ROŚLINNE ZAMIENNIKI MIĘSA: TECHNOLOGICZNE, ŻYWIENIOWE I EKOLOGICZNE ASPEKTY ALTERNATYWNEJ BIAŁKOWEJ PRODUKCJI

PLANT-BASED MEAT SUBSTITUTES: TECHNOLOGICAL, NUTRITIONAL, AND ECOLOGICAL ASPECTS OF ALTERNATIVE PROTEIN PRODUCTION

Klaudia Kałwa[1*], Laura Dobosz[2]

[1]Katedra Dietetyki, Instytutu Nauk o Żywieniu Człowieka i Rolnictwie, Państwowa Akademia Nauk Stosowanych w Chełmie
[2]Wydział Nauk o Żywności i Biotechnologii, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

https://doi.org/10.29316/9788368103397_15

Streszczenie

Rosnące zainteresowanie zrównoważonym żywieniem, ochroną środowiska oraz zdrowiem publicznym przyczynia się do dynamicznego rozwoju rynku roślinnych zamienników mięsa. Celem rozdziału było przedstawienie aktualnego stanu wiedzy dotyczącego produkcji, właściwości technologicznych, wartości odżywczej oraz perspektyw rozwoju analogów mięsa pochodzenia roślinnego. W opracowaniu omówiono najważniejsze źródła białka wykorzystywane do produkcji zamienników mięsa, w tym białka soi, pszenicy, grochu, innych roślin strączkowych, grzybów, mikroalg oraz konopi. Przedstawiono również rolę poszczególnych składników w kształtowaniu cech sensorycznych produktów, takich jak smak, tekstura, soczystość i barwa. Zwrócono uwagę na znaczenie nowoczesnych technologii przetwarzania żywności, które umożliwiają uzyskanie produktów coraz lepiej imitujących mięso pod względem cech fizycznych i funkcjonalnych. Omówiono także korzyści wynikające z ograniczenia spożycia mięsa, w tym zmniejszenie obciążenia środowiska naturalnego oraz potencjalne korzyści zdrowotne. Jednocześnie wskazano na bariery ograniczające rozwój rynku analogów mięsa, takie jak trudności w odtworzeniu charakterystycznego smaku i tekstury mięsa,

* e-mail: klaudia.kalwa91@gmail.com

obecność alergenów, wysoki stopień przetworzenia produktów oraz ograniczoną akceptację konsumentów. Przegląd literatury wskazuje, że roślinne zamienniki mięsa stanowią obiecującą alternatywę dla produktów pochodzenia zwierzęcego, jednak dalsze badania są niezbędne w celu poprawy ich jakości sensorycznej, wartości odżywczej oraz bezpieczeństwa żywności.

Słowa kluczowe: analogi mięsa, roślinne zamienniki mięsa, białko roślinne, soja, konopie, zrównoważona żywność, alternatywne źródła białka, żywność funkcjonalna, technologie żywności, dieta roślinna

Abstract

Growing interest in sustainable nutrition, environmental protection, and public health is driving the rapid growth of the plant-based meat substitute market. The aim of this chapter was to present the current state of knowledge regarding the production, technological properties, nutritional value, and development prospects of plant-based meat analogs. The study discusses the most important protein sources used in the production of meat substitutes, including proteins derived from soy, wheat, peas, legumes, mushrooms, microalgae, and hemp. It also presents the role of individual ingredients in shaping the sensory characteristics of products, such as taste, texture, juiciness, and color. Attention is drawn to the importance of modern food processing technologies, which enable the production of products that increasingly better mimic meat in terms of physical and functional characteristics. The benefits of reducing meat consumption are also discussed, including a reduced environmental impact and potential health benefits. At the same time, barriers limiting the development of the meat analog market were identified, such as difficulties in replicating the characteristic taste and texture of meat, the presence of allergens, the high degree of product processing, and limited consumer acceptance. The literature review indicates that plant-based meat substitutes represent a promising alternative to animal-derived products; however, further research is necessary to improve their sensory quality, nutritional value, and food safety.

Keywords: meat analogs, plant-based meat substitutes, plant protein, soy, hemp, sustainable food, alternative protein sources, functional food, food technologies, plant-based diet

Wstęp

Mięso jest uważane za najlepsze źródło białka nie tylko ze względu na swoje walory odżywcze, ale także ze względu na ceniony smak. Mięso jest również ważne z punktu widzenia zrównoważonego rozwoju, ponieważ jest jednym z najbardziej energochłonnych i szkodliwych dla środowiska pokarmów. W ramach swoich nawyków żywieniowych ludność na całym świecie poszukuje odżywczych i korzystnych dla środowiska dostaw. Podczas gdy produkty zwierzęce są bogate w białko, stosowność spożywania białka przez wegetarian od dawna jest kwestią sporną. Niższe spożycie i jakość białka w diecie wegetariańskiej są powszechnie uważane za problem, istnieje coraz więcej dowodów na to, że

spożywanie białka pochodzącego z roślin, a nie ze zwierząt, może być jednym z powodów, dla których wegetarianie mają mniejsze ryzyko nadwagi, otyłości lub cierpią na choroby przewlekłe. Roślinne substytuty mięsa, które przypominają strukturą i odczuciem mięso, zyskują coraz większą popularność. Analogi mięsa lub produkty pochodzenia roślinnego, które naśladują cechy typowych produktów mięsnych, znalazły swoje miejsce w dyskursie na temat żywności białkowej. Popularność weganizmu, wraz z rosnącymi obawami o dobrostan zwierząt, szkodliwy wpływ na ludzkie i środowisko naturalne spowodowały wzrost zapotrzebowania na zamienniki mięsa, głównie roślinne analogi mięsa (Kaliyadan, Gaur, 2022).

Postępy w rozwoju roślinnych zamienników mięsa

Idea zapewnienia bardziej zrównoważonej alternatywy dla diety opartej na mięsie poprzez wdrożenie analogów mięsa przyniosła znaczącą zmianę w krajobrazie żywnościowym świata. Analogi mięsa lub produkty symulujące mięso są jednym z niewielu produktów, w przypadku których konsumenci nadają priorytet nad zakupem i konsumpcją ultra przetworzonej żywności (Bohrer, 2019). Świadomość bezpieczniejszej i bardziej przyjaznej dla środowiska konsumpcji żywności skierowała wielu ludzi w kierunku substytutu mięsa opartego na białku roślinnym, co wymaga, aby nowe produkty spełniały oczekiwania dotyczące akceptacji przez rynek, wnosząc znaczący wkład do rozwiązania obecnych wyzwań środowiskowych (Fonmboh i in. 2021). Zastąpienie mięsa produktami roślinnymi w części lub całości jest postrzegane jako rozwijająca się strategia ograniczania nadmiernego spożycia mięsa i produktów białkowych pochodzenia zwierzęcego. Białka roślinne są zatem uniwersalnym źródłem białka zwierzęcego, a substytuty mięsa są jednym z najskuteczniejszych sposobów włączenia białek roślinnych do diety człowieka w celu zapewnienia szerszej gamy opcji białkowych (Fonmboh i in., 2021).

