

WPŁYW DEGRADACJI ENZYMATYCZNEJ BŁONNIKA POKARMOWEGO NA JEGO WŁAŚCIWOŚCI SORPCYJNE

Dorota Nowak, Hoang Thi Thu Huong

Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji, SGGW
ul. Nowoursynowska 159 c, 02-776 Warszawa
e-mail: dorota_nowak@sggw.pl

Streszczenie. Celem pracy było określenie, w jakim stopniu degradacja enzymatyczna błonnika pokarmowego wpływała na jego zdolność adsorpcji karotenoidów z soku marchwiowego. Użyto błonników pokarmowych różnego pochodzenia: jabłkowy, otręby pszenne, błonnik z marchwi, selera, buraka cukrowego oraz suszoną marchew. Badano proces adsorpcji oraz adsorpcji z równoczesnym rozkładaniem enzymatycznym w układzie dwufazowym ciecz – ciało stałe. Stwierdzono, że największą zdolność adsorpcji karotenoidów z soku wykazywał kolejno błonnik jabłkowy, marchwi suszonej błonnik i z buraka cukrowego. Rozkład enzymatyczny błonnika powodował wzrost zdolności sorpcyjnych w różnym stopniu, zależnie od pochodzenia błonnika. Stwierdzono największy wpływ obróbki enzymatycznej na właściwości sorpcyjne w przypadku błonnika jabłkowego, błonnika z selera i otrębów pszennych.

Słowa kluczowe: adsorpcja, karotenoidy, sok marchwiowy, błonnik pokarmowy

WSTĘP

Proces tłoczenia miazgi owocowej lub warzywnej, będący operacją jednostkową w technologii produkcji soków naturalnie mętnych, jest procesem rozdziału układu dwufazowego typu ciecz – ciało stałe. Pojęciem „ciecz” należy określić sok komórkowy, będący z kolei układem wieloskładnikowym, w którym pod względem zawartości dominuje woda (w przypadku owoców i warzyw najczęściej 86-90%), będąca rozpuszczalnikiem dla substancji ekstraktowych (9,3 do 11%), głównie cukrów. Fazę stałą stanowią substancje strukturotwórcze, nierozpuszczalne w wodzie, takie jak pektyny, których udział procentowy w stosunku do masy całego układu wynosi 0,68-2,45%, oraz celuloza, ligniny i hemicelulozy, których zawartość wynosi odpowiednio od 1,0 do 2,44 % [7,8]. Poza tymi, najważniejszymi pod względem udziału masowego składnikami, w układzie znajdu-

je się wiele makro i mikroelementów, mających podstawowe znaczenie z punktu widzenia wartości żywieniowej, takich jak karotenoidy, witamina C, polifenole, kwasy: owocowe, nikotynowy, pantotenowy, foliowy, szczawiowy; biotyna, inozyt, cholina sól, potas, magnez, wapń, mangan, żelazo, kobalt, miedź, cynk, fosfor, fluor, jod, witaminy: E, K, B₁, B₂, B₆ [1]. Miazga stanowi więc bardzo złożony układ, w którym poszczególne składniki mogą pomiędzy sobą oddziaływać, tworząc wiązania o charakterze fizycznym bądź chemicznym.

Efektom rozdziału układu są: sok (ciecz) jako produkt finalny oraz wytloki (ciało stałe) jako produkt uboczny bądź odpad. Aby otrzymany sok posiadał wysoką wartość żywieniową, cenne substancje nie powinny wiązać się z wytlokami, lecz w maksymalnie dużej ilości przechodzić do soku, co w praktyce nie zawsze ma miejsce. W procesie produkcji soku marchwiowego zawartość cennych karotenoidów w wytlokach jest znacznie wyższa niż w soku.

Obecnie w technologii produkcji soków owocowych i warzywnych coraz powszechniej stosuje się obróbkę enzymatyczną miazgi lub/i wytlaków przy użyciu preparatów enzymów pektolitycznych i celulolitycznych, mającą na celu degradację ścian komórkowych. W rezultacie osiąga się korzyści, takie jak: zmniejszenie lepkości soku, ułatwienie tłoczenia, zwiększenie wydajności soku, polepszenie jego jakości pod względem aromatu czy barwy [5,6,9].

