

**Marzena Bueschke¹, Bartosz Kulczyński², Anna Gramza-Michałowska³,
Tomasz Kubiak⁴**
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

Alternatywne źródła białka w żywieniu człowieka

Alternative Sources of Protein in Human Nutrition

Synopsis. Stale zwiększająca się liczba ludności świata powoduje konieczność zapewnienia odpowiedniej ilości pożywienia. Obecnie ponad miliard osób na świecie głoduje. Jednym z rozwiązań narastającego problemu głodu jest zwiększenie produkcji żywności w skali globalnej, co wiąże się z wieloma problemami ekonomicznymi. Zaspokojenie potrzeb żywieniowych populacji ludzkiej wymaga zatem poszukiwania niekonwencjonalnych źródeł składników pokarmowych, w tym białka. Obiecującą alternatywą są przede wszystkim białka owadów jadalnych i organizmów morskich. Mają duży potencjał jako komponent diety z uwagi na wysoką wartość odżywczą, zawartość pełnowartościowego białka, tłuszczu, składników mineralnych i witamin. Korzyści wynikające z wprowadzenia na rynek żywności na bazie owadów to także pozytywne aspekty środowiskowe, ekonomiczne i zdrowotne. Aktualnie w większości krajów europejskich, głównym problemem limitującym wykorzystanie owadów w diecie człowieka jest brak akceptacji tego typu żywności oraz jej bezpieczeństwo. Niniejsza praca obejmuje przegląd danych literaturowych dotyczących alternatywnych źródeł białka, w tym owadów jadalnych oraz możliwości ich wykorzystania w żywieniu człowieka.

Słowa kluczowe: białko, żywienie człowieka, alternatywne źródła białka, owady jadalne

Abstract. The constantly increasing population of the world requires necessity to provide a sufficient amount of food. Presently, more than one billion people in the world suffer from hunger. One of the solutions to the growing hunger problem is to increase global food production, which is however associated with many economic problems. Therefore, new unconventional sources of nutrients, including proteins, have to be found to satisfy the nutritional needs of human populations. Edible insects and marine organisms are promising alternatives. They have a large potential as a diet component due to their high nutritional value, complete protein content, fat, minerals and vitamins. The benefits from placing insect-based foods on the market are also reflected in positive environmental, economic and health issues. Currently, in most European countries the main problem limiting the usage of insects in human diet is the lack of acceptance of this type of food and its safety. This study includes a literature review focused on alternative sources of protein, including edible insects and their potential use in human nutrition.

Key words: protein, human nutrition, alternative protein sources, edible insects

Wprowadzenie

Białko pokarmowe jest jednym z najważniejszych składników odżywczych w żywieniu człowieka, a jego głównym źródłem są produkty pochodzenia zwierzęcego. Wraz ze stale

¹ mgr, Katedra Technologii Żywności Człowieka UP w Poznaniu, ul. Wojska Polskiego 28, 60-637 Poznań, e-mail: marzena.grden@up.poznan.pl

² mgr, e-mail: bartosz.kulczynski@up.poznan.pl

³ dr hab., prof. UPP, e-mail: angramza@up.poznan.pl

⁴ inż., e-mail: tomasz.kubiak@up.poznan.pl

zwiększającą się liczbą ludności na świecie, zwiększeniu ulega także zapotrzebowanie na składniki odżywcze, w tym pełnowartościowe białko. Szacuje się, że w 2025 roku liczba ludności na świecie wyniesie blisko 8 miliardów. Według przewidywań FAO, by zaspokoić potrzeby żywieniowe populacji ludzkiej, produkcja żywności do 2030 roku powinna wzrosnąć dwukrotnie (FAO i in., 2015; FAO, 2008). Istotnym problemem utrudniającym zwiększenie produkcji żywności jest wciąż zmniejszająca się powierzchnia gruntów rolnych, która z czasem uniemożliwi powstawanie nowych gospodarstw (Buczyńska i Szadkowska-Stańczyk, 2010). Uwagę należy także zwrócić na problem stale zmniejszających się światowych zasobów wodnych, co znacząco przyczynia się do zwiększenia kosztów oraz utrudnienia hodowli zwierząt, z uwagi na jej wysoką zasobochłonność. Istnieje zatem realne niebezpieczeństwo, że intensyfikacja produkcji żywności nie przyczyni się do poprawy bezpieczeństwa żywnościowego na świecie, a samo zwiększenie tradycyjnej hodowli zwierzęcej nie będzie możliwe.

Z raportu FAO z 2015 roku wynika, iż na świecie około 795 milionów ludzi jest niedożywionych, co oznacza, że ponad jedna na 9 osób żyjących na świecie cierpi z powodu głodu. Największy odsetek osób przewlekłe niedożywionych notuje się w krajach rozwijających się, w których jednocześnie przyrost naturalny jest największy (FAO i in., 2015).

Celem niniejszego opracowania jest przegląd aktualnych danych literaturowych dotyczących alternatywnych źródeł białka, w szczególności owadów jadalnych oraz możliwości ich wykorzystania w żywieniu człowieka.

Alternatywne źródła białka

Alternatywne źródła białka definiowane są jako te, które nie były dotychczas przeznaczone do żywienia ludzi i zwierząt lub stosowane były w ograniczonym zakresie i tylko wśród niektórych populacji. Najczęściej wymienianymi alternatywnymi źródłami białek są: organizmy jednokomórkowe (drożdże) oraz wodne (kryl, algi) (Piasecka-Kwiatkowska i Stasińska, 2016). Jednym z bardzo cennych z punktu widzenia żywieniowego, niekonwencjonalnych źródeł białka są także insekty, których skład aminokwasowy białek jest najbardziej zbliżony do białek zwierzęcych tradycyjnie spożywanych w diecie, a samo białko charakteryzuje się wysokim stopniem strawności (77,9-98,9%) (Bukkens, 1997).

