

AGNIESZKA MARTYN, ZDZISŁAW TARGOŃSKI

## ANTYMIKROBIOLOGICZNE OPAKOWANIA ŻYWNOŚCI

### Streszczenie

Wzrastające wymagania konsumentów dotyczące bezpiecznej, minimalnie przetworzonej żywności oraz wydłużonego czasu jej przechowywania mobilizują przemysł spożywczy do wprowadzania m.in. aktywnych, w tym antymikrobiologicznych opakowań żywności. Głównymi antymikrobiologicznymi składnikami tych opakowań są: kwas benzoesowy, kwas sorbowy oraz ich sole, nizyna, lizozym, olejki eteryczne i inne. Składniki te, odpowiednio wkomponowane w matrycę opakowania, zapobiegają lub ograniczają rozwój wielu drobnoustrojów, np.: *Listeria monocytogenes*, *Salmonella typhimurium*, *Staphylococcus aureus* oraz pleśni: *Penicillium*, *Aspergillus niger*. Skuteczność opakowania antymikrobiologicznego zależy od doboru składników antymikrobiologicznych do matrycy opakowania oraz rodzaju produktu spożywczego przeznaczonego do zapakowania. Problematyka ta jest przedmiotem niniejszego artykułu.

**Słowa kluczowe:** opakowanie antymikrobiologiczne, antymikrobiologiczne składniki

### Wprowadzenie

Tradycyjne opakowania: szklane, metalowe i papierowe stanowią zewnętrzną barierę ochronną produktu przed wpływem środowiska zewnętrznego. Czynniki środowiska, takie jak: promieniowanie słoneczne, powietrze i wilgotność mogą powodować zmiany fizyczne, chemiczne i mikrobiologiczne żywności [2, 51]. Współczesnemu konsumentowi nie odpowiada „pasywna” funkcja ochronna opakowań tradycyjnych oraz dostarczenie informacji o produkcie i sposobie jego przechowywania. Dlatego w latach 80. XX w. rozpoczęto badania nad nowymi opakowaniami aktywnymi, wpływającymi na jakość i bezpieczeństwo produktu. Opakowanie może być zaliczone do opakowań aktywnych, jeśli poza funkcją ochronną, dodatkowo poprawia jakość i bezpieczeństwo produktu w czasie przechowywania [51]. Opakowania te wyróżniają się właściwościami barierowymi, które sprawiają, że powstają wzajemne oddziaływania między produktem, opakowaniem i otoczeniem [1, 2, 23]. Elementy te zapewniają

---

*Mgr inż. A. Martyn, prof. dr hab. Z. Targoński, Katedra Biotechnologii, Żywnienia Człowieka i Towaroznawstwa Żywności, Wydz. Nauk o Żywności i Biotechnologii, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, ul. Skromna 8, 20-950 Lublin*

utrzymanie jakości i właściwości sensorycznych opakowanego produktu podczas wydłużonego czasu przechowywania [26, 61, 62]. Ponadto opakowania aktywne są stosowane do pakowania nowych wygodnych produktów żywnościowych przeznaczonych do łatwego i szybkiego przygotowania do konsumpcji.

W zależności od sposobu oddziaływania na produkt opakowanie aktywne można podzielić na trzy kategorie :

- zapewniające utrzymanie jakości produktu w czasie jego przechowywania,
- informujące konsumenta o warunkach przechowywania produktu za pomocą wskaźnika barwnego określającego czas i temperaturę przechowywania czy pH, zawartości tlenu lub dwutlenku węgla na podstawie przemian enzymatycznych żywności,
- zmieniające właściwości żywności wygodnej podczas jej przygotowania np. ogrzewania mikrofalowego.

Zapewnienie jakości produktu w czasie przechowywania wiąże się z kontrolą lub regulacją zachodzących przemian chemicznych w żywności, takich jak: utlenianie tłuszczów, brunatnienie, degradacja witamin, związków aromatycznych, pigmentów czy transpiracja owoców i warzyw, poprzez kontrolowanie przestrzeni wewnątrz opakowania za pomocą absorbowania lub wydzielania: tlenu, dwutlenku węgla lub pary wodnej, które przyczyniają się do powstawania zmian w żywności. Poza tym zapobiegają rozwojowi mikroorganizmów za pomocą dodatkowych składników antymikrobiologicznych (nizyna, lizozym, konserwanty) włączonych w opakowanie [2, 4, 23, 37, 51].

Zastosowanie odpowiednio aktywnego opakowania zależy od charakteru produktu oraz zachodzących w nim przemian fizjologicznych (oddychanie świeżych owoców i warzyw), chemicznych (utlenienie tłuszczów), mikrobiologicznych (psucie powodowane przez mikroorganizmy) podczas przechowywania [2]. W zależności od przeznaczenia, opakowania aktywne można podzielić na: absorbujące niepożądane składniki, takie jak np. tlen, dwutlenek węgla, etylen, parę wodną; wydzielające etanol do wnętrza opakowania; zawierające aktywny składnik mikrobiologiczny; umożliwiające kontrolę zapachu, czasu lub temperatury przechowywania opakowanego produktu [37, 51].

