

DARIUSZ KOWALCZYK, EWA PIKULA, BARBARA BARANIAK

WPŁYW JADALNEJ POWŁOKI BIAŁKOWO-WOSKOWEJ NA JAKOŚĆ PRZECHOWYWANYCH CHŁODNICZO BROKUŁÓW

Streszczenie

W produkcji warzyw i owoców minimalnie przetworzonych (WOMP) surowiec poddawany jest zabiegom czyszczenia, usuwania części niejadalnych i krojenia. Redukuje to konieczność obróbki wstępnej i umożliwia przygotowanie posiłku o wysokiej wartości żywieniowej. Jednak powstające uszkodzenia tkanek przyczyniają się do dużej nietrwałości WOMP. Zapewnienie odpowiedniej jakości i bezpieczeństwa żywności minimalnie przetworzonej wymaga zachowania standardów higieny produkcji oraz przestrzegania chłodniczych warunków przechowywania. Konieczne jest także zastosowanie dodatkowych czynników utrwalających produkt.

Celem pracy było określenie możliwości wykorzystania powłoki białkowo-woskowej do zabezpieczenia jakości przechowalniczej minimalnie przetworzonych brokułów. Umyte i podzielone na części brokuły poddano powlekanii przez dwukrotne zanurzenie w powłoce, którą stanowił wodny roztwór białka grochu (10 % m/m), wosku kandelila (2 % m/m) i sorbitolu (5 % m/m). Powlekane oraz niepowlekane (próba kontrolna) warzywa przechowywano w temperaturze 4 °C i wilgotności względnej powietrza ≈90 % przez 21 dni. Badania jakości brokułów obejmowały oznaczanie ubytków masy, zawartości kwasu askorbino-owego i chlorofilu, kwasowości, barwy (CIE L*a*b*) i tekstury.

Wykazano, że powlekanie brokułów umożliwiło istotne zmniejszenie szybkości strat witaminy C, obniżenie tempa wzrostu kwasowości oraz ograniczenie utraty twardości kwiatostanu w czasie przechowywania. Powłoka nie miała natomiast wpływu ($p>0,05$) na zmniejszenie ubytków masy i zawartości barwników chlorofilowych. Nastąpiło pociemnienie powierzchni brokułów po przeprowadzeniu powlekania. W końcowym okresie przechowywania powlekane warzywa były istotnie mniej żółte w porównaniu z próbą odniesienia. Dowiedziono, że powlekanie wpływa na przebieg niektórych procesów fizjologicznych i biochemicznych decydujących o jakości handlowej i konsumpcyjnej brokułów. Nieskuteczność powłoki w zapobieganiu ubytkom masy wynika najprawdopodobniej z faktu przechowywania surowca w warunkach wysokiej wilgotności względnej powietrza.

Słowa kluczowe: brokuły, powłoki jadalne, białka grochu, воск kandelila, przechowywanie chłodnicze, jakość

Wprowadzenie

W nowoczesnych społeczeństwach ukształtował się popyt na żywność umożliwiającą szybkie przyrządzenie posiłku. Równocześnie wiedza dotycząca korzystnego wpływu owoców i warzyw na organizm człowieka sprawia, że konsument jest świadomy konieczności spożywania ich w codziennej diecie, w formie jak najmniej przetworzonej. Wymienione potrzeby przyczyniły się do rozwoju technologii owoców i warzyw mało przetworzonych (WOMP), które łączą w sobie zalety żywności świeżej i wygodnej. W sklepach, zwłaszcza w USA i Kanadzie, dostępny jest szeroki asortyment tego typu produktów m.in. marchew bez skórki, obrane ziemniaki, pozbawione części niejadalnych i pokrojone pieczarki, brokuły, papryka, cebula, melony, ananasy. Podczas obróbki surowca dochodzi do naruszenia struktury tkankowej i degradacji komórek. Rezultatem jest obniżenie naturalnej odporności surowców i zmniejszenie ich trwałości. Podstawowym czynnikiem ograniczającym zmiany jakości WOMP jest składowanie w warunkach chłodniczych. Okres przydatności wyrobu do spożycia powinien umożliwiać jego bezpieczną dystrybucję, sprzedaż oraz przechowywanie w domu konsumenta. W niskiej temperaturze (0 - 4 °C) trwałość WOMP wynosi 4 - 7 dni, ale zalecane jest stosowanie dodatkowych zabiegów zwiększających trwałość do 3 tygodni [27]. Opracowanie technologii umożliwiającej dłuższe zachowanie świeżości i atrakcyjności żywności minimalnie przetworzonej jest przedmiotem zainteresowania wielu ośrodków naukowo-badawczych.

Powlekanie żywności jest od dawna wykorzystywanym sposobem ochrony żywności przed szkodliwym wpływem środowiska zewnętrznego. Stosowanie powłok na owoce i warzywa, w tym także minimalnie przetworzone, ma na celu kontrolę wymiany gazowej między produktem a otoczeniem. Umożliwia to zmniejszenie ubytków wilgoci oraz modyfikację składu wewnętrznej atmosfery surowców, co sprzyja spowolnieniu procesów metabolicznych i wydłużeniu trwałości. Jadalne powłoki mogą ponadto stanowić nośnik substancji aktywnych, np. związków o działaniu przeciwmikrobiologicznym czy inhibitorów enzymatycznego brązowienia, co zwiększa ich funkcjonalność.

Podstawowymi materiałami do produkcji powłok jadalnych są polisacharydy (celuloza, skrobia, chitozan), proteiny (kazeina, białka serwatkowe, białka soi, gluten, zeina, żelatyna) i lipidy (woski, triacyloglicerole). Każda z wymienionych grup związków cechuje się charakterystycznymi właściwościami funkcjonalnymi. Lipidy są stosowane głównie jako bariera chroniąca produkt przed utratą wilgoci, natomiast warstewki polisacharydów i białek jako bariery ograniczające dyfuzję tlenu, dwutlenku węgla, związków aromatycznych [11] i oleju [14]. Dobre właściwości strukturotwórcze polisacharydów i białek zapewniają powłokom wytrzymałość i spoistość, jednak hydrofilowy charakter sprawia, że warstewki takie nie stanowią dobrej bariery dla pary wodnej. Materiałom w postaci powłok jadalnych stawia się różne wymagania użytko-

we m.in. adhezyjność, barierowość wobec wody, gazów i światła, przezroczystość, mechaniczną wytrzymałość, elastyczność. Aby umożliwić spełnienie tych funkcji, powłoka powinna stanowić mieszaninę związków o charakterze zarówno hydrofobowym, jak i hydrofilowym. Niezbędny jest także dodatek substancji pomocniczych np. plastyfikatorów - tę funkcję najczęściej pełni glicerol lub sorbitol.

