NAUKI INŻYNIERSKIE I TECHNOLOGIE ENGINEERING SCIENCES AND TECHNOLOGIES
1(12) • 2014

ISSN 2080-5985

Radosław Popowicz, Tomasz Lesiów
Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu
radoslaw.popowicz@gmail.com; tomasz.lesiow@ue.wroc.pl

ZASADA DZIAŁANIA INNOWACYJNYCH OPAKOWAŃ AKTYWNYCH W PRZEMYŚLE ŻYWNOŚCIOWYM. ARTYKUŁ PRZEGLĄDOWY

Streszczenie: W artykule przedstawiono współczesne innowacyjne rozwiązania opakowań aktywnych artykułów żywnościowych. Podano definicje, funkcje, podział i ich zastosowanie w przemyśle żywnościowym. Substancje czynne, tj. odpowiedzialne za funkcje aktywne, są zdolne do pochłaniania lub emitowania tlenu, ditlenku węgla, etylenu, smaków i zapachów, regulowania wilgotności względnej atmosfery w opakowaniu i/lub wykazują działanie antybakteryjne oraz przeciwutleniające. Substancje czynne umieszcza się na torebkach, paskach lub etykietach lub są one wkomponowywane w materiał opakowaniowy. Zadaniem opakowań aktywnych jest wydłużenie przydatności do spożycia, zachowanie właściwości organoleptycznych produktów i zagwarantowanie bezpieczeństwa żywności.

Słowa kluczowe: opakowania aktywne, pochłaniacze, emitery, regulatory pary wodnej, substancje antybakteryjne, przeciwutleniacze.

DOI: 10.15611/nit.2014.1.06

1. Wstęp

W ostaniem dziesięcioleciu pojawiło się wiele nowych koncepcji i rozwiązań dotyczących nowoczesnego pakowania żywności. Konsumenci (coraz bardziej świadomi i wymagający), oczekują na rynku żywności świeżej, bez konserwantów i najwyższej jakości. Ponadto ostatnio obserwowany dynamiczny rozwój i postęp obrotu zróżnicowanym asortymentem towarów, w tym również żywności oraz sposobów jej dystrybucji, m.in. takich jak internacjonalizacja rynków i nowe trendy (np. zakupy internetowe), nakładają wysokie wymagania na przemysł opakowań, także żywności. Ideą tradycyjnych opakowań jest zagwarantowanie produktom żywnościowym możliwie długiej trwałości. Natomiast zadaniem i celem opakowań aktywnych jest możliwie maksymalne wydłużenie przydatności do spożycia i zagwarantowanie bezpieczeństwa żywności oraz zachowanie typowych (charakterystycznych) właściwości organoleptycznych danego asortymentu, przy jednoczesnym zachowaniu jak najlepszej, tj. wyjściowej jakości i wartości żywieniowej.

W literaturze opisano liczne rodzaje materiałów opakowaniowych i technik opakowywania, w tym również tzw. inteligentne i aktywne [Brody i in. 2008; Cichoń, Lesiów 2013; Sykut i in. 2013; Korzeniowski i in. 2011]. Substancje czynne, tj. odpowiedzialne za funkcje aktywne, umieszcza się w pojemniku (np. w małej papierowej saszetce) i/lub są one wkomponowywane w materiał opakowaniowy. Spośród zagadnień wiążących się z innowacyjnymi opakowaniami żywności za najważniejsze uważa się opracowanie materiału funkcjonalnego z umieszczoną w jego strukturze substancją czynną, która działa lub jest uwalniana do środowiska opakowania w sposób kontrolowany. Innowacyjne systemy mogą składać się z wielu warstw różnego rodzaju materiałów, takich jak np. tworzywa sztuczne (syntetyczne polimery), papier, karton, powłoki i lakiery [Coma 2008].

Dodatki, tj. substancje czynne i/lub tzw. wzmacniacze świeżości stosowane w aktywnych systemach pakowania, swoim działaniem optymalizują funkcje i właściwości podstawowych składowych systemów pakowania. Wspomniane substancje są zdolne do pochłaniania i/lub emitowania tlenu, ditlenku węgla, smaków i zapachów oraz regulowania wilgotności względnej atmosfery w opakowaniu. Działanie danego systemu jest dostosowywane do konkretnych produktów żywnościowych, wydłuża ich termin przydatności do spożycia w zależności od tego, w jakim stopniu dane unikatowe/specyficzne mechanizmy psucia się żywności są znane i kontrolowane [Restuccia i in. 2010].

Opakowania aktywne to innowacyjny rodzaj opakowań umożliwiających wydłużenie czasu przechowywania żywności oraz utrzymanie, a nawet polepszenie jakości zapakowanego produktu [Han i in. 2005]. Współcześnie są one wysoko oceniane przez konsumentów w USA, Japonii, Korei Płd., Australii oraz (od niedawna) w kilku państwach Europy Zachodniej. W Polsce praktycznie są mało znane i niespotykane. Spowodowane jest to przede wszystkim niewystarczającymi i mało elastycznymi przepisami europejskimi, które nie nadążają za innowacjami technologicznymi w sektorze opakowań żywności. Należy jednak podkreślić, że na niewielką nadal popularność wspomnianych systemów wpływ ma również niesatysfakcjonująca akceptacja tych rozwiązań przez przemysł, jak również ciągle jeszcze wysoce konserwatywne zachowania konsumentów europejskich w odniesieniu do innowacji w opakowalnictwie żywności [Dainelli i in. 2008].

Główną jednak przyczyną jest długotrwały proces legislacyjny organów prawodawczych UE, które dopiero w 2009 r. sformułowały Rozporządzenie Komisji (WE) nr 450/2009 regulujące kwestie związane z bezpieczeństwem stosowania materiałów wykorzystywanych w opakowaniach aktywnych. Nowy dokument ustala szczególne wymogi obrotu rynkowego aktywnymi i inteligentnymi materiałami, a także materiałami przeznaczonymi do kontaktu z żywnością.

Rozporządzenie określa, że substancje odpowiedzialne za funkcję aktywną i/lub inteligentną mogą znajdować się w osobnym pojemniku, np. absorber tlenu w saszetce, lub mogą wchodzić w skład materiału opakowaniowego, np. określonego tworzywa sztucznego butelki plastikowej. Ponadto materiały mogą składać się z jednej

lub więcej warstw lub z elementów materiałów różnego typu, takich jak tworzywa sztuczne (polimery syntetyczne), papier, karton lub materiały powlekające i lakiery. Ponadto aktywne systemy pakowania, które uwalniają substancje do wnętrza opakowania, muszą być zgodne z przepisami dotyczącymi dodatków do żywności (rozporządzenie (WE) nr 1333/2008), tzn. uwalniana substancja musi być umieszczona w wykazie dopuszczonych dodatków, a stosowanie danej substancji ma uzasadnioną potrzebę technologiczną. Stworzyło to solidne podstawy do upowszechniania stosowania innowacyjnych opakowań również w Polsce. Jednak czynnikiem, który w znacznym stopniu spowalnia popularyzację tego typu opakowań, jest stosunkowo wysoki koszt ich wdrożenia oraz nadal jeszcze znikoma świadomość konsumentów w odniesieniu do stosowania ww. opakowań żywności.

Celem niniejszego opracowania jest przedstawienie innowacyjnych rozwiązań w odniesieniu do opakowań aktywnych.

2. Opakowania aktywne – definicja, funkcje, systematyka

Podczas minionych dwóch dekad popularność opakowań aktywnych (*active packaging*) spowodowała zmianę paradygmatu (wzorca) opakowalnictwa. Dotychczas pasywna funkcja ochronna opakowania, rozumiana jako bierna bariera chroniąca żywność przed szkodliwymi czynnikami zewnętrznymi, zastąpiona została ochroną aktywną [Yam i in. 2005]. Opakowania aktywne zdefiniowano jako systemy, które (w wyniku działań chemicznych, fizycznych i biologicznych) aktywnie zmieniają warunki środowiska panujące wewnątrz opakowania w celu przedłużenia przydatności do spożycia oraz zachowania wyjściowej jakości i właściwości sensorycznych żywności [Han i in. 2005].

