

ANNA MICHALSKA, GRZEGORZ ŁYSIAK

**PRZYDATNOŚĆ DO SUSZENIA OWOCÓW ŚLIW UPRAWIANYCH
W POLSCE W ASPEKTCIE PRZEMIAN ZWIĄZKÓW
BIOAKTYWNYCH I TWORZĄCYCH SIĘ PRODUKTÓW
REAKCJI MAILLARDA**

Streszczenie

Śliwki należą w Polsce do bardzo popularnych owoców. Są bogatym źródłem związków polifenolowych oraz wyróżniają się wysoką pojemnością przeciwutleniającą. Sezonowa podaż śliwek determinuje ich przetwarzanie. To z kolei wpływa na zmiany jakościowe i ilościowe występujących w nich składników. Suszenie śliwek powoduje zmniejszenie zawartości związków polifenolowych przy jednoczesnym wzroście ich pojemności przeciwutleniającej. Odpowiedzialne za to są produkty reakcji Maillarda i/lub karmelizacji powstające podczas obróbki termicznej. Związki te wykazują zarówno pozytywny, jak i negatywny wpływ na zdrowie człowieka. Wiedza dotycząca zmian w składzie chemicznym śliwek, zachodzących podczas procesów przetwórczych, pozwoliłaby na opracowanie odpowiednich metod suszenia owoców. Jest to o tyle uzasadnione, że owoce śliw uprawianych w Polsce wyróżniają się dużą zawartością ekstraktu i suchej masy. Niestety, ich wykorzystanie przez przemysł krajowy jest małe. Poznanie przemian wywołanych procesami przetwórczymi mogłoby prowadzić do wzrostu konkurencyjności otrzymanych suszonych produktów śliwkowych na polskim rynku.

Słowa kluczowe: przetwórstwo śliwek, polifenole, produkty reakcji Maillarda, karmelizacja

Wprowadzenie

Spośród popularnych owoców produkowanych w Polsce na szczególną uwagę zasługują śliwki, które są bogatym źródłem związków fenolowych oraz charakteryzują się dużą pojemnością przeciwutleniającą, przewyższając pod tym względem np. jabłka [18, 44].

Dr A. Michalska, Oddział Nauk o Żywności, Instytut Rozrodu Zwierząt i Badań Żywności PAN, ul. Tuwima 10, 10-748 Olsztyn; dr inż. Grzegorz Łysiak, Katedra Sadownictwa, Wydz. Ogrodnictwa i Architektury Krajobrazu, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, ul. Dąbrowskiego 159, 60-594 Poznań. Kontakt: a.michalska@pan.olsztyn.pl

Śliwy należą do liczącego ponad 200 gatunków rodzaju *Prunus sp.* L. [40]. Ze względu na rejon pochodzenia oraz gatunki, które posłużyły do ich wyhodowania, wszystkie odmiany uprawne śliw dzieli się na trzy grupy: amerykańskie, wschodnie (japońskie) i europejskie [51]. Śliwy amerykańskie uprawiane są często z uwagi na wysoką odporność na mróz i tolerancyjność na wiele chorób (np. brunatną zgniliznę). Większe znaczenie gospodarcze na świecie mają śliwy wschodnie, choć w Polsce nie są one popularne ze względu na wczesne kwitnienie wiosną, silny wzrost oraz wrażliwość na niskie temperatury zimą [12]. Najliczniejszą i najpowszechniej uprawianą jest poliploidalna śliwa domowa, nazywana w literaturze anglojęzycznej śliwą europejską (*Prunus domestica* L.) [12, 51]. Gatunek ten nie występuje w stanie dzikim. Na podstawie badań cytologicznych dowiedziono, że powstał on w wyniku samoistnego skrzyżowania się dwóch występujących w Europie dzikich gatunków śliw – tarniny (*Prunus spinosa* L.) oraz ałyczy (*Prunus cerasifera* L.) [38]. Ojczyzną śliwy domowej jest prawdopodobnie Kaukaz lub Azja Mniejsza, a uprawa wyselekcjonowanych jej odmian w Europie rozpoczęła się co najmniej 2000 lat temu [51]. Według danych FAO, średnia produkcja śliwek w latach 2009 - 2011 wyniosła ponad 11 mln ton i wykazuje tendencję wzrostową [10]. Największym producentem śliwek są Chiny, które wytwarzają około połowy światowych zbiorów tych owoców. Kolejno znajdują się: Rumunia, Serbia, USA – po ok. 500 tys. ton i Chile – 295 tys. ton. Spośród krajów UE największymi producentami, po Rumunii, są Francja, Hiszpania i Włochy – po ok. 200 tys. ton, a Polska zajmuje 17. miejsce na świecie (99 tys. ton). Ze względu na wymagania klimatyczne uprawa śliw w Polsce ogranicza się do rejonów: podkarpackiego, podsudeckiego, nadwiślańskiego, zachodniego i nadbałtyckiego [32].