Ze względów zarówno ekonomicznych, jak i zdrowotnych, ale także środowiskowych, wykorzystanie w produkcji żywności alternatywnych źródeł białek innych niż konwencjonalne mięso jest szeroko dyskutowane (Anupama i Ravindra, 2000; Wociór i in., 2010).

Białka organizmów jednokomórkowych

Białka organizmów jednokomórkowych (*Single Cell Protein*–SCP) pozyskiwane są z wysuszonych komórek mikroorganizmów, takich jak bakterie (*Cellulomonas*, *Alcaligenes*), drożdże (*Candida*, *Saccharomyces*), algi (*Chlorella*, *Spirulina*, *Scenedesmus*) i pleśnie (*Trichoderma*, *Fusarium*, *Rhizopus*) (Anupama i Ravindra, 2000; Becker, 2007). Wielkoskalowy proces otrzymywania SPC stwarza wiele możliwości w technologii

produkcji żywności, między innymi różnorodność metod, surowców i wykorzystywanych mikroorganizmów, wysoką sprawność konwersji substratu i wydajność związaną z szybkim wzrostem mikroorganizmów oraz brak zależności od czynników sezonowych i klimatycznych (Nasseri i in., 2011).

Z żywieniowego punktu widzenia, mikroorganizmy mogą stanowić cenne źródło białka o wysokiej wartości biologicznej. W zależności od rodzaju, szczepu i warunków wzrostu mikroorganizmów oraz składu pożywki, zawartość białka w suchej substancji biomasy jednokomórkowców może się wahać w granicach 40-80%. Najwięcej białka zawierają bakterie (50-80%), następnie algi i drożdże (30-75%), a najmniej pleśnie (20-45%). Białka jednokomórkowców są bogatym źródłem lizyny, jednakże są ubogie w niektóre niezbędne aminokwasy, głównie siarkowe (metionina i cysteina) (tab. 1). Wartość odżywcza tych białek jest wyższa niż białek pochodzenia roślinnego, a po uzupełnieniu w metioninę, porównywalna z białkami pochodzenia zwierzęcego (Nalage i in., 2016). Dowiedziono także, że SPC pozyskiwane z mikroorganizmów są bogatym źródłem witamin z grupy B oraz składników mineralnych, jak cynk, fosfor, magnez, selen, chrom (Adedayo i in., 2011). Ponadto niektóre gatunki drożdży np. *Saccharomyces cerevisiae*, wykazują działanie probiotyczne w organizmie człowieka (Muszyńska i in., 2013).

Składnikiem biomasy jednokomórkowców są także kwasy nukleinowe (2-18% suchej substancji), co stanowi potencjalne niebezpieczeństwo dla organizmu człowieka, ponieważ może doprowadzić do odkładania się kryształów kwasu moczowego w nerkach lub stawach, prowadząc w konsekwencji do dny moczowej. Ich zawartość jest najwyższa w komórkach bakterii, a najniższa w komórkach glonów (Nasseri i in., 2011). Jednakże, kwasy nukleinowe są obecne także w żywności konwencjonalnej i stanowią stały składnik diety zarówno mięsnej jak i jarskiej (Głazowska i in., 2016). Zawartość kwasów nukleinowych w diecie nie powinna przekraczać 2 g na dzień, zatem spożycie SCP nie może przekroczyć ilości 30 g na dobę (Piasecka-Kwiatkowska i Stasińska, 2016). W doświadczeniu wykonanym przez Yadave i in. (2016) dowiedziono, iż wykorzystanie połączenia dwóch substancji chemicznych: sarkozyny N-lauroilu i NH_4OH pozwala zmniejszyć zawartość kwasów nukleinowych w biomacie do pożądanego poziomu (<2%). Białka organizmów jednokomórkowych mogą także wpływać niekorzystnie na układ immunologiczny człowieka, będąc przyczyną alergii (Nasseri i in., 2011). Przeszkodami w wykorzystaniu białka pochodzenia mikrobiologicznego w żywieniu człowieka jest obecność w nich substancji antyodżywczych, takich jak kwasy nukleinowe, a także trudnych do wyeliminowania podczas procesu produkcji, pozostałości nietypowych składników biomasy oraz możliwość skażeń mikrobiologicznych (Nasseri i in., 2011). SPC na skalę przemysłową produkuje się głównie jako dodatek do pasz dla zwierząt, gdyż koszty produkcji białek mikrobiologicznych, które mogłyby być składnikiem żywności przeznaczonej dla człowieka są zbyt wysokie (Nalage i in., 2016; Nasseri i in., 2011).

Białka organizmów morskich

Kryl, czyli gatunki skorupiaków żyjących w oceanach na całym świecie, stanowi istotne ogniwo łańcucha pokarmowego, jako pożywienie dla zwierząt morskich i ptaków, a w znacznie mniejszym stopniu ludzi. Kryl w wyglądzie przypomina krewetki, osiąga masę od 0,01 do 2,0 g oraz długość od 0,8 do 6,0 cm. W naturalnym środowisku tworzy duże skupiska, ponad mln osobników/m³. Do najlepiej zbadanych gatunków kryla pod kątem spożycia przez

ludzi jest Kryl Antarktyczny (*Euphausia superba*) i Kryl Pacyficzny (*Euphausia pacifica*). Kryl stanowi bogate źródło pełnowartościowego białka w ilości 60-65% w suchej masie (Nicol i in., 2000), którego zawartość w tkance mięśniowej jest uzależniona od gatunku oraz pory roku i oscyluje między 15-17%. Białko to posiada w swoim składzie większość niezbędnych aminokwasów (tab. 1).

Głównym problemem, który wiąże się z zastosowaniem tych surowców na skalę przemysłową w żywieniu człowieka jest stosunkowo niska trwałość preparatów białkowych oraz obecność substancji antyodżywczych, jak chityna i inne drobnocząsteczkowe substancje w wyrobach produkowanych z kryla (Jakubiec-Puka, 1987).

