

3 クロロゲン酸類

農研機構 九州沖縄農業研究センター
企画部 産学連携コーディネーター

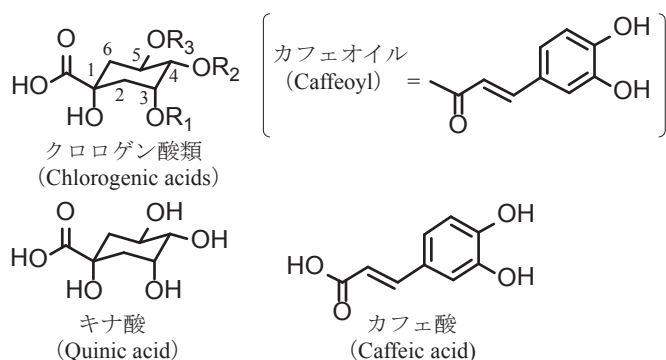
おくの しげのり
奥野 成倫

3.1 はじめに

本稿では、クロロゲン酸 (Chlorogenic acid、5-*O*-カフェオイルキナ酸；5-CQA) とこれに構造が類似した化合物を併せてクロロゲン酸類と呼ぶこととする。図に、これまでサツマイモの塊根または茎葉に見出されたクロロゲン酸類の例、および、クロロゲン酸類の共通骨格であるキナ酸 (Caffeic acid) とキナ酸 (Quinic acid) の構造を示した。クロロゲン酸類はこれら2種の化合物のエステルであり、カフェオイルキナ酸類 (CQAs) と呼ばれることが多い。カフェ酸のカルボキシル基 (-COOH) とキナ酸の水酸基 (-OH) との間で水 (H₂O) が1分子はずれたエステル結合 (-COO-) が形成されている。カフェ酸はフェノール性水酸基を2個持つことからポリフェノールの一種であり、このことからクロロゲン酸類もポリフェノールに属する。キナ酸もカフェ酸も単独ではクロロゲン酸類には含まれない。図も含め本稿では、キナ酸の環状の6個の炭素に付けられている番号は国際純正応用化学連合による命名法¹⁾に基づいており、従ってクロロゲン酸は5-*O*-カフェオイルキナ酸であるが、文献によってはこの番号の付け方が逆順序になっており、この場合は3-*O*-カフェオイルキナ酸となる。図において、キナ酸の環状の6個

の炭素を紙面上で平面にすると、カルボキシル基と1個の水酸基が紙面の上を向き、残った3個の水酸基が紙面の下を向く。上を向いた水酸基 (5位の水酸基) にカフェオイル基が付いた構造がクロロゲン酸である。なお、本稿ではクロロゲン酸のみ、略称ではなく一般名の「クロロゲン酸」で表記した。

ポリフェノールは植物界に広く存在し、クロロゲン酸類はコーヒー豆、ジャガイモ、ナス、シュンギク、レタス、ゴボウ等非常に多くの植物に、また様々な部位に含まれることが知られている。ポリフェノールには、クロロゲン酸類のように無色のものもあれば、イチゴの果実 (花托)、黒大豆の種皮、紫サツマイモの塊根等に含まれる色素であるアントシアニンのように色を持っているものもある。チョコレートやココアの広告でポリフェノールという言葉が出てくるが、それらの原料であるカカオ豆に含まれる主なポリフェノールは (-)-エピカテキン等のフラボノイドであることが明らかにされており、クロロゲン酸類とは異なる。ポリフェノールやその他のある種の物質は、生物が生きていく上で必須の物質ではないという意味で二次代謝産物と呼ばれてきた。最近では、ポリフェノール等はファイトケミカルあるいはフィトケミカル