Atrybuty jakościowe zamienników mięsa, takie jak konsystencja, smak, kolor itp. opierają się na odpowiednim doborze składników. Zamienniki mięsa mają prawie 50-80% zawartości wody, 4-20% białek nieteksturowanych, 10-25% teksturowanych białek roślinnych, 3-10%, dodatków poprawiających smak, 0-15% tłuszczów, 0-5% barwników i 1-15% substancji wiążących. Połączenie tych komponentów lub składników zapewnia zamienniki mięsa o wymaganych cechach sensorycznych i teksturalnych. Wysoka zawartość wody nie tylko obniża koszty,

ale także zapewnia wymaganą soczystość, działa jako środek zmiękczający podczas procesu i pomaga w emulgowaniu. Białko dodane w celach odżywczych zapewnia teksturę, smak i wygląd fizyczny. Teksturowane białka mogą być zastąpione albo przez zmieszanie białek z nie-mięsnego źródła z mięsem, albo przez całkowite zastąpienie mięsa białkami teksturującymi, aby wyprodukować w pełni wegetariańskie i wegańskie jedzenie. Po ugotowaniu przedłużacze mięsa nie mają tekstury, wyglądu ani smaku mięsa, ale po zmieszaniu z mięsem poprawiają ogólne atrybuty jakościowe produktu. Alternatywy mięsne, z drugiej strony, są zaprojektowane tak, aby naśladować formę, teksturę, smak i kolor całego mięsa, gdy są nawilżane i gotowane bez składników, które zawierają mięso (Sha, Xiong, 2020). W rezultacie można wykorzystać minimalną ilość substancji chemicznych lub dodatków, aby zwiększyć końcową konsystencję surowców. W celu poprawy zdolności zatrzymywania wody stosuje się koncentraty białka sojowego, białka jaja, gluten z pszenicy lub inne środki klejące, takie jak skrobie i hydrokoloidy. Konsystencja, smak lub forma produktu są cechami decydującymi o zadowoleniu konsumentów.

Zapotrzebowanie na białka ze źródeł roślinnych wzrasta, a wpływ na to ma wiele parametrów, w tym koszt, dostępność, kompatybilność w zakresie włączania do nowych produktów oraz, co najistotniejsze, ich właściwości fizjologiczne (Haque i in., 2016). Funkcje białka obejmują zdolność do zatrzymywania wody i oleju, właściwości rozpuszczające, emulgujące, żelujące i pieniące, które są ważne w tworzeniu struktury substytutów mięsa. Te właściwości funkcjonalne są zależne od rodzaju białka (sekwencjonowanie aminokwasów, struktura chemiczna, struktura wyższego lub drugorzędowego poziomu). Czynniki środowiska, takie jak temperatura, pH i siła jonowa, itp. mogą zmieniać strukturę białka i funkcjonalność białek. Badania skupiają się na rozwijaniu zrozumienia związanego z procesem struktura-funkcja asocjacja białek żywności. ich znaczenie i jak jakość i właściwości funkcjonalne białek pomagają budować strukturę i konsystencję podobną do mięsa (Singhal i in., 2016). Większość zamienników mięsa pochodzi z białka sojowego, ponieważ posiada ono pożądane specyficzne cechy i jest dostępne po niskich kosztach. Wraz z białkiem soi, do produkcji zamienników mięsa wykorzystano białko z innych roślin oleistych oraz białka wytwarzane w procesie fermentacji na różnych substratach przez mikroorganizmy (Kim i in., 2011). Obecnie zamienniki mięsa wytwarza się również poprzez wykorzystanie białek ze zbóż, takich jak kukurydza, ryż, pszenica, odtłuszczone

nasiona roślin oleistych, mąki fasolowe i zbożowe, pochodne i mączki z odtłuszczonej mąki sojowej, koncentraty białek sojowych, mąki pszennej (Kumar i in., 2017). Jadalne grzyby i mikroalgi są ostatnio stosowane jako teksturowane źródła białka w preparacie mięsno-alternatywnym (Zhang i in., 2022).

Białka sojowe są dodawane do receptury zamienników mięsa w postaci mąki, izolatów sojowych lub koncentratu białka sojowego. Białka sojowe są szeroko stosowane w zamiennikach mięsa ze względu na ich pożądane właściwości funkcjonalne, takie jak zdolność do zatrzymywania wody, żelowania, pochłaniania tłuszczu i zdolności emulgujące. W produktach sojowych najmniej przetworzona jest mąka sojowa. Na rynku dostępne są różne rodzaje mąki, takie jak mąka tostowa, mąka pełnotłusta i odtłuszczona itp. Odtłuszczona mąka może być syntetyzowana przez zacieranie płatków sojowych, które są odtłuszczone i zawierają białko w ilości około 50%. Izolaty i koncentraty sojowe, które zawierają większą ilość białka niż mąka sojowa, są wytwarzane przez proste frakcjonowanie płatków odtłuszczonej soi. Koncentraty są ekstrahowane w ciekłym alkoholu i dają produkt zawierający 70% białka, natomiast izolaty są ekstrahowane w roztworze alkalicznym, a następnie poddawane procesowi strącania w niskim kwaśnym pH i dają 90% zawartości białka. Oprócz wysokiej zawartości białka, izolat białka sojowego ma mdły smak i jasny kolor w porównaniu z innymi białkami. co jest pożądaną cechą przy tworzeniu analogów mięsa. Jednak w przypadku zastosowania zamienników mięsa, czystość białka nie musi prezentować się na wysokim poziomie. Obecnie poszukuje się innych alternatyw białek roślinnych, które można by było wykorzystać w produkcji roślinnych zamienników mięs ze względu na alergenność białka sojowego (Geerts i in., 2018; Goot i in., 2016). Chociaż istnienie dodatkowych składników może być niezbędne, a nawet korzystne podczas tworzenia zamienników mięsa (Grabowska i in., 2016).

Gluten z pszenicy zawiera wrodzoną zdolność do tworzenia wydłużonych, wąskich warstw białkowych, które mogą być łatwo zmienione w strukturę włóknistą. Znaczenie wiązania desulfacyjnego białek w tworzeniu trójwymiarowej struktury jest krytyczną cechą glutenu (Ooms i in., 2018), która zapewnia fundamentalny składnik dla rozwoju struktury włóknistej (Krintiras i in., 2015; Nawrocka i in., 2017; Pietsch i in., 2017). Stwierdzono, że wiązania wodorowe, wiązania dwusiarczkowe i oddziaływania hydrofobowe w glutenie pszennym są odpowiedzialne za tworzenie struktur mięsopodobnych, a także ich zatrzymanie i stabilizację podczas formulacji produktów (Chiang i in., 2021; Ooms i in.,

2018). Stwierdzono, że gluten pszenny wytwarza pożądane ciasto do opracowania analogów mięsa (Chiang i in., 2021).

