

ANNA WOCIÓR, DAGMARA ZŁOTKOWSKA, HENRYK KOSTYRA,
ELŻBIETA KOSTYRA

MIKOPROTEINY

Streszczenie

Mikoproteiny stanowią biomasę komórek grzybowych z rodzaju *Fusarium venenatum* o zredukowanej ilości RNA. W ich skład wchodzi około 50 % białek, 12 % tłuszczu, 12 % cukrów i 25 % włókna pokarmowego. Skład aminokwasowy białka mikoprotein jest porównywalny z ich zawartością w białkach mięsa, jaj, soi i pszenicy. Mikoproteiny poddane teksturyzacji mogą być wykorzystane jako substytut mięsa.

Słowa kluczowe: mikoproteiny, nowa żywność, substytuty mięsa, bezpieczeństwo żywności

Wprowadzenie

Światowy deficyt białka, którego powodem jest niewystarczająca produkcja, nieodpowiednia dystrybucja oraz coraz częściej pojawiające się choroby zwierząt i ptaków (BSE, ptasia grypa) powoduje ponowne zainteresowanie białkami pochodzącymi z niekonwencjonalnych źródeł. Jednym z nich, znanym od stuleci, są grzyby. Grzyby spożywane są na całym świecie w dużej mierze ze względu na ich aromat i teksturę. Obecnie znanych jest 35 gatunków grzybów hodowanych do celów żywieniowych i medycznych. Około 20 gatunków jest produkowanych przemysłowo. Przykładem może być grzyb *Ganoderma lucidum* (pol. lakownica lśniąca) odkryty w Chinach dwa tysiące lat temu, który do dziś stanowi jeden z podstawowych surowców medycyny Dalekiego Wschodu. Natomiast takie popularne potrawy, jak miso i tempeh wytwarzane są również z zastosowaniem grzybów mikroskopowych. W latach 60. ubiegłego stulecia podjęto próbę produkcji białka z grzybów mikroskopowych, które nazwano mikoproteinami (ang. mycoproteins).

Mgr A. Wociór, dr D. Złotkowska, prof. dr hab. H. Kostyra, Instytut Rozrodu Zwierząt i Badań Żywności PAN, Oddział Nauki o Żywności, ul. Tuwima 10, 10-747 Olsztyn, prof. dr hab. Elżbieta Kostyra, Katedra Biochemii, Wydz. Biologii, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski, ul. Oczapowskiego 1A, 10-719 Olsztyn

Struktura i skład chemiczny mikoprotein

Mikoproteiny stanowią biomasę o zredukowanej ilości RNA, pozyskaną ze strzępek grzybni *Fusarium venenatum* A3/5 (ATCC PTA-2684, wcześniej znana jako *F. graminearum*). *F. venenatum* zostało odkryte na terenach Buckinghamshire w Wielkiej Brytanii i wyselekcjonowane spośród 3000 innych izolatów z całego świata, jako niekonwencjonalne źródło białka [12, 17, 33, 35]. *F. venenatum* należy do gromady workowców (*Ascomycota*) (tab. 1) i potocznie jest określane jako pleśń (mold), nie zaś do podstawczaków (*Basidiomycota*), jak wcześniej sugerowało oznaczenie producenta żywności mikoproteinowej („mushroom in origin“) [4]. Obecnie prowadzone są prace nad pozyskaniem mikoprotein z *Fusarium oxysporum* i *Fusarium solani* [1, 31].

Tabela 1

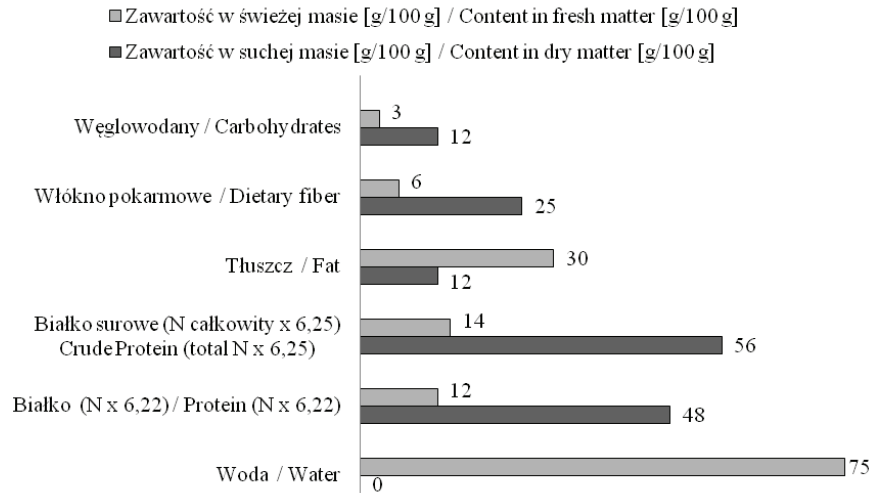
Klasyfikacja systematyczna *Fusarium venenatum*.
Taxonomic classification of *Fusarium venenatum*.

