

MAGDALENA ŚLEDŹ, DOROTA WITROWA-RAJCHERT

*Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji,
Wydział Nauk o Żywności,
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego,
Nowoursynowska 159C, 02-776 Warszawa
E-mail: magdalena_sledz@sggw.pl*

SKŁADNIKI BIOLOGICZNIE CZYNNE W SUSZONYCH ZIOŁACH – CZY CIĄGLE AKTYWNE?

WPROWADZENIE

Surowce zielarskie towarzyszą człowiekowi od zarania dziejów. To one, jako pierwsze, nadawały smak i zapach posiłkom ludzi pierwotnych, następnie służyły im jako leki czy nawet eliksiry. W starożytności poświęcano im dużo uwagi; niektórym nawet oddawano cześć. Jako leki straciły na znaczeniu w momencie gwałtownego rozwoju przemysłu chemicznego, kiedy to zostały zastąpione przez syntetyczne odpowiedniki. Obecnie, oprócz niekwestionowanego znaczenia w przyprawianiu potraw i pobudzaniu procesów trawiennych, powraca także zainteresowanie ich znaczeniem w leczeniu oraz profilaktyce niektórych chorób.

Świeże surowce zielarskie są nietrwałe, ze względu na wysoką zawartość wody (średnio 70-85% dla ziela i liści). Dodatkowo, destrukcyjne działanie wielu zawartych w nich enzymów sprawia, że szczególnie istotne jest przedłużenie trwałości tak cennych surow-

ców. Najbardziej rozpowszechnioną metodą jest suszenie. Stosowane są zarówno metody naturalne (na otwartej przestrzeni oraz w pomieszczeniach zamkniętych), wykorzystujące bezpośrednio ciepło promieniowania słonecznego i ciepło zawarte w powietrzu, jak i termiczne – głównie suszenie konwekcyjne. Rzadziej stosowana jest liofilizacja, suszenie dielektryczne oraz promiennikowe (KARWOWSKA i PRZYBYŁ 2005).

Aktualnie, przedmiotem badań naukowych są takie składniki aktywne ziół jak: polifenole (jako główne związki odpowiedzialne za działanie antyoksydacyjne), chlorofile, składniki olejków eterycznych, kwas askorbinowy czy, w mniejszym stopniu, karotenoidy. Analizuje się nie tylko zawartość tych związków w świeżych ziołach, ale także wpływ warunków uprawy oraz przetwarzania (suszenie, dekontaminacja, zamrażanie) na ich retencję w produktach.

CHARAKTERYSTYKA SUBSTANCJI BIOLOGICZNIE AKTYWNYCH W ZIOŁACH ORAZ WPŁYW SUSZENIA NA ICH ZAWARTOŚĆ

OLEJKI ETERYCZNE

Olejki eteryczne są mieszaniną od kilku do kilkudziesięciu związków lotnych, głównie mono- i seskwiterpenów oraz pochodnych fenylopropenu (ZACHARIAH i LEELA 2006), wytwarzanych przez roślinę i gromadzonych w delikatnych włoskach wydzielniczych zlo-

kalizowanych na powierzchni liści. Zazwyczaj kilka związków występuje w przeważającej ilości, decydując o specyficznym zapachu surowca zielarskiego.

Lotne związki aromatyczne posiadają właściwości przeciwbakteryjne oraz przeciwgrzybicze, szczególnie w warunkach *in vitro*.

Jednak, ze względu na złożony skład produktów żywnościowych i interakcje składników, takie właściwości mogą zostać zdecydowanie ograniczone. Jak wykazali OMIDBEYGI i współaut. (2007), olejki eteryczne tymianku, cząbrku oraz goździków w ilości 500 ppm ograniczają rozwój *Aspergillus flavus* w przecierze pomidorowym odpowiednio o 87, 59 i 48%. Natomiast w warunkach *in vitro* (hodowla na agarze) inhibicja przy tej samej ilości substancji aromatycznych wynosiła 100% w przypadku tymianku i cząbrku oraz ponad 80%, gdy zastosowano olejek eteryczny goździków. Ponadto, badania żółtka jaja kurzego, jako wysokotłuszczowej matrycy, dowodzą, że działanie przeciwutleniające olejku majerankowego jest porównywalne z syntetycznym przeciwutleniaczem BHT. To z kolei pozwala sądzić, że dążenie do eliminacji dodatku sztucznych antyoksydantów na rzecz naturalnych jest uzasadnione, szczególnie z uwagi na jakość produktu (TIZIANA BARATTA i współaut. 1998).

Proces suszenia często powoduje znaczące zmiany w zawartości i składzie olejków eterycznych, co wynika z dużej wrażliwości tych substancji na destrukcyjne działanie podwyższonej temperatury. Retencja substancji lotnych zależna jest także od gatunku surowca zielarskiego. Suszenie konwekcyjne estragonu, prowadzone w różnych temperaturach powietrza (45, 60 i 90°C), wskazuje na większe straty całkowitej zawartości olejków po procesach prowadzonych w temperaturach 45 i 60°C. Pomimo najwyższego poziomu retencji lotnych związków bezpośrednio po suszeniu w 90°C, aromat w znacznie większym stopniu ulatniał się w trakcie przechowywania, w porównaniu z pozostałymi suszami (ARABHOSSEINI i współaut. 2007). Natomiast w przypadku oregano wyższa temperatura suszenia konwekcyjnego, 50°C, spowodowała zwiększenie strat dwóch głównych składników olejku, karwakrolu oraz tymolu, w porównaniu z suszem otrzymanym w 35°C. Retencja tych związków w suszach uzyskanych w temperaturze 35 i 50°C wyniosła odpowiednio 75,4 i 50,4%, w odniesieniu do ich zawartości w świeżych liściach. Suszenie w temperaturze pokojowej nie dało zadowalających rezultatów; jedynie 33,6% początkowej ilości dwóch głównych składników olejku pozostało w produkcie, co wynikało głównie z bardzo długiego czasu suszenia (15 dni) (DI CESARE i współaut. 2004).

Jednak nie zawsze zmniejszenie temperatury powietrza suszącego wpływa na ogra-

niczenie degradacji składników lotnych. Badania DEMIR i współaut. (2004), dotyczące wpływu suszenia konwekcyjnego w temperaturze 40, 50 i 60°C na zawartość olejków eterycznych w liściach laurowych, wykazały brak istotnych statystycznie różnic pomiędzy materiałem świeżym a suszem. Podobne wyniki otrzymali CALVIO-IRABIEN i współaut. (2009), badając zmiany zawartości i składu olejków eterycznych meksykańskiej odmiany oregano (*Lippia graveolens*), spowodowane czterema różnymi sposobami suszenia: suszenie na słońcu, w zaciemnionym pomieszczeniu oraz konwekcyjnie w 20 i 40°C. Autorzy nie odnotowali znaczących zmian ilościowych i jakościowych w składzie lotnych związków zapachowych oregano po procesie suszenia.

