

Mgr inż. Adam Świergolski  
Nauczyciel dyplomowany  
Zespół Szkół im. Ireny Kosmowskiej  
w Suszu

Referat  
z technologii fermentacyjnej

**Rola mikroorganizmów w przetwarzaniu żywności i pasz**

W znaczeniu mikrobiologicznym i biochemicznym termin fermentacja jest używany w celu określenia procesu beztlenowego zdobywania energii przez drobnoustroje. Natomiast w znaczeniu technicznym i bardziej praktycznym pod pojęciem fermentacje rozumiemy również przemiany tlenowe, których rezultatem są produkty częściowego tylko utlenienia substratu, najczęściej cukru. W tym ujęciu procesy produkcji preparatów enzymatycznych, kwasów organicznych, witamin, antybiotyków i biomasy zalicza się do procesów fermentacyjnych, które mają duże znaczenie dla przemysłu spożywczego.

Przemysł mleczarski wytwarza szeroką gamę produktów fermentowanych z mleka, które możemy podzielić na płynne i stałe. Do płynnych zaliczamy zsiadłe mleko, kefir, maślanke, jogurt, kumys itp., a do stałych sery dojrzewające i niedojrzewające oraz twarogi. Sery dojrzewające są ciekawym i rzadkim przykładem fermentacji ciała stałego.

Każdy typ sera o specyficznych parametrach chemicznych, fizycznych i odmiennym procesie technologicznym stwarza też określone środowisko, w którym rozwój drobnoustrojów przebiega przez kolejne stadia (fazy). W mleku serowarskim na początku procesu technologicznego znajdują się drobnoustroje:

- pozostałe po pasteryzacji,
- pochodzące z reinfekcji,
- wprowadzone z zakwasem.

Bakterie przeżywające pasteryzację reprezentowane są przez różne ciepłoodporne mikrokokki, enterokoki, pałeczki mlekowe oraz przetrwalniki *Bacillus* i *Clostridium*. Liczba tych bakterii jest zależna od jakości mleka i parametrów pasteryzacji. Zakażenia wtórne mleka pasteryzowanego są najczęściej nieuniknione w zakładach mleczarskich o tradycyjnej technologii, nie zautomatyzowanych, w których linie technologiczne nie są zamknięte. Źródłem drobnoustrojów mogą być przewody łączące pasteryzator z wannami serowarskimi, wanny, urządzenia serowni, chusty, personel, powietrze i dodatki do mleka. Bakterie zakwasu, których liczba bezpośrednio po wprowadzeniu do mleka serowarskiego wynosi kilka milionów w 1 cm<sup>3</sup>, zaczynają natychmiast rozmnażać się, a przy kwasowości około 8° S.H., jaką osiąga mleko przed zaprawieniem podpuszczką, liczba ich sięga dziesiątków milionów w 1cm<sup>3</sup>. Kultury bakteryjne, składające się głównie z bakterii rodzaju *Lactococcus* (*Lactococcus lactis* var. *lactis*, *Lactococcus lactis* var. *cremoris*), są stosowane przy produkcji serów nisko- i średniogrzewanych. Natomiast przy produkcji serów wysokogrzewanych są stosowane kultury będące mieszaniną bakterii z rodzaju *Lactococcus* i *Lactobacillus*. Przy serach typu szwajcarskiego stosuje się również bakterie z rodzajów *Streptococcus* i *Propionibacterium*. Do serów dojrzewających na „maż” (niektóre sery twarde, sery miękkie typu limburgskiego itp.) dodaje się bakterie tlenowe *Brevibacterium linens*, powodujące proteolizę białek i wytworzenie mazi na powierzchni serów w czasie dojrzewania. Zadaniem bakterii mlekowych jest

ukwaszenie mleka przez zamianę laktozy na kwas mlekowy i przez to ułatwienie procesu jego koagulacji.

Obróbka skrzepu, prowadząca do otrzymania tzw. masy serowej, polega na oddziaływaniu czynników fizykochemicznych na skoagulowane mleko, w celu oddzielenia serwatki od skrzepu. Czynniki przyspieszającymi wydzielanie serwatki są krojenie i mieszanie skrzepu, dodatek wody technologicznej oraz podnoszenie temperatury. Dwa ostatnie czynniki mają również wpływ na rozwój i selekcję drobnoustrojów. Jednocześnie proces jest wspomagany przez zwiększenie kwasowości serwatki i gęstwy serowej, na skutek rozwoju bakterii mlekowych.

W czasie formowania serów, szczególnie gdy proces trwa kilkanaście godzin (w temp. ok. 20°C), zachodzi intensywny rozwój bakterii mlekowych, które powodują rozkład laktozy do kwasu mlekowego. W większości przypadków proces jest prowadzony przez mezofilne paciorkowce mlekowe, jednak w serach twardych wysokodogrzewanych typu ementalskiego biorą również udział termofilne pałeczki i paciorkowce. Duża zawartość jonów wapnia w świeżych serach twardych wysokodogrzewanych wpływa buforująco i pobudza proces fermentacji.

