

Rola mikroorganizmów. Od fermentacji po zagrożenia zdrowotne

Autor: mgr inż. Małgorzata Zawadzka, Politechnika Białostocka, Katedra Chemii, Biologii i Biotechnologii

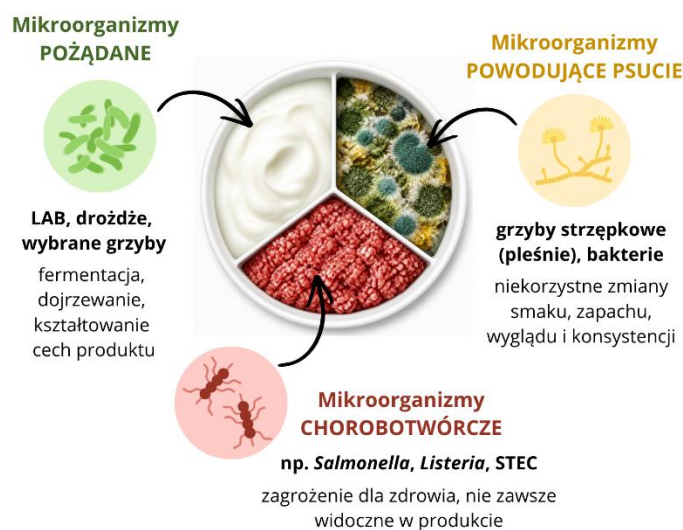
1. Mikroorganizmy w żywności. Pożyteczne, niepożądane i chorobotwórcze

Mikroorganizmy są naturalnym elementem środowiska i występują również w żywności. Ich obecność nie zawsze oznacza jednak, że produkt jest zepsuty lub niebezpieczny. Z punktu widzenia technologii żywności można wyróżnić mikroorganizmy wykorzystywane celowo w produkcji, mikroorganizmy odpowiedzialne za psucie żywności oraz mikroorganizmy chorobotwórcze, czyli patogeny [1,4,5].

Do pierwszej grupy należą przede wszystkim wybrane bakterie, drożdże i grzyby strzępkowe. Szczególne znaczenie mają bakterie fermentacji mlekowej (LAB, ang. *lactic acid bacteria*). Wykorzystują one węglowodany i wytwarzają kwas mlekowy, dlatego uczestniczą w produkcji jogurtów, kefirów, serów, kiszonek i wielu innych produktów fermentowanych [1–3]. W czasie ich wzrostu mogą powstawać także związki wpływające na aromat i konsystencję żywności, między innymi egzopolisacharydy, związki aromatyczne oraz niektóre bakteriocyny [2,3]. Bakteriocyny są peptydami, które mogą hamować wzrost określonych bakterii [2].

Drożdże wykorzystuje się między innymi w piekarstwie i produkcji napojów fermentowanych [1]. Wybrane grzyby strzępkowe uczestniczą z kolei w dojrzewaniu niektórych rodzajów serów [1].

Inne mikroorganizmy mogą powodować psucie żywności. Ich aktywność prowadzi między innymi do zmian smaku, zapachu, wyglądu lub konsystencji produktu [4]. Jeszcze inną grupę stanowią patogeny. Żywność zawierająca bakterie chorobotwórcze może wyglądać i smakować prawidłowo, dlatego brak widocznych oznak zepsucia nie jest dowodem jej bezpieczeństwa [4,5].



Rys.1. Trzy role mikroorganizmów w technologii żywności. Opracowanie własne na podstawie [1,4,5].

2. Fermentacja. Kiedy mikroorganizmy pracują dla nas

Fermentowane produkty spożywcze powstają w wyniku pożądanego wzrostu mikroorganizmów i zachodzących pod ich wpływem przemian składników żywności [1]. W czasie fermentacji zmienia się więc nie tylko liczba mikroorganizmów. Zmianie ulega również skład surowca, a wraz z nim smak, zapach, tekstura i trwałość produktu [1,2].