Głównym celem produkcji śliwek w wielu krajach (głównie bałkańskich) jest produkcja śliwowicy, jednak ten rodzaj zagospodarowania ma wyraźną tendencję malejącą [13]. W Polsce i w Europie Zachodniej produkcja śliwowicy ma znaczenie marginalne, a najważniejszym kierunkiem produkcji są owoce deserowe spożywane w stanie świeżym. Śliwki przeznaczone do konsumpcji bezpośredniej powinny cechować się dość dużym rozmiarem (wyjątkiem jest 'Węgierka Zwykła'), zdrowotnością, równomiernym wybarwieniem oraz charakterystycznym woskowym nalotem [22].

W Polsce śliwki stanowią ważny surowiec do przetwórstwa [14], po jabłkach i wiśniach [35]. Najczęściej produkuje się z nich mrożonki, kompoty, marynaty, dżemy, marmolady, powidła oraz owoce suszone. Sporadycznie używane są także jako składnik soków, nektarów oraz win [14]. Owoce stosowane w przetwórstwie powinny charakteryzować się wyrównanym kształtem i wielkością oraz odpowiednią jędrnością i dojrzałością. Ważnymi cechami są również łatwość odchodzenia miąższu od pestki oraz żółta barwa miąższu. Owoce wykorzystywane do produkcji suszu oraz zagęszczonych soków powinny wyróżniać się dużą zawartością ekstraktu oraz suchej masy. W Polsce produkcja suszonych śliwek pozostaje na niezmiennym poziomie od co

najmniej 10 lat, mimo wzrostu produkcji suszonych jabłek czy wiśni [37]. Import suszonych śliwek jest dużo większy niż produkcja krajowa. Jest to zaskakujące, gdyż śliwki produkowane w Polsce wyróżnia duża zawartość suchej masy, co jest warunkiem uzyskania wysokiej jakości produktu końcowego. Suszenie śliwek w naszym kraju jest procesem długotrwałym i odbywa się zazwyczaj w małych zakładach wykorzystujących specjalne murowane suszarki (metoda szydłowska, dymowa). Brak jest natomiast szczegółowych informacji dotyczących suszenia śliwek na skalę przemysłową.

Opracowanie technologii suszenia uwzględniającej skrócenie czasu procesu pozwoli na zwiększenie zainteresowania tym rodzajem przetwórstwa. Wpłynie również na wydłużenie okresu podaży śliwek i ich dostępności na polskim rynku. Ważne jest poznanie zmian składu chemicznego śliwek oraz przemian związków bioaktywnych podczas suszenia, determinujących jakość przetworów śliwkowych.

Celem pracy była charakterystyka śliwek pochodzących z upraw śliw w Polsce oraz przedstawienie zmian, jakie mogą zachodzić podczas ich przetwarzania, w aspekcie powstających produktów reakcji Maillarda, wpływających na jakość gotowego produktu.

Skład chemiczny śliwek z uwzględnieniem związków biorących udział w tworzeniu produktów reakcji Maillarda

Znajomość składu chemicznego śliwek, który determinuje kierunki przemian zachodzących podczas ich suszenia i wpływa na powstawanie związków będących produktami reakcji Maillarda (nieenzymatycznego brunatnienia) oraz karmelizacji jest niezbędna do uzyskania suszu o odpowiedniej jakości. Reakcje Maillarda zachodzą pomiędzy cukrami redukującymi a aminokwasami, peptydami lub białkami zawierającymi wolną grupę aminową, głównie pod wpływem procesów termicznych, a także długotrwałego przechowywania. W rezultacie powstaje grupa związków niewystępujących w surowcu. Z kolei karmelizacja to szereg reakcji zachodzących w wysokiej temperaturze pomiędzy cukrami [19]. Na powstawanie produktów reakcji Maillarda i karmelizacji wpływają: czas, temperatura, aktywność wody, pH i stężenie substratów [1]. Powstające związki są odpowiedzialne za smak, zapach i atrakcyjność produktów [24].