Cechy organoleptyczne i charakterystyka fizykochemiczna sera są następstwem przemian biochemicznych zachodzących w serze w trakcie dojrzewania, wywołanych obecnością mikroorganizmów oraz dodanych enzymów. Należy zaznaczyć, że o ile w pierwszym etapie produkcji sera rozkład białek przebiega pod wpływem enzymów dodanych do mleka, to w okresie późniejszym jest on wynikiem działania enzymów proteolitycznych uwolnionych w wyniku lizy komórek bakterii mlekowych.

Temperatura dojrzewania 10-15°C powoduje, że fermentacja mlekowa przebiega w odpowiednim tempie. W temperaturze niższej zachodzi niebezpieczeństwo spowolnienia procesu dojrzewania przez zahamowanie rozwoju bakterii mlekowych, a stymulacji bakterii gnilnych. Natomiast przy temperaturze wyższej proces dojrzewania ulega przyspieszeniu, ale jednocześnie może to intensyfikować wzrost bakterii gazotwórczych rodzaju

*Clostridium* i grupy *Coli aerogenes*. Może to prowadzić do tzw. późnych wzdęć sera. Zmiany temperatury dojrzewalni są konieczne do wywołania prawidłowego oczkowania serów. Tworzenie oczek przez bakterie propionowe jest rezultatem przemiany mleczanów obecnych w serze w kwas propionowy, CO<sub>2</sub> oraz wodę (fermentacja propionowa). Wielkość oczek i ich ilość zależy od liczby bakterii propionowych obecnych w serze, a także zastosowanych warunków dojrzewania.

W serach dojrzewających od powierzchni z udziałem pleśni (camembert, brie), w początkowych etapach procesu technologicznego następuje intensywny rozwój bakterii wprowadzonych z zakwasem, podobnie jak w innych serach, a pH spada do 4,5-4,7. Potem liczba paciorkowców ulega pewnemu zmniejszeniu, ale przez cały czas utrzymuje się na poziomie kilkuset milionów w 1 g. Możliwy jest też pewien rozwój pałeczek mlekowych w późniejszym okresie dojrzewania. Po 3-4 dniach na powierzchni serów pojawia się wzrost drożdży i pleśni *Geotrichum candidum*, które oddziałują korzystnie na rozwój *Penicillium camemberti* czy *P. candidum*. Wzrost drożdży i *Geotrichum* nie powinien być jednak zbyt intensywny, w przeciwnym bowiem razie wzrost *P. camemberti* zostaje zahamowany. Wzrost pożądanej pleśni ujawnia się po 4-5 dniach, a osiąga maksimum po 10-12 dniach (w temperaturze 11-14°C i wilgotności względnej 85-90%).

W serach dojrzewających z przerostem pleśni, jak np. roquefort, przebieg rozwoju paciorkowców jest we wstępnych etapach taki jak w innych serach. Wzrost *P. roqueforti* uwidacznia się po 8-12 dniach, a maksimum przypada na okres 3-4 tygodni. Wzrost pleśni jest bardziej intensywny w środkowych partiach bloku sera o mniejszej koncentracji soli, a najsilniejszy – w sąsiedztwie nakłuć. Nadmierny rozwój pleśni nie jest pożądany, jest bowiem przyczyną smaku gorzkiego, piekącego lub pleśniowego.

Sery twarogowe dojrzewające stanowią nieliczną grupę serów twarogowych. Sery tego typu wytwarza się na niewielką skalę i mają one znaczenie regionalne. Otrzymuje się je zazwyczaj z twarogów uzyskiwanych z mleka częściowo lub całkowicie odtłuszczonego. Twaróg miesza się z solą,

często z przyprawami smakowymi (np. kminkiem, majerankiem) i formuje w serki w kształcie płaskich krążków o masie 50-200 g. Krążki obsusza się, układa w drewnianych skrzynkach i poddaje procesowi dojrzewania (tzw. gliwienia). Wyróżnia się sery twarogowe dojrzewające pleśniowe i maziowe. Do najbardziej znanych serów twarogowych dojrzewających należą serki harceńskie, kwargle i gomółki.

Dojrzewanie serów twarogowych polega na tzw. gliwieniu, czyli proteolizie kazeiny. Proces przebiega od powierzchni do wewnątrz, nadając w końcu ciemniejszy, szklisty wygląd prawie całej masie sera. Gliwienie zachodzi głównie pod wpływem pleśni *Oospora lactis*, drożdży kożuchowych i bakterii proteolitycznych, w temperaturze 15-20°C w czasie od kilku dni do kilku miesięcy, zależnie od typu sera (np. szwajcarski ser schabziger uważa się za najlepszy po roku). Pleśń *Oospora lactis* (jak i inne pleśnie), poza właściwościami silnie proteolitycznymi, posiada zdolność syntetyzowania wielu witamin z grupy B, zwiększając ich zawartość w serze. Pleśń ta dzięki białej grzybni i brakowi zarodników nie wywołuje intensywnych przebarwień, charakterystycznych dla serów z przerostem pleśniowym. Tradycyjnie w trakcie wyrobu serów tego typu nie stosuje się dodatku pleśni, wykorzystując ich naturalną obecność w powietrzu.