Rozwój analogów mięsa

Rozwój analogów mięsa nie był szybki i spontaniczny. To temat, który ma swoją własną historię, który przechodził przez różne iteracje i różne spojrzenia w różnych czasach. Miał różne odmiany i nosił różne nazwy. Roślinne substytuty mięsa nie są świeżą kategorią żywności i nie są nawet nowym pomysłem. Kilka wcześniejszych badań dotyczyło również długiej historii mięsa analogów i innych roślinnych substytutów mięsa, które naśladują cechy mięsa. Co najważniejsze, Shurtleff i Aoyagi (2014) opublikowali oś czasu przedstawiającą ewolucję alternatyw mięsnych od 965 r. do 2014 r. z setki chronologicznych wydarzeń mających miejsce na całym Najwcześniejsze znane odniesienie do opartego na soi produktu tofu było w Chinach w 965 CE. Według tego artykułu, wiele z dzisiejszych analogów mięsnych produkcji innowacji w produkcji analogów mięsa, takich jak przędzenie biopolimerów i wytłaczanie, zostało po raz pierwszy opatentowane odpowiednio w 1947 i 1954 r.

Roślinne zamienniki mięsa są produkowane w celu zaspokojenia potrzeb konsumentów i zapewnienia realnych dostaw żywności w przyszłości. Mają one niemal podobne profile żywieniowe jak mięsa pochodzące od zwierząt. Zamienniki mięsa pomagają złagodzić negatywny wpływ zwierząt gospodarskich na środowisko i zdrowie ludzi. Ostatnie wysiłki w zakresie rozwoju produktów i marketingu zwiększyły produkcję roślinnych zamienników mięsa. Produkcja ta jest jednak nadal w początkowej fazie i stoi przed licznymi wyzwaniami technologicznymi. Innowacje w zakresie technologii przetwarzania i kreatywne receptury produktów koncentrują się obecnie na poprawie cech jakościowych zbliżonych do mięsa. Włączenie różnych dodatków w celu uzyskania mięsnej tekstury, soczystości, odczucia w ustach i smaku budzi obawy dotyczące żywienia, bezpieczeństwa żywności, czystej etykiety, kosztów i zaufania konsumentów (Ahmad i in., 2022).

Głównym celem i ostatecznym wyzwaniem związanym z produkcją analogów mięsa jest wytworzenie zrównoważonego produktu, który odtwarza konwencjonalne mięso we wszystkich jego fizycznych odczuciach/aspektach. Zazwyczaj substytut mięsa uzyskany z obecnych produktów ekstrudowanych na bazie teksturowanych białek roślinnych różni się od tkanki mięśniowej, ponieważ brakuje

mu włóknistej struktury, kruchości i wrażenia mięsności, jak w przypadku prawdziwego mięsa. W związku z tym, głównym wyzwaniem dla produkcji analogów mięsnych jest uzyskanie tekstury i smaku prawdziwego mięsa, co może wymagać wyjątkowych receptur dla alternatywnych produktów mięsnych i optymalizacji warunków ich przetwarzania. Kluczowe znaczenie ma poszukiwanie tańszych źródeł białka roślinnego i kombinacji wybranych składników żywnościowych do przygotowania produktów mięsopodobnych (Bakhsh i in., 2022).

Jednocześnie w krajach rozwiniętych rynek wyrobów mięsnych staje się coraz bardziej zróżnicowany, gdyż część konsumentów coraz częściej poszukuje wzbogaconych i funkcjonalnych produktów mięsnych, które pozytywnie wpłynęłyby na ich zdrowie. Dlatego technolodzy i producenci chętniej modyfikują lub przeformułują produkty mięsne, na przykład poprzez zastąpienie części frakcji tłuszczowo-mięsnej frakcją roślinną. W tym celu wykorzystuje się różnego rodzaju nasiona roślin oleistych w postaci całych nasion, mąk, olejów rafinowanych i nierafinowanych oraz produktów ubocznych tłoczenia oleju, w tym makuchu, śruty oraz izolatów lub hydrolizatów białkowych pochodzących m.in. nasiona czarnuszki, len, dynia, sezam i słonecznik (Tahmasebi i in., 2016; Mora-Gallego i in., 2016; Kang i in., 2017). W ostatnich latach wzrosło również zainteresowanie wykorzystaniem nasion konopi i oleju konopnego w produkcji pasz i żywności wegańskiej, a także wzbogacaniem wyrobów piekarskich i mleczarskich w składniki konopne, jednak tylko nieliczne badania poświęcono mięsu produkty.

Roślinne substytuty mięsa są dobrym źródłem białka, a ich tekstura, kolor, wartości odżywcze i smak mogą wyglądem przypominać poszczególne rodzaje mięsa (Choudhury i in., 2020) Alternatywy dla mięsa wytwarzane z roślin są opracowywane w odpowiedzi na zapotrzebowanie klientów i zrównoważenie dostaw żywności w przyszłości. Rynek roślinnych zamienników mięsa jest obecnie prężnie rozwijającym się sektorem rynku spożywczego. Zgodnie z ostatnią analizą przeprowadzoną przez Markets and MarketsTM, przewiduje się, że globalny rynek analogów mięsa będzie wart 7900 mln USD w 2022 r. i wzrośnie do 15 700 mln USD do 2027 r. , ze złożoną roczną stopą wzrostu o prawie 15% pod względem wartości w tym okresie (Raport Markets TM, 2022).

Obserwuje się wzrost liczby wegan i fleksitarian, wzrost wiedzy na temat zalet analogów mięsa w stosunku do produktów mięsnych, wzrost finansowania rządowego w działalności badawczo-rozwojowej oraz wzrost inwestycji

przemysłu spożywczego jako kluczowych podmiotów dla szybkiego rozwoju analogów mięsa (Baune i in., 2022).

W dzisiejszych czasach wzrasta zainteresowanie opracowywaniem alternatyw dla mięsa na bazie produktów roślinnych. Dodatkowo coraz częściej firmy produkujące produkty pochodzenia zwierzęcego do swoich receptur wprowadzają składniki roślinne, co jest skuteczną strategią ograniczenia spożycia mięsa i poprawy jakości produktów mięsnych (Jiménez-Colmenero i in., 2001).

Biorąc pod uwagę spożycie białka na świecie w przeważającej części dominuje spożycie białka pochodzenia roślinnego. Jednak zauważalne są różnice występujące w poszczególnych regionach świata. W krajach rozwiniętych przeważa spożycie białka zwierzęcego natomiast w krajach rozwijających się - białka roślinnego. Do podstawowych źródeł białka roślinnego zaliczamy zboża oraz białka z roślin oleistych wykorzystywane w produkcji zwierzęcej. Także białko z roślin strączkowych odgrywa ważną rolę w zaspokajaniu popytu na ten składnik zwłaszcza w rejonach słabiej rozwiniętych (Aiking, 2011; Henchion i in., 2017). Rosnące zapotrzebowanie na nowe źródła białka zarówno pochodzenia roślinnego jak i zwierzęcego przyczynia się do wzrostu zapotrzebowania na zboża oraz rośliny oleiste (Alexandratos, Bruinsma, 2012). Jednocześnie ciągle poszukuje się nowych źródeł białka np. z wodorostów, alg czy także owadów. Głównym problemem, jednak wykorzystania ich na szerszą skalę są aspekty związane z bezpieczeństwem żywności, które wymagają dalszych badań i regulacji. Do potencjalnych zagrożeń nowych źródeł białka możemy zaliczyć szereg zanieczyszczeń takich jak metale ciężkie, mykotoksyny, pozostałości pestycydów, a także patogenów (Spigel i in., 2012).

