



PIOTR RZYMSKI

 <https://orcid.org/0000-0002-4713-0801>

Uniwersytet Medyczny im. Karola Marcinkowskiego w Poznaniu

Zakład Medycyny Środowiskowej

DOMINIKA SIKORA

 <https://orcid.org/0000-0002-0854-1763>

Uniwersytet Medyczny im. Karola Marcinkowskiego w Poznaniu

Szkoła Doktorska

Wilk syty i owca cała Czy powinniśmy pozyskiwać mięso ryb metodami *in vitro*?

И волки сыты, и овцы целы
Следует ли нам получать мясо рыб
методами *in vitro*?

Абстракт

В статье рассматривается концепция производства мяса, в том числе и мяса рыб, в культуре *in vitro* (так называемое мясо из пробирки, культивируемое мясо) как потенциальный метод, позволяющий уменьшить страдания животных в условиях растущего спроса на продукты питания, включая продукты водного происхождения. Первые продукты из мяса птицы, полученного таким способом, были одобрены в Сингапуре и Соединенных Штатах Америки. В ближайшие годы ожидается дальнейшее расширение производства культивируемого мяса, в том числе на европейском рынке – при условии получения

Have Cake and Eat It Too
Shall We Produce Fish Meat Using
in vitro Methods?

Abstract

This paper examines the production of meat, including fish, through *in vitro* techniques, commonly referred to as cultured meat, as a potential solution to reducing animal suffering while addressing the growing global demand for food, including aquatic products. The first poultry products developed using this method have already received regulatory approval in Singapore and the United States. Further expansion of cultured meat production is expected in the coming years, including in the European market, subject to a positive assessment by the European Food Safety Authority. This paper also discusses the potential environmental and public health

положительного заключения Европейского агентства по безопасности пищевых продуктов. В статье также обсуждаются преимущества производства мяса *in vitro* для окружающей среды и здоровья населения. Кроме того, указываются ограничения и барьеры на пути к коммерциализации подобных продуктов.

Ключевые слова: мясо, рыбы, производство пищевых продуктов, поверхностные воды, изменение климата

benefits of cultured meat production, alongside the key challenges and barriers to its commercialization.

Keywords: meat, fish, food production, surface waters, climate change

Wstęp

Wbrew trendowi rosnącej popularności diet roślinnych w państwach rozwiniętych globalna konsumpcja mięsa systematycznie rośnie, zwłaszcza w krajach rozwijających się. Według prognoz Organizacji Narodów Zjednoczonych do spraw Wyżywienia i Rolnictwa (FAO) spożycie mięsa w 2030 roku będzie na świecie o 14% większe niż pod koniec drugiej dekady XXI wieku¹. W Indiach, niegdyś państwie o najwyższym odsetku osób stosujących dietę wegetariańską, przewiduje się, że konsumpcja mięsa w 2030 roku będzie o ponad 70% większa niż w 2000 roku. Najwyższy poziom spożycia mięsa odnotowuje się natomiast w regionach o wysokim stopniu rozwoju gospodarczego – przekracza on 100 kg *per capita* w Australii oraz USA i wynosi około 80 kg *per capita* w krajach Europy.

Zapotrzebowanie na produkty mięsne wiąże się jednocześnie z niewyobrażalną skalą cierpienia zwierząt. W odpowiedzi na popyt na tego rodzaju produkty tylko w 2023 roku na świecie przeznaczono na rzeź 310 mln krów (co stanowi wzrost o 4% względem 2020 roku), 544 mln kóz (+4%), 522 mln indyków (–7%), 695 mln owiec (+8%), 1,5 mld świń (+14%), 4,2 mld kaczek (+27%) i 76 mld kur (+4%)². Z kolei skala pozyskiwania ryb jest trudna do oszacowania. Jednak na podstawie danych FAO wskazuje się, że w latach 2007–2016 odławiano każdego roku ze środowiska naturalnego od 790 mld do 2,3 bln osobników (dane te nie uwzględniają śmiertelności ryb w wyniku przyłowów oraz niezarejestrowanych połowów)³. Skala

¹ OECD and Food and Agriculture Organization of the United Nations, *OECD-FAO Agricultural Outlook 2021–2030*, OECD-FAO Agricultural Outlook, OECD, 2021, <https://doi.org/10.1787/19428846-en>.

² “Yearly Number of Animals Slaughtered for Meat, World, 1961 to 2023”, Our World in Data, 09.02.2024, <https://ourworldindata.org/grapher/animals-slaughtered-for-meat> (dostęp: 09.02.2024).

³ Alison Mood, Phil Brooke, “Estimated Numbers of Individuals in Annual Global Capture Tonnage (FAO) of Fish Species (2007–2016)”, 2019, <https://fishcount.org.uk/studydatascreens/2016/numbers-of-wild-fish-A0-2016.php> (dostęp: 09.02.2024).

Wilk syty i owca cała. Czy powinniśmy pozyskiwać mięso ryb metodami *in vitro*?

cierpienia ryb nie ma więc sobie równych w innych grupach zwierząt. Jednocześnie ryby odgrywają istotną rolę w diecie ludzi, przez konsumentów są uważane za produkty zdrowe i ceni się je za ich smak⁴. Zarazem postrzega się je jako organizmy mniej bliskie emocjonalnie ludziom, między innymi z uwagi na odmienne środowisko, które zasiedlają.

