

JACEK BOJARSKI

## CHROMATOGRAFICZNY ROZDZIAŁ ENANCJOMERÓW W ANALIZIE ŻYWNOŚCI I PRODUKTÓW NATURALNYCH

### Streszczenie

W artykule podano podstawowe definicje chiralności oraz metodykę chromatograficznego rozdziału i oznaczania enancjomerów w produktach żywnościowych i naturalnych. Zaprezentowano także odpowiednie przykłady oznaczania antypodów optycznych aminokwasów oraz związków zapachowych i smakowych, zaczerpnięte z literatury.

Według podręcznikowych definicji „przedmiot chiralny nie daje się nałożyć na swe odbicie lustrzane” [24], a „chiralność jest koniecznym i wystarczającym warunkiem istnienia dwóch form enancjomorficznych – enancjomerów cząsteczki. Enancjomery są nazywane niekiedy izomerami lub antypodami optycznymi, z racji wykazywania przez nie skręcalności optycznej o jednakowej wielkości, ale przeciwnym znaku” [19].

Chiralność cząsteczek związków organicznych związana jest z występowaniem w nich elementów asymetrii: chiralnego centrum (np. asymetryczny atom węgla), osi lub płaszczyzny. Chiralność może być także uwarunkowana zatłoczeniem przestrzennym, występującym np. w strukturach helikalnych.

Technikami najczęściej używanymi w analizie związków optycznie czynnych są metody chiralooptyczne (np. polarymetria, dichroizm kołowy, dyspersja skręcalności optycznej), magnetyczny rezonans jądrowy, oraz metody chromatograficzne i elektroforetyczne [28]. Te ostatnie często są metodami z wyboru dla praktycznego rozdziału i ilościowego oznaczania enancjomerów wielu leków i substancji pochodzenia naturalnego i z tego względu znajdują one szerokie zastosowanie w analizie farmaceutycznej i klinicznej, w analizie środków spożywczych, analizie środowiskowej itp. [5, 6, 7]. Duże zainteresowanie zarówno syntezą czystych enancjomerów, jak i ich analizą jest

uzasadnione tym, że antypody optyczne mogą być zróżnicowane pod względem aktywności biologicznej, farmakologicznej oraz przejawiać specyficzne efekty fizjologiczne.

Chromatograficzny rozdział enancjomerów opiera się na zasadzie tworzenia przez nie trwałych lub labilnych połączeń diastereoizomerycznych. Te pierwsze poddawane są rozdziałowi chromatograficznemu poprzedzonemu derywatyzacją chemiczną z zastosowaniem odpowiednich chiralnych odczynników (sposób pośredni). Te drugie powstają w trakcie procesu chromatograficznego na skutek stereospecyficznych oddziaływań pomiędzy odpowiednią stałą fazą chiralną lub chiralnym selektorem dodanym do fazy ruchomej (sposób bezpośredni). Do przeprowadzania takich rozdziałów stosowane są wszystkie rodzaje chromatografii (cieczowa, gazowa i fluidalna).

W naturze mamy bardzo często do czynienia z procesami enancjoselektywnymi, w wyniku których powstają enancjomery w zróżnicowanych ilościach, a czasem powstaje tylko jeden enancjomer. Nie jest to takie dziwne, jeżeli weźmiemy pod uwagę, że bardzo wiele związków naturalnych stanowiących substraty lub katalizatory takich procesów jest związkami chiralnymi. Np. w organizmach żywych spotykamy przede wszystkim białka zbudowane z L-aminokwasów oraz cukry o konfiguracji D. Chiralne są również enzymy pełniące funkcje biokatalizatorów.

