

既存添加物の安全性確保のための規格基準設定に関する研究

研究代表者 穂山浩 国立医薬品食品衛生研究所 食品部長

研究要旨

(1) 既存添加物の成分規格作成の技術的実現性に関する調査

第 9 版食品添加物公定書に未記載の既存添加物の中から、第 10 版公定書の作成に備え検証規格の作成を実施した。既存添加物の中から第 10 版食品添加物公定書収載をめざし、いままでに作成した検証用規格案、関連資料を見直し改正した。また、検証用規格案の妥当性検討の為、裏付け試験を実施した。残された既存添加物については第 5 版自主規格の作成を目指して検討を行った。

(2) 含有成分解析と成分規格試験法の検討

既存添加物名簿に記載されている生コーヒー豆抽出物、ゲンチアナ抽出物、モウソウチク抽出物、カキ色素の品質規格作成のための化学的検討として、製品中の含有成分について精査した。各種カラムクロマトグラフィーによる分離精製を繰り返し、生コーヒー豆抽出物から 19 種の化合物を単離、構造解析し、主検出成分を明らかにした。また DPPH ラジカル消去活性を指標に有効成分について考察した。ゲンチアナ抽出物からは 17 種の化合物を単離、構造解析し、主成分、定性試験、定量分析について提案した。モウソウチク抽出物からは 12 種の化合物を単離、構造解析し、主検出成分について考察した。カキ色素については、縮合型タンニン高分子画分の存在が示唆されたため、製品中の平均分子量について検討した。これら結果に基づき、各添加物製品含有成分について、化学的特徴を考察することができた。

既存添加物等の成分規格試験法を設定あるいは改正するために必要な情報を得る目的で、一般飲食物添加物「チコリ色素」の指標成分の探索、既存添加物「クチナシ青色素」の色素生成メカニズムの解明、未指定添加物「耐酸性カルミン」の主色素成分の化学構造の完全帰属、今後流通が懸念される未指定添加物「耐酸性ラック色素」の主色素成分の合成を行った。

第 8 版食品添加物公定書または日本食品添加物協会「既存添加物自主規格（第 4 版）」に記載されている既存添加物について、成分規格作成を実施した。対象物質は、ムラサキイモ色素・ムラサキヤマイモ色素、クチナシ黄色素、ゴマ油不けん化物、ベニコウジ色素・ベニコウジ黄色素である。結果として、ムラサキイモ色素、クチナシ黄色素、ゴマ油不けん化合物、ベニコウジ黄色素については、本分析法により含有成分の評価が可能であると考えられる。その他については異なる分析法の再検討が必要であると考えられた。

規格試験法が確立されていない既存添加物に対して、¹H-qNMR 法(定量 ¹H-NMR 法)が試験法として適用可能であるか明らかにする目的で研究を行った。すなわち、適用の可能性の有無の判断と、可能性があるものに関しては実際に適用する場合の測定条件の確立を目的とした。「ヤマモモ抽出物」「グルコサミン」「クローブ抽出物」「ベニバナ赤色素」、「ベニバナ黄色素」に関する適用条件を探索した。「ヤマモモ抽出物」中の myricitrin の純度は、

認証標準物質として PHP，仲介物質として HMD を用い，methanol- d_4 中で測定したスペクトルの 6 位または 8 位の水素シグナル面積から測定可能可能であることを示した。「グルコサミン」中の glucosamine の純度は，DSS- d_6 を直接内部標準として用い， D_2O 中で測定したスペクトルの 2 つのアノマーの 2 位の水素シグナル面積の和から測定可能であることを示した。「クローブ抽出物」中の eugenol の定量では，「クローブ抽出物」の acetone- d_6 懸濁液上清に認証標準物質である 1,4-BTMSB- d_4 の DMSO- d_6 溶液を加えて測定し，1,4-BTMSB- d_4 のトリメチルシリル基のシグナルと eugenol の 2 位の H シグナルのシグナル面積を比較することで定量可能であることを確認した。「ベニバナ赤色素」，「ベニバナ黄色素」では，定量用標準品が手に入らないことから，まずそれらの本体である carthamin および safflor yellow 類の個々の化合物の単離精製から行っている。

(3) 天然酸化防止剤の抗酸化活性規格試験法開発に関する研究

各種抗酸化活性測定法の既存添加物の抗酸化力価評価への適用性を検討し，1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) 法に関する複数機関での評価研究を行い，最終的に DPPH 法を標準法の候補として選出した。DPPH 法と酸素ラジカル吸収能 (Oxygen radical absorbance capacity: ORAC) 法との比較を行うとともに，DPPH 法に基づく一般試験法案を作成し，その適用性，ならびに再現性に関する確認を行った。試験の結果より，酸化防止剤中の主要抗酸化成分の基本構造により DPPH 法と ORAC 法に対する応答が異なることが判明した。また，DPPH 法に基づく一般試験法案のトロックス，及び酸化防止剤への適用性，ならびに再現性に問題がないことを確認した。

(4) 日持ち向上剤や増粘剤等の規格試験法の検討

既存添加物の有効成分に関する研究として，「ジャマイカカシア抽出物」の有効成分の新規定量分析法の検討，「クエルセチン」の定量法確立のための検討，粘度測定法に関する検討，「カンゾウ油性抽出物」の抗酸化成分の分離，解析及び単離・同定に関する研究，「カワヨモギ抽出物」の有効成分である抗菌活性成分の定量法の開発に関する研究を行った。

(5) 酵素の基原の解析法の確立 既存添加物の基原に由来する遺伝子の塩基配列情報を指標にして，国際塩基配列データベースとの照合結果から種を同定あるいは推定する方法について検討した。既存添加物酵素 67 品目の微生物由来の基原について，指標となる遺伝子が国際塩基配列データベースに登録されているかどうか調査し情報を整理した。また既存添加物酵素「アルギン酸リアーゼ」の生産菌 *Flavobacterium multivorum* について，検討した DNA を指標にした同定法を実施したところ，*Flavibacterium* 属の新種の可能性が高い *Flavobacterium* sp. と推定された。

研究分担者

天倉 吉章 松山大学薬学部 教授
 多田 敦子 国立医薬品食品衛生研究所
 室長
 杉本 直樹 国立医薬品食品衛生研究所
 室長

受田 浩之 高知大学教育研究部自然科学
 系生命環境医学部門 教授
 井之上 浩一 立命館大学薬学部 准教授
 永津 明人 金城学院大学薬学部 教授

研究協力者

上田 要一 日本食品添加物協会 専務理事

森 将人	日本食品添加物協会 常務理事
佐藤 恭子	国立医薬品食品衛生研究所 部長
建部 千絵	国立医薬品食品衛生研究所 主任研究官
大槻 崇	国立医薬品食品衛生研究所 主任研究官
西崎 雄三	国立医薬品食品衛生研究所 研究員
石附 京子	国立医薬品食品衛生研究所
河崎裕美	国立医薬品食品衛生研究所
加藤智久	国立医薬品食品衛生研究所
松田 諭	国立医薬品食品衛生研究所
好村 守生	松山大学薬学部 講師
杉脇 秀美	松山大学薬学部 嘱託職員
島村 智子	高知大学教育研究部総合科学系生命環境医学部門 准教授
細谷 孝博	静岡県立大学食品栄養科学部 助教
小出 知己	株式会社テクノスルガ・ラボ
卯津羅健作	ナガセケムテックス株式会社

A. 研究目的

既存添加物 365 品目のうち、国の成分規格設定済は約 130 品目にとどまっている。現在検討中の第 9 版公定書には酵素 62 品目を含む 87 品目が新規既存添加物として収載される予定である。しかし依然として約 140 品目の成分規格が未設定である。また自主規格が定められている品目に関しても規格の内容が不十分で信頼性が低いと考えられ、さらに添加物としての有効性と有効成分自体が明確でない品目や流通実態が不明確な品目がある。これは成分分析や基原等の解析において高度な科学的解析手法が必要な場合がある故に規格設定が困難であると考えられる。

本研究では、国の成分規格が設定されていない既存添加物約 140 品目について、流通実

態や今後の成分規格作成の技術的実現性を調査研究し、今後の成分規格作成の優先順序を判断する。また今後の規格設定が可能と考えられる品目については、含有成分の解析と基原確認及び成分規格試験法の検討を進める。また規格試験として、酸化防止剤には抗酸化活性測定法の導入を検討し、酸化防止剤の規格試験法素案を作成する。また苦味料や増粘剤等、複雑な混合物の品目に関しても特性値を指標とした規格試験法の開発を模索する。また第 9 版公定書に収載予定の酵素の基原に関しては、種の同定に至っていない菌種があることから、種の同定を解析する方法を確立する。

B. 研究方法

1. 成分規格未設定の既存添加物の現状整理：

1) 既存添加物の成分規格の整備状況、安全性試験実施状況、国内外規格の有無等の調査

第 9 版食品添加物公定書未収載品について、本年度作成する検証用規格及び自主規格を含め成分規格の整備状況、安全性試験実施状況、国内外規格の有無等を調査した。

2) 10 版公定書に向けた検証用規格の見直し及び裏付け試験

既存添加物 365 品目中、第 8 版食品添加物公定書に収載されている 128 品目、第 9 版食品添加物公定書に収載される予定の 87 品目を除く残りの品目について、昨年度までに作成した成分規格検証用規格案について、一部見直しあるいは裏付け試験を実施した。

3) 既存添加物の第 5 版自主規格に向けた成分規格の検討

検証用とできなかった品目について、成分規格が設定可能なものから自主規格案を作成するとともに、規格設定の根拠となる関連

情報(海外規格を含む各種規格との対比)を調査した。

4) 既存添加物の品目ごとの基原生物の調査

既存添加物名簿収載品目リストの基原・製法・本質に記載されている基原種について、削除、変更又は拡大の必要性の有無を調査した。

2. 含有成分解析と成分規格試験法の検討：

成分規格未設定の品目(生コーヒー豆抽出物、モウソウチク抽出物、クチナシ青色色素、ムラサキイモ色素、チコリ色素、クエルセチン、グルコサミン、ヤマモモ抽出物、生コーヒー豆抽出物、モウソウチク抽出物、ベニバナ赤色素、ベニバナ黄色素)について機器分析を用いて含有成分を解析した。有効成分(指標成分)の標準品設定のため、定量NMR(quantitative NMR: qNMR)を利用した純度検定等を行った。

3.天然酸化防止剤の抗酸化活性規格試験法開発に関する研究：

抗酸化活性測定法は、酸化防止剤の抗酸化活性を測定する方法である。DPPH ラジカル消去率を求め、(±)-6-ヒドロキシ-2,5,7,8-テトラメチルクロマン-2-カルボン酸(トロロックス)等価活性(TEAC)で表した。

4.日持ち向上剤や増粘剤等の規格試験法の検討：

既存添加物カワラヨモギ抽出物流通製品を用い、乾燥減量試験法の開発、LC/UV及びLC/MSによる定量法の開発を行った。qNMRを応用し、カピリン単離標品の正確な純度を求め、また添加物製品についても、カピリン標品を使用しないqNMRによる直接定量を行った。

5.酵素の基原の解析法の確立：

既存添加物アルギン酸リアーゼの生産菌である細菌 *Sphingobacterium multivorum* の 71/58 株から抽出した DNA を鋳型として、16S rDNA

塩基配列解析を行った。DB-BA11.0(株)テクノスルガ・ラボ)や国際塩基配列データベースを用いて相同性解析を行った。

第9版公定書に収載される既存添加物酵素の微生物由来の基原について、「細菌」、「放線菌」、「酵母」、「糸状菌」、「担子菌」の5つの群に分類した。GenBank上の16S rDNAまたはITS1塩基配列情報の登録の有無の確認を行った。

倫理面への配慮

特になし

C・D 研究結果及び考察

1) 既存添加物の成分規格の整備状況、安全性試験実施状況、国内外規格の有無等の調査

第10版食品添加物公定書収載成分規格(案)及び第5版既存添加物自主規格成分規格(案)の整備状況、安全性試験実施状況、国内外の規格の有無について調査を行った。

2) 10版公定書に向けた検証用成分規格の見直し及び裏付け試験

第10版公定書に向けて作成した成分規格検証用の規格案、関連資料を見直し、改正した。また検証用規格案の妥当性検討の為、裏付け試験を実施した。

3) 第5版自主規格案の作成

第9版食品添加物公定書後に残ると考えられる既存添加物から、第10版公定書に向けた検証用規格を作成したものを除き、使用実態の再調査及び第5版自主規格の作成を検討した。