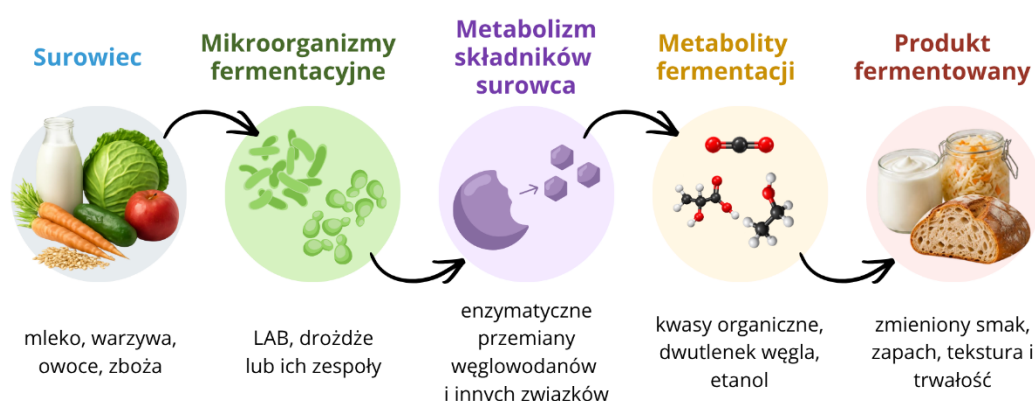
W przypadku LAB ważnym substratem są węglowodany. W fermentacji homofermentatywnej głównym produktem jest kwas mlekowy. Podczas fermentacji heterofermentatywnej oprócz kwasu mlekowego mogą powstawać również między innymi dwutlenek węgla, etanol i kwas octowy [2]. Produkcja kwasów organicznych powoduje obniżenie pH, co może ograniczać rozwój wielu mikroorganizmów niepożądanych [2,3]. Nie oznacza to jednak, że każdy fermentowany produkt jest automatycznie bezpieczny. Na wzrost mikroorganizmów wpływają także temperatura, dostępność wody, zawartość soli, obecność tlenu oraz higiena procesu [4,6].

Drożdże przekształcają cukry między innymi do etanolu i dwutlenku węgla. CO₂ odpowiada na przykład za wzrost objętości ciasta podczas wypieku i może powodować naturalne nagazowanie napojów fermentowanych [1].

Fermentacja może przebiegać spontanicznie, z udziałem mikroorganizmów naturalnie występujących w surowcu albo po dodaniu kultury starterowej [1,3]. Starter zawiera mikroorganizmy dobrane ze względu na określone właściwości technologiczne. Pozwala to lepiej kontrolować czas fermentacji, szybkość zakwaszania oraz cechy kolejnych partii produktu [3]. W przemyśle stosuje się między innymi kultury mrożone i suszone, które można precyzyjnie dozować [3].

Kultura starterowa nie jest tym samym co probiotyk. Starter wykorzystuje się przede wszystkim w celu przeprowadzenia procesu technologicznego. Probiotykiem jest natomiast żywy mikroorganizm, który podany w odpowiedniej ilości przynosi potwierdzoną korzyść zdrowotną [1]. Z tego powodu żywność fermentowana nie musi być żywnością probiotyczną [1].

Rys. 2. Uproszczony przebieg fermentacji



Opracowanie własne na podstawie [1,2].



Zalecamy również wysłuchanie materiału audio:

<https://pan.olsztyn.pl/popularyzacja-nauki/radiowa-akademia-zdrowego-odzywiania-vol-2/kiszonki-na-zdrowie/>

3. Fermentacja na Podlasiu. Od tradycji do nowoczesnej technologii

Fermentacja ma na Podlasiu zarówno znaczenie tradycyjne, jak i przemysłowe. Na prowadzonej przez Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi Liście Produktów Tradycyjnych województwa podlaskiego znajdują się między innymi buza, kwas buraczany oraz podlaski kwas chlebowy [9].

Buza jest napojem przygotowywanym z kaszy jaglanej z dodatkiem drożdży. Powstający podczas fermentacji CO₂ odpowiada za jej lekkie musowanie [9]. **Kwas buraczany** jest przykładem fermentacji surowca roślinnego, a jego

kwaśny smak wiąże się z przebiegiem procesu fermentacyjnego [9]. Podlaski **kwas chlebowy** jest natomiast związany z fermentacją surowców zbożowych i wykorzystaniem pieczywa oraz zakwasu [9].

Współczesna produkcja fermentowana jest znacznie bardziej kontrolowana niż proces prowadzony tradycyjnie. Dobrze widać to w przemyśle mleczarskim, który ma duże znaczenie dla gospodarki regionu. Uproszczony proces produkcji fermentowanego produktu mlecznego obejmuje przygotowanie i obróbkę cieplną mleka, schłodzenie go do odpowiedniej temperatury, dodanie startera, fermentację, kontrolę pH, chłodzenie i pakowanie [3].

mleko → obróbka cieplna → chłodzenie → starter → fermentacja → kontrola pH → chłodzenie → pakowanie

Technolog kontroluje przede wszystkim temperaturę, czas oraz przebieg zmian pH. Znaczenie ma też jakość surowca oraz liczba i aktywność zastosowanych mikroorganizmów [2,3]. Sterowanie tymi parametrami pozwala osiągnąć większą powtarzalność produktu.