Ponieważ środki spożywcze to w przeważającej mierze produkty naturalne, zagadnienie oznaczania w nich enancjomerów ma istotne znaczenie. Smak i zapach napojów i stałych produktów żywnościowych jest często związany z enancjomerycznym stosunkiem ich składników i ewentualnymi dodatkami syntetycznych mieszanin racemicznych. W przemysłowych procesach przetwarzania żywności mogą przebiegać reakcje racemizacji i innych zmian konfiguracyjnych chiralnych komponentów. Potencjalne zastosowania chromatograficznych rozdziałów enancjomerów w badaniach środków spożywczych obejmują przede wszystkim wykrywanie zafałszowań, kontrolę procesów fermentacyjnych i ich produktów, ocenę efektów przetwarzania, starzenia i przechowywania, ocenę niektórych składników zapachowo-smakowych oraz analizę chiralnych metabolitów i prochiralnych składników [1]. Najczęściej analizowanymi są enancjomery takich związków, jak: aminokwasy, laktony, alkohole, węglowodory (monoterpeny), kwasy, estry oraz aldehydy i ketony. Poniżej przedstawione zostaną przykłady takich oznaczeń zaczerpnięte z literatury.

Brückner i Hausch [8] oznaczali wolne D-aminokwasy w takich m. in. produktach spożywczych jak: kwaśne mleko, ser ementaler, piwo, czerwone wino, oraz soki z marchwi i selera. Oznaczenia prowadzone były techniką chromatografii gazowej z detektorem płomieniowo-jonizacyjnym, po derywatywacji grupy aminowej bezwodnikiem pentafluoropropionowym i przeprowadzeniu grupy kwasowej w estrową (działaniem propanolu). Chiralnymi fazami stacjonarnymi były: Chirasil-L-Val, w którym L-walina związana jest z polisiloksanowym podłożem oraz XE-60-L-Val-(S)- $\alpha$ -

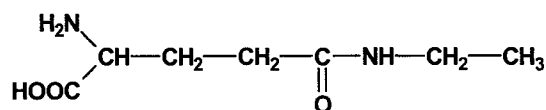
fenyloetyloamid. We wszystkich wymienionych produktach stwierdzono znaczące ilości wolnych D-aminokwasów, takich m.in. jak D-alanina, czy D-leucyna, których obecność przypisano procesom fermentacyjnym powodowanym przez mikroorganizmy. Podobną metodykę stosowano w celu oznaczenia wolnych D-aminokwasów w sokach pomarańczowych [10], w warzywach i owocach [11]. Oprócz chromatografii gazowej stosowano także wysokosprawną chromatografię cieczą (HPLC) na fazach odwróconych, derywatyżując uprzednio aminokwasy dialdehydem o-ftalowym wobec N-izobutyrylo-L(lub D)-cysteiny, co prowadziło do powstania silnie fluoryzujących pochodnych typu izoindolu [9, 11].

Badacze włoscy [25] analizowali na zawartość D-aminokwasów produkty nabiałowe (jogurt, mleko, ser), szynkę i paloną kawę. Stosowali oni w chromatografii gazowej jako fazę stacjonarną zsyntezowany przez nich selektor chiralny, pochodną trioksaundekanoiloamidu, oraz derywatyżację bezwodnikiem trifluorooctowym i alkoholem (metanol, 2-propanol, butanol). Jako chiralny selektor w HPLC używano L-fenyloalanyloamid z octanem miedzi(II) w fazie ruchomej, fazą stacjonarną była faza RP-18, a aminokwasy oznaczano jako pochodne dansylowe. Wykazano, że za racemizację niektórych aminokwasów odpowiedzialne są, obok mikroorganizmów, również procesy obróbki termicznej.

W celu oznaczania D-aminokwasów w piwie [16] zastosowano HPLC z dwukolumnowym układem (niechiralna kolumna RP-C18 oraz chiralna kolumna z  $\beta$ -cyklodekstryną lub jej pochodną) i derywatyżowano aminokwasy chloromrówczanem 9-fluorenylometylu lub chlorkiem 9-fluorenylometoksykarbonyloglicyny. Podobne odczynniki i metodykę zastosowano do oznaczania enancjomerów różnych aminokwasów w miodach różnego pochodzenia (m. in. z Polski) [26]. Stwierdzono istotne różnice w całkowitych ilościach badanych aminokwasów i procentowej zawartości ich enancjomerów.