W przypadku soku marchwiowego ważnym wyróżnikiem jakości jest zawartość karotenoidów. Badania zawartości karotenoidów na poszczególnych etapach produkcji soku marchwiowego wskazują na obniżenie ich zawartości w soku w przypadku zastosowania maceracji miazgi za pomocą preparatu enzymatycznego [3,4]. Dlatego w niniejszej pracy podjęto badania, zmierzające do lepszego poznania oddziaływań karotenoidy – błonnik oraz zmian tych oddziaływań w wyniku enzymatycznej degradacji substancji wchodzących w skład błonnika pokarmowego.

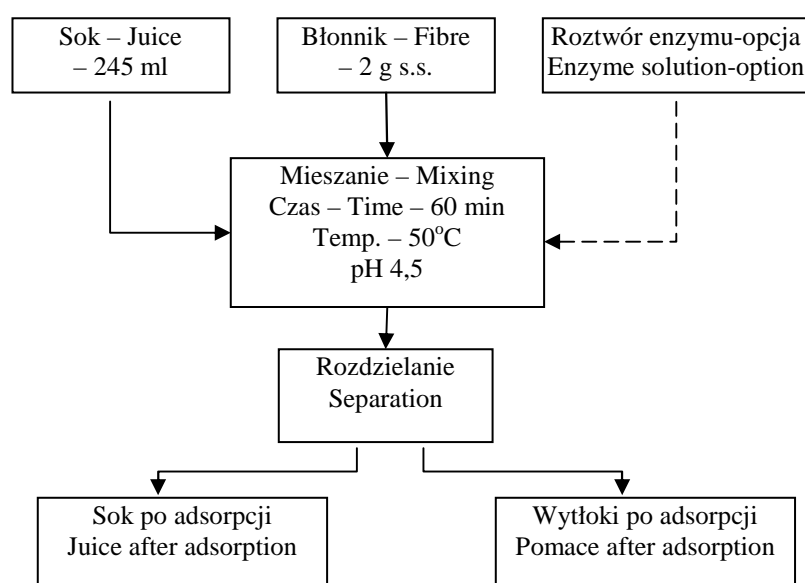
MATERIAŁ I METODYKA

W celu realizacji założonego celu stworzono doświadczalny układ dwufazowy, w którym fazę stałą stanowił błonnik pokarmowy różnego pochodzenia, zaś fazę ciekłą – świeży sok marchwiowy, będący jednocześnie źródłem karotenoidów, stanowiących substancję, której przemieszczanie się pomiędzy fazą stałą a ciekłą było analizowane.

Użyto sześciu preparatów błonnikowych: błonnik z marchwi, z selera, z buraka cukrowego, marchew suszoną, błonnik jabłkowy i otręby pszenne. Pierwsze trzy preparaty otrzymano poprzez wytlukanie z rozdrobnionej, świeżej tkanki roślinnej substancji rozpuszczalnych w wodzie. Błonnik jabłkowy i otręby pszenne stanowiły preparaty handlowe. Suszoną marchew otrzymano ze świeżej tkanki,

rozdrobionej w wiórki o grubości 1 mm, w procesie suszenia konwekcyjnego w temperaturze 70°C.

Sok marchwiowy otrzymywano bezpośrednio przed doświadczeniami poprzez tłoczenie miazgi marchwiowej w warunkach stałego ciśnienia działającego przez 5 minut. W przypadku eksperymentów z równoległą degradacją enzymatyczną błonnika do układu dodawano preparat enzymatyczny Ultrazym AFP-L firmy Novo Zymes, stanowiący kompozycję pektynaz i cellulaz. Schemat przebiegu doświadczenia przedstawia rysunek 1.



Rys. 1. Schemat technologiczny doświadczenia
Fig 1. Technological diagram of the experiment

W soku surowym i uzyskanym po rozdzieleniu oraz w błonniku z marchwi, marchwi suszonej i w wyciekach otrzymanych po rozdzieleniu określano zawartość karotenoidów ogółem zgodnie z normą PN-90/A – 75101/12. Monitorowano również zawartość suchej substancji w każdej fazie przed i po rozdzieleniu metodą suszenia, zgodnie z normą PN-90/A-75101/03.

Uzyskane wyniki poddane zostały analizie statystycznej przy użyciu programu STATGRAPHICS 4.1 Plus. Zastosowano analizę wariancji jedno- i dwuczynnikową przy poziomie istotności 0,05.

