

MIROSŁAW FIK

CZERSTWIENIE PIECZYWA I SPOSOBY PRZEDŁUŻANIA JEGO ŚWIEŻOŚCI

Streszczenie

Pieczyno charakteryzuje się krótkim okresem trwałości i przydatności do spożycia, co jest związane z szybkim jego czerstwieniem. W pracy przedstawiono obecny stan wiedzy z zakresu czerstwienia i omówiono wpływ tego procesu na jakość oraz przydatność chleba do spożycia. Szczególnie wiele miejsca poświęcono na omówienie roli w tym procesie niektórych składników chemicznych takich, jak: skrobia, białka, woda i węglowodany nieskrobiowe. Wyjaśniono również znaczenie poszczególnych substancji (preparaty enzymatyczne, emulgatory i hydrokoloidy, związki lipidowe, białka, węglowodany nieskrobiowe) bądź procesów (mrożenie, pakowanie i przechowywanie w modyfikowanej atmosferze) w przedłużaniu świeżości i trwałości pieczywa.

Słowa kluczowe: pieczywo, czerstwienie, przedłużanie świeżości, trwałość.

Wprowadzenie

Chleb jest jednym z podstawowych produktów zbożowych, dostarczającym konsumentom wielu cennych składników odżywczych. Na przestrzeni wieków ulegał on przemianom, których celem było zwiększenie jego trwałości oraz dostosowanie cech do zmieniających się preferencji konsumentów. Aby przyspieszyć proces przygotowywania ciasta do wypieku zaczęto w połowie XIX w. dodawać sprasowane drożdże. Ówczesne receptury miały prosty skład i na ogół zawierały w odpowiednich proporcjach jedynie mąkę, wodę, drożdże i sól. Obecnie do uzyskania wyrobów o pożądanych cechach jakościowych stosuje się wiele rozmaitych dodatków do mąki takich, jak: tłuszcze, mleko, spulchniacze, ziarna zbóż i wiele innych. Odpowiednio dobrana receptura jest bowiem, obok prawidłowego procesu technologicznego, jednym z zasadniczych warunków otrzymania dobrego produktu finalnego.

Jakość pieczywa jest zagadnieniem dość złożonym oraz trudnym do prostego zdefiniowania. Obejmuje ona bowiem zespół rozmaitych cech takich, jak: wartość odżywcza, zdrowotność, smakowitość, świeżość i trwałość, a także atrakcyjność dla konsumenta. Pieczywo należy do produktów nietrwałych i niekorzystne zmiany fizykochemiczne zaczynają się w nim pojawiać bezpośrednio po wypieku. Procesy te powodują stosunkowo szybkie pogorszenie jakości sensorycznej oraz struktury przestrzennej miękiszu i niekiedy już nawet po kilku godzinach chleb może być zdyskwalifikowany przez konsumentów. Trwałość oraz jego przydatność do spożycia w trakcie przechowywania jest na ogół ograniczana częściowymi ubytkami wilgoci, chociaż nie jest to zwyczajne wysychanie, rozwojem pleśni i drożdży oraz przede wszystkim procesem czerstwienia [10]. Na ogół chleb żytni oraz mieszany z udziałem mąki żytniej wolniej czerstwieją niż chleb pszenny, podobnie jak wyroby piekarskie z mąką o wyższej zawartości i lepszej jakości białka. Problem świeżości chleba jest zagadnieniem budzącym od lat duże zainteresowanie piekarzy i konsumentów, toteż procesowi starzenia się pieczywa ciągle poświęca się bardzo wiele uwagi w literaturze polskiej i światowej [22, 26, 32, 45, 65, 69, 70, 79, 84, 92, 96].

Proces czerstwienia pieczywa

Czerstwienie pieczywa jest zwykle definiowane jako ogół kompleksowych zmian (bez udziału mikroorganizmów), które pojawiają się po wypieku i prowadzą do utraty świeżości i pogorszenia jakości wypieczonego produktu [37]. Z ważniejszych można wymienić niekorzystne zmiany cech sensorycznych i właściwości fizykochemicznych, szczególnie struktury i mechanicznego charakteru miękiszu oraz skórki, a także zmniejszenie rozpuszczalności skrobi z jednoczesnym wzrostem stopnia jej rekrytalizacji i spadek zdolności wiązania wody przez miękisz składowanego chleba [46, 91]. Procesy te nasilają się z różną szybkością i w ich wyniku następuje wzrost twardości, suchości i kruchości miękiszu oraz utrata jego elastyczności, zmniejszenie chrupkości skórki, a także zanik aromatu i charakterystycznych cech świeżości w miarę przechowywania produktów piekarskich [52]. Czerstwienie jest więc objawem starzenia się pieczywa, ograniczającym jego przydatność konsumpcyjną. Może być ono częściowo spowodowane migracją wilgoci z miękiszu do skórki w wyniku zmian zachodzących w układach koloidalnych [12], ale niekoniecznie proces ten musi być związany ze stratami wody. Potwierdził to Kulp [57], który jednocześnie za główny czynnik czerstwienia chleba uznał przemiany frakcji skrobi. Stwierdził on również, że tworzenie się kompleksów pomiędzy polimerami skrobiowymi, tłuszczami oraz białkami hamuje agregację amylozy i amylopektyny. W związku z tym ilość tych składników znacząco wpływa na powstrzymywanie szybkości starzenia się pieczywa i dlatego produkty takie, jak ciastka i herbatniki, które mają większą niż chleb zawartość tłuszczu, czerstwieją wolniej, ale mogą być bardziej podatne na oksydację lipidów i

rozwój zjełczałego zapachu [86]. Czerstwienie jest zatem procesem bardzo złożonym, uzależnionym od wielu czynników i dotychczas nie w pełni poznany. Znaczny wpływ na rozwój tego procesu mają przemiany niektórych składników chemicznych, których znaczenie omówiono poniżej.

Skrobia

Przez wiele lat uważano, że wzrastająca twardość miękiszu związana jest z przemianami frakcji skrobiowej mąki, a w szczególności z rekrytalizacją rozgałęzionej amylopektyny [78], ale niektórzy autorzy [35, 81] nie zgadzali się z tym, aby uważać te procesy za jednoznaczne. Jednakże wyniki nowszych badań wskazują, że z mechanizmu twardnienia miękiszu chleba nie można całkowicie wykluczyć retrogradacji skrobi [31], chociaż w niektórych przypadkach na jego twardnienie mogą silniej wpływać inne czynniki niż krystalizacja amylopektyny [42]. Skrobia jako podstawowy składnik pieczywa podlega z różną intensywnością istotnym przemianom fizykochemicznym. W surowym cieście występuje ona w postaci natywnej, podczas wypieku kleikuje, a w trakcie przechowywania gotowego produktu następuje jej retrogradacja, której sprzyja duże stężenie amylozy oraz niska temperatura. Skrobie tzw. woskowe oraz amylopektyna retrogradują o wiele słabiej ze względu na przestrzenne rozgałęzienie cząsteczki. Napęczniałe ziarenka i częściowo rozpuszczalna skrobia są charakterystyczne dla świeżego pieczywa [54], ponieważ wypiek uwodnionego ciasta powoduje przemianę jej uporządkowanej formy na amorficzną. Proces kleikowania prowadzi do uwodnienia skrobi oraz wzrostu objętości granulek skrobiowych, ich rozrywania i utraty struktury krystalicznej. Z upływem czasu składowania chleba cząsteczki skrobiowe ponownie się łączą i mogą rozwinąć bardziej zwartą oraz uporządkowaną strukturę, co objawia się wzrostem twardości oraz utratą pożądanej elastyczności miękiszu [19]. Duże znaczenie w tym procesie przemian ma retrogradacja amylopektyny, której rozgałęzienia nakładają się i wzajemnie asocjują, zwiększając tym samym sztywność struktury miękiszu. Według Durana i wsp. [19], w badaniach zmian mikrostruktury frakcji skrobiowych przydatna jest różnicowa kalorymetria skaningowa, która umożliwia także ocenę wpływu na zachodzące przemiany i innych składników takich, jak: gluten, tłuszcze, sól czy cukry. W studiach nad zmianami tej mikrostruktury mogą być także wykorzystywane metody mikroskopii świetlnej [47, 75].