Takson / Taxon	Nazwa łacińska / Latin name
Nadkrólestwo / Domain	<i>Eukarya</i>
Supergrupa / Super-group	<i>Opisthokonta</i>
Królestwo / Kingdom	<i>Fungi</i>
Podkrólestwo / Subkingdom	<i>Dikarya</i>
Gromada / Division	<i>Ascomycota</i>
Klasa / Class	<i>Sordariomycetes</i>
Rząd / Order	<i>Hypocreales</i>
Rodzina / Family	<i>Hypocreaceae</i>
Rodzaj / Genus	<i>Fusarium</i>
Gatunek / Species	<i>Fusarium venenatum</i>

Struktura i skład mikoprotein jest typowy dla klasy grzybów niedoskonałych (*Fungi imperfecti*). W suchej masie komórek ok. 48 % stanowi białko, 12 % tłuszcz i 25 % włókno pokarmowe (rys. 1). Ściana komórkowa stanowi 1/3 suchej masy mikoprotein, w skład której wchodzi chityna (poli-N-acetyloglukozamina) oraz β -glukany (wiązania β -1,3- i β -1,6-glikozydowe). Mikoproteiny nie zawierają cholesterolu.

Technologia produkcji

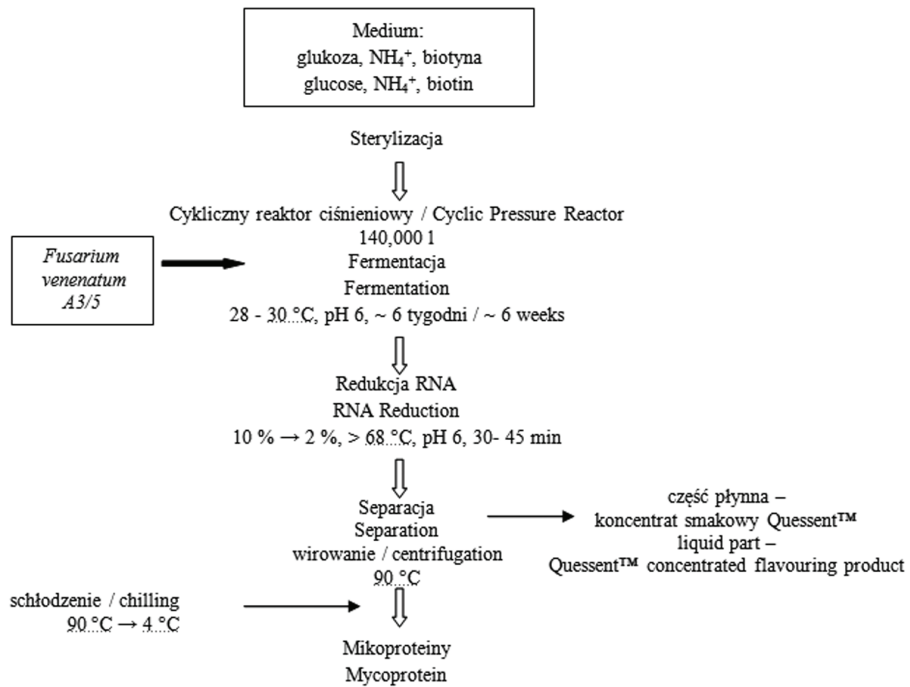
Rodger [17] oraz Wiebe [33] przedstawili schemat produkcji mikoprotein, który w uproszczeniu przedstawiono na rys. 2.



Rys. 1. Skład chemiczny mikoproteiny.

Fig. 1. Chemical composition of mycoprotein.

Opracowanie własne na podstawie: [12]. / The authors' own study on the basis of: [12].



Rys. 2. Schemat produkcji mikoprotein.

