

PREPARATY BAKTERYJNE MODYFIKUJĄCE PROCESY FERMENTACJI A JAKOŚĆ KISZONEK – PRZEGLĄD WYNIKÓW BADAŃ

Marek Selwet

Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, Katedra Gleboznawstwa i Mikrobiologii,
ul. Szydlowska 50, 60-656 Poznań
E-mail: marek.selwet@up.poznan.pl

 <https://orcid.org/0000-0002-1004-7254>

Źródło finansowania badań: grant dziekański na Wydziale Rolnictwa, Ogrodnictwa i Biotechnologii Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu na wsparcie finansowe inwestycji. Nr wniosku: 4_2023

Abstrakt

*Prawidłowe żywienie krów, w tym mlecznych, oraz pasza dobrej jakości są czynnikami wpływającymi na wyniki produkcji, ale także na dobrostan stada. Kiszonka wysokiej jakości charakteryzuje się m.in. stabilnością tlenową, czyli wysoką opornością paszy na rozkład tlenowy, którą warunkują prawidłowo zachodzące procesy fermentacyjne podczas jej zakiszania. W dobrze przygotowanych kiszonkach procesy fermentacyjne są prowadzone przez mikroorganizmy epifityczne zasiedlające materiał roślinny oraz mogą być wspomagane przez drobnoustroje wprowadzone na drodze inokulacji. Inokulanty (modyfikatory) bakteryjne różnią się między sobą składem i ilościowym zastosowanych bakterii. Należą do nich: bakterie homofermentacji mlekowej (*Lactobacillus acidophilus*, *L. casei*, *L. curvatus*, *L. paracasei*, *L. plantarum*, *L. salivarius*, *Lactococcus acidilactici*, *Enterococcus faecium*, *Pediococcus acidilactici*, *P. pentosaceus*), heterofermentacji mlekowej (*Lactobacillus buchneri*, *L. brevis*, *L. diolivorans*, *L. hilgardii*, *L. kefir*, *L. parafarraginis*, *L. fermentum*, *Leuconostoc*, *Bifidobacterium*), obligatoryjne bakterie heterofermentacji mlekowej, mieszaniny obligatoryjnych bakterii heterofermentacji mlekowej oraz inne mikroorganizmy niebędące bakteriami mlekowymi. Nowoczesne modyfikatory mają za zadanie wspierać prawidłowe procesy fermentacyjne, przyspieszać je i pomagać utrzymać prawidłowy przebieg procesów fermentacyjnych poprzez ich przyspieszenie i ukierunkowanie, a następnie stabilizację. Powstający na drodze homofermentacji i heterofermentacji m.in. kwas propionowy, 1,2-propanediol i octowy działają konserwująco na kiszonkę, hamując rozwój grzybów drożdżoidalnych i innych szkodliwych mikroorganizmów, tym samym wydłużając stabilność tlenową kiszonek.*

Słowa kluczowe: kiszonka, bakterie fermentacji mlekowej, parametry jakościowe

Wstęp

Przebieg procesów fermentacyjnych zachodzących podczas zakiszania w dużej mierze zależy od konsorcjum mikroorganizmów, jak i metabolitów przez nie wytwarzanych. Konieczne jest stałe badanie zbiorowisk mikroorganizmów występujących na roślinach, jak i tych aktywnych

podczas zakiszania w celu uzyskania kiszonek wysokiej jakości (Yang i in., 2022). Zrozumienie następstw poszczególnych faz fermentacji po sobie oraz korelacji pomiędzy nimi a mikroorganizmami i ich metabolitami powinno stanowić przedmiot współczesnych badań. Podczas procesu zakiszania pasz jednym ze skutecznych sposobów ograniczenia ewentualnych strat składników pokarmowych jest stosowanie inokulantów bakteryjnych. Na przestrzeni lat 2020–2023 zaobserwowano silny wzrost produkcji kiszonek z kukurydzy. Szczególną uwagę należy zwrócić na aspekt ekonomiczny związany z opłacalnością stosowanych inokulantów bakteryjnych (Liu i in., 2024). Uważa się, że stosowanie inokulantów staje się opłacalne i jest wpisane w kanon dobrej praktyki rolniczej. Dzięki postępowi badań bakterie fermentacji mlekowej taksonomicznie opisuje się jako fakultatywne i obligatoryjne heterofermentacyjne i homofermentacyjne bakterie. Działanie preparatów bakteryjnych powinno być ukierunkowane na: (i) poprawę przebiegu procesów fermentacyjnych, (ii) ograniczenie strat podczas zakiszania, (iii) polepszenie wartości odżywczych, (iiii), wydłużenie stabilności tlenowej paszy.

Cechy dobrej kiszonki

Kiszonkę dobrej jakości cechuje właściwe pH (3,8–4,2 kiszonka z kukurydzy; 4,2–4,6 kiszonka z traw), wysoka wartość pokarmowa, smakowitość (przyjemny zapach, dobrze zachowana struktura, oliwkowy kolor), stabilność tlenowa (niepodatność na wtórną fermentację) i prawidłowa jakość mikrobiologiczna. Szacuje się, że każde podwyższenie temperatury kiszonki o 10°C powoduje podwojenie aktywności biologicznej zasiedlającej ją mikrobioty. Liczba dni, podczas których kiszonka wystawiona w temperaturze 20°C na działanie powietrza nie przekroczy o 3°C temperatury otoczenia, określana jest mianem stabilności tlenowej (Kukier i in., 2015). Dobra kiszonka z traw o zawartości suchej masy na poziomie 30–35% cechuje się pH na poziomie 4,3–4,7. Zawartość kwasu mlekowego powinna kształtować się w granicach 6–10%, octowego 1–3%, propionowego <1%, masłowego 0,5–1%. Ilość amoniaku w stosunku do całkowitego azotu powinna się wahać w granicach 8–12%. Etanol natomiast powinien stanowić 0,5–1%. Taki poziom suchej masy gwarantuje zachowanie równowagi między zawartością skrobi a strawnością i zawartością włókna. Zapewnia również odpowiednie ubicie zielonej masy w silosie.

Pożyteczne bakterie (bakterie fermentacji mlekowej), zasiedlające naturalnie rośliny występują w małych liczebnościach, natomiast niepożądane mikroorganizmy, takie jak enterobakterie, *Clostridium* spp., *Bacillus* spp., *Listeria* spp. oraz grzyby (drożdżoidalne i pleśnie) w wyższych, dlatego przy zakiszaniu należy wspomóc się inokulantami (zakiszaczami, modyfikatorami). Dobry inokulant ma za zadanie ograniczyć zagrzewanie się materiału roślinnego, zahamowanie rozwój grzybów, wystąpieniu wtórnej fermentacji i powstawania alkoholu.