Pomimo tych wyzwań, rynek roślinnych produktów białkowych dojrzał do nowych źródeł białka. W 2020 r. do dwóch głównych źródeł białka roślinnego należała soja i pszenica, wnoszące odpowiednio 57,6% i 36,8% do całego rynku (Technavio, 2021).

Jednak zarówno soja, jak i pszenica znajdują się w pierwszej ósemce głównych alergenów pokarmowych, które odpowiadają za 90% wszystkich reakcji alergii pokarmowych (Messina, Venter 2020). Pszenica jest również problematyczna dla około 109 milionów ludzi na całym świecie, czyli 1,4% globalnej populacji w 2020 r., którzy cierpią na celiakię (Singh i in., 2018; United Nations 2019). Ponadto, podczas gdy spożycie mięsa jest wysokie na całym świecie (średnio 86% osób w 39 badanych krajach twierdzi, że ich dieta zawiera mięso

(Statista, 2020)), obawy o zdrowie konsumentów i pragnienie bardziej zrównoważonych i etycznych produktów napędza globalny popyt na alternatywy białkowe bez mięsa, takie jak mięsa i nabiał pochodzenia roślinnego (Euromonitor International, 2020). Wielu konsumentów nadal przechodzi na diety fleksitarne lub roślinne, przy czym 23% wszystkich konsumentów wskazuje, że stara się ograniczyć spożycie mięsa (Euromonitor International, 2020).

Konopie są coraz częściej wykorzystywane w produkcji zamienników mięsa ze względu na swoje właściwości odżywcze i funkcjonalne. Zawierają one wysokiej jakości białko, które jest bogate w aminokwasy, w tym te niezbędne dla organizmu człowieka. Ponadto konopie są bogate w błonnik, minerały i witaminy, takie jak witamina E (Semwogerere i in., 2020).

W produkcji zamienników mięsa konopie często są wykorzystywane w postaci mąki lub izolatu białkowego. Mąka konopna może stanowić do 25% masy produktu końcowego i jest wykorzystywana do poprawy tekstury i struktury produktu. Izolat białkowy konopi, z kolei, jest stosowany jako źródło białka w kiełbasach i innych produktach mięsopodobnych (Zahari i in., 2020).

Mięso vs mięso roślinne

Analogi mięsa to produkty wysokiej jakości, które wyglądem, smakiem, konsystencją i do pewnego stopnia wartościami odżywczymi przypominają mięso (Wild, 2016). Analog mięsa może być również określany jako imitacja mięsa, sztuczne mięso (faux meat), substytut mięsa lub mięso pozorowane (mock meat) (Bakhsh i in., 2021).

W ostatnich latach obserwuje się stały wzrost popytu na roślinne analogi mięsa ze względu na zmianę zachowań konsumenckich, które w dużej mierze przypisuje się świadomości konsumentów w zakresie zdrowych nawyków przy wyborze żywności (Troy, Kerry, 2010), jak również czynnikom etycznym i zrównoważonym związanym z konsumpcją mięsa (Melina i in., 2016). Mięso ze względu na wysokie wartości odżywcze odgrywa istotną rolę w żywieniu człowieka, natomiast mięso czerwone składa się z odżywczych białek, witamin, żelaza, cynku oraz innych mikroelementów (Yoo i in., 2007). Jak wskazują badania zbyt częste spożywanie czerwonego mięsa lub mięsa przetworzonego może być przyczyną pojawienia się powikłań sercowo-naczyniowych, cukrzycy typu 2 oraz niektórych nowotworów (Forghani i in., 2017; Asgar i in., 2010).

Dodatkowo do głównych problemów związanych z produkcją mięsa zalicza się nadmierne wykorzystanie zasobów ziemi i wody, wysokie ryzyko chorób zwierząt, negatywny wpływ na bioróżnorodność lądową i wodną, emisję gazów cieplarnianych oraz inne zagrożenia dla środowiska (McMichael i in., 2007; Singh i in., 2021; Machovina i in., 2015). Obecnie globalna produkcja oraz konsumpcja mięsa czerwonego wzrosła kilkukrotnie ze względu na szybki rozwój gospodarczy oraz gwałtowny wzrost ludności (He i in., 2020). Statystyki wskazują, że do 2018 r. na świecie spożyto 320 ton mięsa, a ekspansja rynku na 2027 rok przewidywana jest ze wzrostem o 15% (Whitnall, Pitts, 2019). Z tego powodu konsumenci starają się ograniczyć spożywanie mięsa na rzecz bardziej zrównoważonych produktów tj. analogów mięsa.

Produkcja roślinnych zamienników mięsa

Roślinne alternatywy mięsne i mleczne to rosnący trend, który potencjalnie może przyczynić się do poprawy zrównoważonego rozwoju światowych systemów żywnościowych. Pomimo stałego wzrostu i zainteresowania, produkty te są nadal niszowe w większości krajów zachodnich. Z sensorycznego punktu widzenia, mięso i produkty mleczne posiadają unikalne właściwości smakowe i teksturalne, które nie są łatwe do odtworzenia w roślinnych zamiennikach (Giacalone, 2022).

W obliczu spodziewanego wzrostu liczby ludności na świecie do prawie 9,8 miliarda do 2050 r. (United Nations, 2019) oraz rosnącego zapotrzebowania na mięso i produkty mleczne, przejście na dietę w coraz większym stopniu opartą na produktach roślinnych (PB) jest postrzegane jako kluczowe do ograniczenia negatywnego wpływu na środowisko i klimat oraz zapewnienia trwałości światowych systemów żywnościowych (Willett i in., 2019; European Commission, 2020; Aschemann-Witzel i in., 2019). Przykładem tego jest rosnąca liczba konsumentów, którzy świadomie ograniczają lub eliminują spożycie mięsa czy także produktów mlecznych i identyfikują się jako fleksitarianie, wegetarianie lub weganie (Aschemann-Witzel i in., 2021; Onwezen i in., 2021).

Jedną ze strategii umożliwiających przejście na bardziej zrównoważoną dietę jest zastąpienie produktów zwierzęcych analogami mięsa, zaprojektowanymi tak, aby miały podobne właściwości sensoryczne jak ich zwierzęce odpowiedniki. W tym kontekście innowacje technologiczne (np. ekstrakcja białek) umożliwiły

opracowanie szerokiej gamy alternatywnych roślinnych zamienników produktów mięsnych (PBMA) (Dekkers i in., 2018) i mlecznych (PBDA) (Paul i in., 2020).

Rynek tych produktów, skierowany w szczególności do konsumentów chcących ograniczyć spożycie mięsa i nabiału („fleksitarianie"), przeżywa znaczny wzrost i przewiduje się, że wzrośnie z 10,3 mld USD w 2020 r. do 14,5 mld USD do 2025 r. w skali globalnej (Glacalone i in., 2022). Niemniej jednak, udział rynkowy roślinnych alternatyw mięsa pozostaje bardzo niski w stosunku do mięsa i nabiału (EUVEPRO, 2019) (na przykład w USA waha się od 0,4% do 15%, w zależności od kategorii produktu (Plant Based Foods Association, 2021).

