

食用スプラウト中のD型アラニン含量

森 真貴子^{*1, 2} 小 林 麻里子^{*3} 横 山 久美代^{*3}
田 中 秀 幸^{*4} 成 瀬 克 子^{*5} 徳 久 幸 子^{*3}

Contents of D-alanine Found in Seedlings Used for Food

Makiko MORI^{*1, 2}, Mariko KOBAYASHI^{*3}, Kumiyo YOKOYAMA^{*3},
Hideyuki TANAKA^{*4}, Katsuko NARUSE^{*5} and Sachiko TOKUHISA^{*3}

Seedlings (sprouts) of various plants are marketed as food items. Especially the pea sprout (garden pea seedling) is easy to obtain and is eaten daily by many people. D-amino acids are included in many foods, though in low concentrations. For example, in alkali-treated corn, and cooked meat and bread D-amino acids are formed by racemization during the processing. In fermented foods such as cheese, wine, soy sauce and miso D-amino acids are produced by microorganisms. Other than food, natural plants and aquatic animals contain D-amino acids, which seem to be intrinsic in them. It has been clarified early that pea seedlings contain D-Ala compounds.

Mammals possess D-amino acid oxidase for high activity, though they have little opportunity for taking in D-amino acids. Accordingly, small amounts of D-amino acids consumed may be metabolized rapidly, and the effect of D-amino acids on the body may be small. Recently, the possibility for D-amino acids to fulfill some positive role in the brain and neural transmission function of mammals has been found. Therefore, it is necessary to clarify the amount of D-amino acids found in foods.

In this study, D-Ala in sprouts used for food was determined. Samples used were soybean, garden pea, alfalfa, mung bean (green gram), daikon radish, “sango” daikon radish, “rubi” daikon radish, garden cress, broccoli, red cabbage, rocket (rucola), leaf mustard, sun flower, ao-shiso, white sesame and buckwheat. Sprouts found on the market or sprouted in our laboratory were used. One gram of seeds, after soaked in water overnight, and 10 g of sprouts from which had unnecessary seeds removed, were juiced using a juicer. The fluids were centrifuged, 50 μ l of the supernatants was derivatized with FDLA (N α -(5-Fluoro-2, 4-dinitrophenyl)-L-leucin-amide) and applied to HPLC. The column was ODS-3, and the mobile phase was 20 mM ammonium acetate/MeOH (45/55).

All the sprouts of legumes (soybean, garden pea, alfalfa, mung bean (green gram)) measured contained D-Ala in some extent; over 0.5 mg/100 g wet weight. Crucifer radish sprouts and buckwheat sprouts of Polygonaceae contained slight amounts; 0.1 mg/100 g wet weight. The D-Ala content of the rest of the sprouts was fractional or under the detection limits (0.01 mg/100 g wet weight). In the seeds, D-Ala was found fractionally, except in soybean (65 mg/100 g dry weight). L-Ala was found universally in all the sprouts and seeds assayed. Especially in soybean (500 mg/100 g dry weight).

*¹ 連合農学研究科, 岩手大学大学院: The United Graduate School of Agricultural Sciences, Iwate University

*² 食物栄養科, 盛岡大学短期大学部: Department of Food and Nutrition, Morioka Junior Collage, Morioka University

*³ 生化学研究室, 女子栄養大学: Laboratory of Biochemistry, Kagawa Nutrition University

*⁴ 農学部, 生物生産科学科, 宇都宮大学: Department of Bioproductive Science, Faculty of Agriculture, Utsunomiya University

*⁵ 生化学研究室, 香川栄養専門学校: Laboratory of Biochemistry, Division of Dietician Program, Kagawa Vocational College of Nutrition

序

近年、種々の植物の新芽（以下スプラウト）が食用として市販されている。特に、緑豆もやしは入手し易く日常よく摂食される食品である。食品中には僅かではあるがD型アミノ酸が含まれている。とうもろこしをアルカリ処理するときにタンパク質中のアミノ酸にラセミ化が起こることが1970年代に明らかにされた¹⁾。カゼインの加熱処理、大豆蛋白の加圧（エクストルーダー）処理によってもラセミ化が起こる²⁻⁶⁾。チーズ、味噌などの発酵食品には微生物由来のD型アミノ酸が含まれている⁷⁻¹²⁾。さらに、植物性のオレンジジュースやメープルシロップ¹³⁻¹⁶⁾、また、食用の海産甲殻類や貝類などにもD型アミノ酸が存在する^{17, 18)}。食品以外では、イネ科植物や針葉樹・落葉樹中にD-Alaが存在する¹⁹⁻²¹⁾。また、発芽エンドウ中に、 γ -L-Glu-D-Ala, N-マロニル-D-Alaが存在することが1970年代に明らかにされている²²⁻²⁵⁾。そこで、食用スプラウト中にD-Alaが含まれるのではないかと考えた。