Białka

Wyniki nowszych badań [68] wskazują, że oprócz skrobi w tworzeniu struktury ciasta i miękiszu niezmiernie ważne są również przemiany mącznych frakcji nieskrobiowych takich, jak: substancje białkowe, tłuszcze, woda i cukry. W przypadku mąki, szczególnie pszennej, ważną rolę spełniają tzw. białka glutenowe (gliadyna i

glutenina), tworzące po uwodnieniu gąbczastą strukturę glutenu [18, 94], który w wyniku polimeryzacji podczas ogrzewania przechodzi z żelu w zol [20]. Natomiast w powstawaniu struktury ciasta żytniego bierze udział głównie skrobia. Możliwości wspomnianych białek w tworzeniu tej unikalnej struktury glutenowej były przedmiotem badań wielu naukowców [13], ale do tej pory nie w pełni udało się wyjaśnić jak ona powstaje w różnych etapach wypieku pieczywa [9, 84]. Prawdopodobnie znaczącą rolę mogą tu mieć ilości i rozmiary makropolimeru gluteniny [39]. Ilość nierozpuszczalnych glutenin wpływa nie tylko na strukturę miękiszu, ale i na jego właściwości mechaniczne. Pewne znaczenie w tworzeniu struktury podczas wypieku mają także interakcje pomiędzy zdenaturowanym glutenem i napęczniałą skrobią, co zostało stwierdzone na podstawie badań prowadzonych z zastosowaniem skaningowego mikroskopu elektronowego [76], przy czym udział dużych ziarenek skrobiowych jest tu znacznie większy niż małych. W utworzonej ze skoagulowanych białek strukturze szkieletowej wtopione są ziarenka napęczniałej i częściowo skleikowanej skrobi. W pieczywie świeżym przylegają one szczelnie do białka, natomiast w produkcie czerstwym brak jest takiej szczelności, a w wolnych przestrzeniach występuje wokół ziarenek skrobiowych warstwa powietrza. Im bardziej czerstwy chleb, tym większe są komory powietrzne świadczące o zmniejszaniu się objętości tych ziarenek w miarę postępującego procesu starzenia. Martin i wsp. [68] oraz Hosenev i Miller [46] przedstawili nową teorię, która wyjaśnia mechanizm starzenia się chleba. Według nich wzrost twardości podczas czerstwienia związany jest z powstawaniem wiązań krzyżowych pomiędzy napęczniałą skrobią i zdenaturowanym glutenem. Im bardziej napęczniałe granulki skrobiowe, tym większa jest powierzchnia kontaktu i liczba tych wiązań. Na ogół są to stosunkowo słabe wiązania wodorowe, łatwo ulegające rozrywaniu w podwyższonej temperaturze, np. przy odświeżaniu pieczywa. Zawartość tzw. mokrego glutenu należy więc do ważnych cech mąki, a charakterystycznym wskaźnikiem ilościowo-jakościowym jest tzw. liczba glutenowa, która określa jakość tego surowca w odniesieniu do takich cech, jak zdolność ciasta do zatrzymywania gazów i odporność na obróbkę mechaniczną. Chleb dobrze wyrośnięty, pulchny i o równomiernej porowatości miękiszu uzyskuje się z mąk charakteryzujących się liczbą glutenową w zakresie 40–60. Składnik ten w pewnej mierze pełni rolę lepiszcza ziarenek skrobiowych w pieczywie, natomiast przypuszczalnie mniejszy jest jego bezpośredni wpływ na powstrzymanie procesu twardnienia miękiszu. Morgan i wsp. [73] udowodnili bowiem, że chleb z mąki pozbawionej glutenu twardnieje w takim samym stopniu jak jego odpowiednik z mąki normalnej. Badania tych autorów nie wykazały istotnej korelacji pomiędzy stopniem zestalenia i wzajemnymi reakcjami skrobi z glutenem, toteż wciąż najważniejsze znaczenie w procesie czerstwienia wydają się mieć przemiany składnika skrobiowego [98], a podatność produktów piekarskich na niekorzystne zmiany podczas starzenia

uzależniona jest w znacznej mierze od wielkości ziarenek skrobiowych oraz stopnia ich napęcznienia i skleikowania [31].

Woda

Pewne znaczenie w procesie czerstwienia pieczywa ma również zawarta w nim woda, ale jak wykazali Kamel i Stauffer [53], proces ten nie jest spowodowany przez jej straty. Optymalna zawartość wody jest niezbędna do utworzenia pożądanej formy produktu finalnego. Woda występuje w postaci związanej, tworząc odpowiednią strukturę wyrobów piekarskich, oraz wolnej, która jest odpowiedzialna za prawidłową konsystencję ciasta [36]. Ilość dodawanej wody do mąki w czasie przygotowywania ciasta zależy od jej fizykochemicznych właściwości i zawartości w niej wilgoci. Ciasto zwykle zawiera od 40 do 60% wody, co odpowiada 0,67–0,85 g/g mąki, a jej udział zwiększa się wraz ze wzrostem stężenia białka i ilości uszkodzonych ziarenek skrobiowych. W obecności H₂O poniżej 35% nie następuje formowanie ciasta, natomiast przy zawartości powyżej 50% otrzymuje się ciasto bardzo płynne. Bushuk i MacRitchie [13] podają, że woda w cieście jest absorbowana przez skrobię (46%), białka (31%) i pentozany (23%), przy czym skrobia może zaabsorbować od 40 do nawet 200% H₂O, w zależności od tego czy występuje w formie natywnej, czy uszkodzonej. Na ogół ilość wody mocno związanej jest większa w produktach czerstwych i termodynamicznie stabilnych niż w świeżych, w stanie metastabilnym, przy czym skrobia skleikowana zawiera jej więcej niż gluten. Nadmiar H₂O mocno związanej zmniejsza się podczas przechowywania chleba. Badania przeprowadzone przez Gila i wsp. [36] wykazały, że wzrost wilgotności nie polepsza jakości i zachowania pożądanych właściwości składowanych produktów piekarskich otrzymywanych z mąki standardowej, ale chleb wyprodukowany z mąki wzbogaconej w gluten charakteryzuje się przy wyższej zawartości wody lepszą jakością i sprężystością oraz wolniej czerstwieje. Zawartość wody jest ważnym i podstawowym czynnikiem wpływającym przede wszystkim na stopień rekrystalizacji skrobi oraz połączone z tym częściowe czerstwienie wyrobów przemysłu piekarskiego, chociaż wzrost ich twardości w czasie przechowywania nie jest związany ze stratami wilgoci, ale z jej przemieszczaniem się z glutenu do skrobi lub odwrotnie. Szybkość tego przemieszczania uzależniona jest między innymi od stopnia pęcznienia, uwodnienia i degradacji oligosacharydów i dekstryn, ilości i rodzaju składników cukrowych oraz ich interakcji, a także obecności w stosowanych surowcach pentozanów i lipidów.