Nasiona roślin strączkowych są tanim [6] i zasobnym źródłem białka o wysokiej wartości odżywczej, co czyni je bardzo dobrym surowcem do produkcji preparatów białkowych. Porównanie cen izolatów białka serwatkowego, białka soi oraz zeiny [16] z ceną izolatu/koncentratu białka grochu [6] wskazuje, że wykorzystanie białek grochu w produkcji żywności, w tym do otrzymywania jadalnych powłok, może być ekonomicznie uzasadnione. Brak genetycznych modyfikacji tego gatunku sprawia, że preparaty białka grochu stanowią alternatywę izolatów białkowych otrzymywanych z transgenicznej soi. Ponadto groch, w odróżnieniu od soi, zbóż glutenowych, jaj, ryb, orzechów ziemnych, mleka i łubinu nie należy do produktów będących najczęstszą przyczyną alergii i nietolerancji pokarmowych [7].

Obecnie prowadzi się intensywne badania nad wprowadzaniem substancji, takich jak: tłuszcze naturalne, kwasy tłuszczowe oraz woski do filmów/powłok białkowych lub polisacharydowych w celu poprawienia ich właściwości barierowych w stosunku do pary wodnej. Spośród wielu naturalnych substancji hydrofobowych najlepszą barierą dla wilgoci są woski [17]. Do powlekania owoców i warzyw spożywanych razem ze skórką dopuszczone jest stosowanie wosku pszczelego (E 901), wosku kandelila (E 902) oraz wosku karnauba (E 903). Różnią się one m.in. przepuszczalnością pary wodnej (WVP, ang. Water Vapour Permeability). Wartość WVP wosku kandelila ($1,76 \text{ g [m}\cdot\text{s}\cdot\text{Pa}]^{-1}\times 10^{-13}$) jest blisko dwukrotnie niższa w porównaniu z woskiem karnauba ($3,30 \text{ g [m}\cdot\text{s}\cdot\text{Pa}]^{-1}\times 10^{-13}$) i ponad trzykrotnie niższa w porównaniu z woskiem pszczelim ($5,81 \text{ g [m}\cdot\text{s}\cdot\text{Pa}]^{-1}\times 10^{-13}$) [8]. Wosk kandelila ma zatem potencjalnie najlepsze właściwości do obniżania szybkości przenikania pary wodnej.

Celem przeprowadzonych badań była ocena możliwości wykorzystania powłoki otrzymanej na bazie białek grochu i wosku kandelila do zabezpieczenia jakości minimalnie przetworzonych brokułów przechowywanych chłodniczo.

Material i metody badań

Do przygotowania roztworu powlekającego użyto preparatu białka grochu Pro-pulse (Pro-Flo) produkcji Parrheim Foods (obecnie Nutri-Pea Limited, Kanada) oraz sorbitolu i wosku kandelila produkcji Sigma-Aldrich. Preparat białkowy (50 g), sorbitol (25 g) i wodę (415 g) wymieszano (14000 obr./min, 2 min) i skorygowano odczyn roztworu do $\text{pH} = 7$. Następnie mieszaninę poddawano ogrzewaniu (20 min, $90 \text{ }^\circ\text{C}$), podczas którego wprowadzano wosk kandelila (10 g). Homogenną emulsję uzyskano przez 5-minutowe mieszanie roztworu (14000 obr./min) pod koniec ogrzewania. Po

ochłodzeniu i rehomogenizacji (14000 obr./min, 1 min) emulsję odpowietrzano pod próżnią.

Brokuły (*Brassica oleracea* L. var. *italica*, odmiana Monaco) myto, krojono na róże (porcje) o zbliżonej wielkości (średnica ~3,5 cm, wysokość ~4,5 cm) i poddawano powlekananiu przez dwukrotne zanurzenie w roztworze powlekającym. Pomiędzy zanurzeniami zastosowano 1 h przerwę w celu umożliwienia zastygnięcia warstewki. Powlekane oraz niepowlekane (kontrolne) warzywa przechowywano w komorze klimatycznej (Sanyo Versatile Environmental Test Chamber MLR 350H, Japonia), w temp. 4 °C i wilgotności względnej powietrza (RH) ≈90 % przez 21 dni. Próbkę do analiz pobierano w 0., 3., 8., 11., 15., 21. dniu przechowywania.

Badania jakości przechowalniczej brokułów obejmowały oznaczenie ubytków przechowalniczych wyrażonych w procentach masy początkowej, zawartości kwasu askorbinowego [30] i chlorofilu (a + b) [1], kwasowości ogólnej [28] w przeliczeniu na kwas szczawiowy oraz pH [29]. Oznaczenia fizykochemiczne wykonano w 3 powtórzeniach. Zawartość kwasu askorbinowego i chlorofilu wyrażono w przeliczeniu na masę suchej substancji. Barwę brokułów w systemie CIE L*a*b* określano przy użyciu spektrofotometru odbiciowego X-RiteColor 8200 (X-Rite Inc., USA). Pomiary wykonywano w 3 powtórzeniach, próbę analityczną stanowiło 5 sztuk porcjowanych brokułów. Twardość brokułów oznaczano na podstawie pomiarów siły cięcia przy użyciu analizatora tekstury TA-XT2i (Stable Micro Systems, UK) wyposażonego w przystawkę pomiarową „Blade Set with Rectangular Hole”. Kwiatostany brokułów nacinano na głębokość 15 mm, natomiast łądygi poddawano całkowitemu poprzecznemu przecinaniu przy prędkości przesuwu głowicy 1 mm/s. Pomiary twardości wykonywano na próbach złożonych z 10 sztuk porcjowanych brokułów.