4) 既存添加物の品目ごとの基原生物等の調査

第9版食品添加物公定書未収載品目の基原植物、微生物等で既存添加物名簿収載品目リストの基原・製法・本質に記載されている基原種等について、削除、変更又は拡大の必要性の有無についてアンケート調査を実施した。

2. 含有成分解析と成分規格試験法の検討：

生コーヒー豆抽出物から、19種の化合物 [3-*O*-*trans*-caffeoylquinic acid, 4-*O*-*trans*-caffeoylquinic acid, 5-*O*-*trans*-caffeoylquinic acid (chlorogenic acid), 3-*O*-*trans*-feruloylquinic acid, 4-*O*-*trans*-feruloylquinic acid, 5-*O*-*trans*-feruloylquinic acid, caffeine, 3,4-di-*O*-*trans*-caffeoylquinic acid, 4,5-di-*O*-*trans*-caffeoylquinic acid, *trans*-*p*-coumaroyl-L-tryptophan, 3,5-di-*O*-*trans*-caffeoylquinic acid, ethyl chlorogenate, 3-*O*-*trans*-feruloyl-5-*O*-*trans*-caffeoylquinic acid, *trans*-caffeoyl-L-tryptophan, vanillin, 3-*O*-*trans*-caffeoyl-4-*O*-*trans*-feruloylquinic acid, 4-*O*-*trans*-caffeoyl-5-*O*-*trans*-feruloylquinic acid, *trans*-feruloyl-L-tryptophan, *trans*-caffeoyl-L-tryptophan methyl ester] を単離した。本検討から、主検出成分は caffeine 及び chlorogenic acid であり、また DPPH ラジカル消去活性を指標とした酸化防止能の結果から、有効成分は chlorogenic acid をはじめとするカフェー酸誘導体であることが示唆された。

ゲンチアナ抽出物からは、17 種の化合物 [anofinic acid, 2-methoxyanofinic acid, 5-hydroxymethyl-2-furfural, 2,3-dihydroxybenzoic acid, furan-2-carboxylic acid, loganic acid, gentiopicroside, isovitexin, sweroside, vanillic acid, gentisin, isogentisin, 6'-*O*-glucosylgentiopicroside, gentisin 7-*O*-primeveroside, isogentisin 3-*O*-primeveroside, swertiajaposide D, loganic acid 7-(2'-hydroxy-3'-*O*- β -D-glucopyranosyl)benzoate] を単離し、確認試験として HPLC 及び TLC による定性、定量分析について、gentiopicroside 及び amarogentin を指標成分として分析する方法を提案した。

モウソウチク抽出物からは、11 種の化合物 [5-hydroxymethyl-2-furfural, 4-hydroxybenzoic acid, *p*-coumaric acid, *trans*-ferulic acid, *N,N'*-diferuloylputrescine, arbutin, tachioside, isotachioside, 3,4'-dihydroxypropiofenone 3-*O*-glucoside, koaburaside, lyoniresinol 9'-*O*-glucoside, propiofenone 4'-*O*-primeveroside] を単離し、その構造を明らかにした。また、単離した化合物を標準品として HPLC 分析を行った結果、主成分として *p*-coumaric acid, 3,4'-dihydroxypropiofenone 3-*O*-glucoside, lyoniresinol 9'-*O*-glucoside を検出した一方、本製品中の主成分とされる 2,6-dimethoxy-1,4-benzoquinone はマイナー成分として観察されるのみであった。他の製品を分析し製品間における成分比較を行った結果、3 製品間で共通の成分が観察され、本研究で明らかにした成分が指標成分の候補となり得ることが考察されたが、ピークが検出されない製品もあり、製品間でのばらつきが認められた。また、既存添加物名簿において主成分とされる 2,6-dimethoxy-1,4-benzoquinone は今回の測定条件ではいずれの製品中にもほとんど検出されず、製品の同等性確保のためにも指標成分の提案が示唆された。

カキ色素については、製品の分離精製を繰り返し、HPLC でほぼ 1 ピークのフラクションを得ることができたが、機器分析により構造解析を試みたところ、夾雑物が認められさらなる精製を計画中である。一方、製品には構造不特定の縮合型タンニン類が含まれることが示唆されたことから、高分子領域の分子量について GPC により測定し、重量平均分子量約 20 万であることが明らかとなった。今後これらの構造的特徴についても検討を要する。

一般飲食物添加物「チコリ色素」の指標成分の探索

一般飲食物添加物は一般に飲食される食品等の抽出物であることから安全性に問題がないと考えられ、早急な成分規格設定は必要ないと考えられている。このため、一般飲食物添加物 106 品目のうち 3 品目について規格設定されているのみであり、規格設定が遅れている。そこで、本研究では一般飲食物添加物のうち、「チコリ色素」について、成分規格を設定するための基礎情報を得るために、指標成分となる特有の成分が含有されているかどうか検討した。

LC/MS により、チコリ色素製品中に観察された化合物 1 及び 2 を単離精製し、NMR によりその化学構造を決定した結果、化合物 1 が 5-(hydroxymethyl) furfural、化合物 2 が 4-hydroxyl -2-(hydroxymethyl)-5-methylfuran-3(2H)-one であり、いずれもチコリ色素製品を製造する際、焙煎の過程において糖類が変性し生じたと考えられる化合物であった。これらは、製造過程において焙煎処理を伴う他の添加物においても含有されると予想されることから、チコリ色素の指標成分としては不相当と考えられた。また、チコリ色素に特有な成分であるチコリ酸 (chicoric acid)、加水分解後のカフェ酸を定量分析した結果、加水分解後のカフェ酸の有無がチコリ色素の確認に応用可能と考えられた。

INADEQUATE によるカルミン酸、耐酸性カルミン(4-アミノカルミン酸)の ^{13}C -NMR スペクトルの完全帰属

既存添加物「コチニール色素」は「本品は、エンジムシ(*Dactylopius coccus* Costa (*Coccus cacti* Linnaeus))から得られた、カルミン酸 (carminic acid ($\text{C}_{22}\text{H}_{20}\text{O}_{13}$))を主成分とするものである。」と記載されており、わが国では、

コチニール色素は食品への使用が許可されているが、コチニール色素の主色素成分カルミン酸を原料として化学的処理により構造を改変した色素はすべて化学的合成品扱いとなり、食品への使用は現在認められていない。

耐酸性カルミン(acid-stable carmine)と呼ばれるカルミン酸をアンモニアと反応させて生成したものと考えられる pH に依存せず、酸・アルカリ性条件下でも赤色を保つ色素が 2000 年頃から流通し始めた。この色素は化学的な構造改変を伴うものであり、世界的にも食品への使用は認められていない。このため、2002 年、我々の研究グループは、耐酸性カルミンの主色素の化学構造について検討し、カルミン酸の 4 位の水酸基がアミノ基に置換した 4-アミノカルミン酸 (4-aminocarminic acid)であると報告した。しかし、この報告では、カルミン酸とカルミン酸のアントラキノン部の kermesic acid に類似した構造を持つ purpurin の両者についてアミノ化、次いでメチル化を行い、両者の化学シフトの比較から、耐酸性カルミンの主色素成分が 4-aminocarminic acid であると推定したものであり、完全帰属に至っていない。

そこで本研究では、未指定添加物である耐酸性カルミンの主色素の化学構造が 4-aminocarminic acid であることを完全証明することを目的とした。 ^{13}C - ^{13}C 間の直接結合、すなわち、有機化合物の炭素骨格のつながりを完全に確認することができる INADEQUATE (Incredible Natural Abundance Double QUantum Transfer Experiment)を 4-aminocarminic acid の構造解析に適用した。また、安定同位体 ^{15}N を導入した 4-aminocarminic acid の合成を行い、 $1\text{D-}^1\text{H}$ 、 ^{13}C 、 ^{15}N -NMR 及び 2D-HMQC、HMBC、INADEQUATE の解析結果より、 NH_2 基の置

換位置を特定し、耐酸性カルミンの主色素の化学構造が 4-aminocarminic acid であることの確証を得ることができた。

既存添加物クチナシ青色素の色素生成メカニズムの解明

既存添加物クチナシ青色素は、ゲニピンと一級アミンの反応生成物が主色素成分とされるがその構造は未だ不明である。この主色素成分の生成過程および構造についての知見を得るため、ゲニピンとベンジルアミンを用いたモデル実験を行った。LC/MS により経時的に反応液中の生成物を観察したところ、青色素が生成するまでに前駆体と考えられる黄色の化合物 Y1 及び Y2 が生成することが確認された。化合物 Y1 及び Y2 を分取 HPLC により単離し、NMR 等により構造解析したところ、化合物 Y1 及び Y2 は、ゲニピンが反応液中でジアルデヒド構造に開裂し、ベンジルアミンのアミノ基とカルボニル-アミノ反応を起こした後に閉環したものであった。また、単離した化合物 Y1 及び Y2 を再溶解した溶液を観察したところ、青色に経時的に変化することから、青色素の前駆体であることが確認された。したがって、ゲニピンは、ベンジルアミンの 1 級アミンと反応し閉環した後、黄色素 Y1 とその異性体 Y1' を生成する。次に、1 位の OH 基と 9 位のプロトンが *cis* 配置した異性体 Y1' は、速やかに脱水し黄色素 Y2 となった後、青色素成分へ変化または重合していくと考えられた。次に、生成した青色素成分の混合物より青色素 B1 及び B2 を精製し、その化学構造を LC/TOF-MS 及び NMR により解析した結果、Y2 の 6 位と 10 位が脱水結合して共役二重結合を形成し、更に繰り返し結合した重合物であると推定された。以上のことから、既存添加物クチナシ青色素の青色素成分は、ゲニピ

ンと一級アミンが重合的に反応して生成した化合物であると推定された。

ラック色素のアンモニア処理および構造解析

既存添加物「ラック色素」は、天然由来の着色料であり、コチニール色素と同様にアントラキノン骨格を有する色素を主成分とするが、コチニール色素が carminic acid の 1 成分からなるのに対し、ラック色素は、laccic acid A, B, C, E 等複数の成分から構成される。C-2) で述べたように、carminic acid をアンモニア処理することで、4 位ヒドロキシ基 (-OH) がアミノ基 (-NH₂) に容易に置換され、4-aminocarminic acid が合成される。このような置換反応は、アントラキノン骨格を持つ化合物、laccic acid に対して普遍的に起こりうると想像できる。現時点では、ラック色素をアンモニア処理して合成された、いわゆる耐酸性ラック色素の報告例はないが、今後、流通が確認されたとき、これについても、耐酸性カルミンと同様に未指定添加物となることから、その分析法の確立が望まれる。

そこで本研究では、ラック色素をアンモニア処理し、その色素成分について LC/MS および NMR を用いて解析を行った。ラック色素をアンモニア処理することで、pH に依存しない色調が確認された。LC/MS 分析により、アンモニア処理後のラック色素には、ラック色素の主色素成分 laccic acid A, B, C および E の 4 位ヒドロキシ基 (-OH) がアミノ基 (-NH₂) に置換した 4-aminolaccic acid A, B, C および E が主色素成分として含まれることが示唆された。また、単離精製した laccic acid C をアンモニア処理して得られた化合物について NMR 解析を行ったところ、4-aminolaccic acid C であることが確認された。