Zmiany aromatu i smaku

Czerstwienie to także utrata przyjemnego aromatu i smaku pieczywa świeżego. Bezpośrednio po wypieku substancje smakowo-zapachowe są nierównomiernie rozmieszczone w produkcie. W skórce pochodzą one głównie z kompleksowych

reakcji cukrów i związków azotowych oraz z pirolizy składników węglowodanowych, a w miększu powstają podczas fermentacji ciasta. W czasie schładzania gorącego pieczywa lotne składniki smakowo-zapachowe ulegają kondensacji i są absorbowane przez skrobię oraz substancje białkowe, a część z nich jest tracona poprzez parowanie, utlenianie lub tworzenie nierozpuszczalnych kompleksów ze skrobią. W związku z tym smak i zapach świeżych wyrobów piekarskich są bardziej złożone niż produktów przechowywanych. Przyczyną zaniku aromatu i charakterystycznego ich smaku są między innymi zmiany związków karbonylowych, a przede wszystkim duży spadek zawartości aldehydów w trakcie składowania [22].

Stosowane substancje i procesy do przedłużania świeżości oraz trwałości produktów piekarskich

Preparaty enzymatyczne

Straty ekonomiczne związane ze starzeniem się pieczywa skłaniają do poszukiwania optymalnych sposobów powstrzymujących rozwój tego procesu i przedłużenia jego bardzo krótkiej świeżości, wynoszącej zwykle od jednego do dwóch dni. Od wielu lat wiadomo, że jako czynniki spowalniające proces czerstwienia mogą działać niektóre preparaty enzymatyczne [63, 91]. W odniesieniu do pieczywa szczególnie interesującymi i skutecznymi enzymami są amylazy, które dodane do ciasta powodują rozkład skrobi do dekstryn i dwucukrów, polepszają porowatość miększu, zwiększają objętość i znacząco powstrzymują szybkość starzenia się chleba [2, 73, 96]. Optymalne są takie enzymy, które wykazują aktywność powyżej temperatury kleikowania skrobi i tracą ją w wyniku inaktywacji termicznej pod koniec wypieku. Dlatego preparaty enzymatyczne o niskiej termostabilności takie, jak amylazy grzybowe i zbożowe, nie mogą znacznie zmniejszyć twardości miększu, a preparaty o wysokiej stabilności termicznej (amylazy bakteryjne), pomimo wpływu na strukturę, powodują jego gumowatość i brak typowej elastyczności. W związku z tym, aby otrzymać pieczywo o korzystnych właściwościach strukturalnych, należy kontrolować działanie amylaz bakteryjnych, ale jest to bardzo trudne, gdyż proces wypieku nie inaktywuje tych enzymów i nadal są one aktywne w gotowych produktach. Najlepsze do tego celu są egzoenzymy o średniej termostabilności [12, 44], produkowane przez *Bacillus megaterium* i *Aspergillus niger*. Do jednych z najlepiej poznanych enzymów, skutecznie ograniczających szybkość procesu czerstwienia i zwiększających trwałość chleba, należą α -amylazy [91], które po dodaniu do ciasta powodują podczas wypieku uwolnienie ze skrobi niskocząsteczkowych dekstryn utrudniających retrogradację amylopektyny [2] i powstawanie wiązań krzyżowych pomiędzy glutenem oraz skleikowanymi ziarenkami skrobiowymi [67]. Również Rojas i wsp. [82] na podstawie wyników

przeprowadzonych badań modelowych sugerują, że dekstryny mogą być odpowiedzialne za powstrzymywanie szybkości twardnienia miękiszu i retrogradacji amylopektyny. α -Amylaza dostarcza też drożdżom odpowiedniej ilości cukrów do procesu fermentacji, przez co polepsza ich wzrost i stwarza warunki do produkcji gazu w cieście oraz korzystnie modyfikuje właściwości teksturalne pieczywa [77]. Yaseen i wsp. [96] stwierdzili, że dodanie tego enzymu i pektyny z jabłek do ciasta chlebowego z mąki pszennej powoduje zwiększenie objętości właściwej chleba świeżego i porowatości, a także zmniejszenie twardości i gumowatości przy jednocześnie podwyższonej elastyczności, kohezji i współczynnika powrotu objętości miękiszu. Zastosowane przez wspomnianych autorów dodatki hamowały czerstwienie chleba przechowywanego w temperaturze pokojowej, nie obniżając jego jakości. Jako środki polepszające jakość pieczywa można stosować, oprócz enzymów rozkładających skrobię, również enzymy rozkładające białka, tłuszcze [89] i hemicelulozę [43, 89] oraz należące do niej pentozany [83]. Dodatek proteaz stosowany jest do mąk z mocnym glutenem, co powoduje rozluźnienie jego struktury i polepszenie konsystencji ciasta oraz barwy skórki, a także zwiększenie objętości pieczywa. Dodatki celulaz zmniejszają twardość miękiszu i spowalniają retrogradację skrobi [43], a pentozanazy rozkładając pentozany poprawiają strukturę miękiszu oraz powodują wzrost objętości bochenków i umożliwiają równomierne rozmieszczenie w nich wody [78, 83]. Natomiast dzięki działalności lipaz uwalniane są z dodanych tłuszczów mono- i diglicerydy, które wpływają na poprawę miękkości chleba [56], a korzystny wpływ dodanych do mąki specyficznych lipaz łącznie z triglicerydami objawia się również poprawą objętości bochenków i zmniejszeniem szybkości ich twardnienia oraz czerstwienia. Gil i wsp. [37] stwierdzili, że dodatek α -amylazy bakteryjnej łącznie z lipazą i pentozanazą do ciasta chlebowego z mąki pszennej polepsza od drugiego dnia składowania jakość gotowego produktu poprzez obniżenie twardości i zwiększanie elastyczności miękiszu, przedłużając o dwa dni jego przydatność do spożycia. W wielu krajach, w tym również w Polsce, stosuje się aktywne enzymatycznie dodatki mączki słodowej lub ekstraktów słodowych. Ze względu na ich skład i zawartość cukrów oraz substancji azotowych zwiększają one zdolności fermentacyjne drożdży oraz w pewnym stopniu objętość chleba, nadają mu charakterystyczny aromat, powodują lepsze zbrązowienie skórki i spowalniają proces czerstwienia [4]. Często stosowane są w piekarstwie także dodatki mąki sojowej i syropu ziemniaczanego, zawierające lipooksygenazę. Enzym ten utlenia barwniki karotenoidowe oraz nienasycone kwasy tłuszczowe, co ma wpływ na rozjaśnienie barwy miękiszu pieczywa, poprawienie jego struktury, zwiększenie objętości i modyfikację aromatu. Niekiedy zamiast preparatów enzymatycznych korzystne jest dodawanie do ciasta części surowca w postaci skleikowanej, np. zaparzonej mąki lub gotowanych ziemniaków. Skleikowaną skrobię łatwiej hydrolizują endogenne enzymy zawarte w mące, a powstałe dekstryny

zwiększając hydratację miękiszu i powstrzymują jego twardnienie. Według Gambuś i wsp. [33], przy produkcji chleba pszennego optymalny jest dodatek 5% zaparzonej mąki żytniej i pszenżytniej. Podobną rolę może spełniać skrobia ekstrudowana, która ze względu na znaczny stopień rozkładu i zwiększoną zawartość dekstryn zapobiega starzeniu się pieczywa poprzez interakcje z glutenem [97]. W przemyśle piekarskim USA i niektórych krajów europejskich do poprawy jakości pieczywa powszechnie stosuje się dodatek gotowych hydrolizatów skrobiowych lub wysuszonych maltodekstryn [28], przy czym coraz częściej są one stosowane jako zamienniki tłuszczu.