### **Opakowanie antymikrobiologiczne**

Opakowanie antymikrobiologiczne jest jednym z rodzajów opakowań aktywnych [21]. Funkcją tego opakowania jest hamowanie rozwoju patogennych mikroorganizmów zanieczyszczających żywność przez dodanie antymikrobiologicznego składnika lub wykorzystanie polimeru o właściwościach antymikrobiologicznych. Zatem opakowanie antymikrobiologiczne pozwala ograniczyć lub zapobiegać rozwojowi mikroor-

ganizmów przez wydłużanie lag fazy oraz ograniczenie szybkości wzrostu drobnoustrojów [28].

Opakowania o charakterze antymikrobiologicznym tworzy się w następujący sposób:

1. Umieszczenie saszetki lub wkładki wewnątrz opakowaniowa, zawierającej „lotny” składnik antymikrobiologiczny [28]. Saszetka z absorbentem tlenu lub pary wodnej jest luźno włożona lub przytwierdzona do wewnętrznej części opakowania. Absorbent tlenu i wilgoci stosowany jest głównie w opakowaniach zawierających makarony, wyroby piekarnicze i mięso w celu ograniczenia procesów utleniania oraz absorpcji wykroplonej wody [51]. Ponadto absorbent wilgoci obniża aktywność wody w produkcie, a tym samym pośrednio wpływa na rozwój mikroorganizmów. Wkładki absorpcyjne znalazły zastosowanie przede wszystkim w jednorazowych opakowaniach (tackach) mięsa lub drobiu. Kwasy organiczne występujące we wkładkach zapobiegają również rozwojowi mikroorganizmów [29].
2. Umieszczenie składnika antymikrobiologicznego w polimerze czy papierze stanowiącym opakowanie. Rolą antymikrobiologicznego składnika jest zapobieganie rozwojowi mikroflory powodującej psucie się zapakowanego produktu. Włączenie składnika do polimeru odbywa się poprzez jego wtopienie, ekstruzję lub za pomocą rozpuszczalnika. Istnieje wiele publikacji naukowych i patentów świadczących o dużym zainteresowaniu naukowców sposobami włączenia antymikrobiologicznych składników do opakowania żywności [4].
3. Adsorpcja składnika antymikrobiologicznego na powierzchni polimeru. W przypadku składników wrażliwych na temperaturę, podczas produkcji polimeru przeznaczonego na opakowania, stosuje się pokrywanie polimerem uformowanego opakowania [4].
4. Tworzenie wiązań jonowych lub kowalencyjnych przez antymikrobiologiczny składnik z polimerem. Polimery syntetyczne, takie jak: polistyren, LDPE, alkohol poliwinylowy oraz naturalne, jak: celuloza, skrobia, chitozan na ogół są nierozpuszczalne. W związku z tym mogą tworzyć folie o strukturze siateczkowej za pomocą wiązań jonowych lub kowalencyjnych z peptydami, enzymami, poliamidami, kwasami organicznymi, jonami metali np. cynku, potasu i sodu. Wiązania powstają w obecności katalizatora, którym może być dekstryna, glikol polietylenowy, etylenodiaminy [4, 20].
5. Zastosowanie polimeru o właściwościach antymikrobiologicznych. Przykładem takiego polimeru jest chitozan [4].

### Antymikrobiologiczne składniki stosowane w opakowaniach antymikrobiologicznych

Znanych jest wiele aktywnych składników, które mogą być wykorzystane w opakowaniach antymikrobiologicznych. Ich stosowanie powinno być zgodne z przepisami prawnymi kraju, w którym będą dopuszczone do użytku przez przemysł spożywczy. Do składników antymikrobiologicznych zalicza się: kwasy organiczne, bakteriocyny, enzymy, roślinne olejki eteryczne. Różnią się między sobą mechanizmem działania, oddziałując na ścianę komórkową, względnie na metabolizm lub genotyp mikroorganizmów [27, 37, 45].

**Słabe kwasy organiczne** (benzoesowy, parahydroksybenzoesowy, octowy, mlekowy, sorbowy, cytrynowy, propionowy) należą do popularnych środków konserwujących, które hamują rozwój bakterii i grzybów. Dodatkową funkcją kwasu sorbowego jest zapobieganie tworzeniu się przetrwalników. Aktywność antymikrobiologiczna słabych kwasów organicznych uzależniona jest od pH produktu żywnościowego oraz formy w jakiej występują. Optymalną aktywność wykazują w zakresie niskiego pH, ponieważ niezdisocjowane membrany komórkowe ułatwiają ich wnikanie do wnętrza komórki [8]. Gosh i wsp. [24] opracowali opakowanie przeciwegrzybowe z kwasem sorbowym. Wodny roztwór kwasu sorbowego rozpuszczono w 2 % roztworze karboksymetylocelulozy, a następnie naniesiono na odtłuszczony papier. Według Chen i wsp. [13] film metylocelulozowy z chitozanem zawierający sorbinian potasu lub benzoosan sodu wykazywał właściwości przeciwegrzybowe, które zostały potwierdzone na grzybach *Penicillium notatum* i drożdżach *Rhodotorula rubra*. Wiele badań przeprowadzono nad sposobem wkomponowania soli kwasu sorbowego lub jego bezwodnika w różne filmy, takie jak: skrobiowe, glicerolowe [5], polietylenowe [66]. Weng i wsp. [65] opracowali antymikrobiologiczny materiał opakowaniowy na bazie polietylenu z dodatkiem kwasu metakrylowego (PEMA), kwasu benzoowego i sorbowego jako składnika antymikrobiologicznego. Devlieghere [17] wykazał, że film LDPE zawierający sorbinian potasu wykazywał słabą aktywność antymikrobiologiczną wobec *Candida* ssp., *Picia* ssp., *Trichosporon* ssp. i *Penicillium* ssp. Dobias i wsp. [18] stwierdzili, że opakowanie LDPE zawierające bezwodnik kwasu benzoowego może odgrywać znaczącą rolę w hamowaniu rozwoju pleśni na powierzchni sera lub pieczywa tostowego. Matche i wsp. [38] wykazali, że folia powstała na skutek jednorodnego połączenia polietylenu i kwasu metakrylowego wiązaniem jonowym oraz zawierająca chlorek kwasu benzoowego wykazuje lepsze właściwości antymikrobiologiczne wobec *Penicillium* ssp. i *Aspergillus* ssp. Natomiast Weng i wsp. [64] dowiedli, że zmodyfikowana, neutralizowana folia powstała dzięki wiązaniom jonowym pomiędzy kopolimerem polietylenu i kwasem metakrylowym oraz chlorkiem kwasu benzoowego, który jednocześnie stanowi składnik antymikrobiologiczny, ma lepsze właściwości antymikrobiologiczne wobec *Penicillium* ssp. i *Aspergillus niger*