ムラサキイモ色素・ムラサキヤマイモ色素

1. HPLC による分離分析

8 版公定法 (515 ~ 535 nm) および 4 版自主規格 (525 ~ 545 nm) に検出波長を設定し、逆相分配モードによる成分分析を実施した。移動相の条件を検討した結果、ギ酸濃度を 1.0% 以上でないとは良好な分離が達成できなかった。また、トリフルオロ酢酸では、0.5% でも十分に良好な分離ができた。そのような結果より、LC-MS への連結を想定して、1.0% ギ酸水溶液/アセトニトリル系を用いることにした。ムラサキイモに関するクロマトグラムは、既報のピークパターンと類似しており、ほぼ良好な分離分析が達成できたと推定される。一方で、ムラサキヤマイモでは、ムラサキイモとは全く異なるピークパターンを示した。本クロマトグラムと比較検討できる研究報告はなく、各成分の比較同定などが必要と考えられる。これらのピークはいずれも 8 版公定法 (515 ~ 535 nm) および 4 版自主規格 (525 ~ 545 nm) の確認試験を示す由来成分である。そのため、これらの比較を行うことで、今後の規格試験へ応用できるものとする。そこで、各成分の LC-MS 分析を行うこととした。

2. LC-MS による同定分析

HPLC の分離条件を利用して、LC-MS による同定分析を実施した。検出波長 513 ~ 535 nm による主な検出は、14 ピーク観察され、いずれも ESI-Positive モード (m/z 200 ~ 2000) でマススペクトルを得ることができた。また、いずれも既報とのピークパターン、質量数 (理論値)、フラグメントイオンより、同定することが可能であった。ピーク 1 は、 $[M+H]^+$ m/z 773.212 (理論値: m/z 773.2135, $C_{33}H_{41}O_{21}$) となり、MS/MS では、 m/z 611, 499, 287 が検出され、cyanidin 3-sophoroside-5-glucoside と同定できた。ピーク 2 は、 $[M+H]^+$ m/z 787.229 (理論値:

m/z 787.2291, $C_{34}H_{43}O_{21}$) となり、MS/MS では、 m/z 625, 436, 301 が検出され、peonidin 3-sophoroside-5-glucoside と同定できた。ピーク 3 は、 $[M+H]^+$ m/z 893.234 (理論値: m/z 893.2346, $C_{40}H_{45}O_{23}$) となり、MS/MS では、 m/z 731, 449, 287 が検出され、cyanidin 3-p-hydroxybenzoylsophoroside-5-glucoside と同定できた。ピーク 4 は、 $[M+H]^+$ m/z 935.244 (理論値: m/z 935.2452, $C_{42}H_{47}O_{24}$) となり、MS/MS では、 m/z 773, 449, 287 が検出され、cyanidin 3-(6"-caffeoylsophoroside)-5-glucoside と同定できた。ピーク 5 は、 $[M+H]^+$ m/z 907.249 (理論値: m/z 907.2503, $C_{41}H_{47}O_{23}$) となり、MS/MS では、 m/z 745, 463, 301 が検出され、peonidin 3-p-hydroxybenzoylsophoroside-5-glucoside と同定できた。ピーク 6 は、 $[M+H]^+$ m/z 949.260 (理論値: m/z 949.2608, $C_{43}H_{49}O_{24}$) となり、MS/MS では、 m/z 787, 463, 301 が検出され、peonidin 3-(6'''-caffeoylsophoroside)-5-glucoside と同定できた。ピーク 7 は、 $[M+H]^+$ m/z 949.260 (理論値: m/z 949.2608, $C_{43}H_{49}O_{24}$) となり、MS/MS では、 m/z 787, 449, 287 が検出され、cyanidin 3-ferulylsophoroside-5-glucoside と同定できた。ピーク 8 は、 $[M+H]^+$ m/z 963.275 (理論値: m/z 963.2765, $C_{44}H_{51}O_{24}$) となり、MS/MS では、 m/z 801, 463, 301 が検出され、peonidin 3-ferulylsophoroside-5-glucoside と同定できた。ピーク 9 は、 $[M+H]^+$ m/z 933.264 (理論値: m/z 933.2659, $C_{43}H_{49}O_{23}$) となり、MS/MS では、 m/z 771, 433, 271 が検出され、pelargonidin 3-ferulylsophoroside-5-glucoside と同定できた。ピーク 10 は、 $[M+H]^+$ m/z 1097.275

(理論値: m/z 1097.2769, $C_{51}H_{53}O_{27}$) となり, MS/MS では, m/z 935, 499, 287 が検出され, cyanidin

3-(6",6"-dicaffeoylsophoroside)-5-glucoside と同定できた. ピーク 11 は, $[M+H]^+$ m/z 949.260 (理論値: m/z 949.2608, $C_{43}H_{49}O_{24}$) となり, MS/MS では, m/z 787, 463, 301 が検出され, peonidin

3-caffeoylsophoroside-5-glucoside と同定できた. ピーク 12 は, $[M+H]^+$ m/z 1111.290 (理論値: m/z 1111.2925, $C_{52}H_{55}O_{27}$) となり, MS/MS では, m/z 949, 463, 301 が検出され, peonidin

3-dicaffeoylsophoroside-5-glucoside と同定できた. ピーク 13 は, $[M+H]^+$ m/z 1125.306 (理論値: m/z 1125.3082, $C_{53}H_{57}O_{27}$) となり, MS/MS では, m/z 963, 463, 301 が検出され, peonidin

3-caffeoyl-feruloylsophoroside-5-glucoside と同定できた. ピーク 14 は, $[M+H]^+$ m/z 1095.297 (理論値: m/z 1095.2976, $C_{52}H_{55}O_{26}$) となり, MS/MS では, m/z 933, 583, 433 が検出され, pelargonidin

3-caffeoyl-p-coumaroylsophoroside-5-glucoside と同定できた.

一方で, ムラサキヤマモの LC-MS クロマトグラムより, 検出波長 523 ~ 545 nm における主な検出は, 8 ピーク観察され, いずれも ESI-Positive モード (m/z 200 ~ 2000) でマススペクトルを得ることができた. しかしながら, ムラサキイモのような報告例がなく, 同定することはできなかった. しかしながら, いずれの MS スペクトルは良好に取得することができ, 今後, 本ピークを同定することが必要と思われる.

本研究では, 8 版公定法および 4 版自主規格にて, ムラサキイモおよびムラサキヤマモの区別は不可能であったため, HPLC によ

るクロマトグラムパターンを比較した. その結果, 最大吸収波長 (ムラサキイモ: 515 ~ 535 nm, ムラサキヤマモ: 525 ~ 545 nm) によるピークが全く異なっていた. つまり, 各規格基準に準じるが, その由来成分は全く異なることが分かった. ゆえに, 各ピークの成分を同定し, 新たな規格基準指標をタンクする必要がある. そのため, LC-MS によって, 各ピークの同定を実施することとした. Table 1 にムラサキイモ色素の吸収極大波長および同定された物質名をまとめた. いずれも報告されている既知の物質であり, いずれも有効な指標物質になりえると考えられる. 一方で, ムラサキヤマモに関しては, いずれも良好な MS スペクトルを取得することができたが, 各ピークから物質を同定することができなかった. 今後の比較検討で各成分の同定は重要な情報となるため, 早急に NMR などを利用して, 確認する必要がある.

クチナシ黄色素

1. HPLC によるクロシン, クロセチンおよびゲニボシドの一斉分析

8 版公定法により, 評価したクロシン, クロセチンおよびゲニボシドの一斉分析法を検討した. A694 からは, 各種クロシンの異性体が検出され, 一部にクロセチンも確認された. 一方で, A694 のアルカリ加水分解および A12 では, クロセチンのみが観察された. Fig. 2-[A] に示す主な 3 つのピークは, *trans*-crocetin di(\square -D-gentiobiosyl) ester (ピーク 1; 最大吸収波長: 442 nm, 保持時間: 7.8 min), *trans*-crocetin \square -D-gentiobiosyl ester (ピーク 2; 最大吸収波長: 434 nm, 保持時間: 11.2 min) および *cis*-crocetin di(\square -D-gentiobiosyl) ester (ピーク 3; 最大吸収波長: 442 nm, 保持時間 11.7 min) であった. それらの TOF/MS ス

ペクトルでは、ピーク 1 は、 m/z 999.283 $[M+Na]^+$ 、ピーク 2 は、 m/z 837.522 $[M+Na]^+$ 、そして、ピーク 3 は、 m/z 999.282 $[M+Na]^+$ が検出され、いずれも既報を参考として確認できた。アルカリ加水分解およびクチナシ黄色素 A12 製品におけるクロマトグラムでは、主に 2 つのピーク 4 および 5 が検出された。それらの 2 つのピークは、*trans* および *cis*-crocetinins (ピーク 4; 最大吸収波長: 422 nm, 保持時間: 14.4 min) および (ピーク 5; 最大吸収波長: 422 nm, 保持時間: 15.9 min) であった。本ピークは、いずれも TOF/MS において、 m/z 329.441 $[M+H]^+$ が検出されている。

同一条件において、ゲニポシドおよびその分解物であるゲニピン (m/z 226.929, $[M+H]^+$) も測定することができた。

本手法を用いて、8 版公定法で用いるアルカリ加水分解の条件検討を実施した。0.02 mol/L 水酸化ナトリウム溶液 (50°C) において、クチナシ黄色素 A694 を用いて、加水分解した結果、ピーク 1 (保持時間: 7.8 min) および 4 (保持時間: 14.4 min) の経時変化を示すことができた。その結果、クロシンは、5 分程度で加水分解され、クロシンは、20~30 分程度で一定量を示すことが分かった。その一方で、不純物質であるゲニポシドは、120 分程度の経時により、ゲニピンへ分解することも判明した。

2. クロセチンの単離精製

クロセチンを指標としたクチナシ黄色素の定量評価を行うため、アルカリ分解試料より、クロセチンの単離精製を行った。まずは、固相抽出法により抽出を行った。クチナシ黄色素製剤 0.1 g から、加水分解および固相抽出による濃縮精製により、得られた成分 8.4 mg を HSCCC に注入することとした。また、同時に HSCCC の 2 相溶媒系を検討するこ

ととした結果、ヘキサン/酢酸エチル/メタノール/0.1% ギ酸水溶液 (7/3/5/5) を最適として利用することとした。本条件により、固定相の保持率は 88% となり、単離精製には、8 時間を費やした。クロマトグラムより、Fraction A および B をそれぞれ 2.0 および 1.2 mg 得ることができた。Fraction A を HPLC で測定した結果、クロセチン標準試料として利用できる成分が単離できた。しかしながら、*trans* 型クロセチンに対して、*cis* 型が 15% の割合で、異性化反応が生じることが分かった。いずれも HPLC で単離精製を行っても同様の反応(変換効率)が起こり、常に 15% 程度の混合物となってしまった。しかしながら、他の不純物なども観察されず、安定なクロマトグラムを示したため、本試料を指標として、クチナシ黄色素の定量評価に用いることとした。

3. クロセチン指標によるクチナシ黄色素の定量評価

2 で開発した HPLC 法を用いて、3 で得た標準試料により、検量線を作成した結果、*trans* 型クロセチンにおいて、 $y=549.7x + 7374.6$ (相関係数 $r^2=0.998$) の検量線を得ることができた。本検量線を利用して、アルカリ分解後のクロセチン含有量は、A694 では 67.6%、A12 では 45.5% およびサフラン色素では 42.3% となった。

本研究では、8 版公定法を基盤に国内で流通するクチナシ黄色素 2 製品およびサフラン色素 1 製品の評価および新たな HPLC による一斉分析法の検討を実施し、試験法の妥当性および新たな問題点を検証した。8 版公定法に基づく評価では、サフラン色素とクチナシ黄色素を区別することが不可能であった。

そこで、HPLC によるクロシン、クロセチンおよびゲニポシドの一斉分析法を開発し、

アルカリ加水分解前後の評価を行った。逆相系グラジエントモードおよびDAD検出法を利用することで、各成分の分離分析が達成できた。本試験法を用いて、クチナシ黄色素A694製品を分析した結果、様々なクロシン異性体が検出された。そのため、クロシン異性体を用いたクチナシ黄色素の指標とすることは、複数存在するため困難であると判断した。そこで、アルカリ分解後のA694およびA12製品を測定した結果、ほぼ同様のクロマトグラムを得ることができ、*trans*型クロセチンが最も有効に検出することができ、本化合物を指標とすることとした。そこで、HSCCCによる*trans*型クロセチンの単離精製を試みた。その結果、Fraction Aとして、*trans*型クロセチンを得ることができた。しかしながら、*trans*型クロセチンは、容易に*cis*型へ15%程度変換してしまうことが判明した。その一方で、HSCCCを利用することで、他の不純物質なども含まず、*trans*型85%純度で定量を行うこととした。その結果、アルカリ分解後のクロセチン含有量は、A694では67.6%、A12では45.5%およびサフラン色素では42.3%となった。いずれにおいても、殆どその差は、見出すことができなかった。つまり、アルカリ分解の製剤に存在するクロセチン含量だけでは、クチナシ黄色素とサフラン色素を識別することが不可能であった。