化合物名	略称	R ₁	置換基 R ₂	R ₃
3-O-カフエオイルキナ酸 (3-O-Caffeoylquinic acid)	3-CQA	カフエオイル	H	H
4-O-カフエオイルキナ酸 (4-O-Caffeoylquinic acid)	4-CQA	H	カフエオイル	H
5-O-カフエオイルキナ酸 (5-O-Caffeoylquinic acid)	5-CQA	H	H	カフエオイル
[クロロゲン酸 (Chlorogenic acid)]				
3,4-ジ-O-カフエオイルキナ酸 (3,4-Di-O-caffeoylquinic acid)	3,4-diCQA	カフエオイル	カフエオイル	H
3,5-ジ-O-カフエオイルキナ酸 (3,5-Di-O-caffeoylquinic acid)	3,5-diCQA	カフエオイル	H	カフエオイル
4,5-ジ-O-カフエオイルキナ酸 (4,5-Di-O-caffeoylquinic acid)	4,5-diCQA	H	カフエオイル	カフエオイル
3,4,5-トリ-O-カフエオイルキナ酸 (3,4,5-Tri-O-caffeoylquinic acid)	3,4,5-triCQA	カフエオイル	カフエオイル	カフエオイル

図 これまでサツマイモの塊根または茎葉に見出されたクロロゲン酸類の例およびクロロゲン酸類の共通骨格であるキナ酸とカフェ酸

(Phytochemical) とも言われる (“phyto” は植物を意味する)。

本稿では、サツマイモのクロロゲン酸類について内外の文献等に基づき概説する。サツマイモの茎葉に関しては2011年の須田²⁾による本誌解説も参考にされたい。

3.2 サツマイモ塊根に含まれるクロロゲン酸類

サツマイモ塊根のクロロゲン酸類については、60年以上にわたり特にアメリカと日

本で研究されてきた。アメリカでは、1947年にサツマイモの呼吸に関する研究でクロロゲン酸が塊根から単離された³⁾。この研究では、混合物の分離法として現在頻用されているクロマトグラフィーは用いられていなかったが、1958年にオープンカラムクロマトグラフィーによりコーヒー豆等11種の植物試料からクロロゲン酸類が単離、定量され、サツマイモ塊根（文献中では “peelings”）ではカフェ酸、ジ-O-カフエオイルキナ酸（diCQA、文献中では

“isochlorogenic acid”)、クロロゲン酸、4-*O*-カフェオイルキナ酸 (4-CQA、文献中では“Band 510”) および3-*O*-カフェオイルキナ酸 (3-CQA、文献中では“neochlorogenic acid”) が定量された⁴⁾。その後、分離法として非常に優れた高速液体クロマトグラフィー (High-performance liquid chromatography ; HPLC) による分析が広がり、この方法により1979年に「Jewel」「Centennial」等アメリカで栽培された7品種について、4種のクロロゲン酸類、すなわち、クロロゲン酸、2種のdiCQA (文献中では“isochlorogenic acid-1、-2”) および暫定的に同定された4-CQAが定量され、「Jewel」等4品種ではクロロゲン酸が、「NC-319」等3品種ではdiCQAの一方 (文献中では“isochlorogenic acid-2”) が、それぞれ主要成分であることが報告された⁵⁾。1981年には品種「Jewel」を対象とし、塊根内における成分分布 (組織ごとの含量) については、クロロゲン酸と3種のdiCQA (文献中では“isochlorogenic acid A、B、C”) の場合はいずれも外部 (周皮の内側から形成層の外側まで約5 mm) > 周皮 > 内部 (形成層の内側) であることが報告された⁶⁾。

日本では、20世紀半ばからのサツマイモ黒斑病に関する一連の研究の中で品種「農林1号」の罹患塊根から、1953年に瓜谷および村松によりクロロゲン酸⁷⁾が、また、同年瓜谷によりカフェ酸⁸⁾等のポリフェノールが単離、同定された。1984年にはHayaseとKatoにより、HPLCを用いサツマイモ塊根からクロロゲン酸が単離、同定、カフェ酸および3種のdiCQA (文献中では“isochlorogenic aid-1、-2、-3”) も単離