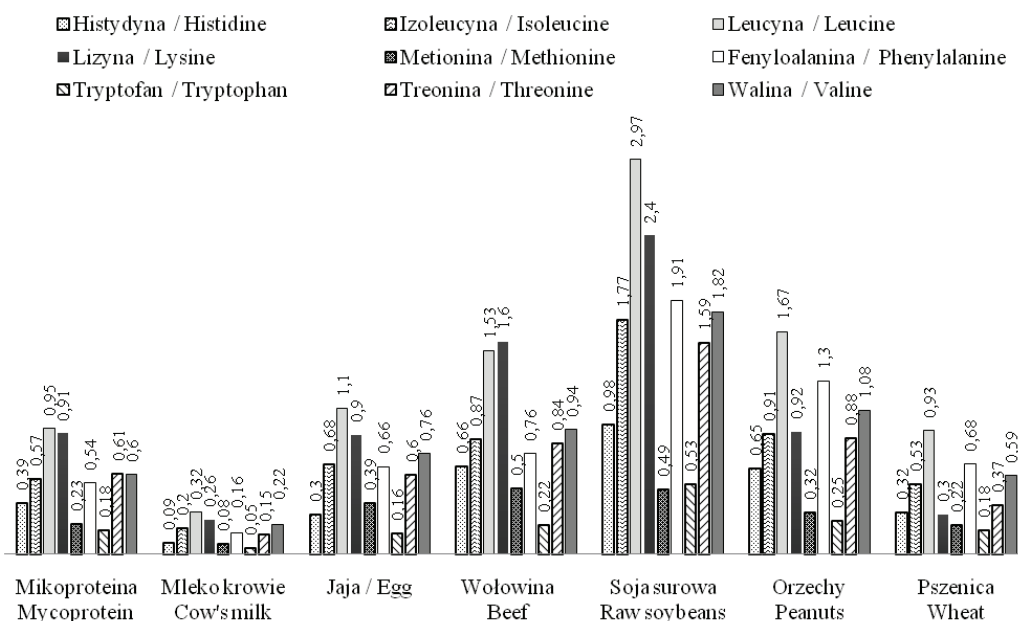
Fig. 2. Mycoprotein production diagram

Podstawę procesu stanowi fermentacja w obecności tlenu: glukozy, azotu, witamin i minerałów. W warunkach 28 - 30 °C i pH 6 następuje specyficzne dla *F. venenatum* tempo wzrostu: 0,17- 0,20 μ /h (czas podwojenia masy: 3,5 - 4 h), co umożliwia produkcję 300 - 350 kg biomasy na godzinę. Co 6 h procesu fermentacji następuje kontrola obecności mikotoksyn oraz zanieczyszczeń, pomimo że nigdy wcześniej ich nie stwierdzono. Po namnożeniu biomasy jest ona poddawana obróbce termicznej, by zredukować zawartość RNA z 10 % do około 2 % (m/m) (zalecenia Światowej Organizacji Zdrowia). W tym celu grzybnię ogrzewa się w temp. min. 68 °C, przy czym optimum procesu następuje w temp. 72 - 74 °C w ciągu 30 - 45 min [31]. W tych warunkach proteazy grzybowe podlegają dezaktywacji, za wyjątkiem RNAz, które powodują degradację rybosomalnego RNA do monomerów. Te z kolei dyfundują z komórek grzybni do bulionu i są usuwane z produktu [23]. Kolejny etap produkcji polega na odwirowaniu biomasy do postaci papki zawierającej min. 20 % (w/v) suchej masy. Produktem powyższego procesu są mikoproteiny. Ciecz wyekstrahowana w trakcie wirowania stanowi surowiec do produkcji koncentratu smakowego Quessent™ (Marlow Food Ltd.) [6, 33]. Do preparatu mikoprotein dodaje się albuminy jaja kurzego, substancji zapachowych oraz barwiących i poddaje ekstruzji. Uzyskany produkt o właściwościach zbliżonych do mięsa wykorzystuje się w żywieniu ludzi jako jego dietetyczny zamiennik [5, 17, 28]. Obecnie pod nazwą handlową Quorn™ dostępne są produkty zawierające mikoproteiny. Żywność Quorn™ została stworzona przez Marlow Foods Int., koncern obecnie należący do europejskiego inwestora Montagu Private Equity LLP. Żywność ta jest dostępna w Wielkiej Brytanii, Holandii, Belgii, Szwecji, Szwajcarii, Danii, Norwegii, USA, a niebawem będzie w Irlandii.

Zalety mikoprotein

W ostatnich latach zainteresowanie mikoproteinami znacznie wzrosło i to głównie z dwóch powodów. Jednym z nich jest obawa konsumentów przed chorobą BSE i ptasią grypą, drugim natomiast rosnąca popularność diety wegetariańskiej. W Wielkiej Brytanii po pojawieniu się BSE, ilość wegetarian wzrosła do 5,4 % populacji [18]. Rosnącą tendencję zainteresowania wegetarianizmem zaobserwowano również w Polsce. Obecnie szacuje się, że populacja wegetarian w Polsce wynosi około 2 - 3 %. Należy przyjąć, że wzrost liczby wegetarian w Polsce jest wynikiem zwiększającej się świadomości konsumentów o znaczącej roli żywienia w zachowaniu dobrostanu człowieka. Wzmoczone zainteresowanie mikoproteinami wykazuje również przemysł spożywczy, który chcąc sprostać wymogom konsumentów, zmuszony jest powiększać asortyment żywności i to spełniającej najwyższe standardy jakości, bezpieczeństwa i zdrowotności. Mikoproteiny mogą być wykorzystane w produkcji żywności nowej generacji polegającej na zasadzie genotrofii, czyli zindywidualizowanej diety. W najbliższej perspektywie będzie to dieta generacyjna, która powinna spełniać wy-

mogi żywieniowe poszczególnych grup wiekowych konsumentów. Spożywanie takiej żywności w połączeniu z aktywnym trybem życia powinno ograniczyć zapadalność ludzi na choroby dietozależne, a tych szacuje się na co najmniej 50 % w skali światowej. Mikoproteiny stają się atrakcyjnym surowcem do produkcji tego typu żywności, również ze względu na zrównoważony skład aminokwasowy (rys. 3) i dobre właściwości funkcjonalne.



Rys. 3. Zawartość aminokwasów egzogennych w mikoproteinie i innych produktach spożywczych.

Fig. 3. Content of essential amino acids in mycoprotein and other food products.