WYNIKI I DYSKUSJA

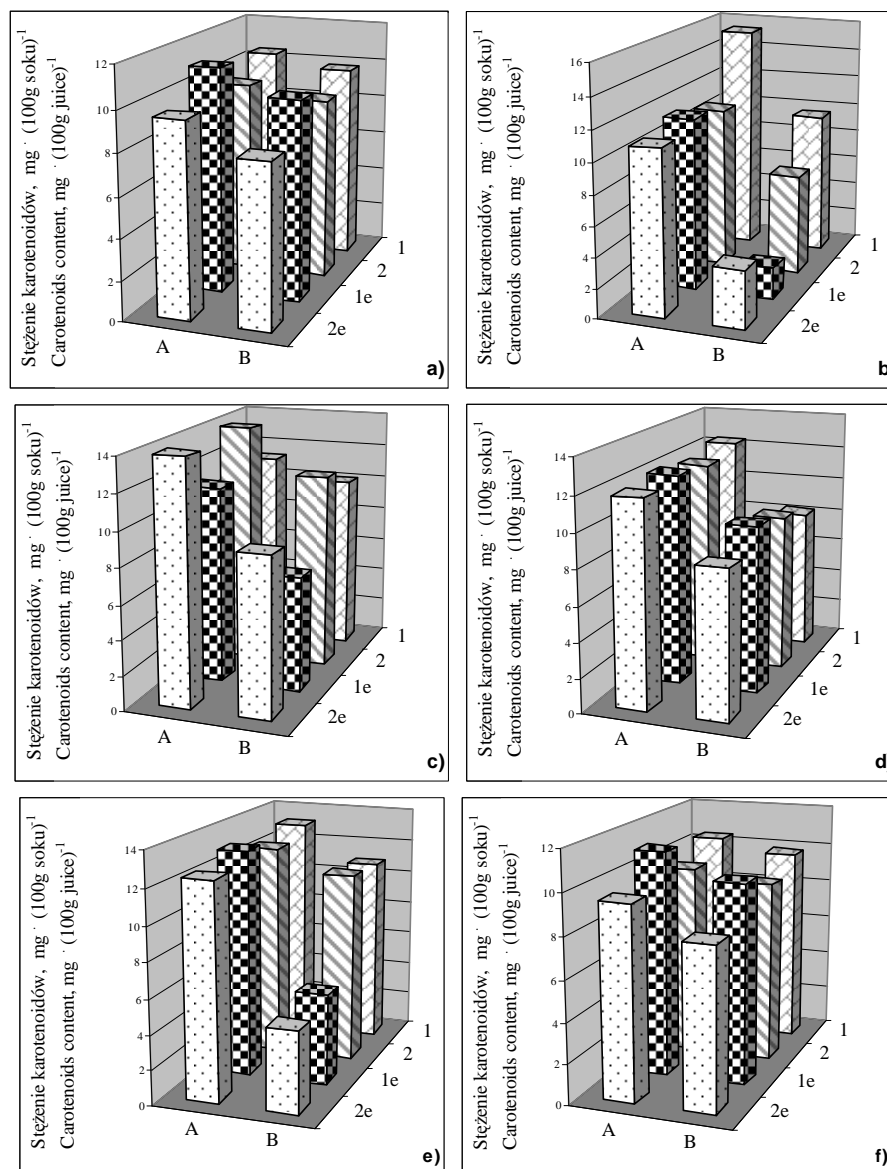
Każdy eksperyment przeprowadzono w dwóch powtórzeniach. W każdej partii soku użytego jako źródło karotenoidów oznaczano zawartość karotenoidów. Zawartości te były zróżnicowane, od około 10 do 15 mg·(100g soku)⁻¹, mimo iż marchew pochodziła z jednego źródła. Dlatego wyniki uzyskane w powtórzeniach analizowano jako oddzielne serie (rys. 2), natomiast wartości średnie obliczano tylko w stosunku do wartości względnych (rys. 3).