Śliwki zawierają średnio od 70 do 90 % wody [41, 47]. Średnia zawartość suchej masy wynosi ok. 16 % [21, 27, 49, 50], przy czym najwięcej (20,7 %) oznaczono jej w owocach odmiany 'Węgierka Zwykła'. Zawartość ekstraktu w owocach odmian uprawianych w Stanach Zjednoczonych waha się od 9,9 do 14,3 % [42] i jest mniejsza niż w odmianach krajowych (12,0 ÷ 20,4 %) [48].

Zawartość cukrów w śliwkach sięga 30 % ś.m., przy czym waha się od 6 do 29 % ś.m. i zależy od odmiany, warunków uprawy, jak i czasu zbiorów owoców [43, 52]. W śliwkach uprawianych w Polsce oznaczono ich 13,5 % ś.m. [50]. Skład cukrów

tworzą głównie: glukoza, fruktoza, sacharoza i sorbitol. Ich średni udział w puli cukrów wynosi odpowiednio [%]: 31, 18, 23 i 28 [43]. Skład ten może się różnić w zależności od dojrzałości owoców – w niedojrzałych śliwkach niemal nie występuje sacharoza, jest natomiast obecna w zebranych owocach [15]. Stacewicz-Sapuntzakis i wsp. [41] podają, że odmiany śliwek przeznaczone do suszenia zawierają zazwyczaj więcej cukrów ogółem niż śliwki przeznaczone do bezpośredniej konsumpcji. Suszenie powoduje zagęszczenie cukrów w owocach, ale oprócz zwiększenia ich zawartości w porównaniu ze świeżymi owocami, obserwuje się zmiany w ich proporcjach. Średnia zawartość cukrów w suszonych śliwkach waha się od 26,8 do 51,4 %, przy czym ta różnica może wynikać z nieokreślonej zawartości wody w badanych owocach. W suszonych śliwkach (otrzymanych z owoców o tym samym stopniu dojrzałości) stwierdzono bardzo małe ilości sacharozy w porównaniu z owocami niepoddanymi obróbce termicznej. Zaobserwowano również zmniejszenie zawartości glukozy i fruktozy, co wskazuje na udział tych cukrów w reakcjach Maillarda i/lub karmelizacji [19, 52]. Należy zwrócić uwagę na obecność sorbitolu, który nie wchodzi w reakcje nieenzymatycznego brunatnienia, zwłaszcza ze związkami zawierającymi azot, ze względu na brak grupy karbonylowej [41].

Zawartość białek w śliwkach kształtuje się na poziomie $0,4 \div 0,8$ % [47]. Zawierają one stosunkowo mało wolnych aminokwasów (średnio 0,18 %) w porównaniu z innymi owocami. Według Moutounet i Jouret [26] około 80 % puli wolnych aminokwasów stanowi asparagina, która jest głównym aminokwasem wchodzącym w reakcje Maillarda [33]. Oprócz asparaginy, w śliwkach stwierdzono także obecność: kwasu asparaginowego, alaniny, waniliny oraz kwasu γ -aminomasłowego. Wykazano, że procesy przetwórcze nie powodowały zmian w składzie jakościowym aminokwasów, ale nastąpiło zmniejszenie ich zawartości o ok. 20 %. Największe zmiany dotyczyły asparaginy. Wykazano, że suszenie powodowało 90-procentowy ubytek tego aminokwasu w stosunku do jego zawartości w produkcie wyjściowym, przy jednoczesnym wzroście zawartości kwasu asparaginowego [26]. Aminokwas ten prawdopodobnie powstaje podczas hydrolizy asparaginy na drodze nieenzymatycznego brunatnienia.

Procesy przetwórcze (zarówno wysoko- jak i niskotemperaturowe) mogą znacznie modyfikować podstawowy skład surowca, wpływając na jakość produktów finalnych [5]. Zwłaszcza ważne jest połączenie stanu wiedzy dotyczącego produkcji śliwek (w tym dobór odmian, warunki uprawy, zabiegi agrotechniczne, technika zbioru i technologia przechowywania owoców po zbiorach) z analizą zmian zawartości związków bioaktywnych zachodzących podczas przetwarzania owoców.