Rodzina *Lactobacillaceae*

Lactobacillaceae to jedyna rodzina w *Lactobacillales*, która obejmuje mikroorganizmy homofermentatywne i heterofermentatywne (Zheng i in., 2020).

Bakterie homofermentacji mlekowej

Należą do nich między innymi: *Lactobacillus delbrueckii*, *L. acidophilus*, *L. casei* (*Lacticaseibacillus casei*), *L. curvatus* (*Latilactobacillus curvatus*), *L. paracasei* (*Lacticaseibacillus paracasei*), *L. plantarum* (*Lactiplantibacillus plantarum*), *L. salivarius* (*Ligilactobacillus salivarius*), *L. melliventris*. Bakterie te jako substrat do fermentacji mlekowej wykorzystują glukozę i fruktozę w celu wytworzenia kwasu mlekowego. Metabolizm glukozy odbywa się na drodze glikolizy, gdzie z jednej cząsteczki glukozy powstają 2 cząsteczki pirogronianu, 2 cząsteczki ATP oraz 2 cząsteczki NADH⁺, które zużywane są następnie w redukcji pirogronianu do kwasu

mlekowego. Enzymem niezbędnym do przeprowadzenia tych przemian jest dehydrogenaza mleczanowa, dzięki której pirogronian jest przekształcany w kwas mlekowy. Jedynie niewielkie ilości pirogronianu w trakcie procesu zamieniane są w dwutlenek węgla, kwas octowy i etanol (Ratajczak i Piotrowska-Cyplik, 2017). Ten szlak metaboliczny jest bardzo korzystny, ponieważ prowadzi do ograniczenia strat suchej masy w kiszonkach (powinna się kształtować na poziomie 30–35%), zmniejszenia koncentracji kwasu octowego, masłowego i amoniaku, ale przede wszystkim sprzyja podwyższeniu zawartości kwasu mlekowego i obniżeniu pH (Kung, 2018). Wyniki innych autorów wskazują na znaczne obniżenie zawartości suchej masy w kiszonkach z kukurydzy inokulowanych bakteriami homofermentacji mlekowej (Guo i in., 2021). Oliveira i in. (2017) wykazali, że inokulanty zawierające bakterie homofermentacji korzystnie hamowały wzrost bakterii z rodzaju *Clostridium* i grzybów pleśniowych, ale nie miały wpływu na stabilność tlenową kiszonek. Autorzy na podstawie metaanalizy 130 artykułów wskazują, że skuteczność działania bakterii homofermentacji w dużej mierze zależy od rodzaju zakiszanej rośliny. Wyniki badań wykazały korzystny wpływ bakterii homofermentacji na obniżenie pH w kiszonkach z lucerny i innych bobowatych, ale nie w przypadku kukurydzy i sorgo. Z drugiej strony, bakterie te wpływały na obniżenie koncentracji kwasu octowego w większości kiszonek, z wyłączeniem tych sporządzonych z lucerny i innych bobowatych. Kiszonki z traw, kukurydzy i sorgo z dodatkiem bakterii homofermentacji cechowały mniejsze straty suchej masy w porównaniu z kiszonkami kontrolnymi. Inokulacja spowodowała pożądane obniżenie zawartości kwasu masłowego i amoniaku oraz wzrost poziomu kwasu mlekowego, niezależnie od rodzaju zakiszanej rośliny. Czynnikiem wpływającym na taki przebieg fermentacji mogła być zróżnicowana zawartość węglowodanów niestrukturalnych oraz odmienna buforowość roślin.

Wpływ bakterii homofermentacji mlekowej na stabilność tlenową kiszonek jest niejednoznaczny. Analiza wyników badań przeprowadzona przez Oliveira i in. (2017) nie potwierdza znaczącego wpływu bakterii homofermentacji mlekowej na zmiany stabilności tlenowej kiszonek. Autorzy odnotowali wyższe liczebności grzybów drożdżoidalnych w kiszonkach inokulowanych w porównaniu z kontrolnymi. Podwyższona liczebność grzybów drożdżoidalnych przy obniżeniu koncentracji kwasu octowego może wyjaśniać pogorszenie stabilności tlenowej kiszonek inokulowanych bakteriami homofermentacji. Grzyby te są głównymi inicjatorami degradacji tlenowej pasz. Natomiast Guo i in. (2021) po zastosowaniu *L. plantarum* do zakiszania kukurydzy odnotowali wzrost koncentracji kwasu mlekowego i obniżenie: pH, stężenia kwasu masłowego, amoniaku oraz liczebności grzybów drożdżoidalnych. Autorzy sugerują, że istotnym czynnikiem kształtującym te parametry jest opóźnienie terminu zbioru kukurydzy. W kiszonkach zbieranych w późniejszych terminach (15 dni od osiągnięcia pełnej dojrzałości) zaobserwowano wzrost pH, koncentracji kwasu octowego i obniżenie poziomu kwasu mlekowego. Rozbieżne wyniki badań nie potwierdzają w pełni wysokiej efektywności bakterii homofermentacji mlekowej w produkcji kiszonek o pożądanej jakości. Stało się to przyczyną rozpoczęcia badań nad opracowaniem nowych preparatów zawierających mieszaniny bakterii homofermentacji oraz heterofermentacji.

Bakterie heterofermentacji mlekowej

Bakterie z tej grupy to między innymi: *Lactobacillus buchneri* (*Lentilactobacillus buchneri*), *L. brevis* (*Levilactobacillus brevis*), *L. diolivorans* (*Lentilactobacillus diolivorans*), *L. hilgardii* (*Lentilactobacillus hilgardii*), *L. kefir* (*Lentilactobacillus kefir*), *L. parafarraginis* (*Lentilactobacillus parafarraginis*), *L. fermentum* (*Limosilactobacillus fermentum*), *Bifidobacterium* spp. Heterofermentacja jest prowadzona przez bakterie, u których nie występują niektóre enzymy niezbędne do przeprowadzenia procesu glikolizy. Przekształcenie glukozy odbywa się innym szlakiem niż w przebiegu homofermentacji. Rozkład glukozy na pierwszym etapie zachodzi wyłącznie w szlaku pentozofosforanowym – z wykorzystaniem glukozo-6-fosforanu, 6-fosfoglukonianu i rybulozo-5-fosforanu, który jest następnie przekształcany przez epimerazę

do ksylulozo-5-fosforanu. Ten z kolei, w reakcji wymagającej pirofosforanu tiaminy, jest rozszczepiany przez fosfoketolazę z wytworzeniem aldehydu 3-fosfoglicerynowego i acetylofosforanu. Acetylofosforan ulega albo przekształceniu do octanu przez kinazę octanową, z równoczesną fosforylacją ADP, albo redukcji do etanolu poprzez acetylo-CoA i aldehyd octowy. Aldehyd 3-fosfoglicerynowy jest utleniany w szlaku fruktozobisfosforanowym i przekształcany ostatecznie w kwas mlekowy. Finalnie w heterofermentacji z 1 mola glukozy powstają: 1 mol kwasu mlekowego, 1 mol etanolu i 1 mol dwutlenku węgla. Bakterie z rodzaju *Bifidobacterium* prowadzą heterofermentację w inny sposób niż pozostałe heterofermentatywne bakterie, wykorzystując szlak fosfoketolazowy. W procesie tym z 2 moli glukozy powstają 2 mole kwasu mlekowego i 3 mole kwasu octowego. Etanol i CO₂ powstające podczas heterofermentacji w sposób niekorzystny przyczyniają się do strat suchej masy, stąd ten szlak metaboliczny jest mniej wydajny niż homofermentacja (Ratajczak i Piotrowska-Cyplik, 2017).

