

ANNA FABISIAK, LI SHENG, JAN STAWCZYK,
DOROTA WITROWA-RAJCHERT

**WPŁYW METODY I TEMPERATURY SUSZENIA JABŁEK
NA AKTYWNOŚĆ PRZECIWUTLENIAJĄCĄ OTRZYMANYCH
Z NICH EKSTRAKTÓW**

Streszczenie

Celem pracy było określenie wpływu różnych metod suszenia i temperatury procesu na aktywność przeciwutleniającą ekstraktów otrzymanych z suszonych jabłek.

Najwyższą zdolnością neutralizacji wolnych rodników charakteryzował się ekstrakt z suszu sublimacyjnego. Stwierdzono statystycznie istotną, mniejszą jego aktywność przeciwutleniającą w stosunku do surowego jabłka (zmniejszenie aktywności wyniosło około 9%) jedynie w przypadku zastosowania temperatury półki wynoszącej 40°C. Jednocześnie, mimo nieznacznego zmniejszenia, zawartość polifenoli w tych suszach nie różniła się istotnie od ich zawartości w surowcu przed suszeniem. Podczas suszenia konwekcyjnego aktywność przeciwutleniająca jabłek zmniejszyła się znacząco, osiągając 60–80% aktywności surowca przed suszeniem. Podobnie zawartość polifenoli uległa około 30–35-procentowej redukcji. Suszenie niskotemperaturowe również spowodowało zmniejszenie aktywności przeciwutleniającej i zawartości polifenoli, jednak nie było ono tak istotne, jak w przypadku suszenia w wysokiej temperaturze, ale większe niż suszu sublimacyjnego. Aktywność przeciwutleniająca zmniejszyła się o około 8-27%, zaś zawartość polifenoli – w granicach 5–29%. Nie stwierdzono jednoznacznego wpływu poziomu temperatury na badane wskaźniki jakości suszu, niezależnie od zastosowanej metody suszenia.

Słowa kluczowe: suszenie konwekcyjne, suszenie sublimacyjne, suszenie niskotemperaturowe, aktywność przeciwutleniająca, polifenole

Mgr. inż. A. Fabisiak, dr hab. D. Witrowa-Rajchert, prof. SGGW, Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji, Wydz. Technologii Żywności, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego ul. Nowoursynowska 159 C, 02-776 Warszawa, mgr Sheng Li, dr J. Stawczyk, Katedra Procesów Ciepłych i Dyfuzyjnych, Wydz. Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska, Politechnika Łódzka, ul. Wólczajska 215, 90-924 Łódź

Wprowadzenie

Wolne rodniki i inne czynniki utleniające są niepożądanymi produktami wielu reakcji zachodzących w organizmie człowieka. Reagują z cząsteczkami białek i węglowodanów, przekształcając je w formy o budowie rodnikowej, zapoczątkowując reakcje łańcuchowe. Reakcjom tym przeciwdziałają związki o charakterze przeciwutleniającym [11]. Zaburzenie równowagi pomiędzy reaktywnymi formami tlenu i aktywnością przeciwutleniaczy jest określane mianem stresu oksydacyjnego, który towarzyszy wielu chorobom. Udowodnienie udziału wolnych rodników w patogenezie wielu chorób stworzyło potrzebę poszerzenia grupy przeciwutleniaczy, głównie fitozwiązków z naturalnych źródeł, jakimi są owoce i warzywa [5, 12].

Rodnikowe reakcje utleniania w znacznym stopniu obniżają jakość żywności. Inaktywacja wolnych rodników na różnych poziomach utleniania jest metodą przedłużania trwałości i polepszania jakości żywności. Związki fenolowe, z uwagi na zawartość grup hydroksylowych, wykazują wysoką aktywność w wiązaniu wolnych rodników i reaktywnych form tlenu. Aktywność ta wynika z łatwości oddawania wolnego wodoru, a utworzone formy rodników są stabilne [4, 12].

Owoce i warzywa wykazują działanie przeciwutleniające. Zawartość związków przeciwutleniających zależy od gatunku i rodzaju rośliny, z której pochodzą i jest pośrednio związana z występowaniem naturalnych barwników [13]. Właściwości przeciwutleniające zależą od składu chemicznego tkanki i nawet w obrębie tego samego gatunku mogą występować znaczne różnice, wynikające zarówno z cech odmianowych, warunków uprawy surowca, jak i sposobu oznaczania związków decydujących o tych właściwościach [10]. Na właściwości przeciwutleniające surowca ma także wpływ sposób jego przetwarzania. Suszenie owoców wpływa na ogół destrukcyjnie na zawartość polifenoli i związków decydujących o aktywności tego surowca [3, 13].

