sobota, prof. uczelni



Lublin, 30.10.2023

### Oświadczenie autora publikacji

Niniejszym, oświadcza się, że publikacje:

Teterycz, D., Sobota, A., Zarzycki, P., & Latoch, A. (2020). Legume flour as a natural colouring component in pasta production. *Journal of Food Science and Technology*, 57, 301-309.

powstały w wyniku poniżej określonego, indywidualnego wkładu pracy współautora:

**dr inż. Piotr Zarzycki** – pomoc przy przeprowadzeniu analiz laboratoryjnych (cechy fizykochemiczne)



dr inż. Piotr Zarzycki

Lublin, 30.10.2023

### Oświadczenie autora publikacji

Niniejszym, oświadcza się, że publikacje:

Teterycz, D., Sobota, A., Zarzycki, P., & Latoch, A. (2020). Legume flour as a natural colouring component in pasta production. *Journal of Food Science and Technology*, 57, 301-309.

powstały w wyniku poniżej określonego, indywidualnego wkładu pracy współautorki:

**dr inż. Agnieszka Latoch** – pomoc przy przeprowadzeniu oceny barwy i tekstury

*Agnieszka Latoch*  
dr inż. Agnieszka Latoch

Lublin, 30.10.2023

### Oświadczenie autora publikacji

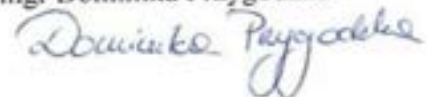
Niniejszym, oświadcza się, że publikacje:

Teterycz, D., Sobota, A., Przygodzka, D., & Lysakowska, P. (2021). Hemp seed (*Cannabis sativa* L.) enriched pasta: Physicochemical properties and quality evaluation. *Plos One*, 16(3), e0248790.

powstały w wyniku poniżej określonego, indywidualnego wkładu pracy współautorki:

**mgr Dominika Przygodzka** – analiza zawartości substancji bioaktywnych (THC i CBD)

mgr Dominika Przygodzka



Lublin, 30.10.2023

### Oświadczenie autora publikacji

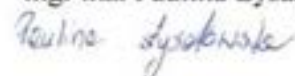
Niniejszym, oświadcza się, że publikacje:

Teterycz, D., Sobota, A., Przygodzka, D., & Lysakowska, P. (2021). Hemp seed (*Cannabis sativa* L.) enriched pasta: Physicochemical properties and quality evaluation. *Plos One*, 16(3), e0248790.

powstały w wyniku poniżej określonego, indywidualnego wkładu pracy współautorki:

**mgr inż. Paulina Łysakowska** – pomoc przy oznaczaniu zawartości błonnika i przeprowadzeniu oceny konsumenckiej

mgr inż. Paulina Łysakowska



Lublin, 30.10.2023

### Oświadczenie autora publikacji

Niniejszym, oświadcza się, że publikacja:

Tetrycz, D., Sobota, A., & Starek, A. (2023). Possibility of using wheat germ and wheat germ protein isolate for high-protein pasta production. *Cereal Chemistry*, 100(2), 299-309.

powstała w wyniku poniżej określonego, indywidualnego wkładu pracy współautorki:

**dr hab. inż. Agnieszka Starek-Wójcicka, prof. uczelni** – pomoc przy przeprowadzeniu analizy tekstury.

dr hab. inż. Agnieszka Starek-Wójcicka, prof. Uczelni

*Agnieszka Starek-Wójcicka*

13.10.2023, Lublin

Biblioteka Główna UP w Lublinie  
Baza publikacji Pracowników Uniwersytetu Przyrodniczego  
Raport autora – mgr inż. Dorota Teterycz (zakres lat 2017-2023)