Warto podkreślić, że wody powierzchniowe – środowisko życia ryb – stanowią jednocześnie zasób krytyczny dla przetrwania i rozwoju cywilizacji. W wyniku antropopresji, obejmującej emisję gazów cieplarnianych i zanieczyszczenia wód powierzchniowych, ekosystemy wodne są obecnie najbardziej zagrożone w historii ludzkości. Wskazuje na to między innymi Stanowisko Światowych Towarzystw Naukowych Badających Ekosystemy Wodne w Sprawie Potrzeby Podjęcia Pilnych Działań Przeciwko Antropogenicznym Zmianom Klimatu, przygotowane na podstawie licznych wyników badań monitoringowych i podpisane w 2021 roku przez 111 towarzystw naukowych, w tym między innymi przez Polskie Towarzystwo Limnologiczne oraz Polskie Towarzystwo Hydrobiologiczne⁵. Badacze w dokumencie tym zwracają uwagę między innymi na znaczny spadek rozpuszczonego tlenu w oceanach, który jest synergiczną wypadkową zanieczyszczenia chemicznego i wzrostu temperatur. Z podobnych przyczyn rośnie również częstość zakwitów z udziałem toksycznych gatunków fitoplanktonu, obserwowanych w akwenach i rzekach różnej wielkości. Szacunki wskazują, że jeżeli kierunek i tempo degradacji środowiska nie ulegną zmianie, do połowy XXI wieku zniknąć może z mórz i oceanów większość raf koralowych, które są jednym z ekosystemów kluczowych dla zachowania bioróżnorodności. Wskaźnik Żyjącej Planety (Planet Living Index), wyznaczany na podstawie monitoringu liczebności różnych gatunków kręgowców, zmniejszył się od 1970 roku o ponad 70% w przypadku grupy migrujących ryb słodkowodnych, a dla wszystkich organizmów słodkowodnych o ponad 80%⁶. Dorsz, makreła, ryby z rafy koralowej i inne gatunki ważne dla rybołówstwa przemieszczają się w stronę regionów biegunowych, do głębszych wód, bądź ich liczebność spada⁷. W wyniku odłowu i zmian środowiskowych przeżywalność dzikiego łososa w środowisku morskim zmniejszyła się w ostatnich 25 latach o 70%⁸.

⁴ European Commission, "EU Consumer Habits Regarding Fishery and Aquaculture Products", Eurobarometer Survey, 12.2018, <https://europa.eu/eurobarometer/surveys/detail/2206> (dostęp: 09.02.2024).

⁵ "World Climate Statement", 2021, <https://climate.fisheries.org/world-climate-statement/> (dostęp: 09.02.2024).

⁶ "Living Planet Report 2022", WWF Polska, 2022, <https://www.wwf.pl/living-planet-report-2022> (dostęp: 09.02.2024).

⁷ "World Climate Statement".

⁸ "Europe's Largest Salmon Tracking Study Aims to Halt Species' Decline", The Atlantic Salmon Trust [blog], 03.04.2018, <https://atlanticsalmontrust.org/europes-largest-salmon-tracking-study-aims-to-halt-species-decline/> (dostęp: 09.02.2024).

Zmiany te mają wpływ na globalne rybołówstwo z uwagi na kurczące się zasoby ryb pozyskiwanych ze środowiska naturalnego.

Pozornym rozwiązaniem etyczno-środowiskowych bolączek związanych z wykorzystywaniem ryb do celów konsumpcyjnych są akwakultury. Liczba osobników pozyskiwanych z nich rośnie systematycznie – od 1990 do 2019 roku wzrosła dziewięciokrotnie, do 124 mld rocznie⁹. Jednak niektóre hodowle ryb, na przykład akwakultury łososia, sprzyjają eutrofizacji wód, łączą się ze stosowaniem antybiotyków i mogą oddziaływać toksycznie na środowisko¹⁰. Ponadto, ślad węglowy związany z pozyskiwaniem mięsa hodowlanych ryb potrafi być porównywalny do produkcji drobiu (na przykład łosoś: 5–6 kg CO₂eq/kg) lub wieprzowiny (na przykład karp: 7 kg CO₂eq/kg) bądź go przewyższać (na przykład tilapia: 10,5 kg CO₂eq/kg, lub tuńczyk błękitnopłetwy: 18 kg CO₂eq/kg)¹¹. Niemniej znaczenie akwakultur w pozyskiwaniu ryb zwiększyło się w istotnym stopniu, począwszy od 1980 roku. Szacunki wskazują na dalszą ich ekspansję pod tym względem do poziomu 203 mln ton pozyskanych ryb w 2030 roku, co oznacza wzrost o 14% w stosunku do 2020 roku¹².