Mleczne napoje fermentowane to głównie jogurt, kefir, mleko zsiadłe i maślanka. W ich produkcji stosuje się fermentację mlekową, a w przypadku kefiru również fermentację alkoholową. Proces jest stosunkowo prosty i polega na ukwaszeniu mleka do wartości pH 4,4-4,8 za pomocą odpowiedniego zestawu mezofilnych lub termofilnych bakterii mlekowych.

Przy produkcji zsiadłego mleka i maślanki stosuje się ukwaszanie mleka za pomocą bakterii z gatunków *Lactococcus lactis subsp. lactis*, *Lactococcus lactis subsp. cremoris*, a czasem *Lactococcus lactis subsp. diacetylactis*, prowadząc proces w temperaturze 25°C. Natomiast w produkcji jogurtu tradycyjnego stosuje się dwa gatunki bakterii, *Streptococcus thermophilus* i *Lactobacillus bulgaricus*, a proces jest prowadzony w temperaturze 43°C. Istotnym elementem przy produkcji jogurtu jest zwiększenie zawartości suchej

substancji mleka o 4-4,5% przez dodanie odtłuszczonego mleka w proszku, białek mleka lub zagęszczanie. Ze względu na wysoką temperaturę prowadzenia procesu ukwaszania mleka trwa ono krótko tj. 4-5 h. Obniżenie temperatury do trzydziestu kilku °C powoduje wydłużenie czasu ukwaszania do kilkunastu godzin, ale daje w efekcie produkt o zwiększonej lepkości.

Obecnie coraz bardziej popularność zyskują produkty fermentowane zwane biojogurtami lub jogurtami łagodnymi (ang. Mild Yoghurt). Otrzymuje się je w wyniku fermentacji mleka (przygotowanego w sposób identyczny jak na jogurt tradycyjny), przy użyciu szczepionki zawierającej gatunki *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus acidophilus* i *Bifidobacterium*. Otrzymany produkt nie jest tak kwaśny jak jogurt tradycyjny oraz nie ma charakterystycznego zapachu i posmaku aldehydu octowego obecnego w jogurcie tradycyjnym.

Kefir jest najbardziej skomplikowanym fermentowanym napojem mlecznym. Jest to spowodowane tym, że do jego produkcji stosuje się grzybki kefirowe, które są symbiotyczną formą współżycia dziesiątków drobnoustrojów należących do bakterii (ziarniaki, pałeczki), stanowiących 85% mikroflory i drożdży, stanowiących 15% mikroflory. W efekcie, po procesie fermentacji mlekowej i alkoholowej trwającej 14-18 h w temperaturze 20-23°C, otrzymuje się gotowy produkt o charakterystycznym smaku i zapachu, lekko gazujący, orzeźwiający. Otrzymany produkt zmienia swoje cechy w czasie pierwszych 3 dni od zaszczepienia mleka. W ciągu pierwszych 5-24 h od zaszczepienia mleka wytwarza się tzw. kefir młody – słabo kwaśny. Po 48 h otrzymuje się tzw. kefir średni, dużo kwaśniejszy, a po 72 h kefir mocny, pienisty, aromatyczny i lekko alkoholowy (zaw. alkoholu do 0,8%).

Fermentacja mlekowa, mimo że bakterie zdolne do jej przeprowadzania wymagają pożywki bogatej w składniki, znajduje bardzo szerokie zastosowanie w przemyśle spożywczym. Naturalnymi pożywkami bakterii fermentacji mlekowej są mleko i jego przetwory, rozdrobniony materiał roślinny oraz błony śluzowe zwierząt. Z tego względu z procesem fermentacji mlekowej stykamy się w wielu procesach biologicznych, przebiegających w warunkach

naturalnych (kwaśnienie mleka, kompostowanie, fermentacja metanowa, procesy fermentacyjne w żwaczu).

Fermentacja mlekowa ma szerokie zastosowanie w produkcji biologicznego kwasu mlekowego oraz w utrwalaniu żywności, m. in. kiszeniu ogórków, kapusty. Dostyc często jest wykorzystywana w przemyśle mleczarskim do produkcji fermentowanych napojów mleczarskich, w produkcji twarogów, serów dojrzewających oraz do produkcji biologicznego kwasu mlekowego z serwatki z wykorzystaniem laktozy jako substratu. Wyprodukowany kwas mlekowy (lub silnie ukwaszona serwatka – po oczyszczeniu i zagęszczeniu) jest wykorzystywany do celów kulinarnych lub farmaceutycznych. W formie nie oczyszczonej jest wykorzystywany do utrwalania niektórych produktów ubocznych przemysłu spożywczego (odpady w przetwórstwie ryb, wysłodziny, drożdże pofermentacyjne) lub wartościowych surowców trudno poddających się procesowi fermentacji (np. koniczyna, lucerna). Ponadto proces fermentacji mlekowej jest powszechnie wykorzystywany w piekarstwie, do zakwaszania ciasta podczas wyrobu pieczywa z mąki żytniej, w produkcji szampana oraz w produkcji i utrwalaniu pasz (kiszenie zbóż, ziemniaków, zielonek itp.).