Aktywne systemy pakowania zapewniają różne rozwiązania dostosowane w zależności od atrybutów jakości, jakie mają zostać zachowane. Dla przykładu, jeśli zwolnieniu mają ulec procesy utleniania żywności, zastosowanie mają opakowania aktywne zawierające pochłaniacze tlenu lub antyutleniacze. W przypadku gdy rozkład żywności wywołany jest nadmierną wilgotnością względną lub kondensacją pary wodnej, swoją funkcję spełniają opakowania zawierające absorbery wody.

W przemyśle żywnościowym znalazły zastosowanie następujące systemy pakowania aktywnego: pochłaniacze tlenu, ditlenku węgla i etylenu, emitery ditlenku węgla, emitery i absorbery zapachów, regulatory wilgotności względnej (zawartości wody w atmosferze opakowania), substancje o działaniu antybakteryjnym oraz przeciwutleniacze [Pereira de Abreu i in. 2012].

3. Przegląd i charakterystyka innowacyjnych opakowań aktywnych

Najważniejsze współczesne rozwiązania opakowań aktywnych uwzględniające potencjalne ich funkcje w handlu detalicznym żywnością przedstawiono w tab. 1.

Tabela 1. Wybrane zastosowania opakowań aktywnych w przemyśle spożywczym

Typ	Forma	Funkcja	Zastosowanie
Pochłaniacze tlenu	saszetki, etykiety, zamknięcia butelek, folie	hamowanie utleniania lipidów, rozwoju pleśni, przeciwdziałające zmianom barwy	oleje, tłuszcze, wyroby piekarnicze, palona kawa, suszona wołowina, suszone owoce
Pochłaniacze i emitery dwutlenku węgla	saszetki, folie	hamowanie wzrostu mikrobiologicznego, zapobieganie pęcznieniu opakowań	palona kawa, ser
Pochłaniacze etylenu	saszetki, folie	regulowanie dojrzewania owoców i warzyw	naturalne i przetworzone owoce
Emitery i absorbery zapachów	folie	stabilizacja zapachu	pochłanianie nieprzyjemnych zapachów, emitowanie zapachów
Regulatory wilgotności względnej	saszetki, folie	regulacja wilgotności	mięsa i warzywa, produkty suche
Środki antybakteryjne	saszetki, folie	hamowanie rozwoju drobnoustrojów	ser, mięso, wyroby piekarnicze
Przeciwutleniacze	folie	hamowanie procesów utlenienia	produkty zbożowe

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Pereira de Abreu i in. 2012].

3.1. Pochłaniacze tlenu

Do grupy tej zalicza się opakowania zawierające związki wiążące tlen na drodze fizycznej – absorbery, jak również związki blokujące dostęp tlenu – inceptory [Korzeniowski i in. 2011].

Zasadniczym problemem pakowania żywności są gazy oraz tlen w pustej przestrzeni między zawartością opakowania przed jego zamknięciem. Problemem jest również przenikanie tlenu do wnętrza opakowań przez mikropory opakowania z polimerów syntetycznych. W celu zagwarantowania trwałości żywności opakowanej z wykorzystaniem innowacyjnych technologii wysoce pożądane jest utrzymanie jak najmniejszej ilości gazów w pustej przestrzeni opakowania. Dla zapewnienia możliwie długoterminowego przechowywania oraz wyjściowej świeżości ważne jest również zminimalizowanie zawartości tlenu, który może reagować z zawartością opakowania [Pereira de Abreu i in. 2012].

Niepożądana obecność tlenu w atmosferze opakowania może być wynikiem niewystarczającego usunięcia tlenu podczas procesu pakowania, a także jego obecności w żywności, albo przenikania tlenu przez opakowanie względnie wprowadzenia powietrza w wyniku niedostatecznego uszczelnienia zamknięcia lub jest skutkiem

mikroperforacji materiału opakowaniowego. Wysoka zawartość tlenu obniża wartość odżywczą żywności i skraca jej przydatność do spożycia. Przyspiesza on także procesy rozkładu wielu produktów żywnościowych, m.in.: mięsa, wędlin, przypraw, powoduje degradację witamin i jełczenie olejów i/lub tłuszczów stałych (masło, smalec), orzechów oraz produktów tłuszczowych, a także wspomaga wzrost mikroorganizmów [Mohan i in. 2008].

Dzięki zastosowaniu absorberów tlenu możliwa staje się kontrola jego pozostałości wewnątrz opakowania, co zapobiega pogorszeniu jakości zapakowanych produktów [Korzeniowski i in. 2011; Mohan i in. 2008]. Podczas dłuższego przechowywania soku pomarańczowego możliwie jak najszybsze usunięcie tlenu z opakowania jest jednym z ważniejszych czynników gwarantujących utrzymanie wysokiego stężenia kwasu askorbinowego. Ciemnienie soku pomarańczowego i/lub warzyw jest także powiązane z obecnością tlenu [Pereira de Abreu i in. 2012].

W kulinarnym mięsie obecność tlenu powoduje utlenienie mioglobiny, która zapewnia jego charakterystyczną czerwoną barwę. Jest to ważne, konsumenci bowiem, kupując mięso, zwracają uwagę przede wszystkim na takie jego cechy, jak barwa oraz wygląd, struktura i przetłuszczenie. Ponadto zbyt wysokie stężenie tlenu powoduje utlenianie lipidów. Trwałość mięsa wzrasta wraz z malejącym stężeniem tlenu, ponieważ zapobiega to rozwojowi grzybów i proliferacji bakterii tlenowych [Shin i in. 2009].

Dostępne na rynku pochłaniacze tlenu umożliwiają aktywne kontrolowanie pozostałości tlenu w atmosferze opakowania i zmniejszenie jego koncentracji nawet do 0,01%, co byłoby niemożliwe przy wykorzystaniu innych systemów pakowania [Korzeniowski i in. 2011].

Wyróżnia się następujące zalety pochłaniaczy tlenu:

- zapobiegają utlenianiu się (jełczeniu) tłuszczów, olejów i w konsekwencji pojawianiu się przykrego zapachu i smaku, utracie i/lub zmianie charakterystycznej dla żywności barwy, znaczącemu zmniejszeniu się zawartości wrażliwych na działanie tlenu składników pokarmowych (np. witamin: A, C, E, nienasyconych kwasów tłuszczowych itp.),
- zapobiegają wzrostowi (proliferacji) drobnoustrojów tlenowych,
- redukują i/lub eliminują potrzebę stosowania środków konserwujących i przeciwutleniaczy,
- są skuteczną i ekonomiczną alternatywą dla pakowania w atmosferze modyfikowanej i/lub pakowania próżniowego,
- spowalniają niekorzystne i niepożądane procesy metabolizmu żywności [Restuccia i in. 2010; Vermeiren i in. 1999].

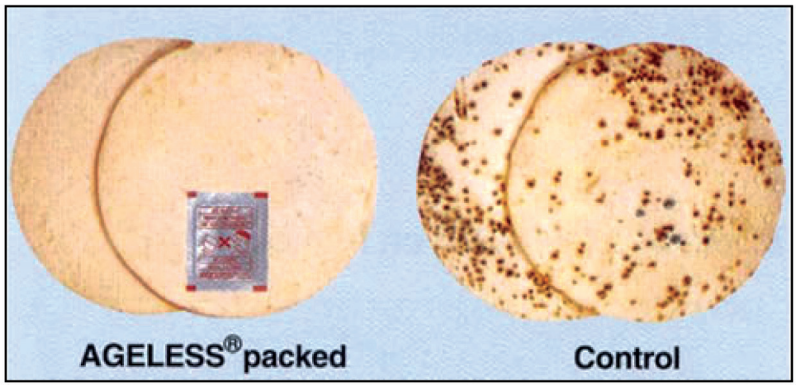
Wyróżnia się następujące mechanizmy działania pochłaniaczy tlenu:

- utlenianie żelaza i soli żelaza – jest to współcześnie najczęściej wykorzystywany i najefektywniejszy mechanizm, oparty na reakcji utleniania żelaza i opisany równaniem reakcji: $4Fe(OH)_2 + O_2 + 2H_2O \rightarrow 4Fe(OH)_3$,
- utlenianie światłoczułym barwnikiem,

- utlenianie kwasu askorbinowego i nienasyconych kwasów tłuszczowych (kwas oleinowy, kwas linolowy),
- utlenianie enzymatyczne (oksydaza glukozy/katalaza, oksydaza alkoholowa) – oksydaza glukozy jest oksydoreduktazą, która przenosi dwa atomy wodoru z grupy glukozy (CHOH) do tlenu z utworzeniem glukono-δ-laktonu i nadtlenku wodoru [Vermeiren i in. 1999].