w porównaniu z folią zawierającą jedynie kwas benzoesowy [64]. Vartiainen i wsp. [60] porównali skuteczność właściwości antimikrobiologicznych tradycyjnych konserwantów żywności, takich jak: azotan(III) sodu, benzoesan sodu, sorbinian potasu i sól sodowa kwasu mlekowego, włączonych do polimerów syntetycznych wobec *Aspergillus niger*, *Bacillus subtilis*, *Escherichia coli*. Wykazali, że azotan(III) sodu hamuje rozwój zarówno *Aspergillus niger* i *Bacillus subtilis*, natomiast benzoesan sodu i sorbinian potasu hamują rozwój jedynie *Bacillus subtilis*, a sól sodowa kwasu mlekowego nie wykazuje właściwości antimikrobiologicznych. Żaden z podanych konserwantów nie wykazał zdolności do hamowania *Escherichia coli*. Soares i wsp. [57] stwierdzili, że folia celulozowa z dodatkiem propionianu sodu, w którą opakowano kromki chleba, zapobiegała rozwojowi pleśni oraz przedłużała okres jego przechowywania [57]. Limjaroen i wsp. [36] przebadali skuteczność opakowania antimikrobiologicznego z polichlorku winylowego, zawierającego kwas sorbowy, na ograniczenie występowania *Listeria monocytogenes* w serze Cheddar i pokrojonej wędlinie z rodzaju „bologna”, podczas przechowywania. Nie zaobserwowano pojawienia się *Listeria monocytogenes* w wędlinie przechowywanej w warunkach chłodniczych przez 28 dni. Opakowanie nie zahamowało rozwoju *Listeria monocytogenes* w serze, lecz wpłynęło na minimalną redukcję mezofilnych tlenowców. Cargi i wsp. [10] opracowali antymikrobiologiczne jadalne powłoki z białek serwatkowych, które skutecznie hamowały rozwój *Listeria monocytogenes*. Jadalne powłoki izolatu białka serwatkowego zawierające kwas p-hydroksybenzoesowy lub sorbowy dodatkowo hamowały rozwój *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella typhimurium* DT 104 [10], a skuteczność została potwierdzona na pokrojonej wędlinie typu „bologna” i kiełbasach grilowych [11]. Dodatek kwasu p-hydroksybenzoesowego do powłok jadalnych białka serwatkowego wpłynął na zahamowanie rozwoju *Listeria monocytogenes* hot dogów przechowywanych w warunkach chłodniczych przez 42 dni [9].

**Lizozym** (muramidaza EC. 3.2.1.17) jest białkiem peptydowym wykazującym aktywność enzymatyczną. Hydrolizuje wiązanie  $\beta(1,4)$  glikozydowe pomiędzy kwasem N-acetylomuraninowym i N-acetyloglukozoaminą w peptydoglukanie, powodując rozpad ściany komórkowej bakterii Gram dodatnich. Bakterie Gram ujemne mają barierę chroniącą ścianę komórkową przed działaniem lizozymu. W obecności EDTA lizozym powoduje niszczenie ściany komórkowej bakterii Gram ujemnych [29]. Appendini i wsp. [3] przeprowadzili badania nad wpływem lizozymu, jako aktywnego składnika, stosując opakowania z polimeru polywinyloвого, nylonowego i celulozowego do opakowania żywności. Mecitoğlu i wsp. [39] opracowali antymikrobiologiczny film kukurydziany, zawierający częściowo oczyszczony lizozym z jaja kurzego, który hamuje rozwój *Bacillus subtilis* i *Lactobacillus plantarum*, a po dodaniu EDTA (kwasu etylenodiaminotetraoctowego) folia również hamowała rozwój *Escherichia coli*. Monte i wsp. [42] wykazali, że folia poliwinylalkoholowa z powierzchnią pokry-

tą lizozymem skutecznie hamowała rozwój bakterii przetrwalnikujących *Alicyclobacillus acidoterrestis*, odpowiadających za psucie się napojów. Natomiast Conte i wsp. [15] potwierdzili aktywność antymikrobiologiczną wobec *Micrococcus lysodeikticus* lizozymu wkomponowanego w strukturę folii poliwinylalkoholowej za pomocą glikolu i kwasu chlorowego jako katalizatora. Park i wsp. [49] opracowali folię chitozanową z dodatkiem lizozymu, która ma właściwości antymikrobiologiczne wobec bakterii typu *Escherichia coli* i *Streptococcus faecalis*. Rubra i wsp. [52], wykorzystując nanotechnologię, uzyskali wielowarstwową antymikrobiologiczną folię poliaktydowo-glutaminową (PLGA) zawierającą lizozym.