Liczne analizy i badania żywieniowe wykazały, że źródło wysokiej jakości, porównywalnej do konwencjonalnych białek roślinnych stanowią także algi (Becker, 2007). Algi występują w środowiskach wodnych oraz lądowych o dużej wilgotności, na obszarze całego świata. Do produkcji na dużą skalę wykorzystywane są najczęściej algi takie jak: *Chlorella* sp., i *Spirulina* sp. (Tang i Suter, 2011; Becker, 2007).

Spirulina nazwę zawdzięcza widocznym pod mikroskopem, spiralnym włóknom, z których jest zbudowana. Wartość odżywcza *Spiruliny* jest zmienna i zależy od warunków wzrostu. Biodostępność składników odżywczych ze *Spiruliny* może być większa niż z innych źródeł pochodzenia roślinnego, z uwagi na budowę ściany komórkowej, która w przeciwieństwie do niestrawnej celulozy, składa się z białka, węglowodanów oraz tłuszczu. *Spirulina* charakteryzuje się szczególnie dużą zawartością białka (60-70% w suchej masie) o wysokiej strawności (90%). Zawiera wszystkie niezbędne aminokwasy, w znacznych ilościach (tab. 1). *Spirulina* stanowi także bogate źródło witaminy B₁₂ i karotenoidów. W licznych badaniach udowodniono także prozdrowotne właściwości *Spiruliny*, między innymi w hipercholesterolemii, hiperglikemii, chorobach układu krążenia, anemii, chorobach zapalnych, nowotworowych i infekcjach wirusowych (Deng i Chow, 2010; Selmi i in., 2011; Tang i Suter, 2011).

Spośród glonów o wysokiej zawartości białka, wyróżnić można także *Chlorellę* (około 60% białka w suchej masie). *Chlorella* jest także źródłem wielu witamin, w tym witaminy A, B₁₂ oraz folianów i składników mineralnych, jak m. in. żelazo. Jednakże, w przeciwieństwie do *Spiruliny*, jej ściana komórkowa jest sztywna i niestrawna, dlatego też komórki *Chlorelli*, w celu zwiększenia wartości odżywczej, wymagają specjalnego przygotowania, celem usunięcia bądź zniszczenia niestrawnych ścian komórkowych. Wykazano także szereg właściwości prozdrowotnych *Chlorelli*, m.in. działanie hipotensyjne, przeciwutleniające i immunosupresyjne oraz zmniejszające ryzyko anemii (Halperin i in., 2003; Merchant i in., 2002; Nakano i in., 2010; Tang i Suter, 2011).

Pod względem żywieniowym algi morskie stanowią niewątpliwie doskonałą alternatywę dla konwencjonalnych białek pochodzenia roślinnego. Jednakże, popularność białka glonów w sektorze spożywczym jest wciąż w fazie rozwoju, między innymi ze względu na wysokie koszty produkcji i techniczne trudności z opracowaniem produktów akceptowanych pod względem smaku (Becker, 2007). Obecnie glony te znajdują zastosowanie głównie jako suplementy na rynku żywności o działaniu prozdrowotnym. Na podstawie dostępnych danych, można stwierdzić, że spożycie alg jest bezpieczne dla człowieka, gdy zachowane są prawidłowe warunki hodowli. Choć algi wykazują wysoką zdolność wiązania metali ciężkich, hodowla w odpowiedniej jakości i czystości wodach, nie stanowi zagrożenia dla konsumentów (Doshi i in., 2007; Tang i Suter, 2011).

Owady jadalne w żywieniu człowieka

Dyskutowanym obecnie przez FAO oraz Komisję Europejską alternatywnym źródłem pełnowartościowego białka są owady jadalne. Liczbę gatunków owadów żyjących na ziemi ocenia się na ok. 2 miliony, które stanowią ważny element środowiska naturalnego, głównie jako pokarm dla wielu gatunków zwierząt (Boczek i Pruszyński, 2013). Insekty i ich produkty znajdują zastosowanie w sektorze spożywczym, farmaceutycznym, chemicznym, a także tekstylnym. W przemyśle wykorzystywane są m.in. miód pszczoły, kit, wosk, jedwab naturalny, kantarydyna, koszenila, szelak, galasy. W wielu rejonach świata np. w Chinach, Japonii, Tajlandii, RPA, czy Meksyku owady są także składnikiem diety. Uznaje się, że jadalnych dla człowieka jest około 2 tysięcy gatunków (Rumpold i Schlüter, 2013). Szacuje się, że 1,9 tysięcy gatunków owadów jest konsumowanych przez ok. 2 mld ludzi w ok. 80 krajach (FAO, 2013). Do celów spożywczych wykorzystywane są niemalże wszystkie grupy owadów: chrząszcze, gąsienice, osy, pszczoły, mrówki, świerszcze, szarańcza, termity, pluskwy, ważki, muchy i inne, zarówno dorosłe osobniki, ale także poczwarki, larwy i jaja (Boczek i Pruszyński, 2013). W Europie do niedawna insekty nie były postrzegane jako składnik diety, a ich spożycie ogranicza się do nieświadomej konsumpcji produktów, w których są one wykorzystywane jako dodatek do żywności (np. koszenila).

Do najczęściej wymienianych w literaturze owadów jadalnych należą świerszcze i szarańcze (Orthoptera), będące jednymi z najczęściej spożywanych na świecie gatunków, czerw pszczoły (jaja, larwy i poczwarki pszczoł), chrząszcze (Coleoptera), mącznik młynarek (*T. molitor*) wykorzystywany do produkcji pasz dla ryb i drobiu, oraz termity (Isoptera) powszechnie spożywane w krajach Afryki (Bąk i Wilde, 2002; Boczek i Pruszyński, 2013; Nonaka, 2009; Resh i Cardé, 2009).