Emulgatory i hydrokoloidy

Korzystny wpływ na jakość i trwałość pieczywa mają substancje powierzchniowo czynne kształtujące strukturę, a przede wszystkim emulgatory i hydrokoloidy [45, 55]. Według Ambroziaka [4] tworzą one w procesie mieszenia silne połączenia z białkiem i wzmacniają w ten sposób strukturę ciasta, a podczas wypieku w wysokiej temperaturze łączą się w kompleksy ze skrobią, wpływając na zwiększenie elastyczności miękiszu chleba i przedłużenie jego świeżości. Jako emulgatory tłuszczów piekarniczych oraz wyrobów ciastkarskich i pieczywa cukierniczego stosowane są mono- i diglicerydy kwasów tłuszczowych względnie ich mieszaniny, a także ich estry z niektórymi kwasami, m.in. winowym, bursztynowym, mlekowym, cytrynowym i octowym. Naturalnym emulgatorem jest lecytyna, która jako fosfolipid towarzyszy tłuszczom zwierzęcym i roślinnym. W skali przemysłowej otrzymuje się ją przez hydratację olejów roślinnych, najczęściej sojowego i rzepakowego. Haber i wsp. [40] stwierdzili, że chleb pszenny z dodatkiem lecytyny rzepakowej lub sojowej, w porównaniu z jego odpowiednikiem bez dodatków, charakteryzował się mniejszą twardością i ściśliwością miękiszu, zwolnionym tempem czerstwienia oraz większą objętością bochenków, co było skorelowane z ilością zatrzymywanego w cieście CO₂. W badaniach tych najkorzystniejszym działaniem wykazała się lecytyna hydroksylowana. Według Lewczuka i Sobczyk [62], dodatek 1% surowej albo sproszkowanej lecytyny sojowej do mąki pszennej miał korzystny wpływ na jakość i przedłużenie przydatności konsumpcyjnej pieczywa. Również duże znaczenie, szczególnie w tworzeniu ciasta oraz kształtowaniu micelarnej matrycy glutenowej, mają hydrokoloidy [71, 72]. Charakteryzują się one dużą zdolnością pochłaniania wody i ich obecność wyraźnie wpływa na cechy fizyczne glutenu oraz zmniejszoną szybkość twardnienia miękiszu, a tym samym i na jakość chleba [16]. W skali przemysłowej najczęściej stosowane są spośród nich naturalne gumy roślinne, mączki z nasion lub bulw roślinnych oraz hydrokoloidy otrzymywane metodami mikrobiologicznymi.

Związki lipidowe

Znaczny wpływ na jakość i trwałość pieczywa mają także dodawane tłuszcze oraz lipidy endogenne mąki [15, 58, 88]. W trakcie wypieku ciasta tworzą one kompleksy ze skrobią i tym samym opóźniają czerstwienie oraz twardnienie miększu chleba, przy czym bardziej zmiękcza jego strukturę wpływa smalec niż oleje [81, 87]. Lipidy mogą być też kompleksowane przez białka mąki w trakcie rozrostu ciasta [14]. Powstawanie agregatów lipidowo-skrobiowych jest związane głównie z obecnością niskocząsteczkowych białek hydrofobowych o silnych tendencjach agregacyjnych (tzw. ligoliny), które odpowiedzialne są za rozmieszczenie tłuszczu pomiędzy białkiem glutenu [29]. Tłuszcze wbudowane w matrycę białkową mają zasadnicze znaczenie, gdyż kształtują odpowiednie właściwości lepkością usieciowanego glutenu, które są konieczne w celu ekspansji i retencji dwutlenku węgla [66]. Collar i wsp. [15] stwierdzili, że pożądane trendy w parametrach lipidowych ciasta, wynikające ze wzmocnienia glutenu, jak również opóźnione żelowanie skrobi, większa miękkość chleba i zmniejszone jego czerstwienie korespondują z wyższą zawartością lipidów wolnych, jak i związanych ze skrobią. Na ogół zawartość tłuszczów endogennych w mąkach jest stosunkowo niewielka, toteż ich odpowiedni dodatek przedłuża świeżość chleba i zapewnia drobno porowatą strukturę miększu.

Białka

Pozytywny wpływ na wiele cech pieczywa wykazuje dodatek do mąki glutenu pszenne lub innych białek albo surowców bogatych w te składniki takich, jak mąka sojowa i produkty mleczarskie [30, 34, 48]. Odtłuszczone mleko w proszku dodawane w ilościach nieprzekraczających 3% nie tylko zwiększa wartość odżywczą białek i ilość wapnia w mące, ale także polepsza porowatość miększu, barwę skórki oraz smakowość chleba i przedłuża jego świeżość. Również chleb z dodatkiem serwatki wykazuje lepszą elastyczność i porowatość, korzystniejsze walory smakowo-zapachowe oraz intensywniejsze zabarwienie skórki i charakteryzuje się dłuższą przydatnością do spożycia niż jego odpowiednik bez tego składnika [21, 65]. Według Habera i wsp. [41] dodatki zagęszczonej serwatki kwasowej albo jej odpowiednika z zawartością sacharozy do ciasta pszenne miały korzystny wpływ na jakość pieczywa, przy czym za najwłaściwsze ze względu na wyższy stopień zagęszczenia (do ok. 60% s.m.) jest wykorzystanie do tego celu tej ostatniej. Zawarty w serwatce wapń powoduje jednak pewien wzrost stopnia agregacji białek poprzez formowanie się połączeń jonowych pomiędzy grupami karbonylowymi sąsiednich łańcuchów białkowych. Mannie i Asp [65] podkreślają, że zjawisko to ma znaczący wpływ na twardość chleba, toteż mniejsza zawartość wapnia w białkach serwatkowych może ułatwiać zachowanie przez miększ pożądanej miękkości. Jednakże inni amerykańscy

badacze [21] stwierdzili, że poddane obróbce termicznej białka serwatkowe zmniejszają szybkość czerstwienia pieczywa.

Węglowodany nieskrobiowe

Korzystny wpływ na wartość technologiczną ciasta i na jakość pieczywa wywiera nieskrobiowa frakcja cukrów, stanowiąca dużą część błonnika pokarmowego. W skład tej frakcji w ziarnie żyta wchodzi głównie substancje pentozanowe (arabinoksylany) zarówno rozpuszczalne, jak i nierozpuszczalne w wodzie, celuloza, ligniny, beta-glukany i niewielkie ilości pektyn [64]. Najwięcej pentozanów zawierają mąki żytnie (3–8%), natomiast mniejsze ich ilości (2–3%) stwierdzono w mąkach pszennych [9, 38, 83]. Substancje te charakteryzują się dużą wodochłonnością oraz zdolnością do tworzenia roztworów wodnych o zwiększonej lepkości i stąd są one ważnym składnikiem funkcjonalnym ciasta chlebowego oraz otrzymanego z niego pieczywa [17]. Niezależnie od podobieństw struktury chemicznej pentozanów rozpuszczalnych i nierozpuszczalnych wykazują one różny wpływ na właściwości technologiczne ciast i cechy jakościowe chleba. Na ogół istnieje przekonanie, że pentozały nierozpuszczalne korzystnie wpływają na objętość bochenków chleba i właściwości teksturalne miękiszu, natomiast dodatek pentozanów rozpuszczalnych powoduje jedynie wzrost ich objętości. Michniewicz i wsp. [70] stwierdzili, że substancje te ograniczają tworzenie się międzycząsteczkowych połączeń amylozy w matrycy skrobiowo-glutenowej i opóźniają proces retrogradacji żelu skrobiowego oraz szybkość czerstwienia pieczywa. Objawia się to zmniejszeniem spadku zawartości rozpuszczalnej amylozy w przechowywanym pieczywie oraz zwiększoną podatnością skrobi na działanie α -amylazy [51], a także wpływem dodanych pentozanów na niektóre cechy fizyczne i technologiczne ciasta oraz glutenu [69]. Podobny wpływ na polepszenie jakości i świeżości wyrobów piekarskich ma również dodatek do mąki 2% suchego ekstraktu pektyny z jabłek [8].