Nowoczesny przemysł spożywczy wykorzystuje również metody fizycznego ograniczania liczby mikroorganizmów. Przykładem jest **mikrofiltracja**, w której stosuje się membrany umożliwiające oddzielanie wybranych składników mleka, w tym części mikroorganizmów [8]. Drugim rozwiązaniem jest **baktofugacja**, czyli rozdział z wykorzystaniem wysokoobrotowych wirówek, stosowany w celu ograniczania liczebności bakterii i ich przetrwalników [11].

Fermentacja nie służy dziś wyłącznie do otrzymywania tradycyjnych kiszonek czy fermentowanych produktów mlecznych. Stosuje się ją także w produkcji napojów roślinnych, zakwasów, fermentowanych soków oraz żywności funkcjonalnej [1,2]. Fermentacja może być tylko jednym z etapów technologii. Gotowy półprodukt może być następnie chłodzony, zagęszczany, pasteryzowany albo suszony, zależnie od tego, jakie właściwości ma mieć końcowa żywność.

4. Kiedy mikroorganizmy stają się zagrożeniem

Mikroorganizmy mogą dostać się do żywności wraz z surowcem lub wodą. Źródłem zanieczyszczenia mogą być także pracownicy, urządzenia, powierzchnie produkcyjne i opakowania [5,6]. Szczególnie istotne jest zanieczyszczenie krzyżowe, czyli przeniesienie mikroorganizmów z zanieczyszczonego surowca lub powierzchni na inny produkt [6].

Wśród bakteryjnych patogenów związanych z żywnością ważne miejsce zajmują *Salmonella* spp., *Listeria monocytogenes* oraz szczepy *Escherichia coli* wytwarzające toksynę Shiga, określane jako STEC [5]. Do zagrożeń należą również bakterie zdolne do wytwarzania toksyn, między innymi *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus* i *Clostridium botulinum* [5,6].

Tabela 1. Wybrane bakterie chorobotwórcze związane z żywnością i ich znaczenie dla bezpieczeństwa konsumenta

Mikroorganizm	Dlaczego jest ważny?
<i>Salmonella</i> spp.	może powodować salmonellozę i być przenoszona przez różne produkty spożywcze
<i>Listeria monocytogenes</i>	może rozwijać się także w temperaturze chłodniczej, szczególne znaczenie ma w żywności gotowej do spożycia
STEC	wytwarza toksynę Shiga i może powodować ciężkie zakażenia
<i>Staphylococcus aureus</i>	niektóre szczepy mogą produkować enterotoksyny
<i>Bacillus cereus</i>	tworzy przetrwalniki i może wytwarzać toksyny
<i>Clostridium botulinum</i>	w odpowiednich warunkach produkuje silną neurotoksynę

Opracowanie własne na podstawie [5,6].

Dla przemysłu spożywczego szczególnie kłopotliwa jest *Listeria monocytogenes*. Bakteria ta może namnażać się w warunkach chłodniczych, dlatego samo obniżenie temperatury nie daje pełnej ochrony [5]. Istotne znaczenie ma zwłaszcza w przypadku żywności typu RTE (ready-to-eat), czyli gotowej do spożycia bez dodatkowej obróbki cieplnej [5].

Problemem mogą być także biofilmy. Powstają, gdy mikroorganizmy przytwierdzają się do powierzchni i wytwarzają otaczającą je macierz [10]. Taka struktura utrudnia ich usunięcie. Biofilm może rozwijać się w miejscach, które są trudne do dokładnego umycia, dlatego budowa urządzeń i sposób prowadzenia higieny mają bezpośrednie znaczenie dla bezpieczeństwa mikrobiologicznego [10].

5. Jak przemysł spożywczy kontroluje mikroorganizmy?

Bezpieczeństwo produktu nie zależy od jednej metody. Osiąga się je dzięki kontroli całego procesu, od jakości surowca aż po przechowywanie gotowej żywności [6].

Podstawowym sposobem ograniczania liczby mikroorganizmów jest obróbka cieplna. Pasteryzacja wykorzystuje odpowiednio dobraną kombinację temperatury i czasu. Jej celem jest znaczne zmniejszenie liczby drobnoustrojów, a nie całkowite wywołanie produktu. Sterylizacja jest procesem intensywniejszym [6,13].

W określonych zastosowaniach wykorzystuje się również metody nietermiczne, na przykład mikrofiltrację, promieniowanie UV lub ozonowanie [8,13]. UV i ozon mogą służyć między innymi do ograniczania liczby mikroorganizmów w wybranych surowcach, wodzie lub środowisku produkcyjnym. Skuteczność tych technologii zależy od warunków procesu, dlatego nie są uniwersalnym zamiennikiem innych metod dekontaminacji [13].

Bardzo ważne są także mycie i dezynfekcja. Nie oznaczają tego samego. Mycie ma usunąć resztki produktu i inne zabrudzenia. Dezynfekcja ma ograniczyć liczbę mikroorganizmów pozostających na oczyszczonej powierzchni [6,7].