Z punktu widzenia żywieniowego owady stanowią istotną, aczkolwiek niedocenianą alternatywę dla składników odżywczych dostarczanych z konwencjonalnych źródeł zwierzęcych. Charakteryzują się dużą wartością odżywczą, będąc źródłem energii, białka, węglowodanów, tłuszczu oraz witamin i składników mineralnych. Liczne analizy składu chemicznego jadalnych insektów wykazały dużą zmienność pomiędzy gatunkami, a także w zależności od stadium rozwoju, siedliska oraz rodzaju pokarmu (Rumpold i Schlüter, 2013; Bartkiewicz i Babicz-Zielińska, 2016).

Zawartość białka w owadach waha się w granicach 5-77 g w 100 g (Rumpold i Schlüter, 2013), w wielu gatunkach białko stanowi ponad 60% suchej masy, a największą jego zawartość odnotowano dla gatunków z rzędu Orthoptera (świerszcze, szarańcza, koniki polne) (Yi i in., 2013). Białko owadów cechuje się strawnością porównywalną z białkiem jaja (77-98%) i jest uznawane za pełnowartościowe, na poziomie porównywalnym z białkami mleka i wołowiny (Ramos-Elorduy Blásquez i in., 2012; Shockley i Dossey, 2013). Proteiny owadów są dobrym źródłem treoniny, waliny, histydyny fenyloalaniny i tyrozyny, a w przypadku niektórych gatunków także tryptofanu, lizyny i treoniny (tab. 1) (Rumpold i Schlüter, 2013; Zielińska i in., 2015A).

Owady jadalne są także źródłem tłuszczu, którego zawartość waha się w granicach 10-50% (Zielińska i in., 2015B). Dla gatunków z rzędu Orthoptera wynosi średnio 13%, z rzędu Coleoptera (chrząszcze) 33% (Rumpold i Schlüter, 2013), a w zbadanych przez Ekpo i Onigbinde (2005) larwach chrząszczy gatunku *Rhynchophorus phoenicis* należących do rodziny Curculionidae zawartość tłuszczu wynosi 67% suchej masy i jest większa niż w przeważającej części konwencjonalnie spożywanych produktów wysokobiałkowych, jak mięso wołowe, drobiowe, czy jaja. Skład kwasów tłuszczowych w owadach jest

porównywalny ze składem tłuszczu drobiowego i rybiego pod względem stopnia ich nienasyceń, jednakże owady charakteryzują się większą zawartością polienowych kwasów tłuszczowych (Rumpold i Schlüter, 2013). W badaniach wykonanych przez Yanga i in. (2006) wykazano, że skład kwasów tłuszczowych może być modelowany poprzez zastosowanie odpowiednich modyfikacji diety owadów, a w procesie odtuszczania mączki uzyskanej z owadów, możliwe jest także uzyskanie oleju, który może mieć wszechstronne zastosowanie w żywieniu człowieka (FAO, 2013).

Tabela 1. Profil aminokwasowy białek pochodzących z alternatywnych źródeł białka (g/100 g)

Table 1. Amino acid profile of proteins derived from alternative sources of protein (g/100 g)

Źródła białka	Algi	Bakterie	Drożdże	Grzyby	Kryl	Owady	Wzorzec FAO
Białko ogółem (% s.m.)	40-60	50-65	44-55	30-45	60-65	5-77	nd
Izoleucyna	4,7	3,3	2,5	1,8	2,5	3,8	2,8
Leucyna	8,6	5,4	3,6	2,9	4	6,5	6,6
Walina	6,2	4,2	2,7	2,2	2,6	5,2	3,5
Lizyna	6,3	4,3	3,5	3	4,4	5,1	5,8
Fenylalanina	9	5,8	4,1	3,1	5	9,7	6,3
Tyrozyna							
Metionina							
Cysteina	3,1	2,2	1,5	1	2,4	3,5	2,5
Tryptofan	0,9	0,8	0,6	0,3	0,7	1,2	1,1
Treonina	5,4	3,3	2,5	2	2,2	3,7	3,4
Arginina	6,9	3,7	2,3	2,7	3,8	4,5	nd
Histydyna	2,1	1,5	1,2	1	1,1	2,2	nd
Kwas asparaginowy	9,7	nd	nd	nd	5,3	nd	nd
Glutamina	10,9	nd	nd	nd	6,7	9,7	nd
Glicyna	6,2	nd	nd	nd	3,4	5,1	nd
Prolina	4,3	nd	nd	nd	2,3	4,6	nd
Seryna	4,3	nd	nd	nd	1,9	4	nd
Alanina	nd	nd	nd	nd	2,9	5,9	nd

s.m. – sucha masa, nd – brak danych, no data

Źródło: Becker 2007; Nalage i in. 2016; Nasseri i in. 2011; Piasecka-Kwiatkowska i Stasińska 2016; Rumpold i Schlüter 2013; Tou i in. 2007; Zielińska i in., 2017.

Insekty charakteryzują się niską zawartością węglowodanów (0,1-5,3% suchej masy) i stosunkowo wysoką zawartością błonnika, występującego w przeważającej części w postaci chityny (Ekpo i Onigbinde, 2005; Finke, 2007; Zielińska i in., 2015A). Finke (2007) oszacował zawartość chityny w gatunkach owadów jadalnych na poziomie 2,7-49,8 mg na kg świeżych owadów oraz 11,6-137,2 mg na kg suchej masy. W badaniach Zielińskiej i in. (2015A) oceniano natomiast ilość błonnika występującego w świerszczach (*G. sigillatus*), chrząszczach (*T. molitor*) i szarańczach (*S. gregaria*), która oscylowała w granicach 1,97-3,65% w przeliczeniu na suchą masę.

Na wysoką wartość odżywczą owadów jadalnych wpływa również obecność w nich witamin i składników mineralnych. Spośród składników mineralnych owady charakteryzują się najwyższą zawartością żelaza oraz cynku (Bukkens, 2005; Christensen i in., 2006). W mniejszych ilościach obecne są również miedź, mangan, magnez i w niewielkich ilościach wapń (Ekpo i Onigbinde, 2005). Insekty stanowią także źródło tiaminy (0,1-4,0 mg na 100 g suchej masy), ryboflawiny (0,1-8,9 mg), kobalaminy (0,5-8,7 µg na 100 g), a niektóre gatunki

również kwasu foliowego i w mniejszych ilościach retinolu oraz β -karotenu (Bukkens, 2005; Finke, 2002; Rumpold i Schlüter, 2013).

