

北海道で栽培した紫サツマイモのアントシアニンと カフェ酸誘導体の特性



農研機構 北海道農業研究センター
寒地畑作研究領域 畑作物育種グループ

いしぐろ こうじ
石黒 浩二

はじめに

サツマイモは熱帯・亜熱帯原産の作物であり、世界中の温暖な地域で栽培されている。日本では、九州や関東を中心に商業栽培が行われているが、近年の需要の高まり等から北海道のような冷涼な地域へもサツマイモ栽培が広がりつつある¹⁾。

塊根にアントシアニンを含むサツマイモ（以下、紫サツマイモ）は古くから鹿児島県や沖縄県で栽培されてきたが、1995年に濃紫肉色品種「アヤマラサキ」が育成され、菓子類やデザートに加えて、ペースト、パウダー、ジュース、飲用酢、アルコール飲料、食用色素などの原料として広く利用されるようになった。それ以降、加工用、色素用、食用、焼酎用などの多くの紫サツマイモ品種が育成されている²⁾。紫サツマイモに含まれる色素成分は、主に糖と有機酸がアシル化したペオニジン型およびシアニジン型アントシアニンであり（図1 A）、その比率によってペオニジン優勢型とシアニジン優勢型の品種に大きく分けられる。サツマイモのアントシアニンは耐熱性や耐光性に優れるとともに、多くの生理活性（肝機能改善効果、血圧上昇抑制効果、抗酸化性、抗変異原性、抗糖尿病、抗動脈硬化等）を有することが報告されている³⁾。

サツマイモにはポリフェノール成分であるカフェ酸誘導体（クロロゲン酸、カフェ酸、ジカフェオイルキナ酸）も多く含まれる（図1 B）。これらは、本来病虫害や病原菌からサツマイモを守る働きをしていると考えられており、傷、感染、低温貯蔵などのストレスが加わることにより増加することが知られている。カフェ酸誘導体にも多くの生理活性（抗酸化性、抗変異原性、抗腫瘍活性、抗炎症性、抗HIV活性等）が報告されている³⁾。また、カフェ酸誘導体はアントシアニンの光や熱による退色を抑制することも明らかとなっている⁴⁾。

本報告では、北海道で栽培した紫サツマイモのアントシアニンおよびカフェ酸誘導体の含量や組成について、紫サツマイモの主産地である南九州で栽培したものと比較してその特性を明らかにした研究を紹介し、気象との関連性についても考察する。なお、本研究の詳細は発表論文⁵⁾を参照されたい。