されてはいないが同定され、別の成分は4-CQAと推定された⁹⁾。同研究では、品種「金時」「高系14号」のクロロゲン酸および3種のdiCQAの含量が測定され、部位別測定を行った「金時」ではクロロゲンと2種のdiCQAの濃度はいずれも皮が皮以外の部位よりも高かった。diCQAについては、1996年に下園らにより品種「ベニオトメ」の塊根からの3種、すなわち3,4-diCQA、3,5-diCQAおよび4,5-diCQAの単離が報告された¹⁰⁾。2006年にはTakenakaらにより、品種「ベニアズマ」の塊根からのこれら3種のdiCQA、カフェ酸およびクロロゲン酸の単離、ならびに、蒸した塊根からの3-CQAと4-CQAの単離が報告された¹¹⁾。研究対象品種はさらに増え、2007年にはIshiguroらにより、「べにまさり」「コガネセンガン」「ジェイレッド」「ムラサキマサリ」について、カフェ酸、クロロゲン酸、3,4-diCQA、3,5-diCQAおよび4,5-diCQAの含量が報告された¹²⁾。「ジェイレッド」塊根はその肉色が橙色でありカロテノイドを含み¹³⁾、一方、「ムラサキマサリ」(旧系統名：九州132号) 塊根はその肉色が紫色でありアントシアニンを含む¹⁴⁾。カロテノイドは、前述のアメリカにおける研究⁵⁾⁶⁾でクロロゲン酸類の存在が報告された品種のうち、たとえば「Jewel」¹⁵⁾や「Centennial」¹⁶⁾にも含まれることが知られている。これらのことから、クロロゲン酸類のほとんどは塊根の肉色にかかわらず存在すると推測される。厳密にはクロロゲン酸類とは言えないが、カフェ酸がキナ酸ではなく糖であるスクロースとのエステルとなっている化合物が、先に述べた日本の研究¹¹⁾¹²⁾においてサツマイモ塊根から単離された。この化

合物はポリフェノールの範疇に入る。

3.3 サツマイモ茎葉のクロロゲン酸類

サツマイモの地上部すなわち茎葉もクロロゲン酸類を含むことが知られている。茎葉のクロロゲン酸類に関する多くの知見が2000年代以降、日本、アメリカ、イギリス、中国等で蓄積されてきた。日本では、塊根に含まれることが既に明らかになっていたカフェ酸と4種のクロロゲン酸類、すなわち、クロロゲン酸、3,4-diCQA、3,5-diCQAおよび4,5-diCQAだけでなく、3,4,5-トリ-O-カフェオイルキナ酸 (3,4,5-triCQA) が筆者らのグループにより単離、同定された¹⁷⁾。この研究は、サツマイモ葉身部における3,4,5-triCQAの存在に関する初めての報告である。本化合物は、1983年にアメリカのグループによりキク科植物から最初に単離され¹⁸⁾、その後も数種の植物等に見出されているが、筆者の知る限りサツマイモの塊根に見出された報告は見当たらない。上記研究¹⁷⁾ではさらに、20の遺伝資源の葉身部に関する定量結果から3,5-diCQAが主要成分であることを明らかにしており、このことは、多くの品種の塊根においてクロロゲン酸類の主要成分が3,5-diCQAであるとする他の研究結果と一致する。葉身部のクロロゲン酸類の含量と栽培条件との関係も検討され、クロロゲン酸類の多くの成分は栽培時の遮光により減少することや、3,5-diCQAは高温での栽培で増加することが報告された¹⁹⁾。

筆者らは、クロロゲン酸類のHPLC分析の条件を検討することで分析時間を短縮し、たとえば3,4,5-triCQAの保持時間は、本化合物を葉身部から単離した当時の約57