Ponadto owady jadalne stanowią źródło peptydów o właściwościach przeciwutleniających. W doświadczeniu przeprowadzonym przez Zielińską i in. (2017) zbadano działanie przeciwutleniające peptydów otrzymanych na drodze trawienia żołądkowo-jelitowego w warunkach *in vitro* pochodzących z owadów jadalnych, należących do pięciu gatunków. Autorki wykazały, iż spożycie owadów jadalnych może przynieść potencjalne korzyści zdrowotne z uwagi na silne działanie przeciwutleniające pozyskanych z nich peptydów. Uzyskane wyniki wykazały, że poddane trawieniu owady mają wyższą aktywność przeciwutleniającą, niż inne hydrolizaty białkowe uzyskane z produktów pochodzenia zwierzęcego i roślinnego.

Wykorzystanie owadów w sektorze spożywczym – korzyści i przeszkody

Poza korzyściami żywieniowymi i zdrowotnymi, istnieje szereg innych zalet związanych z wykorzystaniem owadów jadalnych w sektorze spożywczym. Jedną z ważniejszych jest ochrona środowiska, dlatego też białko owadów jadalnych często nazywane jest „ekologicznym białkiem”. Hodowla owadów wiąże się z istotnymi pod względem ochrony środowiska aspektami, jak mniejsze niż przy hodowli zwierząt rzeźnych zużycie wody pitnej, paszy, którą stanowią mogą odpady przemysłu rolno-spożywczego, spełniające wymagania względem zapewnienia bezpieczeństwa żywności i pasz, co rozwiązuje kolejny problem związany z ich utylizacją. Ponadto chów insektów wiąże się z mniejszą emisją gazów cieplarnianych (metanu, tlenu azotu, amoniaku), a odchody owadów mogą znaleźć zastosowanie w rolnictwie jako nawóz (Boczek i Pruszyński, 2013; Krzywiński i Tokarczyk, 2011; Rumpold i Schlüter, 2013; Zielińska i in., 2015B). Oszczędność gruntów rolnych, paszy oraz wody pitnej to także znacząco niższe koszty hodowli (FAO, 2013). Kolejnym pozytywnym aspektem z pewnością zwiększającym potencjał ekonomiczny hodowli owadów jest łatwość dystrybucji, wysoki współczynnik rozrodczości i krótki cykl reprodukcji (Schabel, 2010).

Główną przeszkodą w wykorzystywaniu owadów jako żywności w krajach europejskich są niewątpliwie bariery kulturowe, związane z nimi brak akceptacji wśród potencjalnych konsumentów, a nawet niechęć czy lęk. W przeciwieństwie do postaw ludności w kulturach uważających różne gatunki owadów za tradycyjne przysmaki, konsumenci krajów europejskich reagują wstrętem na perspektywę spożywania organizmów, które nie są powszechnie znane jako żywność, a jako szkodniki (Tan i in., 2015; Yen, 2009). Jednakże ich wprowadzenie do diety nie musi wiązać się ze spożyciem owadów w formie, w jakiej występują naturalnie. Istnieje wiele możliwości przetwarzania owadów do postaci bardziej akceptowalnej przez społeczeństwo krajów rozwiniętych np. mąki. Z badań wykonanych przez Tan i in. (2015) wynika, że sposób przygotowania tego typu produktów ma duży wpływ na akceptację sensoryczną wśród konsumentów zwyczajowo nie spożywających owadów. Owady podane w postaci przypominającej produkty znane konsumentom lub stosowane w postaci przetworzonej, jako dodatek do tradycyjnych produktów, wpływały pozytywnie na odczucia organoleptyczne (Hartmann i Siegrist, 2017; Tan i in., 2015). Analogiczne wyniki uzyskano w badaniach wykonanych w Holandii. Spożywanie owadów w całości wiązało się z odrzuceniem przez badanych, natomiast forma przypominająca żywność konwencjonalną

była w większości akceptowana (House, 2016). Według House (2016), kluczowe znaczenie dla zwiększenia motywacji do powtarzalnego spożywania przez konsumentów krajów zachodnich produktów zawierających insekty ma zatem forma produktu, ale także smak, cena oraz łatwość integracji z indywidualnymi praktykami żywieniowymi. Jedne z nielicznych badań dotyczących postaw ludności polskiej wobec spożywania owadów jadalnych jako alternatywnego źródła żywności, wykazały pozytywną lub neutralną postawę konsumentów względem entomofagii (Bartkowicz, 2017).

Owady w postaci sproszkowanej mogą być także wykorzystane w przetwórstwie żywności jako dodatek funkcjonalny wiążący wodę czy tworzący emulsje, a rozwój metod przetwarzania owadów do celów spożywczych umożliwia odizolowanie czystego białka, czy ekstrahowanie tłuszczu. Kolejnym czynnikiem utrudniającym wprowadzenie insektów do sektora spożywczego jest bezpieczeństwo mikrobiologiczne, toksyczność oraz obecność innych zanieczyszczeń organicznych (FAO, 2013; Zielińska i in., 2015B).

W raportach Organizacji Narodów Zjednoczonych do spraw Wyżywienia i Rolnictwa od kilku lat trwają dyskusje nad wykorzystaniem białek owadów jadalnych w aspekcie rozwiązania narastającego problemu głodu na świecie (FAO i in., 2015; FAO, 2009, 2013). Aktualnie w krajach Europejskich, w tym Polsce brak jest stosownych regulacji prawnych, dopuszczających insekty do spożycia przez ludzi. Zgodnie z rozporządzeniem (UE) nr 2015/2283, z dnia 25 listopada 2015 roku owady należą do grupy tzw. „nowej żywności”, czyli według rozporządzenia (WE) nr 258/97 Parlamentu Europejskiego takiej, która nie była spożywana na znaczną skalę w Unii Europejskiej przed 15 maja 1997 r., a rejestracja takiej żywności jest trudna, czasochłonna i wymaga przeprowadzenia wielu badań. Obecnie jednym z nielicznych krajów w Europie, które wprowadziły do konsumpcji niektóre gatunki owadów jest Belgia (FASFC, 2011).