Obligatoryjne bakterie heterofermentacji mlekowej

Bakteria *L. buchneri* skutecznie wydłuża stabilność tlenową kiszonek dzięki zdolności metabolizowania kwasu mlekowego do kwasu octowego i 1,2-propanodiolu. Następnie 1,2-propanodiol może być przekształcany w kwas propionowy przez szczep *L. diolivorans* (Selwet, 2021). Oznaczono nowy szczep zdolny do bezpośredniej syntezy i metabolizmu 1,2-propanodiolu taki jak *L. buchneri* A KKP 2047p (Zielińska i in., 2017). *L. buchneri* wykazuje wolniejsze tempo wzrostu niż bakterie homofermentacji; dopiero po zakończeniu głównej inicjalnej fermentacji zaczyna powoli przekształcać kwas mlekowy w octowy. Powstające kwasy octowy i propionowy działają fungistatycznie na grzyby drożdżoidalne i pleśniowe, które metabolizując mleczan, powodują straty i obniżenie stabilności tlenowej kiszonek. Stabilność tlenowa kiszonek oznacza ich odporność na rozkład w obecności tlenu, co jest kluczowe dla zachowania wysokiej jakości paszy. Im bardziej stabilna jest kiszanka tlenowo, tym mniej ulega psuciu się i utracie wartości odżywczej podczas skarmiania. Gatunek *L. hilgardii* o zbliżonym mechanizmie działania do *L. buchneri* może zapobiegać stratom suchej masy oraz wydłużać stabilność tlenową kiszonek. Wydłużenie czasu stabilności tlenowej obniża straty suchej masy, które mogą dochodzić nawet do 30%. Arriola i in. (2021a) w swoich badaniach nie stwierdzili wpływu tych dwóch gatunków bakterii na stabilność tlenową kiszonek. Efekt działania omawianych gatunków bakterii zależy od zastosowanego szczepu oraz dawki preparatu (Selwet, 2022). Metaanaliza przeprowadzona przez Kleinschmit i Kung (2006) wykazała, że kiszonki kontrolne z kukurydzy cechowała stabilność tlenowa na poziomie 25 godzin. Dawka inokulantu zawierającego $<10^5$ jtk *L. buchneri* g⁻¹ ś.m kukurydzy wpływała na wydłużenie stabilności do 35 godzin. Zwiększenie dawki $>10^5$ jtk *L. buchneri* g⁻¹ ś.m kukurydzy powodowało wydłużenie czasu odporności kiszonek na rozkład tlenowy do 503 godzin. W preparatach handlowych zalecane dawki stosowania mieszczą się w zakresie od 10^5 do 4×10^5 jtk *L. buchneri* g⁻¹ ś.m., a w przypadku kukurydzy o wysokiej wilgotności 6×10^5 jtk g⁻¹ ś.m.. Nieuzasadnione okazały się także obawy związane ze stratami suchej masy z powodu nadmiernej produkcji kwasu octowego. Wyniki większości badań wykazały zmniejszenie strat suchej masy tylko o 1 punkt procentowy przy dawkach około 10^5 jtk g⁻¹ ś.m. Tak niewielka różnica w stosunku do kiszonek kontrolnych była rekompensowana wydłużoną stabilnością otrzymanych kiszonek.

Mieszaniny obligatoryjnych bakterii heterofermentacji mlekowej

Ważną rolę w technologii produkcji kiszonek odgrywają kombinacje różnych gatunków bakterii np. *L. buchneri* z *L. brevis*, *L. parafarraginis* i *L. hilgardii* (Arriola i in., 2021a). Mieszaniny bakterii heterofermentacji stosowano w celu ograniczenia strat suchej masy oraz wydłużeniu stabilności tlenowej kiszonek, w porównaniu do kiszonek inokulowanych jednym szczepem np. *L. buchneri*. Nowe badania ukierunkowane są na izolację szczepów obligatoryjnych bakterii