哺乳動物は、D型アミノ酸を摂取する機会は少ないにもかかわらず、D-アミノ酸オキシダーゼ [EC.1.4.3.3.]を高活性に有している²⁶⁾。それ故、少量のD型アミノ酸を摂取しても速やかに脱アミノ化されると考えられる。一方、近年になってD型アミノ酸が哺乳動物の脳および神経伝達機能において何らかの積極的な役割を果たして

いる可能性が示唆されており^{27, 28)}、食品中のD型アミノ酸含量を明らかにしておくことが必要である。本研究では、食用スプラウト中のD-Ala含量を定量した。スプラウトが市販されているものはそのまま試料とし、スプラウト用種子が市販されているものは、研究室内で発芽させて試料とした。

実験方法

1. 試料、試薬、機器

1.1 試料

スプラウトとして市販されているものはこれを試料とした。スプラウトとしては市販されておらず、スプラウト用種子が市販されているものは、研究室内で発芽させて試料とした。スプラウト中と種子中のD-およびL-Ala含量を比較するため、購入した種子中のD-Alaを定量した。スプラウトを購入した試料については、同じ植物名の市販の種子と比較した。

試料は以下の通りである。Table 1の記載順に、植物名（商品名、科名、スプラウトの生産者）の順に記す。スプラウトの購入元は何れも埼玉県内のスーパーマーケットである。ダイズ（大豆もやし、マメ科、研究室内で発芽）、エンドウ（豆苗、マメ科、三和農林（株））、ムラサキウマゴヤシ（アルファルファ、マメ科、中津川サラダ農園）、ヤエナリ（グリーンマップ（緑豆）、マメ科、研究室内で発芽）、ダイコン（かいわれ大根、アブラナ科、

Table 1. Samples of seeds and sprouts

English name	Scientific name	Family	Seeds		Sprouts	
			production	supplier	production	supplier
soybean	Glycine max	Fabaceae	China	Nakahara saishujou, Inc.	sprouting at our laboratory	
garden pea	Pisum sativum		Australia		Sanwa nourin Inc.	supermarket in Saitama prefecture
alfalfa	Medicago sativa		U.S.A.		Nakatsugawa sarada nouen	
mung bean, green gram	Vigna radiata		Chinas		prouting at our laboratory	
daikon radish	Raphanus sativus longipinnatus	Brassicaceae	U.S.A.		Murakami nouen	supermarket in Saitama prefecture
“sango” daikon radish	Raphanus sativus		Italy		sprouting at our laboratory	
“rubi” daikon radish	Raphanus sativus		U.S.A.			
garden cress	Lepidium sativum		Denmark		Fueki nouenn, Inc.	supermarket in Saitama prefecture
broccoli	Brassica oleracea		U.S.A.			
red cabbage	Brassica oleracea		U.S.A.			
rocket, rucola	Eruca vesicaria		Italy			
leaf mustard	Brassica juncea		Italy			
sun flower	Helianthus annuus		Asteraceae		Italy	sprouting at our laboratory
ao-shiso	Perilla frutescens	Lamiaceae	Fukuoka Prefecture			
white sesame	Sesamum orientale	Pedaliaceae	Guatemala		sprouting at our laboratory	
buckwheat	Fagopyrum esculentum Moench	Polygonaceae	Nagano Prefecture			