1. アントシアニン含量と組成の栽培地比較

北海道（北海道農業研究センター芽室拠点）と南九州（九州沖縄農業研究センター都城拠点）で栽培した紫サツマイモ「ムラ

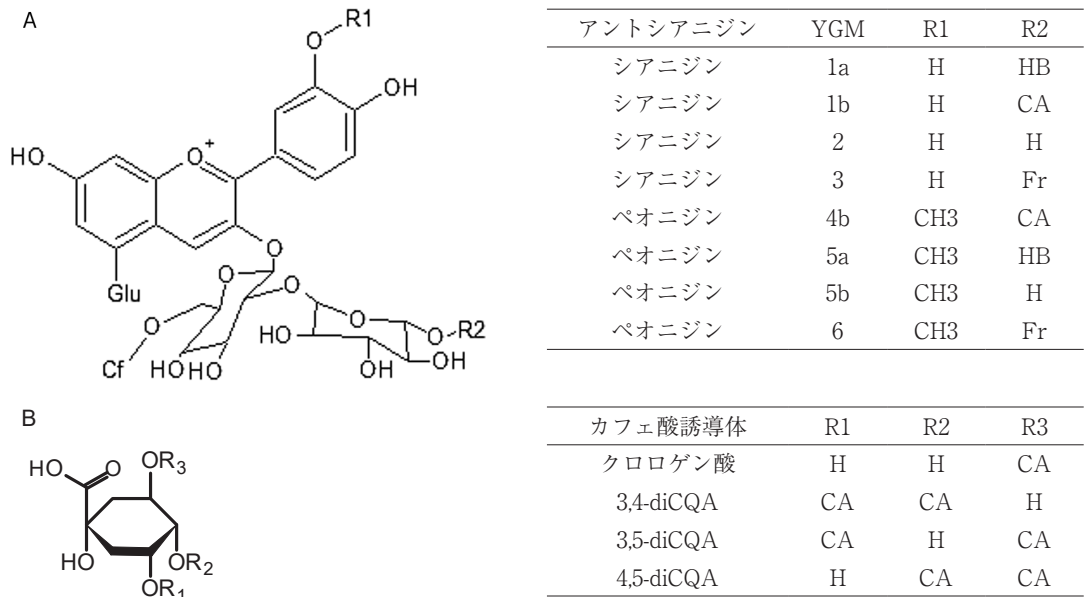


図1 サツマイモに含まれるアントシアニンとカフェ酸誘導体
Glu、グルコース；HB、p-ヒドロキシ安息香酸；CA、カフェ酸；Fr、フェルラ酸。3,4-diCQA、3,4-O-ジカフェオイルキナ酸；3,5-diCQA、3,5-O-ジカフェオイルキナ酸；4,5-diCQA、4,5-O-ジカフェオイルキナ酸。

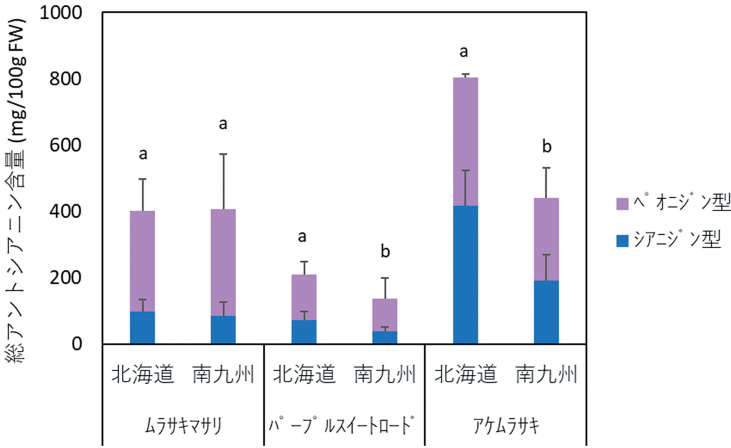


図2 北海道と南九州で栽培した紫サツマイモの総アントシアニン含量の地域比較
異なるアルファベットは同一品種の地域間で有意差あり (P<0.01)。

サキマサリ」(色素原料用、焼酎原料用)、「パープルスイートロード」(食用)および「アケムラサキ」(色素原料用)のアントシアニン含量と組成を2年間評価・比較した。総アントシアニン含量の平均は、「パープルスイートロード」および「アケムラサキ」では北海道産が南九州産よりそれぞれ1.6

倍および1.8倍高かった。一方、「ムラサキマサリ」では地域間の有意差は認められなかった(図2)。

アントシアニンの型(アグリコン)毎の含量を見ると、「パープルスイートロード」および「アケムラサキ」のシアニン型アントシアニン含量は、両品種とも北海道産

が南九州産の2.2倍、ペオニジン型アントシアニン含量は1.5倍高かった。一方、地域間で総含量の有意差がなかった「ムラサキマサリ」のシアニジン型アントシアニン含量は、北海道産が南九州産より1.1倍高く、ペオニジン型アントシアニン含量は1.1倍低かった。

以上より、紫サツマイモの総アントシアニン含量は同一品種でも地域によって異なり、北海道での栽培において高くなる傾向が見られた。特に、ペオニジン型／シアニジン型比が低い品種（「アケムラサキ」、「パープルスイートロード」）でその傾向は顕著となることが示唆された。また、北海道ではシアニジン型アントシアニンの方がより高含量となり、ペオニジン型／シアニジン型比が低くなる傾向が見られた。