heterofermentacji, które efektywniej niż *L. buchneri* wydłużą czas stabilności tlenowej kiszonek. Danner i in. (2003) po zastosowaniu *L. brevis* odnotowali wydłużenie czasu stabilności tlenowej kiszonki do 72 godzin w porównaniu z kiszonką kontrolną (40 godzin). Autorzy zastosowali bardzo wysoką (wyższą od komercyjnej) dawkę inokulantu (7×10^8 jtk g⁻¹ ś.m.). W literaturze dostępne są również wyniki badań nad rośliną nieuprawianą w strefie klimatu umiarkowanego (trzcina cukrowa), które wykazały, że dodatek czystego szczepu *L. brevis* (DSM23231) lub zastosowanego w kombinacji z *L. kefir* (DSM19445) w dawce 2×10^5 jtk g⁻¹ nie wpływał na zmiany w koncentracji kwasu octowego, zwiększył liczebność grzybów drożdżoidalnych i nie wykazał wpływu na zmiany stabilności tlenowej kiszonek (Daniel i in., 2015). Avila i in. (2014) wykazali, że kiszonki z trzciny cukrowej traktowane dwoma szczepami *L. hilgardii* (CNCM I-4784 i CNCM I-4785) cechowały się wyższym stężeniem kwasu octowego i 1,2-propanodiolu niż kiszonki kontrolne lub kiszonki inokulowane wyłącznie *L. brevis*. Kiszonki z dodatkiem *L. hilgardii* charakteryzowały się mniejszymi stratami suchej masy, niższym stężeniem etanolu i kwasu masłowego w porównaniu z kiszonkami kontrolnymi. Stabilność tlenowa kiszonek w tych badaniach nie uległa wydłużeniu w czasie. Assis i in. (2014) stosując *L. hilgardii* w dawce 1×10^6 jtk g⁻¹ kukurydzy obserwowali wydłużenie stabilności tlenowej kiszonki dopiero w 90. dniu zakiszania. Autorzy porównując kiszonki inokulowane z kontrolnymi w 30. dniu zakiszania, nie odnotowali różnic w zmianach czasu zagrzewania się paszy. Polukis i in. (2016) aplikowali *L. hilgardii* CNCM I-4785 oraz *L. buchneri* 40788 w dawce 6×10^5 jtk g⁻¹ do zakiszania kukurydzy o wysokiej wilgotności. Autorzy zaobserwowali w obu przypadkach wzrost produkcji kwasu octowego i 1,2-propanodiolu oraz obniżenie liczebności grzybów drożdżoidalnych, w porównaniu z kiszonkami kontrolnymi. Jednocześnie stabilność tlenowa badana w 30. i 90. dniu zakiszania dla kiszonek inokulowanych wynosiła 250 godzin, a dla kiszonek kontrolnych relatywnie 31 i 49 godzin. Arriola i in. (2021b) wykazali wydłużenie stabilności tlenowej w 79% kiszonek przygotowanych z różnych gatunków roślin po zastosowaniu mieszaniny *L. buchneri* i *L. hilgardii* w porównaniu z inokulacją tylko szczepem *L. buchneri*. Efekt ten był wynikiem wzrostu koncentracji kwasu octowego (o 47%), propionowego (o 35%), 1,2-propanodiolu (o 269%) z jednoczesnym obniżeniem liczebności grzybów pleśniowych i drożdżoidalnych. Bernardi i in. (2019) w badaniach nad wpływem mieszaniny *L. buchneri* i *L. brevis* na jakość kiszonki z kukurydzy zauważyli także wzrost stabilności tlenowej badanej paszy, przy jednoczesnym obniżeniu liczebności grzybów pleśniowych i drożdżoidalnych, lecz autorzy odnotowali zwiększenie strat suchej masy o 50%. Gomes i in. (2021) w kiszonkach z trzciny cukrowej zakiszanej z: *L. hilgardii* CNCM I-4785, *L. buchneri* NCIMB 40788 oraz ich mieszaniną odnotowali wzrost koncentracji kwasu octowego, obniżenie liczebności grzybów drożdżoidalnych, a także wydłużenie stabilności tlenowej kiszonek. Szczep *L. buchneri* stosowany samodzielnie okazał się szczepem najbardziej efektywnym w porównaniu do *L. hilgardii* i mieszaniny *L. buchneri* i *L. hilgardii* stosowanych w dawce 3×10^5 jtk g⁻¹ ś.m. Natomiast Ferrero i in. (2021) wykazali, że mieszanina tych dwóch szczepów wpływa efektywniej na wydłużenie stabilności tlenowej kiszonek, niż szczepów stosowanych samodzielnie (dawka $\leq 1 \times 10^5$ jtk g⁻¹).

Mieszaniny bakterii homofermentacji i obligatoryjnych heterofermentacji mlekowej

Mieszaniny tych grup bakterii mają za zadanie zwiększenie korzyści i zmniejszenie strat wynikających z ich stosowania. Bakterie homofermentacji (*L. plantarum*, *L. lactis*, *E. faecium*, *P. acidilactici*) korzystnie wpływają na poprawę przebiegu fermentacji i zmniejszenie strat suchej masy w kiszonkach. Nie wykazują one jednak znaczącego wpływu na poprawę stabilności tlenowej kiszonek. Dlatego zaleca się wzbogacić inokulanty o szczepy bakterii heterofermentacji takie jak: *L. buchneri*, *L. brevis* czy *L. hilgardii*, które wykazują takie właściwości. W większości badań głównym komponentem inokulantów jest *L. buchneri* oraz *L. brevis*. Uzupełnieniem tego typu inokulantów są gatunki: *L. plantarum*, *L. lactis*, *E. faecium* i *P. pentosaceus*. Li

i in. (2021) stosując mieszaninę *L. buchneri* i *L. plantarum* (dawka 10^5 g⁻¹ ś.m. tymotki łąkowej) odnotowali obniżenie koncentracji kwasu masłowego, amoniaku, liczebności grzybów drożdżoidalnych i pH, w porównaniu do kiszonek kontrolnych. Arriola i in. (2021b) stosując mieszaniny tych bakterii uzyskali efekt synergistyczny, przejawiający się wydłużeniem czasu stabilności tlenowej kiszonek z kukurydzy, z wyłączeniem kiszonek z sorgo. O korzystnym wpływie na polepszenie stabilności tlenowej kiszonek z kukurydzy i lucerny po zastosowaniu mieszanin bakterii czytamy w pracy Blajman i in. (2020). Stosowanie mieszanin bakterii powoduje szybkie obniżenie pH kiszonek w początkowej fazie zakiszania. Schmidt i in. (2009) badali kiszonki z lucerny traktowane szczepami *L. buchneri* oraz mieszaniną *L. buchneri* i *P. pentosaceus*. Autorzy zaobserwowali, że po 5 dniach od momentu rozpoczęcia zakiszania, pH kiszonek z dodatkiem *L. buchneri* było wyższe niż kiszonek kontrolnych, a zastosowanie mieszaniny bakterii (*L. buchneri* i *P. pentosaceus*) spowodowało znaczne obniżenie pH paszy, w stosunku do próbek kontrolnych. Addah i in. (2012) stwierdzili, że pH kiszonek z jęczmienia z dodatkiem *L. buchneri*, *L. plantarum* i *L. casei* w pierwszym tygodniu zakiszania było niższe, w porównaniu z kiszonkami kontrolnymi. Arriola i in. (2015) stosując preparaty zawierające *L. buchneri* i *P. pentosaceus* oraz *P. pentosaceus* i *Propionibacterium freudenreichii* w kiszonkach z traw odnotowali po pierwszych 7 dniach zakiszania szybsze obniżenie pH zakiszane materiału roślinnego, w porównaniu do próbek kontrolnych. Dominacja *L. buchneri* często powiązana jest z obniżeniem koncentracji kwasu mlekowego i zwiększeniem zawartości kwasu octowego, co wydłuża stabilność tlenową kiszonek. Istnieją badania wykazujące brak wpływu kombinowanych inokulantów na poprawę stabilności tlenowej kiszonek. Adesogan i Salawu (2004) zastosowali inokulant zawierający: *L. buchneri*, *P. pentosaceus* i *L. plantarum* do przygotowania kiszonek z grochu i pszenicy. Porównali działanie preparatu z kiszonkami kontrolnymi oraz zakiszany z dodatkiem *L. buchneri* i kwasem mrówkowym. Żaden z zastosowanych preparatów nie wpływał na poprawę stabilności tlenowej pasz. Zawartość kwasu octowego była wyższa w kiszonkach kontrolnych (26–42 g kg⁻¹ s.m.), w porównaniu z kiszonkami z dodatkiem inokulantu kombinowanego. Kang i in. (2009) badali skuteczność preparatu kombinowanego (*L. casei*, *L. buchneri*) w kiszonkach przygotowanych z dwóch odmian kukurydzy. Zaobserwowali wpływ inokulacji na poprawę stabilności tylko w przypadku jednej z odmian, kiszonki sporządzone z drugiej odmiany wykazywały obniżoną stabilność tlenową, w porównaniu z kiszonkami kontrolnymi. Thomas i in. (2013) badali wpływ kombinacji *L. buchneri*, *P. acidilactici*, *P. pentosaceus*, *L. plantarum*, *E. faecium* na efekty zakiszania czterech odmian sorgo. Analiza chemiczna pasz wykazała, że żadna z kiszonek nie posiadała cech, w której dominowała heterofermentacja mlekowa. Dwie z odmian zostały zakwalifikowane do grupy, gdzie dominowała homofermentacja mlekowa, lecz w żadnej z kiszonek nie stwierdzono wpływu inokulacji na poprawę stabilności tlenowej. Diepersloot i in. (2021) w kiszonkach z sorgo traktowanych mieszaniną: *L. plantarum* DSM 21762, *L. buchneri* DSM 12856, i *L. diolivorans* DSM 32074 stwierdzili wpływ tej kombinacji bakterii na przebieg procesów heterofermentacyjnych, wzrost koncentracji kwasu octowego, zahamowanie wzrostu grzybów i wydłużenie stabilności tlenowej po 56 dniach zakiszania z 36 h (kontrola) do 191 h (kombinacja bakterii).