**Bakteriocyny** są polipeptydami o właściwościach antymikrobiologicznych, produkowanymi głównie przez bakterie kwasu mlekowego. Uznawane są za naturalne substancje konserwujące. Najbardziej znaną bakteriocyną jest nizyna o aktywności antymikrobiologicznej wobec bakterii kwasu mlekowego, bakterii Gram dodatnich (*Listeria* ssp., *Bacillus* ssp., *Staphylococcus aureus*) oraz bakterii gatunku *Clostridium perfringens*. Aktywność nizyny polega na tworzeniu przejściowych porów w błonie cytoplazmatycznej, po czym następuje zanikanie potencjału błony cytoplazmatycznej i utrata metabolitów wewnątrzkomórkowych, powodując tym samym obumieranie całej komórki mikroorganizmu. Bakterie Gram ujemne mają barierę ochronną w błonie cytoplazmatycznej, która ochrania komórkę przed działaniem nizyny. Nizyna jest jedyną bakteriocyną dopuszczoną do stosowania jako środek konserwujący w przemyśle spożywczym. Przepisy unijne zezwalają na stosowanie nizyny jako dodatku do żywności (E 234) – do kremów i serów [54, 58].

W ostatnich latach wielu badaczy zainteresowało się włączeniem nizyny do opakowań żywności. Lee i wsp. [34] badali wpływ kartonu (kopolimeru winyloacetyloetylenowego) zawierającego nizynę i chitozan na kinetykę wzrostu niepożądanego flory mikrobiologicznej w mleku i soku pomarańczowym. Stwierdzili wyraźną poprawę jakości mikrobiologicznej mleka oraz soku pomarańczowego przechowywanego w temperaturze 10 °C. Natomiast w temperaturze 20 °C zauważono minimalny wpływ opakowania na jakość mikrobiologiczną mleka. Z kolei Muriello i wsp. [44] wykazali, że folia o małej gęstości polietylenu (LDPE) powleczona nizyną hamuje rozwój *Micrococcus luteus* ATTC 1240 w mleku surowym i pasteryzowanym. Podwyższona temperatura oraz niskie pH powodowały uwalnianie się nizyny z foli. Zatem folia zawierająca nizynę może kontrolować rozwój flory bakteryjnej mleka. Krejcova i wsp. [33] potwierdzili, że film LDPE powleczony preparatem NisaplinReg, zawierającym nizynę, zapobiega rozwojowi bakterii kwasu mlekowego, tlenowych bakterii przetrwalnikujących oraz *Bacillus cereus* w serach oraz produktach mięsnych. Scannell i wsp. [53] stworzyli bioaktywne woreczki celulozowe oraz polietyleno-poliamidowe zawierające bakteriocyny lacticin 3147 i nizynę. W warunkach chłodniczych opakowanie antymikrobiologiczne ograniczyło rozwój bakterii kwasu mlekowego w zapa-

kowanym w atmosferze modyfikowanej plasterkowanym serze i szynce, tym samym wydłużając ich okres przechowywania. Nizyna wyraźnie ograniczyła rozwój komórek *Listeria innocua* ( $\geq 2$  log jednostek) w obydwu produktach, a także *Staphylococcus aureus* (1,5 log jednostek) w serze i (2,8 log jednostek) szynce. Guerra i wsp. [24] opracowali celofan pokryty nizyną, powodujący znaczące zmniejszenie ogólnej liczby bakterii tlenowych w świeżym mięsie cielęcym przechowywanym przez 12 dni w temperaturze 4 °C. Cha i wsp. [12] wykazali, że zastosowanie nizyny w opakowaniu produktu sojowego – tofu umożliwiło zapobieżenie występowaniu *Listeria monocytogenes* oraz powtórnemu zakażeniu produktu przechowywanego w otwartym opakowaniu w domowej chłodziarce. Lee i wsp. [35], wykorzystując nizynę oraz  $\alpha$ -tokoferol, otrzymali papier mający właściwości antymikrobiologiczne i antyoksydacyjne. Nizyna hamowała rozwój *Micrococcus flavus*, natomiast  $\alpha$ -tokoferol opóźnił proces utlenianie tłuszczu w śmietanie. Zatem udowodnili, że papier zawierający nizynę i  $\alpha$ -tokoferol może zapobiegać zmianom jakości mikrobiologicznej i chemicznej łatwo psującej się żywności. Ponadto wielu badaczy zajmowało się utworzeniem jadalnych powłok zawierających nizynę. Sebti i wsp. [55] opracowali jadalną powłokę hydroksy-propylo-metylo-celulozową zawierającą nizynę, która kontrolowała rozwój *Listeria monocytogenes* oraz *Staphylococcus aureus* na powierzchni żywności. Natomiast Coma i wsp. [14] dowiedli, że ten sam film hamował rozwój *Listeria innocua*. Ming i wsp. [42] otrzymali folię celulozową zawierającą inną bakteriocynę – pediocynę, która całkowicie zahamowała rozwój *Listeria monocytogenes* w produktach mięsnych przechowywanych w temperaturze 4 °C przez 12 dni.

