サツマイモの表皮色および表皮に含まれるアントシアニンの 生育中と貯蔵中における変化

宮崎 丈史

千葉県農業試験場 266 千葉市緑区大膳野町 808

Changes in Surface Color and Anthocyanins in the Periderm of Sweet Potato
(*Ipomoea batatas* L.) Cultivars During Growth and Storage.

Takeshi Miyazaki

Chiba Agricultural Experiment Station, Daizenno, Chiba 266

Summary

Comparisons of surface color and anthocyanin composition in the periderm of four sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) cultivars revealed that each was characteristically different.

1. 'Beniazuma' had the deepest red surface color and the anthocyanins were mostly non-acylated peonidin glycoside. On the contrary, the anthocyanins in 'Beniaka' periderm were mostly acylated and consisted of nearly 25% cyanidin glycoside.

2. During the growth and development of sweet potatoes, two anthocyanins in the periderm, peonidin-3GG (glucosylglucoside)-5G (glucoside) and *p*-hydroxybenzoyl-peonidin-3GG-5G increased significantly; whereas, the concentrations of those with cinnamic acid derivatives remained nearly constant.

3. The absorbance at 525 nm of HCl-methanolic extracts of the periderm decreased by 20 to 30% after storage at 13°C for 6 months; and it decreased during the curing treatment. Wrapping the storage container with polyethylene film (0.03 mm thickness) created an environment with a high humidity, suppressed weight loss, and made the surface color lighter. It seemed that high humidity (ca. 95% RH) was suitable for maintaining the surface color of sweet potatoes during the storage at 13°C.

緒 言

サツマイモは、形状、大きさ、食味とともに、表皮色の良否によって市場評価がなされている。表皮色は濃い鮮紅色であることが望ましいとされているため、青果用サツマイモの栽培はより濃い表皮色をもつ品種や系統に移行している。

サツマイモの多くは秋に収穫され、その後約半年間にわたって貯蔵・出荷される。その間、表皮色はさまざまな影響を受け、全体的に淡色化したり艶を失うだけでなく、斑状の変色なども生じる。これらの変化は直接価格に影響するため、貯蔵中における表皮色の保持はサツマイモの生産・流通にたずさわる者の切実な要望となっている。

サツマイモの表皮色を構成している色素はアントシアニンであり、著者らはその構造をシアニジンとペオニジンの配糖体およびこれらにカフェ酸やフェルラ酸あるいは α -ヒドロキシ安息香酸が結合したものであることを明らかにした(宮崎ら, 1991)。本報告では、サツマイモの品質保持の一環として、生育中および貯蔵中における表皮色とそのアントシアニン組成の変化を調査し、表皮色の保持に適した貯蔵条件などについて検討した。

材料および方法

供試したサツマイモ(塊根)は'紅赤'、'ベニアズマ'、'ベニコマチ'、'紅高系'の4品種である。このうち、'ベニコマチ'と'紅高系'については収穫時における表皮アントシアニンの比較にのみ用いた。

サツマイモは千葉県農業試験場あるいは農家の圃場

で慣行栽培し、5月下旬に苗を植え付けて10月中～下旬に収穫した。各圃場とも土壌は表層腐植質黒ボク土であるが、前作歴や土壌の化学性・物理性などは異なっている。

生育期間中の表皮色の調査は1988年と1989年に行い、‘紅赤’と‘ベニアズマ’を植え付け3か月、4か月および5か月後に各区10株ずつ掘り取って調査した。

貯蔵試験は‘紅赤’と‘ベニアズマ’を用いて1985～1989年に行い、収穫した塊根を落葉より切り離して30 kg用のプラスチックコンテナに入れ、13℃貯蔵庫に保管した。1調査区の貯蔵塊根数は100～250本とした。

表皮色に及ぼす貯蔵処理の影響をキュアリング処理と貯蔵湿度について調査した。キュアリング処理は30℃、約98% (96～100%) の相対湿度 (RH) で7日間行った。貯蔵湿度は包装処理によって変化させ、無包装、ポリシート外包装 (コンテナを積み重ねてブロック単位とし、その全体を厚さ0.03 mmのポリエチレンフィルムで底面のみを開放して包む) およびポリシート内包装 (厚さ0.03 mmのポリエチレンフィルムをコンテナの中に敷き、これに塊根を入れて上部を折り込み、全体を包む) の各区を設けた。包装処理区は塊根の重量減少率を調査するとともに、包装内の湿度を湿度計 (MGCハイグロメーター、三菱瓦斯化学製) で測定した。また、塊根をポリシート内包装処理して20℃に保管するとともに、同様の処理を溝穴貯蔵においても行い、表皮の退色に及ぼす湿度と温度の影響を調査した。

