

SKROPLINY Z PRODUKCJI KONCENTRATU POMIDOROWEGO JAKO ŹRÓDŁO ZWIĄZKÓW ZAPACHOWYCH

Joanna Markowska¹⁾, Danuta Kalemba²⁾, Elżbieta Polak¹⁾

¹⁾Instytut Biotechnologii Przemysłu Rolno-Spożywczego im. prof. W. Dąbrowskiego, Zakład Technologii i Techniki Chłodnictwa w Łodzi Al. Marszałka J. Piłsudskiego 84, 92-202 Łódź

²⁾Politechnika Łódzka Wydział Biotechnologii i Nauk o Żywności Instytut Podstaw Chemii Żywności, ul. Stefanowskiego 4/10, 90-924 Łódź

joanna.markowska@ibprs.pl

Streszczenie

Celem badań była charakterystyka skroplonych oparów pozyskanych przy produkcji przecieru pomidorowego z wykorzystaniem doświadczalnego stanowiska badawczego oraz określenie zawartości i składu związków zapachowych zawartych w skroplinach. Całkowita zawartość rozpuszczalnych substancji stałych wzrastała wraz z fazą poboru skroplin od 7,3 do 31,1 °Brix. W tym samym czasie pH nieznacznie malało z 7,02 do 6,88. Zawartość związków lotnych w pierwszej frakcji była najwyższa (320 mg/l) w porównaniu do kolejnych faz poboru (39-20 mg/l). Głównym składnikiem lotnym każdej z czterech frakcji był 2-fenyletanol, który stanowił 22,7% wszystkich substancji lotnych w pierwszej frakcji i 8,0-11,2% w pozostałych frakcjach. Alkohol ten, jeden z kluczowych składników aromatu świeżego pomidora, odpowiada za ogólny aromat frakcji skroplin pomidorowych. Undekan-2-on i alkohol benzyłowy były obecne w znaczących ilościach w trzech frakcjach. Ważne zapachowe składniki pomidorów jakimi są wysoko lotne krótkołańcuchowe aldehydy, alkohole i ketony, występowały w kondensacie tylko w śladowych ilościach lub nie zostały zidentyfikowane. Aromatyczne skropliny z pierwszej fazy poboru mogą znaleźć zastosowanie przy produkcji wyrobów warzywnych.

Słowa kluczowe: pomidor, skropliny, związki zapachowe, 2-fenyletanol

CONDENSATE FROM THE TOMATO PASTE PRODUCTION AS A SOURCE OF AROMA COMPOUNDS

Summary

The aim of study was to characterize condensate fractions from the tomato paste production using experimental stand and analysis of volatile flavor constituents. The total soluble solids content increased with the subsequent condensate collection and ranged from 7,3 to 31,1 °Brix. At the same time, pH slightly decreased from 7,02 to 6,88. Total content of volatile compounds in the first fraction was high (320 mg/L), and it was much lower in other fractions (39-20 mg/L). 2-Phenylethanol was the main component of each fraction and amounted to 22,7% of total volatiles in the first fraction and 8,0-11,2% in other fractions. This study revealed that this alcohol, one of the key tomato aroma components, is responsible for the overall aroma of tomato condensate fractions. Other compounds present in significant amounts in three fractions were undecan-2-one and benzyl alcohol. It was not surprise that highly volatile short-chain aldehydes, alcohols and ketons were present in condensate only in trace amounts or were not identified. This study revealed that the first fraction of condensate obtained during concentration of tomato pulp is a potential sources of tomato aroma and can be used in vegetable products technologies.

Keywords: tomato, condensates, aroma components, 2-phenylethanol

WSTĘP

Pomidor (*Lycopersicon esculentum* Mill.) jest rośliną należącą do rodziny *Solanaceae*. Jego owoce, charakterystyczne duże jagody o swoistym zapachu, stanowią jedno z najpopularniejszych na świecie warzyw spożywanych w postaci świeżej lub przetworzonej przemysłowo. Znanych jest wiele form produktów na bazie pomidorów, takich jak: sosy, ketchupy, puree, pasty, przeciery i koncentraty, zupy, soki oraz pomidory w puszkach [Preedy i Watson 2008].