Inne czynniki wpływające na trwałość pieczywa

Na trwałość pieczywa wpływają nie tylko dodatki do mąki lub ciasta rozmaitych substancji naturalnych czy polepszaczy syntetycznych, ale także dobra jakość podstawowego surowca jakim jest mąka, odpowiednie przygotowanie ciasta, prawidłowy proces wypieku oraz warunki przechowywania gotowych wyrobów. Duże znaczenie w istotnym wydłużeniu okresu ich przydatności do spożycia ma proces intensywnego mieszania i zaparzania części mąki. Również odpowiednio dobrane warunki procesu fermentacyjnego, właściwe parametry obróbki i optymalny rozrost ciasta, a zwłaszcza optymalna temperatura jego wypieku, są ściśle powiązane z końcową jakością i trwałością przechowalniczą chleba [3]. Jankiewicz i wsp. [50] stwierdzili, że także utrwalanie radiacyjne dawką 1,5 kGy uprzednio zapakowanego

chleba pszennego oraz żytniego jasnego i razowego w folię aluminiową i papier kraft warunkuje utrzymanie ich dobrej jakości mikrobiologicznej (powstrzymanie rozwoju pleśni) i trwałości w okresie 30 dni składowania w temperaturze pokojowej lub wyższej, przy czym czerstwienie pieczywa jest w większym stopniu uzależnione od metody produkcji niż utrwalania mikrobiologicznego, które nie chroni go przed zmianami właściwości koloidowych skleikowanej skrobi. Według tych autorów, do utrwalania pieczywa opakowanego można z powodzeniem stosować też metodę termiczną, polegającą na jego ogrzaniu do temperatury 95°C wewnątrz miękiszu. W Polsce dopuszcza się również do konserwacji pieczywa substancje tzw. antypleśniowe, tj. kwas propionowy oraz niektóre jego sole, a przede wszystkim sodową i wapniową. Dodatek ich do mąki w ilości 0,2% (m/m) pozwala na przedłużenie trwałości chleba do 10 dni, ale opóźnia on nieco fermentację ciasta, a w przypadku wyrobu z mąk jasnych zmienia jego posmak. Dobrymi właściwościami antyseptycznymi charakteryzuje się także alkohol etylowy [86]. Substancje konserwujące nie są jednak uniwersalnym i radykalnym środkiem, ale jedynie pomocniczym w uzyskaniu dłuższej trwałości. W niektórych krajach istnieje zakaz ich stosowania do pieczywa.

Mrożenie pieczywa

Bardzo skutecznym sposobem opóźniania czerstwienia i przedłużania trwałości oraz przydatności do spożycia jest proces zamrażania i przechowywania pieczywa w stanie zamrożonym [23]. Ogólnie bowiem wiadomo, że obok wilgotności względnej powietrza znaczący wpływ na jego świeżość ma temperatura składowania. Najkorzystniejsze warunki do przechowywania chleba istnieją w temp. poniżej -15°C i powyżej +35°C. Natomiast przedział temperatury od -15 do +35°C jest niekorzystny do utrzymywania świeżości produktów piekarskich, gdyż w tym zakresie temperaturowym, a szczególnie w pobliżu -2 do 0°C, szybko przebiega ich czerstwienie i proces retrogradacji skrobi. Wystudzone pieczywo poddaje się szybkiemu procesowi mrożenia najczęściej do temp. około -20°C w środku termicznym i w tej temperaturze jest ono składowane. W niższej temperaturze istnieje niebezpieczeństwo wymrożenia wody z układu koloidalnego skrobia-woda i po rozmrożeniu przejście skrobi w postać krystaliczną. Przechowywanie zamrażalnicze znacznie zwiększa jego trwałość, ale nie powstrzymuje całkowicie zmian sensorycznych i fizykochemicznych [24]. Intensywność tych przemian uzależniona jest od rodzaju pieczywa, składu recepturowego i procesu technologicznego, prędkości zamrażania, a także od warunków i okresu zamrażalniczego składowania oraz sposobu rozmrażania [25]. W ostatnich latach ukazało się wiele prac dotyczących zamrażania i zamrażalniczego przechowywania także samego ciasta chlebowego. Wskazuje się przy tym, że wypiekane pieczywo z tego półproduktu mrożonego ma tendencję do zmniejszania objętości, co związane jest ze zjawiskiem zamrażalniczego uszkodzenia

w nim drożdży, szczególnie przy długim okresie składowania [95] i znacznych wahaniami temperatury [7]. To niekorzystne działanie niskiej temperatury można zmniejszyć przez zastosowanie do przygotowania ciasta mąki wzbogaconej dodatkiem glutenu [93]. Zdolność wypiekową ciasta mrożonego mogą też zwiększyć dodatki miodu [1] lub oleju roślinnego [11]. Istnieje także możliwość zmniejszenia tego rodzaju problemów technologicznych poprzez właściwy dobór parametrów zamrażania lub ograniczony proces fermentacji i zastosowanie specjalnych drożdży odpornych na uszkodzenia podczas mrożenia [85]. W zamrażalnictwie pieczywa szczególnie popularna staje się metoda oparta na częściowym wypieku, zamrażaniu oraz zamrażalniczym przechowywaniu produktu i następnie dopieczeniu go po uprzednim rozmrożeniu. Badania wykazały, że optymalny czas częściowego podpiekania chleba przed zamrożeniem wynosi od 74 do 86% czasu koniecznego do jego pełnego wypieku [27]. Jednocześnie stwierdzono, że produkt mrożony o takim stopniu podpieczenia charakteryzuje się dużą stabilnością cech sensorycznych oraz parametrów teksturalnych podczas jedenastotygodniowego składowania zamrażalniczego i po rozmrożeniu oraz całkowitym dopieczeniu przewyższa pod względem jakości jego mrożony odpowiednik o pełnym wypieku. Częściowe podpiekanie oraz mrożenie jest więc dobrą metodą powstrzymywania czerstwienia i otrzymywania gotowego wyrobu, zbliżonego jakością do niemrożonego pieczywa świeżego.

Pakowanie i przechowywanie w modyfikowanej atmosferze

Na podstawie wyników badań wielu autorów [6, 49, 61, 74, 80] należy stwierdzić, że okres trwałości pieczywa można znacznie przedłużyć również poprzez jego przechowywanie w modyfikowanej atmosferze. Jednym z zasadniczych czynników ograniczających trwałość produktów piekarskich, oprócz czerstwienia, jest ich pleśnienie. Ten rodzaj ich psucia się jest częstszy niż powodowany przez bakterie [90]. Dlatego głównym składnikiem stosowanych atmosfer gazowych jest dwutlenek węgla, który działa hamująco na wzrost tych drobnoustrojów. Zalecane mieszaniny do pakowania chleba w modyfikowanych atmosferach zwykle zawierają 60–80% CO₂ i 20–40 N₂. O okresie trwałości decyduje nie tylko optymalny dobór mieszanin gazowych i odpowiednich opakowań, ale też rodzaj i jakość produktu oraz utrzymanie dobrych warunków sanitarno-higienicznych w czasie przetwarzania i pakowania. W niektórych krajach europejskich i USA szczególnie popularna jest metoda oparta na częściowym wypieku pieczywa i składowaniu go po zapakowaniu w mieszaninie gazów [86]. Liczne badania potwierdziły, że chleb składowany w temperaturze niższej od pokojowej starzeje się szybciej, ale w przypadku pieczywa częściowo podpieczonego przechowywanie chłodnicze w otoczeniu mieszaniny gazowej ma korzystne oddziaływanie na jego jakość. Świadczą o tym wyniki kompleksowych badań przeprowadzonych przez Leuschner i wsp. [59, 60, 61], którzy wykazali, że