Mięso komórkowe – założenia

Wszystkie czynniki omówione we wstępie tego artykułu powinny skłaniać do poszukiwania rozwiązań, które mogłyby zmniejszyć zarówno skalę cierpienia ryb, jak i szkodliwy wpływ ich pozyskiwania oraz hodowli na środowisko. Globalna rezygnacja z konsumpcji tych zwierząt, choć pociągnęłaby za sobą korzyści etyczne i środowiskowe, wydaje się scenariuszem utopijnym. Długoterminowe prognozy wskazują bowiem na dalszy wzrost zapotrzebowania na ich pozyskiwanie na świecie¹³, a konsumenci niechętnie wykluczają z diety produkty, do których są

⁹ Alison Mood et al., “Estimating Global Numbers of Farmed Fishes Killed for Food Annually from 1990 to 2019”, *Animal Welfare*, vol. 32 (2023): 1–16, e12, <https://doi.org/10.1017/awf.2023.4>.

¹⁰ Friederike Ziegler, Ray Hilborn, “Fished or Farmed: Life Cycle Impacts of Salmon Consumer Decisions and Opportunities for Reducing Impacts”, *Science of the Total Environment*, vol. 854 (2023): 158591, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158591>.

¹¹ Joseph Poore, Thomas Nemecek, “Reducing Food’s Environmental Impacts through Producers and Consumers”, *Science*, vol. 360, no. 6392 (2018): 987–992, <https://doi.org/10.1126/science.aag0216>; Jessica A. Gephart et al., “Environmental Performance of Blue Foods”, *Nature*, 597, no. 7876 (2021): 360–365, <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03889-2>.

¹² FAO, “The State of World Fisheries and Aquaculture 2022. Towards Blue Transformation”, 2022, <https://doi.org/10.4060/cc0461en>.

¹³ World Economic Forum, “Meat: The Future Series. Alternative Proteins”, 2019, https://www3.weforum.org/docs/WEF_White_Paper_Alternative_Proteins.pdf (dostęp: 09.02.2024); FAO, “The State of World Fisheries and Aquaculture 2022”.

Wilk syty i owca cała. Czy powinniśmy pozyskiwać mięso ryb metodami *in vitro*?

przyzwyczajeni, zwłaszcza gdy z ich spożyciem mogą łączyć się określone korzyści dla zdrowia. W związku z tym do rozwiązań wartych rozważenia należy zaliczyć produkowanie mięsa, w tym rybnego, z wykorzystaniem technik hodowli komórkowych *in vitro* i inżynierii tkankowej (mięso *in vitro*, mięso komórkowe). Tego typu rozstrzygnięcie postulował już w 1931 roku Winston Churchill w eseju *Fifty Years Hence*, opublikowanym w „The Strand Magazine”, w którym pisał, że „powinniśmy porzucić absurdalną hodowlę żywych kurczaków prowadzoną tylko po to, by zjeść skrzydełko czy pierś, na korzyść osobnej hodowli tych części w specjalnej pożywce”¹⁴.

Proces ten polega na izolacji komórek macierzystych z materiału biopsyjnego pobranego od zwierzęcia (na przykład komórek satelitowych mięśni w przypadku hodowli mięśni szkieletowych, stanowiących główny komponent mięsa). W kolejnych etapach komórki macierzyste są różnicowane, proliferowane i strukturyzowane w układy tkankowe, obecnie również z wykorzystaniem metod biodruku 3D¹⁵. Pierwszy produkt mięsny tego typu otrzymano w 2013 roku – był nim wołowy burger składający się z około 20 tys. dojrzałych włókien mięśniowych. Koszt całego procesu uzyskania go wynosił wówczas 330 000 USD.

Mięso komórkowe – postulowane korzyści

Otrzymywanie mięsa komórkowego w celach spożywczych nie wiąże się z zabijaniem zwierząt. Ze wstępnych analiz i ocen wynika, że produkcja mięsa pozaustrojowego może łączyć się z ograniczeniem śladu wodnego i węglowego, ze zmniejszeniem powierzchni potrzebnej do pozyskiwania żywności, z eliminacją antybiotyków w produkcji mięsa, a także ograniczeniem zagrożeń zoonotycznych, związanych między innymi z ptasią grypą, pasożytami układu pokarmowego i prionami¹⁶.

¹⁴ Winston Churchill, Steven Spurrier, “Fifty Years Hence”, *The Strand Magazine*, vol. 31 (1931): 549–558. Tłum. – P.R., D.S.

¹⁵ Kwang-Hwan Choi et al., “Muscle Stem Cell Isolation and in vitro Culture for Meat Production: A Methodological Review”, *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, vol. 20, no. 1 (2021): 429–457, <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12661>; Natalia Hippmann, Piotr Rzymiski, „Komórki macierzyste i inżynieria tkankowa w technologii pozaustrojowej produkcji mięsa”, *Postępy Biologii Komórki*, t. 48, nr 2 (2021): 83–106.

