

2.2. Wady mikrobiologiczne pieczywa

Pieczywo jest środowiskiem sprzyjającym rozwojowi mikroorganizmów. Wynika to ze stosunkowo dużej zawartości wody (46–51% w pieczywie żytnim i 35–47% w pieczywie pszennym) oraz bogactwa łatwo dostępnych substancji odżywczych (białek, cukrów, tłuszczów, soli mineralnych i innych). Źródłem drobnoustrojów może być wykorzystany surowiec – mąka. Mówimy wówczas o zakażeniu pierwotnym. Mąka stosowana w produkcji pieczywa może być zanieczyszczona mikroflorą pochodzącą z ziarna i drobnoustrojami stanowiącymi zanieczyszczenia elewatorów i sprzętu młynarskiego. Najbardziej niebezpiecznymi mikroorganizmami, powodującymi psucie się pieczywa, są bakterie przetrwalnikujące oraz pleśnie toksynotwórcze³⁶.

Podczas wypieku pieczywa temperatura wewnątrz miękiszu wynosi poniżej 100°C (maksymalnie 97°C), mimo iż temperatura w piecu może dochodzić do 220–280°C. Dzieje się tak wskutek powstawania skórki na powierzchni bochenka, jak również słabego przewodnictwa cieplnego ciasta.

Pieczywo wychodzące z pieca jest teoretycznie jałowe. Przyczyną problemów mikrobiologicznych jest rozwój przetrwalników bakterii opornych na temperaturę wypieku, rozkładających skrobię i białka, lub wtórne zanieczyszczenia pieczywa³⁷.

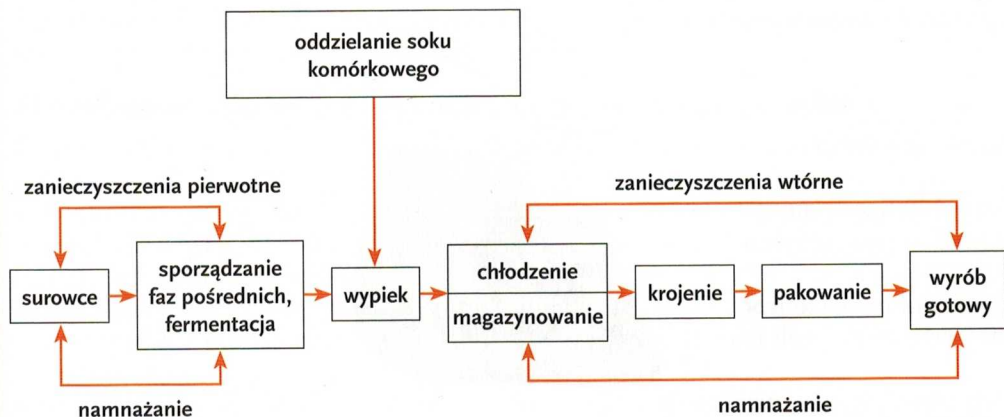
Optymalnymi warunkami do rozwoju bakterii są temperatura 35–40°C i kwasowość w granicach pH 7–9.

Zanieczyszczenia mikrobiologiczne mogą być pierwotne lub wtórne. Zmiany mikrobiologiczne w pieczywie są spowodowane głównie zakażeniem wtórnym.

Źródłem zakażenia mogą być:

- surowce pomocnicze,
- materiały pomocnicze i opakowania,
- człowiek uczestniczący w procesie produkcyjnym.

Na rysunku 2.12. przedstawiono podział zanieczyszczeń wyrobów piekarskich.



Ryc. 2.12. Podział zanieczyszczeń wyrobów piekarskich szkodliwą mikroflorą³⁸

Aby nie dopuścić do zanieczyszczeń, należy odpowiednio postępować zarówno z surowcem i półproduktem przed wypiekiem, jak i z gotowym pieczywem i nie stwarzać sprzyjających warunków do zakażeń i rozwoju drobnoustrojów³⁹.

Pieczywo jest najbardziej narażone na zakażenia wtórne na etapie chłodzenia, gdyż w tym czasie wchłania znaczne ilości powietrza i znajdujących się w nim drobnoustrojów. Dlatego chłodzenie powinno się odbywać w pomieszczeniach możliwie sterylnych, o odpowiedniej temperaturze i wilgotności, pozbawionych przede wszystkim zarodników pleśni.

