

論文の内容の要旨

論文題目 青果用サツマイモの品質特性と貯蔵性
に関する研究

氏 名 宮崎丈史

本研究は、高品質で貯蔵性に優れた青果用サツマイモ（塊根）の生産技術と高品質を保持する貯蔵技術の開発に資するために、その品質特性と塊根の貯蔵性に関する諸要因について検討したものである。

1. サツマイモ塊根の皮色および皮色構成色素とその生育中および貯蔵中における変化

(1) '紅赤' および 'ベニアズマ' の塊根皮部に含まれる主要なアントシアニンは、シアニジン-3-ジグルコシド-5-グルコシド、ペオニジン-3-ジグルコシド-5-グルコシド、*p*-ヒドロキシベンゾイル-シアニジン-3-ジグルコシド-5-グルコシド、*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、カフェオイル-*p*-ヒドロキシベンゾイル-シアニジン-3-ジグルコシド-5-グルコシド、カフェオイル-*p*-ヒドロキシベンゾイル-ペオニジン-3-ジグルコシド-5-グルコシドおよびカフェオイル-ペオニジン-3-ジグルコシド-5-グルコシドであった。

(2) '紅赤'、'ベニアズマ'、'山川紫' および '種子島紫' の塊根皮部には共通したアントシアニンが含まれており、最大で13種類が分離された。

(3) "紫サツマイモ" である '山川紫' と '種子島紫' の塊根内部に含まれ

るアントシアニン、カフェ酸やフェルラ酸の結合したアシル化アントシアニンが大部分を占め、塊根皮部に存在するアントシアニンとは組成を異にしていた。

(4) 塊根皮色を構成するアントシアニンは、'紅赤'、'ベニアズマ'、'ベニコマチ' および '高系14号' の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。

塊根皮部の1%塩酸-メタノール抽出液の吸光度は皮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2~3倍の吸光度を有していた。

(5) 生育中の'紅赤'および'ベニアズマ'の塊根皮部では、2種類のアントシアニン(ペオニジン-3-ジグルコシド-5-グルコシドと*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)が顕著に増加した。

(6) 貯蔵中に皮色は変化した。貯蔵6か月後には皮抽出液の吸光度が2~3割減少した。また、キュアリング処理によって皮抽出液の吸光度は約2割減少した。

(7) 4か月以上の長期貯蔵における塊根皮色の保持には、13°Cで95%RH程度の貯蔵環境が適していると考えられた。貯蔵湿度を100%RH近くに高めると皮色はやや淡くなり、貯蔵4か月以降には一部に斑状の変色なども生じた。

2. サツマイモ塊根の成分に及ぼす貯蔵処理と加熱処理の影響

(1) 収穫時の塊根成分含量は、'紅赤'ではデンプン23~26%、全糖2%、有機酸0.5%であり、'ベニアズマ'ではデンプン27~30%、全糖2%、有機酸1%であった。主要な糖はシュクロースであり、'ベニアズマ'では全糖の90%以上を占めていた。

(2) 収穫直後のキュアリング処理によって両品種のシュクロース含量は約4%に増加した。キュアリング無処理区のシュクロース含量は13°C貯蔵中に1か月後まで徐々に増加して約4%となったが、'紅赤'では貯蔵4か月後より再び増加し貯蔵6か月後には8~10%にも達した。しかし、キュアリング処理区は貯蔵中における糖含量の変化が少なかった。また、'紅赤'では低温での貯蔵ほどシュクロース含量が増大した。

(3) 貯蔵中におけるシュクロース含量の変化は、シュクロースシンターゼの活性変化と関連する傾向が認められた。しかし、シュクロースリン酸シンターゼはシュクロースの増加に関与していないと考えられた。

(4) ポリフィルム包装によってサツマイモ塊根の貯蔵湿度を高めると、貯蔵中の重量減少が抑制されるだけでなく、「紅赤」ではシュクロースや有機酸の変化が少なくなった。

(5) 収穫直後の塊根を加熱することにより、「紅赤」では7%、「ベニアズマ」では14%のマルトースが生成した。加熱によってマルトースへ転換したデンプンの割合は、貯蔵期間の長い塊根ではやや増加した。

(6) 加熱後の「ベニアズマ」のテクスチャーは、収穫時には粉質であるが貯蔵中にやや粘質化する傾向を示した。加熱した塊根のテクスチャーと加熱前の塊根デンプン含量との関連性は認められなかった。

3. サツマイモの塊根タンパク質と貯蔵性との関係

(1) 塊根のタンパク質含量は、「ベニアズマ」と「ベニコマチ」では新鮮重あたり約1%、「紅赤」と「高系14号」では新鮮重あたり約0.4%であった。最も主要なタンパク質は、「紅赤」では24 kDa、他の3品種では22 kDaの分子量を有していた。

(2) 生育中、タンパク質は含量や組成の変化が少なかった。また、貯蔵中にタンパク質含量は、「紅赤」ではやや減少する傾向を示したが「ベニアズマ」では一定の変化を示さなかった。貯蔵中にタンパク質含量の低下した塊根では、それぞれ最も主要なタンパク質の組成比が低下した。

(3) 「ベニアズマ」のタンパク質含量は、収穫時のキュアリング処理によって塊根末端部で減少したが、貯蔵後のキュアリング処理では変化がなかった。また「紅赤」では、収穫時および貯蔵後ともキュアリング処理によるタンパク質の含量および組成変化が少なかった。

(4) キュアリング処理によるタンパク質含量の変化と発芽の有無との関係は明かでなかった。しかし、塊根の糖含量は発芽と関連した変化が認められた。

(5) 塊根のタンパク質含量は、収穫時における10 aあたり茎葉重と「紅赤」では $r=0.67$ 、「ベニアズマ」では $r=0.70$ の相関があり、植物体の10 aあたり窒素含量とは、それぞれ $r=0.94$ 、 $r=0.90$ の高い相関があった。しかし、塊根の皮

色やデンプン含量とは良い相関が認められなかった。

(6) 塊根の新鮮重あたりタンパク質含量と乾物重あたり窒素含量とは、'紅赤' ($r=0.957$)、'ベニアズマ' ($r=0.941$)とも比較的高い正の相関があった。また、乾物重あたりのタンパク質含量と窒素含量とは高い相関 ($r=0.974$)を示した。

(7) タンパク質含量が高い塊根は、貯蔵中の腐敗が少なかった。'紅赤'では0.4%以上、'ベニアズマ'では0.8%以上のタンパク質を含有する塊根は、貯蔵性に優れていると考えられた。また、植物体の10 aあたり窒素含量が'紅赤'では7~9 kg/10a、'ベニアズマ'では11~13 kg/10aであった試験圃場の塊根は、貯蔵後の商品塊根率が高かった。

(8) 茎葉の生育が多く、T/R比が0.8~1.3の範囲にある株から収穫された塊根は、貯蔵中に腐敗が少なく皮色がよく保持された。貯蔵性に優れた塊根を生産するためには、収穫時における茎葉が'紅赤'では2~2.5 t/10a、'ベニアズマ'では約3 t/10a必要と考えられた。

4. 近赤外分光分析法によるサツマイモ塊根成分含量の推定

(1) 塊根試料の水分、タンパク質およびデンプンの含量は、試料の周辺部より中心部を測定した近赤外スペクトルとの相関が高かった。また、各成分含量は $\log(1/R)$ やその1次微分スペクトルより、総じて2次微分スペクトルとの相関が高かった。

(2) 水分含量とデンプン含量は、収穫時と貯蔵後および品種をこみにした全ての試料について、2次微分スペクトルからの推定値と良好な相関(ともに $r=0.962$)があった。しかし、試料を品種ごとに分割しても、相関には明かな改善がなかった。