Bariery w produkcji roślinnych zamienników mięsa

Główną barierą dla szerszego przyjęcia większości roślinnych zamienników mięsa i nabiału jest obniżona jakość sensoryczna (Fiorentini i in., 2020; McBey i in., 2019; Mycek, 2018). Brak znajomości tych produktów może również wywoływać negatywne oczekiwania konsumentów i obniżać ich ewentualną akceptowalność (Hoek i in., 2011). Z tego powodu produkty te są często wprowadzane na rynek z wyraźnym odniesieniem do zwierzęcych odpowiedników, wobec których konsumenci mają pozytywne oczekiwania sensoryczne (np. „smakuje jak mięso") (Fiorentini i in., 2020). Niestety, oczekiwania te często nie są spełniane przez ich zamienniki, ponieważ mięso i białko mleczne zapewniają unikalne właściwości sensoryczne i teksturalne żywności i napojów, które nie są łatwo replikowane przez składniki w roślinnych analogach mięsa/nabiału (Short i in., 2021; Pontonio, Rizzello, 2021; Gorman i in., 2021). Jest to istotny problem, ponieważ jakość sensoryczna (oczekiwana lub doświadczana) jest konsekwentnie oceniana jako najważniejszy czynnik wpływający na indywidualne wybory żywności (Martin, Pilner, 2005).

Podczas gdy przetworzone produkty białkowe PB nie są niczym nowym (np. tempeh, tofu i seitan, których konsumpcja w Azji Wschodniej sięga kilku wieków), nie były one tradycyjnie postrzegane jako alternatywy dla mięsa w kraju ich pochodzenia (He i in., 2020). W krajach zachodnich zostały one przyjęte przede wszystkim przez wegetarian lub wegan, którzy są głównie motywowani do unikania mięsa ze względów etycznych (dobrostan zwierząt i ludzi) (Boukid, 2021). Obecne na rynku roślinne zamienniki mięsa są specjalnie przeznaczone dla znacznie szerszej grupy odbiorców spożywających mięso i dlatego są w dużej mierze opracowane zgodnie z podstawowym założeniem, że ich właściwości

sensoryczne powinny jak najwierniej naśladować właściwości ich zwierzęcych odpowiedników. W związku z tym, wybór źródeł roślinnych, które mogą tworzyć tekstury, wygląd i smaki podobne do mięsnych jest kluczowym aspektem w ich produkcji (Dekkers, 2018; He i in., 2020). Do przemysłowej produkcji roślinnych zamienników mięsa wykorzystuje się szeroką gamę białek roślinnych, przy czym soja i groch są podstawowymi źródłami ze względu na ich właściwości funkcjonalne i niski koszt (He i in., 2020).

Kolor jest zazwyczaj pierwszym elementem, który jest zauważany przez konsumentów (Spence, 2015). Dlatego też, roślinne zamienniki mięsa starają się naśladować atrybuty koloru porównywalne ze symulowanym produktem mięsnym przed, podczas i po ugotowaniu (Bohrer, 2019). Jest to zwykle osiągane przy użyciu barwników i prekursorów (He i in., 2020). Strategie naśladowania charakterystycznego czerwonawego koloru surowego mięsa obejmują dodanie soku/sproszkowanego buraka lub leghemoglobiny sojowej (Bohrer, 2019).

Barwnik karmelowy i ekstrakty słodowe są powszechnymi, stabilnymi termicznie składnikami barwiącymi, które mogą nadać brązowy wygląd gotowanemu produktowi, jak również cukry redukujące, które mogą tworzyć brązowe substancje poprzez reakcję Maillarda (He i in., 2020). Jednym z głównych problemów jest to, że jeśli wrażliwość na pH i stabilność termiczna składników barwiących nie odpowiada ich mięsnym odpowiednikom, kolor roślinnych zamienników mięsa może blaknąć pod wpływem światła lub tlenu (Fiorentini i in., 2020) lub ulegać degradacji podczas gotowania (He i in., 2020), co prowadzi do nieatrakcyjnego koloru.

Niektórzy autorzy zaproponowali rozwiązania kulinarne, takie jak stosowanie marynat (Kyriakopoulou i in., 2020; Mouritsen, Styrbeak, 2020) lub optymalizację parametrów gotowania (czas i temperatura) w celu kontroli ilości wilgoci, na przykład poprzez techniki takie jak gotowanie sous-vide (Gomez i in., 2019). Dużym wyzwanie jest naśladowanie smaku i tekstury produktów mięsnych ze względu na obecność wielu niepożądanych nut sensorycznych obecnych w roślinnych zamiennikach mięsa. Na przykład wiadomo, że wysoka zawartość białek roślin strączkowych w produktach żywnościowych wprowadza nieprzyjemny smak (np. gorzki, palony i ziemisty), jak również nieprzyjemne odczucie w ustach (np. ziarnisty, pastowaty i cierpki) (Saint-Eve, 2019; Roland i in., 2017). Ponadto, rośliny (stąd też roślinne zamienniki mięsa) często nie wykazują podstawowego smaku „umami" (mięsnego/pikantnego) (Mouritsen,

Styrbeak, 2020; Grasso i in., 2022) związanego z obecnością wolnych aminokwasów (głównie glutaminianu) i nukleotydów, których konsumenci oczekują od produktów pochodzenia zwierzęcego (Schmidt, Mouritsen, 2020).

Dodatek soli i przypraw, takich jak płatki czerwonej papryki, jest zatem powszechnie stosowany w roślinnych zamiennikach mięsa w celu zamaskowania nieprzyjemnego smaku, podczas gdy wzmacniacze smaku, takie jak ekstrakty drożdżowe, mogą pomóc we wzmacnianiu smaku umami.

Kolejnym wyzwaniem jest odtworzenie charakterystycznej tekstury i „soczystości" mięsa dzięki unikalnym właściwościom funkcjonalnym białek zwierzęcych (np. zdolność zatrzymywania wody i kapsułkowania tłuszczu). Ukierunkowany dobór źródła białka roślinnego jest w tym przypadku niezbędny. Na przykład mieszanie białek roślin strączkowych z glutenem pszenicznym jest skuteczne, ponieważ właściwości lepkosprężyste glutenu sprawiają, że idealnie nadaje się do poprawy tekstury analogów mięsa (Chiang i in., 2019).

Innym sposobem rozwiązania problemów teksturalnych w roślinnych analogach mięsa jest stosowanie dodatków do żywności, na przykład hydrokoloidów o właściwościach żelujących, zagęszczających i emulgujących, takich jak karagen, guma ksantanowa, guma konjac i metyloceluloza (He i in., 2020; Fiorentini i in., 2020).

Produkty roślinne imitujące mięso

Obecnie bardzo popularne stało się tworzenie produktów „mięsnopodonych" na bazie surowców roślinnych. W sprzedaży dostępne są różnego rodzaju analogi mięsa np. burgery, kaszanki, kiełbaski przede wszystkim na bazie surowców sojowych, które są alergenne. Społeczeństwo coraz częściej decyduje się na ograniczenia czy też wręcz wyeliminowanie ze swojej diety produktów mięsnych na rzecz surowców roślinnych. Rośliny w tym konopie są źródłem pełnowartościowego białka roślinnego i znajdują zastosowanie w żywności jako składnik o wysokiej wartości odżywczej oraz technologicznej, które mają wpływ na proces technologiczny.