Bakteryjne zakażenia pieczywa

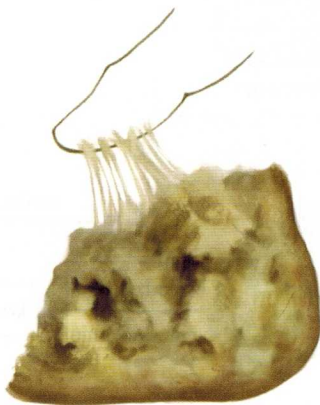
Wystąpienie bakteryjnych zakażeń pieczywa zależy od wielu czynników, a głównie od:

- stanu mikrobiologicznego mąki i innych użytych surowców;
- stanu higieniczno-sanitarnego piekarni i jej urządzeń;
- procesu technologicznego (głównie od kwasowości ciasta);
- jednostkowej masy pieczywa;
- staranności wypieku;

- warunków schładzania;
- transportu;
- sposobu składowania podczas sprzedaży, a w szczególności od temperatury i wilgotności powietrza;
- sposobu przechowywania przez samego klienta.

Najbardziej rozpowszechnioną wadą pochodzenia mikrobiologicznego występującą w pieczywie jest tzw. **choroba ziemniaczana** (ryc. 2.13), powodowana przez bakterię *Bacillus mesentericus*. Na skutek rozwoju tego drobnoustroju powstają zmiany objawiające się śluzowaceniem i utratą elastyczności miękiszu, a po rozłamaniu chleba – ciągnącymi się przezroczystymi nitkami⁴⁰.

Objawy choroby ziemniaczanej można zauważyć zwłaszcza w okresie letnim, przy wysokich temperaturach otoczenia.



Ryc. 2.13. Choroba ziemniaczana pieczywa⁴¹

Zakażenie pieczywa objawia się już po kilku godzinach od wypieku – chleb ma wilgotny mięksis i owocowy zapach. W miarę upływu czasu zapach ten staje się coraz bardziej intensywny, a mięksis zaczyna się lepić. Po jednej dobie chleb ma odrażający zapach i smak, a jego mięksis intensywnie się lepi, jest ciągliwy, upłynniony, coraz ciemniejszy.

Choroba ziemniaczana atakuje pieczywo słabo kwaśne, a więc przede wszystkim pszenne, rzadziej pszenno-żytnie.

Czynnikami sprzyjającymi występowaniu tej wady pieczywa są:

- zakażenie mąki przetrwalnikami *Bacillus mesentericus*,
- długi czas fermentacji ciasta,
- przetrzymywanie pieczywa w temperaturze powyżej 25°C,
- pH pieczywa powyżej 5⁴².

Pieczywo z objawami choroby ziemniaczanej nie nadaje się do spożycia, może wywołać u konsumentów biegunkę i wymioty.

W przypadku stwierdzenia choroby ziemniaczanej należy porażone pieczywo przekazać do utylizacji zgodnie z obowiązującymi przepisami, a w piekarni przeprowadzić dokładną dezynfekcję polegającą na:

- wymyciu podłóg, sprzętu i naczyń 5-procentowym roztworem kwasu octowego;
- wypraniu ubrań roboczych i poddaniu ich dezynfekcji 5-procentowym roztworem kwasu octowego.

Powstawanie ciągnącego się miękiszu może być również wynikiem namnażania się innych gatunków bakterii z rodzaju *Bacillus*, m.in. *B. subtilis*, *B. polymyxa*, *B. licheniformis*. Produkują one śluz oraz enzymy proteolityczne i amylolityczne rozkładające białka i skrobię pieczywa. Specyficzny zapach fermentacyjny jest efektem rozwoju *Bacillus cereus* – tlenowych laseczek przetrwalnikujących, które nie powodują ciągliwości miękiszu.

Zjawisko to można zaobserwować najczęściej w porze letniej, gdyż rozwojowi tych bakterii sprzyja podwyższona temperatura otoczenia. W okresie letnim, kiedy istnieje największe zagrożenie zakażeniem, powinno się stosować szczególne środki zapobiegawcze.

Innym przykładem rozwoju mikroflory wtórnej jest występowanie czerwonych plam na chlebie, wywołanych przez *Serratia marcescens*⁴³, która wydziela czerwoną substancję – prodigiozynę. Bakterie te nie są przetrwalnikujące, optymalna temperatura ich rozwoju wynosi 25°C, a temperatura powyżej 40°C je niszczy⁴⁴.

