

EWELINA BASIAK, ANDRZEJ LENART

POWŁOKI SKROBIOWE STOSOWANE W OPAKOWALNICTWIE ŻYWNOŚCI

Streszczenie

Do przedłużenia trwałości niektórych produktów coraz częściej stosuje się jadalne powłoki skrobiowe. Mają one wiele zalet, wśród których istotne są: biodegradowalność, szeroka dostępność i niska cena. Charakteryzują się dobrymi właściwościami mechanicznymi, optycznymi, sorpcyjnymi, a w połączeniu z innymi składnikami (takimi, jak np. tłuszcze) także właściwościami barierowymi. Są szczególnie przydatne do wprowadzenia substancji dodatkowych do żywności z możliwością ich kontrolowanego uwalniania w czasie spożywania potraw, jak i ich przygotowywania. Powłoki i filmy skrobiowe są wytwarzane najczęściej techniką wylewania. W połączeniu z plastyfikatorem i/lub innymi składnikami tworzą ciągłe struktury nadające się do bezpośredniego powlekania surowców i produktów spożywczych.

Słowa kluczowe: opakowania żywności, powłoki skrobiowe, plastyfikatory, właściwości fizyczne

Wprowadzenie

W opakowalnictwie produktów spożywczych jako materiał opakowaniowy stosuje się najczęściej syntetyczne polimery. Mają one wiele zalet, jak: dostępność surowca, niska cena, łatwość transportowania, duża i wybiórcza barierowość dla gazów, aromatów, wody i pary wodnej. Jednak są wyjątkowo niekorzystne dla środowiska naturalnego z uwagi na ich długotrwały rozkład. Opakowania biodegradowalne wymagają zazwyczaj specjalnych warunków do kompostowania, a ich cena jest wyższa niż syntetycznych. Innym sposobem zagospodarowania i zmniejszenia masy produkowanych odpadów mogą stać się powłoki jadalne.

Właściwości powłok jadalnych

Żywność surowa oraz produkty o małym stopniu przetworzenia są przedmiotem wzrastającego zainteresowania konsumentów. Przy ich wprowadzaniu na rynek istotne

Mgr inż. E. Basiak, prof. dr hab. A. Lenart, Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji, Wydz. Nauk o Żywności, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, ul. Nowoursynowska 159 C, 02-776 Warszawa

znaczenie odgrywa ochrona środowiska, tzn. dąży się do wytwarzania jak najmniejszej ilości opakowań, gdyż po jednokrotnym użyciu stają się odpadami [3, 38]. Problemu nie rozwiązują powłoki nakładane bezpośrednio na produkt lub filmy otrzymane poza nim, wytwarzane z syntetycznych polimerów, takich jak: polietylen niskiej gęstości, chlorek poliwinylu czy polipropylen. Opakowania te, chroniąc produkty przed uszkodzeniami mechanicznymi, ograniczają kontakt żywności ze środowiskiem, ale ich wadą są wysokie koszty utylizacji [37].

Alternatywą tego typu opakowań są jadalne i/lub biodegradowalne powłoki. Wytwarza się je z węglowodanów, białek i tłuszczów lub też mogą być kombinacją białek z węglowodanami i węglowodanów z tłuszczami [3, 7]. Źródłami polisacharydów są np. korzenie warzyw i ziarna zbóż oraz pektyny, alginiany i celuloza wyizolowane z komórek roślin oraz karageny z wodorostów morskich. Białkami wykorzystywanymi do produkcji powłok są m.in. białka serwatkowe i sojowe oraz gluten pszeniczny, zaś tłuszczami estry, mono-, di- i triacyloglicerole, woski pszczele i żywice [15, 16, 33].

Główną funkcją powłok jadalnych jest zapobieganie wymianie wody i innych substancji tj. tlenu, ditlenku węgla i związków aromatycznych pomiędzy produktem a otoczeniem albo pomiędzy różnymi warstwami w materiale. Oprócz właściwości barierowych powłoki mogą spowalniać absorpcję pary wodnej w produktach o małej zawartości wody np. w krakersach [34]. Wpływają na przenoszenie substancji przeciwdrobnoustrojowych, składników aromatu, barwników albo na polepszenie właściwości mechanicznych żywności. Dodatkowo mogą być używane jako aktywne składniki materiałów opakowaniowych [29, 34]. Powinny charakteryzować się dobrymi właściwościami wiążącymi, adhezyjnymi i plastycznymi. Jadalne powłoki białkowe i polisacharydowe cechują się większą siłą rozciągania i lepszą selektywnością w stosunku do gazów niż tłuszcze, ale mniejszą barierowością wody, ponieważ są hydrofilowe. Mniejsza przepuszczalność pary wodnej w materiałach hydrofobowych, np. w tłuszczach, powoduje, że są one dodawane do powłok hydrofilowych poprzez laminowanie, czyli pokrycie cienką warstwą lub poprzez wytworzenie emulsji [7, 37].