Biologiczny kwas mlekowy jest wytwarzany przez następujące bakterie homofermentacji mlekowej: *Streptococcus lactis*, *S. faecalis*, *S. cremoris*, *S. diacetylactis*, *S. thermophilus*, *S. salivarius*, *S. pyogenes*, *Pedicoccus cerevisiae*, *Lactobacillus lactis*, *L. acidophilus*, *L. bulgaricus* i inne oraz gatunki należące do rodzajów *Diplococcus* i *Microbacterium*. Część z wymienionych grup drobnoustrojów należy do tzw. bakterii fermentacji pseudomlekowej. Charakteryzują się one tym, że wytwarzają niewielkie ilości kwasu mlekowego i najczęściej występują jako szkodliwe w przemyśle fermentacyjnym (np. bakterie należące do rodzaju *Pedicoccus* mogą powodować psucie się piwa, a należące do rodzaju *Micrococcus* – psucie się kiszzonek warzywnych).

Fermentacja octowa, polegająca na utlenieniu etanolu poprzez aldehyd octowy do kwasu octowego z udziałem układu enzymatycznego bakterii octowych, znalazła zastosowanie do produkcji octu. Jako pożywkę stosuje się

tzw. „zacier octowniczy”, będący 6-12% roztworem etanolu wzbogaconym w składniki odżywcze.

Fermentację octową prowadzi się zwykle metodą pospieszną w stojakach octowniczych, którymi są wysokie kadzie wypełnione wiórami z drewna bukowego. Na ich powierzchni są namnożone bakterie octowe. Dzięki dużej powierzchni wiórów i obfitemu dostępowi powietrza (zasysanie przez dolne otwory w kadzi) zacier, rozprowadzany przez górne dno sitowe, w toku jego powolnego ściekania, stopniowo zamienia się w ocet. Przez jego recyrkulację uzyskuje się prawie całkowitą zamianę etanolu w kwas octowy.

We współczesnym przemyśle octowniczym od dość dawna stosuje się udoskonalone „generatory” (np. aparaty Fringsa) z mechanicznym ciągiem powietrza i wielokrotną recyrkulacją zacieru przez wióry. Sprawność metody okresowo-generatorowej jest ok. 3 razy większa od metody ciągłej, stojakowej. Do produkcji octu winnego mogą być stosowane wina. Pożywkę taką wolno recyrkuluje się w wysokich kadziach wypełnionych wiórami z drewna bukowego, które odgrywają rolę złoża biologicznego. Złoże takie jest intensywnie przewietrzane, poprzez wytworzenie ciągu naturalnego lub wentylację wymuszoną. Proces fermentacji octowej, wywiązujący się na skutek zakażeń bakteriami z rodzaju *Acetobacter* takich produktów jak wino czy piwo, jest zjawiskiem szkodliwym. W winiarniach i browarach unika się operacji umożliwiających natlenienie produktów, a także często stosuje się dodatki związków chemicznych, zapobiegających rozwojowi tego rodzaju bakterii (siarkowanie).

Do utleniania etanolu w obecności tlenu są zdolne gatunki z rodzaju *Acetobacter*, jak: *A. schutzenbachi*, *A. aceti* i *A. orleanense*. Wiele bakterii jest zdolnych do wytwarzania kwasu octowego z heksoz. Przykładem takich bakterii może być termofilny gatunek *Clostridium thermoaceticum* i mezofilny *Clostridium aceticum*.

Do produkcji kwasu cytrynowego wykorzystuje się pleśń *Aspergillus niger*. W przemyśle kwas cytrynowy otrzymuje się metodą fermentacyjną np. z melasy, która po rozcieńczeniu do ok. 15% zawartości cukru, oczyszczeniu z



niektórych metali ciężkich, dokwaszeniu i wyjąłowieniu przez ogrzewanie, jest szczepiona zarodnikami pleśni. Klasyczna technologia fermentacji powierzchniowej – mimo, że nie jest pozbawiona zalet, wyrażających się m. in. wytwarzaniem nieco większych, niż w hodowli wgłębnej, ilości kwasu cytrynowego, któremu towarzyszą mniejsze ilości innych kwasów (przy znacznie mniejszej wrażliwości grzybni na przerwy w aeracji) – będzie stopniowo eliminowana. Duże zaawansowanie metody wgłębnej hodowli stwarza perspektywę szybkiego wprowadzenia procesu ciągłego. Wyższość metody wgłębnej polega na zwiększeniu szybkości fermentacji prowadzonej w dużej objętości pożywki, automatyzacji procesu i gwarantuje utrzymanie całkowitej jałowości.

Kwas cytrynowy w postaci krystalicznej ma duże zastosowanie w technologii żywności, np. w produkcji napojów gazowanych, przy dokwaszaniu marmolad lub dżemów, w produkcji majonezów, proszków piekarskich, w charakterze przeciwutleniaczy, a także w przemyśle farmaceutycznym. Poza tym kwas cytrynowy jako „kwasek” to wartościowy środek zastępujący ocet w gospodarstwie domowym.