proces dopiekania takiego chleba po uprzednim jego przechowywaniu w warunkach modyfikowanej atmosfery i temp. 4°C pozwala na otrzymanie produktu finalnego o cechach charakterystycznych dla wyrobu świeżego. Jednocześnie stwierdzono, że pakowanie w modyfikowanej atmosferze i 13-tygodniowe składowanie w temp. 4°C hamuje wzrost zanieczyszczenia mikrobiologicznego pieczywa. Według autorów, jakość dopiekanego chleba jest uzależniona od jego jakości po wstępnym podpieczeniu oraz warunków przechowywania i parametrów dopiekania. Nie ulega żadnej wątpliwości, że pieczywo pakowane w modyfikowanej atmosferze z reguły charakteryzuje się dłuższym okresem trwałości mikrobiologicznej niż próby kontrolne [60, 61, 74], natomiast wpływ tego sposobu pakowania na hamowanie niekorzystnych zmian fizykochemicznych w trakcie składowania, a w szczególności na powstrzymywanie zjawiska twardnienia miększu, nie zawsze jest jednoznaczny [79]. Kontrowersje te mogą wynikać z różnorodnych czynników mających wpływ na czerstwienie chleba takich, jak zróżnicowana jakość mąk stosowanych do przygotowania ciasta, różne metody produkcji i parametry procesu technologicznego, rodzaj pieczywa oraz jego jakość wyjściowa, rodzaj opakowań i skład mieszanin gazowych, warunki przechowywania i stosowane do oceny jakości różne metody analityczne.

Podsumowanie

Z przeglądu piśmiennictwa wynika, że czerstwienie pieczywa jest złożonym procesem kompleksowych przemian fizykochemicznych wielu jego składników, w tym przede wszystkim skrobi, białek, tłuszczów i wody, oraz wzajemnych interakcji między nimi. Dlatego całkowite powstrzymanie zjawiska starzenia się wyrobów piekarskich jest nie tylko bardzo utrudnione, ale praktycznie nieosiągalne. Najskuteczniejszym, chociaż związanym z pewnymi kosztami, sposobem zachowania świeżości i zwiększenia trwałości przechowalniczej chleba jest zamrażanie lub składowanie w modyfikowanej atmosferze. Chleb szybko zamrożony do temp. około -20°C i dobrze opakowany może w stanie zamrożonym zachować świeżość konsumpcyjną przez praktycznie nieograniczony czas. Szczególnie dobrą świeżością charakteryzuje się produkt mrożony po częściowym wstępnym podpieczeniu, który po rozmrożeniu i całkowitym dopieczeniu może uzyskać jakość zbliżoną do jakości pieczywa świeżego.

Literatura

- [1] Addo K.: Effects of honey type and level on the baking properties of frozen wheat flour doughs. *Cereal Foods World*, 1997, **42**, 36-40.

- [2] Akers A.A., Hosenev R.C.: Water soluble dextrans from α -amylase-treated bread and their relationship to bread firming. *Cereal Chem.*, 1994, **71**, 223-226.
- [3] Ambroziak Z.: *Piekarnictwo i ciastkarstwo*. WSiP, Warszawa 1992.
- [4] Ambroziak Z.: *Produkcja ciastkarsko-piekarska, część 1*. WSiP, Warszawa 1998.
- [5] Armero E., Collar C.: Texture properties of formulated wheat doughs. Relationships with dough and bread technological quality. *Z. Lebensm. Unters. Forsch. A*, 1997, **204(2)**, 136-145.
- [6] Avital Y., Mannheim C.H., Miltz J.: Effect of carbon dioxide atmosphere on staling and water relations in bread. *J. Food Sci.*, 1990, **55 (2)**, 413-416, 461.
- [7] Bail A., Grinand C., Cleach S., Martinez S., Quilin E.: Influence of storage conditions on frozen French bread dough. *J. Food Eng.*, 1999, **39**, 289-291.
- [8] Ballinger H.: Influence of apple pectin extract (APE) on the quality and freshness of baked goods. *Food Marketing Technol.*, 1992, **6 (4)**, 6, 8, 10.
- [9] Bengtsson S., Andersson R., Westerlund E., Aman P.: Content, structure and viscosity of soluble arabinoxylans in rye grain from several countries. *J. Sci. Food Agric.*, 1992, **58 (3)**, 331-337.
- [10] Black R.G., Quail K.J., Reyes V., Kuzyk M., Ruddick L.: Shelf-life extension of pita bread by modified atmosphere packaging. *Food Australia*, 1993, **45 (8)**, 387-391.
- [11] Brümmer J.M., Neumann H., Morgenstern G.: Baking of frozen wholemeal dough. *Brot Backwaren*, 1994, **42(7/8)**, 22-26.
- [12] Burrington K.J.: Prolonging bakery product life. *Food Product Design*, 1998, **7**, 12-20.
- [13] Bushuk W., MacRitchie F.: Wheat proteins: aspects of structure that determine breadmaking quality, in: *Protein quality and the effects of processing* (eds R.D. Phillips and J.W. Finley). Marcel Dekker Inc., New York 1989.
- [14] Carr N.O., Daniels N.W.R., Frazier P.J.: Lipid interactions in breadmaking. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 1992, **31**, 237-258.
- [15] Collar C., Armero E., Martinez J.: Lipid binding of formula bread doughs. Relationships with dough and bread technological performance. *Z. Lebensm. Unters. Forsch. A*, 1998, **207**, 110-121.
- [16] Davidou S., Meste Mle, Debever E., Bekaert D.: A contribution to the study of staling of white bread: effect of water and hydrocolloid. *Food Hydrocolloids*, 1996, **10 (4)**, 375-383.
- [17] Denli E., Ercan R.: Effect of added pentosans isolated from wheat and rye grain on some properties of bread. *Eur. Food Res. Technol.*, 2001, **212**, 374-376.
- [18] Dewettinck K.: *Bread and yeast-leavened bakery food. Technology of vegetable products*. Academic Press, University of Gent, 2001, p. 72-88.
- [19] Duran E., Leon A., Barber B., Benedito de Barber C.: Effect of low molecular weight dextrans on gelatinization and retrogradation of starch. *Eur. Food Res. Technol.*, 2001, **212(2)**, 203-207.
- [20] Eliasson A.C., Larsson K.: *Cereals in breadmaking*. Marcel Dekker Inc., New York 1993.
- [21] Erdogdu-Arnoczky N., Czuchajowska Z., Pomeranz Y.: Functionality of whey and casein in fermentation and in breadbaking by fixed and optimized procedures. *Cereal Chem.*, 1996, **73 (3)**, 309-316.
- [22] Fik M., Celej A.: Niektóre aspekty czerstwienia pieczywa i sposoby jego powstrzymywania. *Chłodnictwo*, 1993, **28 (1)**, 29-31.
- [23] Fik M., Celej A.: Zastosowanie zamrażania w przemyśle piekarniczym. *Chłodnictwo*, 1993, **28 (2)**, 31-34.
- [24] Fik M., Celej A.: Zmiany jakości pieczywa podczas zamrażalniczego przechowywania. *Chłodnictwo*, 1993, **28 (3)**, 32-34.
- [25] Fik M., Macura R.: Quality changes during frozen storage and thawing of mixed bread. *Nahrung/Food*, 2000, **45 (2)**, 138-142.

