

MAŁGORZATA RZĄCA, DOROTA WITROWA-RAJCHERT

ZMIANY AKTYWNOŚCI PRZECIWRODNIKOWEJ I ZAWARTOŚCI POLIFENOLI W SUSZU JABŁKOWYM UZYSKANYM PRZY WYKORZYSTANIU PROMIENIOWANIA PODCZERWONEGO

Streszczenie

Polifenole stanowią największą grupę związków wśród naturalnych przeciwutleniaczy, które w dużym stopniu wpływają na ogólną aktywność przeciwrodnikową surowca. Każda obróbka technologiczna zdecydowanie wpływa na zmiany pojemności przeciwutleniającej produktów, dlatego też celem pracy było określenie wpływu parametrów suszenia, przy zastosowaniu promieniowania podczerwonego, tj. szybkości przepływu powietrza oraz odległości źródła promieniowania od powierzchni suszonego materiału, na aktywność przeciwrodnikową oraz zawartość polifenoli w suszu jabłkowym. Wyniki analizy prób suszonych z wykorzystaniem promieniowania podczerwonego porównywano, odpowiednio, z wynikami prób suszonych metodą tradycyjną, w temperaturze 70 °C. Czas suszenia przy zastosowaniu najwyższej odległości od źródła promieniowania i najmniejszej prędkości przepływu powietrza, w porównaniu z suszeniem konwekcyjnym, był krótszy nawet o 33 %. Czas suszenia wydłużał się wraz ze zwiększeniem przepływu powietrza oraz ze zmniejszaniem odległości od źródła promieniowania. Jednakże przy suszeniu z wykorzystaniem promieni podczerwonych wpływ odległości od źródła promieniowania i prędkości przepływu powietrza na aktywność przeciwrodnikową i zawartość polifenoli nie był jednoznaczny. Wraz ze zwiększaniem prędkości przepływu powietrza oraz krótszym czasem suszenia zaobserwowano zmniejszenie zawartości polifenoli i aktywności przeciwutleniającej przy najmniejszej odległości materiału suszonego od źródła promieniowania. Natomiast, gdy stosowano większe odległości od źródła promieniowania (20 i 30 cm) obserwowano wzrost lub brak zmian zawartości polifenoli i aktywności przeciwrodnikowej, przy wzrastającej prędkości przepływu powietrza, a więc przy niższej temperaturze tkanki. Przy odległości 30 cm od źródła promieniowania zaobserwowano, że wraz ze wzrostem przepływu powietrza następuje liniowy wzrost aktywności przeciwrodnikowej. Ponadto zaobserwowano również krzywoliniową zależność pomiędzy aktywnością przeciwrodnikową a zawartością polifenoli, co świadczy o tym, że zwiększenie zawartości polifenoli wpływa na wzrost aktywności przeciwrodnikowej badanych suszy.

Słowa kluczowe: suszenie promiennikowe, suszenie konwekcyjne, aktywność przeciwrodnikowa, zawartość polifenoli, jabłka

Wprowadzenie

W świecie roślinnym występuje duże bogactwo naturalnych związków organicznych o silnym działaniu przeciwutleniającym. Wolne rodniki przyczyniają się do starzenia się organizmu, powstawania nowotworów, chorób sercowo-naczyniowych czy chorób neurodegeneracyjnych. Natomiast związki przeciwutleniające chronią organizm przed szkodliwym działaniem wolnych rodników [2, 3, 4].

Właściwości przeciwutleniające żywności przetworzonej mają szczególne znaczenie, gdyż w tej postaci stanowi ona największą grupę artykułów spożywczych dostępnych dla konsumentów. Ponadto podaż takich produktów zwiększa się za sprawą wzrastającego popytu na żywność wygodną, przeznaczoną do bezpośredniego spożycia czy też szybką w przygotowaniu [8]. Jednakże zastosowanie procesów technologicznych może w różnym stopniu wpływać na jakość żywności pochodzenia roślinnego, jej wartość odżywczą, trwałość mikrobiologiczną, szybkość przebiegu reakcji zachodzących w żywności oraz jej walory smakowe i zapachowe [12].