(3) 収穫時試料の成分は、水分 ($r=0.987$)、デンプン ($r=0.982$) とともにタンパク質 ($r=0.964$) についても、スペクトルからの推定値と分析値の間には良い相関があった。また、糖含量については相関がやや低かった ($r=0.912$) もの、SECは約0.1と小さかった。このため収穫時の塊根は、水分とデンプンだけでなくタンパク質や全糖についても、その含量を近赤外分光分析法によって推定することが可能と考えられた。

青果用サツマイモの品質特性と
貯蔵性に関する研究

宮崎 丈史

②

青果用サツマイモの品質特性と貯蔵性に関する研究

宮崎丈史

目次

緒言	1
第1章 サツマイモ塊根の皮色および皮色構成色素とその生育中 および貯蔵中における変化	6
第1節 塊根に含まれるアントシアニン色素の組成と構造	6
第2節 塊根の皮色と皮色構成色素の生育中および貯蔵中 における変化	26
第2章 サツマイモ塊根の成分に及ぼす貯蔵処理と加熱処理の 影響	48
第3章 サツマイモの塊根タンパク質と貯蔵性との関係	72
第1節 塊根タンパク質の生育中および貯蔵中における 変化	72
第2節 収穫時の生育量および塊根タンパク質含量と 貯蔵性	97
第4章 近赤外分光分析法によるサツマイモ塊根成分含量の 推定	123
総合考察	141
総摘要	152
引用文献	157
謝辞	

緒言

アメリカ大陸の中部赤道地帯を原産とするサツマイモ (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) が日本に渡来したのは17世紀初頭であり、関東地方への伝播は約一世紀後の18世紀前半のこととされている (小林, 1984)。サツマイモが日本に導入されて以来、その栽培が急速に広がった理由として、比較的幅広い土壌適応性や高い生産性があげられる。わが国でも1950年代まで、サツマイモは救荒作物やデンプン生産の主要作物として栽培されてきた。

現在、日本におけるサツマイモ (塊根) の生産量は140万トンであり、そのうち青果用は約4割を占めるにいたっている (農水省畑作振興課, 1991)。青果用サツマイモの主要な生産県は、千葉県と茨城県および早掘りを主体とする西南暖地の各県である。千葉県では、サツマイモは北総地域を中心とした黒ボク土壌畑作地帯での栽培が盛んであり、全野菜・畑作物中第1位 (栽培面積7500ha、生産量17万トン、粗生産額240億円) の基幹作物となっている。また、栽培面積の9割以上が青果用であり、9月から翌年5月までの東京市場における千葉県産サツマイモのシェアは第1位である。

青果用の品種としては、全国的には '高系14号' およびその芽条変異である '紅高系' などの栽培が多いが、千葉県においては 'ベニアズマ' と '紅赤' が主要品種であり、'ベニコマチ' と '紅高系' はそれぞれ1割程度の作付にとどまっている。'ベニアズマ' は1984年に発表された最も新しい品種であるが、皮色と食味の良さで急速に栽培が拡大し、現在では東京市場の中心的な品種となっている。また、'紅赤' は金時と通称されるサツマイモの代表的な品種であり、1898年に埼玉県で '八房' の芽条変異として発見さ

れて以来、それまでの品種にない高品質さのために栽培が広まった。しかし‘紅赤’は、晩生型であることや耐肥性が劣るために篤農的な技術が必要とされたことから、現在では千葉県などでの特産的な栽培にとどまっている。

青果用サツマイモの品質要素は、形、大きさ、外観（皮色）、食味である。これらはそれぞれ、長紡錘形で200～400gの大きさ、障害がなく濃い鮮紅色の外観、そして加熱によって甘く粉質の食味となることが最も好ましいとされている。近年、国内外の情勢変化により、原料デンプン用サツマイモの産地においても青果用品種への切り替えが多くなっている。このため産地間競争が激化し、品質はますます重要視されるようになってきている。

わが国では、サツマイモが青果用の園芸作物として研究され始めた歴史は比較的新しく、1950年代後半の植田らの報告（1959）が早い。アメリカでもサツマイモは園芸作物として位置づけられているが、調理素材として利用されることが多いため、皮色などに対する関心はそれほど高くない。このため、皮色に注目した研究などは少ない。

本研究は、青果用サツマイモ塊根品質中の皮色と食味要因および生育条件や収穫時の塊根特性が貯蔵中における塊根の品質保持に及ぼす影響を解明し、品質と貯蔵性に優れたサツマイモ塊根の生産および流通の発展に資することを目的として行われた。

塊根の皮色は商品性を高める大きな要因となっており、品種選抜においても皮色の濃さが優先的な選抜要因となっている。しかし、皮色を作り出している塊根周皮に含まれる色素については、アントシアニン的一种であるケラシアニンとする報告があるだけである

(中林ら, 1967)。このように、皮色は大きな品質要因であるにも係わらず、これを構成する色素や皮色の变化などについては詳細な検討が行われていない。そこで、本研究の第1章では皮色を構成する色素についての解析を行うとともに、生育中と貯蔵中における皮色および皮色構成色素の変化について検討した。

サツマイモの食味は、わが国のような蒸す、焼く、あるいは揚げるといった、比較的簡単な調理加工においては重要な品質要因である。サツマイモの食味には二つの要素がある。一つは甘さが中心となる味であり、他の一つはテクスチャーである。テクスチャーは含まれる繊維質の程度などとともに、粉質・粘質の及ぼす影響が強い。甘さを左右する糖は収穫時にはほぼ2%前後と一定しているが、貯蔵中や調理加熱後に变化する(Sistrunkら, 1954; 桐剝・久保田, 1976; Picha, 1987; 馬場ら, 1987)。しかし、青果用の主要品種である‘紅赤’と‘ベニアズマ’については、糖およびデンプンの貯蔵や加熱処理による变化あるいは食味への寄与がいまだ明らかにされていない。そこで、本研究では第2章において、これらの品種の炭水化物を中心とした变化を明らかにし、あわせて食味に及ぼす諸要因について検討を加えた。

サツマイモ塊根の多くは、10月に収穫が一斉に行われることや、4月から6月頃までの端境期に価格が高騰することから、目的に応じて様々な方法で貯蔵される。貯蔵中におけるサツマイモ塊根の品質低下の主なもの、腐敗などの変質、野鼠の食害、重量減少などである。このなかで、腐敗防止は貯蔵障害対策の主要なものであるが、これに加えて皮色などの外観保持および塊根内部の変質防止なども重要な課題である。

貯蔵条件は腐敗を防止する観点から、これまでに温度や湿度、あるいは貯蔵前処理としてのキュアリングの方法などが検討されてきた (Ryall・Lipton, 1979)。しかし、青果用のサツマイモについては、腐敗の防止とともに皮色を保持する観点から新たな貯蔵条件の確立が必要となった。そこで著者らは、難貯蔵性とされる‘紅赤’と新品種の‘ベニアズマ’について、湿度条件の改善を中心とした新しい貯蔵条件を提案した (宮崎・新堀, 1991)。

‘紅赤’や‘ベニアズマ’で生じる腐敗のほとんどは、塊根基部や末端部から数 cm 程度の範囲に発生する軟腐様あるいは乾腐様の腐敗であり、サツマイモの病害として恐れられてきた黒斑病は今日ではほとんど認められなくなった。貯蔵中に生じる腐敗の発生には様々な病原菌が関与しており (Taubenhaus, 1923)、青果用のサツマイモについても品種別にそれらに対する抵抗性が報告されている (小川・渡辺, 1988)。しかし、腐敗の発生には病原菌の存在だけでなく、塊根の生理的状态と密接に関係する塊根自身の健全性が大きな要因として関与すると考えられる。

植物の地上部と地下部はそれぞれの状態の変化にともなって物質の移動などを行う (Nooden, 1988) ため、サツマイモにおいても塊根の生理的状态を理解する上で、茎葉部の生育や塊根の収量・成分を把握することが不可欠である。塊根の生理的状态は、皮色や成分にも反映されるが、成分と貯蔵性との関係に言及した報告はほとんどない。