¹⁶ Piotr Rzymiski et al., “COVID-19 Pandemic Is a Call to Search for Alternative Protein Sources as Food and Feed: A Review of Possibilities”, *Nutrients*, 13, no. 1 (2021): 150, <https://doi.org/10.3390/nu13010150>; Pelle Sinke et al., “Ex-Ante Life Cycle Assessment of Commercial-Scale Cultivated Meat Production in 2030”, *The International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 28, no. 3 (2023): 234–254, <https://doi.org/10.1007/s11367-022-02128-8>; Hanna L. Tuomisto, Scott J. Allan, Marianne J. Ellis,

Powtarzalność procesu produkcyjnego w kontrolowanych warunkach i krótki czas produkcji (2–8 tygodni; dla porównania: hodowla łososia wymaga często ponad 2 lat) wpisują się w potrzeby bezpieczeństwa żywności, szczególnie istotnego w dobie postępujących zmian klimatu¹⁷. Ponadto, technologia ta umożliwia otrzymywanie mięsa dowolnego typu oraz gatunku zwierzęcia, włączając w to gatunki rzadkie, dotychczas niekonsumowane, jak i występujące jedynie w określonych lokalizacjach, bez konieczności długodystansowego transportu lotniczego (jak to jest obecnie w przypadku na przykład mięsa tuńczyka błękitnopłetwego). Wreszcie, produkując mięso *in vitro*, można wytwarzać również karmę dla zwierząt towarzyszących, psów i kotów, zmniejszając w ten sposób wpływ ich diety na środowisko oraz śmiertelność innych zwierząt.

Mięso produkowane pozaustrojowo nie jest obecnie dostępne dla konsumentów europejskich, jednak Europejski Urząd ds. Bezpieczeństwa Żywności zgłosił gotowość oceny wniosków o dopuszczenie tego typu produktów na rynek europejski zgodnie z przepisami dotyczącymi nowej żywności¹⁸, a podmioty rozwijające technologię wytwarzania mięsa *in vitro* zawarły koalicję¹⁹. W 2020 roku Singapurska Agencja Żywności stała się pierwszą agencją regulatorową na świecie, która zezwoliła na sprzedaż mięsa pozaustrojowego (mięsa drobiowego). W 2023 roku Departament Rolnictwa w USA (USDA) autoryzował, po wcześniejszej przedrynkowej ocenie bezpieczeństwa dokonanej przez amerykańską Agencję Żywności i Leków (FDA), wytwarzanie mięsa drobiowego produkowanego *in vitro* przez dwie firmy. Rozwojem technologii wytwarzania mięsa pozaustrojowego zainteresowane są między innymi przedsiębiorstwa zajmujące się produkcją i dystrybucją mięsa konwencjonalnego. Zgodnie z danymi Good Food Institute amerykańskie firmy rozwijające technologię mięsa komórkowego uzyskały w 2016 roku wsparcie inwestycyjne w wysokości 2,8 mld USD, które zwiększało się aż do 2022 roku, kiedy to nastąpiło globalne spowolnienie inwestycji w wielu sektorach. Niemniej jednak, amery-

“Prospective Life Cycle Assessment of a Bioprocess Design for Cultured Meat Production in Hollow Fiber Bioreactors”, *Science of the Total Environment*, vol. 851, part 1 (2022): 158051, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158051>; Piotr Rzymiski, “Avian Influenza Outbreaks in Domestic Cats: Another Reason to Consider Slaughter-Free Cell-Cultured Poultry?”, *Frontiers in Microbiology*, vol. 14 (2023): 1283361, <https://www.frontiersin.org/journals/microbiology/articles/10.3389/fmicb.2023.1283361> (dostęp: 09.02.2024).

¹⁷ Elliot Swartz, Claire Bomkamp, “The Science of Cultivated Meat”, Good Food Institute, 2021, <https://gfi.org/science/the-science-of-cultivated-meat/> (dostęp: 09.02.2024); Caroline Faria Bellani et al., “Scale-Up Technologies for the Manufacture of Adherent Cells”, *Frontiers in Nutrition*, vol. 7 (2020), <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnut.2020.575146> (dostęp: 09.02.2024).

¹⁸ “The Safety of Cell Culture-Derived Food – Ready for Scientific Evaluation”, EFSA, 10.05.2023, <https://www.efsa.europa.eu/en/news/safety-cell-culture-derived-food-ready-scientific-evaluation> (dostęp: 09.02.2024).

¹⁹ <https://www.cellularagriculture.eu/> (dostęp: 09.02.2024).

Wilk syty i owca cała. Czy powinniśmy pozyskiwać mięso ryb metodami *in vitro*?

kańskie firmy chcące wprowadzić na rynek mięso komórkowe, w tym mięso ryb, uzyskały w 2022 roku 896 mln USD dofinansowania²⁰. Oprócz inwestorów prywatnych rozwój technologii *in vitro* w produkcji mięsa spożywczego wspierają obecnie również rządy niektórych państw, między innymi Stanów Zjednoczonych, Niderlandów czy Singapuru²¹. W opublikowanym przez Chińskie Ministerstwo Rolnictwa i Spraw Wsi pięcioletnim planie rozwoju rolnictwa w latach 2021–2025 znalazł się zapis o wspieraniu różnych innowacji technologicznych, w tym związanych z produkcją mięsa *in vitro*²². Głównym nurtem wdrażania tej technologii jest wytwarzanie wołowiny, wieprzowiny oraz drobiu. Niemniej szereg firm (na przykład: BlueNalu, Finless Foods, Umami Bioworks) rozwija linię produkcji mięsa skorupiaków i ryb – w największym stopniu łososia, tuńczyka i dorsza.