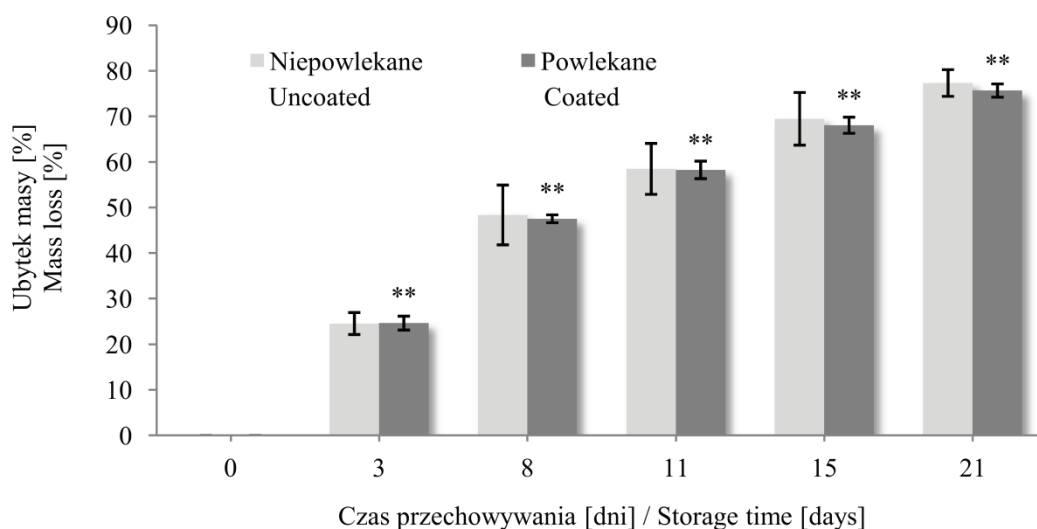
W celu określenia istotności wpływu powlekania na wyróżniki jakości przechowalniczej brokułów uzyskane wyniki poddano jednoczynnikowej analizie wariancji na poziomie istotności $\alpha = 0,05$ przy użyciu programu Statistica 6.0 PL.

Wyniki i dyskusja

Brokuły, ze względu na walory smakowe i prozdrowotne, zaliczane są do wartościowych warzyw. Największe znaczenie żywieniowe mają brokuły spożywane w stanie świeżym [36]. Róże brokułów są bardzo nietrwałe, w temperaturze pokojowej ich przydatność do spożycia wynosi 2 - 3 dni [37]. Dlatego zaleca się przechowywać je w temperaturze 0 - 1 °C i przy wilgotności względnej powietrza 90 - 95 % [9]. Warunki takie wprawdzie nie zatrzymują niekorzystnych zmian jakościowych, ale znacznie je spowalniają i wydłużają trwałość brokułów do 3 - 4 tygodni [20, 37]. Głównym problemem podczas przechowywania brokułów jest szybkie wędnięcie i wysychanie, otwieranie kwiatostanów oraz powstawanie żółtych przebarwień. W obrocie handlowym, gdzie z reguły temperatura jest wyższa niż w czasie składowania w magazynach

producenta, okres przechowywania całych brokułów można przedłużyć stosując opakowania z folii kurczliwej lub z mikroperforacją.

W niniejszej pracy podjęto próbę zabezpieczenia jakości porcjowanych brokułów przez formowanie jadalnej powłoki ochronnej bezpośrednio na powierzchni warzyw. Badania wykazały, że obecność warstewki białkowo-woskowej nie wpływa na zmniejszenie ($\alpha > 0,05$) wielkości naturalnych ubytków masy. Zarówno w próbach niepowlekanych, jak i powlekanych straty masy postępowały z jednakową szybkością (rys. 1).



Objaśnienia:/ Explanatory notes:

** - indeksami oznaczono wartości średnie nie różniące się statystycznie istotnie ($\alpha=0,05$) od wartości średnich prób kontrolnych (niepowlekanych) / mean values denoted by indices are not statistically significantly different ($\alpha=0.05$) from average values of control samples (uncoated).

Rys. 1. Ubytek masy porcjowanych brokułów podczas przechowywania.

Fig. 1. Mass loss of portioned broccoli during storage.

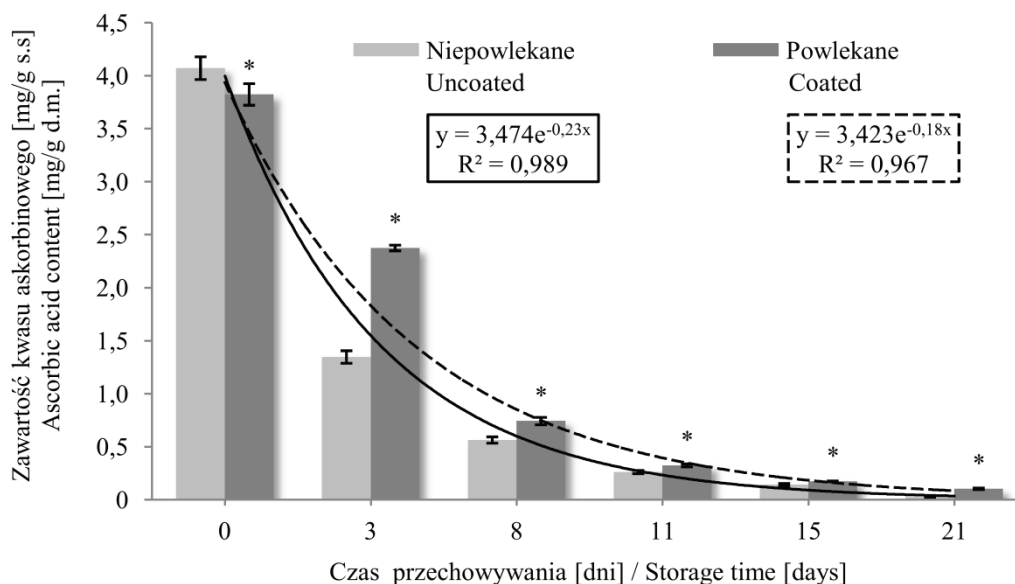
Nieskuteczność powłoki jako czynnika ograniczającego migrację pary wodnej wynika najprawdopodobniej z faktu przechowywania surowca w warunkach wysokiej wilgotności. Hydrofilowe właściwości białek sprawiają, że warstewki otrzymanywane z ich udziałem są bardzo wrażliwe na wilgoć. McHugh i wsp. [21] wykazali, że przepuszczalność pary wodnej (WVP) filmu otrzymanego z białek serwatkowych, wosku pszczelego i sorbitolu rośnie wraz ze wzrostem aktywności wody w środowisku. W badaniach Perez-Gago i wsp. [24, 25, 26] powłoki na bazie białek serwatkowych z dodatkiem wosku karnauba lub wosku pszczelego okazały się nieefektywne w ograniczaniu ubytków masy świeżo krojonych jabłek przechowywanych chłodniczo. Według autorów najprawdopodobniej przyczyną była wysoka aktywność wody produktu.