2. カフェ酸誘導体含量と組成の栽培地比較

紫サツマイモに含まれるカフェ酸誘導体（クロロゲン酸、カフェ酸、3,4-*O*-ジカフェ

オイルキナ酸、3,5-*O*-ジカフェオイルキナ酸、4,5-*O*-ジカフェオイルキナ酸）の総含量の平均は、北海道産が南九州産より「ムラサキマサリ」で3.3倍、「パープルスイートロード」で2.2倍、「アケムラサキ」で7.5倍高かった（図3）。

このうち、一部を除いた全てのカフェ酸誘導体の含量が、北海道産で有意に高かった。また、クロロゲン酸と3,5-*O*-ジカフェオイルキナ酸が全ての品種、地域で主要な成分であったが、両成分の全カフェ酸誘導体に対する含量比は品種間でやや異なり、地域間でもやや異なる傾向を示した。一方、少量成分の3,4-*O*-ジカフェオイルキナ酸および4,5-*O*-ジカフェオイルキナ酸の含量比は、すべての品種で南九州産の方が高かった。以上より、紫サツマイモの総カフェ酸誘導体含量は同一品種でも地域によって大きく異なり、北海道産で顕著に高くなることが明らかとなった。各成分の含量比は品種や地域によってやや異なり、少量成分については北海道産で低い傾向が見られた。

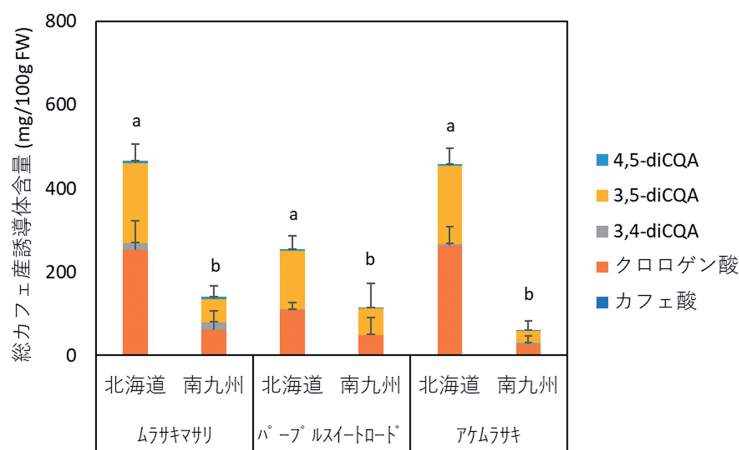


図3 北海道と南九州で栽培した紫サツマイモの総カフェ酸誘導体含量比較
異なるアルファベットは同一品種の地域間で有意差あり ($P<0.01$)。3,4-diCQA、
3,4-*O*-ジカフェオイルキナ酸; 3,5-diCQA、3,5-*O*-ジカフェオイルキナ酸;
4,5-diCQA、4,5-*O*-ジカフェオイルキナ酸。

3. アントシアニンとカフェ酸誘導体の気象条件との関連性

多くの植物において、アントシアニンやポリフェノール含量は温度や光などの環境要因によって影響を受けることが報告されている。本研究では、北海道で栽培した紫サツマイモは、アントシアニンとカフェ酸誘導体含量が南九州で栽培したものより高くなる傾向が示された。また、試験を行った年次間でも両成分含量には有意差が見られ、両地域とも2015年の方が2016年より高い傾向を示した。栽培地の気象条件を比較すると、栽培期間の降水量、日照時間、気温は両年とも北海道の方が九州より低かった。また、両地域とも2015年の方が2016年より気温が低く（北海道では特に生育期後半）、積算温度も低かった（表1）。このことから、アントシアニンとカフェ酸誘導体含量は、特に気温によって大きな影響を受け、低温地域および低温年ほど高くなることが示唆された。