Blanszowanie, mimo wielu zalet (m.in. ochronny wpływ na retencję chlorofili, denaturacja enzymów powodujących niekorzystne przemiany), przyczynia się do znacznych strat olejków eterycznych, ze względu na odparowanie części związków lotnych już w czasie obróbki wstępnej. Retencja substancji aromatycznych oregano po blanszowaniu we wrzącej wodzie wyniosła 39,3%, w porównaniu z surowcem świeżym. Dodatkowo, suszenie ziół poddanych obróbce wstępnej przyczyniło się do dalszych strat składników aromatu; retencja spadła do poziomu 32,1 oraz 23,1% po suszeniu konwekcyjnym odpowiednio w 35 i 50°C (DI CESARE i współaut. 2004). Podobnie, w przypadku suszenia blanszowanej bazylii retencja czterech głównych składników aromatu (metyloeugenolu, eugenolu, linalolu i eukaliptolu) była na bardzo niskim poziomie. Suszenie sublimacyjne pozwoliło na retencję 50% substancji lotnych, a suszenie mikrofalowe (przy różnych kombinacjach mocy mikrofal) od poniżej 20 do 42%. Suszenie konwekcyjne spowodowało zachowanie niewiele ponad 30% składników aromatu świeżej bazylii (DI CESARE i współaut. 2003).

W ostatnich latach poszukuje się alternatywnych metod suszenia, pozwalających na skrócenie czasu i łatwą kontrolę procesu oraz uzyskanie suszu o wysokiej jakości. Przedmiotem badań SELLAMI i współaut. (2011) było suszenie liści laurowych przy wykorzystaniu podczerwieni, mikrofal, procesu konwekcyjnego oraz naturalnego (na otwartej przestrzeni). Świeży materiał zawierał średnio 0,58% olejków eterycznych, wśród których największy udział stanowiły utlenione pochodne monoterpenów (ponad 78%)

oraz węglowodory monoterpenowe (do 9%). Suszenie mikrofalowe (przy mocy 500 W) oraz promiennikowe (w temperaturze 45°C) nie spowodowały znaczącej utraty lotnych związków; ich stężenie wyniosło odpowiednio 0,56 i 0,49%. Najwyższą zawartość olejków eterycznych posiadał susz otrzymany w wyniku suszenia w temperaturze otoczenia (średnio 22°C) – 1,13% oraz promiennikowy, uzyskany w temperaturze 45°C – 0,78%, co wynikało z tworzenia nowych związków lotnych. Z kolei suszenie konwekcyjne przyczyniło się do zdecydowanej utraty olejków eterycznych. Niezależnie od zastosowanej temperatury (45 lub 65°C), ich zawartość wyniosła poniżej 0,3%. Suszenie przyczyniło się do zmiany składu chemicznego związków aromatycznych. W trakcie suszenia konwekcyjnego szczególnie wrażliwe okazały się węglowodory monoterpenowe, które z racji wysokiego powinowactwa do fazy wodnej oraz koncentracji w warstwach powierzchniowych materiału, łatwo ulatniały się z parą wodną. Z kolei znaczny wzrost zawartości olejków eterycznych w liściach suszonych w temperaturze otoczenia wynikał w głównej mierze ze zwiększenia ilości monoterpenów (dwukrotny wzrost) oraz seskwiterpenów. Długi czas suszenia naturalnego, jak również wysoka temperatura (65°C) w suszeniu promiennikowym, były dodatnio skorelowane z powstaniem nowych związków, nieobecnych w świeżych liściach laurowych. Autorzy wskazują, że mogło być to skutkiem utleniania oraz przegrupowań chemicznych niektórych związków lotnych. Natomiast zawartość utlenionych monoterpenów związana była z metodą suszenia. W wyniku suszenia naturalnego, mikrofalowego oraz promiennikowego (45°C) istotnie zwiększała się ich zawartość, podczas gdy susz konwekcyjny (45 i 65°C) oraz promiennikowy, otrzymany w temperaturze 65°C, posiadały ich mniej (SELLAMI i współaut. 2011).

W przypadku większości gatunków ziół niższa temperatura procesu (zbliżona do temperatury pokojowej) skutkuje zachowaniem większej ilości związków odpowiedzialnych za aromat ziół. Jednak, z powodu czasochłonności tak prowadzonego procesu oraz trudności w kontrolowaniu jego warunków, uzasadnione jest zastosowanie alternatywnych metod. Ze względu na krótki czas procesu i zadowalającą jakość otrzymanych produktów, wykorzystanie mikrofal i podczerwieni do suszenia surowców zielarskich wydaje się być uzasadnione. Ich zastosowanie jest jed-

nak zależne od gatunku surowca zielarskiego i wymaga przeprowadzenia wstępnych badań w celu określenia optymalnych parametrów procesu.

POLIFENOLE

Polifenole stanowią grupę różnorodnych strukturalnie związków rozpuszczalnych w wodzie, występujących w soku komórkowym surowców roślinnych. Wśród nich wyróżnia się: kwasy fenolowe, flawonoidy, a także stilbeny oraz lignany. Wszystkie polifenole cechuje bardzo silna zdolność przeciwutleniająca, wynikająca z obecności grup hydroksylowych połączonych z pierścieniem aromatycznym. Właściwości te wykorzystują rośliny w celu ochrony przed niekorzystnym wpływem światła widzialnego i promieniowania UV, regulacji ciśnienia osmotycznego w warunkach niskiej temperatury lub w czasie suszy oraz transportu cukrów do innych części rośliny. Polifenole wytwarzane są w roślinie w wyniku stresu mechanicznego, wodnego lub cieplnego, a dodatkowo ich zdolność łączenia się z białkami gwarantuje ochronę przed enzymami drobnoustrojów oraz owadów (CZAPSKI i MIKOŁAJCZYK 2007).

Siła neutralizacji wolnych rodników zależna jest od budowy chemicznej polifenoli. Przykładowo, w obrębie kwasów fenolowych pochodne kwasu cytrynowego wykazują wyższą aktywność przeciwutleniającą niż pochodne kwasu benzoowego, co wynika ze zdolności odbierania elektronu przez grupę karboksylową i przez to zmniejszania właściwości donorowych hydroksybenzoenu. Dużą rolę odgrywa też liczba grup hydroksylowych oraz efekty sferyczne, wynikające z położenia tych grup w cząsteczkach kwasów fenolowych. W konsekwencji pochodne kwasu benzoowego zawierające jedną grupę hydroksylową w pozycji *orto* lub *para* nie wykazują zdolności do zapobiegania utleniania lipidów (DUDA-CHODAK i WOJDYŁO 2007).