Celem pracy było określenie wpływu różnych metod suszenia jablek: konwekcyjnej, sublimacyjnej i suszenia niskotemperaturowego pod ciśnieniem atmosferycznym, oraz temperatury procesu na aktywność przeciwutleniającą ekstraktów uzyskanych z suszonego materiału.

Materiał i metody badań

Surowcem do badań były jabłka odmiany Idared. Materiał krojono w kostki o boku 1cm i poddawano suszeniu. Suszenie konwekcyjne prowadzono w suszarce laboratoryjnej, stosując temp. powietrza 60, 70 i 80°C oraz prędkość przepływu powietrza wzdłuż warstwy materiału 2 m/s. Suszenie sublimacyjne wykonano w suszarce Christ LOC-1m firmy ALPHA1-4, w której kontaktowo ogrzewano próbki w temp. pólki 20, 30 oraz 40°C pod ciśnieniem 63 Pa (przed suszeniem materiał

zamrożono konwekcyjnie w powietrzu o temp. -20°C przez 24 h). Suszenie niskotemperaturowe polegało na suszeniu zamrożonego materiału pod ciśnieniem atmosferycznym w układzie z pompą ciepła, stosując temp. powietrza -4 , -8 , -12 i -16°C . Pompa ciepła była używana do schładzania wilgotnego powietrza poniżej temperatury punktu lodu/rosy i usuwania wilgoci z obiegu. Aparatura, zasada metody i sposób suszenia zostały przedstawione przez Żyłę i Witrową-Rajchert [15].

W materiale surowym oraz w suszu oznaczano zawartość suchej substancji zgodnie z PN-90/A-75101/03.

Właściwości przeciwutleniające surowych jabłek i suszu oznaczano metodą, która polega na określeniu stopnia neutralizowania wolnych rodników DPPH[•] przez przeciwutleniacze. W celu sporządzenia ekstraktu do analiz odważano 5 g rozdrobnionego miąższu surowych jabłek i dodawano 50 ml 80-procentowego etanolu. W przypadku suszu ilość gramów próbki potrzebną do analizy obliczano przy założeniu, że masa suchej substancji w suszu ma być równa masie suchej substancji zawartej w 5 g surowego jabłka. Do odważonego suszu dodawano taką ilość wody, aby sumaryczna masa wynosiła 5 g, a następnie 50 ml 80-procentowego etanolu. Próbę homogenizowano przez 10 min, po czym gotowano pod przykryciem przez 15 min. Tak przygotowany roztwór sączono. W ekstrakcie oznaczano aktywność przeciwutleniającą 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[•], ale różne objętości ekstraktu. Na tej podstawie wykreślono zależność liniową pomiędzy objętością ekstraktu a stopniem neutralizacji rodników DPPH[•]. Z równania linii prostej obliczano objętość ekstraktu, powodującą 50-procentową redukcję rodników. Wartość tę przeliczano na masę suchej substancji odpowiadającą danej objętości ekstraktu. Tak więc efektywność neutralizacji wolnych rodników przez badane susze wyrażano w formie współczynnika IC_{50} , określającego ilość potrzebnego suszu do 50-procentowej redukcji wolnych rodników.

Zawartość związków polifenolowych oznaczano metodą Folina-Ciocalteu'a [9], stosując jako wzorzec kwas chlorogenowy.