表皮色の調査は、生育中および貯蔵中の実験とも、1調査区当たり9～15本の塊根を用いて3～5反復した。“L”、“a”および“b”値は塊根を洗浄・風乾したのち、色差計 (CR-100、ミノルタカメラ製) によって測定した。また、表皮より色素を抽出し、吸光度の測定とアントシアニン色素の分析を以下のように行

った：打ち抜き器により塊根の表皮から一定の面積 (8 cm²) をサンプリングし、これに1% (V/V) 塩酸-メタノールを加えて磨砕・抽出する。抽出液は100 mlに定容とした後遠心分離し、上澄を得る。上澄液の吸光度は分光光度計 (UV-2100、島津製作所製) を用い、525 nmの波長で測定する。表皮抽出液のアントシアニン色素の分析は、高速液体クロマトグラフィー (HPLC) を用いて前報 (宮崎ら, 1991) と同様の方法で行った。アントシアニン色素はアグリコンおよびアシル化の有無によってグループ化し、クロマトグラムのピーク面積値をそれぞれのグループごとに合計してその割合を求めた。

結 果

1. 表皮アントシアニンの品種間差異

表皮の色調を異にした‘紅赤’、‘ベニアズマ’、‘ベニコマチ’、‘紅高系’の4品種について、表皮抽出液の吸光度とアントシアニン成分を分析した。表皮抽出液の吸光度は、表皮色の濃い‘ベニアズマ’が約1.0と最も高く、他の品種はおおむね0.3～0.6の範囲にあった。

アントシアニンは各品種ともほぼ同様な成分を含んでいたが、その組成には差が認められた。第1表に品種毎の組成比を示したが、‘紅赤’はP-6とP-10、‘ベニアズマ’はP-3、‘ベニコマチ’はP-3とP-6、また‘紅高系’はP-11の比率に特徴があった。

成分をアグリコンの種類に分けたものを第1図にまたアシル化の有無別に分けたものを第2図に示した。アグリコン別ではペオニジンがいずれの品種でも多く、75～95%を占めていた。一方、シアニジンは最も多い‘紅赤’でも約25%であり、‘ベニアズマ’では5%程度に過ぎなかった。アシル化アントシアニンは、‘紅赤’では80%以上を占めたが、‘ベニアズマ’では40%と少なかった。

2. 生育中における変化

Table 1. Anthocyanin composition² in the periderm of four sweet potato cultivars.

Cultivars	Proportion of HPLC peak area (%)									
	P-1	P-3	P-4	P-6	P-7	P-8	P-9	P-10	P-11	P-12
Beniaka	6	13	6	22	2	6	6	24	10	3
Beniazuma	4	54	2	20	2	—	1	6	9	—
Benikomachi	5	25	9	27	2	2	1	18	10	—
Benikokei	4	19	2	19	4	2	5	17	19	7

² P-1: cyanidin-3GG(glucosylglucoside)-5G(glucoside), P-3: peonidin-3GG-5G, P-4: *p*-hydroxybenzoyl-cyanidin-3GG-5G, P-6: *p*-hydroxybenzoyl-peonidin-3GG-5G, P-7: feruloyl-peonidin-3GG-5G, P-8: caffeoyl-*p*-hydroxybenzoyl-cyanidin-3GG-5G, P-9: caffeoyl-cyanidin-3GG-5G, P-10: caffeoyl-*p*-hydroxybenzoyl-peonidin-3GG-5G, P-11: caffeoyl-peonidin-3GG-5G, P-12: caffeoyl-feruloyl-peonidin-3GG-5G.

生育中における表皮色の変化は、品種や栽培条件によって異なった。1988年に調査した表皮抽出液の吸光度の変化を第3図に示した。年度や栽培圃場を変えて調査したところ、'ベニアズマ'はほとんどが第3図と同様に生育期間とともに吸光度は高くなったが、'紅赤'では'ベニアズマ'のような傾向は認められなかった。

生育中におけるアントシアニン成分の変化をHPLCクロマトグラムのピークでみると、'紅赤'ではP-3, P-6, P-11が生育とともに漸増し、P-12が減少した。また、最も量的に多いP-10は変化が少なかった。'ベニアズマ'ではP-3の増加が顕著であり、P-6も増加した(第4図)。また、吸光度はHPLC分析によるアントシアニンのピーク面積値の合計と良い比例関係を示した。