Głównym źródłem spożycia białka są zboża (ok. 32%), następnie mięso (ok. 26%), nabiał (ok. 20%), ryby i owoce morza (ok. 6%), owoce i warzywa (ok. 5%), jaj (ok. 4%) i roślin strączkowych (ok. 2%). Inne produkty spożywcze, takie jak orzechy drzewne, sumują się do 100% (FAOSTAT). Coraz częściej w środowiskach naukowych zajmujących się ochroną środowiska oraz zdrowiem

publicznym zaczynają się rozważania związane z radykalnym odejściem do nadmiernego spożycia mięsa celem rozwiązania niezrównoważonej gospodarki hodowli zwierząt. Obecnie produkcja mięsa stanowi główny czynnik wpływający na zmiany środowiskowe i wyczerpywanie się zasobów naturalnych: hodowla zwierząt odpowiada za około 40% światowych gruntów ornych. Do osiągnięcia założonych celi klimatycznych konsumpcja mięsa musiałby drastycznie spaść tj. przeciętny obywatel świata spożywać o 75 proc. mniej czerwonego mięsa, podczas gdy obywatele zachodniej półkuli musieliby ograniczyć konsumpcję mięsa o 90% (Springamnn i in., 2018).

Podsumowanie

Roślinne zamienniki mięsa, mimo licznych zalet zdrowotnych i ekologicznych, nie są idealnym rozwiązaniem dla każdego. Warto pamiętać, że są to produkty wysoko przetworzone, które często zawierają dodatki, takie jak konserwanty, sztuczne barwniki czy nadmiar soli. Dla osób dbających o zdrowie lub preferujących dietę naturalną, mogą one nie być najlepszym wyborem. Ponadto, choć roślinne alternatywy mogą zastępować mięso pod względem smaku i tekstury, nie zawsze zapewniają pełnowartościowe źródło białka czy innych niezbędnych składników odżywczych. Dlatego, decydując się na tego typu produkty, warto zwracać uwagę na ich skład oraz uwzględniać je w zrównoważonej diecie, aby uniknąć potencjalnych niedoborów.

Literatura

1. Ahmad, M., Qureshi, S., Akbar, M. H., Siddiqui, S. A., Gani, A., Mushtaq, M., Dhull, S. B. (2022). Plant-based meat alternatives: Compositional analysis, current development and challenges. *Applied Food Research, 2*(2), 100154. https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100154
2. Aiking, H. (2011). Future protein supply. *Trends in Food Science & Technology*, 22(2-3), 112-120. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2010.04.005
3. Alexandratos, N., Bruinsma, J. (2012). *World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision.* Food and Agriculture Organization of the United Nations.
4. Aschemann-Witzel, J., Ares, G., Thøgersen, J., Monteleone, E. (2019). A sense of sustainability?–How sensory consumer science can contribute to sustainable development of the food sector. *Trends in Food Science & Technology, 90*, 180-186. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.02.021

5. Aschemann-Witzel, J., Gantriis, R. F., Fraga, P., Perez-Cueto, F. J. (2021). Plant--based food and protein trend from a business perspective: Markets, consumers, and the challenges and opportunities in the future. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 61*(18), 3119-3128. https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1793730
6. Asgar, M., Fazilah, A., Huda, N., Bhat, R., Karim, A. (2010). Nonmeat protein alternatives as meat extenders and meat analogs. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 9*(5), 513–529. https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2010.00124.x
7. Bakhsh, A., Lee, S.-J., Lee, E.-Y., Hwang, Y.-H., Jo, S. (2021). Traditional plant--based meat alternatives, current and a future perspective: A review. *Journal of Agricultural and Life Science, 55*(1), 1-11. https://doi.org/10.14397/jals.2021.55.1.1
8. Bakhsh, A., Lee, E. Y., Ncho, C. M., Kim, C. J., Son, Y. M., Hwang, Y. H., Joo, S. T. (2022). Quality characteristics of meat analogs through the incorporation of textured vegetable protein: A systematic review. *Foods, 11*(9), 1242. https://doi.org/10.3390/foods11091242
9. Baune, M. C., Terjung, N., Tülbek, M. Ç., Boukid, F. (2022). Textured vegetable proteins (TVP): Future foods standing on their merits as meat alternatives. *Future Foods*, *6,* 100181. https://doi.org/10.1016/j.fufo.2022.100181
10. Bohrer, B. M. (2019). An investigation of the formulation and nutritional composition of modern meat analogue products. *Food Science and Human Wellness, 8*(4), 320-329. https://doi.org/10.1016/j.fshw.2019.11.006
11. Boukid, F. (2021). Plant-based meat analogues: From niche to mainstream. *European Food Research and Technology, 247*(2), 297-308. https://doi.org/10.1007/s00217-020-03630-9
12. Chiang, J. H., Loveday, S. M., Hardacre, A. K., Parker, M. E. (2019). Effects of soy protein to wheat gluten ratio on the physicochemical properties of extruded meat analogues. *Food Structure, 19*, 100102. https://doi.org/10.1016/j.foostr.2018.11.002
13. Chiang, J. H., Tay, W., Ong, D. S. M., Liebl, D., Ng, C. P., Henry, C. J. (2021). Physicochemical, textural and structural characteristics of wheat gluten-soy protein composited meat analogues prepared with the mechanical elongation method. *Food Structure, 28*, 100183. https://doi.org/10.1016/j.foostr.2021.100183
14. Choudhury, D., Singh, S., Seah, J.S.H., Yeo, D.C.L., Tan, L.P. (2020). Commercialization of plant-based meat alternatives*. Trends in Plant Science, 25*(11), 1055-1058. https://doi.org/10.1016/j.tplants.2020.08.006
15. Dekkers, B. L., Boom, R. M., & van der Goot, A. J. (2018). Structuring processes for meat analogues. *Trends in Food Science & Technology, 81*, 25-36. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.08.011
16. Euromonitor International. (2020c). *Rise of plant-based eating and alternative proteins: understanding flexitarians and growth trends – Webinar Slides*. Pobrane z:

https://go.euromonitor.com/webinar-video-packaged-food-210916-plant-based-eating.html (data dostępu: 10.04.2023).