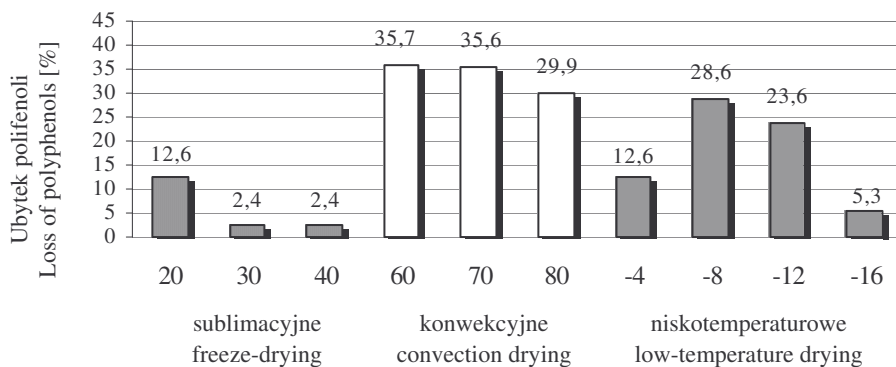
Do analiz wykorzystano ekstrakt przygotowany do oznaczania stopnia neutralizacji wolnych rodników. Analizy wykonano na dwóch partiach surowca (tab.1), powtarzając dwukrotnie każdy proces suszenia oraz ekstrakcji.

Wyniki i ich omówienie

Aktywność przeciwutleniająca jest jedną z najlepiej zbadanych aktywności biologicznych surowców roślinnych [11]. Czynnikiem decydującym o efektywności przeciwutleniającej jest skład owoców, jak również warunki prowadzenia procesów technologicznych [11, 14].

Owoce i warzywa na skalę przemysłową suszy się metodą konwekcyjną. Proces suszenia konwekcyjnego zachodzi w podwyższonej temperaturze przy silnym napowietrzaniu materiału. Prowadzi to do znacznych strat polifenoli, niekiedy sięgających nawet 50% [5]. W przeprowadzonych badaniach stwierdzono, że w wyniku suszenia konwekcyjnego w temp. 60 i 70°C zawartość polifenoli uległa ok. 35%-procentowej redukcji (rys. 1, tab. 1), co potwierdza negatywny wpływ działania wysokiej temperatury [2, 8].

Suszone konwekcyjnie owoce są pozbawione w dużym stopniu aktywnych biologicznie niskocząsteczkowych polifenoli. Przypuszcza się, że przyczyną strat polifenoli może być obecność oksydazy polifenolowej, która uczestniczy w utlenianiu substancji zawierających związki polifenolowe. Optimum termiczne działania tego enzymu to temp. 40°C. Suszenie konwekcyjne jabłek w temp. powietrza 60 i 70°C prowadziło do zmniejszenia zawartości związków polifenolowych, choć statystycznie istotnych różnic w zawartościach polifenoli w jabłkach suszonych w trzech wartościach temperatury nie stwierdzono (tab. 1). Niższa temperatura suszenia, związana jest z dłuższym czasem całego procesu (60°C – 3,5 h i 70°C – 3 h; 80°C – 2,5 h), a więc przypuszczalnie również z dłuższym czasem przebywania tkanki jabłka w temperaturze zbliżonej do optymalnej temperatury działania oksydazy polifenolowej. To w efekcie mogło spowodować większe straty polifenoli w niższych wartościach temperatury suszenia.



Rys. 1. Ubytek polifenoli w jabłkach suszonych różnymi metodami, wyrażony jako procent ich zawartości w jabłkach surowych.

Fig. 1. The loss of polyphenols (expressed as a percentage of their content in raw apples).

Suszone konwekcyjnie owoce są pozbawione w dużym stopniu aktywnych biologicznie niskocząsteczkowych polifenoli. Przypuszcza się, że przyczyną ubytku polifenoli może być obecność oksydazy polifenolowej, która uczestniczy w utlenianiu substancji zawierających związki polifenolowe. Optimum działania tego enzymu to temp. 40°C. Suszenie konwekcyjne jabłek w temp. powietrza 60 i 70°C prowadziło do

zmniejszenia zawartości związków polifenolowych, choć statystycznie istotnych różnic zawartościach polifenoli w jabłkach suszonych w trzech wartościach temperatury nie stwierdzono (tab. 1). Niższa temperatura suszenia związana jest z dłuższym trwaniem całego procesu (60°C – 3,5 h i 70°C – 3 h; 80°C – 2,5 h), a więc przypuszczalnie również z dłuższym okresem utrzymywania się wewnątrz kostek jabłka temperatury zbliżonej do optymalnej temperatury działania oksydazy polifenolowej (temperatura wewnątrz materiału w czasie suszenia – w drugim okresie procesu – rośnie stopniowo od temperatury termometru mokrego powietrza suszącego, osiągając co najwyżej temperaturę powietrza suszącego pod koniec suszenia). To w efekcie mogło spowodować większe straty polifenoli w niższej temperaturze suszenia.