W codziennym sposobie odżywiania pomidor jest ważnym źródłem składników mineralnych i elektrolitów (szczególnie potasu, wapnia, sodu czy magnezu) i kwasów karboksylowych, w tym kwasu askorbinowego, cytrynowego, jabłkowego i fumarowego [Hernandez-Suarez i in. 2007]. Pomidory i produkty z nich wytworzone są bogate w związki o charakterze antyoksydacyjnym, karotenoidy, w szczególności likopen i związki fenolowe [George i in. 2004, Sahlin i in. 2004, Ilahy i in. 2011, Pinela i in. 2012]. Zawartość karotenoidów i związków fenolowych są bardzo zmienne i mogą być uzależnione od stopnia

dojrzałości, genotypu i metod uprawy pomidorów [Abushita 2000, Martínez-Valverde i in. 2002, Hallmann 2012].

W pomidorach zidentyfikowano przeszło 400 lotnych związków, takich jak aldehydy, alkohole, estry, ketony, pochodne siarki i lotne związki fenolowe. Aromat świeżych pomidorów zdominowany jest obecnością aldehydów alifatycznych: (Z)-hex-3-enalu i (E)-hex-2-enalu. Innymi ważnymi składnikami są alkohole, takie jak 2-fenyletanol, (Z) heks-3-enol, alkohol benzylowy, a także ketony, np. 6-metylohept-5-en-2-on i pent-1-en-3-on. Wśród monoterenów identyfikowano: neral, geranial, nerol i linalol. Aromat przetworzonych pomidorów ma podobny skład [Selli i in. 2014, Marković i in. 2007]. Mimo tak znaczącej ilości lotnych związków, jedynie 15-20 z nich ma wpływ na to, jak odbierane są walory zapachowe i smakowe pomidorów [Saliba-Colombani i in. 2001, Causse i in. 2004, Tieman i in. 2006]. Niektóre ze związków lotnych sprawiają, że smak pomidora odczuwany jest jako bardziej słodki niż wynikałoby to z samej zawartości cukrów. Taką właściwość ma kwas izowalerianowy, związek o specyficznym zapachu [Bartoshuk i Klee 2013]. To jeden z głównych składników np. korzenia i kłącza kozłka lekarskiego *Valeriana officinalis*, cenionego surowca leczniczego [Patočka i Jakl 2010, Pilerood i Prakash 2013].

Bardzo ważnym etapem w produkcji przetworów owocowo-warzywnych jest proces gotowania i zagęszczania wykonywany w aparatach próżniowych. Producenci urządzeń oferują nowe rozwiązania optymalizujące proces produkcji. Innowacyjnym rozwiązaniem w tej grupie urządzeń jest aparat próżniowy z możliwością poboru skroplonych oparów poprodukcyjnych, zawierających związki zapachowe. Skropliny powstałe przy produkcji wyrobów owocowo-warzywnych, w zależności od rodzaju surowca, mają odmienny skład, a związki lotne w nich obecne charakteryzują się różną lotnością, rozpuszczalnością i polarnością.

Celem badań była charakterystyka skroplonych oparów pozyskanych przy produkcji przecieru pomidorowego z wykorzystaniem doświadczalnego stanowiska badawczego oraz określenie zawartości i składu związków zapachowych zawartych w skroplinach.

MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Wykorzystane do analiz skroplone opary (skropliny) pobrane zostały w czasie trwania produkcji koncentratu pomidorowego, na stanowisku badawczym do zagęszczania i pobierania skroplin, zaprojektowanym i wykonanym w FMS Spomasz Pleszew S.A. (rysunek 1) [Bieńczak i in. 2017].



Rysunek 1. Stanowisko badawcze do zagęszczania produktów i poboru skroplin
Experimental stand for concentration of products and for sampling of condensates

Mrożone pomidory ($-2,6^{\circ}\text{C}$), w postaci kostki, były dozowane porcjami do komory grzewczej reaktora. Całkowita masa wsadu wyniosła 100 kg. Czas rozmrażania niezbędny do podgrzania wsadu wynosił ok. 2,5 h. Po tym okresie rozpoczął się proces zagęszczania poprzez gotowanie z użyciem nasyconej pary wodnej. Masa uzyskanego przecieru wyniosła 17,35 kg, przy zawartości ekstraktu ok. 31°Brix . W czasie trwania procesu technologicznego wytypowano doświadczalnie 4 etapy zagęszczania, w celu określenia przybliżonego czasu, w którym następowało odparowanie wody ze wsadu, na poziomie odpowiednio: 25%; 50%; 75% oraz 100% (tabela 1). Z każdej fazy zagęszczania procesu technologicznego dokonano poboru skroplin. Kolejne frakcje skroplin oznaczono odpowiednio: P-1, P-2, P-3 i P-4.