アントシアニンの組成も地域によって異なる傾向を示した。サツマイモの細胞培養

を用いた研究において、ペオニジン型／シアニジン型比は温度によって影響を受けることが報告されている。つまり、低温（15℃）ではペオニジン型アントシアニンの生成が抑制される。また、ペオニジン型アントシアニンは、シアニジン型アントシアニンがメチル化されることにより生成するが、メチル化は高温（25-30℃）で起こりやすい。本研究において、ペオニジン型／シアニジン型比が北海道産より南九州産の方が高かったことは、高温によりメチル化が進みペオニジン型アントシアニンが増えたことが考えられる。アントシアニンの組成が異なると、色調も異なる。シアニジン型アントシアニンは青味が強く、ペオニジン型アントシアニンは赤みが強い⁶⁾。よって、同一品種でも異なる地域で栽培されたものは色調が異なる可能性があるため、色素や加工原料として利用する際には留意する必要がある。

アントシアニンとカフェ酸誘導体は、フェニルプロパノイド経路から分岐した経路でそれぞれ生成する（図4）。サツマイ

表1 栽培地の気象データ

栽培地	月/年	降水量 (mm)		平均気温 (°C)		最高気温 (°C)		最低気温 (°C)		日照時間 (hr)		積算温度 (°C)	
		2015	2016	2015	2016	2015	2016	2015	2016	2015	2016	2015	2016
北海道 芽室町	6月	29	180	15	14	20	18	10	10	126	109	378	394
	7月	56	135	20	18	27	23	15	15	188	91	627	558
	8月	119	419	20	22	25	27	16	18	118	126	606	676
	9月	112	138	16	17	21	22	11	12	155	120	471	500
	10月	8	14	12	14	18	21	5	8	32	31	61	57
	合計/平均*	323	884	16	17	22	22	11	13	618	478	2144	2185
宮崎県 都城市	5月	30	99	21	21	27	27	15	17	67	113	228	160
	6月	1095	855	22	23	25	27	19	20	61	80	644	697
	7月	567	648	25	27	30	32	22	23	123	165	786	834
	8月	378	117	27	28	32	34	23	24	182	223	828	860
	9月	161	531	23	26	29	31	20	22	146	129	700	767
	10月	12	34	20	26	27	31	14	23	64	21	158	130
	合計/平均*	2241	2282	23	25	28	30	19	22	641	730	3344	3448

各栽培地における紫サツマイモ栽培期間のアメダスデータを引用。栽培地：北海道芽室町（北緯42度92分、東経143度04分）、宮崎県都城市（北緯31度72分、東経131度03分）。*降水量、日照時間および積算温度は合計値。平均気温、最高気温および最低気温は平均値。