Uszkodzenia tkanki oraz towarzyszące temu zwiększenie powierzchni sprawiają, że procesy fizjologiczne, w tym parowanie wody, przebiegają w owocach i warzywach mało przetworzonych (WOMP) bardzo intensywnie. Istnieją jednak badania, w których powlekanie mało przetworzonych surowców miało korzystny efekt w postaci zmniejszenia ubytków wilgoci [3, 10, 19, 33].

Brokuły są bogatym źródłem witaminy C, w świeżych warzywach zawartość tego składnika wynosi od 54 do 119,8 mg/100 g ś.m. [18]. Podczas przechowywania zawartość witaminy C sukcesywnie maleje w wyniku utleniania kwasu L-askorbinowego do dehydroaskorbinowego, który łatwo ulega przekształceniu do 2,3-diketogulonowego, a następnie do kwasu szczawiowego i L-treonowego lub furfurali i CO₂ [9]. Wykazano, że zaproponowana białkowo-woskowa powłoka może stanowić czynnik ograniczający ubytek witaminy C. Przez cały okres przechowywania powlekane brokuły odznaczały się większą ($\alpha < 0,05$) zawartością kwasu askorbinowego w porównaniu z próbkami niepowlekanymi. W trzecim dniu przechowywania ubytek kwasu askorbinowego w próbkach powlekanych wynosił 37 %, podczas gdy w próbach kontrolnych 67 % (rys. 2).

Obserwowane zmniejszenie strat kwasu askorbinowego po przeprowadzeniu powlekania prawdopodobnie spowodowane było ograniczeniem dostępu tlenu od tkanek surowca. Warstewki białkowe stanowią bardzo dobrą barierę dla tlenu, przykładowo szybkość przenikania O₂ przez folie uzyskane z izolatu białka sojowego jest 70 razy mniejsza niż przez folie polietylenowe o wysokiej gęstości (HDPE) i około 300-krotnie mniejsza niż przez folie polietylenowe o niskiej gęstości (LDPE) [17]. Rakotonirainy i wsp. [31] wykazali, że hermetyczne zamknięcie słoika z brokułami filmem na bazie zeiny i kwasu oleinowego prowadzi do spadku zużycia O₂ i szybkiej akumulacji CO₂ wewnątrz opakowania. Zmodyfikowana atmosfera wpływa na zmniejszenie tempa respiracji, a tym samym spowolnienie metabolizmu. Mniejszą intensywność oddychania, po przeprowadzaniu powlekania, obserwowano na przykładzie różnych surowców, zarówno całych [35, 38], jak i mało przetworzonych, np. obranych ząbków czosnku pokrytych powłoką agarową [10], marchwi bez skórki zabezpieczonej powłoką na bazie kazeiny i kwasu stearynowego [2] lub powłoką z celulozy [19].

Podobnie, jak w niniejszej pracy, lepsze zachowanie kwasu askorbinowego w surowcach poddanych powlekaniiu obserwowano w przypadku pieczarek, zielonej papryki i moreli powlekanych roztworem metylocelulozy i kwasu stearynowego [4, 5], a także zielonej papryki powlekanej komercyjnym preparatem SemperfreshTM (zawierającym estry kwasów tłuszczowych i sacharozy oraz karboksymetylocelulozę) [22]. Przykładowo straty witaminy C w zielonej papryce po 12-dniowym przechowywaniu (25 °C, RH = 84 %) wyniosły 71,9 i 63,2 %, odpowiednio w owocach niepowlekanych i powlekanych. Wprowadzenie kwasu askorbinowego w skład powłoki pozwoliło zredukować ubytki tego składnika do 50,9 % [5].

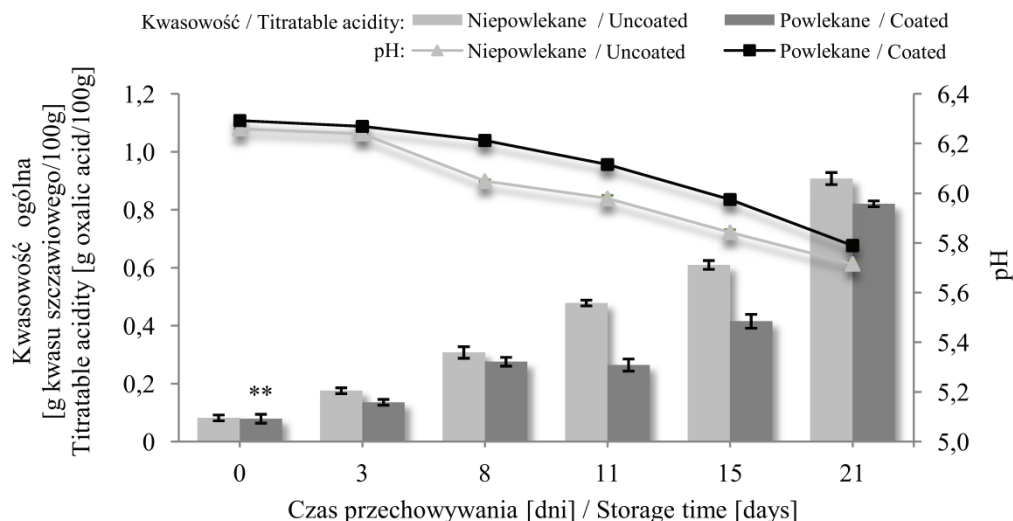


Objaśnienia:/ Explanatory notes:

* - indeksami oznaczono wartości średnie różniące się statystycznie istotnie ($\alpha = 0,05$) od wartości średnich prób kontrolnych (niepowlekanych) / mean values denoted by indices are statistically significantly different ($\alpha = 0.05$) from average values of control samples (uncoated).