Charakterystyka powłok skrobiowych

Skrobia jest jednym z najważniejszych naturalnych biopolimerów w technologii żywności, w szczególności w projektowaniu właściwości reologicznych żywności [3, 25, 28]. Równocześnie może ona być jednym z najważniejszych składników materiałów opakowaniowych. Ma wiele pozytywnych cech, m.in. relatywnie niską cenę (znacznie tańsza od polietylenu), dostępność i biodegradowalność. Ponadto jest jadalna i łatwa w obróbce technologicznej [12, 14, 26, 27, 35, 39].

Skrobia, jako węglowodan zapasowy, stanowi główny składnik energetyczny roślin wyższych (nawet około 90 % suchej masy) [9]. Jest najczęściej akumulowana w bulwach, nasionach i korzeniach [4, 35]. Największym źródłem skrobi dla przemy-

słu są kolejno: kukurydza, pszenica, maniok jadalny, ziemniak i ponownie docenione – szarłat i komosa ryżowa [4, 18]. Ważną rolę odgrywa skrobia natywna, jak i modyfikowana [19, 35].

W zależności od rodzaju surowca ziarna skrobi różnią się od siebie składem, rozmiarem i kształtem. Cechy te przekładają się na funkcjonalność, właściwości barierowe, mechaniczne i sorpcyjne. Z kolei właściwości sorpcyjne skrobi wpływają na skład powłok, proces ich formowania, metody nakładania na produkt i zastosowanie [18, 21, 26].

Cząsteczka skrobi zbudowana jest z dwóch rodzajów polimerów D-glukozy: amylozy (20 - 30 %) i amylopektyny (70 - 80 %). Amyloza jest polimerem składającym się z łańcuchów liniowych, połączonych wiązaniami α -1,4-glikozydowymi. Natomiast w amylopektynie większość stanowią wiązania α -1,6-glikozydowe zapewniające rozgałęzienie łańcucha liniowego, z częścią wiązań liniowych α -1,4-glikozydowych. Skrobia pochodząca z różnych źródeł ma różny stosunek amylozy do amylopektyny i przez to różne właściwości [19, 21, 29, 32, 35, 40]. Przewaga amylozy w skrobi powoduje, że filmy z niej otrzymane są bardziej wytrzymałe, zaś rozgałęziona struktura amylopektyny prowadzi do uzyskania powłok o zróżnicowanych właściwościach mechanicznych – o mniejszej sile rozciągania w porównaniu z tymi, które zawierają więcej amylozy [35]. W celu uzyskania powłok z dużym dodatkiem amylozy stosuje się np. modyfikację genetyczną. Tego typu surowce są jednak bardzo kosztowne i nie we wszystkich krajach są dozwolone. Stąd inną, bardziej powszechną techniką separacji amylozy jest jej selektywne ługowanie. Polimery te ekstrahuje się ze skrobi poprzez ługowanie w gorącej wodzie (50 - 70 °C) [3, 35]. Po ochłodzeniu ze skrobi uzyskuje się cenne w przemyśle spożywczym żele [33]. W czasie żelowania amyloza i amylopektyna ulegają wewnątrz- i międzycząsteczkowemu sieciowaniu. W rezultacie dochodzi do produkcji makrocząsteczkowych sieci [19, 41].

Możliwości wykorzystania jadalnych powłok na bazie skrobi są bardzo duże. Wynika to z zalet tego surowca, przede wszystkim z dobrej barierowości dla gazów. Najważniejszym ograniczeniem w użyciu skrobi jest wysoka przepuszczalność pary wodnej, która dodatkowo negatywnie wpływa na właściwości mechaniczne powłoki [26]. Pod wpływem wysokiej wilgotności względnej otoczenia powłoki mogą się fałdować (związać w rulon) lub wyginać. Właściwości mechaniczne filmów skrobiowych są determinowane przez jednokierunkową siłę rozciągania. Eksperymentalna krzywa naprężenia jest używana do obliczania wytrzymałości na rozciąganie powłok, odkształceń i wydłużenia prowadzących do zerwania lub pęknięcia. Właściwości te są zależne od długości łańcuchów polimerowych, interakcji łańcuchów i grubości powłok [24]. Badana jest również barierowość powłok w stosunku do drobnoustrojów. Mimo że drobnoustroje chorobotwórcze tj. *Escherichia coli* czy *Staphylococcus aureus* po-

winy być kontrolowane w przemyśle spożywczym, badania ich obecności w powłokach wykonuje się bardzo rzadko [27].