Zawartość związków polifenolowych oraz ich skład zależy od gatunku surowca zielarskiego. Jak podają ZHENG i WANG (2001), majeranek (*Origanum x majoricum*), szalwia (*Salvia officinalis*) oraz tymianek (*Thymus vulgaris*) zawierają w przeważającej ilości kwas rozmarynowy, natomiast rozmaryn (*Rosmarinus officinalis*) głównie kwas karnozolowy oraz rozmanol.

Według HOSSAIN i współaut. (2010) natomiast najwięcej kwasu rozmarynowego zawiera ekstrakt tymianku i rozmarynu, odpowiednio 10,9 i 6,95 mg/g s.s., a mniej

oregano (5,78 mg/g s.s.), bazylii (4,71 mg/g s.s.), majeranku (4,3 mg/g s.s.) i szalwii (3,3 mg/g s.s.). Całkowita zawartość polifenoli (w ekwiwalentach kwasu galusowego) w tych ekstraktach kształtuje się na poziomie odpowiednio 1,8; 1,7; 2,3; 2,5 i 1,0 g/100 g s.s.

Suszenie przyczynia się do znaczących zmian w zawartości polifenoli. Negatywny wpływ podwyższonej temperatury podczas suszenia konwekcyjnego potwierdziły badania ARSLAN i współaut. (2010). Zawartość związków fenolowych po suszeniu konwekcyjnym mięty pieprzowej w 50°C zmniejszyła się o 54% w stosunku do świeżego materiału. Jednak wyniki uzyskane w produktach otrzymywanych w wyniku suszenia naturalnego (temperatura 20-30°C) oraz mikrofalowego (moc 700 W) wskazują na zwiększenie zawartości związków polifenolowych odpowiednio o 16 i 45%. Autorzy tłumaczą taką zależność uwolnieniem przeciwutleniaczy fenolowych z matrycy, spowodowanym naruszeniem struktury w wyniku suszenia i przyczyniającym się do wzrostu oznaczanego poziomu polifenoli. Do podobnych wniosków doszli HOSSAIN i współaut. (2010), wskazując dodatkowo na możliwość degradacji enzymatycznej polifenoli w świeżych próbkach, co prowadzi do zmniejszonych ich zawartości w surowcach.

Podobnie, w przypadku suszenia sublimacyjnego, mikrofalowo-podciśnieniowego (przy mocy mikrofal 240, 360 i 480 W) oraz konwekcyjnego (w temp. 50, 60 i 70°C) oregano, degradacja postępowała w miarę zwiększania temperatury suszenia (JAŁOSZYŃSKI i współaut. 2008). Straty związków fenolowych po suszeniu konwekcyjnym wynosiły ponad 80%, gdy proces prowadzono w 60 i 70°C. W przypadku suszu uzyskanego w 50°C degradacja wyniosła 65%. Metoda sublimacyjna pozwoliła na uzyskanie suszu najwyższej jakości, co wynikało z niskiej temperatury prowadzenia procesu. Stosując suszenie mikrofalowo-podciśnieniowe otrzymano susz, charakteryzujący się znaczną degradacją polifenoli, przekraczającą 70% zawartości tych związków w świeżym oregano. Natomiast podwyższenie mocy mikrofal spowodowało zmniejszenie strat polifenoli, co wynikało ze zdecydowanego skrócenia czasu suszenia, a co za tym idzie, skrócenia czasu ekspozycji materiału na działanie podwyższonej temperatury i tlenu. Retencja polifenoli wyniosła 22, 26 i 28%, podczas suszenia przy mocy mikrofal równej odpowiednio 240, 360 i 480 W.

Powyższych zależności nie potwierdzili jednak PAPAGEORGIOU i współaut. (2008), którzy wykorzystali liofilizację oraz suszenie w temperaturze pokojowej w celu zbadania zmian zawartości polifenoli w rozmarynie, mięcie, majeranku, liściach laurowych i koprze włoskim. Wyniki ich prac wskazują na prawie 50% mniejszą zawartość związków fenolowych w suszach sublimacyjnych w porównaniu z ich zawartością w suszach konwekcyjnych. Tak różne wyniki, w porównaniu z badaniami innych autorów, mogły wynikać z faktu, że PAPAGEORGIOU i współaut. (2008) wykorzystali, oprócz liści, również gałązki i kwiaty wybranych ziół.

Suszenie konwekcyjne w temp. 25–32°C, prowadzone przez CAPECKA i współaut. (2005), nie spowodowało znaczących zmian w zawartości związków polifenolowych w suszu melisy, jednak w przypadku mięty pieprzowej oraz oregano zawartość tych substancji istotnie wzrosła, ze średniej wartości 1954 do 2580 mg/100 g ś.m. w przypadku mięty oraz z 1406 do 2221 mg/100 g ś.m. w oregano.

Pozytywny wpływ suszenia za zawartość polifenoli w ziołach stwierdzili HOSSAIN i współaut. (2010), niezależnie od zastosowanej metody usuwania wody. Jednak najlepsze efekty uzyskano susząc zioła konwekcyjnie, w średniej temperaturze 14°C w ciemnym, dobrze wentylowanym pomieszczeniu przez 3 tygodnie. Najwięcej polifenoli posiadały ekstrakty otrzymane z tak suszonego tymianku, rozmarynu i oregano. W wyniku suszenia sublimacyjnego (temperatura -54°C, ciśnienie 64 Pa, 72h) i pod obniżonym ciśnieniem (600 Pa, temperatura 70°C, 16h) uzyskano susze charakteryzujące się zbliżoną zawartością polifenoli, niższą niż w suszach konwekcyjnych, ale wyższą niż w ekstraktach surowych ziół.

Najczęściej wysokiej zawartości związków fenolowych odpowiada duża zdolność wygaszania wolnych rodników. Świadczy to o dużym znaczeniu polifenoli jako substancji przeciwutleniających w ziołach (CAPECKA i współaut. 2005). Bardzo często zależności pomiędzy zawartością polifenoli i zdolnością przeciwutleniającą są statystycznie istotne i charakteryzują się wysokimi wartościami współczynników korelacji (HOSSAIN i współaut. 2010).