Używany błonnik z marchwi, selera i buraka cukrowego przygotowywany był bezpośrednio przed doświadczeniem i zawierał 93-94 % wody, co odpowiadało zdolności preparatów do utrzymywania wody. Błonnik „suche” (jabłkowy, suszona marchew oraz otręby) przed doświadczeniem uwadniano do takiego samego poziomu zawartości wody, jak pozostałe błonniki. Ponieważ świeży sok zawierał 91-94% wody, zastosowanie wilgotnych błonników praktycznie likwidowało różnicę stężeń wody pomiędzy fazami. Ograniczono w ten sposób przemieszczanie się zawartych w soku karotenoidów do błonnika, wynikające z ruchu wody. Ze względu na fakt, że w doświadczeniach stosowano degradację enzymatyczną błonnika, prowadzącą do zmiany jego masy, jako wskaźnik zachodzącej w układzie adsorpcji karotenoidów na powierzchni polimerów stanowiących błonnik, przyjęto zmiany zawartości karotenoidów w fazie ciekłej (sok po procesie rozdziału). Analizując wyniki doświadczeń przyjęto założenie, że brak jest strat karotenoidów wskutek ich degradacji w czasie obróbki enzymatycznej

Obecność w układzie natywnego błonnika marchwiowego spowodowała obniżenie zawartości karotenoidów w soku z 10,4 do 9,8 mg·(100 g soku)⁻¹, w pierwszej serii, a w drugiej od 9,5 do 9,0 mg·(100 g soku)⁻¹, (odpowiednio o 5,8 i 5,3%). Natomiast w przypadku równoczesnej degradacji enzymatycznej zmiany wynosiły: z 11,0 do 9,9 mg·(100 g soku)⁻¹ i z 9,5 do 8 mg·(100 g soku)⁻¹, czyli o około 11 i 16% (rys. 2 a).

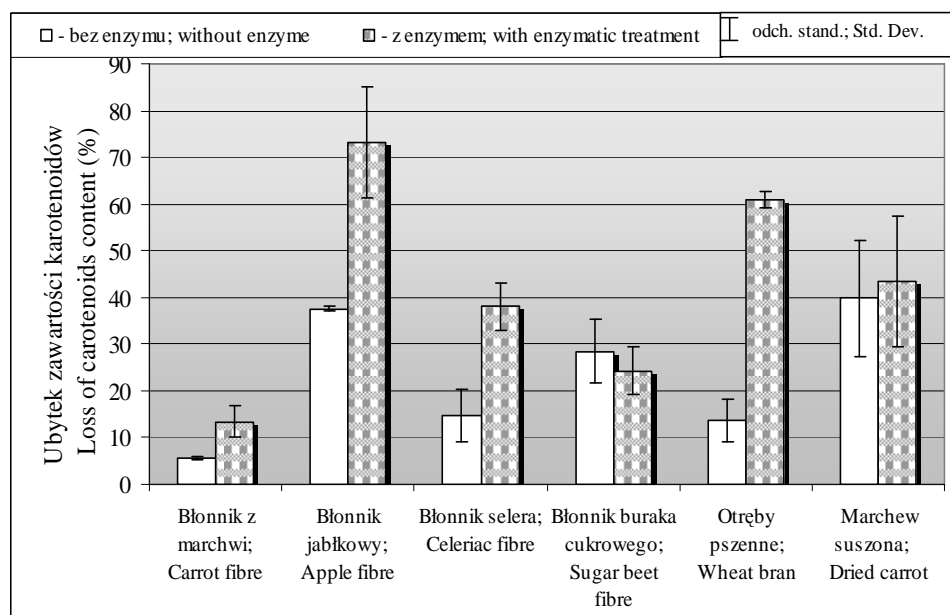
Adsorpcja karotenoidów na powierzchni błonnika jabłkowego wywołała zmiany zawartości karotenoidów: w pierwszej serii z 15,3 do 9,6 mg·(100 g soku)⁻¹ (o ok. 37,2%), w drugiej – z 10,8 do 6,7 mg·(100 g soku)⁻¹ (o ok. 38%) (rys. 2 b). Działanie enzymów równoległe z procesem adsorpcji pogłębiło te zmiany – zawartość karotenoidów spadła do 2,1 mg·(100 g soku)⁻¹ (o 81,6%) i do 3,8 mg·(100 g soku)⁻¹ (o 65% w stosunku do zawartości w soku przed procesem).

W doświadczeniach przeprowadzonych z błonnikiem z selera, sok przed procesem zawierał 11,3 i 13,9 mg karotenoidów·(100 g soku)⁻¹. Po adsorpcji wartości te zmniejszyły się do 10,1 i 11,3 mg·(100 g soku)⁻¹. Natomiast enzymatyczna degradacja błonnika spowodowała znaczne obniżenie zawartości karotenoidów: do 6,6 w pierwszej serii oraz do 9,1 mg·(100 g soku)⁻¹ w drugiej (odpowiednio o około 42% i 35%) (rys. 2 c).