W skroplinach określono zawartości ekstraktu ogólnego (refraktometr RFM330+ firmy Bellingham and Stanley (Anglia) i pH (pehametr Buckman 32 firmy Beckman Coulter USA). Zawartość związków lotnych (ZL) w skroplinach z kolejnych faz poboru oznaczono metodą ekstrakcji. Próbkę skroplin o objętości 200 ml ekstrahowano trzykrotnie chlorkiem metylenu po 50 ml. Połączone frakcje suszono siarczanem (VI) magnezu i po odsączeniu środka suszącego zatężono na wyparce do stałej masy. Oznaczenie wykonano w dwóch powtórzeniach.

Badania składu wyekstrahowanych ZL prowadzono metodą chromatografii gazowej sprzężonej ze spektrometrią masową (GC-MS) z użyciem chromatografu gazowego Trace GC Ultra sprzężonego bezpośrednio ze spektrometrem masowym DSQ II firmy Thermo Electron

oraz zaopatrzonego w detektor FID. Analizy wykonano na kolumnie niepolarniej Rtx-1 ms (Restek) (60 m x 0,25 mm, grubość filmu 0,25 μ m). Temperatura kolumny programowana była w zakresie 50°C (3 min) – 300°C, przyrost temp. 4°C/min. Temperatura dozownika wynosiła 280°C, a temperatura detektora FID 300°C. Gazem nośnym był hel pod stałym ciśnieniem 300 kPa. Energia jonizacji wynosiła 70 eV, a temperatura źródła jonów 200°C. Składniki identyfikowano na podstawie porównania indeksów retencji (RI), ustalonych na podstawie czasów retencji mieszaniny n-alkanów C8-C32 i widm masowych z danymi wzorców, zgromadzonymi w bibliotece danych National Institute of Standards and Technology (Narodowy Instytut Standaryzacji i Technologii, NIST).

WYNIKI I DYSKUSJA

W trakcie całego procesu technologicznego odparowano razem ok. 80 l skroplin, które podzielono na cztery frakcje. W tabeli 1 przedstawiono objętości frakcji oraz ich charakterystykę.

Tabela 1. Charakterystyka poszczególnych frakcji skroplin

Characteristics of particular condensate fraction

Faza poboru <i>condensate fraction</i>	Objętość skroplin [l] <i>the total volume of condensates</i> L	Zawartość ekstraktu w skroplinach \pm SD (n=2) °Brix <i>total soluble solids</i> \pm SD (n=2) °Brix	pH \pm SD (n=2) <i>pH \pm SD (n=2)</i>
P-1	20,65	7,3 \pm 0,4	7,02 \pm 0,02
P-2	23,00	10,3 \pm 0,3	6,88 \pm 0,03
P-3	20,35	16,3 \pm 0,4	6,88 \pm 0,05
P-4	15,45	31,1 \pm 0,3	6,77 \pm 0,03

Ilość odbieranych skroplonych oparów w fazie drugiej poboru była największa. Zawartość ekstraktu ogólnego skroplin wzrastała w kolejnych etapach poboru, przy malejącej ich ilości w poborze. W ostatniej fazie, P-4, wartości ekstraktu były prawie dwukrotnie wyższe w porównaniu do uzyskanych w poprzednim poborze. Faza poboru skroplin nie wpłynęła znacząco na ich wartości pH.

Dla większej części populacji ludzi to zawartość cukrów (słodycz) jest najprostszym wyznacznikiem, czy dany owoc jest smaczny. Jednak poza receptorami smakowymi,

wrażliwymi na słodkość (glukozę, fruktozę), kwaśność (kwas cytrynowy, jabłkowy, askorbinowy), czy umami (kwas glutaminowy), również receptory węchowe mają ogromne znaczenie w percepcji smakowej [Szymczak i in. 2015].