ZDOLNOŚĆ PRZECIWUTLENIAJĄCA

Zdolność przeciwutleniająca, określana również jako aktywność przeciwutleniają-

ca, jest miarą zdolności do przeciwdziałania utlenianiu tłuszczów. Podczas oksydacji lipidów wytwarzane są duże ilości wolnych rodników. Te, z racji obecności w ich cząsteczkach niesparowanych elektronów, wykazują niesłychaną reaktywność, przyczyniając się do utleniania kolejnych lipidów. Wolne rodniki mogą być tworzone także w procesach inicjowanych m.in. promieniowaniem podczerwonym, widzialnym, rentgenowskim oraz falami akustycznymi. Skutkiem ich destrukcyjnego działania jest m.in. zwiększenie przepuszczalności błon komórkowych, dezaktywacja enzymów błonowych oraz utlenianie frakcji LDL cholesterolu, prowadzące do odkładania się blaszek miażdżycowych w naczyniach krwionośnych (DUDA-CHODAK i TUSZYŃSKI 2007).

Wśród przeciwutleniaczy wyróżnia się związki o charakterze prewencyjnym oraz synergistycznym. Mechanizm przerywania reakcji utleniania w przypadku tych pierwszych opiera się na oddawaniu elektronu lub wodoru oraz tworzeniu kompleksów i połączeń z kwasami tłuszczowymi. Natomiast przeciwutleniacze synergistyczne potęgują działanie innych przeciwutleniaczy, m.in. przekształcając je w formy bardziej aktywne. Same posiadają znikomą zdolność neutralizowania wolnych rodników (HORUBAŁA 1975).

Znakomitym źródłem naturalnych przeciwutleniaczy są surowce roślinne, wśród których zioła zajmują bardzo ważną pozycję. W Tabeli 1 przedstawiono najważniejsze związki o charakterze przeciwutleniającym, występujące w surowcach zielarskich. Wśród nich ważną grupę stanowią polifenole (w tym flawonoidy) oraz składniki olejków eterycznych.

Zawartość przeciwutleniaczy w tkance roślinnej często jest dodatnio skorelowana ze zdolnością do neutralizacji wolnych rodników (JAŁOZYŃSKI i współaut. 2008; PAPAGEORGIOU i współaut. 2008). Jednak występo-

wanie synergizmu różnych przeciwutleniaczy oraz innych związków obecnych w żywności może przyczyniać się do wzmocnienia lub osłabienia efektu przeciwutleniającego.

Wpływ suszenia na zdolność przeciwutleniającą zależy w dużej mierze od gatunku i odmiany ziół. Zdolność do zapobiegania utlenianiu kwasu linolowego (wyrażona jako całkowita zdolność przeciwutleniająca, TAA) przez świeże oregano była bardzo wysoka i wyniosła 95%. Wskaźnik ten był zdecydowanie niższy w przypadku mięty (62%) oraz melisy (69%). Suszenie konwekcyjne w zaciemnionym pomieszczeniu (25–32°C) nie zmieniło znacząco zdolności przeciwutleniającej oregano. Jednak w przypadku suszy mięty i melisy wskaźnik ten zmniejszył się istotnie odpowiednio o 12 i 19 punktów procentowych. Gatunek ziół także determinuje szybkość neutralizacji wolnych rodników. W przypadku świeżej mięty i melisy wskaźnik RSA dla rodnika DPPH (określający zdolność wygaszania wolnego rodnika) już po minucie prowadzenia procesu osiągnął swoją maksymalną wartość (93%), natomiast zdolność przeciwrodnikowa oregano zwiększała się z upływem czasu prowadzenia doświadczenia (RSA po 1 minucie – 64%, po 5 minutach – 92%). Dodatkowo, proces suszenia spowodował istotne obniżenie właściwości przeciwutleniających oregano, co nie miało miejsca w odniesieniu do dwóch pozostałych gatunków ziół. Przypuszczalnie wysoka zdolność neutralizacji rodników jest związana z wysoką zawartością związków polifenolowych, co uzyskało potwierdzenie w przypadku świeżego oregano, jak również świeżej i suszonej mięty oraz melisy (CAPECA i współaut. 2005).

W badaniach PAPAGEORGIOU i współaut. (2008) najwyższe właściwości przeciwutleniające posiadał: rozmaryn, mięta oraz majeranek. Z kolei liście laurowe oraz koper włoski wykazywały znacząco niższą zdolność

Tabela 1. Przeciwutleniacze występujące w ziołach (SHYLAJA i PETER 2004).

Gatunek	Substancje i grupy substancji
Rozmaryn	Kwas karnozolowy, karnozol, kwas rozmarynowy, rozmanol
Szałwia	Karnozol, kwas karnozolowy, rozmanol, kwas rozmarynowy
Oregano	Pochodne kwasów fenolowych, flawonoidy, tokoferole
Tymianek	Karwakrol, tymol, <i>p</i> -cymen, kariofilen, karwon, borneol
Cząber	Kwas rozmarynowy, karnozol, karwakrol, tymol
Majeranek	Flawonoidy
Melisa	Flawonoidy

Tabela 2. Zawartość kwasu askorbinowego w różnych ziołach przyprawowych (FARREL 1990).

	Bazylia	Majeranek	Natka pietruszki	Rozmaryn	Szałwia
Kwas askorbinowy [mg/100g części jadalnych]	61,2	51	122	61	32

przeciwdziałania procesowi utleniania. Suszenie konwekcyjne w temperaturze pokojowej okazało się znacznie lepszą metodą odwadniania niż suszenie sublimacyjne – wskaźnik IC_{50} (oznaczający stężenie przeciwutleniacza, które powoduje zmniejszenie o 50% początkowej zawartości rodnika) suszy konwekcyjnych był o prawie 50% niższy niż liofilizatów, co oznaczało, że próbki konwekcyjne były zdolne do wygaszenia połowy obecnych w środowisku wolnych rodników przy niższym o prawie 50% stężeniu. Znaczące różnicowanie pomiędzy suszami otrzymanymi metodą konwekcyjną i sublimacyjną stwierdzono przede wszystkim w przypadku rozmarynu i majeranku. Lepsza jakość suszy konwekcyjnych większości ziół wynikała z większej zawartości związków polifenolowych.

Powyższe badania potwierdzili także HOSAIN i współaut. (2010), analizując oznaczaną różnymi metodami zdolność przeciwutleniającą ekstraktów suszonej bazylii, majeranku, oregano, rozmarynu, szalwii i tymianku. Wyższa zawartość polifenoli w tych ekstraktach, w porównaniu z ich zawartością w ekstraktach świeżych ziół, była przyczyną zwiększonej zdolności przeciwutleniającej, która w przypadku suszonego konwekcyjnie tymianku i rozmarynu wzrastała nawet pięciokrotnie.