分¹⁷⁾から約12ないし15分となり^{20,21)}、多検体の短時間分析が可能となった。筆者らは、農研機構九州沖縄農業研究センターで維持されている多数のサツマイモ品種・系統のうち下で述べる品種「すいおう」を含む約500について、改良した条件のHPLC分析で得たカフェ酸と5種類のクロロゲン酸類、すなわち、クロロゲン酸、3,4-diCQA、3,5-diCQA、4,5-diCQAおよび3,4,5-triCQAの含量値を2010年に報告した²¹⁾。

同センターでは茎葉を利用するサツマイモ品種として「すいおう」が育成された(2004年品種登録)²²⁾。クロロゲン酸類の含量では「すいおう」を他の多くの品種が上回る²¹⁾が、「すいおう」は葉身と葉柄が他の品種よりも食べやすいことが特長である。本品種の地上部は、学校給食に取り入れられたり、青汁等の原料として使用されたりしている。

作物や食品の成分の含量にかかわる情報を各方面へ適切に届けるためには、それら成分の分析法が標準化されたものであることが重要である。標準化された分析法とは妥当性が確認された方法であり、妥当性確認とは誰がどこで分析しても測定値が一定の範囲内に収まることを実証することである。さまざまな研究で多種類の物質が分析対象になっているが、時間とコストがかかるため、ほとんどの物質の場合で分析法の妥当性は確認されていない。筆者らのグループは、サツマイモ葉身部の8種類の成分、すなわち、カフェ酸と7種のクロロゲン酸類 (クロロゲン酸、3-CQA、4-CQA、3,5-diCQA、4,5-diCQA、4,5-diCQA および3,4,5-triCQA) の分析法 (ここには抽出工程も含まれる) について、単一試験室に

おける妥当性の確認を完了した²³⁾。

茎葉の調理、加工に関する知見も報告されている。品種「すいおう」の葉身部と葉柄部を4種類の加熱調理法、すなわち、「蒸す」「炒める」「煮る」および「茹でる」により処理した結果、3,4,5-triCQAがいずれの調理法でも残存すること等が明らかにされた²⁴⁾。「すいおう」葉身部については、筆者らのグループが8種の成分（上述のカフェ酸と7種のクロロゲン酸類）を対象とし、単一試験室における妥当性を確認した分析法により定量が行った結果、茹で加熱における各成分の挙動の違いは、茹で汁への成分流出と同時に、その成分が異性体へと変換していることに起因すると推察された²⁵⁾。最近筆者らのグループは、農研機構食品研究部門等で開発されたアクアガス加熱技術を「すいおう」葉身部に適用した結果、ポリフェノールの酸化を引き起こすポリフェノールオキシダーゼがほぼ失活し、上述の8成分が保持されることを明らかにした²⁶⁾。また、茎葉からの素材化を目指し、各種合成吸着剤を用いたクロロゲン酸類の大量抽出法が実機規模で検討され、品種「コガネセンガン」茎葉からクロロゲン酸類を約50%含む乾燥粉末の製造が可能であることが示された²⁷⁾。これらの技術が一層サツマイモの茎葉や塊根に利用されることが期待される。

茎葉のクロロゲン酸類について、外国の知見をいくつか紹介する。アメリカでは、Truongらが3品種「Beauregard」「Hernandez」「Covington」の葉身部のカフェ酸、クロロゲン酸、4,5-diCQA、3,5-diCQAおよび3,4-diCQAをHPLC、補助的に液体クロマトグラフィー質量分析法