サツマイモの茎葉や塊根の生育状態あるいは塊根の成分含量を知ることにより、サツマイモの貯蔵性を収穫時に予想することが可能となるならば、サツマイモの貯蔵管理や出荷計画を合理的に行うこ

とに寄与できると考えられる。また、高品質で貯蔵性の良い塊根を生産する技術の開発に資することともなる。そこで、本研究では第3章において、茎葉を含めたサツマイモ全体の生育や塊根の成分とりわけタンパク質に着目し、品種ごとの特徴や貯蔵性との関連を検討した。

サツマイモ塊根中のデンプンやタンパク質などの成分を分析することは、品質や貯蔵性を評価する上で欠かせない。しかし、化学分析には熟練と多くの労力を必要とするため、多数のサンプルを短時間で分析することは困難である。近赤外分光分析法はアメリカ農務省のNorrisらによって、農産物の成分を迅速かつ非破壊的に定性・定量する手法として発展させられてきた(Williams・Norris, 1990)。そこで、第4章ではサツマイモ塊根に本法を適用し、塊根の成分含量を簡単な処理で精度よく測定する可能性について検討した。

また総合考察では、第1章から第4章までの結果に基づき、青果用サツマイモの品質特性や貯蔵性について総括的な論議を行った。

なお、本文中においてサツマイモ塊根は、青果物としての側面が強調される場合には、単にサツマイモと表記した。

第1章 サツマイモ塊根の皮色および皮色構成色素とその生育中および貯蔵中における変化

第1節 塊根に含まれるアントシアニン色素の組成と構造

サツマイモ塊根の皮色はその市場評価を高める上での重要な品質要因となっており、皮の鮮やかな赤色はアントシアニンによるものとされている。アントシアニンは近年、天然の着色料として食品への利用が急速に増加しているだけでなく、抗酸化能などを有する機能性物質としての検討も開始されている（都築ら、1991）。

Imbertら（1966）は、サツマイモの茎の赤色色素について調査し、その主要成分をジカフェオイル-シアニジン-3-ジグルコシド-5-グルコシドおよびジカフェオイル-ペオニジン-8-ジグルコシド-5-グルコシドと報告している。一方、内部が紫色のサツマイモ塊根については、津久井ら（1983）によって 'Yen 217' の主要なアントシアニン（カフェオイル-フェルロイル-シアニジン-3-スクロシド-5-キシロシド）が同定されている。しかし、塊根皮色のアントシアニンについての研究は極めて少なく、その構造は明らかにされていない。

そこで、青果用サツマイモの主要品種である '紅赤' と 'ベニアズマ' を用い、塊根皮色を構成しているアントシアニン色素の種類と構造について検討した。また、"紫サツマイモ" の代表的な品種である '山川紫' と '種子島紫' の塊根内部のアントシアニンの分析を行い、これより得られた知見についても考察した。

材料および方法

1. 供試材料

供試材料としたサツマイモ塊根は、千葉県農業試験場の圃場にお

いて慣行栽培された‘紅赤’、‘ベニアズマ’および‘山川紫’と鹿児島物産展から入手した‘種子島紫’である。このうち、塊根内部の色素分析は‘山川紫’と‘種子島紫’について行った。一方、塊根皮部色素の同定には‘紅赤’と‘ベニアズマ’を用い、1989年10月下旬に収穫した塊根約200 kgを剥皮し、得られた新鮮重500 gの皮を試料とした。

2. 高速液体クロマトグラフィー (HPLC) によるアントシアニンの分析

サツマイモ塊根の色素は1% (V/V) 塩酸-メタノールによって変化しないことが知られている (山口, 1988) ので、色素の抽出は本溶媒を用いて行った。抽出した色素溶液は、0.45 μ mのフィルターでろ過後、HPLCで分析した。HPLC (Waters製) は3.9 mm I.D. \times 150 mmの μ Bondasphere C₁₈ (5 μ m) カラム (カラム温度: 35°C) を装着し、移動相をメタノール (A) と7%ギ酸 (B, pH 1.56) の混合液で構成した。流速は1.0 ml/minとし、20分間でリニアグラジエントにより0% Aから50% Aまで変化させ、その後5分間で50% Aから0% Aに戻してそのまま10分間保持した。ピークは525 nmの波長における吸光度で検出した。

既知のアントシアニンとして、シアニジン-3,5-ジグルコシドおよびペオニジン-3,5-ジグルコシド (ともにExtrasynthese製) を分取HPLCで精製して用いた。

3. 色素の抽出・精製

1) 色素の抽出

試料 (‘紅赤’と‘ベニアズマ’塊根の皮) は、0.5% (V/V) 塩酸-メタノールで磨砕抽出した後セライトを敷いたグラスフィルター

でろ過した。ろ液は40℃減圧下でほぼ乾固するまで濃縮後、少量の0.5%塩酸-メタノールを加えた。この濃厚な抽出液に4倍容のジエチルエーテルを加え、一晚0℃に放置した。上澄をデカンテーションにより除去した後、沈殿した粗色素を0.5%塩酸-メタノールで溶解し、以下の精製を行った。

2) 色素の精製

抽出した色素は、以下の順序に従って精製した。

(1) ペーパークロマトグラフィー (PC)

Toyo No.526およびWhatman 3MMのろ紙(40×40 cm)に試料を帯状に線着し、以下の溶媒によって展開した。

BAW 1-ブタノール:酢酸:水=4:1:5 (一晚放置した上層)

iBAW イソブタノール:酢酸:水=8:2:3

BuHCl 1-ブタノール:2N塩酸=1:1 (一晚放置した上層)

1%塩酸 濃塩酸:水=3:97

15%酢酸 酢酸:水=15:85

PCによる精製は、BAW-iBAW-BuHCl-1%塩酸-15%酢酸の順に行った。展開を終了したろ紙は、風乾後に各バンドを切り取り、メタノール:酢酸:水=70:5:25で色素を溶出した。溶出液は減圧乾固後0.5%塩酸-メタノール液で溶解し、別の溶媒によるPCの試料とした。展開は25℃の室内において下降法によって行った。

(2) 分取高速液体クロマトグラフィー (PHPLC)

分取用に配管した600E型HPLC(Waters製)に19 mm I.D.×150 mmの μ Bondasphere C₁₈(5 μ m)カラムを取り付け、525 nmでモニターしながら各画分をフラクションコレクターで分取した。PHPLCの運転は、流速を12 ml/minとした。移動相の構成は前述

のHPLCと同様であるが、35分間で0% Aから50% Aまでのリニア
ーグラジエントを行い、1サンプルの分取を45分で終了した。サン
プルの注入量は70~120 μ lであり、カラム温度は室温(20~25 $^{\circ}$ C)
とした。

(3) 薄層クロマトグラフィー(TLC)

PHPLCで分取した色素画分を、それぞれ厚さ0.5 mmのセルロ
ース薄層板(20 \times 20 cm, Merck製)に試料を線着し、BAWおよび一部
の画分はさらに15%酢酸で展開した。展開終了後風乾した薄層板か
ら色素のバンドをかき取って集め、これをメタノール:酢酸:水=
70:5:25で抽出した。

(4) カラムクロマトグラフィー

メタノールで膨潤させたLH-20(Pharmacia製)を、内径1 cm長さ
30 cmのガラスカラム内に高さ25 cmに充填し、色素液を添加した後
0.1%塩酸-メタノール(流速 0.3 ml/min)で展開して色素の画分
を分取した。

4. 色素構造の解析

カラムクロマトグラフィーまでの精製を行った色素について、以
下の方法によりその構造を解析した。

1) PCによるRf値の測定

Whatman No.1(40 \times 40 cm)ろ紙に色素液を点着し、下降法により4
種類の溶媒(BAW、BuHCl、1%塩酸、15%酢酸)で展開してRf値を測
定した。また、各色素のアグリコンのRf値は酢酸:塩酸:水=30:3:10
(AHW-1)と酢酸:塩酸:水=5:1:5(AHW-2)の溶媒を用いて測定した。