Jednym z dość często stosowanych procesów technologicznych w przetwórstwie żywności jest jej utrwalanie za pomocą suszenia. Podstawowym wyzwaniem stawianym suszeniu jest zmniejszenie zawartości wody przy jednoczesnym zachowaniu maksymalnej wartości odżywczej, zapachu, smaku i barwy [7]. Suszenie z wykorzystaniem promieniowania podczerwonego charakteryzuje się wieloma zaletami w porównaniu z tradycyjnym suszeniem konwekcyjnym, wykorzystującym jedynie obieg ciepłego powietrza. Promienie podczerwone o długości fali $\lambda = 0,77 - 140 \mu\text{m}$ wnikają do suszonego materiału i energia promieniowania zamieniana jest w ciepło, które powoduje odparowanie wody. Ponadto promienie podczerwone charakteryzują się inhibitującym działaniem na niektóre drobnoustroje [9, 13, 15, 16]. Korzystny jest także krótszy czas suszenia z wykorzystaniem promieniowania podczerwonego w porównaniu z tradycyjnym suszeniem. Umesh Hebbar i wsp. [14] podczas suszenia promiennikowego połączonego z suszeniem konwekcyjnym marchwi i ziemniaka skrócili czas suszenia o 48 % w porównaniu z suszeniem konwekcyjnym. Natomiast Nowak i Lewicki [5] zmniejszyli o 50 % czas suszenia jabłek w porównaniu z suszeniem tradycyjnym. Dzięki temu suszony surowiec jest przez krótszy czas narażony na działanie wysokiej temperatury i tlenu, co sprzyja zachowaniu większej ilości substancji biologicznie czynnych niż podczas suszenia tradycyjnego.

Zagadnienie właściwości przeciwutleniających suszonych produktów w literaturze naukowej omawiane jest bardzo rzadko. Dlatego istnieje potrzeba podjęcia badań w tym zakresie, szczególnie dotyczących niekonwencjonalnego sposobu suszenia, jakim jest zastosowanie promieniowania podczerwonego.

Celem pracy było określenie wpływu suszenia przy wykorzystaniu promieniowania podczerwonego na aktywność przeciwrodnikową oraz zawartość polifenoli w suszu jabłkowym. Zbadano wpływ takich parametrów suszenia, jak szybkość przepływu

powietrza oraz odległość źródła promieniowania od powierzchni suszonego materiału i porównano je z odpowiednimi wynikami suszu otrzymanego metodą konwekcyjną w temp. 70 °C.

Material i metody badań

Do suszenia przeznaczono jabłka odmiany Idared, które po wykrojeniu gniazd nasiennych krojono w plastry o średnicy 30 mm i grubości $5 \pm 0,5$ mm. Wybrano dziewięć różnych kombinacji suszenia przy wykorzystaniu promieniowania podczerwonego, stosując trzy szybkości przepływu powietrza (przepływ równoległy do warstwy materiału): 0,5; 1,2 i 2 m/s oraz trzy odległości źródła promieniowania od powierzchni suszonego materiału: 10, 20 i 30 cm. Suszenie prowadzono w laboratoryjnej suszarce, w której źródłem promieniowania podczerwonego było dziewięć lamp firmy Philips, ustawionych szeregowo w trzech rzędach, o mocy 175 W każda i średnicy 125 mm. Wsad do suszarki wynosił $1,26 \text{ kg/m}^2$. Suszenie konwekcyjne prowadzono w suszarce laboratoryjnej w temp. powietrza 70 °C, stosując przepływ powietrza wzdłuż warstwy materiału o prędkości 2 m/s, a ładunek surowca wynosił $1,92 \text{ kg/m}^2$.

W materiale surowym oraz w suszu oznaczano zawartość suchej substancji zgodnie z PN-90/A-75101/03 [6]. Średnia zawartość suchej substancji w materiale surowym wynosiła $13,65 \pm 0,03$ %, natomiast w suszu $92,47 \pm 2,28$ %.