17. European Commission. (2020). Farm to fork strategy: for a fair, healthy and environmentally-friendly food system. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the *Regions, 381*, 1-9.
18. EUVEPRO. (2019). *The Use of Plant-based Proteins in Food and Beverages in the EU – A 10-Year Review of New Product Launches Containing Plant-Based Proteins across EU 28.* 2019.
19. FAOSTAT. *Food and agriculture data.* Pobrane z: https://www.fao.org/faostat/en/#data (data dostępu: 10.01.2025).
20. Fiorentini, M., Kinchla, A. J., Nolden, A. A. (2020). Role of sensory evaluation in consumer acceptance of plant-based meat analogs and meat extenders: A scoping review. *Foods, 9*(9), 1334. https://doi.org/10.3390/foods9091334
21. Fonmboh, D. J., Aba, E. R., Awah, T. M., Fokunang, T. E., Ndasi, N. P., Ngangmou, N. T., Tita, B. L., Nono, N. B., Samelle, E. A. E., Fokunang, B. L., Nubia, K. C., Ntungwen, F. C. (2021). The Advances of Plant Product Meat Alternatives as a Healthier and Environmentally Friendly Option for Animal Meat Protein Consumption. *Asian Journal of Biotechnology and Bioresource Technology, 6*(4), 23-40. https://doi.org/10.9734/ajb2t/2020/v6i430087
22. Forghani, Z., Eskandari, M.H., Aminlari, M., Shekarforoush, S.S. (2017). Effects of microbial transglutaminase on physicochemical properties, electrophoretic patterns and sensory attributes of veggie burger. *Journal of Food Science and Technology, 54*, 2203-2213. https://doi.org/10.1007/s13197-017-2614-8
23. Geerts, M. E., Dekkers, B. L., van der Padt, A., van der Goot, A. J. (2018). Aqueous fractionation processes of soy protein for fibrous structure formation. *Innovative Food Science & Emerging Technologies, 45,* 313-319. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.12.002
24. Giacalone, D., Clausen, M. P., Jaeger, S. R. (2022). Understanding barriers to consumption of plant-based foods and beverages: insights from sensory and consumer science. *Current Opinion in Food Science, 44*, 100919. https://doi.org/10.1016/j.cofs.2022.100919
25. Gómez, I., Ibañez, F. C., Beriain, M. J. (2019). Physicochemical and sensory properties of sous vide meat and meat analog products marinated and cooked at different temperature-time combinations. *International Journal of Food Properties, 22*(1), 1693-1708. https://doi.org/10.1080/10942912.2019.1666869
26. Gorman, M., Knowles, S., Falkeisen, A., Barker, S., Moss, R., McSweeney, M. B. (2021). Consumer perception of milk and plant-based alternatives added to coffee. *Beverages, 7*(4), 80. https://doi.org/10.3390/beverages7040080

27. GlobeNewswire. (2022). *Plant-Based Meat Market to Cross $15.7 Billion by 2027 – Exclusive Report by Markets and Markets™*. Pobrane z: https://www.globenewswire.com/news-release/2022/12/21/2577964/0/en/Plant-based-Meat-Market-to-Cross-15-7-Billion-by-2027-Exclusive-Report-by-MarketsandMarkets.html (data dostępu: 30 stycznia 2025).
28. Grabowska, K. J., Zhu, S., Dekkers, B. L., de Ruijter, N. C., Gieteling, J., van der Goot, A. J. (2016). Shear-induced structuring as a tool to make anisotropic materials using soy protein concentrate. *Journal of Food Engineering, 188*, 77-86. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.05.010
29. Grasso, S., Rondoni, A., Bari, R., Smith, R., Mansilla, N. (2022). Effect of information on consumers' sensory evaluation of beef, plant-based and hybrid beef burgers. *Food Quality and Preference, 96*, 104417. https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2021.104417
30. Haque, M. A., Timilsena, Y. P., Adhikari, B. (2016). *Food proteins, structure, and function*. Elsevier.
31. He, J., Evans, N. M., Liu, H., Shao, S. (2020). A review of research on plant-based meat alternatives: Driving forces, history, manufacturing, and consumer attitudes. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.,19*, 2639-2656. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12610
32. Henchion, M., Hayes, M., Mullen, A. M., Fenelon, M., Tiwari, B. (2017). Future Protein Supply and Demand: Strategies and Factors Influencing a Sustainable Equilibrium. *Foods, 6*(7), 53. https://doi.org/10.3390/foods6070053
33. Hoek, A. C., Luning, P. A., Weijzen, P., Engels, W., Kok, F. J., De Graaf, C. (2011). Replacement of meat by meat substitutes. A survey on person-and product-related factors in consumer acceptance. *Appetite, 56*(3), 662-673.
34. Jiménez-Colmenero, F., Carballo, J., Cofrades, S. (2001). Healthier meat and meat products: their role as functional foods. *Meat Science, 59*(1), 5-13.
35. Kang, Z. L., Zhu, D. Y., Li, B., Ma, H. J., Song, Z. J. (2017). Effect of pre-emulsified sesame oil on physical-chemical and rheological properties of pork batters. *Food Sci. Technol., 37*, 620-626.
36. Kim, K., Choi, B., Lee, I., Lee, H., Kwon, S., Oh, K., Kim, A. Y. (2011). Bioproduction of mushroom mycelium of Agaricus bisporus by commercial submerged fermentation for the production of meat analogue. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 91*(9), 1561-1568.
37. Krintiras, G. A., Göbel, J., Van der Goot, A. J., Stefanidis, G. D. (2015). Production of structured soy-based meat analogues using simple shear and heat in a Couette Cell. *Journal of Food Engineering, 160*, 34-41.
38. Kumar, P., Chatli, M. K., Mehta, N., Singh, P., Malav, O. P., Verma, A. K. (2017). Meat analogues: Health promising sustainable meat substitutes. *Critical reviews in food science and nutrition, 57*(5), 923-932.

39. Kyriakopoulou, K., Keppler, J. K., van der Goot, A. J. (2021). Functionality of ingredients and additives in plant-based meat analogues. *Foods, 10*(3), 600.
40. Machovina, B., Feeley, K. J., Ripple, W. J. (2015). Biodiversity conservation: The key is reducing meat consumption. *Sci. Total Environ., 536*(1), 419-431. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.07.022
41. Martins, Y., Pliner, P. (2005). Human food choices: An examination of the factors underlying acceptance/rejection of novel and familiar animal and nonanimal foods. *Appetite, 45*(3), 214-224.
42. McBey, D., Watts, D., Johnstone, A. M. (2019). Nudging, formulating new products, and the lifecourse: A qualitative assessment of the viability of three methods for reducing Scottish meat consumption for health, ethical, and environmental reasons. *Appetite, 142*, 104349.
43. McMichael, A. J., Powles, J. W., Butler, C. D., Uauy, R. (2007). Food, livestock production, energy, climate change, and health. *Lancet, 370*(9594), 1253-1263. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(07)61256-2
44. Melina, V., Craig, W., Levin, S. (2016). Position of the Academy of Nutrition and Dietetics: Vegetarian diets. *J. Acad. Nutr. Diet., 116*(12), 1970-1980. https://doi.org/10.1016/j.jand.2016.09.025
45. Messina, M., Venter, C. (2020). Recent surveys on food allergy prevalence. *Nutr Today., 55*, 22-9.
46. Mora-Gallego, H., Guàrdia, M. D., Serra, X., Gou, P., Arnau, J. (2016). Sensory characterisation and consumer acceptability of potassium chloride and sunflower oil addition in small-caliber non-acid fermented sausages with a reduced content of sodium chloride and fat. *Meat Sci., 112*, 9-15.
47. Mouritsen, O. G., Styrbeak, K. (2020). Design and 'umamification'of vegetable dishes for sustainable eating. *International Journal of Food Design, 5*(1-2), 9-42.
48. Mycek, M. K. (2018). Meatless meals and masculinity: How veg* men explain their plant-based diets. *Food and Foodways, 26*(3), 223-245. https://doi.org/10.1080/07409710.2017.1420355
49. Nawrocka, A., Szymańska-Chargot, M., Miś, A., Wilczewska, A. Z., Markiewicz, K. H. (2017). Aggregation of gluten proteins in model dough after fibre polysaccharide addition. *Food chemistry, 231*, 51-60.
50. Onwezen, M. C., Bouwman, E. P., Reinders, M. J., Dagevos, H. (2021). A systematic review on consumer acceptance of alternative proteins: Pulses, algae, insects, plant-based meat alternatives, and cultured meat. *Appetite, 159*, 105058.
51. Ooms, N., Jansens, K. J., Pareyt, B., Reyniers, S., Brijs, K., Delcour, J. A. (2018). The impact of disulfide bond dynamics in wheat gluten protein on the development of fermented pastry crumb. *Food chemistry, 242*, 68-74.