Mięso komórkowe – ograniczenia i wyzwania

Pomimo znacznego rozwoju technologicznego i rosnącego zainteresowania istnieje wiele ograniczeń związanych z rynkową introdukcją oraz komercjalizacją mięsa komórkowego. By jego wytwarzanie było w pełni etyczne (pod względem eksploatacji zwierząt), w jego produkcji nie mogą być stosowane surowice zwierzęce (na przykład płodowa surowica bydlęca), których klasycznie używa się w kulturach komórkowych *in vitro* w celu wspomaganie ich wzrostu. W związku z tym potrzebne są substytuty pochodzenia innego niż zwierzęce, w obecności których komórki nie będą w stanie metabolicznego głodu. Warto jednak zaznaczyć, że takie alternatywy istnieją i są wykorzystywane w produkcji mięsa komórkowego, w tym między innymi mięsa drobiowego, które uzyskało pozytywną ocenę FDA i USDA²³.

²⁰ Claire Bomkamp et al., “2022 State of the Industry Report. Cultivated Meat and Seafood”, 2023, <https://gfi.org/wp-content/uploads/2023/01/2022-Cultivated-Meat-State-of-the-Industry-Report-2-1.pdf> (dostęp: 09.02.2024).

²¹ “US Winning the Cultured Meat Race, with 60% of Global Investment”, Food Industry Executive, 25.01.2023, <https://foodindustryexecutive.com/2023/01/us-winning-the-cultured-meat-race-with-60-of-global-investment/> (dostęp: 09.02.2024).

²² FAO, “‘14th Five-Year’ National Agricultural Product Origin Place Market System Development Plan”, FAOLEX, 2022, <https://www.fao.org/faolex/results/details/es/c/LEX-FAOC208248> (dostęp: 09.02.2024).

²³ Tobias Messmer et al., “A Serum-Free Media Formulation for Cultured Meat Production Supports Bovine Satellite Cell Differentiation in the Absence of Serum Starvation”, *Nature Food*, 3, no. 1 (2022): 74–85, <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00419-1>; “FDA Completes First Pre-Market Consultation for Human Food Made Using Animal Cell Culture Technology”, FDA, 15.08.2023, <https://www.fda.gov/food/cfsan-constituent-updates/fda-completes-first-pre-market-consultation-human-food-made-using-animal-cell-culture-technology> (dostęp: 09.02.2024).

Ponadto, istotną przeszkodą jest również cena mięsa komórkowego, choć na razie może ona być jedynie prognozowana. Według jednej z analiz koszt w przypadku produkcji na dużą skalę mógłby wynosić obecnie 63 USD za kilogram mięsa²⁴. Inne badania wskazują jednakże, iż zmniejszanie kosztów związanych ze stosowaniem substancji wspierających wzrost komórek i ograniczenie użycia rekombinowanych białek w hodowli mogłyby obniżyć koszt produkcji do 15 USD za kilogram, a przy dalszej optymalizacji procesu produkcji i skalowania przemysłowego mógłby on zmniejszyć się do 6 USD za kilogram, co byłoby atrakcyjne zarówno dla producenta, jak i konsumenta²⁵. Istotnym wyzwaniem jest także akceptacja konsumentów, na którą składa się nie tylko cena produktu. Mięso komórkowe może wydawać się nienaturalne ze względu na pominięcie procesu hodowli całego zwierzęcia, wykorzystanie bioreaktorów czy zaangażowanie w ten proces naukowców zamiast hodowców. Ta percepcja może być nasiloną w bardziej konserwatywnych grupach, cechujących się mniejszą otwartością na nowe doświadczenia i brakiem zaufania do osiągnięć naukowych²⁶. Stąd kluczowe jest prowadzenie kampanii informacyjnych na temat takiego mięsa, gdyż w przeciwnym razie może być ono postrzegane przez opinię publiczną podobnie jak żywność genetycznie modyfikowana²⁷. Poza tym, jedną z ważniejszych kwestii związanych z akceptacją konsumentów stanowi odpowiednia ocena bezpieczeństwa tych produktów, na co zwracają uwagę również osoby będące ich zwolennikami²⁸. Wreszcie, istotnym wyzwaniem jest skalowanie produkcji mięsa komórkowego do poziomu, który pokrywałby w istotny sposób zapotrzebowanie konsumentów. Niektóre z obecnie powstających placówek produkcyjnych w USA będą w stanie wytwarzać ponad 13,5 tys. ton mięsa drobiowego rocznie²⁹.

²⁴ Greg L. Garrison, Jon T. Biermacher, B. Wade Brorsen, "How Much Will Large-Scale Production of Cell-Cultured Meat Cost?", *Journal of Agriculture and Food Research*, vol. 10 (2022): 100358, <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100358>.

²⁵ Robert Vergeer, Pelle Sinke, Ingrid Odegard, "TEA of Cultivated Meat: Future Projections of Different Scenarios – Corrigendum", 11.2021, https://cedelft.eu/wp-content/uploads/sites/2/2021/02/CE_Delft_190254_TEA_of_Cultivated_Meat_FINAL_corrigendum.pdf (dostęp: 09.02.2024).

²⁶ Dominika Sikora, Piotr Rzymiski, "The Heat about Cultured Meat in Poland: A Cross-Sectional Acceptance Study", *Nutrients*, 15, no. 21 (2023): 4649, <https://doi.org/10.3390/nu15214649>.