Właściwości przeciwrodnikowe oznaczano metodą polegającą na określeniu stopnia wygaszania wolnych rodników DPPH^{*} przez przeciwutleniacze zawarte w surowych jabłkach i suszach. W celu sporządzenia ekstraktu do analiz odważano 5 g rozdrobnionego miąższu surowych jabłek i dodawano 50 ml 80 % etanolu. W przypadku suszu stosowano naważkę równoważną 5 g jabłka surowego i dodawano do niej taką ilość wody, aby sumaryczna masa wynosiła 5 g. Po dodaniu 50 ml 80 % etanolu próbę homogenizowano przez 1 min i gotowano przez 5 min. Tak przygotowany roztwór sączone do kolbek miarowych o pojemności 50 ml i uzupełniano do kreski. W ekstrakcie oznaczano aktywność przeciwrodnikową zgodnie z metodyką podaną przez Brand-Williams i wsp. [1]. Pomiar polegał na określeniu absorbancji, przy długości fali 515 nm, sześciu roztworów zawierających taką samą objętość roztworu DPPH^{*} w ilości 2 ml o stężeniu odpowiadającym absorbancji próby kontrolnej z zakresu 0,6 - 0,7 (próba kontrolna = 2 ml roztworu DPPH^{*} + 2 ml 80 % etanolu), przy wybranych objętościach ekstraktu z przedziału 0,02 - 0,20 ml. Pomiaru dokonywano po 30 min od dodania roztworu DPPH^{*}. Na tej podstawie wykreślono zależność liniową pomiędzy objętością ekstraktu a stopniem wygaszania rodników DPPH^{*}. Z równania linii prostej obliczano objętość ekstraktu, powodującą 50 % redukcję rodników. Wartość tę przeliczano na masę suchej substancji odpowiadającą danej objętości ekstraktu. Tak więc efektywność wygaszania wolnych rodników przez badane susze i surowiec

wyrażano w formie współczynnika IC_{50} , określającego ilość materiału potrzebnego do 50 % redukcji wolnych rodników DPPH'.

Zawartość związków polifenolowych oznaczano metodą Folina-Ciocalteu'a [11], stosując jako wzorzec kwas chlorogenowy. Do analiz wykorzystano ekstrakt przygotowany do oznaczania stopnia wygaszania wolnych rodników.

Analizę statystyczną wyników przeprowadzono przy zastosowaniu testu t-Studenta, dwuczynnikowej analizy wariancji i procedury Duncana przy poziomie istotności $\alpha = 0,05$. Porównania wielokrotne (szczegółowe) umożliwiły uzyskanie podziału średnich na grupy jednorodne, czyli nieróżniące się istotnie w ujęciu statystycznym.

Wyniki i dyskusja

Czas potrzebny do wysuszenia plastrów jabłka do zawartości wody równej 0,13 kg H_2O/kg s.s. podczas suszenia z wykorzystaniem promieniowania podczerwonego wynosił od 106 do 155 min (tab. 1) i był krótszy od czasu suszenia konwekcyjnego wynoszącego 158 min. W tab. 1., w celach porównawczych, przedstawiono czas suszenia do osiągnięcia tej samej zawartości wody (0,1 kg H_2O/kg s.s.). W praktyce plastry jabłka charakteryzowały się zawartością suchej substancji od 88,1 do 95,3 %, czyli od 0,13 do 0,05 kg H_2O/kg s.s. Najkrótszy czas suszenia odnotowano przy zastosowaniu odległości od źródła promieniowania wynoszącego 30 cm i prędkości przepływu 0,5 m/s – był on krótszy od suszenia konwekcyjnego o 33 %. Czas potrzebny do osiągnięcia 0,13 kg H_2O/kg s.s. wydłużał się wraz ze wzrostem prędkości przepływu powietrza. Większa prędkość przepływu powietrza powodowała chłodzenie powierzchni materiału, co potwierdziły wartości temperatury plastrów pod koniec suszenia (tab.1). W efekcie prowadziło to do zmniejszenia szybkości usuwania wody i wydłużenia czasu suszenia, przy wzroście prędkości powietrza z 0,5 do 2 m/s nawet o 30 %, przy odległości lamp od powierzchni materiału równej 10 cm. Wzrost prędkości powietrza wpływa w najmniejszym stopniu na czas suszenia, gdy suszony jest materiał w odległości 20 cm od źródła promieniowania. Podobne wyniki uzyskał Sharma i wsp. [10] podczas suszenia plastrów cebuli: czas suszenia przy szybkości powietrza 1,0 m/s, temp. powietrza 45 °C i mocy promienników 300 W wynosił 8 h, zwiększając się do 9 h, gdy szybkość powietrza wynosiła 1,5 m/s.