また、ゲニポシドにおいては、クチナシ黄色素から僅かであるが検出することができた。その一方で、アルカリ加水分解すると、ゲニポシドのピークは減少し、新たにゲニピンのピークが検出された。つまり、加水分解過程において、ゲニポシドは、ゲニピンに変化することが判明した。ゲニピンは、アポトーシスの誘導や免疫系への影響など薬理活性を有しており、安全性からもモニタリング

が必要な物質である。8版公定法では、不純物質として、ゲニポシドのみ規格となっている。その一方で、加水分解処理されているクチナシ黄色素製品では、ゲニポシドが適合(0.5%以下)であったとしても、そのすべてもしくは一部がゲニピンに分解されている可能性が予想される。しかし、現在の8版公定法では、その点について、判断することはできない。今後、ゲニピンを含めた不純物質試験が要求されるものと思われる。本研究より、以下の新たな問題点および提案ができると思われる。

ゴマ油不けん化物

ゴマ油不けん化物中のセサモール、セサミン、セサモリンの紫外可視吸光光度における極大吸収波長を調べた。いずれも、290 nm付近で吸収極大波長(セサモール $\lambda_{\max} = 296$ nm, セサミン $\lambda_{\max} = 286$ nm, セサモリン $\lambda_{\max} = 289$ nm)が観察され、定量などの評価に用いることとした。本設定波長により、逆相系LCの各種パラメータを用いて、条件検討を実施した。その結果、セサモールのシンメトリー係数は僅かに低値を示し、他の値は殆ど同等であった。いずれも、15分以内に良好なピークを得ることができた。そのため、移動相には汎用性を考慮して、0.1%ギ酸水/アセトニトリル混合液を用いることとした。本最適条件において、検出限界(LOD)および定量限界(LOQ)は、セサモール(LOD:0.04 ppm, LOQ:0.15 ppm)、セサミン(LOD:0.02 ppm, LOQ:0.08 ppm)およびセサモリン(LOD:0.04 ppm, LOQ:0.15 ppm)となった。各検量線においても、LOQ~5 ppmの範囲において、相関係数(r)0.999以上を示した。本手法を用いて、ゴマ油不けん化物の50倍希釈(希釈溶媒:アセトニトリル/メタノール, 50/50)のクロマトグラムをFig. 4に示す。その際の定量値は、

セサモール：不検出（7.5 mg/kg 以下），セサミン（12.8 g/kg）およびセサモリン（9.4 g/kg）となった。本結果は，既報にあるゴマ油中の濃度よりも高含有存在していることが判明した。

本分析法は，逆相系 LC を用いているため，直接 MS に導入することも可能である。MS によるスペクトル情報があることで，飛躍的に同定能が向上する。そのため，本研究では，ESI-ポジティブモードを採用して，スペクトル解析を実施した。LC/MS には，逆相系 LC 条件をそのまま利用した。ESI-ポジティブモードにおいて，セサモール m/z 139，セサミン m/z 337 およびセサモリン m/z 233 が最も強度が高く検出された。それらをプレカーサーイオンとして採用し，プロダクトイオンスキャンにより，MS スペクトルを得た。いずれも，特異的なスペクトルを得ることができ，化合物同定に有益な情報を得ることができた。本手法を用いて，実際に検出されたゴマ油不けん化物からのピーク同定を試みた。その結果，標準溶液と同じスペクトルが検出され，確実な化合物の同定が達成できた。本結果より，順相系 LC では実施することができなかった MS による情報も同時に入手できる逆相系 LC の構築が達成できたものと判断できる。

LC 法を用いて，セサミンおよびセサモリンの HSCCC 用 2 相溶媒の分配係数および分離度の検討を行った。セサミンの分配係数 0.84 ± 0.18 およびセサモリンの分配係数 1.36 ± 0.34 であり，分離度 1.61 ± 0.05 の条件，ヘキサン/酢酸エチル/メタノール/水 (7:3:7:3, V/V/V/V) を採用することとした。

HSCCC クロマトグラムより，Fraction A および Fraction B を単離精製することができた。いずれも，絶対検量線法により定量した結果，Fraction A において，7.37 mg およ

び Fraction B において，5.17 mg となった。また，MS/MS スペクトルにより，Fraction A および Fraction B は，セサミンおよびセサモリンであると同定できた。本試料を LC-フォトダイオードアレー分析（検出波長 200-400 nm）した結果，それぞれの純度が 99%以上となり，良好に単離精製できたものと考えられる。

本研究では，ゴマ油不けん化物の新たな確認試験法の基礎的な検討を実施した。試験法としては，逆相系 LC により，検出波長を 290 nm に設定して，セサモール，セサミンおよびセサモリンを分析するものである。本結果より，いずれもゴマ油不けん化物からの測定が可能であり，定量も達成できた。また，確実な同定を目指して直接 MS 分析することもでき，有効な MS スペクトルを得ることができた。以上より，今後は本手法と自主規格案を比較する必要もあり，様々な流通品や製品にも汎用できることを示す必要がある。

また，HSCCC によるセサミンおよびセサモリンの効率的な単離精製法の検討を行った。今回，HSCCC を用いて，ゴマ油不けん化物からセサミンおよびセサモリンを単離精製するため，2 相溶媒系の比較した結果，ヘキサン/酢酸エチル/メタノール/水 (7:3:7:3, V/V/V/V) が最適であるとの判断になった。本溶媒系を用いて，HSCCC による分離を行った結果，主に 2 つの Fraction を得ることができ，LC 分析の結果，Fraction A においてセサミン，Fraction B においてセサモリンが高純度（LC 評価：99%以上）の標準品を得ることができた。いずれも，セミ分取スケールで 1 回の操作で，数 mg から数十 mg 程度は同時に単離精製できることが判明した。しかしながら，ゴマ油不けん化物含有濃度が低いため，今回では，数 mg 程度の単離精製となった。

本標準試料は、ゴマ油不けん化物の確認試験のみならず、様々なゴマ油由来の製品に関する定量評価へ応用できるものと思われる。また、定量 NMR/LC 分析法との組み合わせにより、今後は、モル吸光度係数比による定量評価へ応用できるものと考えている。

ベニコウジ色素・ベニコウジ黄色素

ベニコウジ色素およびベニコウジ黄色素は、いずれも国内で流通している試料を用いた。

次に、HPLC による分離分析を実施した。規格における色価では、ベニコウジ色素で波長 480~520 nm、ベニコウジ黄色素では、458~468 nm とされている。そこで、各モニタリングをいずれも規格基準内波長である 500 nm(ベニコウジ色素)および 460 nm(ベニコウジ黄色素)を含むフォトダイオードアレーにて検出した。ベニコウジ色素は、各検体により、全く異なるクロマトグラムパターンを示し、いずれも培養技術やベニコウジカビの種類などが異なり、得られている成分が異なることが疑われた。また、種別により HPLC による分離分析は非常に困難であるとも判断された。そのなかでも、試料 119 において、比較的明確な 4 つピークが観察された。それぞれの吸光光度スペクトルを測定した結果、いずれも 500 nm 付近に吸収極大波長をもつため、いずれもベニコウジ色素の成分であることが判明した。一方で、ベニコウジ黄色素は、明確な 2 つのピークが観察され、いずれも色素成分である可能性が示唆された。それらの吸光光度スペクトルにおいても、吸収極大波長が 400 nm 付近であり、ベニコウジ黄色の色素成分であることが示唆された。

HPLC 法では、ベニコウジ色素の成分などが固定相カラムに吸着してしまい、良好な分

離分析達成できなかつたと推定される。また、ベニコウジ黄色素も同様に吸着成分が存在している可能性も否定できない。そこで、吸着などの影響を受けず、回収率が 100% の分離手法である高速向流クロマトグラフィー (HSCCC) を用いて、成分解析を実施することとした。HSCCC による分離検討を実施するためには、2 相溶媒系を決定しなければならない。そこで、ベニコウジ色素では、試料 119 のクロマトグラムで示される 4 ピーク (A~D) を用いて、分配係数を算出し、2 相溶媒を検討した。また、ベニコウジ黄色素では、明確に検出されている 2 ピークを用いて実施した。いずれも、分配係数 0.2~1.5 の間であり、分離度も 1.0 以上のものを選択し、各分離の 2 相溶媒として決定した。

2 相溶媒系の検討条件を用いて、HSCCC の分離分析を実施した。ベニコウジ色素については、主な色素成分(赤色素)が、ソルベント付近に検出され、色彩より主成分である可能性が示された(色彩成分 X)。また、その後、色彩のある成分が溶出し、それをまとめて獲得した(色彩成分 Y)。色彩成分 X および Y を HPLC で分析した結果、色彩成分 X では、試料 119 のクロマトグラムで観察されたピーク A および B が検出されているが、明らかに大きなブロードの溶出成分が存在し、良好に評価できないことが判明した。また、色彩成分 Y では、試料 119 で観察されたピーク C および D が観察された。一方で、ベニコウジ黄色素は、我々の既報において、良好に各成分を単離精製することができた。各成分を $^1\text{H-NMR}$ および LC-MS/MS (エレクトロスプレーイオン化法、ポジティブモードを採用した)を用いて、解析した結果、Fraction A が、キサントモナシン A および Fraction B がキサントモナシン B であることが判明した。

本研究では、ベニコウジカビ (*Monascus purpureus*) から生成されるベニコウジ色素およびベニコウジ黄色素について、成分規格に伴う解析を実施した。ベニコウジカビは、育成する培地条件により様々な色彩成分を生成することや抽出条件により成分が異なることなどが報告されているため、国内流通品に関して、成分規格を定める必要性がある。そこで、一般的に入手可能なベニコウジ色素およびベニコウジ黄色素の解析することとした。第8版食品添加物公定書および4版自主規格の確認試験では、主に色彩を評価するものであり、流通品ではすべて規格内であった。それらの製品を用いて、HPLCによる色彩成分の評価を実施した。その結果、ベニコウジ色素の製品間において異なるクロマトグラムパターンを示し、色彩成分の違いなどが示唆された。そのうえ、様々な分離条件を検討したが、すべてに対して、良好なピーク分離が得られず、HPLCによる評価は難しいことが判明した。一方で、ベニコウジ黄色素では、明確な2本のピークが観察された。しかしながら、それ自体が色彩の主成分とは断定することは難しく、色彩成分の回収率が100%であるHSCCCによる分離評価が必要であることが分かった。HSCCCでは、分配係数を算出しなければならず、ベニコウジ色素(ピークA~D)およびベニコウジ黄色素(ピークE, F)のHPLC分析によるピークを基準に2相溶媒系を決定した。その結果、HSCCCの評価により、ベニコウジ色素において、色彩成分はフロント付近に大きく検出され、分配係数から想定される色彩ピークは後ろに溶出してきた。しかしながら、それをHPLCにより評価した結果、主な色彩成分のピークを定めることができなかった。一方で、ベニコウジ黄色素は、HSCCCにより、良好に単離精製することでき、それぞれをキサン

トモナシン A およびキサントモナシン B と同定することができた。

「ヤマモモ抽出物」中の myricitrin の定量

今回、2ロットの試料についての測定を行った。積分値をとったシグナルごとで多少のばらつきが見られ、また、2試料で共通して大きめの値が算出されるシグナルと小さめの値が算出されるシグナルがあるという特徴も示唆された。YM 4は85%程度、YM 7は87%程度の純度であることがわかった。「ヤマモモ抽出物」においては、観測されたシグナルを精査すると、ベースライン上にも雑音が少なく、比較的シャープなシグナルとして観測される myricitrin の6位、8位のシグナルの積分値を定量時の算出に用いるのが好適ではないかと考えられる。今後、今回の各シグナル間での定量値の違いが、常にこの傾向であるのか否か、それぞれのシグナルの積分値のばらつきを、同じ試料の繰り返し測定で見極めるとともに、多種の試料の測定でも確認する必要があると思われる。