Bezpieczeństwo spożycia owadów

W przypadku nowych źródeł żywności, jakimi niewątpliwie są owady jadalne, szczególne znaczenie ma jej bezpieczeństwo (van Huis, 2016). Z przeprowadzonych badań nad bezpieczeństwem spożycia insektów wynika, iż mogą one, podobnie jak żywność konwencjonalna, stanowić potencjalne zagrożenie dla człowieka, z uwagi na obecność w nich endo- i egzogennych substancji alergizujących oraz toksycznych, antyodżywczych, jak również patogenów (Rumpold i Schlüter, 2013). Czynniki ryzyka pochodzenia endogennego stanowić mogą między innymi alergeny i substancje antyodżywcze. Przykładem jest opisana przez Nishimune i in. (2000) afrykańska jedwabnica zawierająca tiaminazę (enzym rozkładający tiaminę) odporną na działanie wysokich temperatur. Udowodniono również, że spożycie owadów może wiązać się z występowaniem reakcji alergicznych, spowodowanych obecnością w nich alergenów wziewnych, kontaktowych lub pokarmowych. Jako, że w insektach przeważają alergeny kontaktowe i wziewne, największym niebezpieczeństwem obarczeni są hodowcy i osoby zatrudnione przy produkcji (Rumpold i Schlüter, 2013). W badaniu wykonanym przez Ekop i in. (2010) pod kątem obecności substancji antyodżywczych w czterech gatunkach owadów stwierdzono niską zawartość szczawianów, fitynianów i tanin, poniżej poziomów uznanych za toksyczne dla człowieka.

Poza substancjami pochodzenia endogennego należy wziąć także pod uwagę czynniki zewnętrzne wpływające na bezpieczeństwo spożycia insektów, istnieją bowiem doniesienia

o przypadkach botulizmu, chorób pasożytniczych i zatruc pokarmowych, spowodowanych konsumpcją owadów. Istotne jest zatem zachowanie odpowiednich warunków przygotowania insektów do spożycia (Schabel, 2010). Ponadto, niektóre insekty mogą sekwestrować toksyny z paszy i je syntetyzować np. cyjanoglikozydy, steroidy lub silnie toksyczne amidy, wytwarzane jako chemiczna obrona przeciwko innym owadom (Rumpold i Schlüter, 2013; Zagrobelny i in., 2009). Zaobserwowano także, że insekty odżywiające się na terenach objętych działaniem pestycydów, zawierały je również w swoim składzie (Schabel, 2010). Badania mikroflory bakteryjnej owadów wykazały obecność patogenów, m.in. *Bacillus cereus*, *Pseudomonas aeruginosa* oraz *Staphylococcus aureus*, jak również niepatogenne gatunki *Bacillus* (Banjo i in., 2006). Ponadto, jak w przypadku potraw przygotowanych z innych surowców pochodzenia zwierzęcego i roślinnego, przechowywanie owadów oraz ich produktów po obróbce termicznej w obniżonych temperaturach, przedłuża ich trwałość mikrobiologiczną (Klunder i in., 2012).

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że mikroflora owadów może stanowić potencjalne niebezpieczeństwo dla człowieka, dlatego istotne jest opracowanie optymalnych warunków przetwarzania każdego z przeznaczonych do spożycia gatunków owadów, tak aby zapewnić jak największą czystość mikrobiologiczną gotowego produktu (Rumpold i Schlüter, 2013).

Podsumowanie

Podsumowując, zaspokojenie potrzeb żywieniowych wciąż rosnącej populacji ludzkiej wymaga poszukiwania alternatywnych źródeł białka. Aktualnie tylko w niektórych rejonach świata przedstawione w pracy organizmy znajdują zastosowanie w sektorze spożywczym. Z przeglądu aktualnych danych literaturowych wynika, iż produkcja SCP i organizmów morskich może przyczynić się do poprawy bezpieczeństwa żywnościowego na świecie, aczkolwiek obecnie w większym stopniu wykorzystywane są one w żywieniu zwierząt hodowlanych, jako składniki pasz.

Obiecującą alternatywą dla konwencjonalnych źródeł białka są owady jadalne, które mają duży potencjał jako komponent diety człowieka z uwagi na wysoką wartość odżywczą. Za hodowlą insektów w miejsce trzody chlewnej czy drobiu przemawia także fakt, iż jest ona bardziej korzystna dla środowiska, ekonomiczna i wydajna. Problemem natomiast wciąż pozostaje brak akceptacji owadów jako środka spożywczego wśród ludności krajów rozwiniętych, a także trudności z wprowadzeniem na rynek produktów spożywczych z owadów. Zastosowanie insektów w przemyśle spożywczym na wysoką skalę utrudnione jest również ze względu na bezpieczeństwo ich spożycia, które musi zostać potwierdzone dalszymi badaniami.

Niewątpliwie, wykorzystanie alternatywnych źródeł białka, szczególnie owadów jadalnych, może realnie przyczynić się do rozwiązania istotnego i narastającego problemu niedożywienia, a także problemów środowiskowych i ekonomicznych. Jednakże globalizacja wykorzystania owadów i innych niekonwencjonalnych źródeł protein w żywieniu ludzi wymaga bez wątpienia, działań na rzecz poprawy popytu publicznego i akceptacji oraz zwiększenia świadomości konsumentów na temat korzyści wynikających z ich konsumpcji. Ponadto, poszukiwanie nowych owadów jako źródła białka oraz technologii ich przetwarzania wymaga prowadzenia dalszych prac badawczych.