- [26] Fik M., Michalczyk M., Surówka K., Maciejaszek I.: Characterisation of the staling process of wholemeal bread. *Pol. J. Food Nutr. Sci.*, 2000, **9/50 (2)**, 23-28.
- [27] Fik M., Surówka K.: Effect of prebaking and frozen storage on the sensory quality and instrumental texture of bread. *J. Sci. Food Agric.*, 2002, **82**, 1268-1275.
- [28] Fortuna T., Sobolewska J.: Maltodekstryny i ich wykorzystanie w przemyśle spożywczym. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2000, **2(23)**, 100-109.
- [29] Frazier P.J., Daniels N.W.R., Eggitt P.W.R.: Lipid-protein interactions during dough development. *J. Sci. Food Agric.*, 1981, **32 (9)**, 877-897.
- [30] Gallagher E., Polenghi O., Gormley T.R.: Improving the quality of gluten-free breads. *Farm and Food*, 2002, **12 (1)**, 8-13.
- [31] Gambuś H.: Wpływ fizyczno-chemicznych właściwości skrobi na jakość i starzenie się pieczywa. *Zeszyty Naukowe AR w Krakowie, Rozprawy nr 226, Kraków 1997*.
- [32] Gambuś H.: Funkcja skrobi w produktach piekarskich. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2000, **3 (24)**, 20-32.
- [33] Gambuś H., Gumul D., Mikulec A., Bania M.: Możliwość zastosowania dodatku zaparzonej mąki pszennej, żytniej i pszenżytniej do wypieku chleba pszennego. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2001, **1 (26)**, 58-75.
- [34] Gerrard J.A., Abbot R.C., Newberry M.P., Gilpin M.J., Ross M., Fayle S.E.: The effect of non-gluten proteins on the staling of bread. *Starch/Stärke*, 2001, **53 (6)**, 278-280.
- [35] Ghiasi K., Hosney R.C., Zeleznak K., Rogers D.E.: Effect of waxy barley starch and reheating on firmness of bread crumb. *Cereal Chemistry*, 1984, **61 (4)**, 281-285.
- [36] Gil M.J., Callejo M.J., Rodriguez G.: Effect of water content and storage time on white pan bread quality: instrumental evaluation. *Z. Lebensm. Unters. Forsch. A*, 1997, **205**, 268-273.
- [37] Gil M.J., Callejo M.J., Rodriguez G., Ruiz M.V.: Keeping qualities of white pan bread upon storage: effect of selected enzymes on bread firmness and elasticity. *Z. Lebensm. Unters. Forsch. A*, 1999, **208**, 394-399.
- [38] Girhammar U., Nair B.M.: Isolation, separation and characterization of water soluble non-starch polysaccharides from wheat and rye. *Food Hydrocolloids*, 1992, **6 (3)**, 285-299.
- [39] Gupta R.B., Khan K., MacRitchie F.: Biochemical basis of flour properties in bread wheats. I. Effects of variation in the quantity and size distribution of polymeric protein. *J. Cereal Sci.*, 1993, **18 (1)**, 23-41.
- [40] Haber T., Lewczuk J., Chmielewska I.: Próby zastosowania lecytyny rzepakowej w piekarstwie. *Przegl. Piek. i Cuk.*, 1992, **40 (2)**, 6-8.
- [41] Haber T., Lewczuk J., Soszyńska-Masny M.: Wykorzystanie zagęszczonej serwatki kwasowej dla celów piekarskich. *Przegl. Piek. Cuk.*, 1993, **41(8)**, 19-22.
- [42] Hallberg L.M., Chinachoti P.: A fresh perspective on staling: the significance of starch recrystallization on the firming of bread. *J. Food Sci.*, 2002, **67(3)**, 1092-1096.
- [43] Haros M., Rosell C.M., Benedito C.: Effect of different carbohydrases on fresh bread texture and bread staling. *Eur. Food Res. Technol.*, 2002, **215 (5)**, 425-430.
- [44] Hebeda R.E., Bowles L.K., Teague W.M.: Use of intermediate temperature stability enzymes for retarding staling in baked goods. *Cereal Foods World*, 1991, **36 (8)**, 619-620, 622, 624.
- [45] Hebeda R.E., Zobel H.F. (editors): *Baked goods freshness. Technology, evaluation, and inhibition of staling*. Marcel Dekker, New York 1996.
- [46] Hosney C., Miller R.: Current understanding of staling of bread. *Technical Bulletin (American Institute of Baking Research Department)*, 1998, **20 (6)**, 1-6.
- [47] Hug-Iten S., Handschin S., Conde-Petit B., Escher F.: Changes in starch microstructure on baking and staling of wheat bread. *Lebensm. Wiss. Technol.*, 1999, **32 (5)**, 255-260.

- [48] Hyunjung Kim, Tae Wha Moon: Quality attributes of bread with soymilk residue dietary fiber. *Food Sci. Biotechnol.*, 1999, **8** (4), 245-250.
- [49] Jagannath J.H., Jayaraman K.S., Arya S.S.: Effect of wrappers, temperature, humidity and modified atmosphere on phase transitions during staling of bread. *J. Food Sci. Technol. India*, 1998, **35** (2), 132-137.
- [50] Jankiewicz M., Kędzior Z., Kiryluk J., Michniewicz J., Chalcarz A., Ciesielska H., Paschke H., Olechnowicz H.: Radiacyjne i termiczne utrwalanie chleba – porównanie. *Przegl. Piek. Cuk.*, 1994, **42** (6), 32.
- [51] Jankiewicz M., Michniewicz J.: The effect of soluble pentosans isolated from rye grain on staling of bread. *Food Chem.*, 1987, **25**, 241-249.
- [52] Jankowski S.: *Zarys technologii zbóż i strączkowych jadalnych. III. Technologia piekarstwa, makaronu, preparatów zbożowych i pasz*, PWN, Warszawa 1969.
- [53] Kamel B.S., Stauffer C.E.: *Advances in baking technology*, Blackie Academic and Professional, Glasgow 1993.
- [54] Keetels C.J.A.M., Visser K.A., van Vliet T., Jurgens A., Walstra P.: Structure and mechanics of starch bread. *J. Cereal Sci.*, 1996, **24**, 15-26.
- [55] Korus A., Achremowicz B.: Substancje stosowane do poprawiania jakości pieczywa. Część II. Związki powierzchniowo czynne oraz inne substancje. *Przegl. Piek. Cuk.*, 1994, **42** (3), 6-7.
- [56] Krog N., Olesen S.K., Toernaes H., Joensson T.: Retrogradation of the starch fraction in wheat bread. *Cereal Foods World*, 1989, **34**, 282-285.
- [57] Kulp K.: Staling of bread. *QIB Research Department Technical Bulletin*, vol. 1, issue 8, 1979.
- [58] Kweon M.R., Park K.H.: Phospholipid hydrolysate and antistaling amylase effects on retrogradation of starch in bread. *J. Food Sci.*, 1994, **59**, 1072-1080.
- [59] Leuschner R.G.K., O'Callaghan M.J.A., Arendt E.K.: Optimisation of baking parameters of part-baked and rebaked Irish brown soda bread by evaluation of some quality characteristics. *Int. J. Food Sci. Technol.*, 1997, **32**, 487-493.
- [60] Leuschner R.G.K., O'Callaghan M.J.A., Arendt E.K.: Bacilli spoilage in part-baked and rebaked brown soda bread. *J. Food Sci.*, 1998, **63**, 915-918.
- [61] Leuschner R.G.K., O'Callaghan M.J.A., Arendt E.K.: Moisture distribution and microbial quality of part baked breads as related to storage and rebaking conditions. *J. Food Sci.*, 1999, **64** (3), 543-546.
- [62] Lewczuk J., Sobczyk M.: Wykorzystanie w piekarstwie sproszkowanej krajowej lecytyny sojowej. *Przegl. Piek. Cuk.*, 1994, **42** (8), 23-25.
- [63] Lin W., Lineback D.R.: Changes in carbohydrate fractions in enzyme-supplemented bread and the potential relationship to staling. *Starch/Stärke*, 1990, **42** (10), 385-394.
- [64] Ławrukajtis-Klimkowska M., Ławrukajtis M.: Wpływ pentozanów na cechy reologiczne ciasta z mąki żytniej. *Cukiernictwo*, 1999, **4/99**, 22, 24, 26.
- [65] Mannie E., Asp E.H.: Dairy ingredients for bread baking. *Cereal Foods World*, 1999, **44** (3), 143-146.
- [66] Marion D., LeRoux C., Akoka S., Tellier C., Gallant D.: Lipid-protein interactions in wheat gluten: a phosphorus nuclear magnetic resonance spectroscopy and freeze-fracture electron microscopy study. *J. Cereal Sci.*, 1987, **5** (2), 101-115.
- [67] Martin M.L., Hosney R.C.: A mechanism of bread firming. II. Role of starch hydrolyzing enzymes. *Cereal Chem.*, 1991, **68** (5), 503-507.
- [68] Martin M.L., Zeleznak K.J., Hosney R.C.: A mechanism of bread firming. I. Role of starch swelling. *Cereal Chem.*, 1991, **68** (5), 498-503.