(LC-MS)を用いて同定し、さらに3,5-diCQAと4,5-diCQAが主要成分であることを明らかにした²⁸⁾。ZhengとCliffordは、中国で栽培されたサツマイモの茎に、フェルラ酸（図のカフェ酸上の隣り合った2個の水酸基のうち下側の水酸基がメトキシ基（-OCH₃）になった構造）とキナ酸とのエステルであるフェルロイルキナ酸類、および、カフェ酸にフェルラ酸とキナ酸の両者が結合したエステルであるカフェオイルフェルロイルキナ酸類を、LC-MSを用い初めて同定し、併せて3-CQA、4-CQA、クロロゲン酸、3,5-diCQAおよび4,5-diCQAも同定した²⁹⁾。2015年にZhangらは、中国で栽培されたサツマイモの葉身部からLC-MSを用いポリフェノール等37物質を同定し、うち20は葉身部では初めて同定されたものであった³⁰⁾。同年Jengらは、台湾で栽培された品種「SM-2」の地上部の組織別に8種のクロロゲン酸類の含量を詳細に報告した³¹⁾。外国でもサツマイモ茎葉の研究が盛んになりつつあるように思われ、茎葉にクロロゲン酸類が著量含まれるサツマイモが各国の遺伝資源から見つかるかもしれない。

3.4 クロロゲン酸類の機能性

クロロゲン酸類はこれまでに非常に多くの生理活性や機能性が報告されており、以下に2000年以降の知見を数例挙げる。2007年Ishikawaらにより、ラット試験においてマルトースやスクロースの経口負荷後の血糖値上昇に対し事前のクロロゲン酸経口投与が抑制効果をもつことが示された³²⁾。3,4,5-triCQAは他のクロロゲン酸類に比べ、天然から見出される例が少なく、見出

されても低含量であることから機能性の研究実績はまだ少ない。しかし、2004年に Matsui らが高血圧自然発症ラットを用いた試験において3,4,5-triCQA 等が抗高血圧作用を示すこと（プロポリスから単離したクロロゲン酸類を使用）³³⁾、2006年に Tamura らが細胞を用いた試験において3,4,5-triCQA が diCQA 類よりも強い抗ヒト免疫不全ウイルス活性を示すこと（レタス葉の培養細胞で生産したクロロゲン酸類を使用。3,4,5-triCQA は通常のレタスには含まれない）³⁴⁾等、知見が蓄積されてきている。筆者らのグループも2002年に、サルモネラ菌を用いた試験により抗変異原性の強さが3,4,5-triCQA > diCQA 類 > クロロゲン酸の順であることを見出した³⁵⁾。なお、クロロゲン酸類からカフェ酸がはずれた構造であるキナ酸はクロロゲン酸類とは異なり、抗酸化活性のひとつである DPPH (2,2-ジフェニル-1-ピクリルヒドラジル) ラジカル消去活性がほとんどないことが示された³⁶⁾。2012年には筑波大学等のグループにより、アルツハイマー症に関係するとされるアミロイドβが引き起こす神経細胞毒性を3,4,5-triCQA や4,5-diCQA が阻害することが報告された³⁷⁾。ここまでは、単離した成分や市販標準品を使用した研究の知見を紹介したが、サツマイモ由来の抽出物、あるいは成分の精製をほとんど行っていない一次加工素材、すなわち、複数成分が混在する試料を使った知見も蓄積されている。以下に紹介するが、機能性に関与する成分がクロロゲン酸類であるという証拠はないので、今後の展開が待たれる。2013年には筑波大学のグループにより、老化促進モデルマウスを使った試験において品種「アヤ

ムラサキ」塊根の抽出物またはこれからアントシアニン類を除いた試料の経口投与により空間学習・記憶能力が改善されることが報告された³⁸⁾。品種「すいおう」地上部に関しては、2007年に高血圧自然発症ラットを使った試験においてブランチングした茎葉の熱風乾燥粉末を添加した飼料の投与が有意ではないが血圧上昇を抑制する傾向があること³⁹⁾、2011年にヒト試験（被験者数：13名）において血液中の低密度リポタンパク質の酸化が葉身部（生）摂取により遅れること⁴⁰⁾が示された。2013年には、ラット試験においてスクロースやグルコースの経口投与後の血糖値上昇が、またヒト試験（被験者数：9名）においてでんぷんの経口投与後の血糖値上昇が、ともに「すいおう」茎葉粉末の事前の経口投与ないし摂取により抑制されることが報告された⁴¹⁾。今後、サツマイモ由来の抽出物や一次加工素材等に関する各種機能性の研究結果がさらに蓄積することが期待される。その一方で、これらの試料にはポリフェノール以外の成分も含まれることから、関与成分についての検討は多面的に行われなければならない。