Badacze japońscy w celu oznaczania D-aminokwasów w winie stosowali derywatyżację odczynnikiem będącym pochodną benzofurazanu, a chiralnymi fazami stacjonarnymi były fazy typu Pirkle'a z chiralnymi selektorami: (S) i (R)-1-naftyloglicylo-3,5-dinitrofenyloamidem [20].

W herbacie w znacznej ilości występuje specyficzny aminokwas tzw. teanina o wzorze:



Badając zawartość teaniny i jej skład enancjomeryczny w różnych gatunkach herbaty [17] również stwierdzono istotne różnice. Rozdziały enancjomeryczne przepro-

wadzano metodą HPLC z zastosowaniem układu kolumn: niechiralna C-18 oraz chiralna z  $\gamma$ -cyklodekstryną. Derywatyzację aminokwasów również przeprowadzano wspomnianym już chlorkiem 9-fluorenylometoksykarbonyloglicyny. Stwierdzono, że w roztworach wodnych teanina ulega racemizacji i proces ten może być użyteczny w ocenie czasu przechowywania i procedur stosowanych przy produkcji herbat różnych producentów.

Ostatnio doniesiono o rozdziałach enancjomerów aminokwasów w postaci ich dansylowych pochodnych stosując micelną elektroforezę kapilarną, w której stosowano  $\beta$ -cyklodekstrynę jako chiralny selektor oraz dodecylosiarczan sodu, jako dodatek do buforu podstawowego. Stwierdzono istotny wpływ stężenia tego odczynnika oraz pH na efektywność rozdziałów [30]. W kolejnej pracy [14] tego samego zespołu, prowadzonej w podobnych warunkach eksperymentalnych, stwierdzono, że lepsze rozdziały otrzymuje się stosując jako chiralny selektor  $\gamma$ -cyklodekstrynę. W badaniach tych nie udało się rozdzielić dansylowych pochodnych enancjomerów seryny i alaniny, natomiast stwierdzono, że dodatek acetonitrylu, jako organicznego modyfikatora, do roztworu podstawowego znacznie poprawił enancjoselektywność i rozdział D-metioniny i D-leucyny.

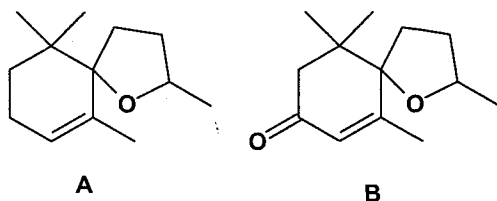
W produktach spożywczych często występują złożone mieszaniny substancji zapachowych i smakowych, z których wiele należy do roślinnych olejków eterycznych. Składniki tych mieszanin w większości należą do izoprenoidów i są często związkami chiralnymi, a ich oznaczanie to ważna dziedzina analizy środków spożywczych. Bardzo skomplikowany skład jakościowy takich mieszanin wymaga stosowania układu kolumn w ich analizie metodą chromatografii gazowej. Odpowiednie przełączanie kolumn umożliwia wyodrębnianie poszczególnych frakcji i analizę ich składu enancjomerycznego (tzw. multidimensional gas chromatography).

Przykładami oznaczeń wspomnianych wyżej substancji jest rozdział enancjomeryczny trans- $\alpha$ -jononu i trans- $\alpha$ -damaskonu, przeprowadzony metodą chromatografii gazowej, na chiralnej fazie stacjonarnej stanowiącej mieszaninę heptakis(2,3,6-tri-O-metylo)- $\beta$ -cyklodekstryny i polisiloksanu [33]. Nadmiar enancjomeryczny był oznaczany w takich surowcach, jak m. in.: maliny i koncentrat ich soku, marchew, strączki wanilii i czarna herbata.