Przemysł piwowski jest jednym z największych przemysłów fermentacyjnych spożywczych. Tradycyjnymi surowcami dla przemysłu piwowarskiego są: słód, woda, drożdże i chmiel. Obecnie stosuje się również surowce skrobiowe niesłodowane, a proces jest wspomagany dodatkiem preparatów enzymatycznych i stabilizujących.

W produkcji piwa są stosowane drożdże fermentacji dolnej lub górnej. Do drożdży fermentacji dolnej zaliczamy *Saccharomyces cerevisiae* spp. *uvarum* var. *carlsbergensis*, a do drożdży fermentacji górnej *Saccharomyces cerevisiae* var. *cerevisiae*. Dobór drożdży jest niezwykle ważnym elementem procesu produkcji piwa, przy wyborze którego trzeba wziąć pod uwagę wiele czynników technicznych i technologicznych związanych z zakładem. Przede wszystkim należy wybrać sposób prowadzenia fermentacji, co w części jest zależne od wyposażenia browaru i stosowanej technologii. Drożdże użyte do szczepienia muszą być homogenne już podczas przechowywania, żeby

później mogły osiągnąć odpowiednią szybkość wzrostu. Jedną z zalecanych metod uzyskania homogenności drożdży jest ich przepompowywanie. We wszystkich sposobach obróbki bardzo ważne jest uzyskanie homogennej masy drożdży przed zadaniem do brzezki. Zależy od tego proces zafermentowania, a następnie przebieg fermentacji brzezki. Znaczenie procesów prawidłowej pielęgnacji drożdży między dwiema fermentacjami oraz przygotowania drożdży do szczepienia brzezki jest często pomijane lub negowane, ponieważ oba procesy wymagają poważnego nakładu pracy. Jednak większość problemów, jakie występują w czasie fermentacji, jest związana z nieprawidłowym przygotowaniem drożdży do fermentacji.

Wino jest produktem, który powstaje przez całkowitą lub częściową fermentację winogron lub też innych owoców. W produkcji win gronowych głównym substratem jest moszcz gronowy, powstały przez tłoczenie winogron. Przefermentowaniu przez drożdże w pierwszej kolejności ulega  $\alpha$ -D-glukoza, następnie  $\beta$ -D-glukoza i fruktoza. Drożdże mają również zdolność rozkładu sacharozy przy udziale  $\beta$ -fruktofuranozydazy (inwertazy) na glukozę i fruktozę (1:1), w następstwie czego powstałe sacharydy proste ulegają przefermentowaniu. Oligosacharydy mogą być jedynie w niewielkim stopniu użyte w procesie fermentacji alkoholowej. W wyniku fermentacji alkoholowej, oprócz etanolu i dwutlenku węgla, powstaje wiele innych związków, które odgrywają ogromną rolę w tworzeniu aromatu i smaku win np. kwas pirogronowy, aldehyd octowy i kwas 2-ketoglutaryny.

Proces fermentacji alkoholowej dzieli się na 4 fazy:

- 1) zafermentowanie; czyli silne rozmnażanie drożdży, okres fizjologicznych czynności drożdży,
- 2) fermentacja główna; kiedy drożdże energicznie przerabiają cukier na alkohol i CO<sub>2</sub>, ten etap charakteryzuje się biochemicznymi czynnościami drożdży, gdyż rozmnażanie na tym etapie jest bardzo słabe,
- 3) dofermentowanie; ten okres trwa ok. 5-6 tygodni, po jego zakończeniu otrzymuje się młode wino,

4) leżakowanie; w tym czasie odbywa się redukcja kwasów organicznych, tzw. biologiczne odkwaszanie wina oraz złożone procesy oksydoredukcyjne.

W tradycyjnej technologii winiarskiej proces fermentacji polegał głównie na wykorzystaniu naturalnej mikroflory moszczu gronowego. Należą do niej zarówno drożdże, jak i bakterie fermentacji mlekowej, bakterie octowe. W pierwszym etapie fermentacji dominują drożdże tzw. dzikie, jak np. *Hansenula*, *Candida*, *Kloeckera*, *Pichia*, *Rhodotorula*. Po krótkim czasie od rozpoczęcia fermentacji zostaje wyczerpany przez nie tlen, obniża się potencjał redukcyjno-utleniający, co prowadzi do zahamowania ich rozwoju. Poza tym drożdże te mają małą odporność na powstający w fermentacji alkohol. Główny etap fermentacji alkoholowej jest zdominowany przez drożdże *Saccharomyces*, które mają silne zdolności fermentacyjne. Charakteryzują się one dużą produkcją etanolu oraz korzystnym profilem tworzonych ubocznych produktów fermentacji alkoholowej (wyższe alkohole, estry i kwasy tłuszczowe). Zalicza się do nich: *Saccharomyces cerevisiae*, *S. uvarum*, *S. delbrueckii*, *S. chevalieri*, *S. fermenti*, *S. bayanus* i *S. florentinus*.