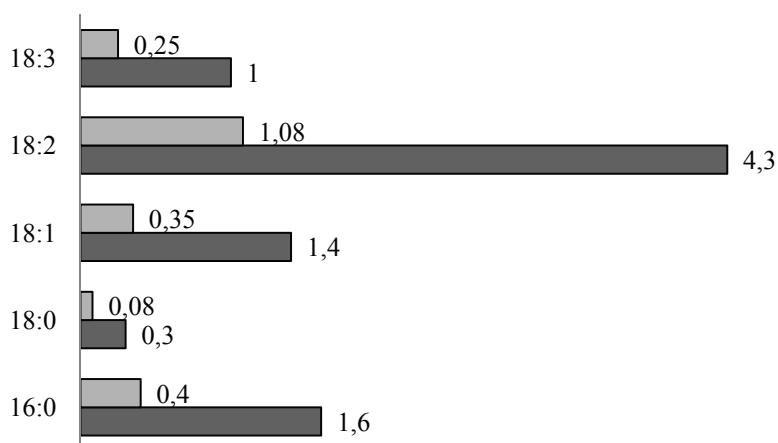
Opracowanie własne na podstawie: [12, 30] / The authors' own study on the basis of: [12, 30].

Mikoproteiny – korzyści zdrowotne

Spożywanie pokarmów zawierających mikoproteiny przyczynia się do obniżenia poziomu lipidów, w tym cholesterolu, w surowicy krwi. Przy spożyciu dziennym ok. 190 g mikoprotein przez 3 tygodnie Turnbull i wsp. [25] stwierdzili u osób badanych 13 % redukcję cholesterolu całkowitego oraz frakcji LDL, zaś poziom frakcji HDL wzrósł o 12 %. Ci sami badacze określili wpływ mikoprotein w diecie na poziom cukru i insuliny w krwi ludzi. Wyniki okazały się obiecujące, gdyż zanotowano spadek glikemii o 13 % w ciągu 60 min oraz redukcję insulinemii o 19 % po 30 min i 36 % po 60 min po spożyciu 20 g suchej masy mikoprotein. Mechanizmy tych zjawisk nie są do końca znane, przypuszcza się jednak, że czynnikiem aktywnym w tych procesach jest

blonnik, którego 35 % stanowi chityna, a 65 % β -D-glukan, jak również korzystny skład kwasów tłuszczowych w mikoproteinie (rys. 4 i 6) [3, 18, 24, 27].

□ Zawartość w świeżej masie [g/100 g] / Content in fresh matter [g/100 g]
 ■ Zawartość w suchej masie [g/100 g] / Content in dry matter [g/100 g]



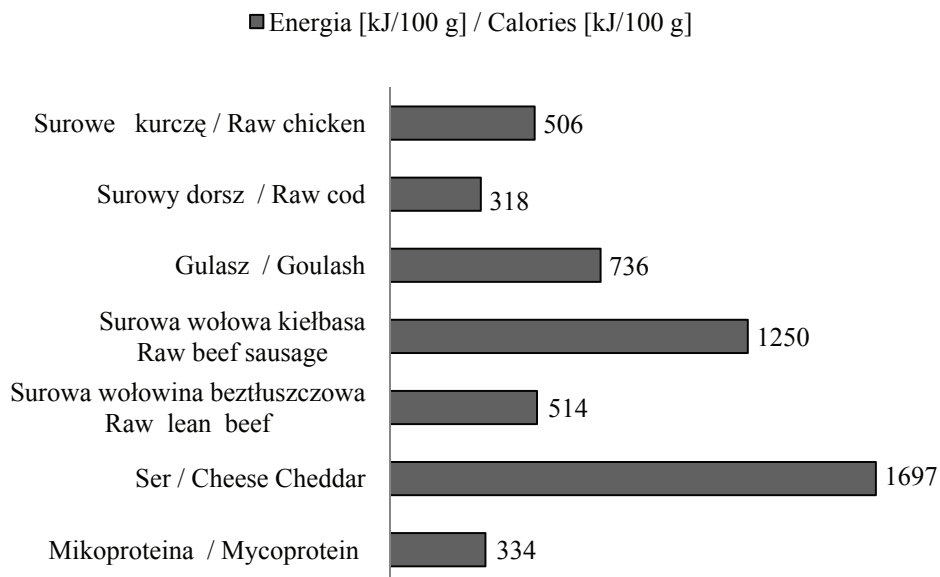
Rys. 4. Skład kwasów tłuszczowych zawartych w świeżej i suchej masie mikoproteiny.

Fig. 4. Composition of fatty acids contained in fresh and dry matter of mycoprotein.

Opracowanie własne na podstawie: [12] / The authors' own study on the basis of: [12].

W latach 90. ubiegłego wieku powstały prace badawcze, które potwierdzały istotną rolę mikoprotein jako czynnika redukującego oraz regulującego masę ciała. Działanie tego typu żywności polega na wydłużeniu czasu sytości, redukcji głodu oraz zmniejszeniu poboru energii w porównaniu z innymi produktami spożywczymi (rys. 5). W tym przypadku korzyści przypisywane żywności typu Quorn™ prawdopodobnie są także związane z wysoką koncentracją włókna pokarmowego (rys. 6) [2, 3, 26, 32, 34].