Innym przykładem zastosowania tej metody i tego samego chiralnego selektora jest analiza chiralnych monoterpenu w olejku miętowym [23]. Stwierdzono istotne różnice w enancjomerycznym składzie takich związków, jak  $\alpha$ - i  $\beta$ -pineny oraz limonen, w zależności od pochodzenia olejków. Podobnie rozdzielono enancjomery kwasu 2-metylo-butanowego, otrzymanego przez hydrolizę jego estrów z ekstraktu z jabłek, oraz pochodnych acetylowych alkoholi odpowiedzialnych za zapach bananów [23]. Taka analiza może służyć do oceny jakości środków smakowych i zapachowych pochodzenia naturalnego. Kolejnym przykładem była analiza związków zapachowych

herbaty jaśminowej [31], a rozdzielanymi metodą chromatografii gazowej związkami były pary enancjomerów jasmonianu i epijasmonianu metylu. Chiralną fazą stacjonarną była heptakis(2,3,6-tri-O-metylo)- $\beta$ -cyklodekstryna. Posługując się tą metodą potwierdzono obecność w herbacie tylko dwóch enancjomerów, których konfigurację ustalono jako (-)-(1R,2R)-jasmonian metylu i (+)-(1R,2S)-epijasmonian metylu, przez porównanie z otrzymanymi na drodze syntetycznej wzorcami. Wykazano również termiczną izomeryzację enancjomerów epijasmonianu do jasmonianu, udowadniając tym samym konieczność dokładnej kontroli temperatury przy produkcji tego typu herbaty.

Teaspirany (A) i teaspiroony (B):



są związkami zapachowymi występującymi w wielu produktach naturalnych, takich jak: maliny, owoce męczennicy żółtej i purpurowej, owoce pigwy, w czarnej i zielonej herbacie, winogronach itp. Obecność dwóch asymetrycznych atomów węgla w pierścieniu tetrahydrofuranowym powoduje istnienie dwóch par enancjomerów w każdym z tych związków. I w tym przypadku wszystkie te stereoisomery rozdzielono przy pomocy dwukolumnowego układu (kolumna niechiralna + chiralna – permetylowana beta-cyklodekstryna) [18]. Oznaczenia ich w różnych surowcach naturalnych wykazały znaczne różnice w nadmiarze enancjomerycznym poszczególnych par enancjomerów.

Analizę enancjomerycznego składu związków zapachowych różnych odmian uprawnych malin oraz handlowych produktów takich, jak herbata z malinowym zapachem, syrop i sok malinowy, a mianowicie: alfa i beta jononu, delta dekalonu i „ketonu malinowego” czyli 4-(p-hydroksyfenylo)-2-butanonu prowadzono również metodą chromatografii gazowej, ale chiralnym selektorem była inna pochodna cyklodekstrynowa – oktakis(2,6-dimetylo-3-trifluoroacetylo)- $\gamma$ -cyklodekstryna. Analiza ta (łącznie z analizą izotopową) pozwala charakteryzować poszczególne odmiany owoców i wykrywać różnice pomiędzy próbkami naturalnymi i fałszowanymi [12].

Niedawno opisano analizę enancjomerów związków terpenowych ( $\beta$ -pinen, sabinen, limonen, linalool, terpinen-4-ol,  $\alpha$ -terpineol) w olejkach mandarynkowych, stosując chromatografię gazową z w pełni zautomatyzowanym systemem dwukolumnowym, z chiralnym cyklodekstrynowym selektorem [heptakis(2,3-di-O-etylo-6-O-tert-butylo-dimetylosililo)- $\beta$ -cyklodekstryna]. Wyniki zastosowane do analizy produktów komercyjnych pozwalały na wykrycie obcych dodatków (np. olejku cytrynowego)

[21]. Tą samą metodą, te same związki oraz octan linalilu analizowano w oleju bergamotowym [13, 22].