「グルコサミン」中の glucosamine の定量

内部標準の認証標準物質 DSS-*d*₆ のシグナルは他のシグナルが全くない0 ppm 付近に現れ、定量に用いた2つの配座異性体の2位Hのシグナル面積の合計で問題なく測定ができることを確認した。これらを用いて入手した5種類の市場品の「グルコサミン」中の glucosamine の定量をおこない、その結果を Table 3 に示した。表示に「グルコサミン」と書かれたものに関しては、glucosamine の分子量(C₆H₁₃NO₅, MW: 179)で、塩酸塩とか書かれていたものは塩酸塩としての分子量(C₆H₁₃NO₅ · HCl, MW: 215.5)と合せて含有率を算出した。いずれの試料も glucosamine としての含有率は80%程度であった。塩酸塩に関しては、塩の分子量で計算すると95%以上という数字となった。「グルコサミン」におい

ては、得られたスペクトルを精査すると、1位の水素のシグナルのうちβアノマーの1位と帰属される水素(δ4.82 ppm)がD₂Oの残留水素のシグナルの裾に若干重なっている可能性が観察された。このため、2位の水素シグナル(δ2.89 ppmとδ3.18 ppm)の面積の和を純度算出に用いた方がよいと考えられる。「グルコサミン」中のglucosamineとしての含有率は80%程度であったが、塩酸塩とするとその純度は95%以上と非常に高いものになる。塩酸塩の表記がなかった製品に関して、塩酸塩として計算すれば95~99%という純度になることから、これらも全て塩酸塩として流通しているものと推定される。

この条件でのglucosamineでの定量は極めて簡便である。Glucosamineは紫外吸収を持たない分子であるためにHPLCでUV検出器での検出が困難で、HPLCを用いた分析をするには誘導体化か、検出の安定化に手間のかかる示差屈折計を用いる必要がある。この「グルコサミン」のglucosamine純度の測定に関しては¹H-qNMR法が極めて有利な方法と考えられる。ところで、水という表面張力の強い溶媒を用いるため、細いNMR試料管に測定溶液を注入するときには、多少のコツが必要である。

「クローブ抽出物」中のeugenolの定量

まず、「クローブ抽出物」のacetone-*d*₆中でのスペクトルにおいてeugenolの6位Hの位置(δ6.33 ppm)には他のシグナルは観測されなかった。また、内部標準をDMSO-*d*₆溶液として加えて測定してもeugenolの6位Hシグナルは独立しており、「クローブ抽出物」のスペクトルにおいても他の夾雑物のシグナルとの重なりも観測できなかった。検量線を作製した結果、少なくとも0.5~20 mg/mLの間では極めて高い直線性が示された。

試料中のeugenolの含有量の測定では、まず、eugenol標準品の純度を測定したところ92%程度であった。「クローブ抽出物」に関しては、いずれもeugenolの含有率が30%程度だった。次に、HPLCでの定量では、今回の条件でeugenolが280 nmにおいて良好なピークとして検出できることを確認した。

¹H-qNMR法を用いて求められた純度をもとにeugenol標準品の溶液を順次希釈しHPLCのピーク面積を求めて検量線を作成した。その検量線も極めて良い直線性を示した。両法の比較に用いた「クローブ抽出物」のeugenolの含有率は26.56%、28.81%だったが、この検量線から算出したHPLC法での「クローブ抽出物」中のeugenolの定量値はそれぞれ24.94%、26.20%だった。

「クローブ抽出物」にはeugenol以外にもフェニルプロパンの精油成分が存在するので、芳香族領域は多くのシグナルの存在が懸念されたが、このシグナルが定量に好都合であることがわかった。検量線も極めてよい直線性を示し、特に検量線を引くことなく定量ができることも確認ができた。

今回、操作の簡便のために予め認証標準物質の濃度既知の溶液を作っておき、測定の際に測定溶液に標準物質の溶液を一定量加えるという方法を考えた。ストックの際に溶媒が揮発して濃度が変化しないよう、難揮発性のDMSOに溶解した、1,4-BTMSB-*d*₄はカタログ上でDMSOに難溶と表記されているが、今回用いた2.5 mg/mLという濃度であれば十分に溶解することがわかった。また、¹H-qNMRの測定時はacetone-DMSO=5:1という混合溶媒で実施することになる。これも測定の結果、この混合溶媒でもeugenolの6位Hが独立したシグナルで観測され、問題なくシグナル面積の測定ができた。よって、1,4-BTMSB-*d*₄をDMSO-*d*₆溶液として用

いることで操作の簡便化も実現できた。また、eugenol は揮発性の精油で標準品の純度が変化しやすいことから、そのような化合物でも $^1\text{H-qNMR}$ を用いれば絶対定量が可能になることを示すことができた。

HPLC においては、 $^1\text{H-qNMR}$ で値付けをした eugenol 標準品溶液を用いた定量が可能であることも確認できた。また、「クローブ抽出物」中の eugenol の定量値が $^1\text{H-qNMR}$ における定量値と HPLC の定量値との比較では、HPLC での値がやや低かったが、ほぼ一致していることから、 $^1\text{H-qNMR}$ が既存の定量法に置き換えることのできる簡便な手段であることを確認できた。また、 $^1\text{H-qNMR}$ によって標準溶液の純度の値付けを行い、その標準溶液を用いて HPLC 法による定量をすることで、間接的な絶対定量が可能なることも確認できた。

「ベニバナ赤色素」中の carthamin の定量

Carthamin の単離では、研究方法の操作で「ベニバナ赤色素」に相当する製品から TLC 上で 1 spot の状態の carthamin を単離することができた。その NMR スペクトルを水上の文献と比較して carthamin であることを確認した。

また、HPLC の条件検討では、酢酸を添加した MeOH-水のグラジエントの条件で、carthamin が良好なピークを与えることを確認した。まだ定量方法の確立には至っていないが、標準試料の単離方法を確立できた。標準試料として正確に秤量できるだけの物質量の確保を行っている。

定量方法の確立に先立って HPLC の条件設定を行ったが、carthamin のピークを良好に検出できる条件を見つけることができたので、少なくとも $^1\text{H-qNMR}$ による標準品溶液の値付け→その標準溶液を基準とした HPLC 分析というプロトコルの実施に目処をつ

けたと言える。Carthamin 標準溶液の $^1\text{H-qNMR}$ による値付けは先行例があるので、純度が極めて低く $^1\text{H-qNMR}$ では直接定量が困難な試料での定量も目処をつけた。

「ベニバナ黄色素」中の safflor yellow 類の定量

文献記載の方法で生薬コウカから safflor yellow 類の単離を試みたが、純度が低いと思われる粉末が得られたのみであった。

操作が簡便すぎることから、花卉に含まれる糖類などがまだ多く残っていることが考えられる。現在精製途上で単離には至っていない。Safflor yellow 類には幾つかの化合物があるので、どの化合物を定量の対象とすべきかについても、今後考える必要がある。

3. 天然酸化防止剤の抗酸化活性規格試験法開発に関する研究

1) 酸化防止剤の力価評価における DPPH 法と ORAC 法の比較

ORAC 法は農産物・食品の抗酸化評価法として共同試験が近年実施され、この共同試験結果を受けて標準作業手順書が作成された。そこで、酸化防止剤の力価評価を ORAC 法、ならびに同じく複数試験機関による共同試験にてプロトコルの評価を行った DPPH 法とで行い、その結果について比較した。

チャ抽出物 5 種類、トコフェロール類 5 種類、ローズマリー抽出物 2 種類、単糖・アミノ酸複合物、生コーヒー豆抽出物、コメヌカ酵素分解物、フェルラ酸、ヤマモモ抽出物、エンジュ抽出物、酵素処理イソクエルシトリン、ルチン、酵素処理ルチン、ルチン酵素分解物の計 22 種類の酸化防止剤について測定を行ったところ、DPPH 法では 20 種類、ORAC 法では 22 種類の抗酸化力価を求めることが可能であった。

また,DPPH法とORAC法の測定結果の相関を調べたところ,両者の間の相関係数は0.460 (n = 20) となった.相関関係は有意であったが ($p < 0.05$),直線性は高いものではなかった.同時に,酸化防止剤に含まれる主要抗酸化成分の種類により DPPH 法,及びORAC法に対する挙動が大きく異なることが判明した.具体的には,カテキン類を主要抗酸化成分とするチャ抽出物ではDPPH法とORAC法の測定結果の間に高い直線性が認められたのに対し ($r = 0.775, n = 5$),ケルセチン配糖体,及びその類縁化合物が主要抗酸化成分であるヤマモモ抽出物,エンジュ抽出物,ルチン類の場合,DPPH法とORAC法の測定結果の間に相関は認められなかった ($r = -0.239, n = 7$).このことから,主要抗酸化成分の基本構造がフラバノール,フラボン,あるいはその配糖体であるか否かにより,DPPH法,及びORAC法に対する挙動が異なることが判明した.

今後,DPPH法の適用が困難な酸化防止剤の力価評価標準法を適宜検討する場合は,主要抗酸化成分の各種抗酸化活性測定法への応答の特徴を考慮する必要があると考えられた.

2) DPPH法に基づく一般試験法案の適用性と再現性の検討

トロロックス,及び酸化防止剤19種類(サンフェノン EGCg,サンフェノン 90S,サンフェノン BG-3,カメリアエキス 30S,チャ抽出物,茶抽出物 40,茶抽出物 70,ポリフェノン PF,ポリフェノン 70S,ポリフェノン G,サンフード 100,テアピゴ,カメリア 50EX,d- δ -トコフェロール,生コーヒー豆抽出物,ローズマリー抽出物,ヤマモモ抽出物,酵素処理イソクエルシトリン,酵素処理ルチン)を分析試料として用い,一般試験法案の適用性と再現性を確認した.いずれの酸化防止剤もエタノール

(99.5)に溶解し,希釈もエタノール(99.5)で行った.

酸化防止剤の抗酸化力価評価においてトロロックスの IC_{50} はTEAC算出の基礎となる重要な値である.そこで,作成した一般試験法案に基づき,トロロックスの IC_{50} 算出に関する手順について繰り返し試験を実施した(n = 8).その結果, IC_{50} の平均は 59.3 ± 0.77 $\mu\text{g/mL}$ であり,変動係数は1.30%となった.このことから,一般試験法案に基づくトロロックスの IC_{50} の算出に関する再現性は問題ないと判断した.

続いて,酸化防止剤19種類の抗酸化力価評価を行った.その結果,測定に用いたすべての酸化防止剤のTEACを求めることが可能であり,その変動係数(n = 3)は0.28~7.1%となった.特に,サンフェノン EGCgを除く18試料の変動係数は4.3%以下の範囲内となり高い再現性を示すことが判明した.