3. 貯蔵中の変化

貯蔵中における表皮色の変化を調査した。塊根表皮を色差計を用いて測定したところ、'ベニアズマ'と'紅赤'は貯蔵中に同様の測色値変化を示し、"a"値が減少して"b"値は増加したが"L"値はあまり変化しなかった(第5図)。また、"a"値の減少は収穫直後に

大きかった。

表皮抽出液の吸光度の変化を第6図に示した。吸光度の低下は収穫直後には少なかったが、貯蔵後半にやや多くなった。貯蔵6か月後の表皮抽出液の吸光度は収穫時に比べて2~3割減少したが、'紅赤'の表皮色の淡い系統では減少割合が5割にも達するものがあった。

表皮色は、貯蔵処理によって以下のように変化した。

1) キュアリング処理による影響

表皮色へのキュアリング処理の影響を第2表に示した。キュアリングによって'紅赤'と'ベニアズマ'の表皮抽出液の吸光度は、処理直後に15~20%減少した。ア

Fig. 1. Aglycone proportion of anthocyanins in the periderm of four sweet potato cultivars.

Fig. 2. Proportion of non-acylated to acylated anthocyanins in the periderm of four sweet potato cultivars.

Fig. 3. Changes in the absorbance of the 1% HCl-methanolic extracts of sweet potato periderms during growth and development.

Fig. 4. Changes in the anthocyanin compositions of sweet potato periderms during growth and development.

Fig. 5. Changes in "L", "a", "b" values of sweet potato surface colors during storage at 13°C.

ントシアニン成分毎の変化を見ると、P-6の減少程度はやや小さかったが、各成分とも全体的に減少した。このため、アントシアニン組成比の変化は少なかった。

キュアリング処理区の表皮抽出液の吸光度は、貯蔵中に無処理区とほぼ同様に变化したため、貯蔵6か月後には収穫時に比べて30~40%の減少となった(第6図)。また、6か月貯蔵後のキュアリング処理区のアントシアニン成分は、'ベニアズマ'と'紅赤'の両品種とも、カフェ酸を結合したアシル化アントシアニンの割合が少なくなった(第3表)。

キュアリング処理によって表皮の色調も変化し、'ベニアズマ'や表皮色が濃い系統の'紅赤'ではやや赤みを帯び、表皮色の淡い系統の'紅赤'では明らかに薄くなった。

2) 包装処理による影響

貯蔵中における塊根の環境湿度は包装処理によって異なり、重量減少にも差異が生じた。貯蔵庫をほぼ塊根でいっぱいにした場合の湿度は、無包装区で88~92%、ポリシート外包装区で95%前後、ポリシート内包装区で98%以上となり、貯蔵6か月後の塊根の重量減少率はそれぞれ15%、9%、2%であった。

表皮色は、貯蔵中に重量減少の多い区ほど艶がなくなり暗赤色化した。湿度が高く重量減少のほとんどな

Fig. 6. Changes in the absorbance of the 1% HCl-methanolic extracts of sweet potato periderms during storage at 13°C. Solid and dotted lines represent uncured and cured treatment, respectively. Vertical bars indicate standard deviations.

いポリシート内包装区では、表皮色が収穫時により近い色調を保持していた。しかし、ポリシート内包装区では13°C貯蔵4か月以降になると、塊根表皮に斑状の変色が認められるようになった。斑状の変色は、ポリシート内包装して20°Cに保持すると、一部の塊根では2週間後にも発生が見られた。また、20°C前後の温度で推移した溝穴でのポリシート包装貯蔵では、1か月後に斑状の変色が多発していた。

貯蔵中の'紅赤'の表皮を色差計で測定したところ、第7図のような測色値変化を示した。高湿度条件ほど、"L"値と"a"値は高くなったが"b"値は低く推移した。このため、 $"L" \times "b" / "a"$ 値は貯蔵期間が経過するにつれ、また湿度が低いほど収穫時より離れた値を示した。

包装処理の違いによるアントシアニン成分の変化を第8図に示した。高い湿度のポリシート内包装区では非アシル化アントシアニンであるP-3の割合が多くなり、アシル化アントシアニンであるP-6やP-10の割合は減少した。

考 察

サツマイモの表皮色は市場性評価の大きな要素とな

Table 2. Changes in the absorbance and anthocyanin composition of the extracts^z of sweet potato periderms after curing treatment.