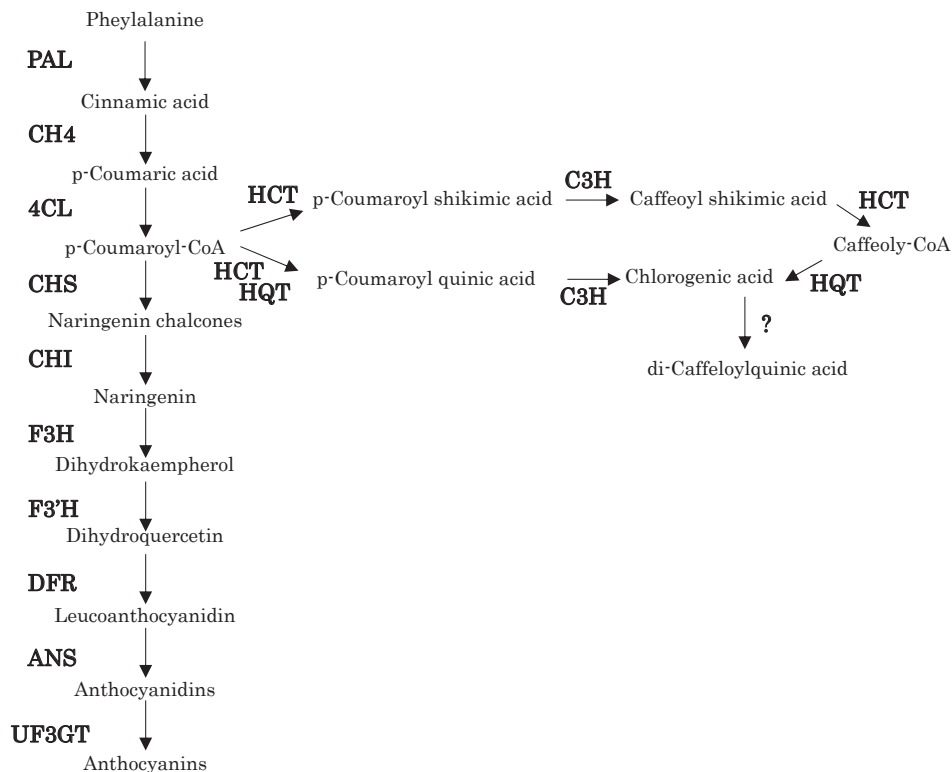


図4 フェニルプロパノイド経路、アントシアニン合成経路およびクロロゲン酸合成経路
 PAL: phenyl alanine ammonia lyase; C4H: cinnamate 4-hydroxylase; CHS: chalcone synthase;
 CHI: chalcone isomerase; F3H: flavonone-3-hydroxylase; UF3GT: UDP glucose: flavonoid-
 3-O-glucosyltransferase; DFR: dihydroflavonol reductase; ANS: anthocyanidin synthase;
 HQT: hydroxycinnamoyl-CoA:quinic acid hydroxycinnamoyl transferase; HCT: hydroxycinnamoyl-
 CoA:shikimate/quinic acid hydroxycinnamoyl transferase; C3H: p-coumarate-3'-hydroxylase

モ塊根では、アントシアニンの蓄積は IbMYB1 (MYB-domain-containing transcription factor) によって調節されている。IbMYB1形質転換サツマイモでは、アントシアニン含量が増加し、フェニルプロパノイド経路あるいはアントシアニン合成に関連する酵素遺伝子 (PAL、CH4、CHS、CHI、F3H、UF3GT、DFR、ANS) の発現が増加した。また、プロアントシアニジンと総ポリフェノール含量も増加した⁷⁾。イチゴの研究では、MYBとアントシアニン合成遺伝子DFR、ANS、UF3GTの発現が高温で有意に低下した。

トウモロコシの研究では、低温ストレスはPAL、4CLおよびCHS、CHIの転写物を増加した。本研究では、紫サツマイモにおいて、フェニルプロパノイド経路、それに続くアントシアニンおよびカフェ酸誘導体経路に関わる遺伝子が、北海道あるいは低温年という低温条件で、より高く発現した可能性がある。しかし、「ムラサキマサリ」ではカフェ酸誘導体含量は地域間で差異が見られたが、アントシアニン含量の地域間差は認められなかった。よって、これらの遺伝子発現の温度感受性は品種によって異なることが予想される。今後は、紫サツマ

イモにおいて、フェニルプロパノイド経路、アントシアニン生合成経路およびカフェ酸誘導体合成経路に関わる遺伝子の温度および品種による発現の相違を検討する必要がある。

クロロゲン酸はp-coumaroyl-CoAから合成酵素(HQTまたはHCTとC3H)によって生成される⁸⁾(図4)。ジカフェオイルキナ酸の合成経路の詳細は明らかになっていない。本研究では、3,4-O-ジカフェオイルキナ酸および4,5-O-ジカフェオイルキナ酸は、温度が高い地域と年次で高い比率となった。このことは、ジカフェオイルキナ酸の生成に関わる酵素活性が、高温で高まる可能性を示唆しており、カフェ酸誘導体蓄積機構解明の一助となることが期待される。