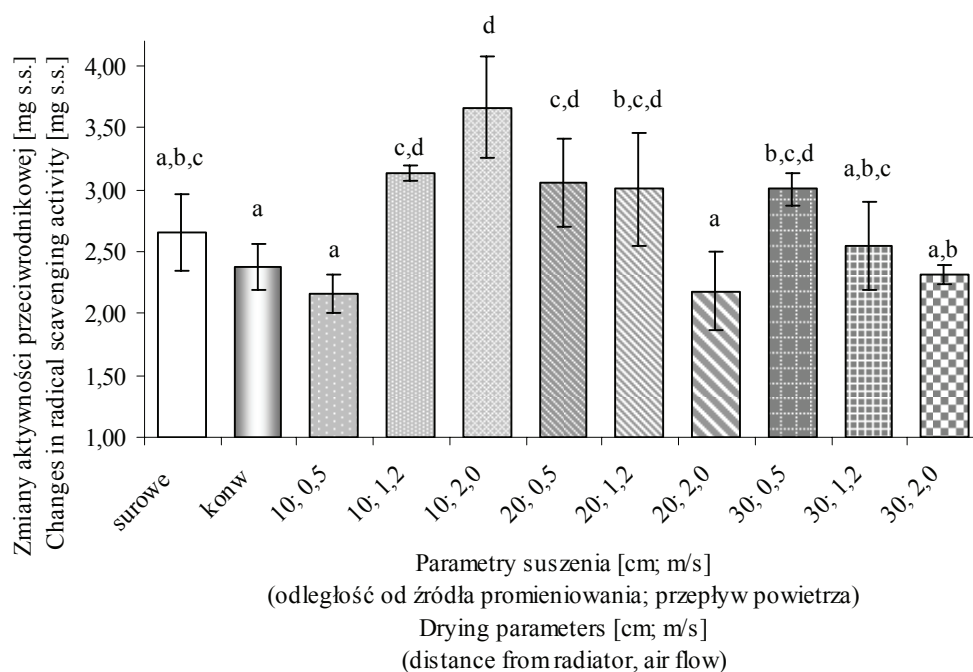
Zawartość polifenoli w surowych jabłkach wynosiła 1504 ± 32 mg kwasu chlorogenowego/100 g s.s., a do 50-procentowej redukcji wolnych rodników potrzeba było $2,65 \pm 0,30$ mg suchej substancji.

Podczas suszenia konwekcyjnego zawartość polifenoli jabłek zmniejszyła się do około 88 % aktywności surowca przed suszeniem, natomiast aktywność przeciwrodnikowa nie uległa statystycznie istotnej zmianie (rys. 1 i 2).