Inne bakterie

Spośród innych gatunków bakterii jako inokulanty mogą być stosowane: *Streptococcus bovis*, *Propionibacterium acidipropionici* oraz rodzaj *Bacillus* spp. Największe zastosowanie w preparatach bakteryjnych zyskały rodzaje *Bacillus* spp. i *Propionibacterium* spp. Lara i in. (2016) sugerują stosowanie inokulacji bakteriami z rodzaju *Bacillus* spp., w celu poprawienia stabilności tlenowej kiszonek z kukurydzy. Autorzy porównali trzy kombinacje (kontrola, *Bacillus subtilis* i mieszanina *L. plantarum* z *B. subtilis*). Kiszonki z dodatkiem *B. subtilis* zawierały mniejsze liczebności grzybów drożdżoidalnych oraz wykazywały wydłużenie stabilności tlenowej kiszonek, w porównaniu do pozostałych kombinacji. Gandra i in. (2016) odnotowali

w kiszonkach z trzciny cukrowej inokulowanej *L. buchneri* wyższą koncentrację kwasu masłowego oraz niższą kwasu octowego w porównaniu z kiszonkami traktowanymi kombinacją *L. buchneri* z *B. subtilis*. Stabilność tlenowa w obu przypadkach kształtowała się na zbliżonym poziomie i była dłuższa w porównaniu z kontrolą. Keles i in. (2010), stosując komercyjny preparat do zakiszania traw zawierający: *L. plantarum*, *Serratia rubidaea* i *B. subtilis*, nie odnotowali jego wpływu na poprawę stabilności tlenowej kiszonek w porównaniu z kontrolą. Stosowanie bakterii z rodzaju *Propionibacterium* spp. ma na celu poprawę stabilności tlenowej kiszonek w wyniku produkcji przez te bakterie kwasu propionowego. Filya i in. (2004) badali wpływ *P. acidipropionici*, *L. plantarum* i ich mieszaniny na kiszonki z pszenicy, kukurydzy i sorgo. Autorzy uzyskali zbliżone wyniki dla wszystkich trzech roślin. Zastosowanie *P. acidipropionici* wpływało na wzrost koncentracji kwasu octowego i propionowego oraz obniżenie liczebności grzybów drożdżoidalnych. Po zastosowaniu mieszaniny *P. acidipropionici* i *L. plantarum* koncentracja kwasów: mlekowego, octowego i propionowego była zbliżona do oznaczanej w próbkach z dodatkiem *L. plantarum*, które zawierały wyższe stężenie kwasu mlekowego i niższe octowego w porównaniu z kontrolą. Zastosowanie *P. acidipropionici* w postaci czystego szczepu skutkowało otrzymaniem kiszonek o wydłużonej stabilności tlenowej z niską liczebnością grzybów drożdżoidalnych. *S. bovis* jest gatunkiem zbliżonym do bakterii stosowanych w inokulantach. Jest to bakteria powszechnie występująca w żywcu, jednak nie w kiszonkach. Cechuje się bardzo szybkim tempem wzrostu, lecz nie jest tak odporna na obniżenie pH środowiska jak bakterie właściwej fermentacji mlekowej. Ferreira i in. (2013) stwierdzili korzystny wpływ *S. bovis* na obniżenie pH do wartości 3,83 w kiszonkach z trawy słoniowej inokulowanych w porównaniu z kontrolą (pH 4,01) i na przebieg procesu fermentacji w kiszonkach (zmniejszenie strat suchej masy). Odnotowali obniżenie liczebności grzybów pleśniowych, drożdżoidalnych i bakterii z rodziny *Enterobacteriaceae* oraz wzrost liczebności bakterii fermentacji mlekowej w porównaniu do kiszonek kontrolnych.

Czynniki wpływające na skuteczność stosowanych inokulantów

Błędy podczas przygotowania kiszonki mogą być związane ze złym terminem zbioru i fazą rozwojową roślin przeznaczonych do zakiszania, co może mieć wpływ na zmniejszenie tempa zakiszania masy roślinnej, zwiększenia strat suchej masy i energii (Guo i in., 2021). Należy zwrócić uwagę na pojemność buforową zakiszanych roślin, zawartość suchej masy, cukrów prostych, wilgotność i fazę rozwojową materiału roślinnego. Przykładem roślin trudnych do zakiszenia są lucerna i koniczyna o niskiej zawartości suchej masy i wysokiej pojemności buforowej, która zapobiega szybkiemu obniżeniu pH. Rośliny łatwe do zakiszenia to przede wszystkim kukurydza, inne zboża i trawy o wysokiej zawartości cukrów prostych i niskiej pojemności buforowej. W przypadku takich roślin jak trawy, lucerna i koniczyna prawidłowym zabiegiem jest ich podsuszenie, które zwiększa zawartości suchej masy bez strat koncentracji cukrów prostych. Ważna jest prawidłowa aplikacja zakiszaczy bakteryjnych podczas sporządzania kiszonek, kalibracja aplikatorów podczas dozowania ręcznego i mechanicznego w celu uzyskania jednorodnej zawiesiny. Niedostateczna szczelność silosów, rękawów i balotów foliowych oraz złe ubicie masy roślinnej wpływają na rozwój grzybów pleśniowych i drożdżoidalnych obniżających stabilność tlenową kiszonek. Ograniczanie dostępu powietrza do kiszonki jest warunkiem obniżenia strat suchej masy w paszy, które mogą wynosić około 2% miesięcznie (Schmidt i in., 2009). Należy zaznaczyć, że zastosowanie inokulantów bakteryjnych wpływa korzystnie na skład chemiczny i stabilność tlenową kiszonek, przygotowanych w sposób prawidłowy.