Nie wszystkie badania naukowe potwierdzają jednak powyższe doniesienia. Według innych wskaźnik RSA świeżego oregano wyniósł 64,1%. Wszystkie zastosowane metody suszenia (sublimacyjna, mikrofalowo-podciśnieniowa oraz konwekcyjna) spowodowały zmniejszenie zdolności przeciwutleniającej. Liofilizacja okazała się w tym przypadku metodą pozwalającą na uzyskanie suszu najwyższej jakości (obniżenie RSA o 13,5 punktów procentowych). Bardzo niskie wartości RSA osiągnęły susze konwekcyjne, szczególnie suszone w wysokich temperaturach, 60 i 70°C, odpowiednio 13,4 oraz 2,8%. Z kolei zwiększenie mocy mikrofal skróciło czas suszenia i pozwoliło na uzyskanie wyższej zdolności przeciworodnikowej (RSA od 17,7% przy 240 W do 26,2% przy 480 W) (JAŁOSZYŃSKI i współaut. 2008).

KWAS ASKORBINOWY

Kwas L-askorbinowy, jako jedna z form witaminy C, występuje w soku komórkowym surowców roślinnych, gdzie chroni roślinę przed stresem oksydacyjnym, wywołanym głównie działaniem promieni świetlnych. Dlatego też jego zawartość wzrasta w tkankach wystawionych na działanie światła. Związek ten wykazuje wysoką niestabilność; w zależności od warunków może ulegać reakcjom utleniania przez rodnik askorbylowy do kwasu dehydroaskorbinowego, bądź reakcji beztlenowego rozkładu do furfuralu i CO_2 (HORUBAŁA 1975).

Kwas askorbinowy warunkuje właściwości przeciwutleniające poprzez możliwość przechodzenia formy zredukowanej w utlenioną. Dzięki tym właściwościom staje się jednym z ważniejszych przeciwutleniaczy w produktach roślinnych (CAPECKA i współaut. 2005). Również zioła przyprawowe zawierają pewne ilości witaminy C (Tabela 2). Szczególnie natka pietruszki jest jej bogatym źródłem. Według FARRELA (1990) jej stężenie osiąga wartość 122 mg/100 g części jadalnych.

Melisa i mięta, badana przez CAPECKA i współaut. (2005), zawierała odpowiednio 53,2 oraz 52,6 mg kwasu askorbinowego w 100g świeżych ziół. Natomiast stężenie tego związku w oregano było o połowę niższe (23,1 mg/100 g ś.m.). Witamina C, z racji dużej labilności, była w dużej mierze tracona podczas procesu suszenia. Był to wynik przede wszystkim wpływu podwyższonej temperatury. Susząc konwekcyjnie zioła, zaobserwowano ponad 10-krotną redukcję początkowej zawartości zredukowanej formy witaminy C.

Z kolei suszenie wspomagane mikrofalami o mocy 385 W spowodowało obniżenie zawartości kwasu askorbinowego w majeranku o 30% oraz w rozmarynie o 56% (SINGH i współaut. 1996). Dodatkowo, zastosowanie blanszowania mikrofalowego przed procesem suszenia pozwoliło na ograniczenie degradacji witaminy C w majeranku i rozmarynie odpowiednio do 21 i 51%. Wykorzystanie

blanszowania w wodzie oraz blanszowania parą przyczyniło się do dodatkowych strat kwasu askorbinowego w wyniku przechodzenia części witaminy C do wody oraz działania wysokiej temperatury. Degradacja witaminy C w blanszowanym w wodzie przed suszeniem majeranku wyniosła 75% oraz 88% w rozmarynie, a gdy blanszowanie prowadzono w parze, odpowiednio 44 i 59%.

Bardzo dobrą retencję kwasu askorbinowego w suszu można uzyskać wykorzystując metody kombinowane. ALIBAS (2010) porównał suszenie konwekcyjne, mikrofalowe oraz mikrofalowo-konwekcyjne przy dosuszaniu pokrzywy (uprzednio suszonej w warunkach naturalnej konwekcji do zawartości 4,41 g/g s.s.). Zawartość witaminy C w świeżej pokrzywie kształtowała się na poziomie 197 mg/100 g. Wszystkie metody suszenia spowodowały degradację kwasu askorbinowego, jednak była ona najniższa w liściach suszonych metodą kombinowaną, przy zastosowaniu temperatury 50°C oraz mocy mikrofal 500 W i wyniosła 2%. Zawartość kwasu askorbinowego w suszach zmniejszała się w miarę zmniejszania mocy mikrofal i zwiększania temperatury powietrza, osiągając najniższą wartość dla 160 W i 100°C, wynoszącą 177 mg/100 g, co stanowiło 90% początkowej ilości. Z kolei suszenie mikrofalowe także pozwoliło na uzyskanie dobrej jakości pokrzywy, co również w tym przypadku było związane z zastosowaną mocą mikrofal. Retencja wyniosła 87, 88 i 91%, odpowiednio dla mocy 160, 350 i 500 W. Natomiast suszenie konwekcyjne spowodowało zachowanie w suszonym materiale jedynie od 71 do 74% kwasu askorbinowego.

W przypadku suszy problem stanowi uzyskanie produktu o zawartości kwasu askorbinowego zbliżonej do wartości charakterystycznych dla świeżych ziół. Najczęściej wykorzystywane suszenie konwekcyjne powoduje dużą degradację witaminy C, dlatego też metody niekonwencjonalne stają się coraz częściej przedmiotem badań naukowych. Dodatkowo, susz otrzymany przy ich wykorzystaniu, charakteryzuje się dużą stabilnością kwasu askorbinowego (ALIBAS 2010). Jednak mała liczba doniesień literaturowych wskazuje na potrzebę prowadzenia prac w tym zakresie.

CHLOROFIL

Chlorofile są zielonymi barwnikami roślinnymi, występującymi wraz z karotenoidami w chloroplastach. Zalicza się je do po-

chodnych porfiryńowych. Wyróżnić można kilka rodzajów chlorofilu, jednak najdokładniej poznano dwa pigmenty, chlorofil a i b, występujące w roślinie w stosunku 3:1. Dodatkowo, w tkankach roślin morskich występują w małych ilościach chlorofile c, d oraz e (HORUBAŁA 1975).

Dwa główne barwniki chlorofilowe wykazują duże podobieństwo strukturalne. Tworzą płaską cząsteczkę, składającą się z czterech pierścieni pirolowych, połączonych grupą $-CH=$, które łączą się z jonem magnezu wiązaniami kowalencyjnymi oraz koordynacyjnymi. Różnią się jedynie podstawnikiem $-CHO$ dla chlorofilu a oraz CH_3 dla chlorofilu b (HORUBAŁA 1975, HUTCHINGS 1994).

Chlorofile odpowiadają w tkance roślinnej za proces fotosyntezy, nadają także barwę produktom. Chlorofil a odpowiedzialny jest za barwę niebieskozieloną, a chlorofil b – zielonożółtą. Z racji sporej nietrwałości przekształcane są w feofityny a i b (jon magnezu zastępowany jest wodorem), co powoduje zmianę barwy na oliwkowo-brązową (HORUBAŁA 1975; HUTCHINGS 1994). Szczególnie nietrwały jest chlorofil a i to on przede wszystkim ulega degradacji w trakcie suszenia (ROCHA i współaut. 1993, WITROWA-RAJCHERT i współaut. 2009).