W praktyce winiarskiej coraz częściej, w celu zapewnienia bezpiecznego przebiegu fermentacji alkoholowej moszczy gronowych, stosuje się czyste kultury drożdży. Zostały one wyselekcjonowane z drożdży gatunku *Saccharomyces cerevisiae* i wykazują określone cechy, takie jak:

- 1) szybkie rozpoczynanie procesu fermentacji,
- 2) pełne wykorzystanie sacharydów znajdujących się w moszczu, połączone z dużą produkcją alkoholu,
- 3) prowadzenie fermentacji w wysokim zakresie temperatur,
- 4) odporność na „killer” toksyny, wytwarzane przez dzikie szczepy drożdży, oraz na pozostałości środków toksycznych stosowanych przy uprawie winogron,
- 5) tworzenie korzystnego, pożądanego aromatu i bukietu win,
- 6) znikome tworzenie piany i substancji utrudniających filtrację.

Surowcem do produkcji alkoholu etylowego mogą być wszystkie produkty, które zawierają węglowodany. Najczęściej stosuje się te, które

zawierają monosacharydy lub skrobię. Należą do nich surowce roślinne takie jak: ziemniaki, zboża, buraki cukrowe, kukurydza, okopowe rośliny pastewne oraz surowce przemysłowe: melasa, odpady produkcji krochmalu, przemysłu młynarskiego, owocowo-warzywnego i celulozowego (ługi pocelulozowe).

Pierwszym etapem produkcji alkoholu etylowego jest zacieranie. Polega ono na takim przygotowaniu surowca, żeby był możliwy rozwój drożdży, a w rezultacie przerób węglowodanów na alkohol. Istnieje wiele metod zacierania. Dobór metody zależy od surowca, stosowanych preparatów enzymatycznych i posiadanych urządzeń. Jednak w każdym przypadku, po skończonym procesie zacierania, zacier zawiera monosacharydy, disacharydy i dekstryny, które mogą służyć drożdżom do produkcji alkoholu.

Drożdże gorzelniane (*Saccharomyces cerevisiae*) powinny szybko fermentować sacharydy oraz być niewrażliwe na stężenia alkoholu do 14%. Istnieją zróżnicowane wymagania co do drożdży stosowanych w gorzelniach rolniczych i przemysłowych. Rasy drożdży stosowane w gorzelniach przemysłowych powinny być odporne na większą gęstość brzeczki melasowej oraz szybciej odfermentowywać cukry. Drożdże gorzelniane fermentują glukozę, fruktozę, maltozę, sacharozę, a niektóre rasy również częściowo mannozę, laktozę i rafinozę. Są one odporne na działanie wielu kwasów organicznych.

W nowoczesnych metodach produkcji alkoholu etylowego używa się drożdży suszonych, mrożonych lub liofilizowanych. Istnieją dwie metody wprowadzenia drożdży do produkcji alkoholu. Pierwsza polega na namnożeniu biomasy drożdży matecznych w zbiornikach i dodaniu jej do zacieru, druga na dodaniu utrwalonych drożdży bezpośrednio do zacieru.

Fermentacja polega na przemianie sacharydów, znajdujących się w zacierze, w alkohol etylowy, przy użyciu drożdży. Przeciętny czas fermentacji wynosi 48-72 h. W czasie fermentacji wyróżnia się 3 fazy procesu.

- 1) Zafermentowanie – jest to początkowy etap procesu (6-18 h), gdy zacier zawiera dużo powietrza oraz sacharydów. W takich warunkach drożdże zużywają sacharydy na rozmnażanie, a w mniejszym stopniu wytwarzają

alkohol etylowy. Jednocześnie jest wytwarzany CO<sub>2</sub>, który powoduje tworzenie piany na powierzchni. Proces jest egzotermiczny, gdy wzrost temperatury jest za duży, zacier należy schłodzić do temperatury 16-18°C. Przy końcu tego etapu proces z tlenowego stopniowo staje się beztlenowy i w coraz większym stopniu wynikiem fermentacji sacharydów jest alkohol.

- 2) Fermentacja główna – ten etap trwa 12-18 h. Charakteryzuje się gwałtownym „burzeniem się” zacieru na skutek silnego wydzielania CO<sub>2</sub> oraz wzrostu temperatury, związanych z intensywnym tworzeniem alkoholu etylowego przez drożdże. Zwiększa się objętość zacieru. Na powierzchni gromadzi się piana, a temperatura może wzrosnąć nawet do 30°C i więcej. Tak wysoka temperatura jest niekorzystna dla produkcji alkoholu przez drożdże i należy dążyć do obniżenia jej do wartości optymalnych dla danej rasy drożdży. Jednocześnie zwiększenie stężenia alkoholu etylowego powyżej 5% oraz znaczne zużycie sacharydów powodują stopniowe hamowanie metabolizmu drożdży. Zakończenie tego etapu fermentacji można poznać po zmniejszeniu burzliwości procesu i zniknięciu piany na skutek zmniejszenia gęstości i lepkości zacieru.
- 3) Dofermentowanie – jest to najdłuższy etap procesu fermentacji, który trwa 20-30 h. Polega na dofermentowaniu resztek sacharydów przez drożdże. Proces przebiega powoli, w tym etapie drożdże fermentują głównie dekstryny. W rezultacie ilość wydzielanego gazu jest mała, nasycenie zacieru gazem maleje, przez co zmniejsza się jego objętość. Na skutek spowolnienia procesów metabolicznych drożdży ilość wydzielanego ciepła jest mniejsza niż ilość odprowadzana do otoczenia i temp. zacieru obniża się. Po zakończeniu fermentacji gęstość zacieru zbożowego lub ziemniaczanego wynosi 1,0-1,5°Blq, a zawartość alkoholu etylowego (8-10% mas.) 10-12,5% (V/V).