Rynkowe zastosowania pochłaniaczy tlenu można podzielić na:

- niezależne systemy, np. torebki, paski lub etykiety, które są przytwierdzone do wnętrza opakowania i są jego integralną składową, będącą jednocześnie odrębnym elementem. Są one najczęściej stosowanymi rozwiązaniami. Przykładami niezależnych pochłaniaczy tlenu są Ageless®, ATCO®, FreshPax®, FreshMax®, FreshCard®, Freshilizer® oraz O-BUSTER (rys. 1);
- systemy zintegrowane z opakowaniem, niedostrzegalne wizualnie, jako odrębne elementy. Żelazo, kwas askorbinowy i składniki o niskiej masie cząsteczkowej są wkomponowane w opakowanie i/lub pokrywane polimerami. Taka integracja minimalizuje odrzucenie przez klienta opakowania wyposażonego w system pochłaniania tlenu, jak również zmniejsza ryzyko przypadkowego pęknięcia saszetki i konsumpcji jej zawartości. Przykładami pochłaniaczy tlenu zintegrowanych z opakowaniem są SHELFPLUS® O2, OxyguardTM, OxbarTM, CryovacOS, valOR Activ100, valOR ActivBloc100, Amosorb series, ZERO2, Bioka Oxygen Scavenging Film Laminate oraz ActiTUF® [Yeh i in. 2008; Vermeiren i in. 1999].



Ciasto do pizzy, czas przechowywania – 10 dni, temperatura – 30 °C.

Rys. 1. Pochłaniacz tlenu Ageless® zapobiegający rozwojowi pleśni

Źródło: [http://www.mgc-a.com/AGELESS/AgelessEffects.html].

Przed ich użyciem wszystkie z wyżej przedstawionych systemów nie mogą mieć kontaktu z tlenem. Niektóre są przechowywane w szczelnym opakowaniu, inne wy-

magają aktywacji przed użyciem – aktywacja zachodzi z udziałem wody albo w wyniku działania światła itp. Mogą one być stosowane odrębnie lub (w celu wzmocnienia działania) w kombinacji z innymi aktywnymi systemami, np. absorberami wody (pary wodnej). Dla przykładu, absorber tlenu z wykorzystaniem do tego celu kopolimeru EMCM wymaga przed użyciem aktywacji za pomocą światła ultrafioletowego [Pereira de Abreu i in. 2012].

Wybór systemu pochłaniającego tlen, ze względu na kształt, wielkość, zdolność absorpcji tlenu i czas do uzyskania równowagi, musi być bardzo precyzyjny i dostosowany do cech produktów żywnościowych, np. zawartości i aktywności wody oraz temperatury przechowywania. Zakres skutecznego działania tych systemów obejmuje większość produktów wrażliwych na działanie tlenu, są to: świeże ryby i produkty rybne, owoce morza, mięso zwierząt rzeźnych i drobiu, warzywa, ryby, zimne przekąski (przegrzebki, ciasto, sałatki), chipsy, orzechy, pieczywo i ciasta, świeże i podgotowane makarony, pizze, czekolady i wyroby cukiernicze, piwo, wino, soki owocowe i napoje, produkty mleczne, kawę, herbatę, mleko w proszku i przyprawy [Pereira de Abreu i in. 2012; Vermeiren i in. 1999].

Absorbery tlenu zawierające etanol lub uwalniające środki antybakteryjne hamują wzrost drobnoustrojów efektywniej niż pochłaniacze tlenu stosowane odrębnie. Tego rodzaju rozwiązania przynoszą znaczne korzyści w zapewnianiu odpowiedniej jakości takich produktów, jak owoce i warzywa, owoce morza, sery, pieczywo, ciasta, ciasteczka, makarony. Ponadto dwufunkcyjne systemy zdolne do pochłaniania takiej samej ilości tlenu i etylenu spowalniają procesy rozkładu w wyniku hamowania wzrostu drobnoustrojów oraz ograniczenie procesu oddychania [Ozdemir, Floros 2004].

3.2. Pochłaniacze etylenu

Kontrola poziomu etylenu podczas przechowywania żywności odgrywa kluczową rolę w wydłużaniu jej świeżości. Większość owoców i warzyw uwalnia etylen bezpośrednio po ich zbiorze. Etylen jest fitohormonem, który inicjuje i przyspiesza procesy dojrzewania, powoduje degradację chlorofilu i nieuchronnie prowadzi do pogorszenia jakości wizualnej i organoleptycznej świeżych lub minimalnie przetworzonych owoców i warzyw. Zadaniem absorberów etylenu jest zabezpieczanie wrażliwych na działanie tego hormonu owoców i warzyw, np. jabłek, kiwi, bananów, mango, pomidorów, cebuli, marchwi i szparagów [Pereira de Abreu i in. 2012].

Wyróżnia się kilka pochłaniaczy etylenu dostępnych obecnie na rynku:

1. Jednym z głównych mechanizmów działania pochłaniaczy etylenu jest stosowanie nadmanganianu potasu ($KMnO_4$), który utlenia etylen (C_2H_4) do ditlenku węgla (CO_2) i wody (H_2O). Wymienione produkty zawierają zazwyczaj 4÷6% nadmanganianu potasu i są wytwarzane na obojętnych podłożach o specyficznej powierzchni, która sprzyja zachodzeniu reakcji redoks, np. tlenek glinu, glina, żel krzemionkowy, węgiel aktywny, wermikulit itp. W celu przyspieszenia reakcji na po-

wierzchnię absorberów mogą zostać naniesione inne substancje w roli katalizatorów. Nadmanganian potasu utlenia octan etylenu i etanol, zmieniając barwę z fioletowej na brązową. Zmiana barwy wskazuje na jego zdolność do pochłaniania resztkowej zawartości etylenu. Systemy wykorzystujące nadmanganian potasu, ze względu na jego toksyczność i fioletowy kolor, nie mogą być stosowane w bezpośrednim kontakcie z żywnością. Dlatego są one wytwarzane wyłącznie w postaci saszetek [Day 2008; Vermeiren i in. 1999].

2. Inne systemy oparte są na zdolności poszczególnych materiałów do pochłaniania etylenu, np. drobno rozdrobnione i sproszkowane minerały, takie jak: krzemiany, zeolity, węgiel aktywny itp., stosowane są rozdzielnie lub z dowolnymi środkami utleniającymi. Dla przykładu, wykazano, że pallad w warunkach wysokiej wilgotności względnej ma większe właściwości adsorpcji etylenu niż pochłaniacze etylenu wykorzystujące $KMnO_4$. Jest więc skuteczny w zapobieganiu gromadzeniu się etylenu, a tym samym efektywnie zmniejsza współczynnik mięknięcia owoców kiwi, bananów i pomidorów oraz ubytki chlorofilu w liściach szpinaku [Abe, Watada 1991; Terry i in. 2007].

Handlowe systemy pochłaniające etylen występują w postaci oddzielnych elementów lub są zintegrowane z opakowaniem. Wyróżnia się następujące rozwiązania: system pakowania Bio-fresh, saszetka Ethylene Control Power Pellet, Ethysorb, EvertFresh Green Bags®, Retarder®, PEAKfresh® oraz Profresh.