Naturalne związki bioaktywne śliwek i ich jakościowe oraz ilościowe zmiany spowodowane suszeniem

Śliwki charakteryzują się dużą zawartością związków bioaktywnych, głównie związków fenolowych. Najwięcej jest ich w skórce – ponad 5-krotnie więcej niż w miąższu [11, 30, 31]. Zawartość związków polifenolowych ogółem w śliwkach waha się od 138,1 do 684,5 mg kwasu galusowego (GAE)/100 g ś.m. [7]. W odmianach uprawianych w Polsce zawartość fenoli ogółem wynosi 160 ÷ 300 mg GAE/100 g ś.m. [21] oraz 167 ÷ 672 mg/100 g w przeliczeniu na kwas chlorogenowy [48]. Spośród związków fenolowych dominującą grupę stanowią kwasy fenolowe, w tym kwas neochlorogenowy, który charakteryzuje się dużym potencjałem antyoksydacyjnym [8], oraz kwas chlorogenowy i kryptochlorogenowy, występujące odpowiednio w mniejszych ilościach. Zawartość antocyjanów, odpowiedzialnych głównie za barwę owoców, waha się od 18 do 170 mg/100 g s.m. [21, 31, 41], przy czym w odmianach produkowanych w Polsce ich zawartość jest mniejsza (18 ÷ 33 mg/100 g s.m.) [21]. Z kolei Walkowiak-Tomczak [46] podaje, że zawartość antocyjanów ogółem w odmianach krajowych waha się od 38,2 do 73,4 mg/100 g s.m. i jest zależna od stosunku masy skórki do masy miąższu. Głównymi antocyjanami występującymi w śliwkach są: 3-glukozydy i rutynozydy cyjanidyny, peonidyny oraz pochodne peonidyny [7, 42]. Flawanole obecne w śliwkach reprezentowane są głównie przez katechinę i epikatechinę, jak również przez proantocyjanidyny [42]. Śliwki są także źródłem witamin: A, E i C [29, 41].

Obróbka termiczna śliwek powoduje zmiany jakościowe i ilościowe związków bioaktywnych. Donovan i wsp. [9] podają, że suszenie śliwek w warunkach przemysłowych przyczynia się do utraty około 50 % zawartości flawonoli oraz kwasów fenolowych należących do grupy hydroksycynamonowych. Piga i wsp. [27] wykazali, w zależności od odmiany śliwek, straty fenoli ogółem na poziomie 40 ÷ 46 % w przypadku owoców suszonych w temp. 60 °C i 31 ÷ 38 % – suszonych w temp. 85 °C. Stwierdzono, że w owocach suszonych dominującym kwasem fenolowym był także kwas neochlorogenowy, przy czym Cechovska i wsp. [6] oraz Kayano i wsp. [17] dowiedli zmniejszenia jego zawartości o ok. 1/3 po 16 h suszenia. Potwierdzono również degradację antocyjanów zachodzącą podczas suszenia śliwek [27]. Autorzy odnotowali drastyczny ubytek tych związków w owocach poddanych suszeniu. Dodatkowo zaobserwowano straty kwasu askorbinowego w śliwkach suszonych w temp. 85 °C [23].

Śliwki suszone charakteryzują się dużym potencjałem przeciwutleniającym, przewyższając pod tym względem wiele innych gatunków owoców, m.in. jabłka, winogrona czy borówki czernice [4, 16, 17, 20]. Po suszeniu, w przeciwieństwie do obserwowanego ubytku związków bioaktywnych, stwierdzono wzrost pojemności przeciwutleniającej. Suszenie w temp. 60 °C powodowało wzrost pojemności antyoksydacyjnej aż o 60 % w porównaniu ze śliwkami świeżymi, a suszenie w temp.

85 °C wpływało na zwiększenie pojemności przeciwutleniającej z 90 do 250 %, w zależności od odmiany śliwek użytych do badań [27]. Podobną zależność zaobserwowali Cechovska i wsp. [6], wskazując na wzrost pojemności przeciwutleniającej mierzonej metodą elektrochemiczną podczas zwiększania temperatury suszenia śliwek. Według autorów wzrost ten związany był z powstawaniem 2,3-dihydro-3,5-dihydro-6-metylo-(4*H*)-piran-4-onu (DDMP) podczas suszenia śliwek (90 °C). Piga i wsp. [27] sugerują wpływ powstających podczas suszenia produktów reakcji Maillarda na większą pojemność przeciwutleniającą śliwek suszonych.