**Chelat EDTA** (kwas etylenodiaminotetraoctwy) wzmacnia aktywność antymikrobiologiczną lizozymu i nizyny wobec *E. coli*, *L. monocytogenes* *Salmonella typhimurium* oraz bakterii Gram ujemnych [7, 41]. EDTA destabilizuje ścianę komórkową bakterii przez tworzenie kompleksu z kationami dwuwartościowymi, które działają jak pomost pomiędzy cząsteczkami membranowymi [6]. Cutter i wsp. [16] udowodnili, że folia polietylenowa zawierająca nizynę oraz EDTA jako czynnik chelatujący ma lepsze właściwości antymikrobiologiczne niż folia polietylenowa zawierające jedynie nizynę. Padgett i wsp. [48] opracowali kukurydzianą folię zawierającą nizynę lub lizozym oraz EDTA, która zapobiegała rozwojowi *Escherichia coli* oraz *Lactobacillus plantarum*. Natomiast Kandemir i wsp. [32] wykorzystali pullan do otrzymania folii antymikrobiologicznej zawierającej lizozym, który po dodaniu EDTA hamował rozwój *Escherichia coli*.

**Olejki eteryczne** oraz ich składniki stały się popularnymi naturalnymi środkami antymikrobiologicznymi. Nielsen i wsp. [45] dowiedli, że olejek eteryczny gorczycy (*Brassica*) i czosnku (*Allium*) oraz oleożywice cynamonu (*Cinnamomum*) dodane do opakowanego chleba w atmosferze modyfikowanej mogłyby kontrolować powstawanie pleśni. Seydim i wsp. [56] wykazali, że jadalne izolowane białkowo serwatkowe,

folie zawierające olejki eteryczne oregano (*Origanum minutiflorum*) oraz czosnku (*Allium sativum* L.) hamowały wzrost *Staphylococcus aureus*, *Salmonella enteritidis*, *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli*. Takie folie mogłyby znaleźć zastosowanie jako opakowania do sosów czy plasterkowanych serów. Zivanovic i wsp. [67] dowiedli, że powłoki chitozanowe wzbogacone olejkami eterycznymi z oregano (*Origanum vulgare*) miały silniejszą aktywność antymikrobiologiczną wobec *Listeria monocytogenes* niż *Escherichia coli*. Natomiast Pronato i wsp. [50] uzyskali powłoki chitozanowe zawierające nizinę, sorbinian potasu oraz dodatkowo wzbogacone olejkami eterycznymi z czosnku (*Allium sativum* L.), które hamowały rozwój następujących bakterii: *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella typhimurium*, *Listeria monocytogenes* oraz *Bacillus cereus*.

### **Czynniki wpływające na skuteczność opakowania antymikrobiologicznego i kontrola migracji składnika antymikrobiologicznego oraz kinetyki wzrostu mikroorganizmów**

Przy projektowaniu opakowania antybakteryjnego należy wziąć pod uwagę następujące czynniki: charakterystykę składnika antymikrobiologicznego (wybór sposobu wkomponowania, toksyczność, kontrolowanie procesu migracji do wnętrza opakowania, odporność mikroorganizmów); charakterystykę produktu (mikrobiologiczną, chemiczną, warunki przechowywania); charakterystykę opakowania (fizyczne i chemiczne właściwości użytego materiału) oraz przepisy prawne.

Szybsza migracja składnika antymikrobiologicznego do żywności, w stosunku do rozwoju mikroorganizmów, może doprowadzić do wcześniejszego wyczerpania się składnika i utraty przez opakowanie funkcji antymikrobiologicznej podczas przechowywania, czego wynikiem może być wzrost mikroorganizmów. Jednak pozytywną stroną migracji składnika z opakowania do produktu żywnościowego jest zahamowanie rozwoju mikroorganizmu na powierzchni produktu. Zachowanie wyższego stężenia składnika niż minimalne stężenie potrzebne do zahamowania rozwoju mikroorganizmów na powierzchni produktu zapewnia utrzymanie właściwości opakowania antymikrobiologicznego. Wielkość pH produktu oraz rozpuszczalność składnika również odgrywa ważną rolę w procesie migracji. Dokładne poznanie mechanizmu i szybkości migracji składnika antymikrobiologicznego do wnętrza opakowania i produktu podczas całego okresu przechowywania może zagwarantować opracowanie skutecznego opakowania antymikrobiologicznego [27].

### **Podsumowanie**

Wzrastające wymagania konsumentów dotyczące świeżego oraz bezpiecznego produktu przez cały okres przechowywania wskazują na konieczność stosowania opa-



kowań antymikrobiologicznych [21]. Dotychczasowe badania skupione były głównie na opracowywaniu metod wytwarzania opakowań o statycznych funkcjach ochronnych [28]. Przyszłościowe zagadnienia w większym stopniu dotyczyć będą opakowań aktywnych, w szczególności wykorzystania składników antymikrobiologicznych i ich komponowania z polimerami; znalezienia nowych składników o szerokim zakresie działania i niskiej toksyczności oraz ograniczenia tradycyjnych środków konserwujących. Współpraca pomiędzy ośrodkami naukowymi a przemysłem i instytucjami rządowymi może zapewnić opakowaniom antymikrobiologicznym przewagę nad opakowaniami tradycyjnymi obecnie stosowanymi w opakowalnictwie produktów żywnościowych [3].