Właściwości funkcjonalne, mechaniczne i barierowe powłok spożywczych nie powinny być modyfikowane chemicznie. Dodatki tego typu są niepożądane przez konsumentów, ponieważ powłoki i filmy są spożywane razem z produktem i muszą spełniać wszystkie wymogi dotyczące produkcji żywności bezpiecznej dla zdrowia. Dlatego preferuje się znacznie bardziej złożone postępowanie, jak np. modyfikację właściwości skrobi. Powłoki wytwarzane z tego typu skrobi mogą mieć bardzo zróżnicowane właściwości użytkowe. Skrobia utleniona jest szeroko wykorzystywana w przemyśle, gdyż zapewnia uzyskanie bardzo dobrych zdolności powłokotwórczych [41]. Natomiast roztwór powłokotwórczy ze skrobi natywnej z tapioki wymaga zawsze intensywnej homogenizacji przed utworzeniem powłoki [5].

Plastyfikatory i dodatki strukturalne w powłokach skrobiowych

Właściwości sensoryczne, odżywcze, użytkowe, w tym i mechaniczne powłok jadalnych mogą być modyfikowane poprzez dodatek różnych substancji, tzw. plastyfikatorów [26]. Włączenie do struktury tych substancji jest niezbędne w celu uzyskania elastycznych powłok [39]. Filmy składające się wyłącznie ze skrobi mają dużą energię kohezji. Plastyfikatory redukują tę siłę poprzez zmniejszenie międzycząsteczkowych wiązań wodorowych występujących pomiędzy łańcuchami polimerów [14]. Lourdin i wsp. [20] porównywali mechaniczne właściwości filmów skrobiowych z dodatkiem plastyfikatora i bez niego. Powłoki z samej skrobi charakteryzowały się siłą rozciągania w granicach 45 MPa, a z glicerolem około 10 MPa. Dodatek plastyfikatora powoduje wzrost przestrzeni międzycząsteczkowych, a tym samym wpływa na zwiększenie ruchliwości cząsteczek, prowadzącej do obniżenia stopnia krystalizacji, zmiany modułu Younga i siły rozciągania [21, 23, 26, 34]. Smits i wsp. [30] wykazali, że tendencja do krystalizacji skrobi ziemniaczanej może być znacznie zredukowana, kiedy plastyfikator będzie w kontakcie z większą liczbą grup -OH podczas żelowania.

Oprócz poprawy elastyczności i siły rozciągania plastyfikatory sprawiają, że powłoki nie są twarde i kruche oraz nie pękają [14]. Zmniejszając ich sztywność zwiększają rozciągliwość polimerów poprzez zmniejszenie sił międzycząsteczkowych oddziałujących między sąsiadującymi łańcuchami [26, 34]. Poprawiają ich właściwości strukturalne, ale wpływają też często negatywnie na właściwości barierowe [26, 33].

W przypadku dodawania do roztworu powłokotwórczego skrobi tylko jednego plastyfikatora w dużej ilości może nastąpić rozdzielanie faz i krystalizacja plastyfikatora [34]. Natomiast kiedy jest obecny więcej niż jeden plastyfikator (oprócz wody) dochodzi do oddziaływań typu plastyfikator – plastyfikator. Ta interakcja prowadzi do uwydatnienia właściwości obu dodatków [23]. Stosowane plastyfikatory muszą być kompatybilne z głównymi składnikami, to jest z polimerami powłokotwórczymi [34].

Dlatego też najpopularniejszymi plastyfikatorami dodawanymi do powłok skrobiowych są alkohole polihydroksylowe tj. glicerol, sorbitol, ksylitol i mannitol [38]. Nie powodują one sieciowania filmów podczas magazynowania i stanowią barierę dla różnego rodzaju gazów [21]. Oprócz tego wpływają na właściwości powłok, tj. sorpcję wody, migrację pary wodnej i właściwości mechaniczne [33].

Alkohole polihydroksylowe mają tendencję do silnej adsorpcji wody, która zależy od masy cząsteczkowej i liczby grup hydroksylowych [23]. Jednym z najczęściej używanych plastyfikatorów wśród alkoholi polihydroksylowych jest glicerol. Uwydatnia on właściwości mechaniczne, ponieważ ma naturę hydrofilową [38]. Jego dodatek w odpowiedniej ilości może wpływać na interakcje pomiędzy łańcuchami innych polimerów poprzez zmianę wartości i sił wiązań wodorowych [4]. Powoduje także, że otrzymane powłoki są przezroczyste, cienkie, elastyczne i mają jednolitą formę [4, 38]. Glicerol jest rozpuszczalny w wodzie, polarny, nietłoczny, daje się łatwo mieszać ze skrobią. Jego zawartość wpływa także na temperaturę przemiany szklistej oraz na takie właściwości powłok skrobiowych, jak sorpcja i przepuszczalność pary wodnej [39].

