

1. Streszczenie

Żywność zawierająca węglowodany może być klasyfikowana w oparciu o jej wpływ na poziom glukozy we krwi po spożyciu, określany mianem glikemii popośiłkowej. Jednym ze wskaźników opisujących ten wpływ jest indeks glikemiczny (IG), który może być klasyfikowany jako niski, średni i wysoki (Sanchez-Rivera i in., 2019). Z pojęciem IG nierozerwalnie związany jest kolejny wskaźnik, ładunek glikemiczny (ŁG). Dieta o niskim IG i ŁG dedykowana jest głównie osobom z cukrzycą, ale pomaga również zmniejszyć ryzyko występowania otyłości, chorób układu krążenia i niektórych nowotworów. Obecnie na świecie na cukrzycę choruje 537 mln osób. Szacuje się, że do roku 2045 liczba diabetyków osiągnie 783 mln, co oznacza, że zapotrzebowanie na żywność funkcjonalną dla tego sektora będzie się stale zwiększać. Rzeczywista liczba chorych może być nawet dwukrotnie większa, ponieważ co druga osoba z cukrzycą nie jest świadoma swojej choroby (International Diabetes Federation, 2021). Żywność o niskim IG może przyczyniać się do lepszej kontroli glikemii w porównaniu z żywnością o wysokim IG, poprzez zmniejszenie wahań poziomu glukozy we krwi, uwrażliwianie komórek na insulinę i zmniejszenie dziennego zapotrzebowania na insulinę (Ojo i in., 2018). W dietoterapii cukrzycy modyfikacją pierwszego wyboru jest zwiększenie udziału błonnika w kompozycji węglowodanów lub zmniejszenie w diecie podaży węglowodanów. Właściwości hipoglikemizujące przypisuje się głównie związkom zaliczanym do rozpuszczalnych frakcji błonnika (Vlachos i in., 2020; Cassidy, McSorley i Allsopp, 2018).

Procesowi wzbogacania żywności przywieca chęć kreowania produktów, których regularne zwyczajowe spożycie wiążałoby się z poprawą zdrowia i samopoczucia. W takim przypadku makarony stanowią idealną matrycę żywnościową ze względu na wysoką częstotliwość konsumpcji (Gull, Prasad i Kumar, 2018). Udowodniono, że makaron wywiera korzystniejszy efekt na glikemię popośiłkową niż pieczywo (Papakonstantinou i in., 2022; Di Pede i in., 2021; Huang i in., 2017). Rozsądne wydaje się zatem fortyfikowanie makaronów dodatkowymi składnikami o udokumentowanych właściwościach prozdrowotnych, aby w pełni wykorzystać potencjał tego, popularnego wśród konsumentów, produktu. Fortyfikacja makaronów różnymi preparatami błonnika, jak i surowcami wysokobłonnikowymi jest popularnym trendem (Dziki, 2021). Należy przy tym podkreślić, że dodatek składników wysokobłonnikowych, zaliczanych zarówno do frakcji rozpuszczalnej jak i nierozpuszczalnej błonnika, może powodować

osłabienie struktury matrycy białkowej i wywierać niekorzystny wpływ na jakość kulinarną oraz teksturę makaronów, a przez to zmniejszać również akceptację sensoryczną produktu (Sykut-Domańska i in., 2020; Sobota i in., 2015). Wyzwaniem technologicznym jest zatem stworzenie produktu o cechach funkcjonalnych, zwiększonej wartości odżywczej i jednocześnie zachowującego pożądane właściwości fizykochemiczne po obróbce hydrotermicznej.

Początkowo skupiono się na zbadaniu możliwości wykorzystania rozpuszczalnej frakcji błonnika pokarmowego (preparatu β -glukanów owsianych), która wywiera korzystny wpływ na indeks glikemiczny produktów zbożowych. Zwiększa lepkość treści pokarmowej, przez co utrudnia dostęp enzymów amylolitycznych do skrobi. Błonnik nierozpuszczalny nie wywołuje podobnego efektu (Sissons, 2022; Vlachos i in., 2020; Cassidy, McSorley i Allsopp, 2018). Jak donosi Jenkins i in. (2002), zwiększenie zawartości β -glukanów o 1 g, obniża wartość indeksu glikemicznego produktu o 4 jednostki. W recepturze opisywanego makaronu przewidziano dodatek składników wzmacniających matrycę białkową, takich jak gluten witalny oraz guma ksantanowa.