Tabela 1

Aktywność przeciwutleniająca oraz zawartość polifenoli w ekstraktach z surowych i suszonych jabłek.
The antioxidant activity and content of polyphenols in the extracts produced from raw and dried apples.

Rodzaj badanego materiału The type of material under investigation	Temp. suszenia Drying temperature [°C]	Aktywność przeciwutleniająca (IC ₅₀) [mg s.s] Antioxidant activity		Zawartość polifenoli [mg / 100g s.s] Content of polyphenols	
		\bar{x}	SD	\bar{x}	SD
Jabłka surowe / Raw apples	-	1,75 ^a	± 0,016	1493,0 ^A	± 90,54
Jabłka surowe* / Raw apples*	-	*2,13 ^b	± 0,064	*1784,0 ^B	± 94,54
Jabłka suszone sublimacyjnie (po zamrożeniu) / Freeze-dried apples (after freezing)	20	1,73 ^a	± 0,007	1304,7 ^A	± 26,63
	30	1,88 ^a	± 0,262	1457,3 ^A	± 2,656
	40	1,91 ^c	± 0,040	1457,3 ^A	± 29,28
Jabłka suszone konwekcyjnie Convective-dried apples	60	*2,97 ^d	± 0,322	*1146,5 ^C	± 26,64
	70	*2,53 ^e	± 0,086	*1148,6 ^C	± 45,29
	80	*2,82 ^d	± 0,045	*1250,1 ^C	± 23,96
Jabłka suszone w niskiej temperaturze Apples dried at a low temperature	-4	2,09 ^f	± 0,014	1304,7 ^A	± 37,29
	-8	2,21 ^f	± 0,063	1065,5 ^D	± 18,64
	-12	*2,29 ^b	± 0,301	*1357,4 ^E	± 122,5
	-16	*2,57 ^e	± 0,084	*1688,9 ^B	± 63,78

Objaśnienia: / Explanatory notes:

* – jabłka surowe i susze pochodzące z innej partii surowca / raw apples and dried apples originating from different batches of raw material;

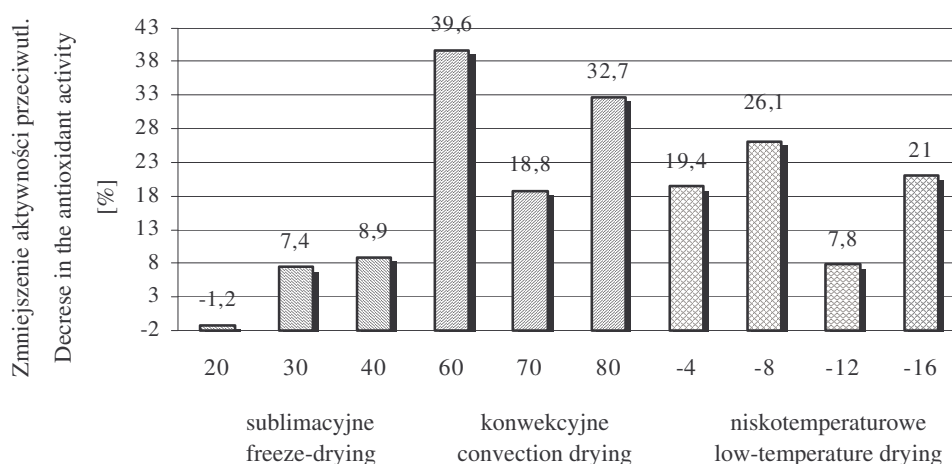
a, A. – wartości średnie oznaczone tą samą literą nie różnią się statystycznie istotnie / mean values denoted by the same letter do not differ statistically significantly;

\bar{x} – wartość średnia / mean value; SD – odchylenie standardowe / standard deviation.

Zależności występujące pomiędzy aktywnością utleniającą i zawartością polifenoli nie są do końca poznane. Procesy cieplne mogą powodować zmniejszenie aktywności przeciwutleniającej (do ponad 40%) i zawartości związków polifenolowych (do ponad 50%) [6, 7]. Ubytek związków fenolowych może być

przyczyną zmniejszenia aktywności przeciwutleniającej. W prezentowanych badaniach stwierdzono zmniejszenie aktywności przeciwutleniającej suszonych konwekcyjnie jabłek o 20–40% w porównaniu z jabłkami surowymi (rys. 2, tab. 1).