Przeżywalność bakterii

Warunki środowiskowe mogą mieć kluczową rolę na przeżywalność bakterii biorących udział w procesach fermentacyjnych. Do najważniejszych czynników fizycznych i chemicznych można zaliczyć: wilgotność, temperaturę, kwasowość, zawartość węglowodanów rozpuszczalnych w wodzie jak substratu pokarmowego dla bakterii mlekowych oraz nasłonecznienie. Przechowywanie komercyjnych inokulantów powinno być zgodne z zaleceniami producenta tj. w niskiej temperaturze, suchym środowisku i przy ograniczonym dostępie tlenu. Przed aplikacją modyfikatorów bakteryjnych należy koniecznie oznaczyć koncentrację bakterii w preparacie w koncesjonowanych laboratoriach i porównać ją z danymi producenta. Najczęściej koncentracja bakterii mieści się w zakresie od 10^4 do 10^{11} jtk g^{-1} . Koncentracją pozwalającą na zdominowanie populacji bakterii epifitycznych, zapewnienie prawidłowego procesu fermentacji i otrzymanie stabilnych tlenowo kiszzonek jest 10^5 jtk g^{-1} (Zi i in., 2021). Błędem jest długoterminowe wystawianie sporządzonej zawiesiny bakteryjnej na działanie promieniowania słonecznego i wysokiej temperatury. Skutkuje to wysoką śmiertelnością bakterii już po 24 godzinach od przyrządzenia, szczególnie w wodzie zawierającej chlor lub nadtlenek wodoru.

Bakterie epifityczne zasiedlające materiał roślinny

Skład mikroorganizmów, jakie tworzą drobnoustroje epifityczne, jest bardzo ważnym czynnikiem mogącym wpływać na zmiany wśród mikroorganizmów podczas zakiszania. Populacje mikroorganizmów epifitycznych w świeżym materiale roślinnym mogą być zależne od gatunku roślin, położenia geograficznego i warunków klimatycznych. W celu stworzenia odpowiednich warunków w zakiszonym materiale roślinnym, wprowadzone wraz z inokulacją bakterie muszą zdominować populację bakterii epifitycznych. Addah i in. (2014) sugerują, że populacja bakterii w stosowanych inokulantach powinna być o 10% wyższa od epifitów występujących na roślinach. Pojawiają się opracowania wskazujące na brak związku pomiędzy mikroorganizmami epifitycznymi i wprowadzanymi z modyfikatorami a procesem zakiszania kukurydzy i lucerny (Yang i in., 2002). Rozbieżności te są spowodowane odmienną liczebnością bakterii epifitycznych występujących na poszczególnych gatunkach roślin, np. od 100 do 10×10^6 jtk g^{-1} lucerny i od 10×10^6 jtk g^{-1} kukurydzy. Wang i in. (2021) uważają, że podczas zakiszania soi w celu uzyskania kiszzonek dobrej jakości, populacja bakterii epifitycznych nie może być mniejsza niż 10^5 jtk g^{-1} ś.m. Ważne wydają się dalsze badania nad rolą bakterii epifitycznych na mikroorganizmy aplikowane w formie preparatów, w szczególności niepożądanych bakterii epifitycznych, jak tworzące endospory *Clostridium* spp. i bakterii z rodzaju *Pseudomonas* spp. wpływających na przebieg fermentacji masłowej i proces rozkładu białek.

Skład inokulantów

To jeden z najważniejszych czynników wpływających na skuteczność działania preparatów bakteryjnych. Bakterie homofermentacji mlekowej powinny być dodawane w celu poprawy przebiegu procesu fermentacji, obniżeniu strat suchej masy, a nie poprawy stabilności tlenowej kiszzonek. Bakterie heterofermentacji mlekowej należy stosować głównie w celu wydłużenia czasu stabilności tlenowej pasz. Zastosowane w mieszaninach szczepy bakterii mlekowych mogą się różnić skutecznością działania w zmieniających się warunkach środowiskowych. Dlatego do tworzenia inokulantów należy wybierać szczepy sprawdzone w badaniach naukowych, szczególnie dedykowane określonym gatunkom roślin i pozyskanych z siedlisk, w których są one uprawiane. Dla przykładu mieszanina homofermentujących bakterii *E. faecium* lub *P. pentosaceus* stosowana jako kultura startowa (posiadająca zdolność fermentacji heksoz w wyższym pH) jest często wzbogacana *L. plantarum*, których aktywność fermentacyjna wzrasta przy niższych wartościach pH środowiska (Kung, 2018).

Podsumowanie

Opracowywanie i stosowanie nowoczesnych inokulantów (moderatorów) bakteryjnych miało i ma na celu rozwiązywanie wielu problemów, z którymi rolnicy napotykają podczas procesów technologicznych związanych z produkcją kiszonek. Najważniejszymi kwestiami są zapewnienie efektywnej produkcji kwasu mlekowego w zakiszanej masie, a tym samym gwałtowne obniżenie pH kiszonek z jednoczesnym ograniczeniem działalności bakterii fermentacji masłowej. Ważne jest obniżenie liczebności grzybów drożdżoidalnych w celu wydłużenia w czasie stabilności tlenowej kiszonek. Poza badaniami prowadzonymi bezpośrednio u producentów kiszonek wykonywane są badania laboratoryjne z wykorzystaniem bioreaktorów. Badania te mają na celu preselekcję mikroorganizmów biorących udział w procesie zakiszania na podstawie określenia ich właściwości metabolicznych, produkcji gazów, etanolu i wpływu na pH kiszonek (Wang i in., 2021). Wszystkie wyżej wymienione kwestie będą miały zapewne wpływ na dobrostan i wydajność zwierząt skarmianych takimi paszami, wpływając na hamowanie aktywności szkodliwych mikroorganizmów i stymulowanie rozwoju bioty pożytecznej w przewodzie pokarmowym.

