

Dr inż. Hanna JĘDRZEJCZYK

Dr inż. Monika HOFFMANN

Wydział Nauk o Żywieniu Człowieka i Konsumpcji, SGGW w Warszawie

CHARAKTERYSTYKA WYBRANYCH METOD PRZEDŁUŻANIA ŚWIEŻOŚCI I TRWAŁOŚCI PIECZYWA[®]

Trwałość pieczywa w czasie przechowywania mogą ograniczać procesy mikrobiologiczne oraz niekorzystne zmiany cech organoleptycznych. Pieczywo po wypieku praktycznie jest wolne od drobnoustrojów, istnieje jednak możliwość przetrwania niektórych zarodników bakterii i pleśni, a także wtórnego skażenia przed lub w czasie konfekcjonowania. Czerstwienie pieczywa, które rozpoczyna się już bezpośrednio po wypieku obejmuje zmiany smaku i zapachu oraz struktury miększu i skórki. Niekorzystnym zmianom jakości w czasie przechowywania pieczywa próbuje się zapobiegać stosując modyfikacje receptury i technologii, jak również metody jego utrwalania. W artykule omówiono nowoczesne metody przedłużania trwałości pieczywa przy zastosowaniu preparatów enzymatycznych i pakowania w atmosferze MAP.

WSTĘP

Pieczywo to podstawowy składnik codziennej diety – stanowi w niej ok. 80% wszystkich produktów zbożowych, pokrywając ok. 30% dziennego zapotrzebowania na energię. Dlatego nadanie produktom piekarskim pożądanej jakości jest poważnym i odpowiedzialnym zadaniem dla producentów.

O jakości pieczywa, podobnie jak większości artykułów spożywczych decydują następujące cechy [1]:

- wartość odżywcza, określona ogólnym składem chemicznym,
- zdrowotność, tj. brak drobnoustrojów chorobotwórczych i substancji szkodliwych,
- smakowość, uwarunkowana głównie składem i jakością użytych surowców oraz atrakcyjność, określona kształtem barwą i opakowaniem,
- trwałość, zapewniająca przechowanie produktu bez zmian w warunkach obrotu towarowego.

Pieczywo, ze względu na wysoką aktywność wody (a_w powyżej 90%) należy do produktów bardzo nietrwałych. Trwałość pieczywa w czasie przechowywania mogą ograniczać procesy mikrobiologiczne oraz niekorzystne zmiany cech organoleptycznych. Aromat, chrupkość skórki, elastyczność miększu – ulegają szybkim zmianom prowadzącym do utraty świeżości. Procesy te obejmują utratę aromatu i wysychanie oraz czerstwienie pieczywa wywoływane fizykochemicznymi przekształceniami kompleksów skrobiowo-białkowych. Te niekorzystne zjawiska są inicjowane bezpośrednio po wypieku, kiedy obniża się temperatura wyrobów [1,13,15]. Ze względu na dużą różnicę wilgotności pomiędzy skórka a miększem, następuje przemieszczanie się wody z miększu do skórki a następnie do otoczenia. Stanowi to przyczynę twardnienia skórki i utraty jej chrupkości jak również wzrostu twardości i kruszenia się miększu. Następuje też utrata zapachu i smaku pieczywa w efekcie parowania oraz przekształceń substancji aromatycznych. Przy dłuższym przechowywaniu obserwuje się zmiany smaku i aromatu na skutek niekorzystnych przemian chemicznych i enzymatycznych, głównie tlenowych [15].

Pieczywo po wypieku praktycznie jest wolne od drobnoustrojów, istnieje jednak możliwość przetrwania niektórych zarodników bakterii i pleśni podczas procesu termicznej obróbki ciasta. Wyroby mogą również ulec wtórnemu skażeniu przed lub w czasie procesu pakowania. W przypadku pieczywa największe zagrożenie stanowią pleśnie, które mają niewielkie wymagania w stosunku do środowiska, z wyjątkiem obecności tlenu, niezbędnego do ich rozwoju. Z tego względu czynnikiem, który skutecznie hamuje wzrost pleśni jest atmosfera beztlenowa, charakterystyczna dla

metody utrwalania pieczywa przy zastosowaniu techniki MAP (*Modified Atmosphere Packaging*).