Produkty reakcji Maillarda w śliwkach suszonych

Według Price'a i wsp. [28] momentem krytycznym podczas suszenia śliwek jest temperatura 60 ÷ 70 °C. Wzrost temp. powyżej 70 °C powoduje niemal natychmiastowe rozerwanie struktury woskowej warstwy zewnętrznej i powstanie w niej pęknięć przyczyniających się do zwiększenia przepuszczalności skórki, skutkując szybkim uwolnieniem wody w części zewnętrznej. To indukuje z kolei biochemiczną kaskadę następujących po sobie reakcji nieenzymatycznego brunatnienia. Z uwagi na skład chemiczny świeżych owoców, a zwłaszcza na występujące cukry i przeważającą ilościowo asparaginę, spośród wolnych aminokwasów, suszenie prowadzi do formowania się nowych związków niewystępujących w świeżych owocach. Dzieje się to na skutek zachodzących reakcji Maillarda (i/lub karmelizacji), których schemat wraz z charakterystyką poszczególnych etapów został opisany przez Michalską i Zielińskiego [24]. W suszonych śliwkach stwierdzono obecność produktów przegrupowania Amadori (PPA). Spośród suszonych owoców (figi, śliwki, morele, daktyle), w śliwkach stwierdzono największą zawartość tych pochodnych, głównie 2-furoilometyloaminokwasów, czyli pochodnych alaniny, lizyny oraz kwasu γ -aminomasłowego [39]. Autorzy dodają, że ich obecność w produktach suszonych związana jest także z długotrwałym przechowywaniem. Powstawanie produktów przegrupowania Amadori w produktach spożywczych powinno być monitorowane, gdyż badania prowadzone nad PPA wskazują ich udział w występowaniu stanów chorobowych, np. miażdżycy, zwłaszcza u osób chorych na cukrzycę [45].

Procesy suszenia prowadzą głównie do powstawania zaawansowanych produktów reakcji Maillarda. W śliwkach suszonych w temp. 60 ÷ 85 °C wykazano obecność hydroksymetylofurfuralu (HMF) [27], powstającego w procesie 1,2-enolizacji w środowisku o pH kwaśnym [23]. Obecność tego związku na poziomie 22 ÷ 29 mg/100 g suszonych śliwek potwierdziły również badania Donovan i wsp. [9]. Kolejnym związkiem powstającym podczas suszenia jest akryloamid. Jego obecność w śliwkach suszonych oraz w produktach spożywczych zawierających ich dodatek, dostępnych na rynku kanadyjskim, z przeznaczeniem dla dzieci (33 ÷ 265 ng/g produktu) oraz dla dorosłych (58 ÷ 916 ng/g produktu) została potwierdzona przez Becalskiego i wsp. [3].

Zaobserwowane różnice ściśle zależały od zastosowanych procesów przetwórczych, jak i od wyjściowego składu chemicznego surowca. Tworzenie się akryloamidu związane jest głównie z występowaniem relatywnie dużych ilości asparaginy w świeżych owocach. Uważa się, że punktem krytycznym powstawania akryloamidu jest temp. powyżej 100 °C. Becalski i wsp. [3] podają, że pomimo zastosowania temp. poniżej 100 °C, powstające znaczne ilości akryloamidu były związane z wydłużonym czasem suszenia. Zwiększoną zawartość akryloamidu, w stosunku do jego zawartości w śliwkach suszonych, stwierdzono również w soku otrzymanym na ich bazie. Związane jest to najprawdopodobniej z jego ekstrakcją do środowiska wodnego (soku) oraz z obecnością hydroksyaldehydów, które poprzez łatwiejsze, w porównaniu z heksozami, wchodzenie w reakcje Maillarda wspomagają jego tworzenie [25]. Warto podkreślić, że zawartość zarówno HMF, jak i akryloamidu w produktach spożywczych powinna być jak najmniejsza, ze względu na ich toksyczność. Związki te znajdują się na liście „prawdopodobnych kancerogenów”, stworzonej przez International Agency for Research on Cancer [2].

Podsumowanie

Śliwki, zarówno świeże jak i suszone, są wykorzystywane od dawna w polskiej kuchni. Obecnie większość produktów suszonych pochodzi z importu, ponieważ sam proces suszenia nie jest zbyt opłacalny w naszym kraju. Jest to niezrozumiałe, gdyż śliwki stanowią ważny surowiec dla przemysłu przetwórczego, zajmując 3. miejsce pod względem całkowitej produkcji owoców w Polsce. Wykorzystanie do suszenia przemysłowego odmian wyprodukowanych w polskich warunkach klimatyczno-glebowych wydaje się być uzasadnione głównie ze względu na wyróżniające je parametry oceny jakości przetwórczej, czyli dużą zawartość ekstraktu i suchej masy. Parametry te mogą decydować również o kierunkach ich dalszego wykorzystania w przetwórstwie i są wskaźnikami jakości konsumpcyjnej [36]. Poznanie przemian zachodzących pomiędzy podstawowymi składnikami tych owoców, które prowadzą do powstawania produktów reakcji Maillarda podczas suszenia oraz zmian zawartości związków bioaktywnych wpłynie na atrakcyjność i zdrowotność suszonych śliwek. W literaturze mało jest informacji dotyczących przemian zachodzących podczas suszenia śliwek pochodzących z odmian powszechnie uprawianych w Polsce. Ich poznanie mogłoby przyczynić się do zwiększenia udziału krajowych owoców w tym rodzaju przetwórstwa, wpływając na wzrost konkurencyjności produktów na rynku polskim.