### Literatura

- [1] An D.S., Kim Y.M., Lee S.B., Paik H.D., Lee D.S.: Antimicrobial low density polyethylene film coated with bacteriocins in binder medium. *Food Sci. Biotechnol.*, 2000, **9**, 14-20.
- [2] Ahvenainen R.: Active and intelligent packaging; in *Novel food packaging techniques*. Ed. by R. Ahvenainen. Woodhead Publishing Limited, Cambridge, England, 2003.
- [3] Appendini P., Hotchkiss J.H.: Immobilization of lysozyme on food contact polymers as potential food antimicrobial film. *Pack. Technol. Sci.*, 1997, **10**, 271-279.
- [4] Appendini P., Hotchkiss J.H.: Review of antimicrobial food packaging. *Int. Food Sci. Emer. Technol.*, 2002, **3**, 113-123.
- [5] Baron J.K., Sumner S.S.: Antimicrobial containing edible films as inhibitory systems to control microbial growth on meat product. *J. Food Prot.*, 1993, **56**, 916.
- [6] Bozaris I.S., Adams M.R.: Effect of chelator and nisin produced in situ on inhibition and inactivation of Gram negatives. *Int. J. Food Microbiol.*, 1999, **53**, 105-113.
- [7] Branem J.K., Davidson P.M.: Enhancement of nisin, lysozyme and monolaurin antimicrobial activities by ethylenediaminetetraacetic acid and lactoferrin. *Int. J. Food Microbiol.*, 2004, **90**, 63-74.
- [8] Brul S., Coote P.: Preservative agents in food. Mode of action and microbial resistance in microorganisms. *Int. J. Food Microbiol.*, 1999, **50**, 1-17.
- [9] Cagri A., Ustunol Z., Osburn W., Ryser E.T.: Inhibition of *Listeria monocytogenes* on hot dogs using antimicrobial whey protein - based edible casings. *J. Food Sci.*, 2003, **68** (1), 291-299.
- [10] Cagri A., Ustunol Z., Ryser E.T.: Antimicrobial, mechanical and moisture barrier properties of low pH whey protein- based edible films containing p-aminobenzoic or sorbic acid. *J. Food Sci.*, 2001, **66** (6), 865-870.
- [11] Cagri A., Ustunol Z., Ryser E.T.: Inhibition of three pathogens on bologna and summer sausage using antimicrobials edible films. *J. Food Sci.*, 2002, **67** (6), 2317-2324.
- [12] Cha D.S., Chen J., Park H.J., Chinnan M.S.: Inhibition of *Listeria monocytogenes* in tofu by use of polyethylene film coated with a cellulosic solution containing nisin; *Int. J. Food Sci. Technol.*, 2003, **38**, 499-503.
- [13] Chen M.C., Yeh G.H.C., Chiang B.H.: Antimicrobial and physicochemical properties of methylcellulose and chitosan films containing a preservative. *J. Food Proc. Pres.*, 1996, **20**, 379-390.
- [14] Coma V., Sebti I., Pardon P., Deschamps A., Pichavant F.H.: Antimicrobial edible packaging based on cellulosic ethers fatty acids and nisin incorporation to inhibit *Listeria innocua* and *Staphylococcus aureus*. *J. Food Prot.* 2001, **64** (4), 470-475.