### 1. Publikacje w czasopiśmie naukowych

#### 1.1. Publikacje w czasopiśmie naukowym posiadającym Impact Factor

Lp	Opis bibliograficzny	IF	Pkt. MNISW
1.	Effect of dietary fibre waste originating from food production on the gluten structure in common wheat dough. [AUT. KORESP.] AGNIESZKA NAWROCKA, [AUT.] PIOTR ZARZYCKI, KONRAD KŁOSOK, RENATA WELC, ANNA WIRKLIOWSKA, DOROTA TETERYCZ. <i>Int. Agrophys.</i> 2023 Vol. 37 Iss. 1 s. 101-109, il., bibliogr., sum. DOI: 10.31545/intagr/159236	2.200	100,00
2.	The influence of tomato and pepper processing waste on bread quality. [AUT.] ANNA WIRKLIOWSKA, [AUT. KORESP.] PIOTR ZARZYCKI, [AUT.] DOROTA TETERYCZ, AGNIESZKA NAWROCKA, AGATA BLICHAZ-KANIA, PAULINA ŁYSAKOWSKA. <i>Appl. Sci.-Basel</i> 2023 Volume 13 Issue 16 Article number 9312, il., bibliogr., sum. DOI: 10.3390/app13169312	2.700	100,00
3.	Use of high-protein and high-dietary-fibre vegetable processing waste from bell pepper and tomato for pasta fortification. [AUT.] DOROTA TETERYCZ, [AUT. KORESP.] ALDONA SOBOTA. <i>Foods</i> 2023 Vol. 12 Issue 13 Article number 2567, il., bibliogr., sum. DOI: 10.3390/foods12132567	5.200	140,00
4.	Possibility of using wheat germ and wheat germ protein isolate for high-protein pasta production. [AUT.] DOROTA TETERYCZ, [AUT. KORESP.] ALDONA SOBOTA, [AUT.] AGNIESZKA STAREK. <i>Cereal Chem.</i> 2022 Vol. 100 Nr 2 s. 299-309, il., bibliogr., sum. DOI: 10.1002/cche.10602	2.400	70,00
5.	Hemp seed ( <i>Cannabis sativa</i> L.) enriched pasta: physicochemical properties and quality evaluation. [AUT.] DOROTA TETERYCZ, [AUT. KORESP.] ALDONA SOBOTA, [AUT.] DOMINIKA PRZYGDZKA, PAULINA ŁYSAKOWSKA. <i>PLoS One</i> 2021 Vol. 16 Iss. 3 e0248790,	3.752	100,00



	il., bibliogr., sum. DOI: 10.1371/journal.pone.0248790		
6.	Use of moldavian dragonhead seeds residue for pasta production. [AUT.] PIOTR ZARZYCKI, [AUT. KORESP.] DOROTA TETERYCZ, [AUT.] ANNA WIRKIJOWSKA, KATARZYNA KOZŁOWICZ, DARIUSZ MIROSLAW STASIAK. <i>Lebensm. - Wiss. Technol.</i> 2021 Vol. 143 Article number 111099, il., bibliogr., sum. DOI: 10.1016/j.lwt.2021.111099	6,056	100,00
7.	Flaxseed enriched pasta—chemical composition and cooking quality. [AUT.] PIOTR ZARZYCKI, [AUT. KORESP.] EMILIA SYKUT-DOMANSKA, [AUT.] ALDONA SOBOTA, DOROTA TETERYCZ, ADA KRAWĘCKA, AGATA BLICHAZ-KANIA, DARIUSZ ANDREJKO, BEATA ZDYBEL. <i>Foods</i> 2020 Vol. 9(4) Article no. 404, il., bibliogr., sum. DOI: 10.3390/foods9040404	4,350	100,00
8.	Influence of onion skin powder on nutritional and quality attributes of wheat pasta. [AUT. KORESP.] MONIKA MICHALAK-MAJEWSKA, [AUT.] DOROTA TETERYCZ, SIEMOWIT MUSZYŃSKI, WOJCIECH RADZKI, EMILIA SYKUT-DOMANSKA. <i>PloS One</i> 2020 Vol. 15 Iss. 1, e0227942 s. 1-15, il., bibliogr., sum. DOI: 10.1371/journal.pone.0227942	3,240	100,00
9.	Legume flour as a natural colouring component in pasta production. [AUT.] DOROTA TETERYCZ, [AUT. KORESP.] ALDONA SOBOTA, [AUT.] PIOTR ZARZYCKI, AGNIESZKA LATOCH. <i>J. Food Sci. Technol.</i> 2020 Vol. 57 Issue 1 s. 301-309, il., bibliogr., sum. DOI: 10.1007/s13197-019-04061-5	2,701	70,00
10.	The potential use of by-products from coconut industry for production of pasta. [AUT.] EMILIA SYKUT-DOMANSKA, [AUT. KORESP.] PIOTR ZARZYCKI, [AUT.] ALDONA SOBOTA, DOROTA TETERYCZ, ANNA WIRKIJOWSKA, AGATA BLICHAZ-KANIA, DARIUSZ ANDREJKO, JAROSLAW MAZURKIEWICZ. <i>J. Food Process. Preserv.</i> 2020 Vol. 44 Issue 7 Article number e 14490 s. 1-9, il., bibliogr. DOI: 10.1111/jpp.14490	2,190	40,00
	Suma:	34,789	920,00