Praca finansowana ze środków projektu REFRESH „Odblokowywanie potencjału Instytutu Rozrodu Zwierząt i Badań Żywności dla wzmocnienia integracji z Europejską Przestrzenią Badawczą i rozwoju regionu”. 7. Program Ramowy UE-Potencjał Badawczy-Możliwości-FP7-REGPOT-2010-1-264103.

Literatura

- [1] Ajandauz E. H., Desseaux V., Tazi S., Puigserver A.: Effects of temperature and pH on the kinetics of caramelisation, protein cross-linking and Maillard reactions in aqueous model systems. *Food Chem.*, 2008, **107**, 1244-1252.
- [2] Anese M., Manzocco L., Calligaris S., Nicoli M.C.: Industrially applicable strategies for mitigating acrylamide, furan and 5-hydroxymethylfurfural in food. *J. Agric. Food Chem.*, 2013, DOI: 10.1021/jf305085r.
- [3] Becalski A., Brady B., Feng S., Gauthier B.R., Zhao T.: Formation of acrylamide at temperatures lower than 100 °C: the case study of prunes and a model study. *Food Add. Cont.*, 2011, **28** (6), 726-730.
- [4] Bennett L.E., Jegasothy H., Konczak I., Frank D., Sudharmarajan S., Clingeleffer P.R.: Total polyphenolics and anti-oxidant properties of selected dried fruits and relationships to drying conditions. *J. Funct. Foods*, 2011, **3**, 115-124.
- [5] Bhutani V.P., Joshi V.V.: Plum. In: *Handbook of fruit science and technology. Production, composition, storage and processing*. Ed. D.K. Salunkhe, S.S. Kadam. M. Dekker, New York 1995.
- [6] Cechovska L., Cejpek K., Konecny M., Velisek J.: On the role of 2,3-dihydro-3,5-dihydroxy-6-methyl-(4H)-pyran-4-one in antioxidant capacity of prunes. *Eur. Food Res. Technol.*, 2011, **233**, 367-376.
- [7] Chun O.K., Kim D.-O., Moon H.Y., Kang H.G., Lee Ch.Y.: Contribution of individual polyphenolics to total antioxidant capacity of plums. *J. Agric. Food Chem.*, 2003, **51**, 7240-7245.
- [8] Chun O.K., Kim D.-O.: Consideration on equivalent chemicals in total phenolic assay of chlorogenic acid-rich plums. *Food Res. Int.*, 2004, **37**, 337-342.
- [9] Donovan J.L., Meyer A.S., Waterhouse A.L.: Phenolic composition and antioxidant activity of prunes and prune juice (*Prunus domestica*). *J. Agric. Food Chem.*, 1998, **46**, 1247-1252.
- [10] FAOSTAT Database. Crop production. World List. [online]. Food Agric. Org. (FAO) Dostęp w Internecie [15.05.2013]: <http://faostat3.fao.org/home/index.html#DOWNLOAD>
- [11] Gil M.I., Tomas-Barberan F.A., Hess-Pierce B., Kader A.A.: Antioxidant capacities, phenolic compounds, carotenoids, and vitamin C contents of nectarines, peach, and plum cultivars from California. *J. Agric. Food Chem.*, 2002, **50**, 4976-4982.
- [12] Grzyb Z.S., Rozpara E.: *Nowoczesna uprawa śliw*. Hortpress sp. z.o.o, Warszawa 2000.
- [13] Hartmann W.: *Rozwój uprawy nowych odmian. W: Modernizacja produkcji i sprzedaży śliwek*. Red. E. Makosz. Wyd. AR w Lublinie, Lublin 1995, ss. 44-63.
- [14] Jarczyk A., Płocharski W.: *Technologia produktów owocowych i warzywnych. Tom 1*. Wyd. WSzEH im. Prof. S.A. Pieniążka w Skierniewicach, Skierniewice 2010.
- [15] Jouret C., Maugenet J., Mesnier Y.: Maturation of plums d'Ente: chemical composition and changes in fruits. *Industr. Alim. Agr.*, 1969, **86**, 795-799.
- [16] Karakaya S., El S.N., Tas A.A.: Antioxidant activity of some foods containing phenolic compounds. *Int. J. Food Sci. Nutr.*, 2001, **52**, 501-508.
- [17] Kayano S., Kikuzaki H., Fukutsaka N., Mitani T., Nakatani N.: Antioxidant activity of prune (*Prunus domestica* L.) constituents and a new synergist. *J. Agric. Food Chem.*, 2002, **50**, 3708-3712.
- [18] Kim D.-O., Jeong S.W., Lee Ch. Y.: Antioxidant capacity of phenolic phytochemicals from various cultivars of plums. *Food Chem.*, 2003, **81**, 321-326.
- [19] Kroh L.W.: Caramelisation in food and beverages. *Food Chem.*, 1996, **51** (4), 373-379.
- [20] Leong L.P., Shui G.: An investigation of antioxidant capacity of fruits in Singapore markets. *Food Chem.*, 2002, **76**, 69-75.
- [21] Łoś J., Wilska-Jeszka J., Pawlak M.: Polyphenolic compounds of plums (*Prunus domestica*). *Pol. J. Food Nutr. Sci.*, 2000, **9/50**, 35-38.