Literatura

- Adedayo, M.R., Ajiboye, E.A., Akintunde, J.K., Odaibo, A. (2011). Single Cell Proteins As Nutritional Enhancer. *Advances in Applied Science Research*, 2(5), 396–409.
- Anupama, Ravindra, P. (2000). Value-added food: Single cell protein. *Biotechnology Advances*, 18(6), 459–479.
- Banjo, A.D., Lawal, O.A., Adeyemi, A.I. (2006). The microbial fauna associated with the larvae of *Oryctes monocerus*. *Journal of Applied Sciences Research*, 2, 837–843.
- Bartkowiak, J. (2017). Tri-City Consumers Attitudes towards Eating Edible Insect as an Alternative Source of Food. *Handel Wewnętrzny*, 1(366), 156–166.
- Bąk, B., Wilde, J. (2002). Czerw pszczeli – niekonwencjonalne źródło białka zwierzęcego. *Biuletyn Naukowy*, 18, 229–237.
- Becker, E.W. (2007). Micro-algae as a source of protein. *Biotechnology Advances*, 25, 207–210.
- Boczek, J., Pruszyński, S. (2013). Owady w żywieniu człowieka i zwierząt domowych. *Zagadnienia Doradztwa Rolniczego*, 3, 98–107.
- Buczyńska, A., Szadkowska-Stańczyk, I. (2010). Problemy higieny pracy i zagrożenia zdrowotne towarzyszące intensywnej produkcji trzody chlewnej. *Medycyna Pracy*, 61(3), 323–331.
- Bukkens, S.G.F. (1997). The nutritional value of edible insects. *Ecology of Food and Nutrition*, 36(2-4), 287–319.
- Bukkens, S.G.F. (2005). Insects in the human diet: nutritional aspects. W: M.G. Paoletti (red.), *Ecological implications of minilivestock; role of rodents, frogs, snails, and insects for sustainable development*, (s. 545-577). Wyd. Science Publishers Inc., Enfield.
- Deng, R., Chow, T.J. (2010). Hypolipidemic, antioxidant, and anti-inflammatory activities of microalgae spirulina. *Cardiovascular Therapeutics*, 28, e33–e45.
- Doshi, H., Ray, A., Kothari, I.L. (2007). Biosorption of cadmium by live and dead *Spirulina*: IR spectroscopic, kinetics, and SEM studies. *Current Microbiology*, 54(3), 213–218.
- Ekop, E.A., Udoh, A.I., Akpan, P.E. (2010). Proximate and anti-nutrient composition of four edible insects in Akwa Ibom State, Nigeria. *World Journal of Applied Science and Technology*, 2, 224–231.
- Ekpo, K.E., Onigbinde, A.O. (2005). Nutritional potentials of the larva of *rhynchophorus phoenicis* (F). *Pakistan Journal of Nutrition*, 4(5), 287–290.
- FAO. (2008). The State of Food Insecurity in the World 2008. High food prices and food security-threats and opportunities.
- FAO. (2009). How to Feed the World in 2050. Insights from an Expert Meeting at FAO, 2050, 1, 1–35.
- FAO. (2013). Edible insects. Future prospects for food and feed security. Food and Agriculture Organization of the United Nations, 171.
- FAO, IFAD, WFP. (2015). The State of Food Insecurity in the World 2015. Meeting the 2015 international hunger targets: taking stock of uneven progress. Rome, FAO.
- FASFC. (2011). Placing on the market of insects and insect-based foods intended for human consumption.
- Finke, M.D. (2002). Complete nutrient composition of commercially raised invertebrates used as food for insectivores. *Zoo Biology*, 21(3), 269–285.
- Finke, M.D. (2007). Estimate of chitin in raw whole insects. *Zoo Biology*, 26(2), 105–115.
- Głazowska, J., Stankiewicz, U., Tylingo, R., Bartoszek, A. (2016). Kwasy nukleinowe w żywności - Występowanie i właściwości reologiczne. *Zywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 6(109), 5–19.
- Halperin, S.A., Smith, B., Nolan, C., Shay, J., Kralovec, J. (2003). Safety and immunoenhancing effect of a *Chlorella*-derived dietary supplement in healthy adults undergoing influenza vaccination: Randomized, double-blind, placebo-controlled trial. *Canadian Medical Association Journal*, 169(2), 111–117.
- Hartmann, C., Siegrist, M. (2017). Insects as food: perception and acceptance. *Findings from Current Research. Ernährungs Umschau*, 64(3), 44–50.
- House, J. (2016). Consumer acceptance of insect-based foods in the Netherlands: Academic and commercial implications. *Appetite*, 107, 47–58.
- Jakubiec-Puka, A. (1987). Otrzymywanie białka z kryła antarktycznego. W: XIV Sympozjum Polarne Lublin 1987 (s. 210–214). Instytut Biologii Doświadczalnej im. M. Nenckiego PAN, Warszawa.
- Klunder, H.C., Wolkers-Rooijackers, J., Korpela, J.M., Nout, M.J.R. (2012). Microbiological aspects of processing and storage of edible insects. *Food Control*, 26(2), 628–631.
- Krzywiński, T., Tokarczyk, G. (2011). Owady-źródło ekologicznego białka. *Przemysł Spożywczy*, 65(12), 34–38.
- Merchant, R.E., Andre, C.A., Sica, D.A. (2002). Nutritional Supplementation with *Chlorella pyrenoidosa* for Mild to Moderate Hypertension. *Journal of Medicinal Food*, 5(3), 141–152.
- Muszyńska, B., Malec, M., Sułkowska-Ziaja, K. (2013). Właściwości lecznicze i kosmetyczne drożdży piekarniczych (*Saccharomyces cerevisiae*). *Postępy Fitoterapii*, 1, 54–62.
- Nakano, S., Takekoshi, H., Nakano, M. (2010). *Chlorella pyrenoidosa* supplementation reduces the risk of anemia,