Adhikari i wsp. [2] badali właściwości powłok ze skrobi kukurydzianej o małej zawartości amylozy z dodatkiem glicerolu (3 grupy hydroksylowe) i ksylitolu (5 grup hydroksylowych) w stosunku do skrobi 1 : 1. Wykazali, że ksylitol w porównaniu z glicerolem jest bardziej efektywnym plastyfikatorem, ma większą masę cząsteczkową i tendencję do tworzenia silniejszych wiązań wodorowych z cząsteczkami skrobi. Ksylitol jako plastyfikator powodował większą migrację wilgoci i miał lepsze właściwości dyfuzyjne. Muscat i wsp. [23] wykazali, że jego dodatek w ilości poniżej 15 % powodował kruchość i łamliwość filmów. W tych powłokach, w których dodatek ksylitolu był na poziomie powyżej 30 %, po kondycjonowaniu do wilgotności względnej 52,9 % dochodziło do rozdzielenia faz. Optymalnym rozwiązaniem okazało się połączenie glicerolu z ksylitolem. Filmy z udziałem obu plastyfikatorów miały mniejszą zawartość wilgoci niż te, które zawierały tylko jeden alkohol polihydroksylowy [23].

Woda również pełni funkcję plastyfikatora w powłokach polisacharydowych. Jej zawartość ma istotne znaczenie w kształtowaniu właściwości powłok i filmów skrobiowych [35, 41]. Gdy zawartość wody w filmach rośnie, wzrasta znacząco aktywność wody i analogicznie, gdy zawartość wody zmniejsza się, istotnie maleje aktywność wody [33]. Najlepszym narzędziem do kontroli zawartości wody w powłokach polisacharydowych jest przebieg izoterm sorpcji pary wodnej [13]. Woda jest także dobrym rozpuszczalnikiem innych substancji, takich jak: glukoza, sacharoza, ksyloza, sorbitol i glicerol [5].

Wiedza z zakresu plastyfikatorów, a w szczególności alkoholi polihydroksylowych, jest niezbędna do jak najefektywniejszego przygotowania powłok i filmów skrobiowych o pożądanym cechach, jak np. o małej bądź dużej zawartości amylozy [23]. Talija i wsp. [33] zauważyli, że zwiększenie zawartości amylozy w skrobi kuku-

rydzianej powoduje wzrost stopnia krystalizacji składników filmów. Dodatek plastyfikatora niweluje te niepożądane zmiany. Jednak ilość plastyfikatora musi być kontrolowana. Duża zawartość alkoholi polihydroksylowych powoduje rozdzielenie faz, a powierzchnia filmu jest lepka (dodatek glicerolu) i dochodzi do krystalizacji części składników (ksylitol i sorbitol). Do filmów z natywnej skrobi ziemniaczanej Talijska i wsp. [33] dodawali taką samą ilość glicerolu, ksylitolu i sorbitolu. Każdy alkohol inaczej wpływał na właściwości powłok, z uwagi na inną masę cząsteczkową. Np. przepuszczalność pary wodnej malała ze wzrostem masy cząsteczkowej plastyfikatora.

Kwasy tłuszczowe są dodawane do powłok skrobiowych w celu obniżenia przepuszczalności pary wodnej. Jej zawartość jest zazwyczaj duża w powłokach i filmach polisacharydowych, ponieważ są one silnie hydrofilowe. Galus i Lenart [11] wykazali, że dodatek kwasów tłuszczowych do powłok i filmów oddziałuje na ich właściwości i wpływa na zdolność krystalizacji podczas formowania powłok i ich późniejszego przechowywania. Jiménez i wsp. [14], badając powłoki i filmy na bazie skrobi kukurydzianej, zauważyli, że kwasy tłuszczowe (palmitynowy i stearynowy) w kontakcie z glicerolem i przy zawartości wody poniżej 10 % zmniejszają temperaturę przemiany szklistej i żelowania powłok skrobiowych.

Środki powierzchniowo czynne, jako substancje, które mają jednocześnie charakter hydrofilowy i hydrofobowy, mogą być włączane w strukturę filmów skrobiowych w celu zredukowania napięcia powierzchniowego roztworów powłokotwórczych, poprawienia zwilżalności i zmiany siły adhezji [7, 26]. Villalobos i wsp. [36] wykazali, że dodatek środków powierzchniowo czynnych (Span 60 i estru sacharozy P1570) do powłoki istotnie wpływa na równowagową zawartość wody i zwiększa barierowość w stosunku do wody w filmach z hydroksypropylometylocelulozy. Z kolei Rodríguez i wsp. [26] zaobserwowali, że powłoki ze skrobi ziemniaczanej z dodatkiem takich substancji, jak Tween 20, Span 80 i lecytyna nie wykazują istotnego wzrostu barierowości dla wody, ale mają zróżnicowane właściwości mechaniczne.

