

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 2 月 15 日現在

機関番号：32714

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K16268

研究課題名(和文)食品機能性色素成分の調理加工による構造・機能性変化に関する基礎的知見の確立

研究課題名(英文)Changes of Carotenoids in Food Caused by Cooking and Associated Anti-oxidative Activities

研究代表者

大澤 絢子 (Ayako, Osawa)

神奈川工科大学・応用バイオ科学部・准教授

研究者番号：00550287

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では6種のサツマイモについて含有されるカロテノイドを詳細に分析した。その結果、(1)サツマイモには既知の β -caroteneやLuteinの他に多様なEpoxide体が含有されていること、(2)加熱調理(焼く・揚げる・蒸す・電子レンジ・天日干し)により組成が変わり4種のepoxide体カロテノイドが増加すること、(3)調理時の加熱手法の違いにより、カロテノイド由来の抗酸化活性強度に4倍程度の差が生じること、(4)日本で古来より用いられてきた下処理手法(切裁後にミョウバン水に浸漬)を行うことで、カロテノイド残存率を向上できること、を明らかにすることができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

食品が有する生理活性物質については様々な検討と報告がされているが、未調理のままで検討されていることが多く、実際に調理されて私たちの体内に摂取される際にどのような状態となっているか明らかとなっていないことも多い。

400年以上前から日本で親しまれてきたサツマイモについて、含有されるカロテノイドとその抗酸化活性が生体の状態から私たちの体内に摂取されるまでにどのように変化していくかを一貫してここまで詳細に明らかにした過去の研究はなく、食品に含まれるカロテノイドに関する新たな知見が得られたと考えている。

研究成果の概要(英文)： We analyzed carotenoids contained in 6 sweet potatoes (*Ipomoea batatas*), and identified various carotenoids other than β -carotene or lutein. We also analyzed the carotenoids extracted from heat-cooked beni-masari (grilled, fried, steamed, microwaved, and steamed + sun dried) and compared them with those of uncooked potatoes, for the first time. As a result, one of the hydroxyl carotenoids decreased and 4 epoxy carotenoids clearly increased by heat cooking. These carotenoids were decreased by immersing cut sweet potatoes in acidic water, however, these decreases could be inhibited by immersion in alum solution.

We also examined the anti-oxidative activity (singlet oxygen quenching activity) of carotenoids extracted from cooked and uncooked sweet potatoes. The cooked samples showed weak activity up to four-fold compared with uncooked samples, although it varied with cooking processes.

研究分野：食品化学

キーワード：カロテノイド 抗酸化活性 加熱調理

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

本申請研究では、自然界に広く分布する赤～黄色の脂溶性色素であるカロテノイドを主題とした。カロテノイドは野菜や果実、魚介類、藻類等、多くの食品に含まれており(図1)私たちの食卓を豊かに彩る役割を果たしている。また、これらのカロテノイドは、ビタミンA様作用や抗酸化作用をはじめ、生活習慣病予防作用、眼病予防作用、抗疲労作用等、様々な有用な生理作用を有することが明らかとなっている。

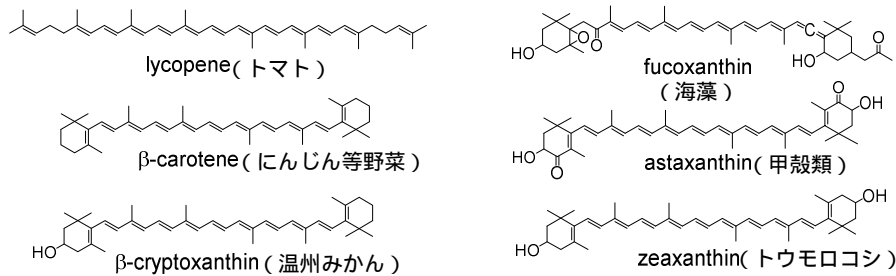


図1 食品中に含有される代表的なカロテノイド

これまでに地球上の様々な生物から750種以上の天然カロテノイドが見出されてきたが、カロテノイドの構造研究においては(1)含有量が非常に微量である、(2)光・温度による異性化、酸素による酸化・重合・分解、酸あるいはアルカリにより化学構造の変化が起きやすい、(3)天然物には多量の脂溶性夾雑物が存在することが多く精製に高度な技術が要求される、等の問題がある。そのため、分析・精製技術が未発達であった過去の研究では、材料中の含有量が微量である場合は未同定として構造解析が保留されることも多く、食品由来カロテノイドに関しては、HPLCでの同定が比較的容易である一部の代表的なカロテノイド以外はやむを得ず未同定としている例が多い。また、我々は多くの食材を調理加工した後に摂取しているが、調理加工等により食品中カロテノイドがどのように変化するかについては、総カロテノイド量を検討した例は数多く報告されているものの、含有カロテノイドの構造・機能性変化について、化合物ごとに個別に詳細検討を行った例はごく一部の野菜や果物、魚類を除いてほとんど存在しない。