引用文献

- 1) IUPAC commission on the nomenclature of organic chemistry (CNOC) and IUPAC-IUB commission on biochemical nomenclature (CBN). (1976). Nomenclature of cyclitols. *Biochemical Journal*, **153**, 23-31.
- 2) 須田郁夫. (2011). サツマイモの茎葉利用の現状と課題. いも類振興情報, **109**, 2-8.

- 3) Rudkin, G., O., and Nelson, J., M. (1947). Chlorogenic acid and respiration of sweet potatoes. *Journal of the American Chemical Society*, **69**, 1470-1475.
- 4) Sondheimer, E. (1958). On the distribution of caffeic acid and the chlorogenic acid isomers in plants. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, **74**, 131-138.
- 5) Walter, W., M., Jr., Purcell, A., E., and McCollum, G., K. (1979). Use of high-pressure liquid chromatography for analysis of sweet potato phenolics. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **27**, 938-941.
- 6) Walter, W., M., Jr., and Schadel, W., E. (1981). Distribution of phenols in "Jewel" sweet potato [*Ipomoea batatas* (L.) Lam.] roots. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **29**, 904-906.
- 7) 瓜谷郁三, 村松敬一郎. (1953). 黒斑病罹病甘藷の病理化学的研究(第4報) 罹病甘藷よりのポリフェノールの分離証明(その1). 日本農芸化学会誌, **27**, 29-33.
- 8) 瓜谷郁三. (1953). 黒斑病甘藷の病理化学的研究(第7報) 罹病甘藷よりのポリフェノール成分の分離証明(その2). 日本農芸化学会誌, **27**, 165-168.
- 9) Hayase, F., and Kato, H. (1984). Antioxidative components of sweet potatoes. *Journal of Nutritional Science and Vitaminology*, **30**, 37-46.
- 10) 下園英俊, 小堀真珠子, 新本洋士, 津志田藤二郎. (1996). サツマイモ抽出物によるマウスメラノーマ細胞のメラニン生成抑制. 日本食品科学工学会誌, **43**, 313-317.
- 11) Takenaka, M., Nakayama, K., Isobe, S., Murata, M. (2006). Changes in caffeic acid derivatives in sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) during cooking and processing. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, **70**, 172-177.
- 12) Ishiguro, K., Yahara, S., and Yoshimoto, M. (2007). Changes in polyphenolic content and radical-scavenging activity of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) during storage at optimal and low temperatures. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **55**, 10773-10778.
- 13) Ishiguro, K., Yoshinaga, M., Kai, Y., Maoka, T., and Yoshimoto, M. (2010). Composition, content and antioxidative activity of the carotenoids in yellow-fleshed sweetpotato (*Ipomoea batatas* L.). *Breeding Science*, **60**, 324-329.
- 14) Oki, T., Masuda, M., Furuta, S., Nishiba, Y., Terahara, N., and Suda, I. (2002). Involvement of anthocyanins and other phenolic compounds in radical-scavenging activity of purple-fleshed sweetpotato cultivars. *Journal of Food Science*, **67**, 1752-1756.
- 15) Chandler, L., A., and Schwartz, S., J. (1988). Isomerization and losses of *trans*- β -carotene in sweet potatoes as affected by processing treatments.