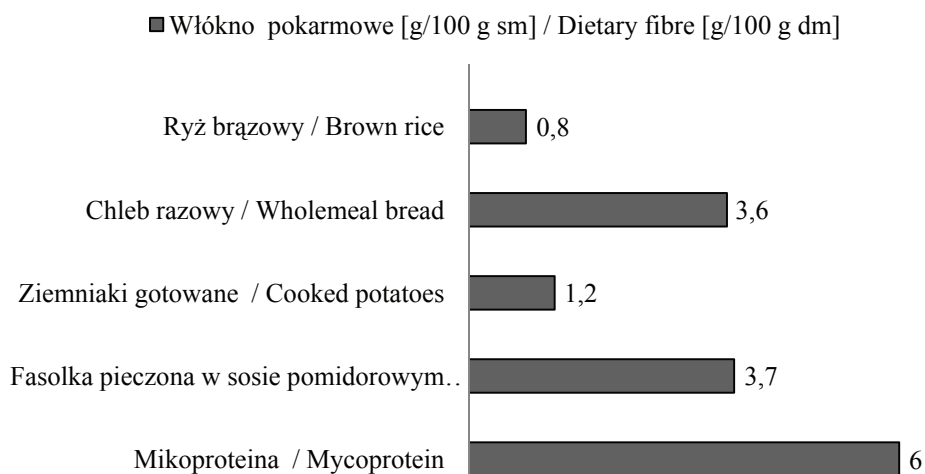
Mikoproteiny stanowią produkt o małej zawartości sodu. Są bogatym źródłem takich pierwiastków, jak cynk, selen czy żelazo [3].



Rys. 5. Wartość energetyczna wybranych produktów żywnościowych.

Fig. 5. Calorie contents of selected food products.

Opracowanie własne na podstawie: [23] / The authors' own study on the basis of: [23].



Rys. 6. Zawartość włókna pokarmowego w produktach spożywczych.

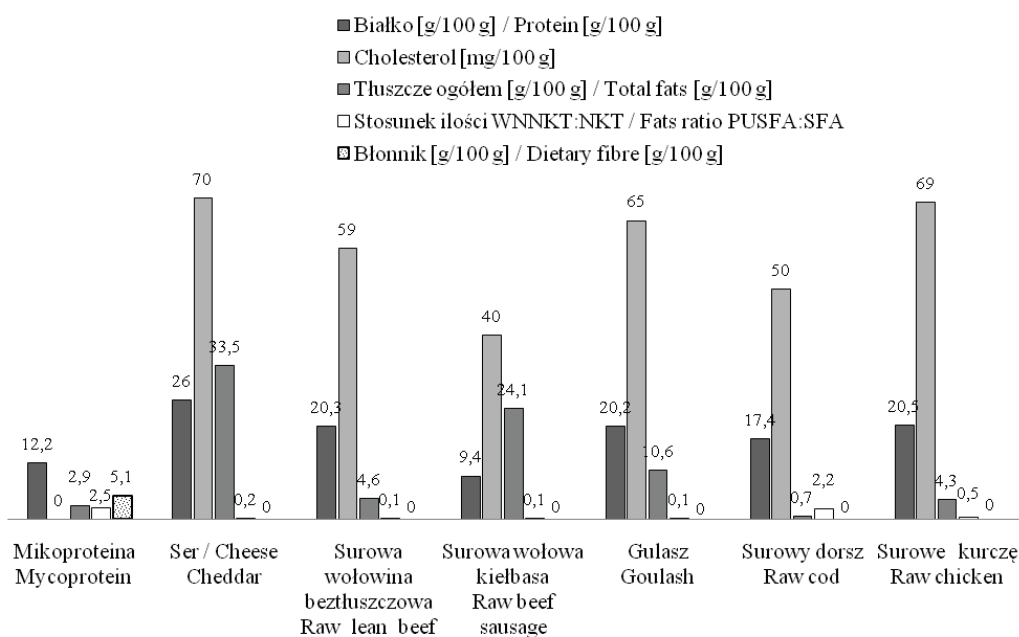
Fig. 6. Content of dietary fibre in food products.

Opracowanie własne na podstawie: [6, 20]. / The authors' own study on the basis of: [6, 20].

Mikoproteiny jako substytut produktów żywnościowych

Z konsumenckiego punktu widzenia mikoproteiny charakteryzują się dwoma akceptowalnymi właściwościami. Smakowo są obojętne oraz nie są wyczuwalne jako pojedyncze cząsteczki. Te ich reologiczne cechy pozwalają stosować je w postaci zdyspergowanej jako zamienniki tłuszczu w jogurtach, lodach i innych produktach [17].