私たちは多くの食品を加熱などにより調理した後に体内に摂取している。私たちの体内に摂取される際に食品に含有されるカロテノイドがどのような組成で、どのくらいの強度の生理作用を有するかを詳細に検討することは、私たちの健康の維持増進にとって有用な成分をより効率的に摂取するための重要な知見となると考えている。

2. 研究の目的

本研究は、(1)食材に含有される微量カロテノイドの詳細分析、(2)食材に含有されるカロテノイドの構造・機能性が調理加工により受ける影響の解明、の2種の研究を並行して実施することにより、食品に含有されるカロテノイドの真の組成と量を網羅的に明らかとすると同時に、我々が実際に食品を摂取する際にそれらのカロテノイドがどのような構造・機能性を有するかの基礎的知見を得ることを目的として実施した。

3. 研究の方法

試料は一般的に市場に出回っている「紅まさり」などの 6 種のサツマイモ（甘藷, *Ipomoea batatas*) を用いた。

(1) サツマイモに含有されるカロテノイドの詳細な検討

サツマイモの皮と中心部分を除去後、フードプロセッサーで破碎した。ここに有機溶媒を加えてカロテノイドを抽出し、溶媒分画後、HPLC 分析を行い、含有カロテノイドの同定を行った。

(2) サツマイモに含有されるカロテノイドの調理による変化の検討

紅まさりを 1.5 cm 角にカットして 7 種の方法（焼き調理、蒸し調理、揚げ調理、茹で調理、電子レンジ調理、天日干し、真空調理）で調理し、得られた試料に有機溶媒を加えてカロテノイドを抽出した。抽出物を溶媒分画後、高速液体クロマトグラフィー（HPLC）分析を行い、未調理試料の組成との違いを比較検討した。

(3) 加熱調理がサツマイモに含有されるカロテノイドの抗酸化作用に与える影響の検討

(2)の研究で得られたカロテノイド抽出物を試料として一重項酸素 (1O_2) 消去活性試験を行った。カロテノイドは、光エネルギーにより発生する活性酸素の一種である 1O_2 の消去作用が特に優れていることが知られている。試験管にメチレンブルー、リノール酸、エタノール、カロテノイド抽出物を加えて攪拌した後、蛍光灯で光を照射した。3 時間後、吸光度 (Abs₂₃₅) を測定し、カロテノイド添加なしの試験液 (100%) と比較して 1O_2 消去率を求めた。

(4) 下処理時の浸漬溶液によるサツマイモの含有カロテノイドの変化

紅まさりを 1.5 cm 角にカットし、各種浸漬溶液{ 食酢、重曹水、水道水、5%・100%酢酸、酢酸アンモニウム緩衝液 (pH 3~6)、ミョウバン水 (0.25%~0.50%, pH3.5~4.0)} に一定時間浸漬した後、有機溶媒を用いてカロテノイドを抽出し、HPLC で分析した。

4. 研究成果

(1) サツマイモに含有されるカロテノイドの詳細な検討

試料としたサツマイモから抽出したカロテノイドを HPLC 分析した結果、 β -carotene や Lutein など植物性食品に多く含まれるカロテノイドの他に、多種多様な hydroxyl 体や epoxide 体を 13 種類確認した。これらは 2007 年に眞岡ら¹⁾によって報告された紅まさりに含有されるカロテノイドの構造と同様であった。本研究では紅まさり以外にも 5 種類のサツマイモについて含有カロテノイドを分析した。その結果、これら 6 種類のサツマイモは、含有率こそ異なるものの、含有されるカロテノイドの構造は同様であることが明らかとなった (図 2)。

¹⁾Maoka. et.al. *Phytochemistry*. 2007 Jul;68(13):1740-5. Epub 2007 Apr 26.