Systemy wykorzystujące nadmanganian potasu, tj. Ethylene Control Power Pellet i Retarder®, występują w postaci saszetek lub są wkomponowane w materiał polimerowy jako drobno sproszkowane minerały. W przypadku PEAKfresh® i EvertFresh pochłanianie etylenu realizowane jest przy wykorzystaniu zeolitów umiejscowionych w materiale polimerowym (rys. 2). Należy jednak zaznaczyć, że stosowanie absorberów wykorzystujących nadmanganian potasu jako aktywny czynnik mający kontakt z żywnością jest w Europie zabronione [Pereira de Abreu i in. 2012].

Rys. 2. Folia PEAKfresh® z wkomponowanym w nią pochłaniaczem etylenu wydłużająca trwałość owoców i warzyw

Źródło: [http://www.peakfresh.com].

3.3. Regulatory zawartości wody (pary wodnej) w atmosferze opakowania

Stosunkowo duża grupa produktów żywnościowych wymaga kontroli zawartości wody, zarówno w postaci cieczy, jak i pary. Obecność wydzielających się płynów z produktów mięsnych (sok mięśniowy) i rybnych (sok tkankowy) znacznie zmniejsza ich konsumencką atrakcyjność sensoryczną. Duża ilość wody wewnątrz opakowania sprzyja proliferacji populacji drobnoustrojów, powoduje mięknięcie suchych i chrupkich produktów, takich jak np. makaron, ciasteczka, biszkopty, i powoduje twardnienie oraz zbrylanie się mleka w proszku i/lub liofilizowanej kawy [Pereira de Abreu i in. 2012; Vermeiren i in. 1999].

Aby zapobiegać wzrostowi drobnoustrojów na podłożu bogatym w składniki odżywcze w płynach ustrojowych pochodzących z produktów spożywczych, w strukturę specjalnych wkładek wprowadza się kwasy organiczne i środki powierzchniowo czynne.

Zapakowane produkty, w których w wolnej przestrzeni wewnątrz opakowania jest wysoka wilgotność względna, są podatne na wahania temperatury w czasie transportu lub przechowywania. Sprzyja to kondensacji pary wodnej. Dla tego rodzaju żywności stosuje się więc dodatki, których zadaniem jest zmniejszenie napięcia międzyfazowego między kondensatem wody a folią opakowania. To przyczynia się do zachowania przejrzystości folii i ułatwia konsumentom wgląd na zapakowaną żywność [Vermeiren i in. 1999].

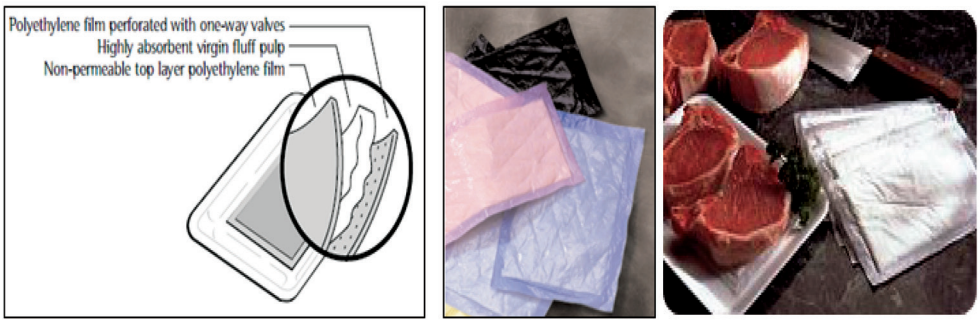
Mechanizm działania oparty jest na procesie absorpcji. Proponowanych jest kilka rozwiązań. Zadaniem jednego z nich jest usuwanie nadmiaru nagromadzonej wody. Inne z kolei kontrolują wilgotność względną wewnątrz opakowania. Do tych celów wykorzystywane są wysoko higroskopijne związki, takie jak włókna celulozowe, sole poliakrylanowe, glikol polipropylenowy, węglowodany, minerały, żel krzemionkowy, sita molekularne, montmorylonit lub tlenek wapnia.

Rynkowe zastosowania regulatorów wilgotności podzielono na dwie kategorie:

- absorbery cieczy (wkładki, arkusze) zawierające dwie lub więcej warstw utworzonych z polimerów syntetycznych, w których strukturę wprowadzono higroskopijne substancje mające pochłaniać ciecz z mięsa i/lub ryb. Celem jest nadanie opakowanym towarom żywnościowym korzystnych cech sensorycznych oraz zapobieganie rozwojowi drobnoustrojów;
- regulatory wilgotności względnej (saszetki lub etykiety) zawierające środki odwadniające; są one używane do regulowania wilgotności w wielu rodzajach produktów, m.in. w serach, mięsie, orzechach, przyprawach [Brody i in. 2001; Pereira de Abreu i in. 2012].

Wybór rodzaju regulatora wilgotności zależy od: wielkości i masy żywności, jej początkowej aktywności wody, transferu pary wodnej przez opakowanie, temperatury i wilgotności względnej podczas przechowywania, wrażliwości produktu na wilgoć (parę wodna) oraz długości „życia" na rynku. Wybór rodzaju, wielkości i pojemności absorbera wilgoci jest bardzo istotny w przypadku produktów mięsnych.

Brak powietrza w atmosferze otaczającej mięso, które ma kontakt z pochłaniaczem wilgoci, może powodować zmianę zabarwienia produktu z czerwonego do brązowego. Rozwiązaniem tego problemu jest użycie produktu firmy Sirane, którego powierzchnia przepuszcza tlen i nie dopuszcza do powstania niepożądanej zmiany barwy (rys. 3).



Rys. 3. Absorber wilgotności Dri-Loc® w formie wkładki

Źródło: [http://www.cryovac.com/NA/EN/food-packaging-products/driloc-meat-fish-poultry.aspx].

Wybrane systemy regulujące wilgotność to: Pad-Loc®, Dri-Loc® i Lite-Loc® Plus absorbujące wkładki z celulozy, Humidipak i StripPax® saszetki i/lub paski, Luquasorb® FP 800 i P1480 granulowany preparat poliakrylanu sodu, Eat-FreshTM sandwich pads profilowany materiał pochłaniający.

3.4. Absorbery i emitery określonego smaku i/lub zapachu

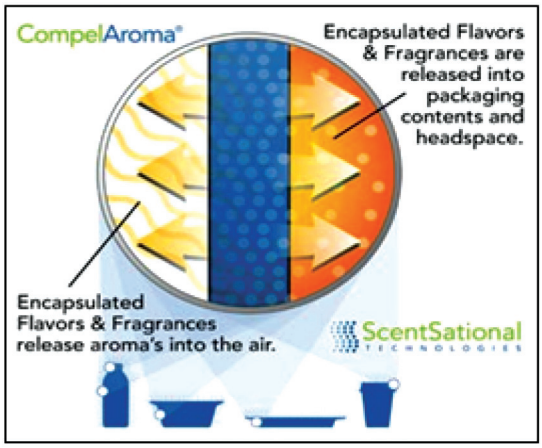
Straty określonych wyróżników organoleptycznych, będące skutkiem przechowywania produktów, są wynikiem interakcji produktów z polimerowymi materiałami opakowaniowymi i otaczającym je środowiskiem. Przyjęto, że utrata aromatu i/lub smaku przez żywność ma niekorzystny wpływ na jej jakość, aczkolwiek może być ona również wykorzystana z pozytywnym skutkiem do selektywnego pochłaniania niepożądanego smaku lub zapachu [Korzeniowski i in. 2011].

Komercyjne wykorzystanie absorberów i emiterów smaku lub zapachu jest kontrowersyjne z powodu obaw związanych z ich zdolnością do maskowania naturalnych reakcji powodujących psucie się żywności i w konsekwencji wprowadzanie konsumentów w błąd odnośnie do stanu opakowanej żywności. Z tych względów tego typu opakowania aktywne zostały zakazane w Europie i Stanach Zjednoczonych. Niemniej jednak są one komercyjnie stosowane w Japonii, gdzie mają szereg uzasadnionych zastosowań [Brody 2005].