Na zapach jabłek składają się takie związki, jak: 2-metylobutanol, kwas 2-metylobutanowy i jego różne estry, octan 2-metylobutyłu, oraz ich 3-metylowe analogi. Pochodne 2-metylobutyłowe są chiralne, w przeciwieństwie do tych ostatnich, które nie posiadają asymetrycznego atomu węgla. Do analizy tych związków w jabłkach i ich przetworach (sok, wino, calvados, likier jabłkowy) i do rozdziału enancjomerów używano układu dwukolumnowego z bardzo podobnym jak poprzednio selektorem chiralnym [heptakis(2,3-di-O-metylo-6-O-tert-butylo-dimetylosililo)- $\beta$ -cyklodekstryna] [29].

Innym tego typu selektorem chiralnym jest pochodna  $\gamma$ -cyklodekstryny, a mianowicie oktakis(2,3-di-O-butyrylo-6-O-tert-butylo-dimetylosililo)- $\gamma$ -cyklodekstryna, stosowana w analizie chiralnych związków zapachowych zawierających siarkę i zawartych w owocach męczennicy żółtej [32]. Szersze badania nad lotnymi składnikami tego samego surowca [34], z zastosowaniem frakcjonowania z pomocą średnicieśniowej chromatografii adsorpcyjnej oraz tzw. analizy z fazy nadpowierzchniowej, pozwoliły na rozdział metodą chromatografii gazowej i identyfikację ok. 180 związków, w tym wielu jako nowych związków zapachowych. Wśród nich przeprowadzono również rozdział i analizę ilościową enancjomerów 20 związków chiralnych, z których wiele było już tutaj wymienianych, stosując jako chiralne selektory różne pochodne cyklodekstryn.

Filberton – (E)-5-metylo-2-hepten-4-on, jest głównym składnikiem zapachowym orzechów laskowych, przy czym izomer S(-) ma silniejsze działanie. Analizę enancjomerów tego związku w samym produkcie oraz jego pochodnej (lody orzechowe), prowadzono metodą chromatografii gazowej, wykorzystując permetylowaną  $\beta$ -cyklodekstrynę i metodę tę zastosowano również do badań racemizacji tego połączenia [izomeru S(-)] podczas ekstrakcji [27] oraz do wykrywania zafałszowań oleju z oliwek olejem z orzechów laskowych [3].

W analizie chiralnych  $\gamma$ -laktonów zawartych w owocach i ich przetworach zastosowano sprzężone techniki chromatografii cieczowej i chromatografii gazowej. Chiralnym selektorem była również permetylowana  $\beta$ -cyklodekstryna [4].

Podsumowując te przykłady można stwierdzić wiele cech wspólnych w metodyce chiralnej analizy związków występujących w produktach naturalnych i spożywczych. Można też oczekiwać, że chromatograficzne i elektroforetyczne metody analizy środków spożywczych i ich zastosowania będą nadal rozwijane. Czytelnikom zainteresowanym rozszerzeniem swych wiadomości w tej tematyce polecić można doskonałą monografię [15], zawierającą przeszło siedemset pozycji literaturowych. Zastosowanie cyklodekstryn jako chiralnych selektorów omówiono ostatnio w artykule przeglądowym [2].