Zawartość zapachowych związków lotnych we frakcjach skroplin przedstawiono w tabeli 2, a ich zidentyfikowane główne składniki w tabeli 3. Na rysunku 2 przedstawiono chromatogram frakcji P-1.

Tabela 2. Zawartość związków lotnych we frakcjach skroplin
Content of volatile compounds in the condensate fractions

Faza poboru <i>Fraction</i>	Zawartość ogółem mg/l <i>total content mg/L</i>
P-1	320
P-2	39
P-3	35
P-4	20

Analizowane frakcje skroplin zawierały zróżnicowaną zawartość związków lotnych, która była najwyższa dla pierwszej fazy poboru (P-1) i wynosiła 320 mg/l (tabela 4). Ilość ZL znacznie malała w kolejnych fazach (39-20 mg/l).

Tabela 3. Skład związków lotnych poszczególnych frakcji skroplin przy produkcji przecieru pomidorowego (%)
Composition of volatile compounds contained in particular condensate fraction from the production of tomato paste (%)

Składnik <i>Component</i>	Faza poboru <i>Fraction</i>			
	P-1	P-2	P-3	P-4
1,8-Cyneol	-	-	5,8	-
Kamfora	3,6	-	-	-
Chlorek benzylu	-	2,0	3,0	-
Linalol	3,9	-	-	-
Undekan-2-on	5,5	4,9	8,5	-
Nerol	5,6	-	-	-
Alkohol benzytowy	-	6,0	3,2	4,3
2-Fenylloetanol	22,7	11,2	8,0	10,1
Kwas geraniowy	6,1	-	-	-

Skład chemiczny związków lotnych był zmienny w zależności od fazy poboru. We wszystkich frakcjach skroplin dominował 2-fenylloetanol. Alkohol ten, obok 2-fenylloacetaldehydu, jest kluczowym składnikiem aromatu i smaku dojrzałych owoców pomidora. Oba związki mają przyjemny owocowy smak, kwiatowy zapach i są głównym składnikiem zapachu wielu kwiatów, aldehyd 2-fenylloctowy zidentyfikowano w hiacyntach, a 2-enylloetanol w różach [Knudsen i in. 1993]. Jednakże podwyższona zawartość obu związków przekładają się na niepożądany aromat owoców pomidora [Tadmor i in. 2002].