Do najważniejszych roślinnych produktów fermentowanych, wytwarzanych przez przemysł owocowo-warzywny, zaliczamy kapustę kwaszoną oraz ogórki kwaszone. Kapustę kwaszoną otrzymuje się w wyniku fermentacji mlekowej kapusty białej. Proces produkcji zaczyna się od

usunięcia z kapusty zanieczyszczeń tj. jej opłukania oraz usunięcia zewnętrznych liści. Następnie kapusta jest szatkowana na paski o grubości kilku milimetrów, aby ułatwić wydzielanie z niej soku. Warstwy poszatkowanej kapusty układa się w beczkach i przesypuje solą kuchenną w ilości ok. 2-3% masy kapusty. Sól ułatwia wydzielanie soku z poszatkowanej kapusty na skutek różnicy ciśnienia osmotycznego panującego w tkance kapusty i na zewnątrz, w roztworze soli. Dodatkowo sól jest czynnikiem selekcyjnym wobec mikroorganizmów znajdujących się w kapuście oraz ma wpływ na tworzenie smaku i zapachu. W celu zwiększenia wydzielania soku ubija się poszatkowaną kapustę. Ten proces ma również usunąć nadmiar powietrza i stworzyć warunki beztlenowe, które warunkują prawidłowy przebieg fermentacji. Dodatkowymi czynnikami wpływającymi na rozwój mikroflory są taniny oraz fitoncydy, zawarte w niektórych dodatkach takich jak: liście dębu, chrzan czy czosnek.

W normalnych warunkach, w kapuście stosowanej do kwaszenia, można stwierdzić obecność wielu mikroorganizmów, głównie bakterii. Prawidłowo prowadzony proces technologiczny powinien doprowadzić do rozwoju tych mikroorganizmów, które są niezbędne dla prawidłowej fermentacji, a co za tym idzie, odpowiedniego rozkładu węglowodanów, w wyniku czego powstają związki, które wpływają na smak, zapach i trwałość produktu. Do związków tych zaliczamy: kwas mlekowy, kwas octowy, alkohol etylowy, dwutlenek węgla, estry itp.

Przebieg procesu fermentacji można podzielić na trzy etapy związane z działalnością różnych drobnoustrojów i charakteryzujące się innymi objawami. W pierwszym etapie fermentacji (kwaszenia), przebiegającym w temperaturze otoczenia ok. 20°C, przy zawartości NaCl ok. 2-3%, przeważają ziarniaki gazujące, głównie heterofermentatywne *Leuconostoc mesenteroides*, a w mniejszym stopniu *Lactococcus lactis*. Wytwarzają one CO<sub>2</sub>, który powoduje intensywne „burzenie się” soku nad masą poszatkowanej kapusty, jak również kwas masłowy, propionowy, bursztynowy, octowy i in. oraz estry, nadające kapuście kwaszonej charakterystyczny smak i zapach. Ten etap trwa ok. 5 dni

i doprowadza do spadku kwasowości kapusty do pH 4. Powoduje to zahamowanie wzrostu bakterii gnilnych i z grupy *coli*, które po całkowitym usunięciu tlenu ze środowiska oraz wytworzeniu ok. 0,7-1% kwasu mlekowego giną, ustępując miejsca pałeczkom, głównie *Lactobacillus brevis* i *Lactobacillus plantarum*. Bakterie te w dalszym ciągu prowadzą proces fermentacji, w wyniku czego stopniowo zwiększa się zawartość kwasu mlekowego w produkcie, po czym zostają zastąpione przez *Lactobacillus pentoaceticus*, który prowadzi końcowy etap fermentacji.

Etap drugi fermentacji, trwający 10-16 dni, jest prowadzony w temperaturze obniżonej do kilkunastu stopni Celsjusza, natomiast etap trzeci – dofermentowanie i przechowywanie – w kilku °C. Powoduje to spowolnienie procesu fermentacji, ale również hamuje możliwy wzrost mikroflory szkodliwej. Po zakończeniu fermentacji, trwającej ok. 2-3 tygodni, kwaszona kapusta zawiera ok. 1,5-1,8% kwasu mlekowego, 0,3% kwasu octowego i 0,4% alkoholu etylowego. Jej kwasowość mieści się w zakresie pH 3,4-3,5. Należy ją chronić przed dostępem tlenu, aby zapobiec rozwojowi drożdży i pleśni, które mogą powodować odkwaszenie produktu, jak również zmiany smaku, zapachu czy barwy.