Rys. 2. Zmiany zawartości kwasu askorbinowego w porcjowanych brokułach podczas przechowywania.
Fig. 2. Changes in ascorbic acid content in portioned broccoli during storage.

Kwasy organiczne, poza ich biochemiczną funkcją, są ważnym czynnikiem jakości sensorycznej owoców i warzyw. Wpływ powlekania na zmiany kwasowości porcjowanych brokułów przedstawiono na rys. 3. Kwasowość ogólna wzrastała przez cały okres przechowywania, natomiast pH ekstraktów zmniejszało się. Podobny trend wzrostu kwasowości ogólnej w trakcie chłodniczego składowania brokułów obserwowali Klimczak i Irzyniec [13]. Özden i Bayindirli [22] obserwowali natomiast jednoczesny wzrost kwasowości i spadek pH przechowywanej powlekanej papryki. Autorzy nie stwierdzili istotnego wpływu powlekania na szybkość zmian kwasowości ogólnej i pH. W przedstawionej pracy stwierdzono, że powlekane brokuły odznaczały się istotnie niższą kwasowością oraz wyższym pH w porównaniu z niepowlekanymi (rys. 3).



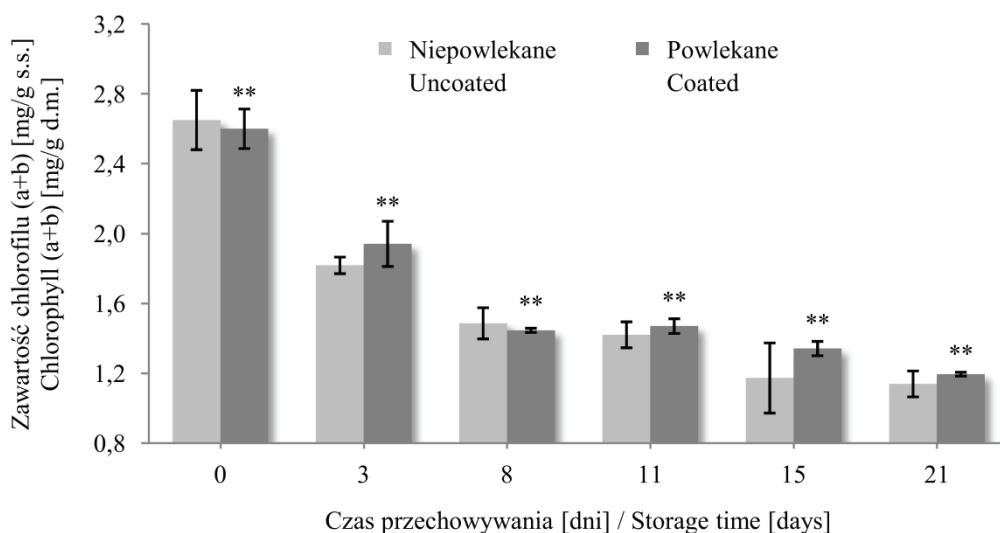
** - objaśnienia jak na rys. 1. / Explanatory notes as in Fig. 1.

Rys. 3. Zmiany kwasowości ogólnej i pH porcjowanych brokułów podczas przechowywania.
Fig. 3. Changes in titratable acidity and pH of portioned broccoli during storage.

O atrakcyjności zielonych warzyw w dużym stopniu decyduje zawartość barwników chlorofilowych. Badania Özden i Bayindirli [22] wykazały, że powlekanie preparatem Semperfresh może zmniejszyć degradację chlorofilu w zielonej papryce, ale tylko wówczas, gdy warzywa przechowywane są w warunkach normalnej atmosfery gazowej (0,2 % CO₂, 21 % O₂, 12 °C, RH ≈ 90 - 95 %); po zmianie składu atmosfery (3 % CO₂, 3 % O₂, 12 °C, RH ≈ 90 - 95 %) efekt ten nie występuje. W niniejszej pracy stwierdzono, że obecność powłoki białkowo-woskowej nie miała wpływu ($\alpha > 0,05$) na zmiany zawartości barwników chlorofilowych (rys. 4).

Brak różnic zawartości chlorofilu w powlekanych i niepowlekanych brokułach znalazł odzwierciedlenie w braku zróżnicowania ($\alpha > 0,05$) udziału barwy zielonej (parametr a*) w widmie odbiciowym powierzchni róż (rys. 5). Należy jednak podkreślić, że powyższe porównanie nie jest do końca miarodajne, gdyż zawartość barwnika wyrażona została w przeliczeniu na zawartość suchej substancji. Pomiar barwy wykazały, że pod koniec przechowywania powlekane warzywa były istotnie mniej żółte (niższa wartość parametru b*) w porównaniu z próbą odniesienia. Zaobserwowano także, że powlekanie spowodowało istotne pociemnienie barwy brokułów (spadek wartości parametru L*) (rys. 5), prawdopodobnie z powodu żółtopomarańczowego tonu barwy (h°) samej powłoki (dane nieprzedstawione). Ciemnozielona barwa jest jednym z atry-

butów jakości brokułów, powlekanie zaproponowaną emulsją może zatem przyczynić się do wizualnego wzrostu atrakcyjności tych warzyw. Uzyskanie subiektywnej oceny wymaga jednak przeprowadzenia badań sensorycznych wśród konsumentów.