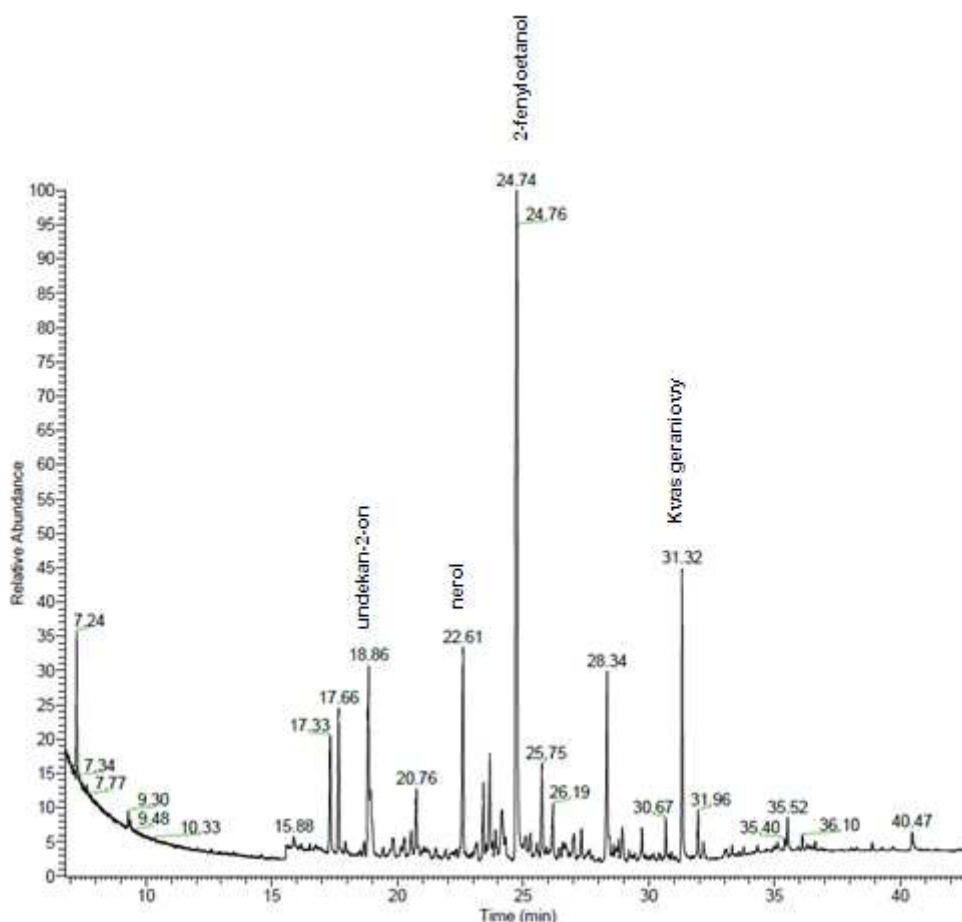
Ze względu na zapach kwiatowy, 2-fenylloetanol jest stosowany jako środek zapachowy w produktach kosmetycznych [Clark 1990]. Jest też głównym czynnikiem wpływającym na smak wielu potraw, takich jak sery, chleb, wino czy oliwa z oliwek. Istnieje zatem duże zainteresowanie naturalnymi źródłami 2-fenylloetanolu w celu zastosowania związku w technologiach przemysłowych. Poza zapachem, wykazuje on także właściwości przeciwdrobnoustrojowe w odniesieniu do *Escherichia coli*, *Rhizoctonia solanacearum* [Zhu i in. 2011], *Penicillium digitatum* i *P. italicum* [Liu i in. 2014], *Candida albicans* czy Gram-dodatnich i Gram-ujemnych bakterii [Jirovetz i in. 2008]. Najważniejszą metodą otrzymywania naturalnego 2-fenylloetanolu jest degradacja naturalnej L-fenylalaniny przy udziale enzymów drożdży *Saccharomyces cerevisiae* [Vuralhan i in. 2003].

W ilościach od 4,9% do 8,5%, w zależności od fazy poboru, obecny był w skroplinach

undekan-2-on, składnik alifatyczny olejków eterycznych. Działa on inhibycyjnie na wzrost i rozmnażanie się szczepów grzybów *Candida mycoderma* i *Aspergillus niger* oraz bakterii *Bacillus subtilis* [Kunicka-Styczyńska i Gibka 2010].

W mniejszych ilościach obecny był w skroplinach alkohol benzyłowy, powszechnie występujący w owocach, kwiatach, herbacie i wielu olejkach eterycznych. Był on również jednym ze znaczących składników zapachu świeżych pomidorków *cherry* [Selli i in. 2014], a także pomidorów różnych odmian oraz przetworów z nich przygotowanych: soków, past, puree [Malcović i in. 2007].

Ważnymi związkami lotnymi kształtującymi zapach pomidorów są krótkołańcuchowe aldehydy, alkohole i ketony. Związki te wykazują się wysoką lotnością, zatem nie jest zaskoczeniem fakt, że we frakcjach skroplin niektóre z nich występowały tylko w śladowych ilościach, a inne nie zostały zidentyfikowane.