Walory odżywcze ogórków kwaszonych są dużo mniejsze od walorów odżywczych kapusty kwaszonej.

Przebieg procesu fermentacji jest nieco inny niż w przypadku produkcji kapusty kwaszonej. Występują tu trzy rodzaje i trzy etapy fermentacji. Pierwszy etap to wytwarzanie gazów H<sub>2</sub> i CO<sub>2</sub> przez bakterie z rodzaju *Enterobacter*, drugi – wytwarzanie alkoholu etylowego i CO<sub>2</sub>, trzeci – wytwarzanie kwasu mlekowego przez bakterie mlekowe, początkowo przez *Leuconostoc mesenteroides*, a następnie przez *Lactobacillus brevis* i *Lactobacillus plantarum*.

Podczas procesu fermentacji sól dyfunduje do wnętrza ogórków, a sole mineralne, białka i sacharydy zawarte w ogórkach przechodzą do solanki. W efekcie zmniejsza się zawartość soli w solance, maleje jej ciśnienie

osmotyczne, wzbogaca się ona w składniki odżywcze i przez to staje się odpowiednim środowiskiem do rozwoju mikroflory kwaszącej.

Często na powierzchni solanki pojawia się białokremowa warstwa, która składa się z komórek drożdży i pleśni. Należy ją usuwać, ponieważ tworzące ją drobnoustroje mogą odkwaszać solankę oraz negatywnie wpływać na cechy organoleptyczne gotowego produktu. Innym niebezpieczeństwem wynikającym z zakażenia produktu bakteriami z gatunku *Bacillus mesentericus* lub grzybami strzępkowymi jest utrata jędrności ogórków, a następnie ich całkowite rozpuszczenie się w solance, na skutek działania enzymów pektynolitycznych.

Jedną z metod konserwowania pasz objętościowych soczystych, a zwłaszcza zielonek, jest kiszenie. W czasie zakiszania roślin pod wpływem szeregu mikroorganizmów przebiegają procesy fermentacyjne, w wyniku których powstają kwasy (głównie mlekowy) decydujące o trwałości kiszonki. Kiszonka jest podstawową, wysokowartościową paszą stosowaną w żywieniu wielu zwierząt, głównie bydła. Prawidłowo przygotowana jest trwała, nie psuje się i jest chętnie pobierana przez zwierzęta. Smaczna i bogata w składniki pokarmowe kiszonka decyduje o mleczności krów oraz pozwala na znaczne obniżenie kosztów żywienia. Dobry rozwój bakterii kwasu mlekowego w zakiszanej masie następuje tylko w środowisku beztlenowym i kwaśnym (przy pH 3,5). Warunki takie uniemożliwiają jednocześnie rozwój pleśni, bakterii gnilnych i innych niepożądanych tlenowców. W celu otrzymania kiszonki wysokiej jakości niezbędny jest dodatek preparatów kiszonkarskich, które znacznie poprawiają wartość pokarmową kiszonki oraz zabezpieczają przed stratami składników pokarmowych.

Obecnie stosuje się głównie preparaty kiszonkarskie pochodzenia mikrobiologicznego, takie jak: Labacsil, Polmasil (d. Microsil) i inne.

Stosowanie preparatów kiszonkarskich zapewnia:

- szybkie obniżenie się wartości pH, co sprzyja rozwojowi bakterii fermentacji mlekowej oraz ogranicza rozkład cukrów,
- zahamowanie rozwoju pleśni i drożdży,



- zmianę składu chemicznego kiszonki; zwiększa się ilość pożądanego kwasu mlekowego, a zmniejsza ilość kwasu octowego i nie powstaje najbardziej szkodliwy kwas masłowy,
- zmniejszoną zawartość włókna surowego, a większą węglowodanów,
- wyeliminowanie zagrzewania się kiszonki i strat z tym związanych,
- wyższą strawność składników pokarmowych,
- wzrost wartości pokarmowej kiszonki = więcej energii i składników pokarmowych,
- większą stabilność kiszonki, mniejszą podatność na utlenianie podczas wybierania.

#### Literatura

1. Bednarski W.: Ogólna technologia żywności. Wyd. ART w Olsztynie, 1991.
2. Bednarski W., Reps A.: Biotechnologia żywności. WNT, Warszawa, 2001.
3. Pijanowski E., Dłużewski M., Dłużewska A.: Ogólna technologia żywności. WNT, Warszawa, 1984.
4. Pijanowski E., Gaweł J.: Zarys chemii i technologii mleczarstwa – tom III. PWRiL, Warszawa, 1986.
5. Piotrowska K.: Hodowla zwierząt – tom I. PWRiL, Warszawa, 1985.
6. Nowoczesne żywienie zwierząt. Sano, 2001, nr 5, str. 20-21.