- [15] Conte A., Buonocore G.G., Sinigaglia M., Del Nobile M.A.: Development of immobilized lysozyme based active film. *J. Food Eng.*, 2007, **(78)**, 741-745.
- [16] Cutter C.N., Siragusa G.R.: Population reduction of gram negative pathogens following treatments with and chelators under various conditions. *J. Food Prot.*, 1995, **58 (9)**, 977-983.
- [17] Cutter C.N., Willet J.N., Siragusa G.R.: Improved antimicrobial activity of nisin-incorporated polymers films by formulation change and addition of grade chelator. *Let. Appl. Microbiol.*, 2001, **33**, 325-328.
- [18] Devlieghere F., Vermeir L., Bockstal A., Debevere J.: Study on antimicrobial activity of a food packaging material containing potassium sorbate. *Act. Alimen.* 2000, **29**, 137-146.
- [19] Dobias J., Chudackova K., Voldrich M., Marek M.: Properties of polyethylene films with incorporated benzoic anhydride and/or ethyl or propyl esters of 4-hydroxybenzoic acid and their suitability for food packaging. *Food Add. Contamin.* 2000, **17 (12)**, 1047-1053.
- [20] Fink J.K.: *Reactive Polymers Fundamentals and Applications*. Williams Andrew Publishing, Norwich, N.Y., USA, 2005.
- [21] Floros J.D., Dock L.L., Han J.H.: Active packaging technologies and applications. *Food Cosmet. Drug Packag.* 1997, **20 (1)**, 10-17.
- [22] Franklin N.B., Cooksey K.D., Getty K.J.K.: Inhibition of *Listeria monocytogenes* on the surface of individually packaged hot dogs with a packaging film coating containing nisin. *J. Food Prot.*, 2004, **67 (3)**, 480-485.
- [23] Gontard N.: Panorama des emballages alimentaire actif, in *Les emballages actifs*, coordonnatrice Gontard N., Editions TEC & DOC, Londres 2000.
- [24] Gosh K.G., Sriatsava A.N., Shmara T.R.: Development and application of fungastic wrappers in food preservation. *J. Food Sci. Technol.*, 1977, **14**, 261- 264.
- [25] Guerra N.P., Macías C.L., Agrasar A.T., Castro L.P.: Development of a bioactive packaging cellophane using Nisaplin® as biopreservative agent. *Lett. Appl. Microbiol.* 2005, **40**, 106-110.
- [26] Han J.H., Rooney M.L.: Active Food Packaging Workshop, Annual Conference of the Canadian Institute of Food Science and Technology (CIFSTA), May 26, 2002.
- [27] Han J.H.: Antimicrobial food packaging, in *Novel food packaging techniques* edited by R. Ahvenainen, Woodhead Publishing Limited, Cambridge, England, 2003.
- [28] Han J.H.: Antimicrobial food packaging. *Food Technology*, 2000, **54 (3)**, 56-65.
- [29] Hansen R., Rippl C., Midkiff D., Neuwirth J.: Antimicrobial absorbent pads. *Us Patent*, 1989, 4 865 855
- [30] Holzapfel W.H., Geisen R., Schillinger U.: Review paper. Biological preservation of foods with references to protective cultures, bacteriocins and food- grade enzymes. *Int. J. Food Microbiol.*, 1995, **24**, 343-362.
- [31] Hotchkiss J.H.: Recent research in MAP and active packaging system in Abstract, 27<sup>th</sup> Annual Convection Australian Institute of Food Science and Technology, Canberra 1995, p 104.
- [32] Kandemir N., Yemenicioğlu, Mecitoğlu C., Elmaci Z.S., Arslanğlu, Göksungur Y., Baysal T.: Production of antimicrobial films by incorporation of partially purified lysozyme into biodegradable films of crude exopolysaccharides obtained from *Aureobasidium pullulans* fermentation. *Food Technol Biotechnol*, 2005, **43 (4)**, 343-350.
- [33] Krejčová O., Svirková E., Dobias J., Plocková M.: Inhibition of lactic acid bacteria and *Bacillus* sp growth in cheese and meat product due to effect of polymer packaging film with incorporated nisin. *Czech J. Food Sci.*, 2004, **22** (special issue), 303-305.
- [34] Lee C.H., Park H.J., Lee D.S.: Influence of antimicrobial packaging on kinetics of spoilage microbial growth in milk and orange juice. *J. Food Eng.*, 2004, **65**, 527-531.

- [35] Lee C.H., An D.S., Lee S.C., Park H.J., Lee D.S.: A coating for use as an antimicrobial and anti-oxidative packaging material incorporating nisin and  $\alpha$  tocopherol. *J. Food Eng.*, 2004, **62**, 323-329.
- [36] Limjaroen P., Ryser E., Lockhart H., Harte B.: inactivation of *Listeria monocytogenes* on beef bologna and cheddar cheese using polyvinylidene chloride films containing sorbic acid. *J. Food Sci.*, 2005, **70** (5), M267- M271.
- [37] López-Rubio A., Almenar E., Hernandez- Muñoz P., Lagarón J.M., Catalá Gavara R.: Overview of active polymer-based packaging technologies for food application. *Food Rev. Int.*, 2004, **20** (4), 357-387.
- [38] Matche R.S., Kulkarni G., Raj B.: Modification of ethylene acrylic acid film for antimicrobial activity. *J. Appl. Polym. Sci.*, 2006, **10** (4), 3063-3068.
- [39] Mecitoğlu C., Yemenicioğlu A., Arslanoğlu, Elmac Z.S., Korel F., Çetin A.E.: Incorporation of partially purified hen egg white lysozyme into zein films for antimicrobial food packaging. *Food Res. Int.*, 2006, **39**, 12-21.
- [40] Miltz X., Passy N., Mannheim C.H.: Trends and applications of active packaging systems. in *Food and packaging materials: chemical interactions*. Ed. Ackerman P., Jägerstad M., Ohlsson T., Cambridge: Royal Society of Chemistry, 1997, pp. 201-220.
- [41] Ming X., Weber G.H., Ayres J. W., Sandine W.E.: Bacteriocins applied to food packaging materials to inhibit *Listeria monocytogenes* on meat. *J. Food Sci.*, 1997, **62** (2), 413-415.
- [42] Monte A., Sinigaglia M., Del Nobile M.A.: Antimicrobial effectiveness of lysozyme immobilized on polyvinylalcohol – based film against *Alicyclobacillus acidoterrestis*. *J. Food Prot.*, 2006, **69** (4), 861-865.
- [43] Muriello G., Ercolini D., La Storia A., Casaburi A., Villani F.: Development of polythene films for food packaging activated with an antisterial bacteriocin from *Lactobacillus curvatus 32Y*. *J. Apl. Microbiol.*, 2004, **97**, 314-322.
- [44] Muriello P., De Luca E., La Storia A., Viliani F., Ercolini D.: Antimicrobial activity of a nisin-activated plastic film for food packaging. *Lett. Appl. Microbiol.*, 2005, **41**, 464-469.
- [45] Nielsen P.V., Rios R.: Inhibition of fungal growth on bread by volatile components from spices and herbs and the possible application in active packaging with special emphasis on mustard essential oil. *Int J. Food Microbiol.*, 2000, **60**, 219-229.
- [46] Ozdemir M., Floros J.D.: Active food packaging technologies. *Crit. Rev. Food Sc. Nutr.*, 2004, **44**, 185-193.
- [47] Quintavalla S., Vincini L.: Antimicrobial food packaging in meat industry. *Meat Sci.*, 2002, **62**, 373-380.
- [48] Padgett T., Han I.Y., Dawson P.L.: Incorporation of food grade antimicrobial compounds into biodegradable packaging films. *J. Food Prot.*, 1998, **61** (10), 1330-1335.
- [49] Park S.I., Deaschel M.A., Zhao Y.: Functional properties of antimicrobial lysozyme- chitosan composite film. *J. Food Sci.*, 2004, **69** (8), M215-M221.
- [50] Pronato Y., Rakshit S.K., Salokhe V.M.: Enhancing antimicrobial activity of chitosan films by incorporating garlic oils, potassium sorbate and nisin: *Lebensm- Wiss u.-Technol.*, 2005, **38**, 859-865.
- [51] Rooney M.: *Active Food Packaging*. Blackie Academic and Professional London, England, 1995.
- [52] Rudra J.A., Dave K., Haynie D.T. : Antimicrobial polypeptide multilayer nanocoating. *J. Biomater. Sci. Polymer End*, 2006, **17** (11), 1301-1315.
- [53] Scannell A.G.M., Hill C., Ross R.P., Marx S., Hartmieren W., Arendt E.K.: Development of bioactive food packaging materials using immobilized bacteriocins Lactacin 3147 and Nisaplin®. *Int. J. Food Microbiol.*, 2000, **60**, 241-249.
- [54] Schillinger U., Geisen R., Holzapfel W.H.: Potential of antagonistic microorganisms and bacteriocins for the biological preservation of foods. *Trends Food Sci. Technol.* 1996, **7**, 158-164.