Obecnie istnieje wiele sposobów przedłużania świeżości i trwałości pieczywa. Podstawowy wpływ na utrzymanie świeżości ma odpowiednio dobrany skład recepturowy produktu – rodzaj mąki użytej do wypieku, wzbogacenie receptury o dodatki spowalniające proces czerstwienia (m.in. produkty białkowe, polisacharydy, emulgatory, preparaty enzymatyczne), jak też technologia przygotowania ciasta i technika wypieku. Istotne znaczenie odgrywają również warunki przechowywania (krytyczna temperatura maksymalnego czerstwienia to zakres 0-7°C) oraz zastosowane materiały opakowaniowe i sposoby pakowania. Najlepiej świeżość pieczywa stabilizuje proces jego zamrażania, jednak na skalę przemysłową metoda ta jest nieekonomiczna. Do efektywnych sposobów przedłużania trwałości należą: utrwalanie termiczne pieczywa (pasteryzacja i sterylizacja), stosowanie chemicznych środków konserwujących (negatywnie postrzegane przez konsumentów), ograniczone głównie do pieczywa żytniego, metody biokonserwacji przy zastosowaniu zakwasów oraz pakowanie pieczywa w atmosferze modyfikowanej (*MAP – Modified Atmosphere Packaging*) i nie stosowane jeszcze szerzej w produkcji pieczywa opakowania aktywne.

W niniejszym opracowaniu bardziej szczegółowo zaprezentowano, uważane za najbardziej efektywne, metody przedłużania świeżości pieczywa poprzez zastosowanie preparatów enzymatycznych oraz metodę utrwalania pieczywa w systemie MAP.

WYKORZYSTANIE PREPARATÓW ENZYMATYCZNYCH

Enzymy są najbardziej efektywnym dodatkiem do pieczywa pozwalającym zachować jego wilgotność i przedłużyć trwałość. W przypadku pieczywa zawierającego drożdże czas przechowywania przy zachowaniu dobrych cech sensorycznych wydłuża się o 150%. Najczęściej jej wykorzystywane są amylazy. Jakkolwiek ich stosowanie jako dodatków polepszających jakość i trwałość pieczywa ma co najmniej stuletnią historię, mechanizm działania amylaz jako czynnika przeciwdziałającego czerstwieniu pieczywa nie jest do końca poznany. Niektórzy autorzy sugerują, że jest on związany z powstawaniem podczas degradacji skrobi niskocząsteczkowych dekstryn (3-9 jednostek glukozy), które zakłócają procesy retrogradacji i wiązania amylopektyny oraz tworzenie się połączeń skrobiowo-białkowych w starzejącym się pieczywie [12].

W przemyśle najczęściej wykorzystuje się amylazy bakteryjne produkowane przez bakterie z rodzaju *Bacillus*, amylazy pleśniowe (*Aspergillus*) i słodowe. Te trzy typy charakteryzują się zróżnicowanymi właściwościami i różną tolerancją wobec temperatury i kwasowości środowiska. Przykładowo amylazy bakteryjne cechują się dużą stabilnością termiczną i wykazują aktywność również po wypieku, podczas gdy amylazy pleśniowe w wysokiej temperaturze są inaktywowane i ich stosowanie poprawia jakość miękiszu tylko w niewielkim stopniu. Z kolei wykorzystanie amylaz bakteryjnych jest często przyczyną powstawania lepkiego i trudnego do pokrojenia miękiszu [8]. Lepsze efekty daje wykorzystanie amylaz nowej generacji, charakteryzujących się umiarkowaną termostabilnością, takich jak amylaza uzyskana w hodowli *Bacillus megaterium*, kwaśna amylaza *Aspergillus niger*, czy amylaza *Bacillus stearothermophilus*. Ta ostatnia jest w chwili obecnej jednym z najbardziej efektywnych czynników przeciwdziałających czerstwieniu pieczywa. Dla poprawy właściwości enzymów amylolitycznych prowadzi się także próby modyfikacji ich termostabilności, na przykład poprzez mikrokapsułkowanie [7].