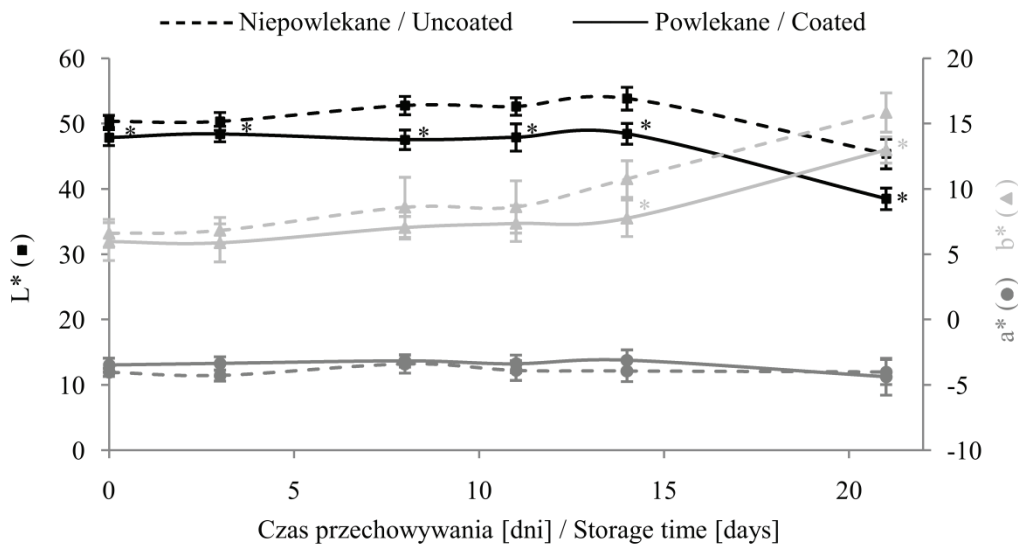
** - objaśnienia jak na rys. 1. / Explanatory notes as in Fig. 1.

Rys. 4. Zmiany zawartości chlorofilu (a + b) w porcjowanych brokułach podczas przechowywania.

Fig. 4. Changes in chlorophyll (a + b) content in portioned broccoli during storage.

Na rys. 6. przedstawiono wpływ powlekania na teksturę porcjowanych brokułów. Pomiary siły cięcia wykazały, że w miarę upływu czasu przechowywania twardość kwiatostanu malała. Zmiany fizyczne polegające na mięknięciu mało przetworzonej tkanki roślinnej mogą wynikać z utraty turgoru, zmniejszenia krystaliczności celulozy i osłabienia jędrności ścian komórkowych wskutek enzymatycznej przemiany protopektyn w pektyny rozpuszczalne w wodzie [15]. Od 8. dnia przechowywania kwiatostany powlekanych brokułów charakteryzowały się większą twardością ($\alpha < 0,05$) w porównaniu z próbami kontrolnymi (rys. 6).

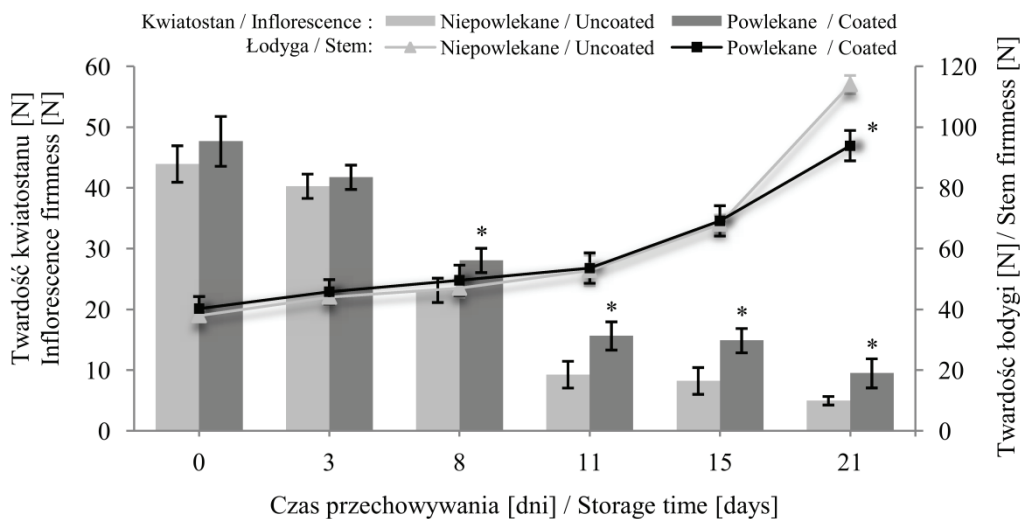
Przyczyn opóźnionego mięknięcia tkanki w powlekanych warzywach można m.in. upatrywać w wolniejszej degradacji protopektyny. Xu i wsp. [38] zaobserwowali, że w owocach kiwi powlekanych mieszaniną białka soi, pululanu, kwasu stearynowego oraz glicerolu szybkość wzrostu zawartości pektyny rozpuszczalnej była mniejsza aniżeli w owocach niepowlekanych, co w efekcie po 37 dniach przechowywania (15 °C, RH = 50 %) skutkowało trzykrotnym zmniejszeniem ilości owoców o twardości < 10 N. Poprawa trwałości powlekanych owoców, jak udowodnili cytowani autorzy, była wynikiem zmniejszonego tempa oddychania oraz znacznego ograniczenia



* - objaśnienia jak na rys. 2. / Explanatory notes as in Fig.2.

Rys. 5. Zmiany parametrów barwy porcjowanych brokułów podczas przechowywania.

Fig. 5. Changes in colour parameters of portioned broccoli during storage.



* - objaśnienia jak na rys. 2. / Explanatory notes as in Fig.2.

Rys. 6. Zmiany tekstury porcjowanych brokułów podczas przechowywania.