4.日持ち向上剤や増粘剤等の規格試験法の検討:

1) 既存添加物ジャマイカカссия抽出物と天然香料クワツシャ中におけるクアシン,ネオクアシンの新規定量分析法の検討

「ジャマイカカссия抽出物」は天然由来の苦味料,「クワツシャ」は天然由来の香料として使用され,それぞれ既存添加物と天然香料に分類される食品添加物である.両品目の有効成分はいずれもクアシン及びネオクアシンとされているが,これら有効成分の定量用標準品は市販されていない.そこで,安価で入手しやすく,純度も高いと予想される4-ヒドロキシ安息香酸(4HBA)を両有効成分の定量用内標準物質として選定し,クアシン及びネオクアシンそのものの定量用標準品を必要としないHPLC/PDAによる定量法を確立することを目的とした.¹H-qNMRから求めた4HBA市販試薬の純度は,試薬に記

載された純度値と殆ど差異はなく 100.43% であった。このことから、市販の 4HBA を購入して用いれば、表示純度との差を気にせずに定量用内標準として使用できると考えられた。そこで、4HBA とクアシン及びネオクアシンの混合液を用い、¹H-qNMR により正確なモル比を求め、HPLC/PDA により吸光度比を求め、これら得られた値を元に 4HBA に対するクアシン及びネオクアシンのモル吸光係数比を算出したところ、0.84 及び 0.85 であることが明らかとなった。純度既知の 4HBA を内標準として、モル吸光係数比を適用した HPLC/PDA により添加物製品中のクアシン及びネオクアシンを定量したところ、国際単位系 (SI) にトレーサブルな 1,4-BTMSB-*d*₄ を内標準とした ¹H-qNMR により求めたクアシン及びネオクアシンの定量値と殆ど差異はなかった (1.2 % 以下)。モル吸光係数比を適用した定量法は、クアシン及びネオクアシンそのものの定量用標準品を必要とせず、これらの製品中の含量を求められる試験法として有用であることが明らかとなった。

2) 既存添加物クエルセチンの定量法確立のための qNMR を応用した検討

天然由来の酸化防止剤である既存添加物クエルセチンは、食品添加物公定書未収載であり、成分規格案の作成を行う上で定量法の確立が必要である。そこで本研究では、¹H-NMR による定量 NMR (quantitative NMR: qNMR) を適用し、試薬や添加物の正確な quercetin 含量を求めることにより、既存添加物クエルセチンの定量法確立のための基礎的検討を行った。本研究により、既存添加物クエルセチンの成分規格作成に有用な基礎データを得ることができた。また、これらの結果より、標準試薬 (qNMR 純度適用) を用い

た LC/UV による quercetin の定量が最も適切であることが示唆された。

3) 粘度測定法に関する検討

物質の粘度を測定する手法として、様々な粘度計が存在する。食品添加物公定書において粘度測定法は、毛細管粘度計法 (第 1 法) と回転粘度計法 (第 2 法) が規定されている。一方、日本工業規格 (JIS) における粘度測定法としては、細管粘度計、落球粘度計、共軸二重円筒形回転粘度計、単一円筒形回転粘度計、円すい - 平板形回転粘度計の他、近年、振動粘度計が追加されている。本報告では、食品添加物公定書、日本薬局方、JECFA、EU、FCC、JIS、JCSS 等における粘度測定法を調査し、比較整理したので報告する。また、JIS における振動粘度計の原理と各測定計との相違について調べ、考察した。

4) 既存添加物カンゾウ油性抽出物の抗酸化成分の分離

カンゾウ油性抽出物製品には、主要成分以外にも抗酸化活性寄与率が比較的高い成分が存在することが強く示唆され、ODS カラムを用いた分取 HPLC による 2 段階の分離及び分離画分の抗酸化活性測定を行い、活性画分の探索研究を行ってきた。今年度は、これまでの分離により抗酸化活性が認められた *Glycyrrhiza inflata* 由来製品の 7 画分及び *Glycyrrhiza glabra* 由来製品の 8 画分につき、ODS とは異なる分離特性を有するカラムを用いてさらに HPLC による分離・分画を行い、抗酸化活性測定を行った。本研究により、各カンゾウ油性抽出物製品の活性ピークを分離・特定することができた。

5) 既存添加物カンゾウ油性抽出物の抗酸化成分の LC/TOF-MS による解析

カンゾウ油性抽出物製品の主要成分による全体の抗酸化力価への寄与率は高くないことが明らかとなり、HPLC による分離・分

画後、各画分の活性測定を行い、他の抗酸化成分を分離・特定した。さらに研究を進め、*Glycyrrhiza inflata* 由来製品及び *Glycyrrhiza glabra* 由来製品より単離した活性成分につき、LC/TOF-MS(MS)を用いて分析し、精密質量による組成解析から含有成分の推定を行い、市販試薬及び供与された単離標品との解析結果と比較した。その結果、カンゾウ油性抽出物製品中の6種の抗酸化活性成分及び2種の非活性成分を同定した。

6) 既存添加物カンゾウ油性抽出物の抗酸化成分の単離・同定

G. glabra 由来のカンゾウ油性抽出物製品では、主に抗酸化活性を示す8成分が確認された。この内、4成分については、市販標品や単離標品との比較やLC/MS/MSで同定したが、残りの4成分については、分子量(MW)370, 358, 322 および 354の化合物と推定されたが、同定はできていなかった。未同定の4成分の構造を明らかにする目的で、これら成分の単離・精製を行い、構造解析結果から化合物の同定を行った。その結果、4成分は glabrene, 3'-hydroxy-4'-methoxyglabridin 等の化合物であると同定した。なお、MW 370 および MW 358の化合物は、これまで DPPH ラジカル消去活性を有することは報告されていないが、本研究におけるこれらの単離画分は DPPH ラジカル消去活性を示した。

7) 既存添加物カワラヨモギ抽出物の乾燥減量試験法と qNMR を応用した定量法の開発

既存添加物製品の規格の設定は、品質や安全性確保の上から極めて重要である。既存添加物カワラヨモギ抽出物は、天然由来の保存料であり、抗菌作用があるとされている。本研究では、既存添加物カワラヨモギ抽出物の公的規格作成のため、本品目に適した乾燥減量試験法及び定量 NMR を応用した LC

定量法の開発を行った。その結果、溶液状態のカワラヨモギ抽出物製品に適した乾燥減量試験法を確立することができた。また、LC/UV 及び LC/MS によるカピリン定量条件を最適化し、qNMR を応用してカピリン標品の正確な純度値を付けて定量に用いることで、信頼性の高い LC 定量法を開発できた。さらに、カピリン標品を必要としない qNMR での直接定量法が、比較的カピリン含量の高いカワラヨモギ抽出物製品では、有用な定量法の1つとして選択可能であることを示した。

8) Relative response factor を用いた HPLC/PDA によるカワラヨモギ抽出物中のカピリン定量法の開発解析

既存添加物名簿に記載されている保存料「カワラヨモギ抽出物」中の抗菌成分カピリンの HPLC/PDA 定量法について検討した。カピリンの定量用標準品は市販されていないため、別の化合物をカピリンの基準物質として選定し、カピリンの定量用標準品を必要としない HPLC/PDA 定量法を確立することを目的とした。¹H-qNMR を利用してモル吸光係数比を算出し、定量法に用いた。このように内標準物質と定量対象化合物の検出感度の違いを係数として求めて定量法に応用する手法は、吸光度に限らず、他の検出方法でも適用可能であると考え、本項では、相対感度係数 (Relative response factor ; RRF) という語を用いて報告した。カピリンの定量用内標準物質として、¹H-qNMR スペクトル及び HPLC クロマトグラム上で、カピリンと良好に分離したヘプチルパラベンを選定した。4社4製品のヘプチルパラベン市販試薬を¹H-qNMR に付し、得られた純度値を各試薬のラベルに記載されている純度値と比較したところ、4製品全てにおいて¹H-qNMR での純度値とラベル記載の純度値に大きな差

がなく(1.4%未満),このことから,市販のヘプチルパラベンを購入して用いれば,メーカー間の純度差や表示純度との差を気にせずに定量用内標準として使用できると考えられた.ヘプチルパラベン及びカピリンの混合液を調製し,ヘプチルパラベンに対するカピリンのRRFを算出したところ1.31であった.この値を適用してHPLC/PDAによる添加物製品中のカピリン含量を算出したところ,カピリン標準品を用いて作成した検量線(¹H-qNMRによる純度値を適用)から求めた含量と殆ど差はなかったため,RRFを適用した定量法は,カピリンの定量用標準品を必要とせず,カワラヨモギ抽出物の規格試験法として有用であることが明らかとなった.

5.酵素の基原の解析法の確立:

1) 既存添加物酵素の基原由来塩基配列情報の取得

既存添加物酵素の微生物由来の基原について,「細菌」,「放線菌」,「糸状菌」,「酵母」,「担子菌」の5つの群に分類し,各群に適した指標遺伝子について考察した.種々の公定法や文献を参考にして,「細菌」及び「放線菌」は,16S rDNA塩基配列を指標とし,「糸状菌」,「酵母」及び「担子菌」はITS1塩基配列を指標とした.属及びsp.で定義された以外の基原について,国際塩基配列データベースGenBankに指標遺伝子が登録されているかどうか調査した.その結果,「細菌」52/56基原,「放線菌」17/19基原,「糸状菌」57/65基原,「酵母」6/6基原,「担子菌」6/6基原の配列が登録されていた.配列が登録されていなかった基原の中には,トレーサビリティの得られない学名,すなわち公定書に記載する基原としてふさわしくない学名であるものが散見された.

2) アルギン酸リアーゼ生産菌71/58株の種の同定

細菌に属すアルギン酸リアーゼの生産菌71/58株の16S rDNA塩基配列を決定し,国際塩基配列データベースに対してblastnによる相同性検索を行った.検索結果の上位20配列中には*Flavobacterium*属由来の塩基配列が占めた.一方で,細菌において,同種の目安とされる相同値が98.7%以上の16S rDNA塩基配列は,存在しなかった.

次に,*Flavobacterium*属各種の16S rDNA塩基配列と71/58株の16S rDNA塩基配列を用いて分子系統解析を行った.その結果,71/58株は*Flavobacterium*属の種で形成されるクラスター内に含まれたが,いずれの既知種とも異なる分子系統学的位置を示し(Fig. 1),*Flavobacterium*属の新種を構成する可能性が高いと考えられ,71/58株を*Flavobacterium* sp.と同定した.

微生物などの学名が流動的である基原に対して規格を整備するためには,統一された方法,指針に基づいて情報を整理する必要がある.検討したDNAを指標にした同定法を実施した場合,アルギン酸リアーゼ生産菌71/58株のように,第9版公定書に記された基原の学名について,第10版で大幅な改正が求められる可能性がある.このような問題も含めて,今後DNAを指標にした同定法について深く議論していく必要がある.

E. 結論

「ヤマモモ抽出物」では,methanol-d₄中,認証標準物質としてPHPを用い,仲介物質としてHMDを介することで,myricitrinの6位または8位の水素シグナル面積から含有されるmyricitrinの定量が可能であることを示した.「グルコサミン」では,D₂O中,認証標準物質のDSS-d₆を直接内部標準として用い,glucosamineの2つの配座異性体の2位の水素シグナル(δ2.89 ppmとδ3.18 ppm)の面

積の和から,含有される glucosamine の定量が可能であることを示した.

「クローブ抽出物」中の eugenol の定量では認証標準物質の DSS- d_6 を内部標準として用い,この DMSO- d_6 溶液を測定試料の acetone- d_6 溶液とを混合して NMR を測定し,eugenol の 6 位 H のシグナル(δ 6.33 ppm) を利用することで測定試料中の eugenol が定量できることがわかった.また,定量値は,HPLC 法と良い一致を示したことから ^1H -qNMR 法が,既存の方法に変わりうる,簡便で迅速な「クローブ抽出物」の品質管理法になりうることを示すことができた.

「ベニバナ赤色素」では,その色素本体である carthamin の単離と HPLC 定量条件の設定ができたため, ^1H -qNMR では定量が困難な場合の代替手段として標準溶液の値付け →HPLC 法を用いた定量という組み合わせでの絶対定量法の確立の目処をつけた.

「ベニバナ黄色素」に関しては,個々の safflor yellow 類の単離を引き続き行い,それぞれの ^1H -NMR スペクトルにおいて,独立したシグナルが得られるか,すなわち, ^1H -qNMR の実施が可能かの確認を次のとりあえずの目標とする.

ベニコウジ色素およびベニコウジ黄色素は,培地条件や抽出条件により,全く色彩成分が異なり,明確な主成分を同定し,それに基づく規格基準が必要と考えられた.

ベニコウジ色素:赤色の主な成分は,HPLC による評価は困難であり,今後,HSCCC などを利用した主成分の同定が必要であり,それに基づく,試験の提案も求められる.

ベニコウジ黄色素:主にキサントモナシン A およびキサントモナシン B が主成分と想定される.しかしながら,いずれの標準品も

入手困難であるため,今後,その含量分析に関して,検討する必要性がある.

既存添加物に分類される酸化防止剤の力価評価標準法として,DPPH 法に基づく一般試験法案を作成し,その適用性,及び再現性に問題ないことが確認できた.