Tabela 1. Charakterystyka wybranych enzymów amylolitycznych [11]

enzym/źródło	termosta- bilność	wpływ na strukturę miękiszu	wpływ na elastyczność miękiszu
α amylaza pleśniowa <i>Aspergillus oryzae</i>	niska	+	++++
glukoamylaza pleśniowa <i>Aspergillus niger</i>	niska		++++
α amylaza pleśniowa <i>Aspergillus niger</i>	umiarkowana	++	++ przy niskim pH
zbożowa α amylaza słód jęczmienny/pszeniczny	umiarkowana	++	++
zbożowa β amylaza mąka pszennaniska	niska		++++
α amylaza bakteryjna <i>Bacillus subtilis</i>	wysoka	++++	+
α amylaza bakteryjna <i>Bacillus megaterium</i>	umiarkowana	+++	++
amylaza bakteryjna <i>Bacillus stearothermophilus</i>	umiarkowana	++++	++++

Do enzymów korzystnie wpływających na trwałość pieczywa zaliczyć można również ksylanazę ograniczającą czerstwienie, szczególnie w mieszankach z α amylazą, amyloglukozydazę ograniczającą retrogradację amylopektyny po wypieku oraz enzymy zczepiające i rozczepiające wiązania boczne np. pullulanazę, która przeciwdziała gumowatości miękiszu. Enzymy te stosuje się najczęściej w mieszankach z α i β amylazą, cellulazami, oksydazami i lipazami [17].

Korzystny wpływ na zachowanie świeżości pieczywa mają również enzymy proteolityczne, głównie proteazy pleśniowe, które dodane do mąki rozluźniają strukturę białka, skrobi i pentozanów. Ich działanie związane jest z uwolnieniem wody w wyniku rozpadu tych polimerów na mniejsze cząsteczki o mniejszej zdolności wiązania wody [15]. Proteazy

poprawiają przede wszystkim teksturę ciasta i zwiększają objętość wypieku.

Do robu pieczywa stosuje się również lipazy produkowane z wykorzystaniem grzybów strzępkowych z rodzaju *Rhizopus*, *Aspergillus* i *Mucor* oraz rozkładające błonnik pentozanazy, które zwiększają zdolność wiązania wody. Dodatek lipaz może zastąpić działanie emulgatorów zwiększając wodochłonność ciasta, a tym samym poprawiając jakość pieczywa i jego trwałość.

Stosunkowo nowym enzymem w piekarnictwie jest transglutaminaza, która wspomaga tworzenie włókien glutenu, umożliwiając łączenie się glutaminy i lizyny różnych białek. Aktywność tego enzymu poprawia właściwości wypiekowe słabych mąk, zapewnia właściwą elastyczność ciasta i wyraźnie przedłuża trwałość ciasta mrożonego. Znaczną poprawę trwałości pieczywa uzyskuje się stosując mieszanke transglutaminazy i α amylazy [2].

Do enzymów nowej generacji zaliczyć też można pentozanazę wytwarzaną metodą mikrobiologiczną z udziałem genetycznie zmodyfikowanej pleśni *Aspergillus oryzae*, enzym otrzymany ze szczepu *Humicola insolens*, który powoduje rozkład i modyfikację niskocząsteczkowej frakcji polisacharydów oraz 1,3 lipazę wytwarzaną ze szczepu *Thermomocetes lanuginosus* z udziałem genetycznie zmodyfikowanej pleśni *aspergillus* [16].

Ze względu na zróżnicowane właściwości enzymów, w celu uzyskania optymalnego efektu zarówno w zakresie jakości sensorycznej pieczywa, jak i jego trwałości preparaty enzymatyczne są najczęściej mieszaninami co najmniej 2-3 enzymów.