2) 吸収スペクトルの測定

色素液を減圧乾固後、0.01%塩酸-メタノールに溶解して吸収スペ

クトルを測定した。また、無水塩化アルミニウムの5%メタノール溶液をスペクトル測定後のセル内に6滴加えて振り混ぜ、スペクトルの変化を測定した。

3) アルカリ加水分解による分析

武田・林の方法(1980)に準拠し、10%NaOHによる色素の加水分解を行った。分解によって生じた有機酸は以下の方法で同定した。HPLCは、SCR101Hカラム(島津製作所製、7.9 mm I.D.×300 mm)を60℃に保持し、流速 2.0 ml/minでpH 2.20の酸性水(0.05%リン酸)を流した。ピークの検出は254 nmおよび325 nmで行った。PCは、Whatman No.1ろ紙を用い、上昇法で行った。展開溶媒は1%塩酸およびベンゼン:酢酸:水=125:72:3を用いた。また、脱アシル化アントシアニンは、分析用HPLCや酸加水分解などを行って同定した。

4) 過酸化水素分解および酸加水分解による分析

過酸化水素水による分解はChandlerらの方法(1961)、また18%塩酸による分解は武田・林の方法(1980)に準拠して行い、分解によって遊離した糖などを以下のような方法で同定した。HPLCは、バイオシリアミノ5sカラム(Bio-Rad製、4 mm I.D.×250 mm)を40℃に保持し、これにアセトニトリル:水=70:30の移動相を流速1.0 ml/minで流し、ピークを示差屈折計で検出した。PCは、Whatman No.1ろ紙を用い、上昇法で行った。展開溶媒として、1-ブタノール:酢酸:水=4:1:2を用い、アニリンヒドロゲンフタレート液で発色させた。

5) FAB-MSによる分析

JMS-01SG2型質量分析装置(日本電子株式会社製)を用い、グリセ

ロール:チオグリコール=1:1をマトリックスとして色素の分子量を測定した。

6) NMRによる分析

270 MHzのGSX-270型核磁気共鳴装置(日本電子株式会社製)を用い、テトラメチルシラン(TMS)を内部標準として、重水中で色素分子プロトンの核磁気共鳴を測定した。

結果および考察

1. HPLCによるアントシアニンの分離

サツマイモ塊根皮抽出液の代表的なHPLCクロマトグラムを第1-1図に示した。'紅赤'では13種類、'ベニアズマ'では10種類のピークを分離することができたが、量的にはクロマトグラム上のピーク番号3(以下P-3と略記し、他のピークも同様の表記とする)、P-6、P-8、P-10およびP-11などが主要な成分であった。なお、P-2およびP-5は、それぞれシアニジン-3,5-ジグルコシドとペオニジン-3,5-ジグルコシドの既知色素と保持時間が一致した。

塊根内部にアントシアニンを含有する"紫サツマイモ"の一種である'山川紫'と'種子島紫'塊根の皮および内部の色素抽出液のクロマトグラムを第1-2図に示した。両品種とも、皮には'紅赤'と同様なピークを5~8種類含んでいたが、塊根内部には皮に含まれるP-1~P-6までのピークがほとんど認められなかった。また、塊根内部における主要なピークは、'山川紫'ではP-10とP-12、'種子島紫'ではP-8であった。

2. クロマトグラム特性

4種類の溶媒によって展開した各色素成分のRf値を第1-1表に示した。P-1、P-2、P-3およびP-5は、BuHClでのRf値が低か

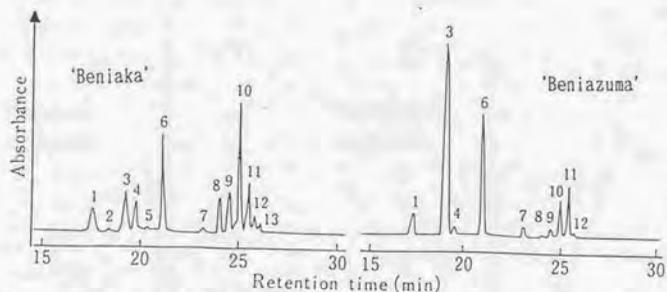


Fig. 1-1. HPLC chromatograms of anthocyanins extracted from root skin of 'Beniaka' and 'Beniazuma' sweet potatoes. Peaks were labeled 1-13. HPLC run on Waters 600E system with 3.9 mm I.D. \times 150 mm stainless-steel column packed with μ Bondasphere C_{18} (5 μ m). The mobile phase comprised of methanol(A) and 7%(V/V) formic acid-water(B, pH1.56), with a linear gradient of 0%A to 50%A in 20 min. Flow rate was 1.0 ml/min, and the detector wavelength was set at 525 nm. the column was maintained at 35°C.

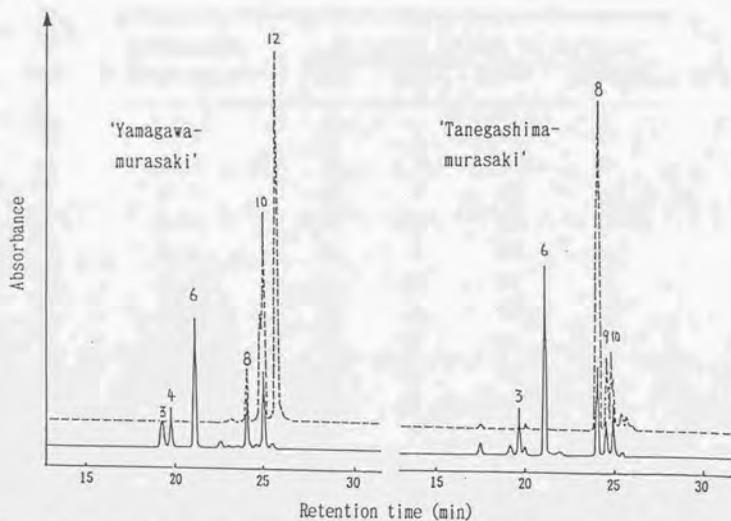


Fig. 1-2. HPLC chromatograms of anthocyanins extracted from root skin(—) and flesh(···) of two sweet potato cultivars. Peak numbers correspond to those in Fig. 1-1. HPLC conditions are shown in Fig. 1-1.

Table 1-1. *Rf* values of anthocyanins isolated from skin of sweet potato roots.

Anthocyanin (Peak no.) ^z	<i>Rf</i> value ^y ($\times 100$) in solvents ^x			
	BAW	BuHCl	1%HCl	15%AcOH
P- 1	6	2	50	84
P- 2	13	3	23	68
P- 3	10	3	53	86
P- 4	14	10	45	79
P- 5	21	5	26	73
P- 6	22	14	50	86
P- 7	21	8	44	82
P- 8	20	18	36	75
P- 9	14	12	44	78
P-10	27	21	37	75
P-11	20	9	43	78
P-12	23	14	32	68
P-13	29	11	17	65

^z Peak numbers are the same as those in Fig. 1-1.

^y Developed by descending method at 25°C.

^x BAW, 1-butanol:acetic acid:water=4:1:5(upper phase);
BuHCl, 1-butanol:2NHCl=1:1(upper phase); 1%HCl,
HCl:water=3:97; 15%AcOH, acetic acid:water=15:85.