-
- Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **36**, 129-133.
- 16) Purcell, A., E., and Walter, W., M., Jr. (1968). Carotenoids of Centennial variety sweet potato, *Ipomoea batatas* L. *Agricultural and Food Chemistry*, **16**, 769-770.
- 17) Islam, M., S., Yoshimoto, M., Yahara, S., Okuno, S., Ishiguro, K., and Yamakawa, O., (2002). Identification and characterization of foliar polyphenolic composition in sweetpotato (*Ipomoea batatas* L.) genotypes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **50**, 3718-3722.
- 18) Timmermann, B., N., Hoffmann, J., J., Jolad, S., D., Schram, K., H., Klenck, R., E., and Bates, R., B. (1983). Constituents of *Chrysothamnus paniculatus* 3: 3,4,5-tricaffeoylquinic acid (a new shikimate prearomatic) and 3,4-, 3,5- and 4,5-dicaffeoylquinic acids. *Journal of Natural Products*, **46**, 365-368.
- 19) Islam, M., S., Yoshimoto, M., Ishiguro, K., Okuno, S., and Yamakawa, O. (2003). Effect of artificial shading and temperature on radical scavenging activity and polyphenolic composition in sweetpotato (*Ipomoea batatas* L.) leaves. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, **128**, 182-187.
- 20) 奥野成倫, 吉元誠, 吉永優. (2008). サツマイモ茎葉ポリフェノールの高速液体クロマトグラフィー (HPLC) 分析におけるショートカラム利用による効率化. 農業技術, **63**, 413-417.
- 21) Okuno, S., Ishiguro, K., Yoshinaga, M., and Yoshimoto, M. (2010). Analysis of six caffeic acid derivatives in sweetpotato leaves by high-performance liquid chromatography using a short column. *Japan Agricultural Research Quarterly*, **44**, 415-420.
- 22) Ishiguro, K., Toyama, J., Islam, M., S., Yoshimoto, M., Kumagai, T., Kai, Y., Nakazawa, Y., and Yamakawa, O. (2004). Suioh, a new sweetpotato cultivar for utilization in vegetable greens. *Acta Horticulturae*, **637**, 339-345.
- 23) Sasaki, K., Oki, T., Kobayashi, T., Kai, Y., and Okuno, S. (2014). Single-laboratory validation for the determination of caffeic acid and seven caffeoylquinic acids in sweet potato leaves. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, **78**, 2073-2080.
- 24) 菅原晃美, 根岸由紀子, 甲斐由美, 石黒浩二, 沖智之, 須田郁夫. (2011). 葉を食用とするサツマイモ「すいおう」葉部のルテイン、ポリフェノール含量に及ぼす加熱調理法の影響. 日本調理科学会誌, **44**, 291-298.
- 25) 佐々木一憲, 沖智之, 甲斐由美, 奥野成倫. (2015). サツマイモ「すいおう」葉身中のカフェオイルキナ酸類の茹で処理による変動. 日本食品科学工学会誌, **62**, 470-476.
- 26) 佐々木一憲, 五月女格, 岡留博司, 甲斐由美, 沖智之, 奥野成倫. (2016). サツマイモ葉身中のポリフェノールオ
-