PAKOWANIE PIECZYWA W ATMOSFERZE MODYFIKOWANEJ (MAP)

Zastosowanie odpowiedniej metody pakowania jest jednym z ważniejszych sposobów przedłużania trwałości pieczywa [5]. W tym zakresie zastosowanie stosunkowo nowej metody pakowania w MAP wydaje się obiecującym rozwiązaniem. Na skalę przemysłową rozwój tej techniki nastąpił w ciągu ostatnich 25. lat. Polega na zastąpieniu powietrza w opakowaniu jednostkowym mieszaniną obojętnych gazów (azotu, dwutlenku węgla, tlenu) w różnych proporcjach, uzależnionych od rodzaju pakowanego produktu i wymaganego okresu trwałości. Powietrze zwykle zawiera 21% tlenu, 78% azotu i około 0,03% dwutlenku węgla. Modyfikacja atmosfery w opakowaniu przez obniżenie zawartości tlenu poniżej poziomu atmosferycznego, przy wzroście poziomu CO₂ i/lub azotu, znacząco wpływa na przedłużenie trwałości produktów, ograniczając niekorzystne zmiany oksydacyjne żywności oraz rozwój drobnoustrojów tlenowych. Z punktu widzenia trwałości mikrobiologicznej szczególnie efektywny jest CO₂, hamujący rozwój bakterii tlenowych i pleśni. W tym zakresie najbardziej skuteczne jest stosunkowo wysokie stężenie CO₂, minimum 20% [6]. Azot pełni funkcję gazu zapewniającego odpowiednie wypełnienie opakowania, zapobiegając obkurczeniu się i przyklejaniu materiału opakowaniowego do produktów, szczególnie przy wysokiej zawartości tłuszczu i wody, które silnie absorbują CO₂. Podczas przechowywania wyrobów zapakowanych techniką MAP nie stosuje się zmian w składzie gazów ani kontroli ich zawartości w opakowaniu [3].

Pakowanie w modyfikowanej atmosferze może być przeprowadzane przy zastosowaniu dwóch technik:

- poprzez usunięcie z opakowania powietrza do uzyskania założonego podciśnienia i wtłoczenie mieszaniny gazów,
- poprzez usunięcie powietrza strumieniem mieszaniny gazów.

Jako materiały opakowaniowe wykorzystywane są tworzywa sztuczne, które powinny charakteryzować się:

- wytrzymałością mechaniczną i odpornością termiczną,
- wysoką barierowością w stosunku do gazów, przy niskiej przepuszczalności pary wodnej,
- dobrą zgrzewalnością.

W przypadku pakowania gotowych wyrobów piekarniczych stosuje się atmosferę praktycznie beztlenową. Jako gazy ochronne wykorzystywane są dwutlenek węgla i azot, w różnych proporcjach, z przewagą zawartości CO₂, ze względu na jego pleśnio- i bakteriostatyczne działanie. Zawartość tlenu w mieszaninie nie powinna przekraczać 1%. Jedynie przy pakowaniu wyrobów ze świeżego ciasta, ze względu na specyfikę produktu, zwykle stosuje się mieszaninę tlenu i dwutlenku węgla (O₂/CO₂ 50%/50%).

Przy wykorzystaniu techniki MAP, ze względu na rodzaj zastosowanego opakowania (pakowanie bez dostępu tlenu), istnieje możliwość rozwoju drobnoustrojów beztlenowych i względnie beztlenowych. Dlatego tak istotna jest w tym procesie właściwa higiena produkcji, (system HACCP) gwarantująca bezpieczeństwo zdrowotne produktu, w tym zabezpieczenie przed zakażeniem mikrobiologicznym po wypieku [5,10].

W tabeli 2 przedstawiono przykładowy skład mieszaniny gazów, temperaturę przechowywania i okres trwałości dla niektórych wyrobów piekarniczych [4,5].