Eliminowanie zakażeń bakteryjnych pieczywa i zapobieganie im

Do najefektywniejszych w praktyce sposobów eliminowania zakażeń bakteryjnych pieczywa należą:

- kontrola stanu mikrobiologicznego mąki i w wypadku stwierdzenia ponad 200 przetrwalników w 1 g mąki skierowanie jej do wyrobu pieczywa żytnio-pszennego o kwasowości nie mniejszej niż 4–6°;
- zwiększenie kwasowości ciasta w wyniku fermentacji przez dodatek kwasu lub żurku do podmłody (nie do ciasta) w ilości 2,5% w stosunku do całej ilości mąki użytej do produkcji pieczywa;
- stosowanie do wyrobu chleba graham w okresach letnich dodatku pełnego kwasu (żytniego lub pszennego) do podmłody w ilości 2,5% w stosunku do całej ilości użytej mąki;
- zakwaszanie ciasta przez dodanie kwasu mlekowego w postaci roztworu o stężeniu 80% w ilości 0,2–0,4%, 0,1-procentowego kwasu propionowego lub 0,2-procentowego propionianu wapnia w postaci proszku (w stosunku do całości użytej mąki);
- wytwarzanie ciasta o sztywnej konsystencji, produkowanie pieczywa o małej masie jednostkowej oraz staranny wypiek;
- schładzanie pieczywa po wypieku, m.in. za pomocą wzmożonej wentylacji w pomieszczeniu ekspedycji;
- utrzymanie bezwzględnej czystości pomieszczeń i urządzeń, a w razie stwierdzenia obecności pałeczki ziemniaczanej staranne zmycie 5-procentowym roztworem kwasu octowego⁴⁵.

Zakażenie pieczywa pleśniami

Pleśnie należą do mikroorganizmów bardzo rozpowszechnionych w środowisku bytowania człowieka, a w szczególności w środowisku roślinnym, m.in. ziarno i mąka zawsze zawierają pewne ich ilości. Pleśnie mogą dostać się do pieczywa z surowcami, zwłaszcza z mąką. Podczas wypieku pieczywa pleśnie i ich zarodniki całkowicie giną. Pleśnienie pieczywa jest spowodowane tzw. wtórnym zakażeniem już po jego wypieku.

Chleb krojony jest bardziej podatny na zakażenie pleśniami. Jego trwałość jest o połowę krótsza w porównaniu z chlebem niekrojonym.

Zmiany mikologiczne⁴⁶

Najlepszymi warunkami do rozwoju pleśni są trwała wysoka wilgotność względna powietrza (powyżej 70%) i temperatura 20–30°C.

Porażenie pleśniami jest zazwyczaj widoczne po dwóch dniach przechowywania pieczywa (ryc. 2.14, 2.15). Rozwój pleśni na wyrobach piekarskich objawia się przede wszystkim zmienionym zapachem, określanym jako stęchły, czasami też zjełczały lub łojowy. Także wygląd wyrobów ulega zmianie. Na pieczywie zakażonym pleśnią pojawiają się zielonkawe plamy⁴⁷.

Pieczywo zakażone zarodnikami pleśni ulega pleśnieniu głównie od środka. Rozwój pleśni na powierzchni pieczywa to efekt jego składowania w wilgotnej atmosferze.

Pleśnienie pieczywa jest najczęściej spowodowane przez pleśnie z rodzaju *Aspergillus*, *Rhizopus* i *Penicillium*, rzadziej *Mucor*, *Oospora*, *Monilia* i inne.

Przyczyną czerwonych lub żółtych plam na chlebie może być również rozwój pleśni *Oidium aurantiacum* i *Thamnidium aurantiacum*. Drobnoustroje te wytwarzają karotenoidy. W miększu pieczywa pszennego i żytniego mogą też występować większe lub mniejsze białe plamy, które później stają się szarawe i przypominają kredę. Wywołują je grzyby *Endomyces fibuliger* i *Monilia variabilis*. Ta wada pieczywa nosi nazwę **choroby kredowej**⁴⁸.

Zapobieganie pleśnieniu pieczywa jest ważne nie tylko ze względu na ograniczenie jego strat, ale przede wszystkim ze względów zdrowotnych. W spleśniałym pieczywie mogą powstawać bardzo szkodliwe dla zdrowia mikotoksyny⁴⁹.