W instalacjach zamkniętych stosuje się często systemy CIP (Cleaning in Place). Pozwalają one myć zbiorniki, przewody i inne elementy instalacji bez ich demontażu [7]. Typowy cykl może obejmować płukanie, mycie alkaliczne, kolejne płukanie, mycie kwaśne i dezynfekcję. Jego dokładny przebieg zależy od rodzaju urządzenia i produktu [7]. Na skuteczność procesu wpływają czas, temperatura, stężenie środka chemicznego oraz działanie mechaniczne przepływającej cieczy [7].

Kontrola nie kończy się na myciu urządzeń. W zakładach prowadzi się badania mikrobiologiczne surowców, gotowych produktów i środowiska produkcji [6]. Stosuje się klasyczne metody hodowlane, a w określonych zastosowaniach także szybsze techniki molekularne.

Jednym z podstawowych systemów zarządzania bezpieczeństwem jest HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Point). Polega on na rozpoznaniu zagrożeń, określeniu miejsc szczególnie ważnych dla ich kontroli, ustaleniu odpowiednich parametrów i prowadzeniu monitoringu [6].

Przykładem może być pasteryzacja. Jeżeli bezpieczeństwo procesu zależy od osiągnięcia określonej temperatury przez odpowiedni czas, parametry te muszą być kontrolowane. Jeżeli wartość krytyczna nie zostanie osiągnięta, producent wdraża wcześniej ustalone działania korygujące [6].

Mikroorganizmy mogą więc pełnić w produkcji żywności zupełnie różne funkcje. W jednym procesie są niezbędnym narzędziem technologa, a w innym stanowią zagrożenie dla jakości lub zdrowia konsumenta. Nowoczesna

produkcja nie polega na usunięciu wszystkich mikroorganizmów. Jej celem jest stworzenie takich warunków, aby rozwijały się mikroorganizmy pożądane, a te niepożądane były skutecznie kontrolowane.

Literatura

1. Marco M.L., Sanders M.E., Gänzle M. i in. (2021). The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on fermented foods. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, 18, 196–208. DOI: 10.1038/s41575-020-00390-5.
2. Wang Y., Wu J., Lv M., Shao Z., Hungwe M., Wang J., Bai X., Xie J., Wang Y., Geng W. (2021). Metabolism Characteristics of Lactic Acid Bacteria and the Expanding Applications in Food Industry. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 9, 612285. DOI: 10.3389/fbioe.2021.612285.
3. González-González F., Delgado S., Ruiz L., Margolles A., Ruas-Madiedo P. (2022). Functional bacterial cultures for dairy applications: Towards improving safety, quality, nutritional and health benefit aspects. *Journal of Applied Microbiology*, 133, 212–229.
4. Snyder A.B., Martin N., Wiedmann M. (2024). Microbial food spoilage: impact, causative agents and control strategies. *Nature Reviews Microbiology*, 22, 528–542. DOI: 10.1038/s41579-024-01037-x.
5. World Health Organization. *Food safety* oraz materiały dotyczące chorób przenoszonych przez żywność. WHO.
6. FAO, WHO (2023). *General Principles of Food Hygiene. Codex Alimentarius Code of Practice CXC 1-1969*. Rome. DOI: 10.4060/cc6125en.
7. Memisi N., Vesković Moračanin S., Milijašević M., Babić J., Djukić D. (2015). CIP Cleaning Processes in the Dairy Industry. *Procedia Food Science*, 5, 184–186. DOI: 10.1016/j.profoo.2015.09.052.
8. Reig M., Vecino X., Cortina J.L. (2021). Use of membrane technologies in dairy industry: An overview. *Foods*, 10, 2768.
9. Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi. *Lista Produktów Tradycyjnych, województwo podlaskie*. Buza/boza, kwas buraczany, podlaski kwas chlebowy.
10. Sharan M., Vijay D., Dhaka P., Bedi J.S., Gill J.P.S. (2022). Biofilms as a microbial hazard in the food industry: A scoping review. *Journal of Applied Microbiology*, 133, 2210–2234. DOI: 10.1111/jam.15766.
11. Griep-Moyer E.R., Trmčić A., Qian C., Moraru C.I. (2022). Monte Carlo simulation model predicts bacto-fugation can extend shelf-life of pasteurized fluid milk, even when raw milk with low spore counts is used as the incoming ingredient. *Journal of Dairy Science*, 105, 9439–9449.
12. Chiozzi V., Agriopoulou S., Varzakas T. (2022). Advances, Applications, and Comparison of Thermal and Non-Thermal Technologies in Food Processing. *Applied Sciences*, 12, 2202. DOI: 10.3390/app12042202.