Fig. 6. Changes in texture of portioned broccoli during storage.

produkcji etylenu. Ograniczenie utraty jędrności, przypuszczalnie w wyniku zmniejszonego tempa oddychania, obserwowano również w przypadku pomidorów powlekanych zeiną [23]. Niewykluczone, że stwierdzona w niniejszej pracy większa twardość powlekanych brokułów była spowodowana bardziej zwartą strukturą kwiatostanu. Roztwór powłokotwórczy wnikać pomiędzy pęczki kwiatowe mógł powodować ich zlepianie, przez co róże brokułów były mniej podatne na otwieranie i stawiały większy opór podczas pomiarów siły cięcia.

W przedstawionej pracy zaobserwowano, że podczas przechowywania następował sukcesywny wzrost twardości łądzyk brokułów (rys. 6). Podobną zależność wykazano w innych pracach [12, 34]. Twardnienie łądzyk porcjowanych brokułów może być wynikiem lignifikacji (włóknienia) tkanki. Odkładanie ligniny i suberyny w komórkach sąsiadujących z mechanicznie uszkodzoną tkanką stanowi reakcję obronną, chroniącą roślinę przed nadmiernym wysychaniem [32]. Badanie siły cięcia łądzyk brokułów powlekanych i niepowlekanych nie wykazało istotnych różnic twardości, przez 15 dni przechowywania, natomiast po 21 dniach przechowywania powlekane warzywa charakteryzowały się istotnie mniejszą twardością łądyg (rys. 6).

Wnioski

1. Jadalna powłoka, otrzymana z białek grochu i wosku kandelila, zastosowana na róże porcjowanych brokułów jako warstwa ochronna w czasie ich przechowywania (21 dni, 4 °C, RH = 90 %) ogranicza straty kwasu askorbinowego, szybkość wzrostu kwasowości, żółknięcie oraz zmniejszenie twardości kwiatostanu.
2. Powłoka białkowo-woskowa nie ma wpływu na zmniejszenie ubytków masy, rozkład chlorofilu i zmiany zielonej barwy brokułów.
3. Powlekanie mieszaniną białek grochu i wosku kandelila przyczynia się do pociemnienia barwy powierzchni brokułów.

Badania finansowane przez MNiSW w ramach promotorskiego projektu badawczego nr N N 312 1722 33.

Literatura

- [1] Arnon D.I.: Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiol.*, 1949, **24**, 1-15.
- [2] Avena-Bustillos R.J., Cisneros-Zevallos L.A., Krochta J.M., Saltveit M.E.: Application of casein-lipid edible film emulsions to reduce white blush on minimally processed carrots. *Postharv. Biol. Technol.*, 1994, **4**, 319-329.
- [3] Avena-Bustillos, R.J., Cisneros-Zevallos L.A., Krochta J.M., Saltveit M.E.: Optimization of edible coatings on minimally processed carrots using response surface methodology. *Am. Soc. Agric. Eng.*, 1993, **36**, 801-805.

- [4] Ayranci E., Tunc S.: A method for the measurement of the oxygen permeability and the development of edible films to reduce the rate of oxidative reactions in fresh foods. *Food Chem.*, 2003, **80**, 423-431.
- [5] Ayranci E., Tunc S.: The effect of edible coatings on water and vitamin C loss of apricots (*Armeniaca vulgaris* Lam.) and green peppers (*Capsicum annuum* L.). *Food Chem.*, 2004, **87**, 339-342.
- [6] Choi W.S., Han J.H.: Physical and mechanical properties of pea-protein-based edible films. *J. Food Sci.*, 2001, **66**, 319-322.
- [7] Commission Directive 2007/68/EC of 27 November 2007 amending Annex IIIa to Directive 2000/13/EC of the European Parliament and of the Council as regards certain food ingredients.
- [8] Donhowe G., Fennema O.: Water vapor and oxygen permeability of wax films. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 1993, **70**, 876-873.
- [9] Gajewski M.: *Przechowalnictwo warzyw*. Wyd. SGGW, Warszawa 2005.
- [10] Geraldine R.M., Soares N.F.F., Botrel D.A., Goncalves L.A.: Characterization and effect of edible coatings on minimally processed garlic quality. *Carb. Polym.*, 2008, **72**, 403-409.
- [11] Greener Donhowe I., Fennema O.: Edible films and coatings: characteristics, formation, definitions, and testing methods. In: *Edible films and coatings to improve food quality*. J.M. Krochta, E. Baldwin, M.O. Nisperos-Carriedo Eds., Technomic Publishing Co. Inc., Lancaster, PA 1994, pp. 1-24.
- [12] Jacobsson A., Nielsen T., Sjöholm I., Wendin K.: Influence of packaging material and storage condition on the sensory quality of broccoli. *Food Qual. Prefer.*, 2004, **15**, 301-310.
- [13] Klimczak J., Irzyniec Z.: Wpływ obniżonego ciśnienia na trwałość brokułów przechowywanych chłodniczo. *Chłodnictwo*, 1999, **34 (8)**, 46-49.
- [14] Kowalczyk D., Gustaw W.: Wpływ powłok hydrokoloidowych na cechy jakościowe frytek ziemniaczanych. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2009, **6 (67)**, 72-80.
- [15] Kowalska H.: Żywność minimalnie przetworzona – owoce i warzywa. *Przem. Spoż.*, 2006, **60 (6)**, 24-27.
- [16] Krochta J.M., De Mulder-Johnston C.: Edible and biodegradable polymer films: challenges and opportunities. *Food Technol.*, 1997, **51**, 61-74.
- [17] Krochta J.M.: Proteins as raw materials for films and coatings: definitions, current status and opportunities. In: *Protein-based films and coatings*. A. Gennadios Ed., CRC Press, Boca Raton, FL, 2002, 1-41.
- [18] Kurilich A.C., Tsau G.J., Brown A., Howard L., Klein B.P., Jeffery E.H., Kushad M., Wallig M.A., Juvik J.A.: Carotene, tocopherol, and ascorbate contents in subspecies of *Brassica oleracea*. *J. Agric. Food Chem.*, 1999, **47**, 1576-1581.
- [19] Li P., Barth M.M.: Impact of edible coatings on nutritional and physiological changes in lightly-processed carrots. *Postharv. Biol. Technol.*, 1998, **14**, 51-60.
- [20] Makhoul J., Castaigne F., Arul J., Willemot C., Grosselin A.: Long-term storage of broccoli under controlled atmosphere. *Hort Sci.*, 1989, **24**, 647-639.
- [21] McHugh T.H., Avena-Bustillos R., Krochta J.M.: Hydrophilic edible films: modified procedure for water vapor permeability and explanation of thickness effects. *J. Food Sci.*, **58**, 899-903.
- [22] Özden Ç., Bayindirli L.: Effects of combinational use of controlled atmosphere, cold storage and edible coating applications on shelf life and quality attributes of green peppers. *Eur. Food Res. Technol.*, 2002, **214**, 320-326.
- [23] Park H. J., Chinnan M. S., Shewfelt R. L.: Edible coating effects on storage life and quality of tomatoes. *J. Food Sci.*, 1994, **59**, 568-570.
- [24] Perez-Gago M.B., Serra M., Alonso M., Mateos M., del Río M.A.: Effect of whey protein and hydroxypropyl methylcellulose-based edible composite coatings on color change of fresh-cut apples. *Postharv. Biol. Technol.*, 2005, **36**, 77-85.