F. 健康危険情報

なし

G. 研究発表

1. 論文発表

- 1) Amakura Y., Yoshimura M., Yoshida T., Tada A., Ito Y., Yamazaki T., Sugimoto N., Akiyama H., Chromatographic evaluation of the components of grape skin extract used as food additives, *Jpn. J. Food Chem. Safety*, **22**, 108-114 (2015).
- 2) Amakura Y., Yoshimura M., Morimoto S., Yoshida T., Tada A., Ito Y., Yamazaki T., Sugimoto N., Akiyama H., Chromatographic evaluation and characterization of components of gentian root extract used as food additives, *Chem. Pharm. Bull.*, **64**, 78-82 (2016).
- 3) 原田晋, 小川有子, 杉本直樹, 穠山浩, フランス製菓子赤色マカロン摂取後に生じた, コチニール色素によるアナフィラキシーの2症例, 日本皮膚アレルギー・接触皮膚炎学会雑誌, **8**, 180-186 (2014).
- 4) 山崎太一, 大槻崇, 三浦亨, 末松孝子, 堀之内嵩暁, 村上雅代, 齋藤剛, 井原俊英, 多田敦子, 田原麻衣子, 合田幸広, 穠山浩, 中尾慎治, 山田裕子, 小池亮, 杉本直樹, ¹H-NMR による精確な定量分析のための内標準液を用いる試料調製法の検討, 分析化学, **63**, 323-329 (2014).
- 5) Kawasaki H., Akiyama T., Tada A., Sekiguchi W., Nishizaki Y., Ito Y., Sugimoto N., Akiyama H., Development of HILIC-LC/MS method for direct quantitation of 2-acetyl-4-tetrahydroxybutylimidazole in caramel III with the qNMR certified standard, *Jpn. J. Food Chem. Safety*, **22**(2), 115-122 (2015).
- 6) Nishizaki Y., Ishizuki K., Akiyama H., Tada A., Sugimoto N., Sato K., Preparation of ammonia-treated lac dye and structure elucidation of its main component, *Shokuhin Eiseigaku Zasshi (Food Hyg. Saf. Sci.)*, **57**, 193-200 (2016).
- 7) Tada A., Ishizuki K., Yamazaki T., Sugimoto N., Akiyama H., Method for the Determination of Natural Ester-Type Gum Bases Used as Food Additives via Direct Analysis of their Constituent Wax Esters Using High-Temperature GC/MS, *Food Science & Nutrition*, **2**, 417-425 (2014).
- 8) 多田敦子, 石附京子, 杉本直樹, 吉松嘉代, 川原信夫, 末松孝子, 有福和紀, 深井俊夫, 田村幸吉, 大槻崇, 田原麻衣子, 山崎壮, 穠山浩, 既存添加物カンゾウ油性抽出物の成分組成の多変量解析に基づく基原植物種の検討, 日本食品衛生学雑誌, **56**, 217-227 (2015).
- 9) 多田敦子, 杉本直樹, 小林義和, 濱田ひかり, 石附京子, 秋山卓美, 伊藤裕才, 川原信夫, 山崎壮, 穠山浩, 味認識装置による既存添加物苦味料及び関連苦味化合物の品質評価, 日本食品化学学会誌, **22**, 25-31 (2015).
- 10) 西崎雄三, 多田敦子, 石附京子, 伊藤裕才, 小野田絢, 杉本直樹, 穠山浩, モル吸光係数比を利用したジャマイカカシア抽出物中のクアシンおよびネオクアシンの新規定量法の開発, 食品衛生学雑誌, **56**(5), 185-193 (2015).
- 11) Tanaka R., Nitta A., Nagatsu A., Application of a quantitative ¹H-NMR method for the determination of amygdalin in *Persica semen*, *Armeniaca semen* and *Mume fructus*, *Journal of Natural Medicines*, **68**(1), 225-230 (2014).

- 12) Tanaka R., Hasebe Y., Nagatsu A., Application of a quantitative ¹H-NMR method for the determination of gentiopicroside in *Gentianae radix* and *Gentianae scabrae radix*, *Journal of Natural Medicines*, **68**(3), 630-635 (2014).
- 13) Tanaka R., Shibata H., Sugimoto N., Akiyama H., Nagatsu A., Application of a quantitative ¹H-NMR method for the determination of paeonol in *Moutan cortex*, *Hachimijiogan* and *Keishibukuryogan*, *Journal of Natural Medicines*, **70**(4), 797-802 (2016).
- 14) Tanaka R., Inagaki R., Sugimoto N., Akiyama H., Nagatsu A., Application of a quantitative ¹H-NMR (¹H-qNMR) method for the determination of geniposidic acid and acteoside in *Plantaginis semen*, *Journal of Natural Medicines*, **71**(1), 315-320 (2017).
- 15) Inoue K., Tanada C., Nishikawa H., Matsuda S., Tada A., Ito Y., Min J. Z., Todoroki K., Sugimoto N., Toyo'oka T., Akiyama H., Evaluation of Gardenia Yellow using crocetin from alkaline hydrolysis based on ultra high-performance liquid chromatography and high-speed countercurrent chromatography, *J. Sep. Sci.*, **37**, 3619-3624 (2014).
- 16) Takahashi M., Nishizaki Y., Sugimoto N., Takeuchi H., Nakagawa K., Akiyama H., Sato K., Inoue K., Determination and purification of sesamin and sesamol in sesame seed oil unsaponified matter using reversed-phase liquid chromatography coupled with photodiode array and tandem mass spectrometry and high-speed countercurrent chromatography. *J. Sep. Sci.* **39**, 3898-3905 (2016).
- 17) Todoroki, K., Nakamura, M., Sato, Y., Goto, K., Nakano, T., Ishii, Y., Min, J.Z., Inoue, K., Toyo'oka, T. 4-(4,6-Dimethoxy-1,3,5-triazin-2-yl)-4-methylmorpholinium Chloride as an Enantioseparation Enhancer for Chiral Derivatization-LC Analysis of D- and L-Amino acids., *Chromatography*, **37**, 23-28 (2016).
- 18) Inoue, K., Tanada, C., Hosoya, T., Yoshida, S., Akiba, T., Min, J.Z., Todoroki, K., Yamano, Y., Kumazawa, S., Toyo'oka, T., Principal component analysis of molecularly-based signals from infant formula contaminations using LC-MS and NMR in foodomics. *J. Sci. Food Agric.*, **96**, 3876-3881 (2016).
- 19) Inoue, K., Miyazaki, Y., Unno, K., Min, J.Z., Todoroki, K., Toyo'oka, T., Stable isotope dilution HILIC-MS/MS method for accurate quantification of glutamic acid, glutamine, pyroglutamic acid, GABA and theanine in mouse brain tissues. *Biomed. Chromatogr.* **30**, 55-61 (2016).
- 20) Todoroki K, Nakano T, Ishii Y, Goto K, Tomita R, Fujioka T, Min JZ, Inoue K, Toyo'oka T., Automatic analyzer for highly polar carboxylic acids based on fluorescence derivatization-liquid chromatography, *Biomed Chromatogr.*, **29**, 445-451 (2015).
- 21) Takayama T, Kuwabara T, Maeda T, Noge I, Kitagawa Y, Inoue K, Todoroki K, Min JZ, Toyo'oka T., Profiling of chiral and achiral carboxylic acid metabolomics: synthesis and evaluation of triazine-type chiral derivatization reagents for carboxylic acids by LC-ESI-MS/MS and the application to saliva of healthy volunteers and diabetic patients, *Anal Bioanal Chem.*, **407**, 1003-351 (2015).

- 22) Inoue K, Tsuchiya H, Takayama T, Akatsu H, Hashizume Y, Yamamoto T, Matsukawa N, Toyooka T., Blood-based diagnosis of Alzheimer's disease using fingerprinting metabolomics based on hydrophilic interaction liquid chromatography with mass spectrometry and multivariate statistical analysis., *J Chromatogr B.*, 974, 24-34 (2015).
- 23) Min JZ, Tomiyasu Y, Morotomi T, Jiang YZ, Li G, Shi Q, Yu HF, Inoue K, Todoroki K, Toyooka T., First observation of N-acetyl leucine and N-acetyl isoleucine in diabetic patient hair and quantitative analysis by UPLC-ESI-MS/MS., *Clin Chim Acta.*, 444, 143-148 (2015).
- 24) Mochizuki T, Takayama T, Todoroki K, Inoue K, Min JZ, Toyooka T., Towards the chiral metabolomics: Liquid chromatography-mass spectrometry based DL-amino acid analysis after labeling with a new chiral reagent, (S)-2,5-dioxopyrrolidin-1-yl-1-(4,6-dimethoxy-1,3,5-triazin-2-yl)pyrrolidine-2-carboxylate, and the application to saliva of healthy volunteers., *Anal Chim Acta.*, 22, 73-82 (2015)
- 25) Inoue K, Tanada C, Sakamoto T, Tsutsui H, Akiba T, Min JZ, Todoroki K, Yamano Y, Toyooka T. : Metabolomics approach of infant formula for the evaluation of contamination and degradation using hydrophilic interaction liquid chromatography coupled with mass spectrometry. *Food Chem.* 181, 318-324, (2015).
- 26) Min JZ, Morota Y, Jiang YZ, Li G, Kang D, Yu HF, Inoue K, Todoroki K, Toyooka T. : Rapid and sensitive determination of diacetylpolyamines in human fingernail by ultraperformance liquid chromatography coupled with electrospray ionization tandem mass spectrometry. *Eur J Mass Spectrom.* 20, 477-486, (2015).
- 27) Todoroki K, Ishii Y, Ide T, Min JZ, Inoue K, Huang X, Zhang W, Hamashima Y, Toyooka T. : Advanced dress-up chiral columns: New removable chiral stationary phases for enantioseparation of chiral carboxylic acids. *Anal Chim Acta.* 882, 101-111 (2015).
- 28) Nakano T, Todoroki K, Ishii Y, Miyauchi C, Palee A, Min JZ, Inoue K, Suzuki K, Toyooka T. : An easy-to-use excimer fluorescence derivatization reagent, 2-chloro-4-methoxy-6-(4-(pyren-4-yl)butoxy)-1,3,5-triazine, for use in the highly sensitive and selective liquid chromatography analysis of histamine in Japanese soy sauces. *Anal Chim Acta.* 880, 145-151, (2015).
- 29) Li XL, Li G, Jiang YZ, Kang D, Jin CH, Shi Q, Jin T, Inoue K, Todoroki K, Toyooka T, Min JZ. : Human nails metabolite analysis: A rapid and simple method for quantification of uric acid in human fingernail by high-performance liquid chromatography with UV-detection. *J Chromatogr B.* 1002, 394-398, (2015).
- 30) Takayama T, Mochizuki T, Todoroki K, Min JZ, Mizuno H, Inoue K, Akatsu H, Noge I, Toyooka T. : A novel approach for LC-MS/MS-based chiral metabolomics fingerprinting and chiral metabolomics extraction using a pair of enantiomers of chiral derivatization reagents. *Anal Chim Acta.* 898, 73-84, (2015).
- 31) Inoue K, Ozawa Y, Toyooka T. : Application of liquid chromatography coupled with electrospray ionization tandem mass spectrometry for therapeutic drug monitoring of sedative medicine in clinical stage. *Chromatography.* 36, 81-92 (2015).