## LITERATURA

- [1] Armstrong D.W., Chang C.-D., Li W.Y.: Relevance of enantiomeric separations in food and beverage analyses. *J. Agric. Food Chem.*, **38**, 1990, 1674.
- [2] Bicchi C., D'Amato A., Rubiolo P.: Cyclodextrin derivatives as chiral selectors for direct gas chromatographic separation of enantiomers in the essential oil, aroma and flavour fields. *J. Chromatogr. A*, **843**, 1999, 99.
- [3] Blanch G.P., Jauch J.: Enantiomeric composition of filbertone in hazelnuts in relation to extraction conditions. Multidimensional gas chromatography and gas chromatography/mass spectrometry in the single ion monitoring mode of a natural sample. *J. Agric. Food Chem.*, **46**, 1998, 4283
- [4] Blanch G.P., Ruiz del Castillo M.L., Herraiz M.: Enantiomer analysis of chiral lactones in foods by on-line coupled reversed-phase liquid chromatography-gas chromatography. *J. Chromatogr. Sci.*, **36**, 1998, 589.
- [5] Bojarski J.: Chromatograficzny rozdział enancjomerów. Cz.I. Metody, Cz. II. Mechanizmy i zastosowania. *Wiadomości Chem.*, **47**, 1993, 279, 419.
- [6] Bojarski J.: Recent progress in chromatographic enantioseparations. *Chemia Analityczna*, **42**, 1997, 139.
- [7] Bojarski J., Aboul-Enein H.: Recent applications of chromatographic resolution of enantiomers in pharmaceutical analysis. *Biomed. Chromatogr.*, **10**, 1996, 297.
- [8] Brückner H., Hausch M.: Gas chromatographic detection of D-amino acids as common constituents of fermented foods. *J. High Resolut. Chromatogr.*, **12**, 1989, 680.
- [9] Brückner H., Langer M., Lüpke M., Westhauser T., Godel H.: Liquid chromatographic determination of amino acid enantiomers by derivatization with o-phthalaldehyde and chiral thiols. Applications with reference to food science. *J. Chromatogr. A*, **697**, 1995, 229.
- [10] Brückner H., Lüpke M.: Determination of amino acid enantiomers in orange juices by chiral phase capillary gas chromatography. *Chromatographia*, **31**, 1991, 123.
- [11] Brückner H., Westhauser T.: Chromatographic determination of D-amino acids as native constituents of vegetables and fruits. *Chromatographia*, **39**, 1994, 419.
- [12] Casabianca H., Graff J.B.: Enantiomeric and isotopic analysis of flavour compounds of some raspberry cultivars. *J. Chromatogr. A*, **684**, 1994, 360.
- [13] Casabianca H., Graff J.B.: Separation of linalyl acetate enantiomers: application to the authentication of bergamot food products. *J. High Resolut. Chromatogr.*, **17**, 1994, 184.
- [14] Chang H.M., Tsai C.F., Li C.F.: Enantiomeric separation of Dns-DL-amino acids by  $\gamma$ -cyclodextrin-modified micellar capillary electrophoresis. *J. Agric. Food Chem.*, **46**, 1998, 4598.
- [15] Ekborg-Ott K.H., Armstrong D.: Stereochemical Analysis of Food Components. w: Chiral Separations. Applications and Technology. Ed.: Satinder Ahuja, American Chemical Society, Washington, DC, 1997, s. 201-270.
- [16] Ekborg-Ott K.H., Armstrong D.W.: Evaluation of the concentration and enantiomeric purity of selected free amino acids in fermented malt beverages (beers). *Chirality*, **8**, 1996, 49.
- [17] Ekborg-Ott K.H., Taylor A., Armstrong D.W.: Varietal differences in the total and enantiomeric composition of theanine in tea. *J. Agric. Food Chem.*, **45**, 1997, 353.
- [18] Full G., Winterhalter P., Schmidt G., Herion P., Schreier P.: MDGC-MS: a powerful tool for enantioselective flavor analysis. *J. High Resolut. Chromatogr.*, **16**, 1993, 642.
- [19] Gawroński J., Gawrońska K.: Stereochemia w syntezie organicznej. PWN, Warszawa, 1988, s. 15.
- [20] Kato M., Fukushima T., Santa T., Homma H., Imai K.: Determination of D-amino acids, derivatized with 4-fluoro-7-nitro-2,1,3-benzoxadiazole (NBD-F), in wine samples by high-performance liquid chromatography. *Biomed. Chromatogr.*, **9**, 1995, 193.