## 1.2 Publikacja w czasopiśmie naukowym nieposiadającym IF

Lp	Opis bibliograficzny	Pkt. MNSW
1.	Substitution of semolina durum with common wheat flour in egg and eggless pasta. [AUT.] DOROTA TETERYCZ, [AUT. KORESP.] ALDONA SOBOTA, [AUT.] KATARZYNA KOZŁOWICZ, PIOTR ZARZYCKI. <i>Acta Sci. Pol., Technol. Aliment.</i> 2019 Vol. 18 Nr 4 s. 439-	40,00



	451, il. bibliogr., streszcz., sum. DOI: 10.17306/J.AFS.2019.0722	
2.	Effect of addition of barley wholemeal with different dietary fibre content on wheat bread quality. [AUT. KORESP.] ANNA WIRKOWSKA. [AUT.] ALDONA SOBOTA, PIOTR ZARZYCKI, EMILIA SYKUT-DOMAŃSKA, DOROTA TETERYCZ. <i>Pol. J. Agron.</i> 2018 No 34 s. 44-51, il., bibliogr., streszcz., sum. DOI: 10.26114/pja.iung.360.2018.34.0	10,00
3.	Karczoch zwyczajny ( <i>Cynara scolymus</i> ) – innowacyjny surowiec o bogatych właściwościach leczniczych. [AUT.] DOROTA TETERYCZ, MONIKA MICHALAK-MAJEWSKA. <i>Zesz. Probl. Postęp. Nauk Rol.</i> 2018 z. 593 s. 87-100, il., bibliogr., streszcz., sum. DOI: 10.22630/ZPPNR.2018.593.18	13,00
4.	Karczoch zwyczajny innowacyjny surowiec o szerokim zastosowaniu (Globe artichoke – an innovative raw material with a wide application). [AUT.] MONIKA MICHALAK-MAJEWSKA, DOROTA TETERYCZ. <i>Przem. Spoż.</i> 2018 T. 72 nr 7 s. 30-33, il., bibliogr., streszcz., sum. DOI: 10.15199/65.2018.7.7	12,00
	Suma:	75,00

## 2. Monografie naukowe

### 2.1 Autorstwo monografii naukowej

Lp	Opis bibliograficzny	Pkt. MNiSW
1.	Grzyby jadalne: wartość odżywcza, produkcja, przetwórstwo i wykorzystanie. [AUT.] ANETA SŁAWIŃSKA, MONIKA MICHALAK-MAJEWSKA, EWA JABŁOŃSKA-RYŚ, KATARZYNA SKRZYPCZAK, WOJCIECH RADZKI, DOROTA TETERYCZ, WALDEMAR GUSTAW. Lublin 2017, Towarzystwo Wydawnictw Naukowych LIBROPOLIS, 123 s., il., bibliogr. 978-83-65943-00-2.	20,00
	Suma:	20,00