Wyróżnia się dwa rodzaje związków odpowiedzialnych za nieprzyjemny zapach, które są podatne na działanie opisywanego rodzaju opakowań aktywnych. Są

to aminy powstające w wyniku rozpadu białek mięśni ryb oraz aldehydy, które tworzą się w wyniku autooksydacji tłuszczów i olejów. Nieprzyjemny zapach lotnych amin, takich jak np. trimetyloamina posiadająca odczyn zasadowy, może być zneutralizowany przez zastosowanie różnych związków o charakterze kwasowym. W Japonii producent Anico Co. Ltd wprowadził na rynek torebki pod handlową nazwą Anico™, które są wykonane z warstwy zawierającej sole żelaza i kwasy organiczne: cytrynowy i/lub askorbinowy. Ich działanie polega na utlenianiu amin w chwili, gdy są one absorbowane przez błonę polimerową [Day 2008].

Zneutralizowanie lub usunięcie z przestrzeni wewnętrznej opakowania aldehydów takich jak heksanal i heptanal jest możliwe dzięki opakowaniom aktywnym wykorzystującym technologię OTC – *Taste and Odour Control* (Kontrolowanie Smaku i Zapachu). Technologia oparta jest na sicie molekularnym o wielkości porów ok. 5 nanometrów. Polega ona na wprowadzeniu do struktury sita substancji chemicznych, które selektywnie reagują z niepożądanymi produktami starzenia się żywności i neutralizują je. Rozwiązanie ma zastosowanie w odniesieniu do: przekąsek, produktów mlecznych, ryb, drobiu itp. Podobne rozwiązanie oferuje szwedzka firma EKA Noble, która we współpracy z holenderską firmą Azko opracowała szereg syntetycznych zeolitów glinokrzemianowych, które dzięki ich silnie porowatej strukturze wchłaniają wonne gazy. Proszek o nazwie BMH™ jest wprowadzany w strukturę materiału opakowaniowego, przeważnie z papieru lub tektury [Day 2008; Pereira de Abreu i in. 2012].



Rys. 4. Sposób działania emitera zapachów firmy ScentSational Technologies

Źródło: [http://www.scentsationaltechnologies.com/flavor-challenges-and-solutions.cfm].

Dodatek esencji i/lub określonej substancji zapachowej, w celu nadania korzystnego aromatu świeżego produktu lub, gdy opakowanie jest otwarte, wzmocnienia zapachu określonego asortymentu żywności zwiększa jej atrakcyjność dla klienta.

Compel Aroma, w fazie produkcji, wprowadza zapachy i/lub smaki w strukturę tworzywa sztucznego opakowania. Wprowadzone smaki i aromaty są powoli i równomiernie uwalniane w zapakowanym produkcie podczas jego przechowywania. Uwalnianie się wonnych substancji może również następować w momencie otwierania opakowania lub podczas przygotowywania żywności do spożycia. Stopniowe uwalnianie zapachu może zrównoważyć naturalne ubytki smaku lub zapachu produktów o długim okresie przydatności do spożycia (rys. 4).

Z kolei Aroma-Can® oferuje emitery zapachów w postaci pojemników, które umieszczone wewnątrz opakowania wydzielają aromat charakterystyczny dla danego produktu, np. cytryny, pomarańczy, wanilii, mięty, czekolady itp. (rys. 5).

Rys. 5. Pojemniki Aroma-Can® pełniące funkcję emitera zapachów

Źródło: [http://www.sud-chemie.com.au/canisters%20capsules.html].

3.5. Substancje antybakteryjne

W przypadku niedostatecznie skutecznego utrwalenia żywności lub nieodpowiedniego jej przetwarzania podczas produkcji lub w wyniku naruszenia integralności opakowania z powodu np.: pękniętej uszczelki, wgnieceń, otworów, niedokładnego wykończenia opakowania szklanego, dochodzi do mikrobiologicznego zanieczyszczenia zapakowanej żywności. Tradycyjnymi metodami utrwalania chroniącymi żywność przed szkodliwymi skutkami namnażania się mikroorganizmów są: obróbka cieplna, suszenie, zamrażanie, chłodzenie, napromieniowanie promieniami jonizującymi, pakowanie w atmosferze modyfikowanej i/lub kontrolowanej, peklowanie, solenie, wędzenie itp. [Pereira de Abreu i in. 2012]. Jednak w Europie niektóre z tych technik nie mogą być prawnie zastosowane do produktów spożywczych takich jak kulinarne mięso i/lub ryby i owoce morza. Zgodnie z art. 4 ust. 2 rozporządzenia (WE) nr 1935/2004 oraz w świetle art. 6 ust. 4 dyrektywy 2000/13/WE (zmieniona dyrektywą 2003/89/WE) aktywne substancje są traktowane jako składniki środków

żywnościowych. W związku z tym substancje aktywne muszą być dopuszczone jako dodatki dla odpowiednich produktów spożywczych.

Pakowanie z zastosowaniem substancji antybakteryjnych polega na dodaniu saszetki do opakowania, rozpylaniu wewnątrz opakowania środków bioaktywnych, pokrywaniu powierzchni materiału opakowaniowego środkami bioaktywnymi lub wykorzystaniu antybakteryjnych makrocząsteczek w formie filmu lub powłoki jadalnej pokrywającej produkt [Coma 2008].

W celu zahamowania wzrostu drobnoustrojów, które z reguły powodują pogorszenie jakości produktów żywnościowych, przetestowano wiele środków o właściwościach antybakteryjnych (etanol, ditlenek węgla, jony srebra, ditlenek chloru, antybiotyki, kwasy organiczne, olejki eteryczne itp.). Produkty uwalniające etanol są z powodzeniem stosowane w Japonii. Zastosowanie etanolu w małych stężeniach (4-12%) w atmosferze opakowania skutecznie zapobiega rozwojowi mikroorganizmów (bakterii i pleśni). Rozmiar i pojemność saszetki zawierającej środek uwalniający etanol zależy od masy i rodzaju zapakowanej żywności, aktywności wody i od wymaganego okresu przydatności do spożycia. W opakowaniu wykorzystującym opisywany system zachodzi absorbowanie wody (pary wodnej) z jednoczesnym uwolnieniem etanolu do górnej przestrzeni opakowania [Day 2008].

W rozwiązaniach handlowych saszetka zawierająca drobno rozdrobnioną krzemionkę o odpowiedniej zawartości wody jest nośnikiem dla etanolu. Antimold mild® to system o wysokiej skuteczności chroniący przed wzrostem mikroorganizmów. Antimold mild® składa się z mieszaniny wody i etanolu zaadsorbowanych na ditlenku krzemu, który uwalnia etanol w wyniku pochłaniania wilgoci. Z kolei system Negamold® uwalnia etanol w momencie absorpcji tlenu. Oba opisywane systemy są z powodzeniem wykorzystywane do produkcji wyrobów piekarniczych i cukierniczych oraz żywności suchej [Vermeiren i in. 1999; http://www.freund.co.jp/english/chemical/preservation/].

Wykorzystywane są także systemy opakowaniowe uwalniające lotne środki antybakteryjne, m.in. ditlenek chloru, wyciągi roślinne, ditlenek siarki, olejki eteryczne, ditlenek węgla, izotiocyjanian allilu i inne. Zaletą systemów opakowaniowych uwalniających lotne środki antybakteryjne jest ich wnikanie w strukturę żywności. Taki typ opakowania aktywnego ma zastosowanie tam, gdzie kontakt między opakowaniem a produktem jest ograniczony, np. w przypadku mięsa mielonego [Kim i in. 2008; Winther, Nielsen 2006].