Wytwarzanie powłok skrobiowych

Podczas wytwarzania powłok skrobiowych dąży się do uzyskania materiałów homogenicznych, cienkich i wytrzymałych [10]. Filmy produkowane z jednego rodzaju skrobi mają zróżnicowane właściwości. W celu poprawy niezadowolających cech stosuje się mieszaniny kilku biopolimerów. Takie powłoki składają się z 2 - 3 rodzajów skrobi i są przygotowywane za pomocą różnych metod [12]. Podczas wytwarzania ważne jest też, żeby skrobia w pełni rozpuszczała się w wodzie lub w innych rozpuszczalnikach. Taki efekt można uzyskać przez wytwarzanie powłok następującymi sposobami: wylewanie, ekstruzja, termiczne formowanie, wtryskiwanie, powlekanie i wydmuchiwanie. Najpopularniejszą i najczęściej stosowaną z tych metod jest wyle-

wanie, czyli tzw. metoda na mokro. Technika ta jest preferowana z tego względu, że powłoki można łatwo nakładać bezpośrednio na produkty spożywcze [10].

Jednym z najważniejszych parametrów przy wytwarzaniu powłok skrobiowych za pomocą metody na mokro są warunki suszenia. Mają one istotny wpływ na właściwości mechaniczne i barierowe, decydują o produkcie końcowym, np. jego homogeniczności itp. Podczas doboru urządzenia suszarniczego i warunków procesu ważne jest, by otrzymane produkty nie były zbyt wilgotne lub przesuszone [4].

Rodríguez i wsp. [26] przygotowywali wodny roztwór skrobi ziemniaczanej i podgrzewali go w łaźni wodnej w temp. 70 °C przez 30 min. Następnie dodawali 20 % glicerolu względem pierwotnej masy skrobi i 0,5 lub 5 % środka powierzchniowo czynnego Tween 20 lub Merc 80, także względem masy skrobi. Roztwory homogenizowano przez 10 min przy prędkości 19000 rpm i 5 min przy 22000 rpm. Wylewano 50 g tak przygotowywanego roztworu na płytkę Petriego o średnicy 147 mm i suszono w komorach klimatycznych (temp. 60 °C, wilgotność względna 60 %) przez około 24 h. Następnie zdejmowano powłoki z płytek i mierzono m.in. ich grubość, napięcie powierzchniowe, przepuszczalność pary wodnej i wytrzymałość na zerwanie.

Dias i wsp. [8] uzyskiwali jadalne powłoki skrobiowe również techniką wylewania. Wodny roztwór zawierał 5 % skrobi ryżowej i był mieszany przez 15 min, przy prędkości 4000 rpm. Jako plastyfikator był dodawany glicerol i sorbitol w ilości 0,20 lub 0,30 g/g skrobi. Całość podgrzewano w łaźni wodnej w temp. 85 °C przez 1 h. Następnie mieszaninę, po wylaniu na płytki, suszono w 30 °C w suszarce z cyrkulacją powietrza. Po upływie 14 h powłoki były zdejmowane z płytek i poddawane analizom. Wyznaczano izotermę sorpcji pary wodnej, współczynniki dyfuzji i rozpuszczalności oraz grubość i gęstość.

Wytwarzanie powłok skrobiowych metodą ekstruzji jest rozwijane od wielu lat. Na proces ten mają istotny wpływ: zawartość wody, temperatura, prędkość obrotów ślimaka w ekstruderze i prędkość podawania surowca. Ekstruzja z zastosowaniem surowców skrobiowych jest bardziej złożona niż z użyciem innych polimerów. Li i wsp. [17] przygotowywali filmy skrobiowe przy użyciu matrycy do wytwarzania powłok. W ekstruderze znajdowało się 8 stref kontroli temperatury. Od pierwszej do szóstej strefy temp. wzrastała od 60 do 115 - 180 °C. W kolejnych strefach malała do 90 - 100 °C. Prędkość obrotów ślimaka w urządzeniu wynosiła 30 - 120 rpm, a wydajność 1,2 - 2,4 kg/h. Po procesie ekstruzji filmy były kondycjonowane przez tydzień w eksykatorach z chlorkiem sodu o wilgotności względnej 75 % w temp. pokojowej. Końcowa zawartość wody, po suszeniu w suszarce próżniowej w temp. 120 °C przez 24 h, wynosiła $17 \pm 0,5$ %.

Chen i wsp. [6] eksperymentowali z mieszaninami skrobi z polimerami syntetycznymi. Do natywnej skrobi wyizolowanej z grochu dodawali syntetyczny polimer polialkohol winylowy (PVA). Jednak nie uzyskano zadowalających właściwości po-

włok. Filmy wykazywały zwiększoną przepuszczalność światła, słabsze właściwości mechaniczne, większą przepuszczalność pary wodnej, a ich wytworzenie było droższe niż filmów ze skrobi modyfikowanej z grochu czy z natywnej skrobi z grochu z nanokryształami.