村上農園), ダイコン (サンゴかいわれ大根, アブラナ科, 研究室内で発芽), ダイコン (ルビーかいわれ大根, アブラナ科, 研究室内で発芽), コショウソウ (ガーデンクレス, アブラナ科, (株) フエキ農園), ブロッコリー (かいわれブロッコリー, アブラナ科, (株) フエキ農園), ムラサキキャベツ (レッドキャベツ, アブラナ科, (株) フエキ農園), キバナズシロ (ロケット (ルッコラ), アブラナ科, (株) フエキ農園), カラシナ (マスタード, アブラナ科, (株) フエキ農園), ヒマワリ (ヒマワリ, キク科, 研究室内で発芽), アオジソ (青しその芽, シソ科, 研究室内で発芽), ゴマ (白ゴマ, ゴマ科, 研究室内で発芽), ソバ (ソバの芽, タデ科, 研究室内で発芽) である。種子は全て中原採種場 (株) (福岡市) から購入した (Table 1)。研究室での発芽は, 種子の包装に記載してあるとおりに行い, 食用適切な時期に分析に使用した。

1.2 試薬

L-FDLA (N^{α} -(5-Fluoro-2,4-dinitrophenyl)-L-leucinamide) は東京化成工業社製を用いた。

1.3 機器および HPLC 測定条件

ジュサーは株式会社テスコム製 TJ18 型 (磨砕と遠心分離を同時に行う) を用いた。HPLC は株式会社日立ハイテクノロジーズ製, カラムはジーエルサイエンス社製 ODS-3 (4.6i.d.×250mm) を用いた。移動相は 20mM 酢酸アンモニウム/MeOH (45/55), 流速は 1.0ml/min とした。

2. 試料調製

2.1 D-Ala の抽出

スプラウトは種子を取除き胚軸および双葉部の 10g を用いた。種子は 1g を一昼夜給水後に用いた。種子, スプラウトともにジュサーを用いてジュースを分取し, 遠沈, 上清を用いた。

2.2 L-FDLA 誘導体化

種子, スプラウトともにジュースの遠沈上清 50 μ l に 1M NaHCO_3 20 μ l を加え窒素気流下で蒸発乾固した。これに水 100 μ l, 1% (w/v) L-FDLA 100 μ l を加え, 37°C, 1 hr 反応した。これに 1N HCl 20 μ l を加え, さらに 50% (v/v) CH_3CN を全量が 1 ml になるように加えた。これを HPLC 用フィルターで濾過し, この 100 μ l を HPLC に注入した。また, 定量用基準液として, L-Ala 5 nmol, D-Ala 1 nmol を含む溶液, および HPLC のピーク確認用添加実験として, ジュースの遠沈上清 50 μ l に L-Ala 5 nmol, D-Ala 1 nmol を加えた溶液についても同様に操作した。

試料中の L-および D-Ala 含量は, 定量用基準液のピーク面積と試料のピーク面積比から求めた。1 試料について抽出操作は 1 回, 誘導体化は 2 系列行い, 誘導体化液それぞれについて HPLC は 2~4 回行い, その平均値をとった。添加実験における回収率は 83~103% で, 本研究の目的には十分な精度であった。