Ditlenek chloru występuje w stanie: gazowym, ciekłym i stałym. Jego właściwości są skuteczne w zwalczaniu nie tylko bakterii i grzybów, ale również wirusów. Ma on zastosowanie w opakowalnictwie: mięsa, drobiu, ryb, produktów mlecznych, słodyczy i wypieków. W Europie ditlenek chloru nie jest jednak prawnie traktowany jako dodatek do żywności i dlatego nie może być wykorzystywany w aktywnych systemach pakowania żywności.

Ditlenek siarki jest najefektywniejszym związkiem stosowanym do kontrolowania rozkładu gnilnego winogron. Jego działanie określa się jako skuteczniejsze od

promieniowania γ. Ma ono jednak wady, powoduje bowiem bielenie skórki winogron, a jego pozostałości mogą się osadzić na powierzchni owocu i ze względu na mocny charakterystyczny zapach może to prowadzić do odrzucenia produktu przez konsumenta [Kim i in. 2008].

Rolą ditlenku węgla w atmosferze opakowania jest powstrzymanie wzrostu mikrobiologicznego oraz spowolnienie szybkości oddychania owoców i warzyw. Z uwagi na to, że przenikalność CO_2 przez większość materiałów opakowaniowych jest 3-5 razy większa niż tlenu, CO_2 musi być permanentnie uwalniany, aby jego stężenie wewnątrz opakowania pozostawało na pożądanym poziomie. Wysoki poziom tego gazu (10-80%) jest odpowiedni dla produktów mięsnych, mimo że negatywnie wpływa na ich barwę.

Zaletą stosowania ditlenku węgla jest jego wnikanie w strukturę zapakowanego produktu i to, że nie wymaga kontaktu opakowania z żywnością. CO_2 może być stosowany łącznie z pochłaniaczami tlenu, co w przypadku takich produktów, jak: ryby, kulinarne i przetworzone mięso, sery i produkty piekarnicze, sprzyja zachowaniu wyjściowych właściwości organoleptycznych i ma działanie bakteriostatyczne.

Naruszenie integralności opakowania lub powstanie podciśnienia stanowi znaczący problem dla żywności zapakowanej w opakowania wyposażone w absorbery tlenu. Rozwiązaniem tego problemu są absorbery/emitery o podwójnym działaniu. System pochłania tlen, a następnie generuje odpowiednie ilości ditlenku węgla [Day 2008]. Rynkowymi produktami posiadającymi ww. funkcje są m.in. Ageless® G oraz FreshPax [http://www.multisorb.com].

Opakowanie o nazwie handlowej Verifrais™ zaproponowane przez CODIMER SARL to innowacyjny system wydłużający trwałość kulinarnego mięsa. Składa się ono z tacki, na której umieszcza się porowatą saszetkę zawierającą wodorowęglan lub askorbinian sodu. Gdy uwolniony wyciek z mięsa wejdzie w kontakt z substancjami umieszczonymi w saszetce, wydziela się CO_2. Stężenie ditlenku węgla uzupełniane jest w sposób ciągły, tj. w miarę absorbowania przez mięso [Coma 2008].

Antybakteryjne substancje mogą być także integralną składową polimeru opakowania zarówno przez powlekanie powierzchni substancją czynną, jak i w procesie ekstrudowania polimeru, w skład którego wprowadzono substancję antybakteryjną.

Kolejną metodą ograniczenia wzrostu mikroorganizmów jest użycie nielotnych substancji antybakteryjnych. W tym celu wykorzystywany jest liczny asortyment konserwantów, m.in. kwasy: sorbinowy, benzoesowy i kwas propionowy oraz ich sole, bakteriocyny, np. nizyna, przyprawy naturalne, jony srebra, związki chelatujące i inne. Są one wprowadzane w strukturę powłok lub innych zastosowanych materiałów opakowaniowych. Potencjalna skuteczność takich opakowań upatrywana jest w redukcji ilości stosowanych dodatków przeciwdrobnoustrojowych. Należy jednak nadmienić, że nielotne substancje antybakteryjne stają się aktywne jedynie w momencie bezpośredniego kontaktu z żywnością [Kim i in. 2008].

Z uwagi na skuteczność i opłacalność najczęściej wykorzystywanymi substancjami chemicznymi są kwasy organiczne, jak np. sorbowy, octowy i mlekowy. Do

zahamowania i/lub spowolnienia zwiększenia się populacji mikroorganizmów stosuje się także: chitozan, nizynę, laktocynę i pediocynę. Chitozan, pochodna chityny, jest polisacharydem, który może odgrywać rolę zarówno matrycy, jak i czynnika antybakteryjnego. Antybakteryjne działanie chitozanu zmniejsza się wraz z upływem czasu. Przyczyną jest malejąca dostępność jego grup aminowych. Chemiczna modyfikacja chitozanu umożliwiająca produkowanie czwartorzędowych soli amonowych skutkowała ulepszeniem jego właściwości fizykochemicznych i przeciwdrobnoustrojowych. Chitozan pełni również funkcję matrycy służącej do dostarczania do atmosfery opakowania innych środków antybakteryjnych, m.in. takich jak kwasy, sole i wyciągi roślinne (olejki eteryczne, cynamon, pieprz, rozmaryn, oregano itp.) [Belalia i in. 2008; Coma 2008].

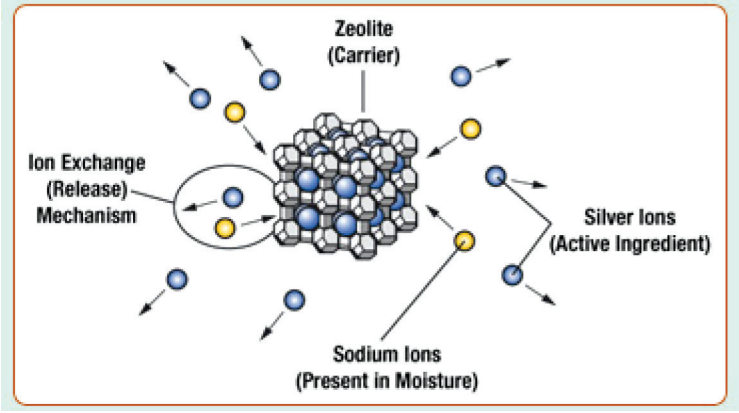
Bakteriocyny, ze względu na swoje właściwości antybakteryjne, są wykorzystywane jako naturalne konserwanty żywności. Obecnie jedyną bakteriocyną stosowaną w technologii żywności (już od 30 lat) jest nizyna. Jest to policykliczny peptyd składający się z 34 aminokwasów, tzn. że jest to substancja o małej liczbie cząstek, co umożliwia produkcję powłok, które uwalniają peptyd w momencie kontaktu z żywnością lub płynem. Uzyskała ona status GRAS (*generally recognized as safe* – ogólnie uznane za bezpieczne) i jest stosowana w ok. 50 państwach jako naturalny konserwant oznaczony E 234. Zalety bakteriocyn to: termostabilność, hipoalergiczność oraz podatność na degradację przez enzymy proteolityczne przewodu pokarmowego człowieka [Błaszczyk 2008; Coma 2008].

Udokumentowane działanie w ochronie żywności przed mikroorganizmami mają przyprawy, w tym m.in. bazylia i naturalne ekstrakty. Duże perspektywy stosowania w ochronie żywności przed rozkładem gnilnym mają również nanostruktury – systemy immobilizacji enzymów, m.in. takich jak: laktoperoksydaza, lizozym, oksydazy glukozy, laktoferyny, przeciwdrobnoustrojowe peptydy, takie jak magaininy, cekropiny itp. Ze względu na funkcjonalnie korzystny stosunek powierzchni do objętości, ruchy Browna nanocząsteczek, możliwość wytwarzania porowatej struktury oraz optymalizowanie produkcji materiałów o cechach identycznych i/lub zbliżonych do typowych syntetycznych polimerów stosowanych w opakowaniach żywności, oferują one ogromne możliwości rozwoju opakowalnictwa żywności [Pereira de Abreu i in. 2012].