### 2.2 Autorstwo rozdziału w monografii naukowej

Lp	Opis bibliograficzny	Pkt. MNiSW
1.	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
	Suma:	20,00





#### 4. Inne

##### 4.1. Materiały konferencyjne

- | Lp. | Opis bibliograficzny   |
|-----|--|
| 1.  | By-products of hemp seed ( <i>Cannabis sativa</i> L.) processing as a fortifying additive for durum wheat pasta. [AUT. KORESP.] DOROTA TETERYCZ, [AUT.] ALDONA SOBOTA, PAULINA ŁYSAKOWSKA, DOMINIKA PRZYGODZKA. W: XXVI Sesja Naukowa Sekcji Młodej Kadry Naukowej "Żywność dzisiaj lokalna czy globalna? Tradycyjna czy innowacyjna?" : Książka streszczeń : 19-20 maja Poznań 2022 (XXth International Session of Young Scientific Staff "Food nowadays local or global? Traditional or innovative?" : Book of abstracts : 19-20 maja Poznań 2022) s. 102. Poznań 2022, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu. |
| 2.  | Makarony o niskim indeksie glikemicznym z dodatkiem mąki lubinowej i $\beta$ -glukanów. [AUT.] ALDONA SOBOTA, DOMINIK POLAK, ADA KRAWEĆKA, PIOTR ZARZYCKI, DOROTA TETERYCZ, ANNA WIRKIJOWSKA. W: III Konferencja Naukowa Nauka o Zbożach osiągnięcia i perspektywy : streszczenia : Lublin 22-23 września 2022 s. 10. Lublin 2022, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, 978-83-7259-372-6. DOI: 10.24326/mon.2022.11   |
| 3.  | Ocena jakości pieczywa pszennego z udziałem produktów ubocznych przerobu pomidorów i papryki. [AUT.] PIOTR ZARZYCKI, ANNA WIRKIJOWSKA, DOROTA TETERYCZ, ALDONA SOBOTA, AGATA BLICHAZ-KANIA, AGNIESZKA NAWROCKA. W: III Konferencja Naukowa Nauka o Zbożach osiągnięcia i perspektywy : streszczenia : Lublin 22-23 września 2022 s. 11. Lublin 2022, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, 978-83-7259-372-6. DOI: 10.24326/mon.2022.11   |
| 4.  | Wpływ dodatku wyttoków lnianych na jakość i wartość odżywczą wyrobów ciastkarskich. [AUT.] ANNA WIRKIJOWSKA, PAULINA ŁYSAKOWSKA, DOROTA TETERYCZ, PIOTR ZARZYCKI, ALDONA SOBOTA, AGATA BLICHAZ-KANIA. W: III Konferencja Naukowa Nauka o Zbożach osiągnięcia i perspektywy : streszczenia : Lublin 22-23 września 2022 s. 12. Lublin 2022, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, 978-83-7259-372-6. DOI: 10.24326/mon.2022.11   |
| 5.  | Wpływ dodatku liofilizowanych owoców papryki ( <i>Capsicum annuum</i> L.) na zawartość związków fenolowych, potencjał antyoksydacyjny i cechy jakościowe makaronów. [AUT.] ALDONA SOBOTA, MAŁGORZATA MATERSKA, DOROTA TETERYCZ, MARZENA PABICH, ADA KRAWEĆKA, BARBARA CHILCZUK. W: Żywność w strategii Zielonego Ładu : XLV Sesja Naukowa Komitetu Nauk o Żywności i Żywieniu PAN, 1-2 lipca 2021 Gdańsk, Politechnika Gdańska, Wydział Chemiczny : Materiały konferencyjne s. 113. [b.m.] [2021]. [b.w.].   |
| 6.  | Wpływ ostropestu plamistego ( <i>Sylibum marianum</i> L.) Gaertner na jakość pieczywa pszennego (Effect of milk thistle ( <i>Sylibum marianum</i> L.) Gaertner on the quality of wheat bread). [AUT.] ŁUKASZ MAKULEC, DOMINIKA STASIUK, ANNA WIRKIJOWSKA, DOROTA TETERYCZ. W: Przegląd badań prowadzonych w studenckich kotłach naukowych s. 167. Lublin 2020, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie.  |
| 7.  | Wpływ wyttoków i mąki konopnej na jakość pieczywa pszennego (Effect of hemp marc and flour on the quality of wheat bread). [AUT.] PAULINA ŁYSAKOWSKA, SYLWIA KONAT, ANNA WIRKIJOWSKA, DOROTA TETERYCZ. W: Przegląd badań prowadzonych w studenckich kotłach naukowych s.166. Lublin 2020, Uniwersytet  |