- [25] Perez-Gago M.B., Serra M., Alonso M., Mateos M., del Río M.A.: Effect of solid content and lipid content of whey protein isolate-beeswax edible coatings on color change of fresh-cut apples. *J. Food Sci.*, 2003, **68**, 2186-2191.
- [26] Perez-Gago M.B., Serra M., del Río M.A.: Color change of fresh-cut apples coated with whey protein concentrate-based edible coatings. *Postharv. Biol. Technol.*, 2006, **39**, 84-92.
- [27] Pietrzyk S.: Żywność minimalnie przetworzona. *Laboratorium - Przegląd Ogólnopolski*, 2008, **11**, 18-23.
- [28] PN-90/A-75101/04. Przetwory owocowe i warzywne. Przygotowanie próbek i metody badań fizykochemicznych. Oznaczanie kwasowości ogólnej.
- [29] PN-90/A-75101/06. Przetwory owocowe i warzywne. Przygotowanie próbek i metody badań fizykochemicznych. Oznaczanie pH metodą potencjometryczną.
- [30] PN-A-04019:1998. Produkty spożywcze. Oznaczanie zawartości witaminy C.
- [31] Rakotonirainy A.M., Wang Q., Padua G.W.: Evaluation of zein films as modified atmosphere packaging for fresh broccoli. *J. Food Sci.*, 2001, **66**, 1108-1111.
- [32] Rittinger P.A., Biggs A.R., Peirson D.R.: Histochemistry of lignin and suberin deposition in boundary layers formed after wounding in various plant species and organs. *Can. J. Bot.*, 1987, **65**, 1886-1892.
- [33] Saucedo-Pompa S., Jasso-Cantu D., Ventura-Sobrevilla J., Sáenz-Galindo A., Rodríguez-Herrera R., Aguilar C.N.: Effect of candelilla wax with natural antioxidants on the shelf life quality of fresh-cut fruits. *J. Food Qual.*, 2007, **30**, 823-836.
- [34] Serrano M., Martínez-Romero D., Guillén F., Castillo S., Valero D.: Maintenance of broccoli quality and functional properties during cold storage as affected by modified atmosphere packaging. *Postharv. Biol. Technol.*, 2006, **39**, 61-68.
- [35] Vargas M., Albors A., Chiralt A., González-Martínez C.: Quality of cold-stored strawberries as affected by chitosan-oleic acid edible coatings. *Postharv. Biol. Technol.*, 2006, **41**, 164-171.
- [36] Vermeulen M., Klöpping-Ketelaars I.W., van den Berg R., Vaes W.H.: Bioavailability and kinetics of sulforaphane in humans after consumption of cooked versus raw broccoli. *J. Agric. Food Chem.*, 2008, **56**, 10505-10509.
- [37] Wang C.Y., Hruschka H.W.: Quality maintenance in polyethylene-packaged broccoli. *USDA Mark. Res. Rept.*, 1977, **1085**, 1-14.
- [38] Xu S., Chen X., Sun D.: Preservation of kiwifruit coated with an edible film at ambient temperature. *J. Food Eng.*, 2001, **50**, 211-216.

EFFECT OF EDIBLE PROTEIN-WAX COATING ON QUALITY OF COLD-STORED BROCCOLI

S u m m a r y

In the production of minimally processed fruits and vegetables (MPFV), the raw material is trimmed, peeled, washed, and cut. Therefore, no pre-treatment of fruits and vegetables at home is necessary and it is possible to quickly prepare a highly nutritionally valuable meal. However, tissue damage occurring during the processing of raw materials is the cause of high perishability of MPFV. To ensure the adequate quality and safety of minimally processed foods, it is required to maintain the highest standards of hygiene in food production and to keep products under the refrigeration conditions. It is also necessary to use additional methods of food preservation.

The objective of this study was to investigate the possibility of using protein-wax coating to protect the quality of minimally processed broccoli. The broccoli heads were washed, cut in small parts, and coated through double dipping in an aqueous solution of the pea protein (10 % w/w), candelilla wax (2 % w/w), and sorbitol (5 % w/w). The coated and uncoated (control) vegetables were stored at 4 °C in a relative humidity of ≈90 % for 21 days. The quality assessment of broccoli comprised the measurements of mass loss, content of ascorbic acid and chlorophyll, titratable acidity, pH, colour (CIE L*a*b*), and texture.

It was evidenced that the coating of broccoli heads made it possible to significantly reduce the rate of loss of vitamin C, to cut the increase in acidity, and to limit a firmness loss in inflorescences during storage. However, the edible coating had no effect on reducing the mass loss and chlorophyll content. After the coating process completed, the colour of the surface of broccoli florets became darker. During the final stage of storing, the coated vegetables were significantly less yellow compared with the control samples.

It was proved that the coating impacted some physiological and biochemical processes appearing all-important regarding the commercial and consumption quality of broccoli. The ineffectiveness of coating in preventing loss results, most probably, from storing those vegetables under the conditions of high relative air humidity.

Key words: broccoli, edible coatings, pea proteins, candelilla wax, cool storage quality ☒