Rysunek 2. Chromatogram frakcji P-1

Chromatogram of P-1 fraction

WNIOSKI

Na aromat pomidorów świeżych i przetworzonych składają się głównie tlenowe związki alifatyczne i terpenowe: alkohole, fenole, aldehydy, ketony, estry, laktony. Mniejszy udział mają związki siarki i związki heterocykliczne. W większości przypadków w przetworach identyfikuje się niższe stężenia substancji lotnych niż w świeżych owocach. W czasie produkcji przecieru pomidorowego słabo rozpuszczalne w wodzie związki lotne pomidorów zostają częściowo oddestylowane wraz z odprowadzaną podczas zagęszczania wodą i znajdują się w postaci rozpuszczonej i/lub zawieszanej w skroplinach. Zazwyczaj aromatyczne skropliny powstałe w procesie produkcji są traktowane jako odpad i odprowadzane do instalacji wodno-kanalizacyjnej. Z uwagi na ilość uzyskanych skroplin z początkowej fazy produkcji koncentratu pomidorowego oraz charakterystykę zawartych w nich związków zapachowo aktywnych, istnieje możliwość ich zagospodarowania. Aromatyczne skropliny mogą znaleźć zastosowanie jako zamiennik wody w recepturach wyrobów owocowo-warzywnych (dżemy, konfitury, marmolady, przeciery). Pozwoli to na uzyskanie bardziej aromatycznego i naturalnego produktu, o lepszych walorach smakowych. Skropliny zawierające związki zapachowe stanowią mogą alternatywę dla stosowanych syntetycznych związków zapachowych.

Najważniejsze wnioski:

1. Pierwsza faza poboru skroplonych oparów, uzyskana podczas koncentracji miąższu pomidora jest potencjalnym źródłem aromatu pomidora i może być stosowana w technologiach produktów roślinnych.
2. 2-Fenyletanol był głównym składnikiem każdej frakcji z poboru skroplin.
3. W znaczących ilościach, w co najmniej trzech frakcjach, występowały undekan-2-on i alkohol benzylowy, które również są cennymi substancjami zapachowymi.

Podziękowania

Autorzy składają podziękowania Agacie Bieńczak z PIMR w Poznaniu, Lilianie Rak-Urbaniak, Albinowi Pera i Andrzejowi Bartczakowi z FMS Spomasz Pleszew za przygotowanie skroplin z wykorzystaniem stanowiska badawczego do zagęszczania produktów i poboru skroplin (stanowisko wykonano w ramach projektu dofinansowanego przez NCBiR nr umowy PBS3/B6/32/2015).

PIŚMIENNICTWO

- Abushita A.A., Daood H.G., Biacs P.A. (2000). Change in carotenoids and antioxidant vitamins in tomato as a function of varietal and technological factors. *J. Agric. Food Chem.*, 48, 2075-2081
- Bartoshuk L. M., Klee H. J. (2013). Better fruits and vegetables through sensory analysis, Minireview. *Curr. Biol.* 23, 374-378
- Bieńczak K., Markowska J., Polak E., Bieńczak A., Kalemba D., Rak-Urbaniak L., Pera A., Bartzak A. (2017). Skropliny z procesu produkcji dżemu truskawkowego jako źródło związków aromatycznych. *Przem. Chem.*, 96/10, 2111-2115
- Causse M., Duffe P., Gomez M.C., Buret M., Damidaux R., Zamir D., Gur A., Chevalier C., Lemaire-Chamley M., Rothan C. (2004). A genetic map of candidate genes and QTLs involved in tomato fruit size and composition. *J. Exp. Bot.* 55, 1671–1685
- Clark G.S. (1990). Vanillin. *Perfumer and Flavorist*, 15(March/April), 45-54
- George B., Kaur, C., Khurdiya, D.S., Kapoor, H.C. (2004). Antioxidants in tomato (*Lycopersium esculentum*) as a function of genotype. *Food Chem.*, 84, 45-51
- Hallmann E. (2012). The influence of organic and conventional cultivation systems on the nutritional value and content of bioactive compounds in selected tomato types. *J. Sci. Food Agric.*, 92, 2840-2848
- Hernandez-Suarez M., Rodríguez-Rodríguez E. M., Dýaz-Romero C. (2007). Mineral and trace element concentrations in cultivars of tomatoes. *Food Chem.*, 104, 489-99
- Ilahy R., Hdider C., Lenucci M.S, Tlili I., Dalessandro G. (2011). Phytochemical composition and antioxidant activity of high-lycopene tomato (*Solanum lycopersicum* L.) cultivars grown in Southern Italy. *Sci. Horticult.*, 127, 255-261
- Jirovetz L., Buchbauer G., Schmidt E., Denkova Z., Slavchev A., Stoyanova A., Geissler M. (2008). Purity, antimicrobial activities and olfactory evaluations of 2-phenylethanol and some derivatives. *J. Essent. Oil Res.*, 20, 82–85
- Knudsen J.T., Tollsten L., Bergstron L.G. (1993). Floral scents—A checklist of volatile compounds isolated by head—space techniques. *Phytochemistry*, 33, 253-280
- Kunicka-Styczyńska A., Gibka J. (2010). Antimicrobial activity of undecan-x-ones (x = 2-4). *Pol. J. Microbiol.*, 59, 301-6
- Liu P., Cheng Y., Yang M., Liu Y., Chen K., Long C.A., Deng X. (2014). Mechanisms of action for 2-phenylethanol isolated from *Kloeckera apiculata* in control of *Penicillium* molds of citrus fruits. *BMC Microbiol.*, 14, 242