Następnie zbadano możliwość wykorzystania wysokobłonnikowego surowca strączkowego, jakim jest mąka łubinowa. Łubin (*Lupinus albus L.*), w porównaniu do innych nasion roślin strączkowych, zawiera niewielkie ilości węglowodanów przyswajalnych. Dodatek mąki łubinowej do mąki pszennej pozwala uzyskać komplementarność pod względem składu aminokwasowego. Nasiona łubinu są zasobne w fenyloalaninę, tyrozynę i lisynę, natomiast deficytowe w aminokwasy siarkowe (metioninę i cysteinę), podczas gdy biały pszenicy cechuje odwrotna zależność. Ponadto, wśród frakcji globulin, która dominuje w białku łubinu, warto zwrócić uwagę na γ -konglutynę. Według literatury, γ -konglutyna ma zdolność do zmniejszania poziomu glukozy i insuliny we krwi (Shrestha i in., 2021; Tapadia i in., 2021). W recepturze makaronu uwzględniono stały dodatek glutenu witalnego i β -glukanów owsianych, a w przypadku jednej próby zastosowano częściową substytucję semoliny mąką jaglaną. Wielu autorów wskazuje, że mąka jaglana ma właściwości zmniejszające IG produktów zbożowych (Chinma i in., 2022; Annor i in., 2017).

Kolejnym założeniem było zbadanie możliwości inkorporacji do makaronu z semoliny durum wytłoków z nasion czarnuszki siewnej (*Nigella sativa*). Wykorzystywanie do wzbogacania produktów zbożowych wytłoków, czyli składników pozostałych po procesie tłoczenia oleju lub soku z różnego rodzaju surowców, jest aktualnym trendem (Sissons, 2022; Dziki, 2021). Nasiona czarnuszki charakteryzują

się potwierdzoną aktywnością hipoglikemizującą, a także hipolipidemiczną, przeciwzapalną i neuroprotekcyjną (Mohit i in., 2020; Sahak i in., 2016). Warto podkreślić obecność olejków lotnych, wśród których duże znaczenie funkcjonalne przypisuje się tymochinonowi. Suplementacja tymochinonem może zmniejszać stres oksydacyjny i zmniejszać wchłanianie jelitowe glukozy oraz hamować glukoneogenezę wątrobową wśród pacjentów z cukrzycą typu 2 (Hamdan i in., 2019).

W związku z powyższym, tematem podjętym w pracy doktorskiej było zastosowanie preparatu błonnika rozpuszczalnego (β -glukanów owsianych), a także surowców wysokobłonnikowych i wysokobiałkowych (mąki łubinowej oraz wytłoków z nasion czarnuszki) w produkcji innowacyjnych makaronów o właściwościach potencjalnie prozdrowotnych.

Słowa kluczowe: glikemia popołkowa, β -glukany owsiane, mąka łubinowa, wytłoki z czarnuszki

Summary

Foods containing carbohydrates can be classified based on their effect on blood glucose levels after consumption, known as postprandial glycemia. One of the indicators describing this influence is the glycemic index (GI), which can be classified as low, medium, and high (Sanchez-Rivera et al., 2019). Another indicator, glycemic load (GL), is inextricably linked with the concept of GI. A diet with a low GI and GL is dedicated mainly to people with diabetes, but it also helps reduce the risk of cardiovascular disease and certain cancers and is an important support in maintaining a healthy body weight. Currently, 537 million people suffer from diabetes. It is estimated that the number of diabetics will reach 783 million by 2045, which means that the demand for functional food in this sector will continue to increase. The actual number of patients may even be twice as high, because every second person with diabetes is unaware of their disease (International Diabetes Federation, 2021). Compared to high GI foods, low GI foods may contribute to better glycemic control by reducing blood glucose fluctuations, sensitizing cells to insulin, and reducing daily insulin requirements (Ojo et al., 2018). In the diabetes diet, the modification of the first choice is to increase the share of fiber in the composition of carbohydrates or to reduce the supply of carbohydrates in the diet. The hypoglycemic properties are mainly attributed to compounds classified as soluble fiber fractions (Vlachos et al., 2020; Cassidy, McSorley, & Allsopp, 2018).