Piśmiennictwo

- Addah W., Baah J.E.K., Okine E.K., McAllister T.A. (2012). A third-generation esterase inoculant alters fermentation pattern and improves aerobic stability of barley silage and the efficiency of body weight gain of growing feedlot cattle. *J. Anim. Sci.*, 90: 1541–1552; <https://doi.org/10.2527/jas2011-4085>
- Addah W., Baah J., Okine E.K., McAllister T.A. (2014). Silage inoculants – Are they worth the money? *Proc. WCDS Adv. Dairy Technol.*, 26: 193–206.
- Adesogan A.T., Salawu M.B. (2004). Effect of applying formic acid, heterolactic bacteria or homolactic and heterolactic bacteria on the fermentation of bi-crops of peas and wheat. *J. Sci. Food Agric.*, 84: 983–992; <https://doi.org/10.1002/jsfa.1745>
- Arriola K.G., Queiroz O.C.M., Romero J.J., Casper D., Muniz E., Hamie J., Adesogan A.T. (2015). Effect of microbial inoculants on the quality and aerobic stability of bermudagrass round-bale haylage. *J. Dairy Sci.*, 98: 478–485; <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8411>
- Arriola K.G., Vyas D., Kim D., Agarussi M.C., Silva V.P., Flores J.M., Jiang Y., Yanlin X. Pech-Cervantes A.A., Ferraretto L.F., Adesogan A.T. (2021a). Effect of *Lactobacillus hilgardii*, *Lactobacillus buchneri* or their combination on the fermentation and nutritive value of sorghum silage and corn silage. *J. Dairy Sci.*, 104: 9664–9675. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19512>
- Arriola K.G., Oliveira A.S., Jiang Y., Kim D., Silva H.M., Kim S.C., Amaro F.X., Ogunade I.M., Sultana H., Pech-Cervantes A.A., Ferraretto L.F., Vyas D., Adesogan A.T. (2021b). Meta-analysis of effects of inoculation with *Lactobacillus buchneri* with or without other bacteria on silage fermentation, aerobic stability, and performance of dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 104: 7653–7670; <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19647>
- Assis F.G.V., Avila C.L.S., Pinto J.C., Schwan R.F. (2014). New inoculants on maize silage fermentation. *Rev. Bras. Zootec.*, 43: 395–403; <https://doi.org/10.1590/S1516-35982014000800001>
- Avila C.L.S., Carvalho B.F., Pinto J.C., Duarte W.F., Schwan R.F. (2014). The use of *Lactobacillus* species as starter cultures for enhancing the quality of sugar cane silage. *J. Dairy Sci.*, 97: 940–951; <https://doi.org/10.3168/jds.2013-6987>
- Bernardi A., Härter C.J., Silva A.W.L., Reis R.A., Rabelo C.H.S. (2019). A meta-analysis examining lactic acid bacteria inoculants for maize silage: Effects on fermentation, aerobic

- stability, nutritive value and livestock production. *Grass Forage Sci.*, 74: 596–612; <https://doi.org/10.1111/gfs.12452>
- Blajman J.E., Vinderola C.G., Paez R.B., Signorini M.L. (2020). The role of homofermentative and heterofermentative lactic acid bacteria for alfalfa silage: a meta-analysis. *J. Agric. Sci.*, 158: 107–118; <https://doi.org/10.1017/S0021859620000386>
- Daniel J.L.P., Checulli M., Zwielehner J., Junges D., Fernandes J., Nussio L.G. (2015). The effects of *Lactobacillus kefir* and *L. brevis* on the fermentation and aerobic stability of sugarcane silage. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 205: 69–74; <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.04.015>
- Danner H., Holzer M., Mayrhuber E., Braun R. (2003). Acetic acid increases stability of silage under aerobic conditions. *Appl. Environ. Microbiol.*, 69: 562–567; <https://doi.org/10.1128/AEM.69.1.562-567.2003>
- Diepersloot E.C., Pupo M.R., Ghizzi L.G., Gusmão J.O., Heinzen C Jr., McCary C.L., Wallau M.O., Ferraretto L.F. (2021). Effects of microbial inoculation and storage length on fermentation profile and nutrient composition of whole-plant sorghum silage of different varieties. *Front. Microbiol.*, 12: 660567; <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.660567>
- Ferreira D.J., Lana R.P., Zanine A.M., Santos E.M., Veloso C.M., Ribeiro G.A. (2013). Silage fermentation and chemical composition of elephant grass inoculated with rumen strains of *Streptococcus bovis*. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 183: 22–28; <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2013.04.020>
- Ferrero F., Tabacco E., Piano S., Casale M., Borreani G. (2021). Temperature during conservation in laboratory silos affects fermentation profile and aerobic stability of corn silage treated with *Lactobacillus buchneri*, *Lactobacillus hilgardii*, and their combination. *J. Dairy Sci.*, 104: 1696–1713; <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18733>
- Filya I., Sucu E., Karabulut A. (2004). The effect of *Propionibacterium acidipropionici*, with or without *Lactobacillus plantarum*, on the fermentation and aerobic stability of wheat, sorghum and maize silages. *J. Appl. Microbiol.*, 97: 818–826. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2004.02367.x>
- Gandra J.R., Oliveira E.R., Takiya C.S., Goes R.H.T.B., Paiva P.G., Oliveira K.M.P., Gandra E.R.S., Orbach N.D., Haraki H.M.C. (2016). Chitosan improves the chemical composition, microbiological quality, and aerobic stability of sugarcane silage. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 214: 44–52; <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.02.020>
- Gomes A.L.M., Bueno A.V.I., Osmari M.P., Machado J., Nussio L.G., Jobim C.C., Daniel J.L.P. (2021). Effects of obligate heterofermentative lactic acid bacteria alone or in combination on the conservation of sugarcane silage. *Front. Microbiol.*, 12: 643879. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.643879>
- Guo L., Lu Y., Li P., Chen L., Gou W., Zhang C. (2021). Effects of delayed harvest and additives on fermentation quality and bacterial community of corn stalk silage. *Front. Microbiol.*, 12: 687481; <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.687481>
- Kang T.W., Adesogan A.T., Kim S.C., Lee S.S. (2009). Effects of an esterase-producing inoculant on fermentation, aerobic stability, and neutral detergent fiber digestibility of corn silage. *J. Dairy Sci.*, 92: 732–738; <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0780>
- Keles G., O’Kiely P., Forristal P.D. (2010). A note on the conservation characteristics of baled grass silages ensiled with different additives. *Ir. J. Agric. Food Res.*, 49: 81–86.
- Kleinschmidt D., Kung L. (2006). A meta-analysis of the effects of *Lactobacillus buchneri* on the fermentation and aerobic stability of corn and grass and small-grain silages. *J. Dairy Sci.*, 89: 4005–4013.
- Kukier E., Grenda T., Goldsztejn M., Kwiatek K. (2015). Mikrobiota kiszzonek. *Życie Weterynaryjne*, 3/4: 33–42.
- Kung Jr. L. (2018). Silage fermentation and additives. *Arch. Latinoam. Prod. Anim.*, 26: 61–66.
- Lara E.C., Basso F.C., de Assis F.B., Souza F.A., Berchielli T.T., Reis R.A. (2016). Changes in the nutritive value and aerobic stability of corn silages inoculated with *Bacillus subtilis*