- キシダーゼのアクアガス加熱処理による失活. 日本食品科学工学会誌, **63**, 86-92.
- 27) 嶋田義一, 久米隆志, 石黒浩二, 倉田理恵, 木村陽二, 椎名隆二郎. (2010). サツマイモ茎葉からのポリフェノール大量抽出法と製品特性. 日本食品科学工学会誌, **57**, 143-149.
- 28) Truong, V., -D., McFeeters, R., F., Thompson, R., T., Dean, L., L., and Shofran, B. (2007). Phenolic acid content and composition in leaves and roots of common commercial sweetpotato (*Ipomea batatas* L.) cultivars in the United States. *Journal of Food Science*, **72**, C343-C349.
- 29) Zheng, W., and Clifford, M., N. (2008). Profiling the chlorogenic acids of sweetpotato (*Ipomoea batatas*) from China. *Food Chemistry*, **106**, 147-152.
- 30) Zhang, L., Tu, Z., Wang, H., Fu, Z., Wen, Q., Chang, H., and Huang, X. (2015). Comparison of different methods for extracting polyphenols from *Ipomoea batatas* leaves, and identification of antioxidant constituents by HPLC-QTOF-MS². *Food Research International*, **70**, 101-109.
- 31) Jeng, T., L., Lai, C., C., Liao, T., C., Lin, S., Y., and Sung, J., M. (2015). Effects of drying on caffeoylquinic acid derivative content and antioxidant capacity of sweet potato leaves. *Journal of Food and Drug Analysis*, **23**, 701-708.
- 32) Ishikawa, A., Yamashita, H., Hiemori, M., Inagaki, E., Kimoto, M., Okamoto, M., Tsuji, H., Memon, A., N., Mohammadi, A., and Natori, Y. (2007). Characterization of inhibitors of postprandial hyperglycemia from the leaves of *Nerium indicum*. *Journal of Nutritional Science and Vitaminology*, **53**, 166-173.
- 33) Matsui, T., Ebuchi, S., Fujise, T., Abe-sundara, K., J., M., Doi, S., Yamada, H., and Matsumoto, K. (2004). Strong antihyperglycemic effects of water-soluble fraction of Brazilian propolis and its bioactive constituent, 3,4,5-tri-O-caffeoylquinic acid. *Biological and Pharmaceutical Bulletin*, **27**, 1797-1803.
- 34) Tamura, H., Akioka, T., Ueno, K., Chujo, T., Okazaki, K., King, P., J., Robinson, W., E., Jr. (2006). Anti-human immunodeficiency virus activity of 3,4,5-tricafeoylquinic acid in cultured cells of lettuce leaves. *Molecular Nutrition and Food Research*, **50**, 396-400.
- 35) Yoshimoto, M., Yahara, S., Okuno, S., Islam, M., S., Ishiguro, K., and Yamakawa, O. (2002). Antimutagenicity of mono-, di-, and tricafeoylquinic acid derivatives isolated from sweetpotato (*Ipomoea batatas* L.) leaf. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, **66**, 2336-2341.
- 36) 石黒浩二, 吉元誠. (2007). 「貯蔵によるサツマイモ塊根のポリフェノール成分と抗酸化性の変動」農研機構成果情報. <http://www.naro.affrc.go.jp/>

-
- project/results/laboratory/karc/2007/konarc07-27.html
- 37) Miyamae, Y., Kurisu, M., Murakami, K., Han, J., Isoda, H., Irie, K., and Shigemori, H. (2012). Protective effects of caffeoylquinic acids on the aggregation and neurotoxicity of the 42-residue amyloid β -protein. *Bioorganic & Medicinal Chemistry*, **20**, 5844-5849.
- 38) Sasaki, K., Han, J., Shimozono, H., Villareal, M., O., and Isoda, H. (2013). Caffeoylquinic acid-rich purple sweet potato extract, with or without anthocyanin, imparts neuroprotection and contributes to the improvement of spatial learning and memory of SAMP8 mouse. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **61**, 5037-5045.
- 39) 石黒浩二, 吉元誠, 鰐田仁人, 高垣欣也. (2007). サツマイモ茎葉の血圧降下作用. 日本食品科学工学会誌, **54**, 45-49.
- 40) Nagai, M., Tani, M., Kishimoto, Y., Iizuka, M., Saita, E., Toyozaki, M., Kamiya, T., Ikeguchi, M., and Kondo, K. (2011). Sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) leaves suppressed oxidation of low density lipoprotein (LDL) *in vitro* and in human subjects. *Journal of Clinical Biochemistry and Nutrition*, **48**, 203-208.
- 41) 永峰里花, 上野栞, 鰐田仁人. (2013). 茎葉利用甘藷品種すいおうと桑葉の血糖値上昇抑制作用の比較. *Health Sciences*, **29**, 233-240.