4. おわりに

これまで色素原料用の紫サツマイモは主に南九州地域で栽培されてきたが、北海道のような寒地でも天然色素原料用の新たな栽培地となりうることが示された。また、カフェ酸誘導体はアントシアニンの退色を防ぐ効果があることから、北海道産紫サツマイモ抽出液は、熱や光に対してより安定となる可能性がある。「パープルスイートロード」のような食用品種も、アントシアニンとカフェ酸誘導体の増加により、機能性効果がさらに発揮されることが期待できる。

今後、北海道のような寒地において、紫サツマイモの商業栽培を行うためには、寒地適応性のある新品種開発が必須である。近年、北海道でも収量性が高い寒地適応性品種「あかねみのり」⁹⁾(干し芋等加工用)

や「ゆきこまち」¹⁰⁾(食用)が開発され、北海道での産地形成が期待されている。現在、寒地適応性のある紫サツマイモも開発中であり、色素含量および機能性成分含量が高い品種開発を目指している。加工用や食用に続く、新たな寒地向け品種の開発により、寒地でもサツマイモ栽培が広がり、供給不足の解消や輸出の促進等を通じ、サツマイモの振興に貢献できれば何よりである。

引用文献

- (1) 高濱雅幹(2014)北海道におけるサツマイモの生産と試験研究の現状. いも類振興情報、120:38-42.
- (2) アントシアニンと食品—アントシアニン含有食品の加工利用特性と機能性— 第4章アントシアニン含有食品. 3. いも類(1)サツマイモ. 建帛社.
- (3) Tanaka, M., K. Ishiguro, T. Oki, S. Okuno (2017) Functional components in sweetpotato and their genetic improvement. *Breeding Science*, 67 (1):52-61.
- (4) アントシアニン系色素用退色防止剤及びそれを含有する食品. 特許第4013017号.
- (5) Ishiguro, K., T. Kuranouchi, Y. Kai, K. Katayama (2022) Comparison of anthocyanin and polyphenolics in purple sweetpotato (*Ipomoea batatas* Lam.) grown in different locations in Japan. *Plant Production Science*, 25 (1):84-94.
- (6) Yoshinaga, M., O. Yamakawa, M. Nakatani (1999) Genotypic diversity

-
- of anthocyanin content and composisiton in purple-fleshed sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam). *Breeding Science*, 49:43-47.
- (7) Park, S. C., Kim, Y. H., Kim, S. H., Jeong, Y. J., Kim, C. Y., Lee, J. S., Bae, J. Y., Ahn, M. J., Jeong, J. C., Lee, H. S., & Kwak, S. S. (2015). Overexpression of the *IbMYB1* gene in an orange-fleshed sweet potato cultivar produces a dual-pigmented transgenic sweet potato with improved antioxidant activity. *Physiologia Plantarum*, 153 (4), 525-537.
- (8) Valiñas, M. A., Lanteri, M. L., Have, A. T., & Andreu, A. B. (2017). Chlorogenic acid, anthocyanin and flavan-3-ol biosynthesis in flesh and skin of Andean potato tubers (*Solanum tuberosum* subsp. *Andigena*). *Food Chemistry*, 229, 837-846
- (9) オレンジ色の加工用サツマイモ新品種「あかねみのり」と「ほしあかね」－カロテンを含み、外観の良い製品が加工できます－. 農研機構プレスリリース. 2020.10.20. https://www.naro.go.jp/publicity_report/press/laboratory/nics/137043.html
- (10) 冷涼な地域でも収量がとれるホクホクおいしいサツマイモ新品種「ゆきこまち」－サツマイモの生産拡大のために－. 農研機構プレスリリース. 2022.1.27. https://www.naro.go.jp/publicity_report/press/laboratory/carc/150187.html