Zastosowanie powłok skrobiowych

Powłoki ze skrobi charakteryzują się wieloma zaletami: niskim kosztem, są łatwe w otrzymywaniu i zastosowaniu, chronią nie tylko żywność, ale i środowisko przed odpadami z tworzyw sztucznych. W przechowalnictwie owoców i warzyw są wykorzystywane do kontroli wymiany gazów między surowcem a otoczeniem. Dzięki nim dochodzi do modyfikacji składu atmosfery gazowej, będącej w kontakcie z powierzchnią surowców, i mniejszych ubytków wody, co powoduje spowolnienie procesów metabolicznych oraz wydłużenie trwałości przechowywanych surowców [16, 33].

W przemyśle mięsnym powłoki i filmy są najczęściej wykorzystywane jako osłonki do kiełbas. Mogą stanowić również składnik mieszaniny peklującej lub glazurę nanoszoną na produkty mięsne i rybne. Owoce morza, np. krewetki i ośmiornice, pokrywane są powłokami zarówno w formie półproduktu, jak i produktu końcowego. Także sushi z ryżu i ryb pokrywa się filmami z wodorostów morskich (nori). Z kolei papier ryżowy jest coraz częściej stosowany do pakowania żywności, nie tylko w Azji, ale i na świecie. Powłoki i filmy ze skrobi są pozbawione smaku, zapachu i barwy. Stąd dzięki tym pozytywnym cechom mogą być aplikowane m.in. na słodycze [8].

Powłoki ze skrobi umożliwiają pakowanie produktów spożywczych o różnym stopniu przetworzenia. Mogą służyć jako torebki lub saszetki do pakowania suchych składników np. do napojów w proszku. Mogą być też używane do kapsułkowania składników w celu ułatwienia ich dozowania i mieszania [1]. Sothornvit i Pitak [31] wykazali, że cukier może być przechowywany nie tylko w papierowych czy polietylenowych torebkach, ale także w opakowaniach z filmów ze skrobi bananowej. Wprowadzenie do powłok skrobiowych barwników, witamin, przeciwutleniaczy, substancji przeciwdrobnoustrojowych, enzymów itp. umożliwia użycie powłok i filmów jadalnych w technologii żywności [16].

Jadalne filmy i powłoki ze skrobi są coraz częściej wykorzystywane w przemyśle spożywczym. Obecnie dąży się do zmniejszenia masy powłok oraz do zastosowania ich do produktów niszowych. Planuje się również zastąpienie etykiet i folii polietylenowych powłokami skrobiowymi. Drukowanie lub grawerowanie informacji o produkcie i producencie może następować bezpośrednio na powłoce. Jednocześnie przeprowadza się badania nad polepszeniem właściwości barierowych powłok, precyzyjnym dozowaniu substancji aktywnych oraz wytworzeniem powłok i filmów z nanoemulsji skrobiowych i wielowarstwowych laminatów [8].

Podsumowanie

Opakowania w przemyśle spożywczym odgrywają istotną rolę z następujących względów: stanowią barierę dyfuzyjną dla pary wodnej, aromatów i gazów, chronią przed drobnoustrojami i uszkodzeniami mechanicznymi, są łatwe i wygodne, zarówno w transporcie, jak i użyciu przez konsumentów. Powłoki jadalne wytwarzane z biopolimerów, głównie z polisacharydów, takich jak skrobia, stały się alternatywą opakowań syntetycznych. Mogą być spożywane bezpośrednio przez konsumentów, mogą być w nie pakowane różne produkty, bądź mogą stanowić składnik produktów wielowarstwowych. W większości przypadków bardzo szybko rozpuszczają się w wodzie lub w jamie ustnej. Takie rozwiązanie znacznie redukuje masę zużytych opakowań i czas ich rozkładu w warunkach naturalnych.

Powłoki i filmy skrobiowe są używane nie tylko jako opakowanie produktu. Mogą być dodatkiem funkcjonalnym, stanowić warstwę ochronną lub rozdzielającą produkty o różnym pH i o różnej aktywności wody. Ze względu na cechy wynikające z ich struktury powłoki i filmy skrobiowe do żywności można łatwo barwić, wzbogacać w aromaty, enzymy, witaminy i substancje chroniące przed rozwojem drobnoustrojów.