- [69] Michniewicz J., Biliaderis C.G., Bushuk W.: Effect of added pentosans on some properties of some physical and technological characteristics of dough and gluten. *Cereal Chem.*, 1991, **68** (3), 252-258.
- [70] Michniewicz J., Biliaderis C.G., Bushuk W.: Effect of added pentosans on some properties of wheat bread. *Food Chem.*, 1992, **43** (4), 251-257.
- [71] Michniewicz J., Kołodziejczyk P., Sobkowiak G.: Wpływ dodatku hydrokoloidów na niektóre właściwości fizyczne glutenu pszennego. *Przegl. Zboż. Młyn.*, 1998, **42** (3), 23-26.
- [72] Michniewicz J., Tyma R., Gielert-Jezioro K.: Wpływ dodatku hydrokoloidów na niektóre właściwości ciasta i jakość pieczywa pszennego. *Przegl. Piek. Cuk.*, 1995, **43** (3), 30-31.
- [73] Morgan K.R., Gerrard J., Every D., Ross M., Gilpin M.: Staling in starch breads: the effect of antistaling alpha-amylase. *Starch/Stärke*, 1997, **49** (2), 54-59.
- [74] Phillips C.A.: Modified atmosphere packaging and its effects on the microbiological quality and safety of produce. *Int. J. Food Sci. Technol.*, 1996, **31**, 463-479.
- [75] Pomeranz Y., Meyer D.: Light and scanning electron microscopy of wheat- and rye-bread crumb. Interpretation of specimens prepared by various methods. *Food Microstructure*, 1984, **3** (2), 159-164.
- [76] Pomeranz Y., Meyer D., Seibel W.: Wheat, wheat-rye dough and bread studied by scanning electron microscopy. *Cereal Chem.*, 1984, **61**, 53-59.
- [77] Pritchard P.E.: Studies on the bread-improving mechanism of fungal alpha-amylase. *J. Biol. Education*, 1992, **26**, 12-18.
- [78] Pyler E.J.: Baking science and technology, vol. II, Sosland Publishing Corporation, Merriam 1988.
- [79] Rasmussen P.H., Hansen A.: Staling of white bread stored in modified atmosphere. *Lebensm. Wiss. Technol.*, 2001, **34**(7), 487-491.
- [80] Rodriguez M., Medina L.M., Jordano R.: Effect of modified atmosphere packaging on the shelf life of sliced wheat flour bread. *Nahrung/Food*, 2000, **44**(4), 247-252.
- [81] Rogers D.E., Zeleznak K.J., Lai C.S., Hoseney R.C.: Effect of native lipids, shortening, and bread moisture on bread firming. *Cereal Chem.*, 1988, **65**(5), 398-401.
- [82] Rojas J.A., Rosell C.M., Benedito de Barber C.: Role of maltodextrins in the staling of starch gels. *Eur. Food Res. Technol.*, 2001, **212**(3), 364-368.
- [83] Rouau X., El-Hayek M.L., Moreau D.: Effect of an enzyme preparation containing pentosanases on the bread-making quality of flours in relation to changes in pentosan properties. *J. Cereal Sci.*, 1994, **19** (3), 259-272.
- [84] Scanlon M.G., Sapirstein H.D., Fahloul D.: Mechanical properties of bread crumb prepared from flours of different dough strength. *J. Cereal Sci.*, 2000, **32** (3), 235-243.
- [85] Sluimer P.: Preparation of bread dough for interrupted fermentation and bake-off. *Vödingmiddelentechnologie*, 1990, **23** (19), 19-23.
- [86] Smith J.P.: Bakery products, in: Principles and applications of modified atmosphere packaging of foods (ed. R.T. Parry), Blackie Academic and Professional, Glasgow 1993.
- [87] Soral-Śmietana M.: Interakcje skrobia-tłuszczowce w kształtowaniu jakości pieczywa. *Przegl. Piek. Cuk.*, 1989, **37** (2), 17-19.
- [88] Stauffer C.: Functional additives for bakery foods. Van Nostrand Reinhold, New York 1993.
- [89] Tenkanen M., Salmenkallio-Marttila M., Poutanen K.: Baking with enzymes. What makes it happen? *World of Ingredients*, 1998, **5/6**, 38-41.
- [90] Thompson J.M., Dodd C.E.R., Waites W.M.: Spoilage of bread by *Bacillus*. *Int. Biodeter. Biodegr.*, 1993, **32**, 55-66.
- [91] Van Dam H.W., Hille J.D.R.: Yeast and enzymes in bread making. *Cereal Foods World*, 1992, **37**, 245-252.

- [92] Wang F.C., Sun X.S.: Frequency dependence of viscoelastic properties of bread crumb and relation to bread staling. *Cereal Chem.*, 2002, **79** (1), 108-114.
- [93] Wang Z.J., Ponte J.G.: Storage stability of gluten-fortified frozen dough. *Cereal Foods World*, 1995, **40**, 827-831.
- [94] Weegels P.L., Hamer R.J., Schofield J.D.: Functional properties of wheat glutenin. *J. Cereal Sci.*, 1996, **23**, 1-18.
- [95] Yamauchi H., Ichinose Y., Takata K., Iriki N., Shiina T., Kobayashi T.: A kinetic study on staling of white bread made by frozen dough method. *J. Japan. Soc. Food Sci. Technol.*, 1999, **46**, 212-219.
- [96] Yaseen A.A.E., Shouk A.A., Sadowska J., Fornal J., Jeliński T.: Effect of pectin and α -amylase on the microstructure and staling of bread. *Pol. J. Food Nutr. Sci.*, 2001, **10/51** (4), 19-25.
- [97] Ziobro R., Gambuś H., Nowotna A., Bala-Piasek A., Sabat R.: Starch extrudates as a source of low molecular dextrins slowing down bread staling. *Żywność. Technologia. Jakość*, 1998, **4** (17) **Supl.**, 251-258.
- [98] Zobel H.F., Kulp K.: The staling mechanism, in: *Baked goods freshness* (eds E. Hebeda and H.F. Zobel). Dekker, New York 1996.

BREAD STALING AND METHODS OF PROLONGING ITS FRESHNESS

S u m m a r y

Generally, bakery products are characterized by a short-term stability and shelf life as a result of a fast running process of staling. This review presents the current state of knowledge on staling process and its effect on the quality and storing time of bread. A role of some chemical compounds participating in this process, such as starch, proteins, water, and non-starch carbohydrates, was expressly emphasized. Furthermore, it was explained the significant effect of some substances (e.g.: enzyme preparations, emulsifiers and hydrocolloids, lipids, proteins, and non-starch carbohydrates) or processes (e.g.: freezing, packaging, and storage in modified atmosphere) on prolonging the freshness of bakery products, as well as their shelf life.

Key words: bakery products, staling, prolongation of freshness, shelf life ☒