Nie stwierdzono statystycznie istotnych różnic pomiędzy zdolnością neutralizacji wolnych rodników suszy otrzymanych w temp. 60 i 80°C. Można przypuszczać, że zarówno długi okres przebywania suszonego materiału w niższej temperaturze (60°C –



Rys. 2. Zmniejszenie aktywności przeciwutleniającej jabłek suszonych różnymi metodami, wyrażone jako procent aktywności surowych jabłek.

Fig. 2. Decrease in the antioxidant activity of apples dried using various methods, and expressed as a per cent rate of the antioxidant activity of raw apples.

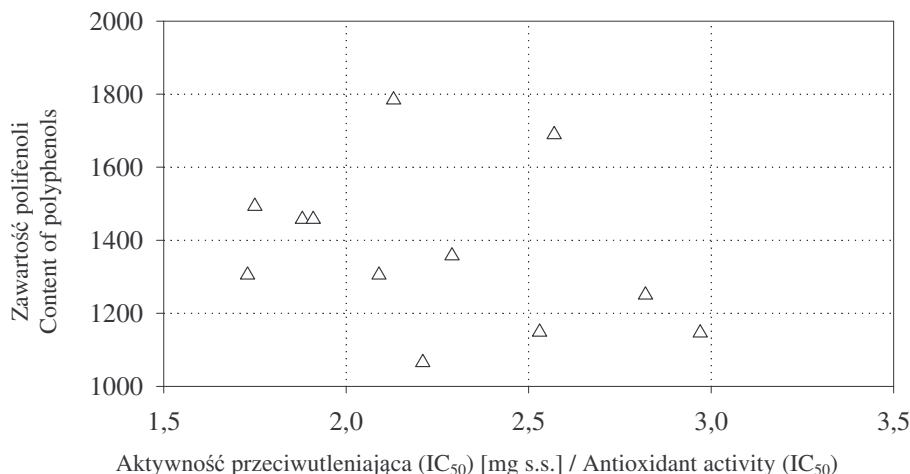
3,5 h), jak i krótkotrwałe działanie wysokiej temperatury (80°C – 2,5 h) prowadzą do zmian aktywności przeciwutleniającej wyekstrahowanych z suszonej tkanki jabłka związków. Soong i Barlow [10] stwierdzili, że mniejsza aktywność przeciwutleniająca związana jest z niższą temperaturą prowadzenia procesu suszenia. Owoce mango suszone w temp. 35°C wykazały aktywność wynoszącą 1571 $\mu\text{mol/g}$ w przeliczeniu na kwas askorbinowy, natomiast gdy zastosowano temp. 105°C aktywność była równa 1888 $\mu\text{mol/g}$, czyli zwiększyła się o około 20%. Natomiast wysoka temperatura (85°C) suszenia śliwek 'President' spowodowała zmniejszenie aktywności przeciwutleniającej o około 50%, w porównaniu suszeniem w temp. 60°C. Jednak w przypadku tych owoców bardzo znacząca okazała się odmiana, ponieważ w przypadku śliwek 'Sugar' nie stwierdzono wpływu zróżnicowanej temperatury na badaną aktywność [2].

Brak dostępu tlenu i niższa temperatura suszenia sublimacyjnego jest przyczyną lepszego zachowania wskaźników jakościowych suszu, ponieważ w takich warunkach reakcje biochemiczne przebiegają wolniej. Znaczenie ma również mniejsze uszkodzenie

przepuszczalności błon komórkowych z uwagi na usuwanie wody poprzez stopniowe przesuwanie się frontu lodowego od powierzchni do wnętrza. Przez puste pory powstałe w materiale w czasie sublimacji para wodna przedostaje się na powierzchnię produktu bez uszkodzenia jego struktury. Tak więc niektóre właściwości suszu sublimacyjnego w niewielkim stopniu odbiegają od właściwości materiału surowego. Potwierdzają to przeprowadzone eksperymenty, w których najlepszą zdolność wiązania wolnych rodników uzyskano w przypadku suszy sublimacyjnych. Statystycznie istotne zmniejszenie aktywności przeciwutleniającej w stosunku do surowego jabłka stwierdzono jedynie w przypadku prowadzenia procesu suszenia w temp. półki 40°C (rys. 2, tab. 1).