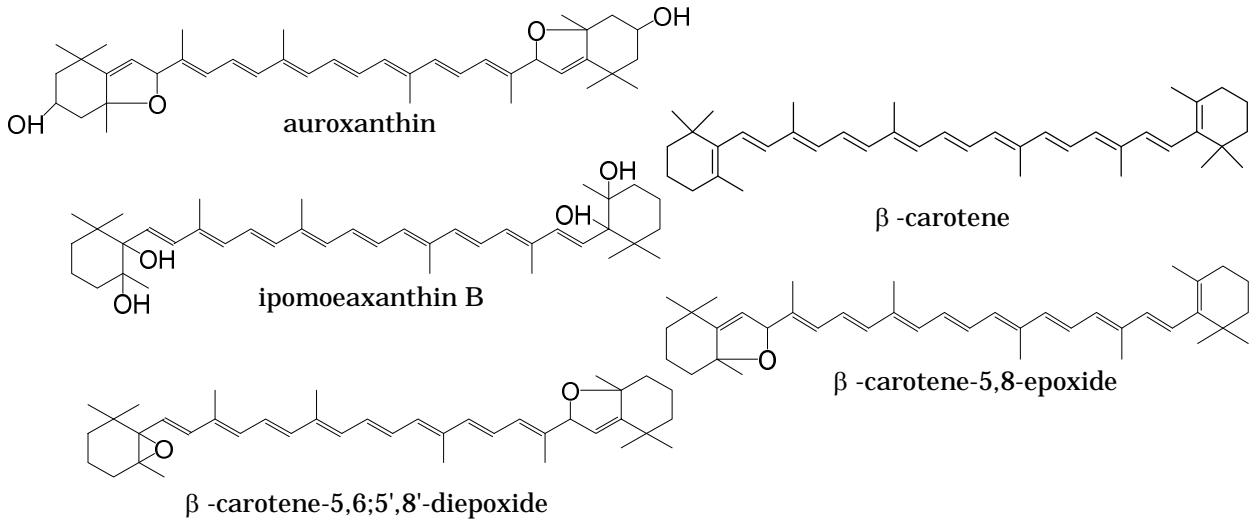


図2 紅まさりに含有されるカロテノイドの構造例

(2) サツマイモに含有されるカロテノイドの調理による変化の検討

調理による総カロテノイド量の減少率には、調理手法により大きな差が観察され、電子レンジ調理、揚げ調理、干しいも(天日干し)、真空調理で特に減少した。化合物ごとの変化については hydroxyl 体のカロテノイドが未調理試料と比較して減少傾向であり、焼き調理、揚げ調理、電子レンジ調理、干しいも(天日干し)で有意に減少した。一方で、これらの試料は4種の epoxide 体カロテノイドの含有比率が増加傾向を示した。

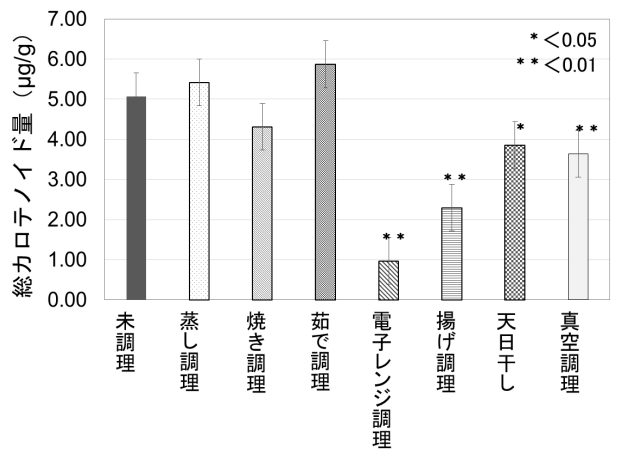


図3 紅まさりの加熱調理による総カロ

ロテノイド量の変化

(3) 加熱調理がサツマイモに含有されるカロテノイドの抗酸化作用に与える影響の検討

1 mL 試験液中で 1O_2 によるリノール酸酸化を 50% 抑制するサツマイモ量 (IC_{50}) (g/mL) を算出して比較した。その結果、加熱調理の方法によりサツマイモ(紅まさり)の 1O_2 消去作用に及ぼす影響が異なることが明らかとなった(表1)。

電子レンジ調理、天日干し、真空調理は調理後の総カロテノイド量が減少し、 1O_2 消去作用も有意に低くなった。構造内に共役二重結合を 9 以上有するカロテノイドは 1O_2 消去作用が極めて高いことが明らかとなっている。電子レンジ調理は 1O_2 消去作用が弱い共役二重結合数 7 と 8 のカロテノイドの割合が他の試料より高くなるため、 1O_2 消去作用が最も弱くなったと考えている。