ったことから、3位と5位に糖を結合する非アシル化色素であることが推察された。また、P-2とP-5の R_f 値はそれぞれシアニジン-3,5-ジグルコシドとペオニジン-3,5-ジグルコシドの R_f 値と一致した。

各色素成分の加水分解によって生じたアグリコンの R_f 値を調査したところ、P-1、P-2、P-4、P-8およびP-9のアグリコンはシアニジンの R_f 値(AHW-1:0.45、AHW-2:0.33)と、また他の成分のアグリコンはペオニジンの R_f 値(AHW-1:0.62、AHW-2:0.45)とそれぞれ一致した。

3. スペクトル特性

各色素成分の吸収スペクトルの測定結果を第1-2表に示した。全ての成分のスペクトルが522~530 nmに吸収極大を有し、440 nm近傍に吸収を持たなかった。各色素成分の吸収スペクトルを既知のスペクトル(Harborne, 1967)と比較すると、それらは3-モノグリコシドおよび3,7-ジグリコシドとは明かな差異があり、3,5-ジグルコシドのスペクトルに近似していた。

P-1、P-2、P-4、P-8およびP-9の色素溶液は、塩化アルミニウム溶液を添加すると吸収極大が長波長側にシフトしその液色は紫色に変化した。このことから、これらのアグリコンはペオニジンではなくB環の3、4位にOH基を有するシアニジンと推定された(Harborne, 1958)。結合する糖や酸が同じでアグリコンのみが異なると考えられる色素成分を比較すると、シアニジンのアグリコンとする色素成分の吸収極大は、ペオニジンのアグリコンとする色素成分よりも1~4 nm長波長側にあった。

P-7~P-13は330 nm近傍に吸収が認められたことから、ケイ皮

Table 1-2. Spectral characteristics of anthocyanins isolated from skin of sweet potato roots.

Anthocyanin (Peak no.) [*]	λ max. [✓] (nm)	AlCl ₃ shift	$E_{330}/E_{vis,max.}$ ($\times 100$)
P- 1	526	+	
P- 2	526	+	
P- 3	522	-	
P- 4	526	+	
P- 5	525	-	
P- 6	524	-	
P- 7	524	-	48
P- 8	529	+	49
P- 9	529	+	49
P-10	527	-	47
P-11	526	-	49
P-12	529	-	81
P-13	529	-	50

* Peak numbers are the same as those in Fig. 1-1.

✓ 0.01% HCl-methanol solution.

酸誘導体の有機酸が結合していると考えられた (Harborne, 1958)。E₃₃₀/E_{vis. max.}より推定すると、P-12は2分子、その他の成分は1分子の有機酸を結合していた。また、P-4とP-6は250 nm近傍に、P-8とP-10は330 nm以外に250 nm近傍にそれぞれ吸収を有していた。p-ヒドロキシ安息香酸は、255 nmに特徴的な吸収極大を有していることから、これらの成分はp-ヒドロキシ安息香酸を構成成分としていることが示唆された。

4. アルカリ加水分解物の分析

アルカリ加水分解によって色素成分の脱アシル化を行ったところ、P-4、P-8およびP-9からはP-1が、P-6、P-7、P-10、P-11およびP-12からはP-8が生じた。また、P-13からはP-5が生じた (第1-3表)。

アルカリ加水分解によって遊離した有機酸は、HPLC分析における保持時間 (p-ヒドロキシ安息香酸:18.4分、カフェ酸:30.4分、p-クマール酸:45.6分、フェルラ酸:60.8分)、PC (ベンゼン:酢酸:水=125:72:3) のR_f値 (カフェ酸:0.40、p-ヒドロキシ安息香酸:0.77、p-クマール酸:0.84、フェルラ酸:0.92) や紫外線下での蛍光色 (p-クマール酸とp-ヒドロキシ安息香酸は赤紫、カフェ酸とフェルラ酸はうすい青) の一致によって以下のように同定された。P-4およびP-6:p-ヒドロキシ安息香酸、P-7:フェルラ酸、P-8およびP-10:p-ヒドロキシ安息香酸とカフェ酸、P-9、P-11およびP-13:カフェ酸、P-12:カフェ酸とフェルラ酸。

p-ヒドロキシ安息香酸はアントシアニンの結合有機酸としての報告例が比較的少ない。最近、Nozueら (1987) はサツマイモ培養細胞の生産するアントシアニンに、またKondoら (1990) はデルフィニウ

Table 1-3. Alkaline degradation products of anthocyanins isolated from skin of sweet potato roots.

Anthocyanin (Peak no.) ^z	Deacylated moiety	Acylating moiety ^y
P- 1	P-1	
P- 2	P-2	
P- 3	P-3	
P- 4	P-1	<i>p</i> -Hydroxybenzoic acid
P- 5	P-5	
P- 6	P-3	<i>p</i> -Hydroxybenzoic acid
P- 7	P-3	Ferulic acid
P- 8	P-1	Caffeic and <i>p</i> -hydroxybenzoic acid
P- 9	P-1	Caffeic acid
P-10	P-3	Caffeic and <i>p</i> -hydroxybenzoic acid
P-11	P-3	Caffeic acid
P-12	P-3	Caffeic and ferulic acid
P-13	P-5	Caffeic acid

^z Peak numbers are the same as those in Fig. 1-1.

^y Identified by HPLC, PC, and absorption spectra.

ム花弁色素に

-ヒドロキシ安息香酸が含まれていることを報告している。

一方、P-1、P-2、P-3およびP-5からはアルカリ加水分解によって遊離する酸が検出されなかった。このため、これらの色素成分は非アシル化アントシアニンと考えられた。

5. 酸加水分解および過酸化水素分解による結合糖の分析

非アシル化アントシアニンと考えられたP-1、P-2、P-3およびP-5を18%塩酸で加水分解したところ、いずれもグルコースだけが生じた。さらに、P-1とP-3について過酸化水素分解を行い、その分解物をHPLCで分析したところ、分解物主要成分の保持時間(Rt:5.62分)は、単糖類やシュクロース(Rt:4.95分)とは異なり、グルコースの二糖類であるマルトース(Rt:5.64分)あるいはセロビオース(Rt:5.58分)のそれと近似していた。これらの結果と後述するFAB-MSおよびNMRの結果を考慮すると、グルコース分子の結合様式は特定できなかったが、P-1とP-3のアグリコンA環の3位にはジグルコンドが結合していると推定された。

6. FAB-MSスペクトルの解析

FAB-MSによって測定した色素成分の分子イオン質量数(m/z)を第1-4表に示した。分子イオン質量数およびフラグメントイオンの解析から、P-1はシアニジンに3分子のグルコース、P-3はペオニジンに3分子のグルコースが結合したものに相当することが判明した。またP-4とP-6は、それぞれP-1とP-3に

-ヒドロキシ安息香酸(分子量138)が1分子結合し、P-8とP-10はそれぞれP-1とP-3に

-ヒドロキシ安息香酸とカフェ酸(分子量180)が1分子ずつ結合したものに相当した。さらに、

Table 1-4. FAB-MS analysis of anthocyanins isolated from skin of sweet potato roots.

Anthocyanin (Peak no.) ^a	M ⁺ (m/z)
P- 1	773
P- 3	787
P- 4	893
P- 6	907
P- 8	1055
P-10	1069
P-11	949

^a Peak numbers are the same as those in Fig. 1-1.

P-11はP-3にカフェ酸が1分子結合した質量数に相当した。

7. NMRスペクトルの解析

各成分の基本的な構成単位となっているP-1とP-3、これにP-4とP-6を加えた4種類の色素について、プロトンNMRスペクトルを測定した。第1-5表にはP-3とP-6についての解析結果を示した。各成分ともアグリコンのA環およびB環のH-4、H-6、H-8、H-2、H-5およびH-6の6個の水素が観測された。また、*p*-ヒドロキシ安息香酸の4個の環水素は、7.13 ppmと6.33 ppmにそれぞれ2個ずつ出現した。

アグリコンへの糖の結合位置をP-1とP-3について検討したところ、4.5~5.6 ppmに出現する3分子の糖のC-1の水素(H_{C-1})と考えられる3個のシグナルは、それぞれJ=7.5Hzの結合定数を持つ二重線を与えた。アグリコンに結合する糖分子のH_{C-1}のスペクトルは3位および5位と7位とでは異なる(Mabryら, 1970)ことや、アグリコンのH-6とH-8の化学シフトが極めて狭い間隔を示していたことなどから、これらアントシアニンの糖の結合位置は7位ではなく、A環の3位および5位であると考えられた。

3位に結合するジグルコシドの構造を推定するため、4.5 ppm近傍に出現する糖分子のH_{C-1}のスペクトルを検討した。サツマイモと同アサガオ *Ipomoea*属である'Heavenly Blue'のアントシアニン部分構成物(tris-deacyl HBA)は、ペオニジン-3-ジグルコシド-5-グルコシドであり、P-3と同様な構造を有している。Gotoら(1981)はtris-deacyl HBAについて¹H-NMRおよび¹³C-NMRによる解析を行い、その3位に結合する糖をソホロース(グルコース2分子がβ-1,2結合)と同定した。また、Nozueら(1987)はサツマイモ培養細

Table 1-5. ¹H NMR analysis of anthocyanins (P-3 and P-6) isolated from skin of sweet potato roots.