結果および考察

エンドウスプラウト抽出液の HPLC クロマトグラム

L-Ala のピークは約 25 分, D-Ala のピークは約 75 分

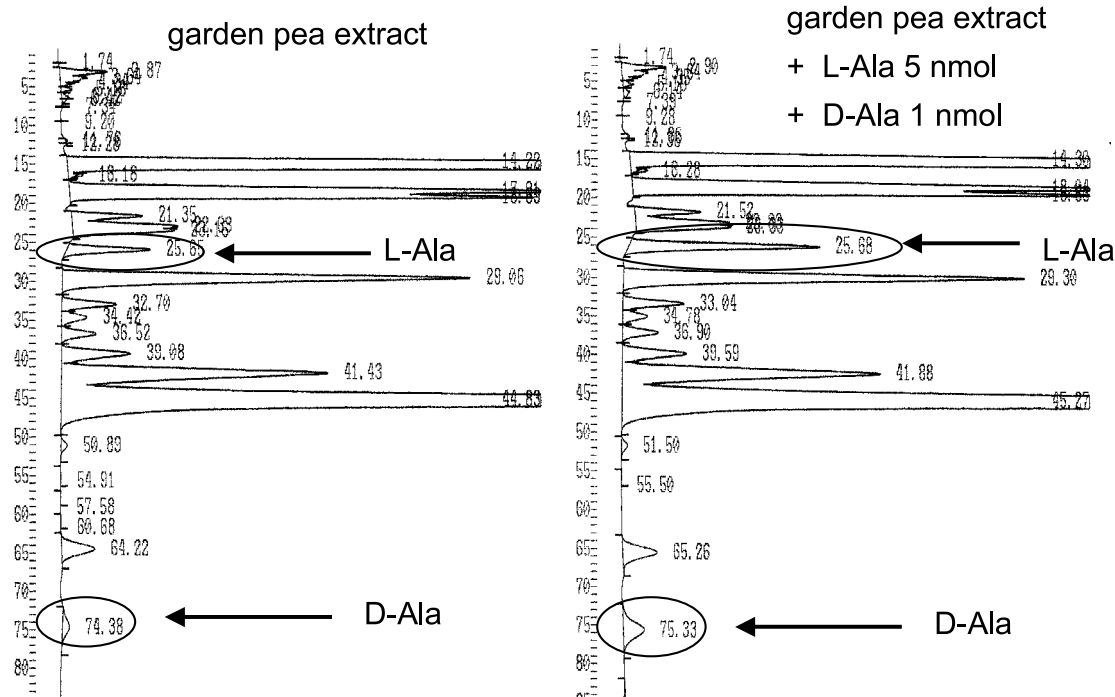


Fig. 1. HPLC of L-FDLA derivatives of garden pea extract

Chromatographic conditions: column, GL science Ltd., ODS-3 (4.6 i.d.×250mm); buffer, 20mM ammonium acetate /methanol (45/55); flow rate, 1.0ml/min.

に検出された。これらのピークは添加実験で上昇していることで確認した (Fig. 1)。

スプラウト中 D-Ala 含量

摂食することを考慮して湿重量 100 g あたりで表した。D-Ala は測定したすべてのマメ科植物のスプラウト (ダイズ, エンドウ, ムラサキウマゴヤシ, ヤエナリ) に多く, いずれも 0.5 mg/100 g 湿重量以上であった。その他, アブラナ科のダイコン, タデ科のソバに 0.1 mg/100 g 湿重量程度検出された。それ以外は僅か (0.01 mg/100 g 湿重量) あるいは検出限界以下であった (Table 2)。

種子およびスプラウト中の D-および L-Ala 含量

種子とスプラウトでは水分含量が異なるため, 乾燥重量あたりで示した。マメ科植物 (ダイズ, エンドウ, ムラサキウマゴヤシ, ヤエナリ) のスプラウトには何れも D-Ala が検出されたにもかかわらず, これらの種子には, ダイズを除いて D-Ala はほとんど検出されなかった。

Table 2. D-Ala content in sprouts

Sprouts	mg/100 g wet weight
soybean	1.21
garden pea	1.14
alfalfa	0.57
mung bean, green gram	0.57
daikon radish	0.17
"sango" daikon radish	0.10
"rubi" daikon radish	0.11
garden cress	0.00
broccoli	0.01
red cabbage	0.01
rocket, rucola	0.00
leaf mustard	0.00
sun flower	0.01
ao-shiso	0.00
white sesame	0.01
buckwheat	0.05

ダイズは測定したほかの植物すべてと異なり, 種子中に D-Ala が際立って多かった (65 mg/100 g 乾燥重量)。ダイズ以外の種子ではカラシナに 0.5 mg/100 g 乾燥重量程度, その他はそれ以下あるいは検出限界以下であった (Fig. 2)。

L-Ala は測定した植物の種子, スプラウトともに普遍的に検出された。ダイズスプラウト中に際立って多かった (500 mg/100 g 乾燥重量)。ダイズ以外では他のマメ科植物およびダイコンに 100 mg/100 g 乾燥重量前後, その他はそれ以下であった (Fig. 2)。

発酵食品は日常摂取する D 型アミノ酸含有食品である。Bruckner らは発酵食品には微生物由来の D-アミノ酸が含まれていると考えて, ワイン, チーズなどの中の D-Ala, D-アスパラギン酸, D-セリンなど 10 種の D-アミノ酸を定量した。D-Ala および D-セリンは測定した全ての試料に含まれており, D-Ala の含量は次のようであった。グレープジュース 0.05, ロゼワイン 0.06, 食酢 0.02, 酢漬キャベツジュース 6.39 (以上 mg/dl), チーズ (フレンチ プレスド チーズ) 8.78, 蜂蜜 0.07 (以上 mg/100 g)¹⁴⁾。本研究の結果, マメ科のもやし中の D-Ala 含量はグレープジュース, ロゼワインの約 10 倍, チーズの約 1/10 であった。