²⁷ Dominika Sikora, Piotr Rzymiski, "Chapter 13 – Public Acceptance of GM Foods: A Global Perspective (1999–2019)", in *Policy Issues in Genetically Modified Crops*, eds. Pardeep Singh et al. (San Diego: Academic Press, 2021), 293–315, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820780-2.00013-3>.

²⁸ Dominika Sikora, Piotr Rzymiski, "Assessment of the Potential Nutritional Value of Cell-Cultured Chicken Meat in Light of European Dietary Recommendations", *Journal of Food Composition and Analysis*, vol. 135 (2024): 106663, <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2024.106663>; Vergeer, Sinke, Odegard, "TEA of Cultivated Meat. Future Projections of Different Scenarios – Corrigendum".

²⁹ UPSIDE Foods, "Reshaping the Future of Food Production: UPSIDE Foods Announces Cultivated Meat Production Plant in Chicagoland", UPSIDE Foods, 14.09.2023, <https://upsidefoods.com/blog/reshaping-the-future-of-food-production-upside-foods-announces-cultivated-meat-production-plant-in-chicagoland> (dostęp: 09.02.2024).

Jednak taka wydajność stanowiła jedynie 0,05% objętości mięsa tego typu pozyskiwanego obecnie w USA w sposób konwencjonalny. Oczywiście, nie można wykluczyć dalszej optymalizacji procesu przemysłowego otrzymywania mięsa *in vitro*, na przykład poprzez konstruowanie bioreaktorów o coraz większej pojemności lub wdrażanie wydajnych technik biodruku 3D.

Podsumowanie

Wydaje się, że technologia wytwarzania mięsa komórkowego będzie w stanie pełnić w najbliższym czasie jedynie funkcję akcesoryczną w całkowitej produkcji mięsa, w tym rybnego. Nie zmienia to faktu, że jest to technologia dalszego rozwoju, co pokazują omówione w tym artykule korzyści wynikające z jej wdrożenia, w tym etyczne (ograniczenie cierpienia zwierząt), środowiskowe (zmniejszenie śladu wodnego i węglowego) oraz dla zdrowia publicznego (ograniczenie użycia antybiotyków i ryzyka zoonoz) i bezpieczeństwa żywnościowego (szybka oraz przewidywalna produkcja). Jednocześnie włączenie do diety mięsa produkowanego *in vitro* nie stanowi tak istotnej zmiany dla konsumenta, jaką jest całkowita eliminacja spożywania mięsa, co spełnia założenie popularnego w Polsce powiedzenia: „wilk syty i owca cała”.

Bibliografia

- Bellani, Caroline Faria, Jila Ajeian, Laura Duffy, Martina Miotto, Leo Groenewegen, Che J. Connon. “Scale-Up Technologies for the Manufacture of Adherent Cells”. *Frontiers in Nutrition*, vol. 7 (2020). <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnut.2020.575146> (dostęp: 09.02.2024).
- Bomkamp, Claire, Michael Carter, Madeline Cohen, Daniel Gertner, Emma Ignaszewski, Sharyn Murray, Maille O'Donnell, Ben Pierce, Elliot Swartz, Sheila Voss. “2022 State of the Industry Report. Cultivated Meat and Seafood”. 2023. <https://gfi.org/wp-content/uploads/2023/01/2022-Cultivated-Meat-State-of-the-Industry-Report-2-1.pdf> (dostęp: 09.02.2024).
- Choi, Kwang-Hwan, Ji Won Yoon, Minsu Kim, Hyun Jung Lee, Jinsol Jeong, Minkyung Ryu, Cheorun Jo, Chang-Kyu Lee. “Muscle Stem Cell Isolation and in vitro Culture for Meat Production: A Methodological Review”. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, vol. 20, no. 1 (2021): 429–457. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12661>.