Zawartość chlorofilu w ziołach zależna jest w dużej mierze od gatunku surowca oraz od warunków oświetlenia podczas wzrostu rośliny. Jak podaje SINGH i współaut. (1996) całkowita zawartość chlorofilu w majeranku i rozmarynie wynosiła odpowiednio 49,2 oraz 16,3 mg/100 g. Z kolei świeże oregano zawierało 465,8 mg/100 g s.s., bazylii 543,4 mg/100 g s.s., a lubczyk 601,6 mg/100 g s.s. (POLAK i współaut. 2009, WITROWA-RAJCHERT i współaut. 2009). Stosunek chlorofilu a i b w surowych ziołach waha się w granicach 3,0–4,0 i ulega znacznemu obniżeniu w wyniku procesu suszenia (DI CESARE i współaut. 2003, 2004; WITROWA-RAJCHERT i współaut. 2009).

Podczas procesu suszenia dochodzi do zmniejszenia zawartości chlorofilu w surowcach zielarskich, w wyniku między innymi degradacji cieplnej. Wybór odpowiedniej metody odwadniania może zmniejszyć straty tych pigmentów. W swoich badaniach WITROWA-RAJCHERT i współaut. (2009) dowiedli, że degradacja barwników chlorofilowych była bardziej istotna w przypadku suszenia bazylii niż oregano. Zastosowanie suszenia mikrofalowego pozwoliło na otrzymanie bazylii najwyższej jakości. Szczególnie chlorofil

b wykazywał wyższą o 65% retencję w porównaniu z suszem konwekcyjnym i o 55% w stosunku do suszu sublimacyjnego. Natomiast retencja chlorofilu a w suszu mikrofalowym bazylii była wyższa odpowiednio o 20 i 10%, w porównaniu z konwekcją oraz liofilizacją. W przypadku oregano najkorzystniejsze okazało się suszenie sublimacyjne (przy temperaturze półki grzejnej 20°C, ciśnieniu 63 Pa). Degradacja chlorofilu a była niższa o 23% niż przy suszeniu konwekcyjnym i o 14% w stosunku do odwadniania wspomagającego mikrofalami. Natomiast retencja chlorofilu b była wyższa odpowiednio o 23 oraz 8%.

Również POLAK i współaut. (2009) potwierdzili negatywny wpływ temperatury półki grzejnej na zawartość barwników chlorofilowych w lubczyku ogrodowym podczas suszenia sublimacyjnego. W miarę podwyższania temperatury płyt grzejnych z 20 do 70°C wzrastała degradacja tych substancji, szczególnie intensywnie w zakresie temperatur 40-70°C. Z kolei wzrost ciśnienia od 30 do 198 Pa przyczynił się do zwiększenia retencji chlorofilu a i b. Susz uzyskany przy temperaturze półek grzejnych 20-35°C charakteryzował się najwyższą zawartością zachowanego chlorofilu a, wynoszącą od 94 do 90%, niezależnie od stosowanego ciśnienia. Również retencja chlorofilu b osiągnęła najwyższą wartość (93%) w suszu otrzymanym przy najniższej temperaturze oraz najwyższym ciśnieniu.

Stopień zachowania barwy produktu uzależniony jest od metody oraz parametrów suszenia. Obniżenie temperatury lub skrócenie czasu procesu ogranicza straty barwników chlorofilowych wywołanych degradacją termiczną, podczas której dochodzi do rozerwania kompleksu chlorofilu z białkami (DI CESARE i współaut. 2004). Stosunek zawartości chlorofilu a i b w oregano, suszonym w temperaturze pokojowej, nie uległ statystycznie istotnej zmianie, w porównaniu z surowym materiałem. Z kolei długi czas suszenia konwekcyjnego w 35°C skutkował wyższą degradacją chlorofilu w stosunku do procesu prowadzonego w 50°C. Zastosowanie mikrofal wydaje się być alternatywną metodą dla suszenia konwekcyjnego, gdyż oprócz skrócenia czasu suszenia pozwala uzyskać większą zachowalność barwników chlorofilowych (DI CESARE i współaut. 2003).

Drugim kierunkiem przemian chlorofilu jest degradacja w wyniku działania enzymów obecnych w surowcach zielarskich. Zastoso-

wanie obróbki wstępnej surowca może częściowo zahamować ten proces, szczególnie w odniesieniu do chlorofilu a (DI CESARE i współaut. 2004, 2003). Bazylię blanszowaną zarówno przed liofilizacją, jak i suszeniem konwekcyjnym cechował wyższy stosunek chlorofilu a i b, co świadczyło o mniejszym stopniu degradacji chlorofilu a (DI CESARE i współaut. 2003). Podobne zależności otrzymano w przypadku blanszowanego przed suszeniem oregano (DI CESARE i współaut. 2004).

KAROTENOIDY

Karotenoidy są grupą ponad 700 związków rozpuszczalnych w tłuszczach, odpowiedzialnych za żółtą, pomarańczową oraz czerwoną barwę wielu produktów. Należą do terpenoidów (tetraterpenów), zawierających 40 atomów węgla w ośmiu resztach izoprenowych. Karotenoidy podzielone są na dwie główne grupy: karoteny (m.in. α -karoten, β -karoten, γ -karoten i likopen) oraz ksantofile (m.in. luteina), będące ich tlenowymi pochodnymi (HORUBAŁA 1975, VELÍSEK i współaut. 2008).

Do najważniejszych właściwości karotenoidów zaliczyć można ich aktywność witaminową; są prekursorami witaminy A. Najaktywniejszy spośród nich jest β -karoten. Znałe też są właściwości przeciwutleniające tej grupy związków (HORUBAŁA 1975).

Straty związków karotenoidowych wynikają przede wszystkim z ich utleniania. Mogą one zachodzić zarówno w obecności enzymów (głównie peroksydaz i lipooksydaz), jak i bez ich udziału. Bezpośrednie działanie tlenu oraz światła przyczynia się w dużej mierze do ich degradacji (HORUBAŁA 1975).

Gatunek ziół determinuje zawartość poszczególnych karotenoidów w surowcach. Całkowita zawartość tych związków w ośmiu przeanalizowanych przez DALY i współaut. (2010) ziołach (bazylii, kolendrę, koprze, mięcie, pietruszce, rozmarynie, szalwii i estragonie) wahała się od 2,0 do 25,8 mg/100g odpowiednio dla szalwii i bazylii. β -karoten był głównym barwnikiem karotenoidowym większości ziół. Jedynie koper zawierał najwięcej luteiny i zeaksantyny.