Tabela 2. Możliwe do uzyskania okresy trwałości przy pakowaniu niektórych wyrobów piekarniczych w systemie MAP [4,5]

Rodzaj pieczywa	Skład mieszaniny gazów (%)		Temperatura przechowywania (°C)	Okres trwałości (dni)
	CO ₂	N ₂		
Chleb żytni porcjowy	70	30	5	21-28
Chleb tostowy porcjowy	80	20	20	14-21
Bułki podpieczone	70	30	5	21-28
Pizza	50	50	5	14-21

Pomimo ogólnie pozytywnego wpływu atmosfery modyfikowanej na trwałość pieczywa, udokumentowanego licznymi wynikami badań [9,10,14] mechanizm zachodzących w produkcji zmian fizykochemicznych związanych z procesem czerstwienia nie jest jednoznacznie wyjaśniony, a przedstawiane poglądy są niejednokrotnie sprzeczne. Wykonane w ostatnich latach badania czerstwienia przy zastosowaniu obiektywnych metod aparaturowych – m.in. określenie stopnia retrogradacji skrobi metodą DSC wykazały, że pakowanie w atmosferze modyfikowanej nie wpływa w sposób istotny na kinetykę tych zmian. Przedłużenie trwałości pieczywa pakowanego w MAP jest raczej efektem zahamowania zmian mikrobiologicznych, ograniczenia migracji wody i utraty wilgotności przez produkt oraz zmniejszeniem ogólnej aktywności enzymatycznej i biochemicznej [13]. Należy jednak zaznaczyć, że mechanizm czerstwienia pieczywa jest zjawiskiem bardzo złożonym i nadal nie w pełni poznany.

Przechowywanie pieczywa pakowanego techniką MAP wymaga zwykle utrzymania odpowiednich warunków temperaturowych. Najczęściej stosowane są temperatury chłodnicze, poniżej 100C do 00C (najczęściej 2 40C), z uwagi na fakt, że przepuszczalność gazów przez tworzywa opakowaniowe, w tym pary wodnej, wyraźnie zmniejsza się wraz z obniżaniem temperatury. W tab. 3 przedstawiono przepuszczalność pary wodnej w zależności od temperatury na przykładzie folii z polietylenu niskiej gęstości [5].

Tabela 3. Wpływ temperatury na przepuszczalność pary wodnej folii PE-LD o grubości 25m [4,5]

Temperatura (°C)	Przepuszczalność pary wodnej wilg. wzgl. 90%, g/m ² /24h
40	20,8
30	8,7
20	3,4
10	1,2
0	0,4
-10	0,1

Jako tworzywa opakowaniowe do pakowania pieczywa najczęściej stosowane są folie wielowarstwowe PA/PE/EVOH (poliamid/polietylen/kopolimer etylenu z alkoholem winylowym).

Zastosowanie w produkcji pieczywa techniki utrwalania w modyfikowanej atmosferze wiąże się z określonymi korzyściami, jak też ograniczeniami.

Podstawowe zalety to:

- wzrost potencjalnej trwałości wyrobów piekarniczych od 50 do 400%,
- obniżenie ekonomicznych strat produkcyjnych,
- możliwość dystrybucji pieczywa na większe odległości i z mniejszą częstotliwością (wyraźne obniżenie kosztów dostaw).

Ograniczenia:

- konieczność zapewnienia właściwych warunków higienicznych produkcji w celu uniknięcia skażenia drobnoustrojami beztlenowymi (przestrzeganie zasad HACCP),
- wymóg zachowania określonych warunków otoczenia – odpowiednia temperatura i wilgotność – przy przechowywaniu, transporcie i dystrybucji zapakowanych wyrobów,
- konieczność kontrolowania szczelności zamknięcia (spawu) opakowań,
- dostosowywanie składu mieszaniny gazów do typu pakowanego produktu, kłopotliwe przy zróżnicowanej asortymentowo produkcji,
- wymóg specjalnego wyposażenia i odpowiednio przeszkolonego personelu.