- Marković K., Vahčić N., Kovačević Ganić K., Banović M. (2007). Aroma volatiles of tomatoes and tomato products evaluated by solid-phase microextraction, *Flavour Frag J.*, 22, 395–400
- Martínez-Valverde I., Periago M.J., Provan G., Chesson A. (2002). Phenolic compounds, lycopene and antioxidant activity in commercial varieties of tomato (*Lycopersicon esculentum*). *J. Sci. Food Agric.*, 82, 323-330
- Patočka J., Jakl J. (2010). Biomedically relevant chemical constituents of *Valeriana officinalis* *J. Appl. Biomed.* 8, 11–18
- Pilerood S.A., Jamuna Prakash J.(2013). Nutritional and Medicinal Properties of Valerian (*Valeriana Officinalis*) Herb: A Review. *Int. J. Food Sci. Nutr.*, 1, 1(January – June), 25-32
- Pinela J., Barros L., Carvalho A.M., Ferreira I.C.F.R. (2012). Nutritional composition and antioxidant activity of four tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) farmer' varieties in Northeastern Portugal homegardens. *Food Chem. Toxicol.*, 50, 3-4, 829-834
- Preedy V.R., Watson R.R. (2008). Tomatoes and tomato products: nutritional, medicinal and therapeutic properties. Science Publishers, USA, 27-45
- Sahlin E., Savage G.P., Lister, C.E. (2004). Investigation of the antioxidant properties of tomatoes after processing. *J. Food Compos. Anal.*, 17, 635-647
- Saliba-Colombani V., Causse M., Langlois D., Philouze J., Buret M. (2001). Genetic analysis of organoleptic quality in fresh market tomato. 1. Mapping QTLs for physical and chemical traits. *Theor Appl Genet.*, 102, 259–272
- Selli S., Kelebek H., Ayseli M.T., Tokbas H. (2014). Characterization of the most aroma-active compounds in cherry tomato by application of the aroma extract dilution analysis, *Food Chem.*, 165, 540–546
- Szymczak K., Bonikowski R., Kałużna-Czaplińska J. (2015). Pomidor – tajemnica smaku, VI Sympozjum „Naturalne i syntetyczne produkty zapachowe i kosmetyczne” – Łódź, 34
- Tadmor Y., Fridman E., Gur A., Larkov O., Lastochkin E., Ravid U., Zamir D., Lewinsohn E. (2002). Identification of malodorous, a wild species allele affecting tomato aroma that was selected against during domestication. *J. Agr. Food Chem.*, 50, 2005–2009
- Tieman D., Taylor M., Schauer N., Fernie A.R., Hanson A.D., Klee H.J. (2006). Aromatic amino acid decarboxylases participate in the synthesis of the flavour and aroma volatiles 2-phenylethanol and 2-phenylacetaldehyde in tomato fruits. *Proc. Natl. Acad. Sci., USA*, 103, 8287–8292

Vuralhan Z., Morais M. A., Tai S.-L., Piper M. D. W., Pronk J. T. (2003) Identification and characterization of phenylpyruvate decarboxylase genes in *Saccharomyces cerevisiae*. *Appl. Environ. Microbiol.*, 69, 4534–4541

Zhu Y.J., Zhou H.T., Hu Y.H., Tang J.Y., Su M.X., Guo Y.J., Chen Q.X., Liu B. (2011). Antityrosinase and antimicrobial activities of 2-phenylethanol, 2-phenylacetaldehyde and 2-phenylacetic acid *Food Chem.*, 124, 298–302