Cultivar	Curing treatment	Absorbance at 525 nm	Proportion of HPLC peak area ^y (%)				
			P-1	P-3	P-6	P-10	P-11
Beniaka	No	0.48	4	15	26	26	9
	Yes	0.39	4	13	29	25	8
Beniazuma	No	0.97	5	56	21	5	10
	Yes	0.84	5	55	22	4	10

^z 1%(v/v) HCl-methanol solution.^y Peaks are the same as those in Table 1.**Table 3.** Anthocyanin composition in the periderm of sweet potato stored at 13°C for 6 months.

Cultivar	Curing treatment	Proportion of HPLC peak area ^z (%)				
		P-1	P-3	P-6	P-10	P-11
Beniaka	No	3	10	23	32	8
	Yes	3	12	31	27	7
Beniazuma	No	3	40	18	9	19
	Yes	3	43	22	4	11

^z Peaks are the same as those in Table 1. **Fig. 7.** Effects of curing or wrapping with 0.03 mm-thick polyethylene film on surface color of 'Beniaka' sweet potatoes stored at 13°C. **Fig. 8.** Effects of wrapping containers with 0.03 mm-thick polyethylene film on anthocyanin compositions in the periderm of two sweet potato cultivars stored at 13°C. Solid and dotted lines represent open-end (bottom end is open) and overall wrapping, respectively.

っているため、品種選抜などにおいても表皮色の占める位置は大きくなっている。しかし、表皮色についての研究は栽培関係でも報告が極めて少ない（金田ら，1975；加藤・中山，1975）。表皮色は同じ苗を用いても栽培条件などによって濃淡が生じるが、表皮色の濃い塊根はデンプン含量も多い傾向が認められた（未発表）。供試した品種中‘ベニアズマ’は濃い表皮色を有し食味もよいため、市場流通においては高い評価を得ている。一方、‘ベニアズマ’に比べて表皮色の淡い‘紅赤’がよい市場評価を得るためには、本報に示した表皮抽出液の吸光度で0.35以上の濃さが必要と考えられた。

色調の異なる4品種の表皮色素を分析したところ、主要なアントシアニンは13成分中の6～8成分であり、それぞれアシル化アントシアニンの組成比などに特徴が見られた。組成比は同一品種であっても生育状態や苗の種類などによってやや変化し、‘紅赤’の選抜系統中表皮色の濃い横山系では在来系に比べてペオニジンの比率が高まった。しかし、表皮のアントシアニン構成は品種によって特徴があるため、これを品種や系統の判別に用いることも可能と思われた。

アシル化アントシアニンを多く含むサツマイモの色素は、その安定性のために食品への応用も注目されつつある（Bassa・Francis, 1987）。塊根表皮のアシル化アントシアニンはカフェ酸や p -ヒドロキシ安息香酸を結合しており、植物色素中に最も多く見いだされる p -クマール酸は含まれていない（宮崎ら，1991）。また、自然界では p -ヒドロキシ安息香酸を結合するアントシアニンは少ない（Asenら，1979；Kondoら，1990）が、サツマイモ表皮色素中にはこれらが多く含まれていることも特徴的である。

表皮色の生育中における変化は‘紅赤’と‘ベニアズマ’では差が認められたが、アントシアニン組成をみるとP-3とP-6（P-3に1分子の p -ヒドロキシ安息香酸が結合）の2成分が両品種に共通して増加した。紫サツマイモの表皮と塊根内部の色素を比較・検討した結果、これらのアントシアニンは塊根内部には存在せずに表皮に局在しており、両者ともカフェ酸を結合していないことが明らかにされている（宮崎ら，1991）。カフェ酸はアントシアニン生合成経路で重要な位置を占めることをKamsteegら（1980）が報告しているが、サツマイモ塊根の生育・肥大期において、その表皮中にカフェ酸を結合したアントシアニンのみるべき増加がないことは注目される。

収穫したサツマイモの貯蔵は、ほとんどが溝穴や貯

蔵庫で行われる。貯蔵庫を用いた貯蔵においては、キュアリング処理や温度・湿度の管理が行われる。貯蔵処理による表皮色の変化を見ると、キュアリング処理によって表皮色は変化したが、‘ベニアズマ’や濃い系統の‘紅赤’では赤味のある色調であったため、評価はそれほど低下しなかった。