Rys. 2. Zmiany zawartości karotenoidów w soku marchwiowym wskutek adsorpcji na błonniku pokarmowym różnego pochodzenia: A – przed adsorpcją; B – po adsorpcji; 1,2 – doświadczenia bez enzymu; 1e, 2e – z równoczesną obróbką enzymatyczną; a) błonnik marchwi; b) błonnik jabłkowy; c) błonnik z selera; d) błonnik z buraka cukrowego; e) otręby pszenne, f) suszona marchew

Fig. 2. Changes in carotenoids content in carrot juice as a result of adsorption by different kinds of dietary fibres; A – before adsorption, B – after adsorption; 1,2 – experiments without enzyme, 1e, 2e – with enzymatic treatment; a) carrot fibre; b) apple fibre; c) celeriac fibre; d) sugar beet fibre; e) wheat bran, f) dried carrot



Rys. 3. Względne zmiany zawartości karotenoidów w soku wskutek adsorpcji na błonnikach pokarmowych różnego pochodzenia

Fig. 3. Relative changes of carotenoids content as a result of adsorption by different kinds of dietary fibre

Błonnik z buraka cukrowego adsorbował taką ilość karotenoidów, że ich zawartość w soku obniżyła się z 12,3 do 8,2 mg·(100 g soku)⁻¹ (o 33,3%) bez enzymu i do 9,6 mg·(100 g soku)⁻¹ (z enzymem) (rys. 2 d). W drugiej serii zawartość karotenoidów w soku świeżym wynosiła 11,8 mg·(100 g soku)⁻¹, a po adsorpcji zmalała do 9 mg·(100 g soku)⁻¹ (bez enzymu) i do 8,5 mg·(100 g soku)⁻¹ (z enzymem).

Otręby pszenne wyraźnie zmieniły zdolność sorpcji wskutek obróbki enzymatycznej (rys.2 e). W pierwszej serii zawartość karotenoidów zmniejszała się z 13,1 do 10,9 mg·(100 g soku)⁻¹ (o 16,8%), a podczas równoczesnej degradacji enzymatycznej zmalała do 5,3 mg·(100 g soku)⁻¹ (o 60%). Wyniki uzyskane w drugiej serii były na zbliżonym poziomie.

Na skutek adsorpcji na suszonej marchwi zawartość karotenoidów zmniejszyła się z 11,9 do 8,2 mg·(100 g soku)⁻¹ i równolegle z 14,4 do 7,4 mg·(100 g soku)⁻¹. Adsorpcja z równoczesną degradacją spowodowała zmiany z 11,9 do 7,9 mg·(100 g soku)⁻¹ w pierwszej serii, a od 14,4 do 6,7 mg·(100 g soku)⁻¹ w drugiej (rys. 2 f).

W celu bezpośredniego porównania zdolności adsorpcji przez wszystkie zastosowane błonniki pokarmowe określono procentowy ubytek zawartości karotenoidów w soku. Z uzyskanych wartości względnych, dla każdego materiału, wyliczono wartość średnią, a porównanie uzyskanych wyników dla procesu adsorpcji

prowadzonego bez udziału enzymu i z jednoczesną obróbką enzymatyczną przedstawia rysunek 3.

Dodanie błonnika do soku powodowało, że w wyniku wzajemnego, trwającego 60 minut, oddziaływania obydwu faz stężenie karotenoidów w soku ulegało obniżeniu, przy czym jego stopień był zróżnicowany w zależności od pochodzenia danego błonnika. Stosunkowo najmniejsze obniżenie zawartości karotenoidów w soku stwierdzono dla błonnika z marchwi, o około $5,5 \pm 0,4\%$. Można to tłumaczyć faktem, że błonnik z marchwi, otrzymany poprzez wyflukanie substancji rozpuszczalnych, zawierał jeszcze około $12 \text{ mg} \cdot (100 \text{ g produktu})^{-1}$ karotenoidów. Nie uległy więc wyflukaniu karotenoidy z nim związane, a tym samym aktywne miejsca zdolne do adsorpcji pozostały wysyczone.