Proton	Chemical shift(ppm) from TMS		
	P-3	P-6	
Aglycone	H-4	8.83(s)	8.66(s)
	H-6	7.00(s)	6.58(s)
	H-8	7.04(s)	6.78(s)
	H-2	7.63(d, J=2Hz)	7.38(s)
	H-5	7.02(d, J=9Hz)	6.72(d, J=9Hz)
	H-6	8.07(dd, J=2, 9Hz)	7.69(d, J=9Hz)
Sugar			
3-Glucosyl	H-1	5.53(d, J=7.5Hz)	5.44(d, J=7.5Hz)
	H-1	4.62(d, J=7.5Hz)	4.87(d, J=7.5Hz)
5-Glucosyl	H-1	5.37(d, J=7.5Hz)	5.22(d, J=7Hz)
<i>p</i> -Hydroxybenzoyl			
	H-2, 6	-	7.13(d, J=8.5Hz)
	H-3, 5	-	6.33(d, J=8.5Hz)

胞の生産するアントシアニンについて検討した結果、脱アシル化アントシアニンの *Rf* 値が tris-deacyl HBA と同一であったことから、アグリコン A 環の 3 位に結合する糖をソホロースと推定した。しかし、本研究で得られた P-3 のスペクトルと tris-deacyl HBA のそれとを比較すると、糖分子の H_{c-1} の出現位置がやや異なっていた。このため、本研究の結果からは 3 位に結合するジグルコシドをソホロシドと同定することはできなかった。また、*p*-ヒドロキシ安息香酸は、P-3 と P-6 のスペクトルの比較から立体化学的な検討を行った結果、3 位のジグルコシドに結合していると推測された。

以上の結果より、サツマイモ塊根の皮から単離された 13 種類のアントシアニンの構造を第 1-6 表のように同定した。

Table 1-6. Structure of anthocyanins isolated from skin of sweet potato roots.

Anthocyanin (Peak no.) ^z	Structure ^y
P- 1	Cyanidin-3GG-5G
P- 2	Cyanidin-3G-5G
P- 3	Peonidin-3GG-5G
P- 4	<i>p</i> -Hydroxybenzoyl-cyanidin-3GG-5G
P- 5	Peonidin-3G-5G
P- 6	<i>p</i> -Hydroxybenzoyl-peonidin-3GG-5G
P- 7	Feruloyl-peonidin-3GG-5G
P- 8	Caffeoyl- <i>p</i> -hydroxybenzoyl-cyanidin-3GG-5G
P- 9	Caffeoyl-cyanidin-3GG-5G
P-10	Caffeoyl- <i>p</i> -hydroxybenzoyl-peonidin-3GG-5G
P-11	Caffeoyl-peonidin-3GG-5G
P-12	Caffeoyl-feruloyl-peonidin-3GG-5G
P-13	Caffeoyl-peonidin-3G-5G

^z Peak numbers are the same as those in Fig. 1-1.

^y GG : glucosylglucoside, G : glucoside.

摘要

サツマイモ '紅赤' および 'ベニアズマ' の塊根皮部より単離したアントシアニンの組成および構造について解析を行うとともに、
"紫サツマイモ"である '山川紫' と '種子島紫' の塊根皮部および塊根内部に含まれるアントシアニン成分の構成について検討を加えた。

1. '紅赤' と 'ベニアズマ' の塊根皮部より単離した主要なアントシアニンは、シアニジン-3-ジグルコシド-5-グルコシド、ペオニジン-3-ジグルコシド-5-グルコシド、*p*-ヒドロキシベンゾイル-シアニジン-3-ジグルコシド-5-グルコシド、*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、*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、カフェオイル-*p*-ヒドロキシベンゾイル-シアニジン-3-ジグルコシド-5-グルコシド、カフェオイル-*p*-ヒドロキシベンゾイル-ペオニジン-3-ジグルコシド-5-グルコシドおよびカフェオイル-ペオニジン-3-ジグルコシド-5-グルコシドであった。

2. '紅赤'、'ベニアズマ'、'山川紫' および '種子島紫' の塊根皮部には共通したアントシアニンが含まれており、最大で13種類が分離された。

3. "紫サツマイモ"である '山川紫' や '種子島紫' の塊根内部に含まれるアントシアニンは、カフェ酸やフェルラ酸の結合したアシル化アントシアニンが大部分を占め、塊根皮部に存在するアントシアニンとは組成を異にしていた。

第2節 塊根の皮色と皮色構成色素の生育中および貯蔵中における変化

サツマイモ塊根は、形状、大きさ、食味とともに、皮色の良否によって市場評価がなされている。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皮色をもつ品種や系統に移行している。サツマイモ塊根の皮色を構成している色素は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 μ -ヒドロキシ安息香酸が結合したアントシアニンであることが明らかにされた（前節；宮崎ら，1991）。

サツマイモ塊根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、塊根の皮色は様々な影響を受け、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。

本節では、サツマイモ塊根の品質保持の一環として、生育中および貯蔵中における皮色とそのアントシアニン組成の変化を調査し、皮色の保持に適した貯蔵条件などを検討した。

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塊根皮部の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透明ポリマルチ栽培した。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

いた。苗は5月下旬に植え付け、塊根は10月中～下旬に収穫した。

生育期間中の塊根皮色の変化は、1989年と1991年に農業試験場および農家の圃場で栽培した‘紅赤’と‘ベニアズマ’について、植え付け3か月、4か月および5か月後にそれぞれ10株ずつ掘り取り、塊根皮抽出液の吸光度を測定した。

塊根皮色に及ぼす貯蔵の影響は、農業試験場および農家の圃場で栽培された‘紅赤’と‘ベニアズマ’を貯蔵して調査した。貯蔵した塊根の皮色は、色差計を用いて塊根表面の“L”、“a”および“b”値を1985年～1987年に2回、塊根皮抽出液の吸光度変化を1987年～1990年に3回、それぞれ調査した。また、塊根周皮部分を薄くはぎ取り、色素の集積などを顕微鏡観察した。

貯蔵は以下のように行った。収穫した塊根は諸梗より切り離して30kg用の網目状のプラスチックコンテナに入れ、13℃貯蔵庫に保管した。貯蔵処理として、キュアリングの有無と3種類の包装処理を設け、塊根皮色に及ぼす影響を調査した。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。また包装処理は、無包装、ポリフィルム外包装（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）およびポリフィルム内包装（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3区とした。各品種とも、1処理区の貯蔵塊根数は100～250本とした。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、皮色の劣化に及ぼす湿度と温度の影響を調査するため、塊根をポリフィルム内包装処理し

て20℃貯蔵庫に保管するとともに、溝穴貯蔵においても溝穴内の塊根をポリフィルムで包んだ。

塊根皮色の調査には、1区あたり9～15本の塊根を用いた。皮からの色素の抽出は、打ち抜き器により塊根の表面から8 cm²の皮部をサンプリングし、これに1% (V/V)塩酸-メタノールを加えて磨砕した。抽出液は100 mlに定容とした後遠心分離し、上澄を得た。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の波長で測定した。皮抽出液の吸光度は、1区あたり3～5反復測定した。また、皮抽出液のアントシアニン色素の分析を、高速液体クロマトグラフィー (HPLC) を用いる方法 (宮崎ら, 1991) 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、それぞれのグループ毎のクロマトグラムのピーク面積合計値の割合を求めた。