- proteinuria and edema in pregnant women. *Plant Foods for Human Nutrition*, 65(1), 25–30.
- Nalage, D.N., Khedkar, G.D., Kalyankar, A.D., Sarkate, A.P., Ghodke, S.R., Bedre, V.B., Khedkar, C.D. (2016). Single Cell Proteins. *Encyclopedia of Food and Health* (1st ed.). wyd. Elsevier Ltd.
- Nasseri, A.T., Rasoul-Amini, S., Morowvat, M.H., Ghasemi, Y. (2011). Single Cell Protein: Production and Process. *American Journal of Food Technology*, 6(2), 103–116.
- Nicol, S., Forster, I., Spence, J. (2000). Products derived from krill. W: Everson, I. (red.), *Krill: Biology, Ecology and Fisheries* (s. 262–283). Wyd. John Wiley & Sons.
- Nishimune, T., Watanabe, Y., Okazaki, H., Akai, H. (2000). Thiamin is decomposed due to anaphe spp. entomophagy in seasonal ataxia patients in Nigeria. *Journal of Nutrition*, 130(6), 1625–1628.
- Nonaka K. (2009). Feasting on insects. *Entomological Research*, 39, 340–312.
- Piasecka-Kwiatkowska, D., Stasińska, B. (2016). Białka niekonwencjonalne i białka modyfikowane. W: J. Gawęcki (red.), *Białka w żywności i żywieniu* (III, s. 67–70). Wyd. Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu, Poznań.
- Ramos-Elorduy Blásquez, J., Pino Moreno, J.M., Martínez Camacho, V.H. (2012). Could Grasshoppers Be a Nutritive Meal? *Food and Nutrition Science*, 3(2), 164–175.
- Resh, V.H., Cardé, R.T. (red.). (2009). *Encyclopedia of Insects*. (2 wyd.). Academic Press.
- Rumpold, B.A., Schlüter, O.K. (2013). Nutritional composition and safety aspects of edible insects. *Molecular Nutrition & Food Research*, 57, 802–823.
- Schabel, H.G., (2010). Forest insects as food: a global review. W: Dusr, P.B., Johnson, D.V., Leslie, R.N., Shono, K., *Edible Forest Insects Humans Bite Back. Forest Insects as Food: Humans Bite Back. Proceedings of a Workshop on Asia-Pacific Resources and Their Potential for Development* (37–64). Wyd. FAO, Bangkok.
- Selmi, C., Leung, P.S., Fischer, L., German, B., Yang, C.Y., Kenny, T.P., Cysewski, G.R., Gershwin, M.E. (2011). The effects of Spirulina on anemia and immune function in senior citizens. *Cellular and Molecular Immunology*, 8(3), 248–254.
- Shockley, M., Dossey, A.T. (2013). Insects for Human Consumption. W: Morales-Ramos, J., Rojas, M.G., Schapiro-Ilan, D. (red.), *Mass Production of Beneficial Organisms*. Academic Press (s. 617–652).
- Tan, H.S.G., Fischer, A.R.H., Tinchan, P., Stieger, M., Steenbekkers, L.P.A., van Trijp, H.C.M. (2015). Insects as food: Exploring cultural exposure and individual experience as determinants of acceptance. *Food Quality and Preference*, 42, 78–89.
- Tang, G., Suter, P.M. (2011). Vitamin A, nutrition, and health values of Algae: Spirulina, chlorella, and dunaaliella. *Journal of Pharmacy and Nutrition Sciences*, 1(2), 111–118.
- Tou, J. C., Jaczynski, J., Chen, Y.C. (2007). Krill for human consumption: nutritional value and potential health benefits. *Nutrition Reviews*, 65(2), 63–77.
- Wociór, A., Złotowska, D., Kostyra, H., Kostyra, E. (2010). Mikoproteiny. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 5(72), 5–16.
- Yadav, J.S.S., Yan, S., Ajila, C.M., Bezawada, J., Tyagi, R.D., Surampalli, R.Y. (2016). Food-grade single-cell protein production, characterization and ultrafiltration recovery of residual fermented whey proteins from whey. *Food and Bioproducts Processing*, 99, 156–165.
- Yang, L.F., Siriamornpun, S., Li, D. (2006). Polyunsaturated fatty acid content of edible insects in Thailand. *Journal of Food Lipids*, 13(3), 277–285.
- Yen, A.L. (2009). Edible insects: Traditional knowledge or western phobia? *Entomological Research*, 39, 289–298.
- Yi, L., Lakemond, C.M.M., Sagis, L.M.C., Eisner-Schadler, V., van Huis, A., van Boekel, M.A.J.S. (2013). Extraction and characterisation of protein fractions from five insect species. *Food Chemistry*, 141(4), 3341–3348.
- Zagrobelny, M., Dreon, A.L., Gomiero, T., Marcuzzan, G.L., Glaring, M.A., Møller, B.L., Paoletti, M.G. (2009). Toxic Moths: Source of a Truly Safe Delicacy. *Journal of Ethnobiology*, 29(1), 64–76.
- Zielińska, E., Baraniak, B., Karaś, M., Rybczyńska, K., Jakubczyk, A. (2015A). Selected species of edible insects as a source of nutrient composition. *Food Research International*, 77, 460–466.
- Zielińska, E., Karaś, M., Jakubczyk, A. (2015B). Owady w diecie człowieka - niekonwencjonalne źródło pełnowartościowego białka. W: Karwowska M., Gustaw W. (red.), *Trendy w żywieniu człowieka* (s. 367–374). Wyd. Wydawnictwo Naukowe PTTŻ, Kraków.
- Zielińska, E., Karaś, M., Jakubczyk, A. (2017). Antioxidant activity of predigested protein obtained from a range of farmed edible insects. *International Journal of Food Science & Technology*, 52(2), 306–312.
- van Huis, A. (2016). Edible insects are the future? *Proceedings of the Nutrition Society*, 75(3), 294–305.