- [21] Mondello L., Catalfamo M., Prottegente A.R., Bonaccorsi I., Dugo G.: Multidimensional capillary GC-GC for the analysis of real complex samples. 3. Enantiomeric distribution of monoterpene hydrocarbons and monoterpene alcohols of mandarin oils. *J. Agric. Food Chem.*, **46**, 1998, 54.
- [22] Mondello L., Verzera A., Previti P., Crispo F., Dugo G.: Multidimensional capillary GC-GC for the analysis of complex samples. 5. Enantiomeric distribution of monoterpene hydrocarbons, monoterpene alcohols and linalyl acetate of bergamot (*Citrus bergamia* Risso et Poiteau) oils. *J. Agric. Food Chem.*, **46**, 1998, 4275.
- [23] Mosandl M., Fischer K., Hener U., Kreis P., Rettinger K., Schubert V., Schmarr H.G.: Stereoisomeric flavor compounds. 48. Chirospecific analysis of natural flavors and essential oils using multidimensional gas chromatography. *J. Agric. Food Chem.*, **39**, 1991, 1131.
- [24] Nógrádi M.: Stereochemia. PWN, Warszawa, 1988, s. 23.
- [25] Palla G., Marchelli R., Dossena A., Casnati G.: Occurrence of D-amino acids in food. Detection by capillary gas chromatography and by reversed-phase high-performance liquid chromatography with L-phenylalaninamides as chiral selectors. *J. Chromatogr.*, **475**, 1989, 45.
- [26] Pawlowska M., Armstrong D.W.: Evaluation of enantiomeric purity of selected amino acids in honey. *Chirality*, **6**, 1994, 270.
- [27] Ruiz del Castillo M.L., Caja M.M., Herraiz M., Blanch G.P.: Rapid recognition of olive oil adulterated with hazelnut oil by direct analysis of the enantiomeric composition of filbertone. *J. Agric. Food Chem.*, **46**, 1998, 5128.
- [28] Schreier P., Bernreuther A., Huffer M.: Analysis of Chiral Organic Molecules. Walter de Gruyter, Berlin, New York, 1995.
- [29] Schumacher K., Asche S., Heil M., Mittelstädt, Dietrich H., Mosandl A.: Methyl-branched flavor compounds in fresh and processed apples. *J. Agric. Food Chem.*, **46**, 1998, 4496.
- [30] Tsai C.F., Li C.F., Chang M.E.: Enantiomeric separation of dansyl derivatized-DL-amino acids by micellar electrokinetic chromatography. *J. Agric. Food Chem.*, **46**, 1998, 979.
- [31] Wang D., Kubota K., Kobayashi A.: Optical isomers of methyl jasmonate in tea aroma. *Biosci. Biotech. Biochem.*, **60**, 1996, 508.
- [32] Weber B., Maas B., Mosandl A.: Stereoisomeric flavor compounds. 72. Stereoisomeric distribution of some chiral sulfur-containing trace components of yellow passion fruits. *J. Agric. Food Chem.*, **43**, 1995, 2438.
- [33] Werkhoff P., Bretschneider W., Güntert M., Hopp R., Surburg H.: Chirospecific analysis in flavor and essential oil chemistry. Part B. Direct enantiomer resolution of trans- $\alpha$ -ionone and trans- $\alpha$ -damascone by inclusion gas chromatography. *Z. Lebensm. Unters. Forsch.*, **192**, 1991, 111.
- [34] Werkhoff P., Güntert M., Krammer G., Sommer H., Kaulen J.: Vacuum headspace method in aroma research: flavor chemistry of yellow passion fruits. *J. Agric. Food Chem.*, **46**, 1998, 1076.

## CHROMATOGRAPHIC SEPARATION OF ENANTIOMERS IN THE ANALYSIS OF FOODS AND NATURAL PRODUCTS

### S u m m a r y

Basic definitions of chirality and methods of chromatographic separation and determination of enantiomers in food and natural products have been discussed. Appropriate examples of such analyses taken from the literature for optical antipodes of amino acids and aroma and flavor compounds have been presented. ❖