塊根表面の“L”、“a”および“b”値は、塊根を洗浄・風乾したのち、その中央部を色差計 (CR-100、ミノルタカメラ製) によって測定した。

結果

1. 塊根皮部アントシアニンの品種間差異

‘紅赤’と‘ベニアズマ’の塊根周皮細胞組織を顕微鏡観察したところ、色素を含む周皮細胞は品種によってやや形が異なり、‘紅赤’は不規則で少し大きな形の、また‘ベニアズマ’は比較的規則的で小さな長方形の細胞であった。皮色の濃さは、色素を含む細胞の数と個々の細胞中への色素の集積度によることが観察された。

‘紅赤’、‘ベニアズマ’、‘ベニコマチ’、‘紅高系’の4品種について、塊根皮抽出液の吸光度とアントシアニン成分を分析し

た。第1-7表には、品種ごとの吸光度とアントシアニン成分の組成比を示した。塊根皮抽出液の吸光度は、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0.3~0.5の範囲にあった。

皮部の色素は各品種ともほぼ同様なアントシアニン成分を含んでいたが、その組成には差が認められた。‘紅赤’はP-6とP-10が多いだけでなく、P-8やP-9などのシアニジン色素が比較的多かった。‘ベニアズマ’は非アシル化アントシアニンであるP-3が5割以上を占め、‘ベニコマチ’はP-3やP-6などのペオニジン色素が多かった。また、‘紅高系’はP-11の割合が高かった。

アントシアニン成分をアグリコンの種類で分けた結果を第1-3図に、またアシル化の有無で分けた結果を第1-4図に示した。アグリコンは4品種ともシアニジンとペオニジンだけであったが、ペオニジンがいずれの品種でも75~95%と多くを占めていた。一方、シアニジンは最も多い‘紅赤’でも約25%であり、最も少ない‘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%以上と多かったが、‘ベニアズマ’では40%と少なく、他の2品種はその中間にあった。

2. 生育中における変化

生育中における‘紅赤’と‘ベニアズマ’塊根の皮色変化を、1989年は1圃場において、また1991年には5圃場において調査した。1991年に調査した1圃場の結果を、塊根皮抽出液の吸光度変化として第1-5図に示した。‘ベニアズマ’では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ず、収穫期にはやや減少した。圃場や年度を異にした場合には、

Table 1-7. Anthocyanin composition in root skin of four marketable sweet potato cultivars.

Cultivar	Absorbance ^z at 525 nm	Percentage of HPLC peak ^y area									
		P-1	P-3	P-4	P-6	P-7	P-8	P-9	P-10	P-11	P-12
Beniaka	0.44	6	13	6	22	2	6	6	24	10	3
Benikomachi	0.30	5	25	9	27	2	2	1	18	10	-
Benikohei	0.29	4	19	2	19	4	2	5	17	19	7
Beniazuma	0.96	4	54	2	20	2	-	1	6	9	-

^z 1%(v/v) HCl-methanol solution.

^y Peak numbers are the same as those Fig. 1-1.

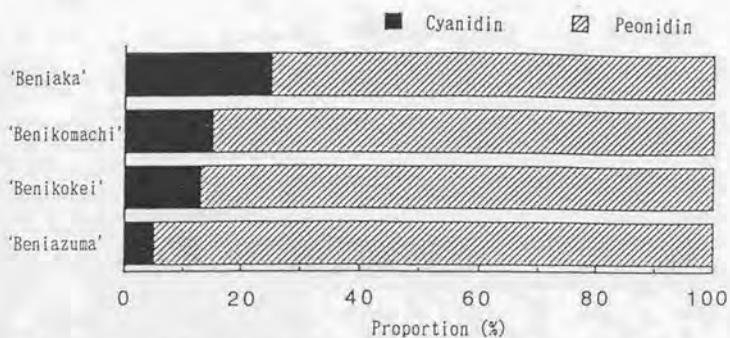


Fig. 1-3. Aglycone proportion of anthocyanins in root skin of four sweet potato cultivars.

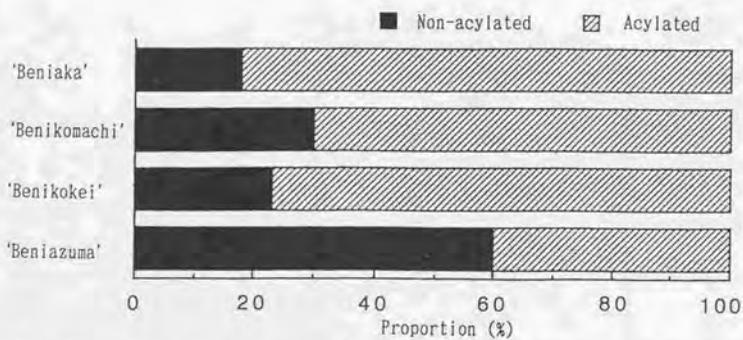


Fig. 1-4. Proportions of non-acylated and acylated anthocyanins in root skin of four sweet potato cultivars.

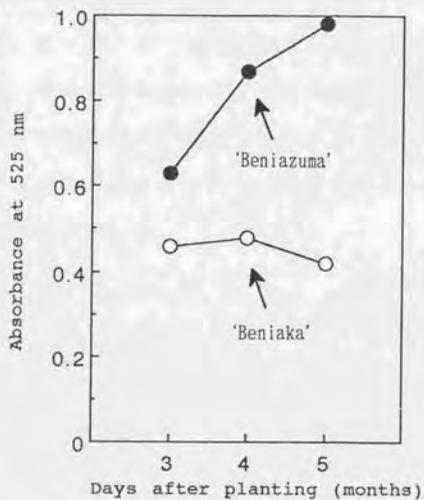


Fig. 1-5. Changes in absorbance of 1% HCl-methanolic extracts of root skin during growth of sweet potatoes.

‘ベニアズマ’はほとんどが第1-5図と同様な変化を示したが、‘紅赤’は収穫期にかけての変化に一定の傾向がみられなかった。生育中におけるアントシアニン成分の変化を、1989年の結果について第1-6図に示した。1989年の塊根皮抽出液の吸光度変化は、第1-5図と同様であった。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。また、吸光度とHPLC分析によるアントシアニンのピーク面積値の合計とは良い比例関係を示した。

3. 貯蔵中の変化

1) 13℃に6か月間貯蔵したキュアリング無処理で無包装の塊根について、塊根表面の“L”、“a”および“b”値と塊根皮抽出液の吸光度変化を調査した。1986年～1987年における測色値の変化を第1-7図に示した。測色値のうち、“a”値は減少して“b”値が増加したが、“L”値はあまり変化しなかった。一方、“a”値の減少は収穫直後に大きかった。また、‘ベニアズマ’と‘紅赤’は貯蔵中に同様の測色値変化を示した。

1988年～1989年における、貯蔵中の塊根皮抽出液の吸光度変化を第1-8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か月後の塊根皮抽出液の吸光度は収穫時に比べて2～3割減少した。

塊根皮色は、貯蔵処理によって以下のように変化した。

2) キュアリング処理による影響

塊根皮色へのキュアリング処理の影響を第1-8表に示した。キュア

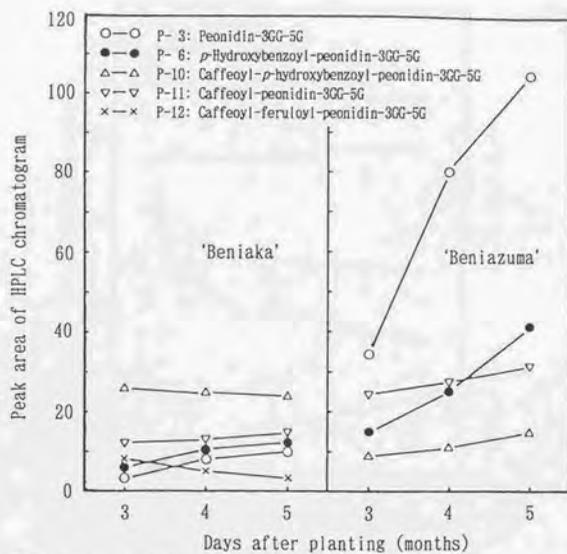


Fig. 1-6. Changes of anthocyanin composition of root skin during growth of sweet potatoes.