Właściwości funkcjonalne mikoprotein zależą od rozmiarów i kształtu strzępek grzyba. Przeciętne strzępki grzyba mają długość 400-700 μ i średnicę 3-5 μ , a ich częstotliwość zwijania pojawia się raz na 250-300 μ . Charakterystyczna budowa molekularna mikoprotein ulega transformacji wskutek obróbki cieplnej. W efekcie powstaje nierozpuszczalny produkt o właściwościach zbliżonych do struktury mięsa. W celu uzyskania produktu mięsopodobnego strzępki miesza się z substancją wiążącą, innymi dodatkami i poddaje obróbce technologicznej. Produkty mikoproteinowe pozwalają na substytucję mięsa w produktach spożywczych w ilości nawet do 90 % i są doskonałym zamiennikiem białka zwierzęcego. Żywność mikoproteinowa z powodzeniem może konkurować z żywnością tradycyjną ze względu na skład odżywczy (rys. 7) [6, 17, 18].



Rys. 7. Porównanie składu chemicznego mikoproteiny Quorn™ z tradycyjnymi źródłami białka zwierzęcego.

Fig. 7. Comparison of Quorn™ mycoprotein with the traditional sources of animal protein.

Opracowanie własne na podstawie: [23]. / The authors' own study on the basis of: [23].

Wykorzystanie mikoprotein jako komponentu do produkcji płatków śniadaniowych bądź przekąsek napotyka jeszcze na trudności. Wykorzystywany do tego celu proces ekstruzji powoduje obniżenie smakowości wytworzonego produktu, co czyni go mniej konkurencyjnym wobec znanej tego typu żywności [6, 17, 32].

Bezpieczeństwo substytutów mikoproteinowych

Prezentując perspektywy produkcji żywności nowej generacji konieczne jest ustosunkowanie się do zagadnienia potencjalnej alergenicności takich produktów. Wynika to z faktu, że obowiązujące przepisy unijne wymagają znakowania każdej żywności na obecność alergenów. W roku 2001 Marlow Foods Int. wystąpił do FDA (Food and Drug Administration) o nadanie swoim produktom statusu GRAS (Generally Recognized as Safe). Rok później FDA potwierdziła bezpieczeństwo dodatku żywnościowego, jakim są mikoproteiny [6, 14, 16, 29]. Testową ewaluację bezpieczeństwa żywnościowego mikoprotein opisują Miller i Dwyer [12]. W dostępnym piśmiennictwie zamieszczane są jednak informacje dotyczące reakcji niepożądanych wskutek spożycia mikoprotein. Takie przypadki opisują m.in. Hoff i wsp. [7], Tee i wsp. [22], Jacobson [8], Katona i Kaminski [9]. Najczęściej są to reakcje takie, jak: wymioty, biegunka, wysypka, omdlenia. Stwierdzono, że w Wielkiej Brytanii jedna na 370 000 osób skarży się na występowanie powyższych symptomów [7, 8]. Dotychczas nie wyjaśniono, czy opisane objawy świadczą o alergenicności pokarmów mikoproteinowych i mechanizm reakcji jest IgE-zależny, czy też są one objawami nietolerancji pokarmowej [7].

Mimo powyższych doniesień, FDA podtrzymuje stanowisko dotyczące bezpieczeństwa produktów mikoproteinowych, twierdząc, że pewne osoby nie tolerują żywności typu Quorn™, tak jak inni mają problemy z przyswajaniem odmiennych rodzajów białek. FDA po kontakcie z osobami, u których wystąpiły reakcje niepożądane po konsumpcji żywności zawierającej mikoproteiny, oznajmiła, że nie ma dowodów na poważne zagrożenie zdrowia wskutek spożycia tego typu pokarmów [21].

Fusarium venenatum nie jest uznawany za patogenny szczep grzybów mikroskopowych. Jednak rejestrowano obecność wtórnych metabolitów w przypadku szczepów pochodnych A3/5, co pozwala przypuszczać, że *F. venenatum* jest zdolne do produkcji mikotoksyn takich, jak: trichoteceny, kulmoryny, fuzaryny oraz eniatyny B [11, 13, 19].

Mikotoksyn można uniknąć, kontrolując proces produkcji mikoprotein na etapie fermentacji, wówczas ściśle określone warunki nie są sprzyjające powstawaniu toksycznych związków. Pomimo powyższych zabiegów, mikoproteiny regularnie są poddawane testom na obecność mikotoksyn. Detekcja trichotecenów takich, jak: deoxynivalenol (DON), 3-acetoxydeoxynivalenol (3-AcDON), nivalenol (NIV), diacetoxyscirpenol (DAS), fusarenon X (FUSX) i neosolaniol (NEO) przeprowadzana jest metodą opisaną przez Patel i wsp. [15]. Limit detekcji poszczególnych trichotecenów