- Przyrodniczy w Lublinie.
8. **Możliwość wykorzystania produktów ubocznych przemysłu lnianego do produkcji pieczywa funkcjonalnego.** [AUT.] ANNA WIRKIOWSKA, ALDONA SOBOTA, PIOTR ZARZYCKI, DOROTA TETERYCZ, EMILIA SYKUT-DOMAŃSKA, KATARZYNA SEREWA. W: II Konferencja Naukowa Nauka o Zbożach "Nowa jakość dla świadomego konsumenta", Poznań 26-27 września 2019 r s. 8. [Poznań], [2019]. [b.w.].
  9. **Możliwość wykorzystania wyttoków i mąki kokosowej jako dodatków funkcjonalnych do produkcji makaronu.** [AUT.] PIOTR ZARZYCKI, EMILIA SYKUT-DOMAŃSKA, ALDONA SOBOTA, DOROTA TETERYCZ, ANNA WIRKIOWSKA, JAROSŁAW MAZURKIEWICZ, ADA KRAWĘCKA. W: II Konferencja Naukowa Nauka o Zbożach "Nowa jakość dla świadomego konsumenta", Poznań 26-27 września 2019 r s. 9. [Poznań], [2019]. [b.w.].
  10. **Wpływ dodatku (1,3)(1,4)- $\beta$ -D-glukanów na właściwości fizykochemiczne i jakość kulinarną makaronu.** [AUT.] ALDONA SOBOTA, ADA KRAWĘCKA, DOROTA TETERYCZ, PIOTR ZARZYCKI, EMILIA SYKUT-DOMAŃSKA, ANNA WIRKIOWSKA, ANGELIKA HORDEJUK. W: II Konferencja Naukowa Nauka o Zbożach "Nowa jakość dla świadomego konsumenta", Poznań 26-27 września 2019 r s. 7. [Poznań], [2019]. [b.w.].
  11. **Wpływ dodatku mąki tulinowej na właściwości fizyczne, jakość kulinarną i wartość odżywczą makaronów.** [AUT.] DOROTA TETERYCZ, ALDONA SOBOTA, ANNA WIRKIOWSKA, PIOTR ZARZYCKI, EMILIA SYKUT-DOMAŃSKA, JAROSŁAW MAZURKIEWICZ. W: Badania i rozwój młodych naukowców w Polsce 2018. Materiały konferencyjne-jesień. Część trzecia-Lublin / Red.nauk. Jędrzej Nyckowiak, Jacek Leśny s.130. Poznań 2018, Młodzi Naukowcy.
  12. **Wpływ dodatku mąki z pszenicy zwyczajnej na wybrane cechy jakościowe makaronu jajecznego z semoliny durum.** [AUT.] DOROTA TETERYCZ, ALDONA SOBOTA, PIOTR ZARZYCKI. W: XXIII Sesja Naukowa Sekcji Młodej Kadry Naukowej "Żywność – tradycja i nowoczesność" : VI International Session Of Young Scientific Staff "Food - tradition and modernity", Materiały konferencji naukowej, Lublin, 24-25 maj 2018 s. 32. Lublin 2018, Towarzystwo Wydawnictw Naukowych "Libropolis" Sp. z o.o. 978-83-63761-74-5.
  13. **Wpływ suszu cebuli na wybrane właściwości pieczywa.** [AUT.] MONIKA MICHAŁAK-MAJEWSKA, BARTOSZ SOŁOWIEJ, WALDEMAR GUSTAW, WOJCIECH RADZKI, ANETA SŁAWIŃSKA, EWA JABŁOŃSKA-RYŚ, KATARZYNA SKRZYPCZAK, DOROTA TETERYCZ. W: Owoce, warzywa, grzyby : innowacje w surowcach i przetwórstwie : XI Ogólnopolska Naukowa Konferencja Technologów Przetwórstwa Owoców i Warzyw, Bydgoszcz, 17-18 maja 2018 s. 27-28, bibliogr. Bydgoszcz 2018. Wydawnictwa Uczelniane Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego. 978-83-65603-43-2.
- Suma:



Sumaryczny IF – 34,789  
Sumaryczna liczba punktów MNISW/MEIN – 1035,00

Szczegółowe wyjaśnienia:

- Wskaźnik Impact Factor został podany na podstawie bazy Journal Citation Reports (JCR) dla roku wydania publikacji z wyjątkiem publikacji z roku 2023, gdzie jego wartość została podana na podstawie ostatniej edycji JCR ed. 2022
- Punktacja została podana na podstawie Wykazu Czasopism Punktowanych MNISW/MEIN obowiązujących dla roku wydania publikacji z wyjątkiem:
  - publikacji z 2017, 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 „Komunikatu Ministra Edukacji i Nauki z dnia 21 grudnia 2021 r. w sprawie wykazu czasopism naukowych i recenzowanych materiałów z konferencji międzynarodowych”
- Punktacja za monografie i rozdziały została przyznana na podstawie Komunikatu Ministra Edukacji i Nauki z dnia 22 lipca 2021 r. w sprawie wykazu wydawnictw publikujących recenzowane monografie naukowe.

UNIWERSYTET PRZYRODNICZY W LUBLINIE  
BIBLIOTEKA GŁÓWNA  
REGIONALNY OŚRODEK ROZWOJU  
INFORMACJI NAUCZYCZEJ  
20-950 Lublin, ul. Akademicka 12  
t. 82 910 37 79, NIP 143 001 00 15 14

Wykaz sporządziła:

*Anna Starek*  
/mgr Anna Starek/



Lublin, 26.10.2023

Zestawienie wyników cytowań sporządzone przez pracownika Oddziału Informacji Naukowej Biblioteki Głównej Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie (wg kwerendy na dzień 26.10.2023 r.)

Mgr inż. Dorota Teterycz

Według bazy Web of Science Core Collection – Basic Search	
Liczba prac indeksowanych w bazie	11
Liczba cytowań opublikowanych prac	157
Liczba cytowań opublikowanych prac bez autocytowań	139
Liczba artykułów cytujących	121
Liczba artykułów cytujących bez autocytowań	115
Średnia liczba cytowań na pozycję	14.27
Indeks Hirsha	6
Według bazy Scopus – Author Search	
Liczba prac indeksowanych w bazie	11
Liczba cytowań opublikowanych prac	170
Liczba cytowań opublikowanych prac bez autocytowań	152
Indeks Hirsha	6

UNIWERSYTET PRZYRODNICZY W LUBLINIE  
BIBLIOTEKA GŁÓWNA  
REGIONALNY OŚRODEK BADAŃ I INFORMACJI NAUKOWEJ  
20-950 Lublin, ul. Akademicka 13  
tel. 242 41 0 37 7 x, fax 242 41 0 300 1 x

Zestawienie sporządziła

Koordinator  
Oddziału Informacji Naukowej

*Anna Starek*  
mgr Anna Starek