W przypadku dwóch kolejnych błonników: z selera i zawartego w otrębach pszennych, zawartość karotenoidów w soku obniżyła się o około 14%. Wyższą zdolnością „wyłapywania” karotenoidów z soku wykazały się błonnik z buraka cukrowego – blisko 30%. Najwyższą zdolność adsorpcji wykazał błonnik jabłkowy – $37,6 \pm 0,5\%$ i suszona marchew – $39,9 \pm 12,4\%$, przy czym rezultaty dla błonnika z buraka, jabłka i suszonej marchwi statystycznie nie różnią się.

Zawartość karotenoidów w suszonych wyflokach marchwi wynosiła około $17 \text{ mg} \cdot (100 \text{ g produktu})^{-1}$, a więc była wyższa niż w soku (sok użyty w pierwszej serii zawierał $11,9 \text{ mg} \cdot (100 \text{ g produktu})^{-1}$, w drugiej – $14,4 \text{ mg} \cdot (100 \text{ g produktu})^{-1}$). Stąd przemieszczanie się karotenoidów w układzie sok – błonnik odbywało się w kierunku przeciwnym do kierunku dyfuzji wywołanej różnicą stężeń. Wysoka zdolność adsorpcji karotenoidów przez ten rodzaj błonnika świadczyć może o dużym wpływie procesu suszenia na właściwości sorpcyjne danego biopolimeru. Usuwanie wody prowadzi musi do nieodwracalnych zmian konfiguracji przestrzennej łańcuchów, które z kolei powodują odsłonięcie czy udostępnienie dodatkowych miejsc aktywnych zdolnych do adsorpcji.

W przypadku błonników, które w chwili łączenia z sokiem nie zawierały karotenoidów, przemieszczanie pewnej części karotenoidów w układzie sok-błonnik może wynikać z różnicy stężeń. Jednak masa błonnika pokarmowego była około 100-krotnie mniejsza w porównaniu z masą soku, stąd efekt wyrównania stężeń może dotyczyć tylko 1% karotenoidów zawartych w soku. Można przyjąć, że fakt początkowej zerowej zawartości karotenoidów w błonnikach nie miał istotnego wpływu na zawartość karotenoidów po rozdziale. Uzyskane wyniki uznano więc za efekt zjawisk sorpcji. Należy dodać, że błonniki używano w stanie uwodnionym tak, aby można było pominąć w analizie wpływ ruchu wody w układzie związany z pęcznieniem.

Analiza dwuczynnikowa wariancji wykazała istotny wpływ zarówno rodzaju błonnika, jak i obecności enzymu w układzie na ilość zaadsorbowanych karotenoidów, przy czym stwierdzone zostały interakcje pomiędzy obydwoma czynnika-

mi. Skala wpływu rozkładu enzymatycznego błonnika na jego zdolność do adsorpcji w badanych układach uzależniona była od pochodzenia błonnika. W przypadku błonnika z buraka cukrowego oraz suszonej marchwi nie stwierdzono istotnego wpływu degradacji enzymatycznej na zdolność do adsorpcji – różnica między wynikami uzyskanymi po adsorpcji, a po adsorpcji z jednoczesnym rozkładem enzymatycznym jest statystycznie nieistotna.

Degradacja enzymatyczna prowadzona w układach sok marchwiowy-błonnik z marchwi, jabłka, selera czy z otrębów pszennych powodowała 2-3-krotny wzrost zdolności do adsorpcji. Obecność enzymu powodowała cięcie łańcuchów substancji nierozpuszczalnych, m.in. celuloz, hemiceluloz czy pektyn, co musiało spowodować powstanie lub odsłanianie większej ilości miejsc aktywnych, na których mogła następować adsorpcja karotenoidów. Tak więc stopień zmian zdolności do adsorpcji spowodowanych działaniem enzymu zależy od pochodzenia błonnika, a więc od jego składu ilościowego i jakościowego [2]. Błonnik jabłkowy zawiera dużo pektyn, natomiast błonnik zawarty w otrębach pszennych zawiera głównie hemicelulozę i celulozę. Otręby pszenne dodatkowo zawierają tłuszcz, w którym rozpuszczają się karotenoidy, co również ma wpływ na uzyskane wyniki.