- Churchill, Winston, Steven Spurrier. "Fifty Years Hence". *The Strand Magazine*, vol. 31 (1931): 549–558.
- European Commission. "EU Consumer Habits Regarding Fishery and Aquaculture Products". Eurobarometer Survey. 12.2018. <https://europa.eu/eurobarometer/surveys/detail/2206> (dostęp: 09.02.2024).
- "Europe's Largest Salmon Tracking Study Aims to Halt Species' Decline". The Atlantic Salmon Trust [blog]. 03.04.2018. <https://atlanticsalmontrust.org/europes-largest-salmon-tracking-study-aims-to-halt-species-decline/> (dostęp: 09.02.2024).
- FAO. "14th Five-Year' National Agricultural Product Origin Place Market System Development Plan". FAOLEX. 2022. <https://www.fao.org/faolex/results/details/es/c/LEX-FAOC208248> (dostęp: 09.02.2024).
- FAO. "The State of World Fisheries and Aquaculture 2022. Towards Blue Transformation". 2022. <https://doi.org/10.4060/cc0461en>.
- "FDA Completes First Pre-Market Consultation for Human Food Made Using Animal Cell Culture Technology". FDA. 15.08.2023. <https://www.fda.gov/food/cfsan-constituent-updates/fda-completes-first-pre-market-consultation-human-food-made-using-animal-cell-culture-technology> (dostęp: 09.02.2024).
- Garrison, Greg L., Jon T. Biermacher, B. Wade Brorsen. "How Much Will Large-Scale Production of Cell-Cultured Meat Cost?". *Journal of Agriculture and Food Research*, vol. 10 (2022): 100358. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100358>.
- Gephart, Jessica A. et al. "Environmental Performance of Blue Foods". *Nature*, 597, no. 7876 (2021): 360–365. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03889-2>.
- Hippmann, Natalia, Piotr Rzymiski. „Komórki macierzyste i inżynieria tkankowa w technologii pozaustrojowej produkcji mięsa”. *Postępy Biologii Komórki*, t. 48, nr 2 (2021): 83–106. <https://www.cellularagriculture.eu/> (dostęp: 09.02.2024).
- "Living Planet Report 2022". WWF Polska. 2022. <https://www.wwf.pl/living-planet-report-2022> (dostęp: 09.02.2024).
- Messmer, Tobias, Iva Klevernic, Carolina Furquim, Ekaterina Ovchinnikova, Arin Dogan, Helder Cruz, Mark J. Post, Joshua E. Flack. "A Serum-Free Media Formulation for Cultured Meat Production Supports Bovine Satellite Cell Differentiation in the Absence of Serum Starvation". *Nature Food*, 3, no. 1 (2022): 74–85. <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00419-1>.
- Mood, Alison, Elena Lara, Natasha K. Boyland, Phil Brooke. "Estimating Global Numbers of Farmed Fishes Killed for Food Annually from 1990 to 2019". *Animal Welfare*, vol. 32 (2023): 1–16; e12. <https://doi.org/10.1017/awf.2023.4>.
- Mood, Alison, Phil Brooke. "Estimated Numbers of Individuals in Annual Global Capture Tonnage (FAO) of Fish Species (2007–2016)". 2019. <https://fishcount.org.uk/studydata/screens/2016/numbers-of-wild-fish-A0-2016.php> (dostęp: 09.02.2024).

- OECD and Food and Agriculture Organization of the United Nations. *OECD-FAO Agricultural Outlook 2021–2030*. OECD-FAO Agricultural Outlook. OECD, 2021. <https://doi.org/10.1787/19428846-en>.
- Poore, Joseph, Thomas Nemecek. “Reducing Food’s Environmental Impacts through Producers and Consumers”. *Science*, vol. 360, no. 6392 (2018): 987–992. <https://doi.org/10.1126/science.aaq0216>.
- Rzymiski, Piotr. “Avian Influenza Outbreaks in Domestic Cats: Another Reason to Consider Slaughter-Free Cell-Cultured Poultry?”. *Frontiers in Microbiology*, vol. 14 (2023): 1283361. <https://www.frontiersin.org/journals/microbiology/articles/10.3389/fmicb.2023.1283361> (dostęp: 09.02.2024).
- Rzymiski, Piotr, Magdalena Kulus, Maurycy Jankowski, Claudia Dompe, Rut Bryl, James N. Petitte, Bartosz Kempisty, Paul Mozdziak. “COVID-19 Pandemic Is a Call to Search for Alternative Protein Sources as Food and Feed: A Review of Possibilities”. *Nutrients*, 13, no. 1 (2021): 150. <https://doi.org/10.3390/nu13010150>.
- Sikora, Dominika, Piotr Rzymiski. “Assessment of the Potential Nutritional Value of Cell-Cultured Chicken Meat in Light of European Dietary Recommendations”. *Journal of Food Composition and Analysis*, vol. 135 (2024): 106663. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2024.106663>.
- Sikora, Dominika, Piotr Rzymiski. “Chapter 13 – Public Acceptance of GM Foods: A Global Perspective (1999–2019)”. In *Policy Issues in Genetically Modified Crops*, eds. Pardeep Singh, Anwesha Borthakur, Aditya Abha Singh, Ajay Kumar, Kshitij K. Singh, 293–315. San Diego: Academic Press, 2021. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820780-2.00013-3>.
- Sikora, Dominika, Piotr Rzymiski. “The Heat about Cultured Meat in Poland: A Cross-Sectional Acceptance Study”. *Nutrients*, 15, no. 21 (2023): 4649. <https://doi.org/10.3390/nu15214649>.
- Sinke, Pelle, Elliot Swartz, Hermes Sanctorem, Coen van der Giesen, Ingrid Odegard. “Ex-Ante Life Cycle Assessment of Commercial-Scale Cultivated Meat Production in 2030”. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 28, no. 3 (2023): 234–254. <https://doi.org/10.1007/s11367-022-02128-8>.
- Swartz, Elliot, Claire Bomkamp. “The Science of Cultivated Meat”. Good Food Institute. 2021. <https://gfi.org/science/the-science-of-cultivated-meat/> (dostęp: 09.02.2024).
- “The Safety of Cell Culture-Derived Food – Ready for Scientific Evaluation”. EFSA. 10.05.2023. <https://www.efsa.europa.eu/en/news/safety-cell-culture-derived-food-ready-scientific-evaluation> (dostęp: 09.02.2024).
- Tuomisto, Hanna L., Scott J. Allan, Marianne J. Ellis. “Prospective Life Cycle Assessment of a Bioprocess Design for Cultured Meat Production in Hollow Fiber Bioreactors”. *Science of the Total Environment*, vol. 851, part 1 (2022): 158051. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158051>.
- UPSIDE Foods. “Reshaping the Future of Food Production: UPSIDE Foods Announces Cultivated Meat Production Plant in Chicagoland”. UPSIDE Foods. 14.09.2023. <https://upsidefoods.com/news/upside-announces-cultivated-meat-production-plant-in-chicagoland>.