Mikotoksyny, czyli wtórne metabolity pleśni, są traktowane jako związki o szczególnie toksycznym wpływie na organizmy ludzi i zwierząt. Ich szkodliwość polega na nieodwracalnym uszkodzeniu nerek, osłabieniu reakcji immunologicznych i działaniu rakotwórczym. Toksyczność pleśni jest cechą szczepową, a więc nie dotyczy wszystkich mikroorganizmów z tej grupy, a ponadto nie jest to cecha trwała. Jednakże ze względu na zdolność tworzenia nieidentyfikowalnych organoleptycznie toksyn (aflatoksyny, ochratoksyny) o działaniu kancerogennym⁵⁰, pleśnie nie tylko zagrażają jakości wyrobu, ale również mogą stwarzać ryzyko zachorowania na groźne choroby⁵¹.

Maksymalne dopuszczalne zawartości mikotoksyn⁵²:

- ochratoksyna A – nie więcej niż 3 µg/kg pieczywa,
- aflatoksyna B1 – nie więcej niż 2 µg/kg pieczywa,
- suma aflatoksyn B1, B2, G1, G2 – nie więcej niż 4 µg/kg pieczywa,
- deoksyniwalenol (DON) – nie więcej niż 500 µg/kg pieczywa,
- zearalenon – nie więcej niż 50 µg/kg pieczywa⁵³.



Ryc. 2.14. Zmiany początkowe pieczywa wywołane przez pleśnię⁵⁴



Ryc. 2.15. Zmiany zaawansowane pieczywa wywołane przez pleśnię⁵⁵

Zapobieganie pleśnieniu pieczywa

Pleśnieniu pieczywa można zapobiegać lub je opóźniać dzięki zastosowaniu następujących metod i środków⁵⁶:

- dodanie do ciasta chemicznych środków konserwujących, co jest stosowane w wielu krajach (najczęściej są używane sole kwasu propionowego, octowego i sorbowego, a także innych kwasów organicznych (w Polsce jest dopuszczone stosowanie kwasu propionowego, jego soli wapniowej i sodowej w ilości 2 g na 1 kg mąki);
- pakowanie pieczywa w przepuszczającą wilgoć folię i sterylizacja przez nagrzanie do temperatury 85–90°C w środku wyrobu;
- sterylizowanie powierzchni pieczywa 96-procentowym etanolem, a następnie hermetyczne pakowanie w odpowiednie folie; w ten sposób można zahamować pleśnienie pieczywa na 2–6 tygodni;
- zawijanie pieczywa w papier lub folię nasyczone kwasem sorbowym, a następnie hermetyczne zapakowanie (ta metoda zapewnia przechowywanie bez pleśnienia w ciągu 4–6 miesięcy);
- wypiek pieczywa w metalowych puszkach, zamykanych hermetycznie natychmiast po wypieku, co pozwala na długie (ponad półroczne) przechowywanie pieczywa;
- stałe utrzymywanie czystości pomieszczeń i urządzeń, zwłaszcza w zapieczowni i ekspedycji, połączone z szybkim schłodzeniem pieczywa i przechowywaniem w suchych pomieszczeniach⁵⁷.

Zapleśniałego pieczywa nie wolno spożywać w żadnej postaci. Niedopuszczalne jest również usuwanie z pieczywa części wyraźnie zapleśniałych (np. wykrojenie fragmentu zapleśniałego bochenka), by przeznaczyć resztę do konsumpcji. Mikotoksyny, nawet gdy nie ma widocznych objawów, mogą być w całym wyrobie⁵⁸.

Rola mikroflory zakwasów piekarskich

Alternatywnym sposobem przedłużania trwałości pieczywa jest stosowanie zakwasów, które działają hamująco na rozwój szkodliwej mikroflory.

Aktywność antagonistyczna⁵⁹ bakterii mlekowych w zakwasie piekarskim sprawia, że hamują rozwój innych mikroorganizmów i zapobiegają wzrostowi drobnoustrojów odpowiedzialnych za mikrobiologiczne psucie się pieczywa.

Mikroflora zakwasów piekarskich jest bardzo bogata. Praktycznie wszystkie drobnoustroje występujące w mące są obecne również w zakwasach i cieście, chociaż w procesie odnawiania i fermentacji w odpowiednich fazach następuje selektywne namnażanie jednych i hamowanie rozwoju innych gatunków. Dominującą grupą drobnoustrojów są jednak bakterie mlekowe i drożdże⁶⁰.