Fukuda らによると, 暗所発芽させたエンドウの脱子葉部分は, 発芽とともに γ -L-Glu-D-Ala, N-マロニル-D-Ala を蓄積し, 発芽 6 日目には前者は約 1.0, 後者は約 0.1 μ mol/g であった。一方, 遊離 D-Ala は 4 ~ 10 日にわたって約 0.05 μ mol/g ($\approx$ 0.4 mg/100 g) であった²³⁾。さらに, Ogawa らは発芽エンドウ中に D-アミノ酸アミノトランスフェラーゼ²⁹⁾ が存在することを明らかにした。これは, D-Ala が Ala 以外の D 型アミノ酸 (例えば D-Asp など) とピルビン酸から生成する可能性を示している。また, Ono らはアルファルファー芽生えから, Ala ラセマーゼを精製した³⁰⁾。これは, D-Ala が L-Ala

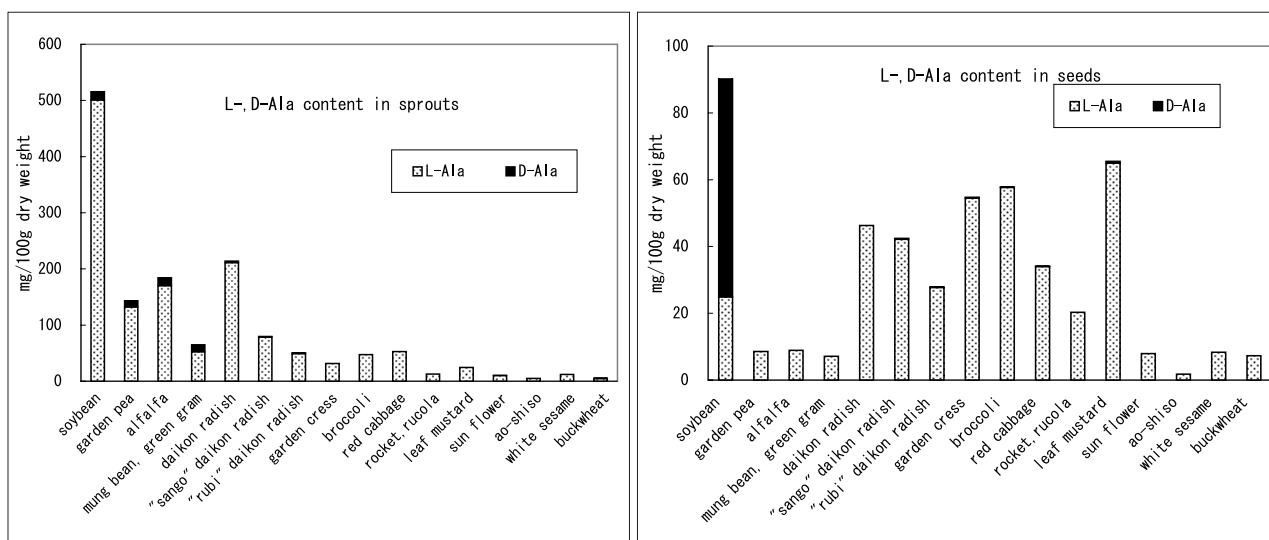


Fig. 2. L-, D-Ala content in sprouts and seeds

L- and D-Ala were assayed as L-FDLA derivatives with HPLC. Chromatographic conditions are described in Fig. 1.

から生成する可能性を示している。しかし、これら植物が芽生え過程において D-Ala を生成する意義は明らかにされていない。本実験でみられたように、D-Ala がマメ科のスプラウトおよびダイズ種子に多いことの理由は不明である。しかし、近年植物および水産動物中の Ala ラセマーゼおよび Asp ラセマーゼが次々と精製されており³¹⁻³⁴⁾、植物や海産動物にとって、D-アミノ酸が生理的な物質であると考えられる。