- defoods.com/blog/reshaping-the-future-of-food-production-upside-foods-announces-cultivated-meat-production-plant-in-chicagoland (dostęp: 09.02.2024).
- “US Winning the Cultured Meat Race, with 60% of Global Investment”. Food Industry Executive. 25.01.2023. <https://foodindustryexecutive.com/2023/01/us-winning-the-cultured-meat-race-with-60-of-global-investment/> (dostęp: 09.02.2024).
- Vergeer, Robert, Pelle Sinke, Ingrid Odegard. “TEA of Cultivated Meat. Future Projections of Different Scenarios – Corrigendum”. 11.2021. https://cedelft.eu/wp-content/uploads/sites/2/2021/02/CE_Delft_190254_TEA_of_Cultivated_Meat_FINAL_corrigendum.pdf (dostęp: 09.02.2024).
- “World Climate Statement”. 2021. <https://climate.fisheries.org/world-climate-statement/> (dostęp: 09.02.2024).
- World Economic Forum. “Meat: The Future Series. Alternative Proteins”. 2019. https://www3.weforum.org/docs/WEF_White_Paper_Alternative_Proteins.pdf (dostęp: 09.02.2024).
- “Yearly Number of Animals Slaughtered for Meat, World, 1961 to 2023”. Our World in Data. 09.02.2024. <https://ourworldindata.org/grapher/animals-slaughtered-for-meat> (dostęp: 09.02.2024).
- Ziegler, Friederike, Ray Hilborn. “Fished or Farmed: Life Cycle Impacts of Salmon Consumer Decisions and Opportunities for Reducing Impacts”. *Science of the Total Environment*, vol. 854 (2023): 158591. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158591>.

Piotr Rzymiski – biolog środowiskowy i medyczny, współautor kilkuset publikacji naukowych, wykładowca i popularyzator nauki. Dyrektor Naukowy międzynarodowej sieci badawczej Universal Scientific Education and Research Network (USERN), ekspert unijnej Agencji Wykonawczej ds. Badań Naukowych i Szwedzkiej Rady ds. Badań Naukowych Formas oraz ekspert zewnętrzny WHO. Członek zespołu ds. Monitorowania i Oceny Sytuacji Dotyczącej Zagrożeń Związanych z Chorobami Zakaźnymi przy Ministerstwie Zdrowia. Stypendysta Fundacji na Rzecz Nauki Polskiej i MNiSW. Nagrodzony tytułem Lider Roku 2021 w Ochronie Zdrowia w kategorii Zdrowie Publiczne. Zdobywca Nagrody Głównej w konkursie Popularyzator Nauki. Od 2022 roku na Liście Stu najbardziej wpływowych osób polskiej medycyny. Od 2020 roku klasyfikowany w rankingu 2% najczęściej cytowanych naukowców na świecie, opracowywanym przez Uniwersytet Stanforda i wydawnictwo Elsevier. E-mail: rzymiskipiotr@ump.edu.pl.

Piotr Rzymiski – an environmental and medical biologist, with co-authorship of several hundred scientific publications. He is a lecturer, and science popularizer who serves as the Scientific Director of the international research network Universal Scientific Education and Research Network (USERN). Additionally, he is an expert for the EU Research Executive Agency and the Swedish Research Council Formas, as well as an external expert for the World Health Organization (WHO). Piotr Rzymiski is also a member of the team

Wilk syty i owca cała. Czy powinniśmy pozyskiwać mięso ryb metodami *in vitro*?

for Monitoring and Assessing the Situation Regarding Infectious Disease Threats at the Ministry of Health. He has received scholarships from the Foundation for Polish Science and the Ministry of Science and Higher Education. In 2021, he was awarded the title of Health Leader of the Year in the Public Health category. He is also the winner of the Main Prize in the Science Popularizer competition. Since 2022 Piotr Rzym ski has been listed among the 100 most influential people in Polish medicine. Since 2020 ranked among the top 2% of the world's most cited scientists in a ranking prepared by Stanford University and Elsevier. E-mail: rzym ski.piotr@ump.edu.pl.

Dominika Sikora – absolwentka kierunku dietetyka na Uniwersytecie Medycznym im. Karola Marcinkowskiego w Poznaniu, naukowczyni w Zakładzie Medycyny Środowiskowej. Naukowo zajmuje się alternatywnymi źródłami białka, ich składem odżywczym, bezpieczeństwem i czynnikami wpływającymi na akceptację konsumencką. E-mail: dsikora@ump.edu.pl.

Dominika Sikora – a graduate of the Dietetics program at Poznań University of Medical Sciences and a researcher in the Department of Environmental Medicine. Her research focuses on alternative protein sources, including their nutritional composition, safety, and the factors that influence consumer acceptance. E-mail: dsikora@ump.edu.pl.