Z kolei stężenie karotenoidów w świeżej mięcie, melisie i oregano, oznaczone przez CAPECKA i współaut. (2005), kształtowało się na poziomie około 50 mg/100 g ś.m. Proces suszenia spowodował znaczącą degradację tych związków, przeciętnie o połowę. Jedynie w przypadku oregano straty karo-

tenoidów spowodowały redukcję zdolności wygaszania rodnika DPPH. Z drugiej strony, wskaźnik TAA pozostał w suszonym oregano na niezmiennym poziomie, a zdolność inhibicji utleniania lipidów przez miętę i melisę uległa obniżeniu. Przypuszczalnie takie różnicowanie właściwości przeciwutleniających wynika z synergizmu pomiędzy przeciwutleniaczami a innymi związkami obecnymi w ziołach (ZENG i WANG 2001).

Zmiany zawartości barwników karotenoidowych w lubczyku, przy zastosowaniu różnych parametrów suszenia sublimacyjnego (temp. półki grzejnej od 20 do 70°C, ciśnie-

nie od 30 do 198 Pa), były obiektem badań POLAK i współaut. (2009). Autorzy wykazali zwiększoną degradację karotenoidów wskutek wzrostu temperatury półek grzejnych. Ponadto retencja barwników wzrastała wraz ze wzrostem ciśnienia, szczególnie w wyższych zakresach temperatur. Przy temperaturze 20°C obniżenie ciśnienia ze 198 do 30 Pa skutkowało zwiększeniem strat barwników o 1%, natomiast w temperaturze 70°C o 5%. Najmniejszą zawartością karotenoidów charakteryzował się liofilizat otrzymany w najwyższej temperaturze i przy najniższym ciśnieniu.

PODSUMOWANIE

Składniki biologicznie aktywne mają duże znaczenie w kształtowaniu jakości surowców zielarskich. To związkom takim jak: polifenole, olejki eteryczne, kwas askorbinowy czy karotenoidy zawdzięczają swoje właściwości przeciwutleniające, antymikrobiologiczne oraz barwę i aromat. Przyszłościowe wydaje się być wykorzystanie samych ziół oraz ekstraktów i oleożywic z nich otrzymywanych w celu przeciwdziałania utleniania między innymi olejów (BANDONIENE i współaut. 2002), tłuszczu w mięsie (FERNÁNDEZ-LÓPEZ i współaut. 2003), czy w produktach mlecznych (BANDYOPADHYAY i współaut. 2007). Dlatego, tak istotne jest otrzymanie produktu zielarskiego o jak najwyższych parametrach jakościowych, przy możliwie jak najniższych kosztach.

Wpływ procesu suszenia na zawartość związków biologicznie aktywnych nie jest jednoznaczny. Najczęściej wyższa temperatura i dłuższy czas procesu powoduje większą degradację substancji czynnych, jednak zmiany te uzależnione są od gatunku zioła. W tym kontekście przyszłościowe wydaje się być wykorzystanie metod niekonwencjonalnych, takich jak suszenie mikrofalowe oraz promiennikowe, które pozwalają na zdecydowane skrócenie czasu procesu, a więc także i czasu ekspozycji na niekorzystne działanie wysokiej temperatury i tlenu. Dodatkowym atutem jest fakt, że są to metody proste, szybkie i łatwe do kontrolowania, a otrzymane tymi sposobami susze są nadal bogate w związki aktywne biologicznie.

SKŁADNIKI BIOLOGICZNIE CZYNNE W SUSZONYCH ZIOŁACH – CZY CIĄGLE AKTYWNE?

Streszczenie

Zioła i przyprawy są powszechnie wykorzystywane ze względu na przyjemny aromat, jaki nadają potrawom. W ostatnich latach obserwuje się również wzrastające zainteresowanie zarówno konsumentów, jak i przemysłu farmaceutycznego produktami o właściwościach ziół, które wynikają z obecności składników biologicznie czynnych, takich jak: olejki eteryczne, polifenole, kwas askorbinowy, karotenoidy czy chlorofile. Warunkują one działanie przeciwutleniające, przeciwbakteryjne oraz przeciwwirusowe, a tym samym zapobiegają rozwojowi

wielu chorób, m.in. chorobie miażdżycowej. Zatem niezmiernie istotny jest dobór odpowiednich metod i parametrów procesu suszenia, warunkujących wysoką retencję związków aktywnych. Analiza istniejących danych pozwala sądzić, że wykorzystanie promieniowania mikrofalowego i podczerwonego do wspomagania konwencjonalnych metod powinno stać się alternatywną metodą suszenia ziół, zarówno z uwagi na jakość otrzymanych suszy, jak i skrócenie czasu procesu, co wiąże się z jego mniejszymi kosztami operacyjnymi.

BIOLOGICALLY ACTIVE COMPONENTS IN DRIED HERBS – STILL ACTIVE?

Summary

Herbs and spices are rich sources of many important biologically active components, that show

antioxidant and antimicrobial properties and have impact on their colour and aroma. This include

i.e. the compounds of essential oils, polyphenols, ascorbic acid, chlorophyll and carotenoids. Degradation of these components, during their drying preservation, can be reduced by selecting appro-

priate method and drying parameters. Pretreatment causes increased retention of biologically active components in herbs.