kształtuje się na poziomie 2×10^{-6} g/kg świeżej masy. Również poddano walidacji i wdrożono metodę oznaczania fuzaryn. W tym celu wykorzystuje się wysokosprawną chromatografię cieczową ze spektrofotometrią mas. Limit detekcji sumy fuzaryn wynosi 5×10^{-6} g/kg świeżej masy. Pomimo szczegółowych analiz mikoprotein nigdy nie stwierdzono w nich obecności mikotoksyn, zaś testy *in vitro* nie wykazały właściwości mutagennych [10, 12]. Wodna, 5 bądź 10 %, zawiesina mikoprotein aplikowana na zdrową oraz otartą skórę królików dwa razy dziennie przez 14 dni nie spowodowała żadnych reakcji skórnych; 10 % roztwór spowodował pojawienie się delikatnego rumienia na skórze świńskiej. Z kolei śródskórna iniekcja wywołała odpowiedź granulocytarną, lecz miała ona charakter podobny do reakcji wywoływanych przez inne grzyby czy żywność wywodzącą się z mikroorganizmów. Wykazano także brak potencjalnych właściwości estrogennych preparatu mikoproteinowego. Testując bezpieczeństwo żywności mikoproteinowej, przeprowadzono eksperyment żywieniowy. Do diety grupy ludzi wprowadzono mikoproteiny w ilości od 10 do 40 g na dzień przez okres jednego miesiąca. Osobnicy, którzy wskutek nowego składnika w pożywieniu doświadczyli jakichkolwiek niekorzystnych reakcji organizmu, ponownie zostali poddani próbie żywieniowej w kontrolowanych warunkach. Badani tym razem nie wykazywali żadnych negatywnych następstw, za wyjątkiem osób ze stwierdzoną atopową alergią na pokarmy grzybopochodne. Badania nad reaktywnością krzyżową wykazały, że mikoproteiny mają wspólne determinanty antygenowe m.in. z *Aspergillus fumigatus*, *Cladosporium herbarum* oraz *Alternaria alternata*. Z tego powodu u pacjentów przejawiających alergię na pleśń mogą wystąpić niepożądane objawy na skutek inhalacji lub spożycia mikoprotein [9, 22]. Tee i wsp. [22] przeprowadzili testy RAST (ang. *radio-allergosorbent test*) wśród osób pracujących przy produkcji mikoprotein w okresie dwóch lat. Jedynie u dwóch pracowników wykazano specyficzne przeciwciała IgE na poziomie większym bądź równym 2 %, lecz u żadnego nie zarejestrowano niepokojących symptomów. Mikoproteiny uznano za pokarm dobrze tolerowany, o znikomych właściwościach alergicznych [6, 10, 12].

Podsumowanie

Mikoproteiny można uważać za wysokiej jakości alternatywne źródło białka spożywczego. Ich właściwości biologiczne i funkcjonalne pozwalają opracowywać nowe atrakcyjne produkty spożywcze o prozdrowotnych właściwościach. Wykorzystanie do ich produkcji metod biotechnologicznych stwarza szansę konkurencyjnego zmniejszenia kosztów ich wytwarzania i dalszego doskonalenia ich właściwości sensorycznych i żywieniowych.