Zaobserwowano również nieznaczne zmniejszenie zawartości polifenoli w jabłkach suszonych sublimacyjnie (rys. 1, tab. 1.). Największy ubytek polifenoli odnotowano w temp. półki 20°C, jednak analiza statystyczna nie potwierdziła statystycznie istotnych różnic pomiędzy wszystkimi suszami otrzymanymi sublimacyjnie i jabłkami surowymi.

Od wielu lat trwają badania nad opracowaniem techniki odwadniania, która będzie łączyła zalety zarówno liofilizacji (wysoka jakość produktu), jak i konwekcyjnych metod suszenia (niskie koszty procesu). Jedną z takich metod może być zastosowanie mieszanej techniki suszenia, polegającej na „płytkim” zamrożeniu (do około -10÷ -15°C) i suszeniu pod ciśnieniem atmosferycznym (określaną jako suszenie niskotemperaturowe). W metodzie tej prowadzi się suszenie produktu w temperze ujemnej do osiągnięcia przez materiał wilgotności krytycznej (odpowiadającej powstaniu sztywnego produktu, co ogranicza lub likwiduje skurcz), a następnie zwiększa się temperaturę procesu do kilku lub kilkunastu stopni Celsjusza i suszy produkt do osiągnięcia żądanej wilgotności końcowej [15]. W niniejszej pracy przedstawiono wyniki wstępnych badań suszenia niskotemperaturowego, podczas których cały proces usuwania wody prowadzono w ujemnych wartościach temperatury. Suszenie niskotemperaturowe spowodowało zmniejszenie aktywności przeciwutleniającej i zawartości polifenoli, jednak było ono nie tak istotne jak w przypadku suszenia konwekcyjnego, ale większe niż w suszu sublimacyjnym. Aktywność przeciwutleniająca obniżyła się o około 8–26%, zaś zawartość polifenoli w granicach 5–29%.



Rys. 3. Zależność między aktywnością przeciwutleniającą i zawartością polifenoli.

Fig. 3. Dependence between the antioxidant activity and the content of polyphenols.

W prezentowanej pracy we wszystkich metodach suszenia nie stwierdzono jednoznacznego wpływu wysokości temperatury na badane wskaźniki, co świadczy prawdopodobnie o tym, że poza temperaturą również czas procesu oraz stan wody w materiale odgrywają ważną rolę podczas przemian prowadzących do obniżenia zawartości polifenoli i związków decydujących o aktywności przeciwutleniającej ekstraktu otrzymanego z suszonych jabłek.

Przedstawione wyniki świadczą o tym, że w przypadku suszonych jabłek nie można stwierdzić istnienia korelacji pomiędzy zawartością związków polifenolowych a aktywnością przeciwutleniającą badanych materiałów (rys. 3).

Wnioski

1. Najlepszą zdolność neutralizacji rodników wykazał ekstrakt z suszu sublimacyjnego. Zawartość związków polifenolowych oraz aktywność przeciwutleniająca, chociaż uległy nieznacznemu zmniejszeniu, były porównywalne do ekstraktów z materiału surowego.
2. Podczas suszenia konwekcyjnego aktywność przeciwutleniająca ekstraktów z jabłek zmniejszyła się znacząco, osiągając 60–80% aktywności w surowcu przed suszeniem. Podobnie zawartość polifenoli uległa około 30–35% zmniejszeniu.
3. Suszenie niskotemperaturowe spowodowało zmniejszenie aktywności przeciwutleniającej i zawartości polifenoli, jednak nie było ono tak istotne, jak w przypadku suszenia konwekcyjnego.
4. We wszystkich metodach suszenia nie stwierdzono jednoznacznego wpływu poziomu temperatury na badane wskaźniki jakości suszu.

Praca została wykonana w ramach grantu 4T 09C 04823, finansowanego przez KBN.