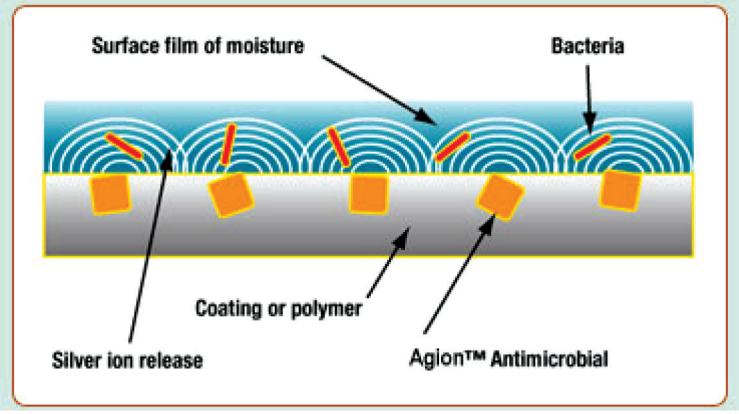
Zastosowanie mają także powłoki jadalne wytwarzane z polisacharydów, białek i lipidów. Mogą być produkowane z dodatkiem antyoksydantów i/lub środków antybakteryjnych i są umieszczane bezpośrednio na powierzchni mięsa, serów, chleba, ryb oraz warzyw i owoców. Do ich zalet należą biodegradowalność i biokompatybilność, a także walory estetyczne.

Na rynku istnieje wiele aktywnych opakowań antybakteryjnych. Są nimi m.in.: Agion® Antimicrobial, Microbeguard® Antimicrobial Papers, Food TouchTM i Ciba®IRGAGUARD® B. Są to systemy oparte na włączeniu zeolitu srebra w strukturę materiału opakowaniowego mającego kontakt z żywnością, który działa na powierzchni zapakowanej żywności. Wymienione systemy hamują wzrost bakterii gram-dodat-

nich i gram-ujemnych, pleśni i drożdży. Zeolity to glinokrzemiany o otwartej strukturze. Ich ujemny ładunek jest kompensowany przez kationy, np. sodu lub srebra. Kationy są mobilne i wymienne. Są specjalnie zaprojektowane do uwalniania jonów srebra i zapobiegania wzrostowi drobnoustrojów. Jony srebra zakłócają replikację DNA mikroorganizmów, co spowalnia powstawanie nieprzyjemnego zapachu i utratę pożądanej tekstury żywności [http://www.microbeguard.com/how_it_works.html; http://www.basf.com/group/corporate/en/brand/IRGAGUARD].



a) Opatentowany nośnik w postaci wielopłaszczyznowego kryształu zeolitu zapewnia trójwymiarowy mechanizm zwalniający jony niezależnie od orientacji cząsteczek w podłożu.



b) Proces wymiany jonów. Kryształy zeolitu zawierające wolne jony są ułożone w sposób losowy na powierzchni włókna, polimeru lub powłoki. W warunkach sprzyjających rozwojowi bakterii dodatnie jony w środowisku pary wodnej wymieniają się z wolnymi jonami umieszczonymi na zeolicie, co umożliwia kontrolę wzrostu mikroorganizmów.

Rys. 6 a, b. Sposób działania systemu Agion® Antimicrobial

Źródło: [http://www.agion-tech.com/Technology.aspx?id=156].

Agion® Antimicrobial składa się z zeolitowego nośnika jonów srebra, miedzi lub innych niezwiązanych jonów. System wymienia jony z dodatnimi jonami (przeważnie sodu) pochodzącymi z pary wodnej środowiska opakowania, w wyniku czego są uwalniane „na żądanie" elementy (jony) antydrobnoustrojowe (rys. 6).

Zwalczanie drobnoustrojów następuje na trzy sposoby:

1. Uniemożliwienie oddychania poprzez hamowanie funkcji transportowych przez ścianę komórkową.
2. Hamowanie podziału komórek (reprodukcji).
3. Zakłócanie metabolizmu komórek.

Systemy oparte na wykorzystaniu substancji przeciwbakteryjnych odgrywają istotną rolę w zmniejszaniu ryzyka zanieczyszczenia żywności przez patogeny, a także sprzyjają wydłużaniu czasu przechowywania żywności. Natomiast nie powinny być one wykorzystywane w celu umożliwienia zastosowania niższych klas jakości surowców bądź nieprzestrzegania i/lub zaniedbań w rygorystycznym przestrzeganiu zasad dobrej praktyki wytwarzania (GMP).

3.6. Antyoksydanty (przeciwutleniacze)

Utlenianie się tłuszczów jest powszechnie uznawane za jeden z najważniejszych mechanizmów prowadzących do psucia się żywności zawierającej w swoim składzie triglicerydy. Utlenianie lipidów prowadzi do skrócenia okresu trwałości żywności ze względu na wysoce niepożądane, niekorzystne zmiany smaku i/lub zapachu oraz pogorszenie tekstury i jakości odżywczej [Pereira de Abreu i in. 2012].

Procesom utleniania zapobiega się i/lub spowalnia się je, stosując pochłaniacze tlenu i środki przeciwutleniające umieszczanie w opakowaniu. Głównymi inicjatorami utleniania lipidów są wolne rodniki. Zapobieganie utlenianiu, przede wszystkim triglicerydów, polega na eliminowaniu wolnych rodników w miarę ich powstawania. Znane są liczne naturalne związki, które efektywnie reagują z wolnymi rodnikami i eliminują je. Dlatego też do zapobiegania niepożądanym reakcjom utlenienia nie są wymagane wysokobarierowe i/lub próżniowe materiały opakowaniowe, lecz jedynie obecność pochłaniaczy wolnych rodników. Co więcej, materiały zawierające pochłaniacze wolnych rodników nie muszą być chronione lub aktywowane przed użyciem [Nerin i in. 2008].

Współcześnie duże zainteresowanie znajdują naturalne antyoksydanty, takie jak m.in. witamina E i ekstrakty z roślin (bogate w związki fenolowe i/lub terpenowe), np.: rozmaryn, goździki, oregano, cynamon, imbir. Przyprawy zawierające duże ilości związków fenolowych, takich jak flawonoidy i kwasy fenolowe, mają ponadto właściwości przeciwbakteryjne [Nerin i in. 2008].

W opakowalnictwie znajduje również zastosowanie folia przeciwutleniająca. W przypadku mięsa kulinarnego i produktów mięsnych zwiększa ona stabilność mioglobiny, a tym samym chroni zapakowany produkt przed procesami utleniania. Aktywne folie spełniają także dodatkowe funkcje. Przeciwutleniająca folia z dodat-

kiem rozmarynu i/lub oregano, oprócz hamowania procesów oksydacji, charakteryzuje się także wzmocnieniem zapachu i smaku steków z mięsa jagnięcego [Camo i in. 2008].

Kolejnym przykładem jest aktywne opakowanie zbudowane z kilku warstw, tj. z warstwy polietylenu o wysokiej gęstości, kopolimeru EVOH oraz warstwy polietylenu o małej gęstości zawierającej jako przeciwutleniacz α-tokoferol (E307). Migracja α-tokoferolu do wnętrza opakowania spowodowała znaczne opóźnienie utleniania lipidów pełnego mleka [Granda-Restrepo i in. 2009].

Innym przykładem jest folia celulozowa, w której składzie jest cysteina i inne aminokwasy siarkowe. Przykrywano nią jabłka pokrojone w plastry, co powodowało opóźnienie procesu ich ciemnienia. Podczas przechowywania żywności ilość substancji przeciwutleniającej, w wyniku jej dyfuzji przez warstwę filmu i późniejszego odparowania z powierzchni, ulega zmniejszeniu. Ten problem można rozwiązać, pokrywając dany produkt kolejną warstwą folii o niskiej przepuszczalności lub wykorzystując do tego celu cyklodekstryn [Pereira de Abreu i in. 2012].