PODSUMOWANIE

Analiza dostępnych danych literaturowych pozwala stwierdzić, że problem przedłużania trwałości pieczywa przy zachowaniu jego dobrych cech jakościowych i zdrowotnych wciąż wymaga dalszych badań. Także przedstawione w omówieniu metody, powszechnie uznawane za efektywne,

cechują się wieloma ograniczeniami. Wydaje się, że najlepsze rezultaty w zakresie zapewnienia długiego okresu przechowywania pieczywa, bez konieczności stosowania chemicznych środków konserwujących, zapewniłoby równoległe stosowanie nowoczesnych metod pakowania w połączeniu z modyfikacjami procesu technologicznego, w tym składu recepturowego.

LITERATURA

- [1] Ambroziak Z.: Produkcja piekarsko-ciastkarska. Warszawa WSiP, 1999.
- [2] Bollain C., Angioloni A., Collar C.: Bread staling assessment of enzyme-supplemented pan breads by dynamic and static deformation measurements, *Eur Food Res Technol*, 2005, 220: 8389.
- [3] Church I.J., Parsons A.L.: Modified Atmosphere Packaging Technology: a Review, *Journal Science Food agriculture*, 1995, 67, 143-152.
- [4] Czapski J., Michniewicz J.: Wpływ opakowania na zmiany jakości żywności podczas przechowywania, *Przemysł Spożywczy*, 1997, 10, 15-19.
- [5] Ćwiertniewski K.: Pieczywo pakowane w atmosferze modyfikowanej (MAP), *Przegląd Piekarski i Cukierniczy*, 2003, 6, 2-6.
- [6] Farber J.M.: Microbiological aspects of modified-atmosphere packaging technology a review, *Journal of Food Protection*, 1991, 54, 58-70.
- [7] Goesart H. i wsp.: Wheat flour constituents: how they impact bread quality, and how to impact their functionality, *Trends in Food Science & Technology*, 2005, 16, 12-30.
- [8] He H., Hosney R.C.: Changes in bread firmness and moisture during long-term storage, *Cereal Chemistry*, 1990, 67, 603-605.
- [9] Hegenbart, S.: Understanding Enzyme Function in Bakery Foods, 1994, internet http://www.foodproductdesign.com/articles/463/463_1194DE.html.
- [10] Kotsianis I.S., Giannou V., Tzia C.: Production and packaging of bakery products using MAP technology, *Trends in Food Science and Technology*, 2002, 13, 319-324.
- [11] Materiały informacyjne, Improving Crumb Softness, *Lallemand Baking Update*, 2, 7.
- [12] Poutanen K.: Enzymes: An important tool in the improvement of the quality of cereal foods, *Trends in Food Science & Technology*, 1997, 8, 300-306.
- [13] Rasmussen P.H., Hansen A.: Staling of wheat bread stored in modified atmosphere, *Lebensmittel Wissenschaft u. Technology*, 2001, 34.
- [14] Rodriguez M., Medina L.M., Jordano R.: Effect of modified atmosphere packaging on the shelf life of sliced wheat flour bread, *Nahrung*, 2000, 44, 247-252.
- [15] Słowik E.: Przedłużanie świeżości i trwałości pieczywa dodatki i sposoby, *Przegląd piekarski i Cukierniczy*, 2002, 6, 14-17.
- [16] Szafulera W.: Jakie substancje można dodawać do mąki w Polsce, *Znakowanie mąki, Przegląd piekarski i Cukierniczy*, 2002, 9, 16-20.
- [17] Van der Maarel M. i wsp.: Properties and applications of starch-converting enzymes of the α -amylase family, *Journal of Biotechnology*, 2002, 94, 137-155.

SELECTED METHODS OF BREAD SHELF LIFE EXTENSION

SUMMARY

Stability of bread during shelf life is limited by microbiological spoilage and unfavorable changes in sensory attributes. Just after being baked, bread should be microbiologically sterile, but there is a risk that some bacteria and mould spores will survive or that bread will be infected during packaging. Bread staling, which starts just after baking, involves changes in taste, flavour and texture of crumb and crust. Unfavorable changes during storage may be limited by modifications of bread recipes, technology, and by bread preserving. In the paper modern methods of bread shelf life prolongation were discussed – enzyme addition and modified atmosphere packaging.