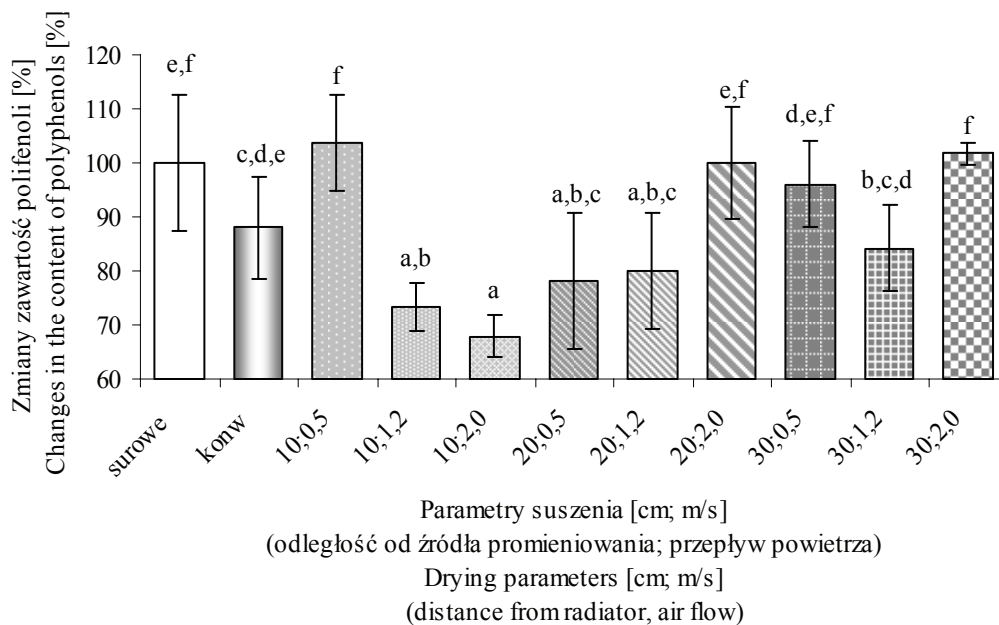
Tabela 1

Czas suszenia plastrów jabłka do osiągnięcia 0,13 kg H₂O/kg s.s. i ich końcowa temperatura.
Time of drying apple slices until they reached 0.13 kg H₂O/kg d.m. and their final temperature.

Wyszczególnienie Specification	Parametry suszenia / Drying Parameters									
	Suszenie konwekcyjne Convective drying	Suszenie konwekcyjne wspomagane promieniami podczerwonymi Convective drying supported by Infrared Rays								
Odległość źródła promieniowania [cm] Distance from the source of radiation	Temperatura 70°C Temperature of 70°C	10			20			30		
Prędkość przepływu powietrza [m/s] Air flow rate	2,0	0,5	1,2	2,0	0,5	1,2	2,0	0,5	1,2	2,0
Czas suszenia [min] Time of drying	158	123	131	155	132	129	127	106	119	127
Temperatura końcowa materiału [°C] Final temperature of material	71	90	83	75	70	66	65	69	68	67



Rys. 1. Zmiany aktywności przeciwrodnikowej suszonych jabłek w przeliczeniu na suchą substancję.
Fig. 1. Changes in radical scavenging activity of dried apples as expressed per dry matter.