Substancje przeciwutleniające mogą być stosowane do wielu produktów spożywczych, m.in. do: oleju, orzechów, masła, mięsa kulinarnego i jego pochodnych, produktów piekarniczych oraz warzyw i owoców.

4. Podsumowanie

Opakowania aktywne są przyszłościowym kierunkiem rozwoju opakowalnictwa żywności w Polsce. W najbliższych latach można się spodziewać ich dużego sukcesu komercyjnego. Wpływ na taką sytuację będą miały stale doskonalona technologia produkcji oraz rosnąca świadomość konsumentów i kształtowanie się nowych nawyków kupowania. Z pewnością istotną rolę w upowszechnianiu opakowań aktywnych odegrają także producenci, jeśli przekonają konsumentów co do przydatności takiego sposobu pakowania żywności.

Literatura

Abe K., Watada A.E., *Ethylene absorbent to maintain quality of lightly processed fruits and vegetables*, „Food Science" 1991, 56(6), s. 1589-1592.

Belalia R., Grelier S., Benaissa M., Coma V., *New bioactive biomaterials based on quaternized chitosan*, „Journal of Agricultural and Food Chemistry" 2008, 56(5), s. 1582-1588.

Błaszczyk U., *Bakteriocyny – właściwości i zastosowanie*, „Laboratorium przemysłowe – Biotechnologia" 2008, 10, s. 28-32.

Brody A.L., Bugusu B., Han J.H., Sand C.K., McHugh T.H., *Innovative Food Packaging Solutions*, „Journal of Food Science" 2008, 73(8), R107-R116.

Brody A.L., *Commercial uses of active food packaging and modified atmosphere packaging systems*, [w:] *Innovations in Food Packaging*, Part 5(25), Elsevier Ltd, London 2005, s. 457-474.

Brody A.L., Strupinsky E.R., Kline L.R., *Active Packaging for Food Applications*, CRC Press, New York 2001, s. 5.

Camo J., Beltran J.A, Roncales P., *Extension of the display life of lamb with an antioxidant active packaging*, „Meat Science" 2008, 80(4), s. 1086-1091.

Cichoń M., Lesiów T., *Zasada działania innowacyjnych opakowań inteligentnych w przemyśle żywnościowym. Artykuł przeglądowy*, „Nauki Inżynierskie i Technologie" 2013, 2 (9), s. 9-32.

Coma V., *Bioactive packaging technologies for extended shelf life of meat-based product*, „Meat Science" 2008, 78(1-2), s. 90-103.

Dainelli D., Gontard N., Spyropoulos D., Zondervan-van den Beuken E., Tobback P., *Active and intelligent food packaging: Legal aspects and safety concerns*, „Trends in Food Science & Technology" 2008, 19, s. 103-112.

Day B., *Active Packaging of food*, [w:] *Smart Packaging Technologies for Fast Moving Consumer Goods*, JohnWiley&Sons, Chichester 2008, s. 1-18.

Granda-Restrepo D.M, Soto-Valdez H., Peralta E., Troncoso-Rojas R., Vallejo-Cordoba B., Gamez-Meza N., Graciano-Verdugo A.Z., *Migration of alpha-tocopherol from an active multilayer film into whole milk powder*, „Food Research International" 2009, 42(10), s. 1396-1402.

Han J.H., Ho C.H.L., Rodrigues E.T., *Intelligent packaging*, [w:] *Innovations in Food Packaging*, Elsevier Ltd, London 2005.

http://www.agion-tech.com/Technology.aspx?id=156 (dostęp: kwiecień 2014).

http://www.basf.com/group/corporate/en/brand/IRGAGUARD (dostęp: kwiecień 2014).

http://www.cryovac.com/NA/EN/food-packaging-products/driloc-meat-fish-poultry.aspx (dostęp: kwiecień 2014).

http://www.freund.co.jp/english/chemical/preservation (dostęp: kwiecień 2014).

http://www.mgc-a.com/AGELESS/AgelessEffects.html (dostęp: kwiecień 2014).

http://www.microbeguard.com/how_it_works.html (dostęp: kwiecień 2014).

http://www.peakfresh.com/.

http://www.scentsationaltechnologies.com/flavor-challenges-and-solutions.cfm (dostęp: kwiecień 2014).

http://www.sud-chemie.com.au/canisters%20capsules.html (dostęp: kwiecień 2014).

Kim Y.-T., Kim K., Han J.H., Kimmel R.M., *Antimicrobial Active Packaging for Food. In: Smart Packaging Technologies for Fast Moving Consumer Goods*, (eds. J. Kerry and P. Butler), JohnWiley&Sons, Chichester 2008, s. 99-110.

Korzeniowski A., Ankiel-Homa M., Czaja-Jagielska N., *Innowacje w opakowalnictwie*, Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego w Poznaniu, Poznań 2011, s. 91.

Mohan C., Ravishankar C.N., Srinivasagopal T.K., *Effect of O_2 scavenger on the shelf-life of catfish steaks during chilled storage*, „Journal of the Science of Food and Agriculture" 2008, 88(3), s. 445-448.

Nerin C., Tovar L., Salafranca J., *Behavior of a new antioxidant active film versus oxidizable model compounds*, „Journal of Food Engineering" 2008, 84(2), s. 313-320.

Ozdemir M., Floros J.D., *Active food packaging technologies*, „Critical Reviews in Food Science and Nutrition" 2004, 44(3), s. 185-193.

Pereira de Abreu D.A., Cruz J.M., Paseiro Losada P., *Active and Intelligent Packaging for the Food Industry*, „Food Reviews International" 2012, 28(2), s. 146-187.

Restuccia D., Spizzirri U., Parisi O., Cirillo G., Curcio M., Iemma F., Puoci F., Vinci G., Picci N., *New EU regulation aspects and global market of active and intelligent packaging for food industry applications*, „Food Control" 2010, 21(11), s. 1425-1435.

Shin Y., Shin J., Lee Y., *Effects of oxygen scavenging package on the quality changes of processed meatball product*, „Food Science and Biotechnology" 2009, 18(1), s. 73-78.

Sykut B., Kowalik K., Droździel P., *Współczesne opakowania dla przemysłu spożywczego*, „Nauki Inżynierskie i Technologie" 2013, 1(8), s. 114-121.

Terry L.A., Ilkenhans T., Poulston S., Rowsell L., Smith A.W.J., *Development of new palladium-promoted ethylene scavenger*, „Postharvest Biology and Technology" 2007, 45, s. 214-220.

Vermeiren L., Devlieghere F., van Beest M., de Kruijf N., Debever J., *Developments in the active packaging of food*, „Trends in Food Science&Technology" 1999, 10(3), s. 77-86.
Winther M., Nielsen P.V., *Active packaging of cheese with allyl isothiocyanate, an alternative to modified atmosphere packaging*, „Journal of Food Protection" 2006, 69(10), s. 2430-2435.
Yam K.L., Takhistov P.T., Miltz J., *Intelligent packaging: Concepts and applications*, „Journal of Food Science" 2005, 70(1), R1-R10.
Yeh J.T., Cui L., Chang C.J., Jiang T., Chen K.N., *Investigation of the oxygen depletion properties of novel oxygen-scavenging plastics*, „Journal of Applied Polymer Science" 2008, 110(3), s. 1420-1434.

PRINCIPLE OF INNOVATIVE ACTIVE PACKAGING OPERATION IN THE FOOD INDUSTRY. REVIEW PAPER

Summary: The aim of this paper is to present innovative solutions to active packaging of food products. Definition, functions, division and application in food industry of active packaging is explained. Active substances, i.e. responsible for active functions, are able to absorb or emit oxygen, carbon dioxide, ethylene, flavors and aromas, regulate relative humidity atmosphere in the package and/or show the antibacterial and antioxidant effects. Active substances are placed in bags, strips or labels or they are included into packaging material. The purpose of active packaging is to extend the shelf life, the preservation of the organoleptic attributes of the products and to guarantee food safety.

Keywords: active packaging, absorbers, emitters, regulators of water vapor, antibacterial substances, antioxidants.