- [55] Sebti I., Coma V.: Active edible polysaccharide coating and intereactions between solution coating compounds. *Carbohydr. Polym.* 2002, **49**, 139-144.
- [56] Seydim A.C., Sarikus G.: Antimicrobial of activity of whey proteins based edible films incorporated with oregano rosemary and garlic essential oils. *Food Res. Int.* 2006, **39**, 639-644.
- [57] Soares N.F.F., Rutishauser D.M., Melo N., Cruz R.S., Andrade N.J.: Inhibition of microbial growth in bread through active packaging. *Packag. Technol. Sci.*, 2002, **15**, 129-132.
- [58] Solomakos N, Govaris A.: Nisin and its food application. *Deltion tes Ellenikes- Kteniatrikes- Et- aireias, J. Vet. Med. Soc.*, 2005, **56 (2)**, 122-129.
- [59] Sonneveld K.: What driver (food) packaging innovation?. *Pack. Technol. Sci.* , 2000, **13 (1)**, 29-35.
- [60] Vartiainen J., Skytta E., Enqvist J., Ahvenainen R.: Properties of antimicrobial plastics, containing traditional food preservatives. *Packag. Technol. Sci.*, 2003, **16 (6)**, 223-229.
- [61] Vermeirein L., Devlieghere F., Dabereve J.: Effectiveness of some recent antimicrobial packaging concept. *Food Add. Contamin.* 2002, **19 Suppl.**, 163-171.
- [62] Vermeirein L., Devlieghere F., Dabereve J.: New preservation technologies: possibilities and limitation; *Int. Dairy J.*, 2004, **14**, 273- 285.
- [63] Vermeiren L., Devilghere F., van Beest M., de Kruijf N., Debevere J.: Development in active packaging of foods. *Trends Food Sci. Technol.*, 1999, **10**, 77-86.
- [64] Weng Y.M., Chen M.J, Chem W.M.: Benzoyl chloride modified ionomer films as antimicrobial food packaging materials. *Int. Food Sci. Technol.*, 1997, **32**, 229-234.
- [65] Weng Y.M., Chen M.J, Chem W.M.: Antimicrobial food packaging materials from poly ethylene-co-methaacrylic acid. *Lebensm- Wiss u.-Technol.*, 1998, **32 (4)**, 191-195.
- [66] Weng Y.M., Chen M.J.: Sorbic anhidryde as anitmycotic additive in polyethylene food packaging films. *J. Plastic Films Sh*, 1997, **13**, 287-298.
- [67] Zivanovic S., Chi S., Draughon A.F.: Antimicrobial activity of chitosan films enriched with essential oils. *J. Food Sci.*, 2005, **70 (1)**, M45-M51.

## ANTIMICROBIAL FOOD PACKAGINGS

### S u m m a r y

The increasing consumer demand for safety, healthy, minimally processed food and for its longer shelf- life forces the food industry to introduce, among other things, active packagings including antimicrobial food packagings. The major components of such packagings comprise: benzoic acid, sorbic acid, their salts, nisin, lysozyme, essential oils, and others. Those components, adequately incorporated into the matrices of packagings, protect against or reduce the development of many micro-organisms, such as: *Listeria monocytogenes*, *Salmonella typhimurium*, *Staphylococcus aureus*, or moulds: *Penicillium* and *Aspergillus niger*. The effectiveness of antimicrobial packagings depend on what antimicrobial components are selected for the packaging matrix, as well as on the kind of food product to be packed. Those issues constitute the subject of this paper.

**Key words:** antimicrobial packaging, antimicrobial components ☒