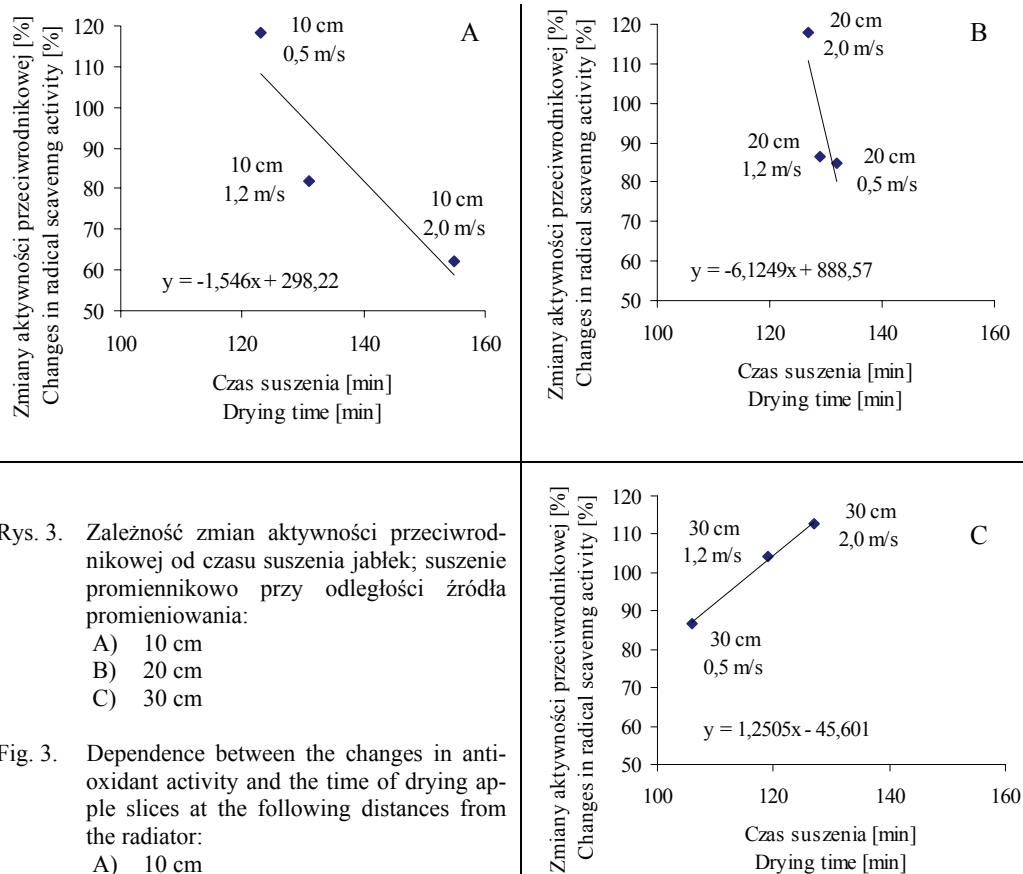


Rys. 2. Zmiany zawartości polifenoli w surowych jabłkach i suszach
 Fig. 2. Changes in the content of polyphenols in raw and dried apples

Suszenie promieniami podczerwonymi jest uznawane za metodę suszenia, gwarantującą uzyskanie wysokiej jakości suszonej żywności, w szczególności owoców, warzyw i zbóż [13]. Przy odległości od źródła promieniowania do suszonego materiału wynoszącego 10 cm, wraz ze zwiększeniem się prędkości przepływu powietrza następowało zmniejszenie aktywności przeciwrodnikowej oraz podobnie zawartości polifenoli. W przypadku tych parametrów suszenia zanotowano najwyższe temperatury końcowe materiału (tab. 1), co w połączeniu z długim czasem suszenia i znacznym natlenieniem materiału przy wyższych prędkościach przepływu powietrza spowodowało największe zmniejszenie aktywności przeciwrodnikowej i zawartości polifenoli. Badania prowadzone przy odległości źródła promieniowania od suszonego materiału wynoszącej 20 i 30 cm charakteryzowała odwrotna zależność: większą zdolność przeciwutleniającą oraz większą zawartość polifenoli obserwowano się przy zastosowaniu wyższych prędkości przepływu powietrza. W przypadku odległości próbek suszonych od źródła promieniowania wynoszącej 20 cm można to tłumaczyć zmniejszającą się temperaturą końcową materiału i czasem suszenia wraz ze wzrostem prędkości przepływu suszenia (tab. 1), co w efekcie doprowadziło do mniejszej degradacji polifenoli i związków charakteryzujących się możliwością wygaszania wolnych rodników. Gdy zastosowano odległość 30 cm, nastąpiło wydłużenie czasu suszenia wraz ze wzrostem

prędkości powietrza, co oznacza, że przy mniejszej dawce energii doprowadzanej do plasterków jabłka, wzrost prędkości powodował bardzo intensywne chłodzenie materiału, a w efekcie mniejsze prędkości suszenia. Potwierdzają to również wartości temperatury końcowej materiału, różniące się w niewielkim stopniu (67 - 69 °C).

Tak więc aktywność przeciwutleniająca suszu promiennikowego uzyskanego przy odległości od źródła promieniowania wynoszącej 10 i 20 cm była większa wówczas, gdy do ich otrzymania zastosowano krótszy czas suszenia (rys. 3A, 3B), a materiał osiągał wyższą temperaturę (tab. 1). Jedynie przy największej odległości wraz z wydłużeniem czasu suszenia i wzrostem prędkości przepływu powietrza, następował liniowy wzrost aktywności przeciwrodnikowej (rys. 3C).



Rys. 3. Zależność zmian aktywności przeciwrodnikowej od czasu suszenia jabłek; suszenie promiennikowo przy odległości źródła promieniowania:

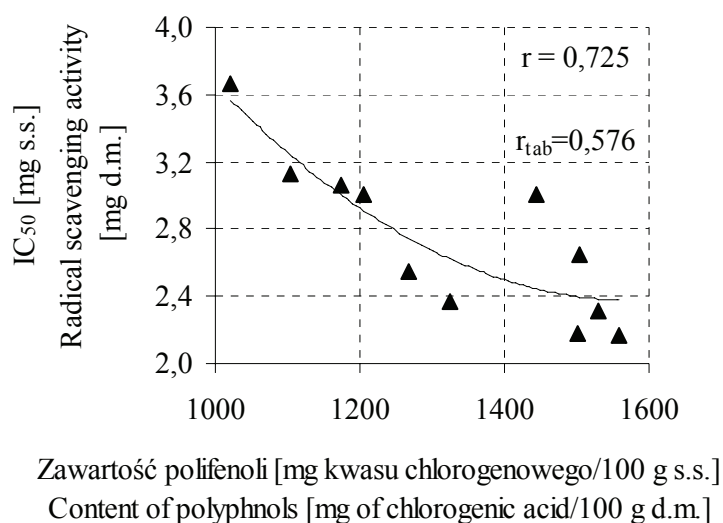
- A) 10 cm
- B) 20 cm
- C) 30 cm

Fig. 3. Dependence between the changes in antioxidant activity and the time of drying apple slices at the following distances from the radiator:

- A) 10 cm
- B) 20 cm
- C) 30 cm

Na rys. 4. przedstawiono zależność aktywności przeciwrodnikowej i zawartości polifenoli. Wartość współczynnika korelacji, $r = 0,725$, większa od wartości tablicowej

na poziomie istotności $\alpha = 0,05$, świadczy o krzywoliniowej zależności 2. stopnia pomiędzy badanymi wartościami. Jednak należy podkreślić, że również korelacja liniowa pomiędzy analizowanymi wartościami była istotna ($r = 0,64$). Zwiększenie zawartości polifenoli wpływa znacząco na wzrost aktywności przeciwrodnikowej badanych suszy. Jednakże na aktywność przeciwrodnikową poza polifenolami składają się różne inne związki, np. witaminy, barwniki. Podczas suszenia promiennikowego mogą one ulegać niewielkim zmianom, mogą też tworzyć się nowe związki, np. produkty brązowienia o charakterze przeciwutleniaczy.



Rys. 4. Zależność między współczynnikiem IC_{50} i zawartością polifenoli.

Fig. 4. Dependence between the coefficient IC_{50} and the content of polyphenols.

Wnioski

1. Suszenie konwekcyjne z wykorzystaniem promieni podczerwonych, w porównaniu z tradycyjnym suszeniem konwekcyjnym, skraca czas suszenia jabłek o 16 – 33 %, w zależności od zastosowanych parametrów procesu.
2. Aktywność przeciwrodnikowa oraz zawartość polifenoli w suszach jabłkowych zależą od stosowanej metody i parametrów suszenia, przy czym wpływ zastosowania ogrzewania promieniami podczerwonymi jest niejednoznaczny.
3. Zaobserwowano tendencję, że wraz ze zwiększaniem prędkości przepływu powietrza następowało zmniejszenie zawartości polifenoli i aktywności przeciwrodnikowej przy najmniejszej odległości materiału suszonego od źródła promieniowania (10 cm). Natomiast zwiększenie zawartości polifenoli i aktywności przeciwrodnikowej następowało przy zastosowaniu większych odległości od źródła promienio-

wania (20 i 30 cm), przy wzrastającej prędkości przepływu powietrza, a tym samym przy niższej temperaturze tkanki.

4. Zaobserwowano krzywoliniową korelację 2. stopnia między aktywnością przeciwrodnikową a zawartością polifenoli w suszach konwekcyjno-promiennikowych.

Badania realizowane z Grantu MNiSW Nr N312 159134. Praca była prezentowana podczas I Symposium Żywności z okazji 30-lecia powołania specjalizacji Inżynieria Żywności na Wydziale Nauk o Żywności SGGW, Warszawa, 5 - 6 czerwca 2008 r.