Literatura

- [1] Abdorreza M.N., Cheng L.H., Karim A.A.: Effects of plasticizers on thermal properties and heat sealability of sago starch films. *Food Hydrocoll.*, 2011, **25**, 56-60.
- [2] Adhikari B., Chaudhary D.S., Clerfeuille E.: Effect of plasticisers in the moisture migration behaviour of low-amylose starch films during drying. *Drying Technol.*, 2010, **28**, 468-480.
- [3] Alves V.D., Mali S., Beléia A., Grossman M.V.E.: Effect of glycerol and amylose enrichment on cassava starch film properties. *J. Food Eng.*, 2007, **78**, 941-946.
- [4] Araujo-Farro P., Podadera G., Sobral P.J.A., Menegalli F.C.: Development of films based on quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willdenow) starch. *Carbohydr. Polym.*, 2010, **81**, 839-848.
- [5] Chang Y.P., Karim A.A., Seow C.C.: Interactive plasticizing-antiplasticizing effects of water and glycerol on the tensile properties of tapioca starch films. *Food Hydrocoll.*, 2006, **20**, 1-8.
- [6] Chen Y., Cao X., Chang P., Huneault M.A.: Comparative study on the films of poly(vinyl alcohol)/pea starch nanocrystals and poly(vinyl alcohol)/native pea starch. *Carbohydr. Polym.*, 2008, **73**, 8-17.
- [7] Chen Ch.H., Kuo W.S., Lai L.S.: Effect of surfactants on water barrier and physical properties of tapioca starch/decolorized hsian-tso leaf gum films. *Food Hydrocoll.*, 2009, **23**, 714-721.
- [8] Dias A., Müller C.M.O., Larotonda F.D.S., Laurindo J.B.: Biodegradable films based on rice starch and rice flour. *J. Cereal Sci.*, 2010, **51**, 213-219.
- [9] Embuscado M.E., Huber K.C.: *Edible films and coatings for food applications*, USA, Ed. Springer, New York 2009.
- [10] Fu Z., Wang L., Li D., Wei Q., Adhikari B.: Effects of high-pressure homogenization on the properties of starch-plasticizer dispersions and their films. *Carbohydr. Polym.*, 2011, **86**, 202-207.
- [11] Galus S., Lenart A.: Wpływ emulsji tłuszczowej na właściwości mechaniczne i strukturę powłok serwatkowych. *Acta Agrophys.*, 2010, **16 (2)**, 275-284.
- [12] Ghanbarzadeh B., Almasi H., Entezami A.A.: Physical properties of edible modified starch/carboxymethyl cellulose films. *Innovate Food Sci. Emerg. Tech.*, 2010, **11**, 697-702.

- [13] Godbillot L., Dole P., Joly C., Rogé B., Mathlouthi M.: Analysis of water binding in starch plasticized films. *Food Chem.*, 2006, **96**, 380-386.
- [14] Jiménez A., Fabra M.J., Talens P., Chiralt A.: Effect of re-crystallization on tensile, optical and water vapour barrier properties of corn starch films containing fatty acids. *Food Hydrocoll.*, 2012, **26**, 302-310.
- [15] Kokoszka S., Lenart A.: Edible coatings – formation, characteristics and use – a review. *Pol. J. Food Nutr. Sci.*, 2007, **57**, 399-404.
- [16] Kowalczyk D., Pikula E.: Wpływ jadalnej powłoki białkowo-woskowej na jakość przechowalniczą winogron (*Vitis vinifera* L.). *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2010, **5 (72)**, 66-76.
- [17] Li M., Liu P., Zou W., Yu L., Xie F., Pu H., Liu H., Chen L.: Extrusion processing and characterization of edible starch films with different amylose contents. *J. Food Eng.*, 2011, **106**, 95-101.
- [18] Li Y., Shoemaker Ch.F., Ma J., Shen X., Zhong F.: Paste viscosity of rice starches of different amylose content and carboxymethylcellulose formed by dry heating and the physical properties of their films. *Food Chem.*, 2008, **109**, 616-623.
- [19] Liu Z.: Edible films and coatings from starches, in *Innovations in Food Packaging*. Ed. by Jung Han. Elsevier Academic Press, 2005, pp. 319-351.
- [20] Lourdin D., Valle G.D., Colonna P.: Influence of amylose content on starch films and foams. *Carbohydr. Polym.*, 1995, **27**, 261-270.
- [21] Mali S., Grossmann M.V.E., Garcia M.A., Martino M.N., Zaritzky N.E.: Effects of controlled storage on thermal, mechanical and barrier properties of plasticized films from different starch sources. *J. Food Eng.*, 2006, **75**, 453-460.
- [22] Mitrus M., Wojnowicz A., Mościcki L.: Biodegradable Polymers and Their Practical Utility in Thermoplastic Starch: A Green Material for Various Industries. Ed. by Janssen L., Mościcki L., Wiley-VCH, Weinheim 2009, pp. 1-30.
- [23] Muscat D., Adhikari B., Chaudhary D.S.: Comparative study on film forming behaviour of low and high amylose starches using glycerol and xylitol as plasticizers. *J. Food Eng.*, 2012, **109**, 189-201.
- [24] Müller C.M.O., Laurindo J.B., Yamashita F.: Effect of cellulose fibers on the crystallinity and mechanical properties of starch-based films at different relative humidity values. *Carbohydr. Polym.*, 2009, **77**, 293-299.
- [25] Reis K.C., Smith J.P., Carvalho C.W.P., Wellner N., Yakimets I.: Characterization of polyhydroxybutyrate-hydroxyvalerate (PHB-HV)/maize starch blend films. *J. Food Eng.*, 2008, **89**, 361-369.
- [26] Rodríguez M., Osés J., Ziani K., Maté J.I.: Combined effect of plasticizers and surfactants on the physical properties of starch based edible films. *Food Res. Int.*, 2006, **39**, 840-846.
- [27] Shen X.L., Wu J.M., Chen Y., Zhao G.: Antimicrobial and physical properties of sweet potato starch films incorporated with potassium sorbate or chitosan. *Food Hydrocoll.*, 2010, **24**, 285-290.
- [28] Sikora M., Kowalski S., Tomasik P., Sady M.: Rheological and sensory properties of dessert sauces thickened by starch-xantan gum combinations. *J. Food Eng.*, 2007, **79**, 1144-1151.
- [29] Singh N., Belton P.S., Georget D.M.R.: The effects of iodine on kidney bean starch: Films and pasting properties. *Int. J. Biol. Macromol.*, 2009, **45**, 116-119.
- [30] Smits A.L.M., Kruiskamp P.H., van Soest J.J.G., Vligenthart J.F.G.: The influence of various small plasticizer and malto-oligosaccharides on the retrogradation of (partly) gelatinised starch. *Carbohydr. Polym.*, 2003, **51**, 417-424.
- [31] Sothornvit R., Pitak N.: Oxygen permeability and mechanical properties of banana films. *Food Res. Int.*, 2007, **40**, 3, 356-370.
- [32] Staroszczyk H., Tomasik P., Janas P., Poręda A.: Estrification of starch with sodium selenite and selenate. *Carbohydr. Polym.*, 2007, **69**, 2, 299-304.