- 32) Uno K, Takayama T, Todoroki K, Inoue K, Min JZ, Mizuno H, Toyooka T. : Evaluation of a Novel Positively-charged Pyrrolidine-based Chiral Derivatization Reagent for the Enantioseparation of Carboxylic Acids by LC-ESI-MS/MS. *Chromatography*. 36, 57-60, (2015).
- 33) Shimamura T., Sumikura Y., Yamazaki T., Tada A., Kashiwagi T., Ishikawa H., Matsui T., Sugimoto N., Akiyama H., Ukeda H., Applicability of DPPH Assay for Evaluation of Antioxidant Capacity of Food Additives -Inter-laboratory Evaluation Study-, *Analytical Sciences*, **30**, 717-721 (2014).
- 34) Ponhong K., Shimamura T., Higuchi K., Kashiwagi T., Grudpan K., Motomizu S., Ukeda H., Spectrophotometric Sequential Injection Analysis System for Estimating the Concentration of Lipid Hydroperoxides in Edible Oils, *Journal of Flow Injection Analysis*, **31**, 33-37 (2014).
- 35) Ueda T., Okumura T., Tanaka Y., Shimamura T., Ukeda H., Development of a new electrochemical evaluation method for antioxidant activity based on the redox properties of polyoxometalates and its application to the evaluation of antioxidant capacity of beverages, *Analytical Sciences*, **32**, 825-830 (2016).
- 36) 山内良子, 石井佐弥, 草場悠里, 小林弘司, 島村智子, 受田浩之, 穠山浩, 石川洋哉, 酸化防止剤力価評価を目的とした DPPH ラジカル消去能測定におよぼす反応溶媒の影響, *日本食品保蔵科学会誌*, **42**, 189-196 (2016).
- 37) Enkhtuya E., Shimamura T, Kashiwagi T., Ukeda H., Antioxidative Constituents in the Leaves of *Paeonia anomala* Grown in Mongolia, *Food Science and Technology Research*, **23**, 63-70 (2017).
- 38) 島村智子, 伊藤裕才, 久保勇人, 柏木丈弘, 石川洋哉, 松井利郎, 山崎壮, 多田敦子, 杉本直樹, 穠山浩, 受田浩之, 既存添加物チャ抽出物中のカテキン類含量と抗酸化力価の関係, *日本食品化学会会誌*, 印刷中.
- 39) Akiyama H, Nose M, Ohtsuki N, Hisaka S, Takiguchi H, Tada A, Sugimoto N, Fuchino H, Inui T, Kawano N, Hayashi S, Hishida A, Kudo T, Sugiyama K, Abe Y, Mutsuga M, Kawahara N, Yoshimatsu K, Evaluation of the safety and efficacy of extracts of *Glycyrrhiza uralensis* roots produced using artificial hydroponic and artificial hydroponic-field hybrid cultivation system, *J. Nat. Med.*, 71, 265-271 (2017).

2. 学会発表

- 1) 天倉吉章, 好村守生, 森本沙羅, 吉田隆志, 多田敦子, 伊藤裕才, 杉本直樹, 山崎壮, 穠山浩, 既存添加物ゲンチアナ抽出物の成分研究, 日本食品化学学会第20回総会・学術大会, 2015.22.
- 2) 好村守生, 越智啓介, 多田敦子, 杉本直樹, 穠山浩, 天倉吉章, 既存添加物「モウソウチク抽出物」の成分研究, 日本生薬学会第62回年会, 2015.9.
- 3) 吉田晴菜, 杉脇秀美, 好村守生, 島村智子, 受田浩之, 多田敦子, 西崎雄三, 杉本直樹, 穠山浩, 佐藤恭子, 天倉吉章, 既存添加物「生コーヒー豆抽出物」活性画分の成分解析, 第54回日本薬学会・日本薬剤師会・日本病院薬剤師会中国四国支部学術大会, 2015.10.
- 4) 天倉吉章, 吉田晴菜, 杉脇秀美, 好村守生, 多田敦子, 西崎雄三, 杉本直樹, 佐藤恭子, 穠山浩, 既存添加物「生コ

- ーヒー豆抽出物」の成分研究，日本食品化学学会第 22 回総会・学術大会，2016.6.
- 5) 田邊思帆里，多田敦子，古庄紀子，建部千絵，西川真寿美，荒井なぎさ，西崎雄三，佐藤恭子，杉本直樹，穠山浩，食品添加物公定書における一般試験法の国際整合性に関する研究：粘度測定法，日本食品化学学会第 21 回総会・学術大会，2014.5 .
 - 6) 河崎裕美，関口若菜，多田敦子，秋山卓美，杉本直樹，穠山浩，HILIC カラムを用いた LC/MS によるカラメル III 中の 2-アセチル-4-テトラヒドロキシブチルイミダゾール (THI) の直接定量，日本食品衛生学会第 108 回学術講演会，2014.12.
 - 7) Sugimoto N., Takada M., Ishizuki K., Ohtsuki T., Tada A., Nishizaki Y., Suematsu T., Miura T., Yamada Y., Horinouchi T., Koike R., Kato T., Togawa T. Akiyama H., “AQARI” vs. “PULCON”, a comparison of qNMR: internal and external reference methods, *Pacificchem* 2015, 2015.12.
 - 8) Miura T., Suematsu T., Sugimoto N., Nakao S., Takaoka S., Yamada Y., Development of quantity analytical standard by using qNMR, 3rd Annual Practical Applications of NMR in Industry Conference (PANIC), 2015.2.
 - 9) 石附京子，西崎雄三，多田敦子，箕川剛，中島光一，穠山浩，杉本直樹，佐藤恭子，既存添加物クチナシ青色素の色素生成メカニズムの解明：前駆体の構造決定，食品化学学会，2016.6 .
 - 10) 杉本直樹，qNMR による相対感度係数の算出とその有効利用について，JAIAN，2016.8 .
 - 11) 杉本直樹，定量 NMR/LC を用いた天然有機化合物の定量分析法の開発 (シンポジウム I 「定量 NMR から見えてくる世界」)，日本生薬学会第 63 回年会，2016.9 .
 - 12) 黒江美穂，山崎太一，斎藤直樹，中村哲枝，沼田雅彦，西崎雄三，杉本直樹，井原俊英，新規定量法である qNMR/LC 法による非イオン界面活性剤標準液の濃度評価，日本分析化学会第 65 回年会，2016.9 .
 - 13) 斎藤直樹，北牧祐子，大塚聡子，西崎雄三，杉本直樹，井原俊英，定量 NMR における不純物の重なる信号に対するクロマトグラフィーを併用した新規評価法の確立，NMR 討論会，2016.11.
 - 14) 藤原裕未，田中理恵，杉本直樹，西崎雄三，穠山浩，永津明人，定量 NMR を利用した生薬成分の定量，第 45 回生薬分析シンポジウム，2016.11.
 - 15) 田邊思帆里，多田敦子，古庄紀子，建部千絵，西川真寿美，荒井なぎさ，西崎雄三，佐藤恭子，杉本直樹，穠山浩，食品添加物公定書における一般試験法の国際整合性に関する研究：粘度測定法，日本食品化学学会第 21 回総会・学術大会，2014.5.
 - 16) 松田諭，多田敦子，大槻崇，石附京子，河崎裕美，田原麻衣子，杉本直樹，穠山浩，既存添加物クエルセチンの定量法確立のための qNMR を用いた基礎的検討，第 108 回日本食品衛生学会学術講演会，2014.12.
 - 17) 西崎雄三，多田敦子，伊藤裕才，大槻崇，杉本直樹，穠山浩，qNMR と HPLC を利用した天然苦味料ジャマイカカシア抽出物中のクアシン及びネオクアシンの新規定量法の開発，日本薬学会第 135 年会，2015.3.
 - 18) 加藤智久，多田敦子，河崎裕美，西崎雄三，石附京子，建部千絵，古庄紀

- 子, 佐藤恭子, 杉本直樹, 穠山浩, NMR を用いた既存添加物カワラヨモギ抽出物の定量法の開発, 日本食品化学学会第 21 回総会・学術大会, 2015.5.
- 19) Tada A., Sugimoto N., Nishizaki Y., Matsuda S., Kawasaki H., Ishizuki K., Ohtsuki T., Tahara M., Suematsu T., Yamada Y., Akiyama H., Examination of quantification methods of quercetin in food additives and reagents using ¹H quantitative NMR, Pacificchem 2015, 2015.12.
- 20) 藤原裕未, 大岩硯, 長坂泉紀, 永津明人, qHNMR 法を用いたカシュー中の anacardic acid の定量, 日本生薬学会第 62 年会, 2015.9.
- 21) 藤原裕未, 田中理恵, 永津明人, qHNMR 法による生薬シャゼンシ(車前子)中のゲニポシド酸の定量, 日本生薬学会第 61 年会, 2014.9.
- 22) 永津明人, 定量 NMR を用いた生薬の分析, 日本生薬学会第 63 年会, 2016.9.
- 23) 藤原裕未, 水野舞, 永津明人, 杉本直樹, 西崎雄三, 多田敦子, 穠山浩, 定量 NMR による生薬チョウジ中の eugenol の定量, 日本生薬学会第 63 年会, 2016.9.
- 24) 永津明人, 加藤志保里, 山田紗由美, 藤原裕未, 田中理恵, 杉本直樹, 西崎雄三, 穠山浩, 定量 NMR を用いたグルコサミンの定量法の確立, 日本病院薬剤師会東海ブロック日本薬学会東海支部合同学術大会 2016, 2016.10.
- 25) 棚田千尋, 井之上浩一, 杉本直樹, 関俊哲, 轟木堅一郎, 豊岡利正, 穠山浩, UPLC によるクチナシ黄色素の成分分析に関する検討, 日本食品化学学会第 20 回総会・学術大会, 2013.8.
- 26) 井之上浩一, LC/MS を基盤とする天然添加物および含有成分の食品分析技術に関する研究, 日本食品化学学会第 20 回総会・学術大会, 2014.5.
- 27) 西川弘晃, 井之上浩一, 棚田千尋, 杉本直樹, 関俊哲, 轟木堅一郎, 穠山浩, 豊岡利正, 高速向流クロマトグラフィーによる加水分解クチナシ黄色素クロセチンの単離精製, 日本食品化学学会第 20 回総会・学術大会, 2014.5.
- 28) 高橋未来, 井之上浩一, 西崎雄三, 多田敦子, 杉本直樹, 佐藤恭子, 穠山浩, 逆相系 HPLC による既存添加物・ゴマ油不けん化物の成分規格の検討, 日本薬学会第 136 年会, 2016.3.
- 29) 高橋未来, 多田敦子, 西崎雄三, 杉本直樹, 竹内弘明, 中川一弥, 穠山浩, 井之上浩一, 高速向流クロマトグラフィーによるゴマ油不けん化物からの高純度セサミンおよびセサモリンの単離精製, 日本食品化学学会第 22 回総会・学術大会, 2016.6.
- 30) 山内良子, 高野裕子, 小浜友紀子, 加治屋明子, 島村智子, 柏木丈拵, 受田浩之, 穠山浩, 松井利郎, 石川洋哉, 酸化防止剤評価における各種抗酸化測定法の特性, 第 51 回化学関連支部合同九州大会, 2014.6.
- 31) 山内良子, 小浜友紀子, 加治屋明子, 島村智子, 柏木丈拵, 受田浩之, 穠山浩, 松井利郎, 石川洋哉, 抗酸化能評価における一電子転移反応と水素原子転移反応の比較, 日本食品科学工学会第 61 回大会, 2014.8.
- 32) 田中由季乃, 上田忠治, 島村智子, 受田浩之, ポリオキソメタレート錯体固定化電極の酸化還元特性, 日本分析化学会第 63 年会, 2014.9.
- 33) Shimamura T., Ponghong K., Higuchi K., Kashiwagi T., Grudpan K., Ukeda H.,

Development of sequential injection analysis system for evaluating lipid peroxidation inhibitory activity of antioxidants, 19th International Conference on Flow Injection Analysis, 2014.11.

- 34) 島村智子, 吉田鉄平, 柏木丈拈, 受田浩之, 多田敦子, 杉本直樹, 穉山浩, ロダン鉄法による酸化防止剤の抗酸化力価評価, 第 27 回ビタミン研究会, 2016.1.
- 35) 島村智子, 伊藤裕才, 久保勇人, 柏木丈拈, 石川洋哉, 松井利郎, 山崎壮, 多田敦子, 杉本直樹, 穉山浩, 受田浩之, 既存添加物チャ抽出物中の成分含量と抗酸化力価の関係, 日本食品化学学会第 22 回総会・学術大会, 2016.6.
- 36) 草場悠里, 山内良子, 小林弘司, 島村智子, 受田浩之, 杉本直樹, 穉山浩, 石川洋哉, 既存添加物チャ抽出物の各種抗酸化能評価, 第 53 回化学関連支部合同九州大会, 2016.7.

I. 知的財産権の出願・登録状況（予定を含む）
なし