Literatura

- [1] Brand-Williams W., Cuvelier M.E., Berset C.: Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. *Lebensm.-Wiss. U. – Techn.*, 1995, **28**, 25-30.
- Grajek W.: Rola przeciwutleniaczy w zmniejszeniu ryzyka wystąpienia nowotworów i chorób układu krążenia. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2004, **1 (38)**, 3-11.
- [3] Gumul D., Korus J., Achremowicz B.: Wpływ procesów przetwórczych na aktywność przeciwutleniającą surowców pochodzenia roślinnego. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2005, **4 (45) Supl.**, 41-48.
- [4] Lim Y.Y., Murtijaya J.: Antioxidant properties of *Phyllanthus amarus* extracts as affected by different drying methods. *LWT - Food Sci. Technol.*, 2007, **40**, 1664–1669.
- [5] Nowak D., Lewicki P.P.: Infrared drying of apple slices. *Innovative Food Sci. Emerg. Technol.*, 2004, **5 (3)**, 353-360.
- [6] PN-90/A-75101/03 Oznaczanie zawartości suchej masy metodą wagową.
- [7] Praveen Kumar D.G., Umesh Hebbar H., Ramesh M.N.: Suitability of thin layer models for infrared-hot air-drying of onion slices. *LWT - Food Sci. Technol.*, 2006, **39**, 700-705.
- [8] Raport o stanie i perspektywach przemysłu rolno-spożywczego. Rada Gospodarki Żywnościowej przy Ministrze Rolnictwa i Rozwoju Wsi. Warszawa, maj 2006, ss. 81-124.
- [9] Sakai N., Hanzawa T.: Application and advances in far-infrared heating in Japan. *Trends Food Sci. Technol.*, 1994, **5 (11)**, 357-362.
- [10] Sharma G.P., Verma R.C., Pathare P.B.: Thin-layer infrared radiation drying of onion slices, *J. Food Eng.*, 2005, **67 (3)**, 361-366.
- [11] Sluis A., Dekker M., Skrede G., Jongen W.: Activity and concentration of polyphenolic antioxidants in apple juice. Effect of existing production methods. *J. Agric. Food Chem.*, 2002, **50 (25)**, 7211-7214.
- [12] Ścibisz I., Mitek M.: Aktywność przeciwutleniająca i zawartość związków fenolowych w suszach z owoców borówki wysokiej (*Vaccinium corymbosum L.*). *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2006, **4 (49)**, 68-76.
- [13] Tog̃rul H.: Suitable drying model for infrared drying of carrot. *J. Food Eng.*, 2006, **77**, 610–619.
- [14] Umesh Hebbar H., Vishwanathan K.H., Ramesh M.N.: Development of combined infrared and hot air dryer for vegetables. *J. Food Eng.*, 2004, **65 (4)**, 557-563.
- [15] Wang J., Sheng K.: Far-infrared and microwave drying of peach. *LWT - Food Sci. Technol.*, 2006, **39(3)**, 247-255.
- [16] Wesolowski A., Markowski M.: Badania nad suszeniem jabłek promieniami podczerwonymi, *Inż. Roln.*, 2000, **5**, 249-256.

CHANGES IN RADICAL SCAVENGING ACTIVITY AND IN CONTENT OF POLYPHENOLS IN DRIED APPLES PRODUCED USING INFRARED RADIATION

Summary

Natural antioxidants impact general antioxidant activity of raw material to a large extent, and, among them, polyphenols constitute the biggest group. Each technological treatment has, unquestionably, an effect on changes in the antioxidant capacity of products. Thus, the objective of this study was to determine the effect of some drying parameters applied while using infrared radiation to dry apples, i.e. air flow rate and distance between the source of radiation and the surface of the material being dried, on the antioxidant activity and the content of polyphenols in dried apples. The analysis results of apple samples dried using infrared radiation were compared with the relevant analysis results of samples dried by a traditional method, at $t = 70$ °C. When the distance from the radiation source was the longest and the air flow rate was the lowest, the time of drying was shorter by, even, 33 % compared to the convective drying method. The time of drying got longer along with the increasing rate of air flow and with the decreasing distance from the radiation source. However, while drying apples using infrared rays, the impact of both the distance from the radiation source and the air flow rate on the antioxidant activity and the content of polyphenols were not explicit. It was found that along with the growing air flow rate and at a shorter time of drying, the content of polyphenols and the scavenging activity were reduced at the shortest distance between the material being dried and the source of radiation. However, when longer distances from the radiation source were applied (20 and 30 cm), it was found that the content of polyphenols and antioxidant activity either grew or did not change along with the growing air flow rate, so, at a lower temperature of tissue. As for a 30 cm distance from the radiation source, a linear increase in the antioxidant activity was reported along with the increase in the air flow rate. Furthermore, a curvilinear dependence between the antioxidant activity and the content of polyphenols was shown; it evidenced the fact that the increase in the content of polyphenols impacted the increase in the antioxidant activity of the dried apple slices under this study.

Key words: infrared drying, convective drying, radical scavenging activity, polyphenols content, apple slices 