- [22] Łysiak G.: Ocena wartości produkcyjnej nowych odmian śliw. PTPN, Prace Kom. Nauk Roln. i Kom. Nauk Leśn. 2005, **98/99**, 319-325.
- [23] Madrau M.A., Sanguinetti A.M., del Caro A., Fadda C., Piga A.: Contribution of melanoidins to the antioxidant activity of prunes. *J. Food Qual.*, 2010, **33**, 155-170.
- [24] Michalska A., Zieliński H.: Produkty reakcji Maillarda w żywności. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2007, **2 (51)**, 5-16.
- [25] Mills C., Mottram D.S., Wedzicha B.L.: Acrylamide. In: *Process-induced food toxicants. Occurrence, formation, mitigation and food risk*. Ed. R.H.Stadler, D.R. Lineback. Hoboken (NJ): Wiley, pp. 23-50, 2009.
- [26] Moutounet M., Jouret C.: Amino acids of plum d'Ente and prune d'Agen. *Fruits*, 1975, **30**, 345-348.
- [27] Piga A., Del Caro A., Corda G.: From plums to prunes: influence of drying parameters on polyphenols and antioxidant activity. *J. Agric. Food Chem.*, 2003, **51 (12)**, 3675-3681.
- [28] Price W.E., Sabarez H.T., Storey R., Back P.J.: Role of the waxy skin layer in the moisture loss during dehydration of prunes. *J. Agric. Food Chem.*, 2000, **48**, 4193-4198.
- [29] Proteggente A.R., Pannala A.S., Paganga G., van Buren L., Wagner E., Wiseman S., van de Put F., Dacombe C., Rice-Evans C.A.: The antioxidant activity of regularly consumed fruit and vegetables reflects their phenolic and vitamin C composition. *Free Rad. Res.*, 2002, **36**, 217-233.
- [30] Raynal J., Moutounet M., Souquet J.M.: Intervention of phenolic compounds in plum technology. I. Changes during drying. *J. Agric. Food Chem.*, 1989, **37**, 1046-1050.
- [31] Raynal J., Moutounet M.: Intervention of phenolic compounds in plum technology. II. Mechanism of anthocyanins degradation. *J. Agric. Food Chem.*, 1989, **37**, 1051-1053.
- [32] Rejman A. (Red): *Pomologia*. PWRiL, Warszawa 1994.
- [33] Robert F., Vuataz G., Pollien P., Saucy F., Alonso M.-I., Bauwens I., Blank I.: Acrylamide formation from asparagine under low-moisture Maillard reaction conditions. I. Physical and chemical aspects in crystalline model systems. *J. Agric. Food Chem.*, 2004, **52 (22)**, 6837-6842.
- [34] *Rocznik Statystyczny Rolnictwa 2011*. GUS. Warszawa 2011.
- [35] *Rocznik Statystyczny Rolnictwa*. GUS. 2012. [On line]. Dostęp w Internecie [25.10.2013]: http://www.stat.gov.pl/cps/rde/xbcr/gus/RL_wynikowy_szac_prod_glow_ziemnioplod_roln_i_ogrod_2012.pdf
- [36] Rybczyński R., Dobrzański B.: Produkcja śliwek, wymagania i ocena jakości. W: *Właściwości fizyczne surowców roślinnych*. Red. B. Dobrzański (Jr), R. Rybczyński, Wyd. Nauk. FRNA, Lublin 2009, ss. 225-236.
- [37] *Rynek Owoców i Warzyw. Stan i perspektywy. Analizy Rynkowe*. Inst. Ekon. Rol. i Gosp. Żyw. PIB, 2012, ss. 3-12.
- [38] Salesses G.: Some information on the plum cytogenetics and the origin of *Prunus domestica*. *Acta Hort. (ISHS)*, 1975, **48**, 59-66.
- [39] Sanz M.L., del Castillo M.D., Corzo N., Olano A.: Formation of Amadori compounds in dehydrated fruits. *J. Agric. Food Chem.*, 2001, **49**, 5228-5231.
- [40] Sękowski B.: *Pomologia systematyczna* Wyd. Nauk. PWN, Warszawa 1993.
- [41] Stacewicz-Sapuntzakis M., Bowen P.E., Hussain E.A., Damayanti-Wood B.I., Farnsworth N.R.: Chemical composition and potential health effects of prunes: a functional food? *Crit. Rev. Food Sci.*, 2001, **41**, 251-286.
- [42] Tomas-Barberan F., Gil M.I., Cremin P., Waterhouse A.L., Hess-Pierce B., Kader A.A.: HPLC-DAD-ESIMS analysis of phenolic compounds in nectarines, peaches and plums. *J. Agric. Food Chem.*, 2001, **49**, 4748-4760.
- [43] Van Gorsel H., Li C., Kerbel E.L., Smits M., Kader A.A.: Compositional characterization of prune juice. *J. Agric. Food Chem.*, 1992, **40**, 784-789.