一方、包装処理による湿度環境の変化も表皮色に影響を与え、湿度が低いほど表皮色は暗赤色となった。これに対し、湿度が高くなると表皮色はやや淡くなったが、色調はむしろ収穫時に近かった。異なる湿度環境下で貯蔵されたサツマイモの表皮アントシアニンの組成変化を見ると、100%RHに近いポリシート内包装区ではP-3などの非アシル化アントシアニンが多くなった。こうしたことから、湿度環境を異にした際に生じる色調の違いには、色素の量だけではなく組成的な差も影響していると考えられた。

溝穴などに貯蔵されたサツマイモの表皮には、しばしば斑状に茶色あるいは黒褐色の変色が発生する。甚しく変色したサツマイモは価格が半値以下となるため、溝穴貯蔵の多い生産地では大きな問題となっている。また、‘ベニアズマ’を高湿度環境下で4か月以上貯蔵すると、斑状の変色だけでなく表皮そのものに劣化が生じた。貯蔵庫と溝穴での貯蔵による実験から、斑状の変色はサツマイモが100%RHに近い高湿度状態下におかれることによって生じ、高温がこの変化を加速するものと推察された。このため、貯蔵に際して表皮色の変化を防止する観点からは、20℃以上の高温時には高湿度との併存を避け、温度を15℃以下まで低下させた後に95%RH程度の湿度を保つことが適切と考えられた。

摘 要

サツマイモ表皮色と表皮アントシアニンの品種間差異および生育中と貯蔵中における変化について調査し、以下のような結果を得た。

1、サツマイモの表皮色を構成するアントシアニンは、4品種ともペオニジン配糖体が多くシアニジン配糖体は少なかった。また、アシル化アントシアニンは‘紅赤’に多く、‘ベニアズマ’には少なかった。

サツマイモ表皮の1%塩酸-メタノール抽出液の吸光度は色の濃淡とよく一致し、最も濃い‘ベニアズマ’は‘紅赤’などの品種に比べて約2倍の吸光度を有していた。

2、生育中に、表皮特有のアントシアニン成分であるP-3（ペオニジン3-ジグルコシド5-グルコシド）と

P-6 (*p*-ヒドロキシベンゾイルペオニジン 3-ジグルコシド 5-グルコシド)が, '紅赤'および'ベニアズマ'に共通して増加した。

3, 貯蔵中に表皮色は変化し, 貯蔵6か月後には表皮抽出液の吸光度で2~3割減少した。また, 表皮色はキュアリング処理によっても約2割減少した。

貯蔵湿度を100%RH近くに高めると, 表皮色は収穫時に近い色調を保つもののやや淡くなり, 貯蔵4か月以降には一部に斑状の変色なども生じた。このため, 4~6月間の長期貯蔵におけるサツマイモ表皮色の保持には, 13℃で95%RH程度の貯蔵環境が適しているものと考えられた。

謝 辞 本研究の遂行に際し, 終始激励をいただいた千葉県農業試験場流通利用研究室長新堀二千男氏と試料の提供などに協力していただいた同畑作研究室, 土壌肥料研究室および畑作営農研究室の皆様に感謝いたします。

引用文献

- Asen, S., R. N. Stewart and K. H. Norris. 1979. Pelargonidin 3-DI (*p*-hydroxybenzoyl) rutinoside-7-glucoside from flowers of *Campanula*. *Phytochem.* 18 : 1251-1252.
- Bassa, I. A. and F. J. Francis. 1987. Stability of anticyanins from sweet potatoes in a model beverage. *J. Food Sci.* 52 : 1753-1754.
- Kamsteeg, J., J. V. Brederode and G. V. Nigtevecht. 1980. Genetical and biochemical evidence that the hydroxylation pattern of the anthocyanin B-ring in *Silene dioica* is determined at the *p*-coumaroyl-coenzyme A stage. *Phytochem.* 19 : 1459-1462.
- 金田雄二・河森 武・伏見 弘・石上 清・大橋義弘. 1975. 園芸作物の品質と土壌環境に関する研究. (第1報). カンショ'高系14号'の皮色に及ぼす土壌環境の影響について. 静岡農試研報, 22 : 24-31.
- 加藤徹・中山信弘. 1975. サツマイモ塊根の着色に関する研究. 高知大学研報 (農学), 24 : 87-96.
- Kondo, T., K. Oki, K. Yoshida and T. Goto. 1990. Structure of violadelphin, an anthocyanin from violet flower of *Delphinium hybridum*. *Chemistry Letters* : 137-138.
- 宮崎丈史・都築和香子・鈴木建夫. 1991. サツマイモに含まれるアントシアニンの組成と構造について. 園学雑, 60 : 217-224.