- [33] Talja R.A., Helén H., Roos Y.H., Jouppila K.: Effect of various and polyol contents on physical and mechanical properties of potato starch-based films. *Carbohydr. Polym.*, 2007, **67**, 288-295.
- [34] Talja R.A., Helén H., Roos Y.H., Jouppila K.: Effect of type and content of binary polyol mixtures on physical and mechanical properties of starch-based edible films. *Carbohydr. Polym.*, 2008, **71**, 269-276.
- [35] Torres F.G., Troncoso O.P., Torres C., Diaz D.A., Amaya E.: Biodegradability and mechanical properties of starch films from Andean crops. *Int. J. Biol. Macromol.*, 2011, **48**, 603-606.
- [36] Villalobos R., Hernández-Muñoz P., Chiralt A.: Effect of surfactants on water sorption and barrier properties of hydroxypropyl methylcellulose films. *Food Hydrocoll.*, 2006, **20**, 502-509.
- [37] Viña S.Z., Mudridge A., García M.A., Ferreya R.M., Martino M.N., Chaves A.R., Zaritzky N.E.: Effects of polyvinylchloride films and edible starch coatings on quality aspects of refrigerated Brussels sprouts. *Food Chem.*, 2007, **103**, 701-709.
- [38] Wu Y., Geng F., Chang P.R., Yu J., Ma X.: Effect of agar on the microstructure and performance of potato starch film. *Carbohydr. Polym.*, 2009, **76**, 299-304.
- [39] Yan Q., Hou H., Guo P., Dong H.: Effects of extrusion and glycerol content on properties of oxidized and acetylated corn starch-based films. *Carbohydr. Polym.*, 2012, **87**, 707-712.
- [40] Yuryev V., Tomasik P., Bertoft E.: *Starch: Achievements in Understanding of Structure and Functionality*. Nova Science Publishers, New York 2007.
- [41] Zavareze E.R., Pinto V.Z., Klein B., Halal S.L.M.E., Elias M.C., Prentice-Hernández C., Dias A.R.G.: Development of oxidised and heat-moisture treated potato starch film. *Food Chem.*, 2012, **132** (1), 344-350.

STARCH COATINGS USED IN FOOD PACKAGING INDUSTRY

S u m m a r y

More and more frequently, edible starch coatings are used to extend storage life of some products. They have many advantages among which the following are essential: biodegradability, wide availability, and low price. They are characterized by good mechanical, optical and sorption properties, and, in combination with other components (such as fats), also by barrier properties. They are particularly useful when incorporating additional substances into food products with an option of monitoring the release thereof during the consumption and preparation of meals. Starch coatings and films are produced using a casting technique. When combined with a plasticiser and/or with other components, they form continuous structures, which are suitable for direct coating of raw materials and food products.

Key words: food packaging, starch coatings, plasticisers, physical properties ☒