- [44] Wang H., Cao G., Prior R.L.: Total antioxidant capacity of fruits. *J. Agric. Food Chem.*, 1996, **44**, 701-705.
- [45] Wang Z., Jiang Y., Liu N., Liu N., Zhu Y., An Y., Chen D.: Advanced glycation end-product N ϵ -carboxymethyl-Lysine accelerates progression of atherosclerotic calcification in diabetes. *Atherosclerosis*, 2012, **221** (2), 387-396.
- [46] Walkowiak-Tomczak D., Biegańska-Marecik R., Reguła J.: Aktywność przeciwutleniająca wybranych odmian śliwek (*Prunus domestica*) uprawianych w kraju. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2007, **6** (55), 109-115.
- [47] Walkowiak-Tomczak D.: Characteristics of plums as a raw material with valuable nutritive and dietary properties – a review. *Pol. J. Food Nutr. Sci.*, 2008, **58** (4), 401-405.
- [48] Walkowiak-Tomczak D.: Wpływ stopnia dojrzałości na parametry fizyczno-chemiczne i zawartość związków polifenolowych wybranych odmianach śliwek (*Prunus domestica*). *Nauka, Przynr., Technol.*, 2009, **3/4**, 1-9.
- [49] Walkowiak-Tomczak D.: Wpływ metody odwadniania śliwek (*Prunus domestica* 'Valor') na zawartość polifenoli i zdolność przeciwutleniającą. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 2010, **552**, 237-246.
- [50] Walkowiak-Tomczak D.: Determination of chemical composition of plums during pre-treatment and drying. *Ecol. Chem. Eng S.*, 2012, **19** (1), 89-96.
- [51] Westwood M.N.: *Temperate Zone Pomology*. Timber Press, Inc. Ed. 3. Portland 1993.
- [52] Wilford L.G., Sabarez H., Price W.E.: Kinetics of carbohydrate change during dehydration of d'Agen prunes. *Food Chem.*, 1997, **59**, 149-155.

APPLICABILITY OF PLUMS GROWN IN POLAND TO DRYING PROCESS IN TERMS OF CHANGES IN BIOACTIVE COMPOUNDS AND OF MAILLARD REACTION PRODUCTS BEING FORMED

S u m m a r y

Plums are very popular fruits in Poland. They are a rich source of phenolic compounds and stand out for their high antioxidant capacity. Seasonality of supply of plums determines the processing of plums. This, in turn, impacts qualitative and quantitative changes in the compounds contained in plums. The process of drying plums causes the content of phenolic compounds to decrease and, simultaneously, the antioxidant capacity of those fruits to increase. Products of the Maillard reaction and/or of the caramelization that are formed during the thermal processing account for those changes. Those products show both the positive and the negative effects on human health. When having the knowledge of changes in the chemical composition of plums that occur during processing operations of plums, it would be possible to develop appropriate fruit drying methods. Another good reason for doing so is that the plum fruits cultivated in Poland are characterized by a high content of extract and dry matter. Unfortunately, they are rarely used by the local industry. The identification of changes induced by processing operations could help dried plum products produced become more competitive on the Polish market.

Key words: processing of plums, polyphenols, Maillard reaction products, caramelization ☒