52. Paul, A. A., Kumar, S., Kumar, V., Sharma, R. (2020). Milk Analog: Plant based alternatives to conventional milk, production, potential and health concerns. *Critical reviews in food science and nutrition, 60*(18), 3005-3023.
53. Pietsch, V. L., Emin, M. A., Schuchmann, H. P. (2017). Process conditions influencing wheat gluten polymerization during high moisture extrusion of meat analog products. *Journal of Food Engineering, 198*, 28-35.
54. Plant Based Foods Association. (2021). *Retail Sales Data for the Plant-Based Foods Industry*.
55. Pontonio, E., Rizzello, C. G. (2021). Milk alternatives and non-dairy fermented products: trends and challenges. *Foods, 10*(2), 222.
56. Roland, W. S., Pouvreau, L., Curran, J., van de Velde, F., de Kok, P. M. (2017). Flavor aspects of pulse ingredients. *Cereal Chemistry, 94*(1), 58-65.
57. Saint-Eve, A., Granda, P., Legay, G., Cuvelier, G., Delarue, J. (2019). Consumer acceptance and sensory drivers of liking for high plant protein snacks. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 99*(8), 3983-3991.
58. Schmidt, C. V., Mouritsen, O. G. (2020). The solution to sustainable eating is not a one-way street. *Frontiers in Psychology, 11*, 531.
59. Semwogerere, F., Katiyatiya, C. L., Chikwanha, O. C., Marufu, M. C., Mapiye, C. (2020). Bioavailability and bioefficacy of hemp by-products in ruminant meat production and preservation: a review. *Frontiers in Veterinary Science, 7*, 572906.
60. Sha, L., Xiong, Y. L. (2020). Plant protein-based alternatives of reconstructed meat: Science, technology, and challenges. *Trends in Food Science & Technology, 102*, 51-61.
61. Short, E. C., Kinchla, A. J., Nolden, A. A. (2021). Plant-based cheeses: A systematic review of sensory evaluation studies and strategies to increase consumer acceptance. *Foods, 10*(4), 725.
62. Shurtleff, W., Aoyagi, A. (2014). *History of Seventh-Day Adventist work with soyfoods, vegetarianism, meat alternatives, wheat gluten, dietary fiber and peanut butter (1863-2013): Extensively annotated bibliography and sourcebook*. Soyinfo Center.
63. Singh, M., Trivedi, N., Enamala, M. K., Kuppam, C., Parikh, P., Nikolova, M. P., Chavali, M. (2021). Plant-based meat analogue (PBMA) as a sustainable food: A concise review. *Eur. Food Res. Technol., 247*, 2499-2526. https://doi.org/10.1007/s00217-021-03810-1
64. Singh, P, Arora, A, Strand, T. A, Leffler, D. A, Catassi, C, Green, P. H. (2018). Global prevalence of celiac disease: systematic review and meta-analysis. *Clin Gastroenterol Hepatol., 16*, 823-36.
65. Singhal, A., Karaca, A. C., Tyler, R., Nickerson, M. (2016). Pulse proteins: From processing to structure-function relationships. W: A. K. Goyal (red.), *Grain legumes* (s. 55-78). IntechOpen Limited.

66. Spence, C. (20150. On the psychological impact of food colour. *Flavour, 4*(1), 1-16.
67. Spiegel, M., Noordam, M. Y., 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 Prduction. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 12*, 662-678.
68. Statista. (2020). *Eating meat is the norm almost everywhere*. Pobrane z: https://www.statista.com/chart/24899/meat-consumption-by-country/ (data dostępu: 10.01.2025).
69. Tahmasebi, M., Labbafi, M., Emam-Djomeh, Z., Yarmand, M. S. (2016). Manufacturing the novel sausages with reduced quantity of meat and fat: The product development, formulation optimization, emulsion stability and textural characterization. *LWT - Food Science and Technology, 68*, 76-84.
70. Technavio. (2021). *Global plant-based protein products market 2021-2025*.
71. Troy, D. J., Kerry, J. (2010). Consumer perception and the role of science in the meat industry. *Meat Sci., 86*, 214-226.
72. United Nations. (2019). World population prospects 2019: total population (both sexes combined) by region, subregion and country, annually for 1950-2100. Pobrane z: https://population.un.org/wpp/assets/Files/WPP2019_Highlights.pdf#page=3&zoom=auto,-263,108 (data dostępu: 10 stycznia 2025).
73. United Nations. (2019). World population prospects. Vol (ST/ESA/SE. A/424). Department of Economic and Social Affairs: Population Division. Pobrane z: https://population.un.org/wpp/assets/Files/WPP2019_Highlights.pdf#page=3&zoom=auto,-263,108 (data dostępu: 10 stycznia 2025).
74. Van der Goot, A. J., Pelgrom, P. J., Berghout, J. A., Geerts, M. E., Jankowiak, L., Hardt, N. A., Boom, R. M. (2016). Concepts for further sustainable production of foods. *Journal of Food Engineering, 168*, 42-51.
75. Whitnall, T., Pitts, N. (2019). Global trends in meat consumption. *Agric. Commod., 9*, 96-99.
76. Wild, F. (2016). Manufacture of Meat Analogues through High Moisture Extrusion. W: G. Smithers (red.), Reference Module in Food Science (s. 1-9). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.03281-9
77. Willett, W., Rockström, J., Loken, B., Springmann, M., Lang, T., Vermeulen, S., Murray, C. J. (2019). Food in the Anthropocene: the EAT–Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. *Lancet, 393*(10170), 447-492.
78. Yoo, S. S., Kook, S. H., Park, S. Y., Shim, J. H., Chin, K. B. (2007). Physicochemical characteristics, textural properties and volatile compounds in comminuted sausages as affected by various fat levels and fat replacers. *Int. J. Food Sci., 42*, 1114-1122. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.01402.x

79. Zahari, I., Ferawati, F., Helstad, A., Ahlström, C., Östbring, K., Rayner, M., Purhagen, J. K. (2020). Development of high-moisture meat analogues with hemp and soy protein using extrusion cooking. *Foods, 9*(6), 772.
80. Zhang, C., Guan, X., Yu, S., Zhou, J., Chen, J. (2022). Production of meat alternatives using live cells, cultures and plant proteins. *Current Opinion in Food Science, 43*, 43-52.