PODSUMOWANIE

Zastosowane preparaty błonników pokarmowych charakteryzowały się zróżnicowaną zdolnością adsorpcji karotenoidów. W przypadku błonnika jabłkowego, z buraka cukrowego i marchwi suszonej blisko 30% lub więcej karotenoidów znajdujących się w układzie ulegała adsorpcji na ich powierzchni, przy czym najwyższą zdolność adsorpcji wykazał błonnik jabłkowy – $37,6 \pm 0,5\%$ i suszona marchew – $39,9 \pm 12,4\%$.

Degradacja enzymatyczna związków celulozowych i pektynowych zawartych w błonnikach pokarmowych z marchwi, selera, otrębów pszennych i jabłkowym powodowały znaczny wzrost ilości adsorbowanych karotenoidów w stosunku do błonnika nie poddanego działaniu enzymów. W pozostałych dwóch wypadkach nie obserwowano statystycznie istotnych zmian. Najwyższą zdolnością adsorpcji karotenoidów podczas równoczesnej degradacji enzymatycznej charakteryzowały się błonnik jabłkowy i zawarty w otrębach pszennych. Wiązały one na swej powierzchni granicach 60-70% karotenoidów zawartych w układzie.

Błonnik natywny z marchwi wykazywał najmniejszą zdolność do wiązania karotenoidów, jednak w trakcie degradacji enzymatycznej zdolność ta wzrastała ponad 2-krotnie.

PIŚMIENNICTWO

1. **Czapski J.:** Owoce i warzywa – szansa czy zagrożenie. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 4(29), 29-39, 2001.
2. **Górecka D., Korczak J., Balcerowski E., Decyk K.:** Sorption of bile acids and cholesterol by dietary fiber of carrots, cabbage and apples. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities, Food Science and Technology*, 5(2), 2002. Available Online.
3. **Nowak D., Tempczyk A.:** Wpływ obróbki enzymatycznej miazgi marchwi na właściwości otrzymanego soku. *Materiały III Zjazdu Naukowego PTA, Dąbrowica*, 107, 2004.
4. **Nowak D., Tempczyk A.:** Zastosowanie obróbki enzymatycznej do otrzymywania soku z marchwi. XXXV Sesja Naukowa Komitetu Nauk o Żywności PAN: *Żywność - aspekty technologiczne i prozdrowotne*, Łódź, 129, 2004.
5. **Rembowski E.:** Nowe zastosowania enzymów w sokownictwie owocowym. *Technologie przyszłości. Przem. Fermentacyjny i Owocowo – Warzywny*, 37(5), 17-18, 1993.
6. **Siliha H.:** Effect of enzymatic treatment of carrot puree. *Fruit Processing*, 10, 318-322, 1995.
7. **Witkowska A., Borawska M., Omieljaniuk N., Markiewicz R.:** Zawartość błonnika pokarmowego całkowitego w wybranych warzywach. *Bromatologia i Chemia Toksykologiczna*, 2, 135-138, 1996.
8. **Zadernowski R.:** Quality of carrot juice as conditioned by raw material and technology. *Fruit Processing*, 5/6, 183-192, 2003.
9. **Zadernowski R., Oszmiański J.:** Wybrane zagadnienia z przetwórstwa owoców i warzyw, Wydawnictwo ART. Olsztyn, 1994.

EFFECT OF ENZYMATIC DEGRADATION OF DIETARY FIBRE ON ITS SORPTION PROPERTIES

Dorota Nowak, Hoang Thi Thu Huong

Department of Food Engineering and Process Management
Warsaw Agricultural University (SGGW)
ul. Nowoursynowska 159 c, 02-776 Warszawa
e-mail: dorota_nowak@sggw.pl

Abstract. The aim of the research was to determine the effect of enzymatic degradation on the adsorption capacity of carotenoids from carrot juice by different kinds of dietary fibres. Different kinds of dietary fibres were used (including: fibre of apple, wheat bran, carrot, celeriac, white beet and dried carrot). Adsorption process and adsorption with concurrent enzymatic disintegration in two-phase medium of "liquid-solids" type was investigated. It was shown that the highest adsorption capacity of carotenoids from carrot juice was observed for apple fibre, dried carrot and white beet fibre (in that order). The enzymatic degradation effect on adsorption results depends on the kind of fibre. The highest effect of enzymatic treatment on adsorption properties was observed when apple fibre, celeriac fibre and wheat bran were used.

Keywords: adsorption, carotenoids, carrot juice, dietary fibre