The process of food enrichment is guided by the desire to create products whose regular, habitual consumption would improve health and well-being. In this case, pasta is an ideal carrier due to the high frequency of consumption (Gull, Prasad, & Kumar, 2018). Pasta has been shown to have a more beneficial effect on postprandial glycemia than bread (Papakonstantinou et al., 2022; Di Pede et al., 2021; Huang et al., 2017). Therefore, it seems reasonable to fortify pasta with additional ingredients with documented pro-health properties in order to fully use the potential of this popular product. Pasta fortification with various fiber preparations as well as high-fiber raw materials is a popular trend (Dziki, 2021). It should be emphasized that the addition of high-fiber ingredients, both soluble and insoluble fiber fractions, may weaken the structure of the pasta known as the protein-starch matrix, and have an adverse effect on the culinary quality and texture of the pasta, thereby reducing its sensory acceptance (Sykut-Domańska et al., 2020; Sobota et al., 2015). The technological challenge is therefore to create a product with increased

nutritional value and at the same time maintaining the desired physicochemical properties after hydrothermal treatment.

Initially, the focus was placed on exploration of the possibility of using the soluble fiber fraction (oat β -glucan preparation), which has a major impact on the glycemic index of cereal products. It increases the viscosity of the chyme, which hinders the access of amylolytic enzymes to starch. Insoluble fiber does not have a similar effect (Sissons, 2022; Vlachos et al., 2020; Cassidy, McSorley, & Allsopp, 2018). As reported by Jenkins et al. (2002), a 1-g increase in the content of β -glucans lowers the glycemic index of the product by 4 units. The recipe of the described pasta includes the addition of potentially protective ingredients against the protein matrix, vital gluten and xanthan gum.

Then, the possibility of using high-fiber leguminous raw material, i.e. lupine flour, was investigated. Compared to other legume seeds, lupine (*Lupinus albus* L.) contains small amounts of digestible carbohydrates. The addition of lupine flour to wheat flour ensures complementarity in terms of essential amino acids. Lupine seeds are rich in phenylalanine, tyrosine, and lysine but are deficient in sulfur amino acids (methionine and cysteine), while wheat protein is characterized by the opposite relationship. Moreover, among the globulin fraction that dominates the lupine protein, it is worth paying attention to γ -conglutin. According to the literature, γ -conglutin has the ability to reduce blood glucose and insulin levels (Shrestha et al., 2021; Tapadia et al., 2021). The pasta recipe takes into account the constant addition of vital gluten and the variable share of oat β -glucans and millet flour. Many authors indicate that millet flour has GI reducing properties in cereal products (Chinma et al., 2022; Annor et al., 2017).

Another assumption was to investigate the possibility of incorporation of black cumin (*Nigella sativa*) seed cake into durum semolina pasta. The current trend is to use pomaces to enrich cereal products, i.e. ingredients left over from the pressing process applied to various types of raw materials (Sissons, 2022; Dziki, 2021). Black cumin seeds are characterized by confirmed hypoglycemic effects as well as hypolipidemic, anti-inflammatory, and neuroprotective activity (Mohit et al., 2020; Sahak et al., 2016). It is worth emphasizing the presence of volatile oils, among which thymoquinone is of great functional importance. Thymoquinone supplementation may reduce oxidative stress as well as decrease intestinal glucose absorption and inhibit hepatic gluconeogenesis in patients with type 2 diabetes (Hamdan et al., 2019).

Therefore, the subject of my research was the use of a soluble fiber preparation (oat β -glucans), as well as high-fiber and high-protein raw materials (lupine flour and black

cumin seed expeller) in the production of innovative pasta with potentially health-promoting properties.

Key words: posprandial glycaemia, oat β -glucans, lupin flour, black cumin cake