哺乳動物は D-アミノ酸オキシダーゼ [EC.1.4.3.3.]²⁸⁾ および D-Asp オキシダーゼ [EC.1.4.3.1.]³⁵⁾ を高活性に有している。前者は腎臓で特に活性が高く、反応速度はアミノ酸によって異なり D-Ala は速い。後者はラットの腎および肝に存在し、酸性アミノ酸を基質とする。これらオキシダーゼによる反応速度の速い D-アミノ酸は、体内で速やかに対応する α ケト酸となるであろう。反応速度の遅い、或いは基質とならない D-アミノ酸は尿中に排泄される³⁶⁾。ヒトが摂取した D-Ala は速やかに脱アミノ化を受けてピルビン酸となると考えられる。

本研究では日常摂食する可能性のあるスプラウト中の遊離型 D-Ala を定量した。マメ科（ダイズ、エンドウ、ムサキウマゴヤシ、ヤエナリ）のスプラウトは、他のアブラナ科、キク科、シソ科、ゴマ科、タデ科のスプラウトより多くの D-Ala を含有していた（0.5mg/100g 湿重量以上）。アブラナ科のダイコン、タデ科のソバのスプラウトにも少量存在した（0.1mg/100g 湿重量）。それ以外は僅か（0.01mg/100g 湿重量）あるいは検出限界以下であった。種子中には、ダイズを除いて殆んど遊離型 D-Ala を含有していなかった。マメ科植物が発芽とともに D-Ala を生成していることが示唆された。また、ダイズが種子の段階から D-Ala を含有していることは興味あることである。

文 献

- Katz, S.H., Hekiger, M.L., Valleroy, L.A.: Traditional Maize Processing Techniques in the New World. *Science*, **184**, 765-773 (1974)
- Hayase, F., Kato, H., Fujimaki, M.: Racemization of amino acid residues in proteins and poly (L-amino acids) during roasting. *J Agric Food Chem*, **23**, 491-494 (1975)
- Liardon, R., Hurrell, R.F.: Amino acid racemization in heated and alkali-treated proteins. *J Agric Food Chem*, **31**, 432-437 (1983)
- Tovar, L.R., Schwass, D.E.: D-amino acids in processed proteins: their nutritional consequences. A.C.S. *Symposium Series*, **243**, 169-185 (1983)
- Man, E.H., Bada, J.L.: Dietary D-amino acids. *Annu Rev Nutr*, **7**, 209-225 (1987)
- Petrucelli, L., Fisher, G.H.: D-aspartate and D-glutamate in microwaved versus conventionally heated milk. *J Am Coll Nutr*, **13**, 209-210 (1994)
- Bruckner, H., Hausch, M.: Gas chromatographic detection of D-amino acids as common constituents of fermented foods. *Chromatographia*, **28**, 487-492 (1989)
- Bruckner, H., Hausch, M.: D-Amino acids as ubiquitous constituents in fermented foods., Amino acids-Chemistry, Biology and Medicine, (Lubec, G., Rosenthal, G.A. ed.), p1172-1182, ESCOM Science Publishers, Leiden, The Netherlands (1990)
- Gandolfi, I., Palla, G., Delprato, L., De Nisco, F., Marchelli, R., Silvadori, C.: D-amino acids in milk as related to heat treatments and bacterial activity. *J Food Science*, **57**, 377-379 (1992)
- Rundlett, K.L., Armstrong, D.W.: Evaluation of free D-glutamate in processed foods. *Chirality*, **6**, 277-282 (1994)
- 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**, 193-194 (1995)
- Patzold, R., Bruckner, H.: Gas chromatographic determination and mechanism of formation of D-amino acids occurring in fermented and roasted cocoa beans, cocoa powder, chocolate and cocoa shell. *Amino Acids*, **31**, 63-72 (2006)
- Bruckner, H., Westhauser, T.: Chromatographic determination of D-amino acids as native constituents of vegetables and fruits. *Chromatographia*, **39**, 419-426 (1994)
- Bruckner, H., Langer, M., Lupke, 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 Chromatography A*, **697**, 229-245 (1995)
- Simo, C., Martin-Alvarez, P.J., Barbas, C., Cifuentes, A.: Application of stepwise discriminant analysis to classify commercial orange juices using chiral micellar electrokinetic chromatography-laser induced fluorescence data of amino acids. *Electrophoresis*, **25**, 2885-2891 (2004)
- Patzold, R., Bruckner, H.: Mass spectrometric detection and formation of D-amino acids in processed plant saps, syrups, and fruit juice concentrates. *J Agric Food Chem*, **53**, 9722-9729 (2005)
- Felbeck, H., Wiley, S.: Free D-amino acids in the tissues of merine bivalves. *Biol Bull*, **173**, 252-259 (1987)
- Rubio-Barroso, S., Santos-Delgado, M.J., Martin-Olivar, C., Polo-Diez, L.M.: Indirect chiral HPLC determination and fluorimetric detection of D-amino acids in milk and oyster samples. *J Dairy Sci*, **89**, 82-89 (2006)
- Rosa, N., Neish, A.C.: Formation and occurrence of N-malonylphenylalanine and related compounds in plants. *Can J Biochem*, **46**, 799-806 (1968)
- Aldag, R.W., Young, J.L., Yamamoto, M.: An enzymatic chromatographic procedure for the determination of D-amino acids in plant and soil extracts. *Phytochemistry*, **10**, 267-274 (1971)
- Bruckner, H., Westhauser, T.: Chromatographic determination of L- and D-amino acids in plants. *Amino Acids*, **24**, 43-55 (2003)
- Fukuda, M., Ogawa, T., Sasaoka, K.: Optical configuration of -glutamylalanine in pea seedlings. *Biochim Biophys Acta*, **304**, 363-366 (1973)
- Fukuda, M., Tokumura, A., Ogawa, T., Sasaoka, K.: D-Alanine in germinating Pisum sativum seedlings. *Phytochemistry*, **12**, 2593-2595 (1973)
- Ogawa, T., Fukuda, M., Sasaoka, K.: Occurrence of N-