表1 紅まさり加熱調理後の総カロテノイド量と一重項酸素除去能

	総カロテノイド量 ($\mu\text{g/g}$)	IC_{50} (g/mL)
未調理	5.0	5.7
焼き調理	4.3	3.6
蒸し調理	5.4	5.4
揚げ調理	2.3**	1.5
茹で調理	5.9	4.5
電子レンジ調理	1.0**	19.3**
干しいも(天日干)	3.9*	12.8**
真空調理	3.6**	15.3**

IC_{50} : 一重項酸素によるリノール酸の酸化を50%抑制するために必要なサツマイモ量 (g/mL)
数値が小さいほど活性が強い

(* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$)

(4) 下処理時の浸漬溶液によるサツマイモの含有カロテノイドの変化

サツマイモの下処理において、皮をむいて切った後は、あく抜きおよび退色防止のために水道水またはミョウバン水に浸漬することが一般的である。

まず、1.5 cm 角にしたサツマイモ(紅まさり)を食酢(弱酸性)、水道水(中性)、重曹水(弱アルカリ性)に浸漬したところ、食酢に浸漬した試料のみに総カロテノイド量の有意な減少が観察された。そこで、5%および100%食酢を調整し試料を浸漬して経時変化を観察した。その結果、5%食酢と100%食酢に60分以上浸漬すると総カロテノイド量が有意に減少し、epoxide 体カロテノイドの比率が減少すること、酢酸濃度が濃いほど epoxide 体カロテノイドの減少スピードが速いこと、が明らかとなった。次に、酢酸アンモニウム緩衝液(pH 3~6)を作成し試料を浸漬して経時変化を観察したところ、同様に総カロテノイド量は pH の低下に伴い減少傾向を示した。特に pH 3 以下では有意に減少し、epoxide 体カロテノイドの比率が減少することが明らかとなった。

一方で、古来よりサツマイモの下処理時に用いられてきたミョウバン水は pH 3.5~4.0 を示す。そこで異なる濃度の 0.25~0.50% のミョウバン水を用いて上記と同様の浸漬実験および(3)の $^1\text{O}_2$ 除去活性試験を行った。その結果、ミョウバン水は 0.40% までは濃度が濃くなるほど総カロテノイド量が減少したが、0.50% にすると総カロテノイド量の減少を抑制できることが明らかとなった。また、試料に含有されるカロテノイドの組成を調べたところ、0.50% 試料は $^1\text{O}_2$ 除去作用が極めて強い共役二重結合数 9 以上のカロテノイドの残存率が最も高かった。実際に $^1\text{O}_2$ 除去活性も 0.50% は未浸漬試料の次に優れた活性を示した(図4)。

これはミョウバンとの結合によりサツマイモの組織が不溶化し、含有カロテノイドを浸漬液の影響から保護したためと考えられる。0.5% 以上のミョウバン水では酸によるカロテノイドの分解よりもサツマイモの組織不溶化が速く、そのため含有量も $^1\text{O}_2$ 除去作用も保持されたと推察している。調理学の教科書等にはサツマイモの下処理工程として 0.5% ミョウバン水への浸漬が指示されていることが多く、日本で古来より用いられてきたこの手法であれば、未浸漬試料と同等の $^1\text{O}_2$ 除去作用を維持したままサツマイモの色素を安定させることができると証明された。

以上の通り、本研究ではサツマイモについて含有されるカロテノイドとその調理による変化を詳細に分析した。その結果、(1)サツマイモには既知の β -carotene や lutein の他に多様な epoxide 体が含有されていること、(2)加熱調理（焼き調理、蒸し調理、揚げ調理、茹で調理、電子レンジ調理、天日干し、真空調理）により組成が変わり4種の epoxide 体カロテノイドが増加すること、(3)調理時の加熱手法の違いにより、カロテノイド由来の抗酸化活性強度に4倍程度の差が生じること、(4)日本で古来より用いられてきた下処理手法（切さい後にミョウバン水に浸漬）を行うことで、カロテノイドおよびその抗酸化作用の残存率を向上できること、を初めて明らかにすることができた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 1 件)

1. 大澤絢子（代表者）、田代沙紀、原山陽子、森本夏実、「食品の調理とカロテノイド」第36回日本植物細胞分子生物学会シンポジウム、2018年

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕
出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究分担者 なし

(2)研究協力者 なし

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。