Literatura

- [1] Ahangi Z., Shojaosadati S.A., Nikoopour H.: Study of mycoprotein production using *Fusarium oxysporum* PTCC 5115 and reduction of its RNA content. *Pakistan J. Nutr*, 2008, **7** (2), 240-243.
- [2] Burley V.J., Paul A.W., Blundell J.E.: Influence of a high-fibre food (myco-protein) on appetite: effects on satiation (within meals) and satiety (following meals). *Eur. J. Clin. Nutr.*, 1993, **47**, 409-418.
- [3] Denny A., Aisbitt B., Lunn J.: Mycoprotein and health. *Nutrition Bulletin*, 2008, **33** (4), 298-310.
- [4] Feeney J.M.: Mushrooms- intake, composition, and research. *Nutrition Today*, 2006, **41** (5), 219-226.
- [5] Ghorai S., Banik S.P., Verma D., Chowdhury S., Mukherjee S., Khowala S.: Fungal biotechnology in food and feed processing. *Food Res. Int.*, 2009, **42**, 577-587.
- [6] GRAS notification for mycoprotein, Marlow Food Ltd., North Yorkshire, United Kingdom, 2001.
- [7] Hoff M., Trüeb R.M., Ballmer-Weber B.K., Vieths S., Wuethrich B.: Immediate type hypersensitivity reaction to ingestion of mycoprotein (Quorn) in a patient allergic to molds caused by acidic ribosomal protein P2. *J. Allergy Clin. Immunol.*, **111** (5), 1106-1110.
- [8] Jacobson M. F.: Adverse reactions to a new food ingredient. *Am. J. Med.*, 2003, **115**, 334.
- [9] Katona S.J., Kaminski E.R.: Sensitivity to Quorn mycoprotein (*Fusarium venenatum*) in a mould allergic patient. *J. Clin. Pathol.*, 2002, **55**, 876-879.
- [10] Miller S.A., Dwyer J., Johnson E.A., Karel M., Young V.R.: Myco-Protein: Report of the expert panel on Mycoprotein. 1998. (niepublikowane), Marlow Foods Ltd., North Yorkshire, United Kingdom.
- [11] Miller J.D., MacKenzie S.: Secondary metabolites of *Fusarium venenatum* strains with deletions in the *Tri5* gene encoding trichodiene synthetase. *Mycologia*, 2000, **92**, 764-771.
- [12] Miller S.A., Dwyer J.: Evaluating the safety and nutritional value of mycoprotein. *Food Technol.*, 2001, **55** (7), 42-47.
- [13] O'Donnel K., Cigelnik E., Casper H.H.: Molecular phylogenetic, morphological, and micotoxin data support reidentification of the Quorn mycoprotein fungus as *Fusarium venenatum*. *Fungal Genet. Biol.*, 1998, **23**, 57-67.
- [14] Olempska-Beer Z., Merker R., Ditto M., DiNovi M.: Food-processing enzymes from recombinant microorganisms- a review. *Reg. Toxic. Pharmac.*, 2006, **45**, 144-158.
- [15] Patel S., Hazel C.M., Winterton A.G.M., Mortby M.: Survey of ethnic foods for mycotoxins. *Food Add. Cont.*, 1996, **13** (7), 833-841.
- [16] Peregrin T.: Mycoprotein: Is America ready for a meal substitute derived from a fungus? *J. Am. Diet. Assoc.*, 2002, **102** (5), 628.
- [17] Rodger G.: Production and properties of mycoprotein as meat alternative. *Food Technol.*, 2001, **55**, 42-47.
- [18] Sadler M. J.: Meat alternatives – market developments and health benefits. *Trends Food Sci. Technol.*, 2004, **15** (5), 250-260.
- [19] Song Z., Cox R.J., Lazarus C.M., Simpson T.J.: Fusarin C biosynthesis in *Fusarium moniliforme* and *Fusarium venenatum*. *Chem-BioChem.*, 2004, **5**, 1196-1203.
- [20] Supplement: Approximate dietary fibre content of selected foods. *MeReC Bulletin*, 2004, **14** (6).
- [21] Tajkarimi M., Mount M.E.: Fungi and mycotoxins. *PHR 250 Course- Foodborne Infections and intoxications*, 5/2/2007.
- [22] Tee R.D., Gordon D.J., Welch J.A.: Investigation of possible adverse allergic reactions to mycoprotein ("Quorn"). *Clin. Exp. Allergy*, 1993, **23**, 257-260.
- [23] Trinci A.P.J.: 'Quorn' Mycoprotein. *Mycologist*, 1991, **5**, 106-109.

- [24] Turnbull W.H., Leeds A.R., Edwards D.G.: Effect of mycoprotein on blood lipids. *Am J Clin Nutr.*, 1990, **52**, 646-650.
- [25] Turnbull W.H., Leeds A.R., Edwards D.G.: Mycoprotein reduces blood lipids in free-living subjects. *Am J Clin Nutr.*, 1992, **55**, 415-419.
- [26] Turnbull W.H., Walton J., Leeds A.R.: Acute effects of mycoprotein on subsequent energy intake and appetite variable. *Am J Clin Nutr.*, 1993, **58**, 507-512.
- [27] Turnbull W.H., Ward T.: Mycoprotein reduces glycemia and insulinemia when taken with an oral-glucose-tolerance test. *Am J Clin Nutr.*, 1995, **61**, 135-140.
- [28] Ugalde U., Castrillo J.I.: Single cell proteins from yeast and fungi. *Applied Mycology and Biotechnology*, 2002, **2**, 123-149.
- [29] US Food and Drug Administration Center for Food Safety and Applied Nutrition, Office of Food Additive Safety Agency Response Letter GRAS Notice No. GRN 000091, 2002.
- [30] USDA Nutrient Data Base for Standard Reference, March 12, 1998. U.S. Dept. of Agriculture Web site.
- [31] Ward P.N.: Production of food. 1998, US Patent, No 5739030.
- [32] Wiebe M.G.: Quorn™ Myco-protein – Overview of successful fungal product. *Mycologist*, 2004, **18 (1)**, 17-20.
- [33] Wiebe M.G.: Myco-protein from *Fusarium venenatum*: a well-established product for human consumption. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 2002, **58**, 421-427.
- [34] Williamson D.A., Geiselman P.J., Lovejoy J., Greenway F., Volaufova J., Martin C.K., Arnett C., Ortego L.: Effects of consuming mycoprotein, tofu or chicken upon subsequent eating behavior, hunger and safety. *Appetite*, 2006, **46 (1)**, 41-48.
- [35] Yoder W.T., Christianson L.M.: Species-specific primers resolve members of *Fusarium* section *Fusarium*; Taxonomic status of edible “Quorn” fungus reevaluated. *Fungal Genetics Biol.*, 1998, **23**, 68-80.

MYCOPROTEIN

S u m m a r y

Mycoprotein is a biomass of the fungi cells of *Fusarium venenatum* with a reduced content of RNA. It consists of about 50 % of protein, 12 % of lipids, 12 % of sugars, and 25 % of dietary fibre. The amino acid content in mycoprotein is comparable with the amino acid content in meat, egg, soy, and wheat proteins. The mycoprotein processed by texturization can be used as a meat substitute.

Key words: mycoprotein, novel food, meat substitutes, food safety ☒