Literatura

- [1] Brand-Williams W., Cuvelier M. E., Berset, C.: Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. *Lebensm.-Wiss. u.- Technol.*, 1995, **28**, 25-30.
- [2] Caro A., Piga A., Pinna I., Fenu P. M., Agabbio M.: Effect of drying conditions and storage and ascorbic acid of prunes. *J. Agric. Food Chem.*, 2004, **52**, 4780-4784.
- [3] Chin-Lin H., Weniung Ch., Yin-Ming W., Chin-Yin T.: Chemical composition, physical properties, and antioxidant activities of yam flours as different drying methods. *Food Chem.*, 2003, **83**, 85-92.
- [4] Garcia-Alonso M., Pascual S., Santos-Buelga C., Rivas-Gonzalo C.: Evaluation of the antioxidant properties of fruits. *Food Chem.*, 2004, **44**, 13-18.
- [5] Horubała A.: Pojemność przeciwutleniająca i jej zmiany w procesach przetwarzania owoców i warzyw. *Przem. Ferm. Owoc. Warz.*, 1999, **3**, 30-32.
- [6] Leja M., Marecyek A., Ben J.: Antioxidant properties of apple cultivars during long-term storage. *Food Chem.*, 2003, **80**, 303-307.
- [7] Nindo C.I., Sun T., Wang S.W., Tang J., Powers J.R.: Evaluation of drying technologies for retention of physical quality and antioxidants in asparagus (*Asparagus officinalis*, L.). *Lebensm.-Wiss.u.-Technol.*, 2003, **36**, 507-516.
- [8] Raynal J., Moutounet M., Souquet J-M.: Intervention of phenolic compounds in plum technology. 1.Changes during drying. *J. Agric. Food Chem.*, 1989, **37**, 1046-1050.
- [9] Singleton V.L., Orthofer R., Lamuela-Raventions R.M.: Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods Enzymol.*, 1999, **299**, 152-178.
- [10] Soong Y-Y., Barlow P.J.: Antioxidant activity and phenolic content of selected fruit seeds. *Food Chem.*, 2004, **88**, 411-417.
- [11] Sosnowska D., Wilska-Jeszka J.: Ocena aktywności antyoksydacyjnej flawonoidów w zależności do metody oznaczania. IV Konferencja Naukowa „Flawonoidy i ich zastosowanie” Rzeszów, 2002, s.159-165.
- [12] Sun J., Yi-Fang Ch., Xianzhong Wu: Antioxidant and antiproliferative activities of common fruits. *J. Agric. Food Chem.*, 2002, **50**, 7449-7454.
- [13] Velioglu Y.S., Mazza G., Gao L., Oomah B.D.: Antioxidant activity and total phenolic in selected fruits, vegetables and grain products. *J. Agric. Food Chem.*, 1998, **46**, 4113-4117.
- [14] Wang H., Cao G., Prior R.L.: Total antioxidant captivity of fruits. *J. Agric. Chem.*, 1996, **44**, 701-705.
- [15] Żyła R., Witrowa- Rajchert D.: Niskotempaturowe suszenie produktów spożywczych pod ciśnieniem atmosferycznym. *Inż. Apar. Chem.*, 2004, **43** (1), 3-6.

**THE INFLUENCE OF METHOD AND APPLES DRYING TEMPERATURE
ON THE ANTIOXIDANT ACTIVITY OF EXTRACTS PRODUCED
FROM THOSE DRIED APPLES**

S u m m a r y

The objective of this paper was to determine the influence of different types of drying methods and of the apples drying temperatures on the antioxidant activity of extracts made from those dried apples. The highest capacity to neutralize free radicals was stated in the case of an extract produced from freeze-dried apples. A statistically significantly lower antioxidant activity of them, comparing to raw apples (the antioxidant activity was by 9% lower) was found only when a drying temperature at a shelf was 40°C. At the same time, the content of polyphenols in the dried apples, though irrelevantly decreased, did not statistically significantly differ from their content in the raw apples prior to drying. During the convective process of drying, the antioxidant activity of apples significantly decreased, and reached a level of 60 to 80% of the raw material activity. Similarly, the decrease in the content of polyphenols was approximately 30-35%. A low-temperature drying process also caused a decrease in the antioxidant activity, as well as in the content of polyphenols, however, this decrease was not as significant as in the case of drying at high temperatures, though, it was higher than in the case of a freeze-drying process. The antioxidant activity was reduced by about 8 to 27%, and the content of polyphenols by 5 to 9%. No unambiguous influence of the drying temperature level on the dried apples' quality factors was determined, irrespective of a drying method applied.

Key words: convective drying, freeze-drying, low-temperature drying, antioxidant activity, polyphenols ☒