- malonyl-D-alanine in pea seedlings. *Biochim Biophys Acta*, **297**, 60-69 (1973)
- 25) 小川 正, 佐々岡 啓: 天然における D-アミノ酸—植物性食品素材を中心として. *化学と生物*, **14**, 610-616 (1976)
 - 26) Pollegioni, L., Piubelli, L., Sacchi, S., Pilone, M.S., Molla, G.: Physiological functions of D-amino acid oxidases: from yeast to humans. Review. *Cell Mol Life Sci*, **64**, 1373-1394 (2007)
 - 27) 徳久幸子: 哺乳類における D-アミノ酸の生理機能. 総説. *女子栄養大学紀要*, **38**, 7-14 (2007)
 - 28) 西川 徹, 本間 浩他: 特集: D-アミノ酸制御システムのニューバイオロジー: Frontier Science in amino acid and Protein Research. *生化学*, **80**, 267-351
 - 29) Ogawa, T., Fukuda, M., Sasaoka, K.: Occurrence of D-amino acid aminotransferase in pea seedlings. *Biochem Biophys Res Commun*, **52**, 998-1002 (1973)
 - 30) Ono, K., Yanagida, K., Oikawa, T., Ogawa, T., Soda, K.: Alanine racemase of alfalfa seedlings (*Medicago sativa* L.): first evidence for the presence of an amino acid racemase in plants. *Phytochemistry*, **67**, 856-860 (2006)
 - 31) Shibata, K., Shirasuna, K., Motegi, K., Kera, Y., Abe, H., Yamada, R.: Purification and properties of alanine racemase from crayfish *Procambarus clarkii*. *Comp Biochem Physiol B Biochem Mol Biol*, **126**, 599-608 (2000)
 - 32) Nomura, T., Yamamoto, I., Morishita, F., Furukawa, Y., Matsushima, O.: Purification and some properties of alanine racemase from a bivalve mollusc *Corbicula japonica*. *J Exp Zool*, **289**, 1-9 (2001)
 - 33) Abe, H., Yoshikawa, N., Sarower, M.G., Okada, S.: Physiological function and metabolism of free D-alanine in aquatic animals. *Biol Pharm Bull*, **28**, 1571-1577 (2005)
 - 34) Yamada, R.H., Kera, Y., Takahashi, S.: Occurrence and functions of free D-aspartate and its metabolizing enzymes. *Chem Rec*, **6**, 259-266 (2006)
 - 35) D'Aniello, A., Vetere, A., Petrucelli, L.: Further study on the specificity of D-amino acid oxidase and D-aspartate oxidase and time course for complete oxidation of D-amino acids. *Comp Biochem Physiol B*, **105**, 731-734 (1993)
 - 36) 森 真貴子: ラットにおける D型アミノ酸の栄養効果と臓器中 D型アスパラギン酸含量. 女子栄養大学修士論文 (平成 16 年度)