- alone or combined with *Lactobacillus plantarum*. Anim. Prod. Sci., 56: 1867–1874. <https://doi.org/10.1071/AN14686>
- Li P., Lu Y., Zhao M., Chen L., Zhang C., Cheng Q., Chen C. (2021). Effects of phenyllactic acid, lactic acid bacteria, and their mixture on fermentation characteristics and microbial community composition of timothy silage. Front. Microbiol., 12: 743433; <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.743433>
- Liu E.Y., Wang S., Wang S. et al. (2024). Bacterial inoculants and enzymes based silage cocktails boost the ensiling quality of biomasses from reed, corn and rice straw. Chem. Biol. Technol. Agric., 11, 29; <https://doi.org/10.1186/s40538-024-00549-1>
- Oliveira A.S., Weinberg Z.G., Ogunade I.M., Cervantes A.A.P., Arriola K.G., Jiang Y., Kim D., Li X.J., Goncalves M.C.M., Vyas D., Adesogan A.T. (2017). Meta-analysis of effects of inoculation with homofermentative and facultative heterofermentative lactic acid bacteria on silage fermentation, aerobic stability, and the performance of dairy cows. J. Dairy Sci., 100: 4587–4603; <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11815>
- Polukis S.A., Smith M.L., Savage R.M., Benjamim da Silva E., Laubach A.E., Gray A.M., Kung Jr. L. (2016). The effect of two microbial inoculants on the aerobic stability of high-moisture corn. J. Dairy Sci., 99 (E-Suppl.1): 678 (Abst).
- Ratajczak K., Piotrowska-Cyplik A. (2017). Metabolity bakterii kwasu mlekowego i ich zastosowanie w przemyśle. Post. Mikrobiol., 56: 416–421.
- Schmidt R.J., Hu W., Mills J.A., Kung Jr. L. (2009). The development of lactic acid bacteria and *Lactobacillus buchneri* and their effects on the fermentation of alfalfa silage. J. Dairy Sci., 92: 5005–5010; <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1701>
- Selwet M. (2021). The effect of inoculation with *Lactobacillus* spp. on the production of 1,2-propanediol and 1-propanol, hygienic quality and aerobic stability of maize silage. Pol. J. Agron., 45: 21–27; <https://doi.org/10.26114/pja.iung.459.2021.45.03>
- Selwet M. (2022). Efekt inokulacji bakteriami *Lactobacillus* spp. na wybrane parametry kiszzonki z kukurydzy. Rocz. Nauk. Zoot., 49: 59–69.
- Thomas M.E., Foster J.L., McCuiston K.C., Redmon L.A., Jessup R.W. (2013). Nutritive value, fermentation characteristics, and in situ disappearance kinetics of sorghum silage treated with inoculants. J. Dairy Sci., 96: 7120–7131; <https://doi.org/10.3168/jds.2013-6635>
- Wang C., Zheng M., Wu S., Zou X., Chen X., Ge L., Zhang Q. (2021). Effects of gallic acid on fermentation parameters, protein fraction, and bacterial community of whole plant soybean silage. Front. Microbiol., 12: 662966; <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.662966>
- Yang F., Cai Y., Guo X.S., Zhong J. (Eds) (2022). New microbial inoculants for enhancing fermentation quality of silage. Lausanne: Frontiers Media SA; <https://doi.org/10.3389/978-2-88974-874-7>
- Zheng J., Wittouck S., Salvetti E., Franz C.M.A.P., Harris H.M.B., Mattarelli P., O'Toole P.W., Pot B., Vandamme P., Walter J., Watanabe K., Wuyts S., Felis G.E., Gänzle M.G., Lebeer S. (2020). A taxonomic note on the genus *Lactobacillus*: Description of 23 novel genera, emended description of the genus *Lactobacillus* Beijerinck 1901, and union of *Lactobacillaceae* and *Leuconostocaceae*. Int. J. Syst. Evol. Microbiol., 70, 4: 2782–2858. <https://doi.org/10.1099/ijsem.0.004107>
- Zi X., Li M., Chen Y., Lv R., Zhou H., Tang J. (2021). Effects of citric acid and *Lactobacillus plantarum* on silage quality and bacterial diversity of king grass silage. Front. Microbiol., 12: 631096; <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.63109>
- Zielińska K., Fabiszewska A., Świątek M., Szymanowska-Powałowska D. (2017). Evaluation of the ability to metabolize 1, 2-propanediol by heterofermentative bacteria of the genus *Lactobacillus*. Electronic J. Biotechnol., 26: 60–63; doi.org/10.1016/j.ejbt.2017.01.002

BACTERIAL INOCULANTS MODIFYING FERMENTATION PROCESSES AS RELATED TO SILAGE QUALITY– A REVIEW OF RESEARCH RESULTS

Marek Selwet

SUMMARY

Proper feeding of cows, including dairy cows, and good-quality feed are factors that affect production results and the welfare of the herd. High-quality silage is characterized by, among other things, aerobic stability, i.e. high resistance of the feed to aerobic decomposition, which is determined by properly occurring fermentation processes during its ensiling. In properly prepared silage, epiphytic microorganisms inhabiting the plant material will carry out fermentation processes and may be supported by microorganisms introduced by inoculation. Bacterial inoculants (modifiers) differ in the qualitative and quantitative composition of the bacteria used. These include: homofermentative lactic acid bacteria (*Lactobacillus acidophilus*, *L. casei*, *L. curvatus*, *L. paracasei*, *L. plantarum*, *L. salivarius*, *Lactococcus acidilactici*, *Enterococcus faecium*, *Pediococcus acidilactici*, *P. pentosaceus*), heterofermentative lactic acid bacteria (*Lactobacillus buchneri*, *L. brevis*, *L. diolivorans*, *L. hilgardii*, *L. kefir*, *L. parafarraginis*, *L. fermentum*, *Leuconostoc*, *Bifidobacterium*), obligatory heterofermentative lactic acid bacteria, mixtures of obligatory heterofermentative lactic acid bacteria, and other microorganisms that are not lactic acid bacteria. Modern modifiers are designed to support proper fermentation processes, accelerate them and help maintain them in the right direction. Those created during homofermentation and heterofermentation include, among others, lactic and acetic acids having a preservative effect on silage, inhibiting the growth of yeast fungi and other harmful microorganisms, thereby extending the aerobic stability of silage.

Keywords: silage, lactic acid bacteria, quality parameters