LITERATURA

- ALIBAS I., 2010. *Determination of drying parameters, ascorbic acid contents and color characteristics of nettle leaves during microwave, air- and combined microwave-air-drying*. J. Food Process Engin. 33, 213–233.
- ARABHOSSEINI A., HUISMAN W., VAN BOXTEL A., MÜLLER J., 2007. *Long-term effects of drying conditions on the essential oil and color of tarragon leaves during storage*. J. Food Engin. 79, 561–566.
- ARSLAN D., ÖZCAN M. M., OKYAY MENGEŞ H., 2010. *Evaluation of drying methods with respect to drying parameters, some nutritional and colour characteristics of peppermint (Mentha x piperita L.)*. Energy Convers. Manag. 51, 2769–2775.
- BANDONIENE D., VENSKUTONIS P. R., GRUZIENE D., MURKOVIC M., 2002. *Antioxidative activity of sage (Salvia officinalis L.), savory (Satureja hortensis L.) and borage (Borago officinalis L.) extracts in rapeseed oil*. Eur. J. Lipid Sci. Technol. 5, 286–292.
- BANDYOPADHYAY M., CHAKRABORTY R., RAYCHAUDHURI U., 2007. *Incorporation of herbs into sandesh, an Indian sweet dairy product, as a source of natural antioxidants*. Intern. J. Dairy Technol. 3, 228–233.
- CALVO-IRABIEN L. M., YAM-PUC J. A., DZIB G., ESCALANTE-EROSA F., PEÑA-RODRIGUEZ L. M., 2009. *Effect of postharvest drying on the composition of Mexican oregano (Lippia graveolens) essential oil*. J. Herbs Spices Med. Plants 15, 281–287.
- CAPECKA E., MARECZEK A., LEJA M., 2005. *Antioxidant activity of fresh and dry herbs of some Lamiaceae species*. Food Chem. 93, 223–226.
- CZAPSKI J., MIKOŁAJCZYK K., 2007. *Czynniki wpływające na zawartość przeciwutleniaczy w surowcach roślinnych*. [W:] *Przeciwutleniacze w żywności. Aspekty zdrowotne, technologiczne, molekularne i analityczne*. GRAJEK W. (red.). Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 209–216.
- DALY T., JIWAN M. A., O'BRIEN N. M., AHERNE S. A., 2010. *Carotenoid content of commonly consumed herbs and assessment of their bioaccessibility using an in vitro digestion model*. Plant Foods Human Nutr. 65, 164–169.
- DEMIR V., GUNHAN T., YAGCIOGLU A. K., DEGIRMENCIOGLU A., 2004. *Mathematical modeling and the determination of some quality parameters of air-dried bay leaves*. Biosyst. Engin. 88, 325–335.
- DI CESARE L. F., FORNI E., VISCARDI D., NANI R. C., 2003. *Changes in the chemical composition of basil caused by different drying procedures*. J. Agric. Food Chem. 51, 3575–3581.
- DI CESARE L. F., FORNI E., VISCARDI D., NANI R. C., 2004. *Influence of drying techniques on the volatile phenolic compounds, chlorophyll and colour of oregano (Origanum vulgare L. ssp. Prismaticum gaudin)*. Ital. J. Food Sci. 16, 165–175.
- DUDA-CHODAK A., TUSZYŃSKI T., 2007. *Wpływ reaktywnych wolnych rodników na organizmy żywe*. [W:] *Przeciwutleniacze w żywności. Aspekty zdrowotne, technologiczne, molekularne i analityczne*. GRAJEK W. (red.). Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 46–68.
- DUDA-CHODAK A., WOJDYŁO A., 2007. *Charakterystyka chemiczna związków fenolowych*. [W:] *Przeciwutleniacze w żywności. Aspekty zdrowotne, technologiczne, molekularne i analityczne*. GRAJEK W. (red.). Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 141–151.
- FARREL K. T., 1990. *Spices, Condiments and Seasonings*. AVI book. Van Nostrand Reinhold, New York.
- FERNÁNDEZ-LÓPEZ J., SEVILLA L., SAYAS-BARBERÁ E., NAVARRO C., MARÍN F., PÉREZ-ALVAREZ J. A., 2003. *Evaluation of the Antioxidant Potential of Hyssop (Hyssopus officinalis L.) and Rosemary (Rosmarinus officinalis L.) Extracts in Cooked Pork Meat*. J. Food Sci. 2, 660–664.
- HORUBAŁA A., 1975. *Podstawy przechowywania żywności*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa.
- HOSSAIN M. B., BARRY-RYAN C., MARTIN-DIANA A. B., BRUNTON N. P., 2010. *Effect of drying method on the antioxidant capacity of six Lamiaceae herbs*. Food Chem. 123, 85–91.
- HUTCHINGS J. B., 1994. *Food Colour and Appearance*. Blachie Academic & Professional, London.
- JAŁOŚZYŃSKI K., FIGIEL A., WOJDYŁO A., 2008. *Drying kinetics and antioxidant activity of oregano*. Acta Agrophys. 11, 81–90.
- KARWOWSKA K., PRZYBYŁ J., 2005. *Suszarnictwo i przetwórstwo ziół*. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- OMIDBEYGI M., BARZEGAR M., HAMIDI Z., NAGHDIBADI H., 2007. *Antifungal activity of thyme, summer savory and clove essential oils against Aspergillus flavus in liquid medium and tomato paste*. Food Control 18, 1518–1523.
- PAPAGEORGIOU V., MALLOUCHOS A., KOMAITIS M., 2008. *Investigation of the Antioxidant Behavior of air- and freeze-dried aromatic plant materials in relation to their phenolic content and vegetative cycle*. J. Agricult. Food Chem. 56, 5743–5752.
- POLAK R., KRZYKOWSKI A., KLUZA F., 2009. *Ocena degradacji barwników chlorofilowych i karotenoidowych w liofilizowanych liściach lubczyka ogrodowego (Levisticum officinale Koch.)*. Chłódnictwo 44, 50–53.
- ROCHA T., MARTY-AUDOUIN C., LEBERT A., 1993. *Effect of drying temperature and blanching on the degradation of chlorophyll a and b in mint (Mentha spicata Huds.) and basil (Ocimum basilicum): Analysis by high performance liquid chromatography with photodiode array detection*. Chromatographia 36, 152–156.
- SELLAMI I. H., WANNES W. A., BETTAIEB I., BERRIMA S., CHAHED T., MARZOUK B., LIMAM F., 2011. *Qualitative and quantitative changes in the essential oil of Laurus nobilis L. leaves as affected by different drying methods*. Food Chem. 126, 691–697.
- SHYLAJA M. R., PETER K. V., 2004. *The Functional role of herbal spices*. [W:] *Handbook of Herbs and Spices vol. 2*. K. V. PETER (red.). Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC, 11–21.
- SINGH M., RAGHAVAN B., ABRAHAM K. O., 1996. *Processing of marjoram (Majorana hortensis Moench.) and rosemary (Rosmarinus officinalis L.). Effect of blanching methods on quality*. Nahrung 40, 264–266.

- TIZIANA BARATTA M., DAMIEN DORMAN H. J., DEANS S. G., FIGUEIREDO C. A., BARROSO J.G., RUBERTO G., 1998. *Antimicrobial and antioxidant properties of some commercial essential oils*. Flavour Fragrance J. 13, 235–244.
- VELÍSEK J., DAVIDEK J., CEJPEK K., 2008. *Biosynthesis of food constituents: Natural pigments. Part 2 – a Review*. Czech J. Food Sci. 2, 73–98.
- WITROWA-RAJCHERT D., HANKUS M., PAWLAK E., 2009. *Wpływ metody suszenia na zawartość chlorofilu i barwę oregano oraz bazylii*. Inżynieria i Aparatura Chemiczna, 1, 70–71.
- ZACHARIAH T. J., LEELA N. K., 2006. *Volatiles from herbs and spices*. [W:] *Handbook of herbs and spices, vol. 3*. K.V. PETER (red.). Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC, 177–218.
- ZHENG W., WANG S. Y. 2001. *Antioxidant activity and Phenolic Compounds in Selected Herbs*. J. Agricult. Food Chem. 49, 5165–5170.