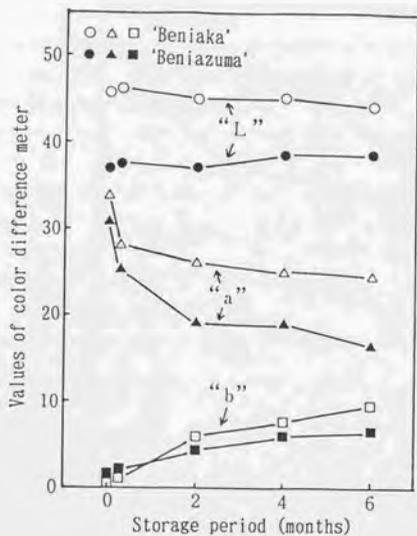


Fig. 1-7. Changes in "L", "a", "b" values for skin color of sweet potato roots during storage at 13°C.

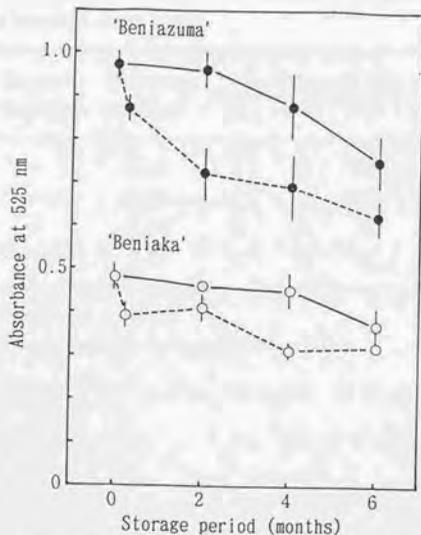


Fig. 1-8. Changes in absorbance of 1% HCl-methanolic extracts of root skin of sweet potatoes during storage at 13°C. Solid and dotted lines represent uncured and cured roots, respectively. Vertical bars indicate standard errors.

Table 1-8. Changes in absorbance and anthocyanin composition of root skin extracts after curing.

Cultivar	Curing treatment	Absorbance ^a at 525nm	Percentage of HPLC peak area ^y				
			P-1	P-3	P-6	P-10	P-11
Beniaka	-	0.48	4	15	26	26	9
	+	0.39	4	13	29	25	8
Beniazuma	-	0.97	5	56	21	5	10
	+	0.84	5	55	22	4	10

^a 1%(v/v) HCl-methanol solution.

^y Peak numbers are the same as those in Fig. 1-1.

リングによって‘紅赤’と‘ベニアズマ’の塊根皮抽出液の吸光度は、処理直後に15～20%減少した。アントシアニン成分のうち、P-6の減少程度はやや小さかった。しかし、各成分とも全体的に減少したため、アントシアニン組成比の変化は少なかった。

キュアリング処理によって、皮の色調は肉眼で認められる変化を示した。濃紫赤色の‘ベニアズマ’や皮色が濃い系統の‘紅赤’では、皮色はやや濃さが減少して赤みを帯びた程度であった。しかし、赤色がうすい‘紅赤’の系統では、皮色はかなり低下した。

キュアリング処理区の塊根皮抽出液の吸光度は、貯蔵中に無処理区とほぼ同様に変化した。貯蔵6か月後の吸光度は、これに収穫直後のキュアリング処理による減少が加わるため、収穫時に比べて30～40%の減少となった(第1-8図)。また、6か月貯蔵後のアントシアニン成分組成比についてみると、第1-9表に示したように、キュアリング処理区では‘ベニアズマ’と‘紅赤’の両品種とも、P-10やP-11といった、カフェ酸を結合したアシル化アントシアニンの割合が無処理区より少なくなった。

3) 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。貯蔵庫で貯蔵した場合の湿度は、無包装区で88～92%、ポリフィルム外包装区で95%前後、ポリフィルム内包装区で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。

塊根皮色は、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いポリフィルム内包装区では、塊根皮色は明るい赤色を保持していた。しかし、13℃貯蔵4

Table 1-9. Anthocyanin composition in skin of sweet potato roots stored at 13°C for 6 months.

Cultivar	Curing treatment	Percentage of HPLC peak ^a area				
		P-1	P-3	P-6	P-10	P-11
Beniaka	-	3	10	23	32	8
	+	3	12	31	27	7
Beniazuma	-	3	40	18	9	19
	+	3	43	22	4	11

^a Peak numbers are the same as those in Fig. 1-1.

か月以降になると、やや赤色が淡くなるとともに塊根皮部に斑状の変色が認められるようになった。斑状の変色は、ポリフィルム内包装して20℃に貯蔵すると、一部の塊根では2週間後にも発生が見られた。また溝穴ポリフィルム内包装貯蔵では、貯蔵開始時から包装内の温度は18~21℃で推移し、1か月後には斑状の変色が多発していた。

貯蔵中の‘紅赤’の塊根皮部を色差計で測定したところ、第1-8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”×“b”/“a”値は貯蔵期間が経過するにつれ、また湿度条件が低いほど収穫時より離れた値となった。

包装処理を異にした‘紅赤’と‘ベニアズマ’塊根皮部の、貯蔵中におけるアントシアニン成分組成比の変化を第1-10図に示した。‘ベニアズマ’では、ポリフィルム外包装区で非アシル化アントシアニンであるP-3の低下が多くなった。このため、ポリフィルム外包装区ではポリフィルム内包装区に比べて、P-3の組成比は低下しP-6やP-10の組成比が高くなった。一方、‘紅赤’のアントシアニン成分組成比は‘ベニアズマ’とほぼ同様な変化を示したが、包装処理の違いによる組成比の差は大きくなかった。

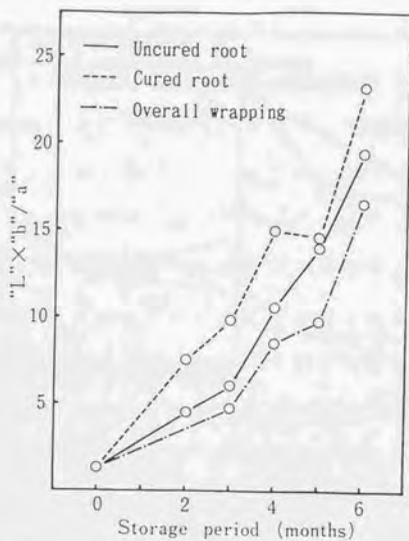


Fig. 1-9. Effects of curing or wrapping with 0.03 mm-thick polyethylene film on skin color of 'Beniaka' sweet potato roots during storage at 13°C.

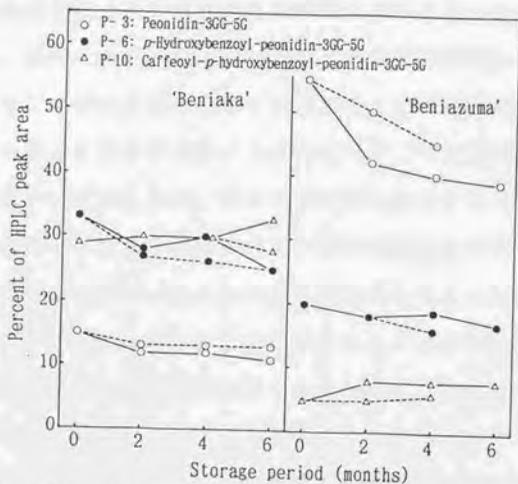


Fig. 1-10. Effects of wrapping containers with 0.03 mm thick polyethylene films on anthocyanin composition in root skin of sweet potatoes stored at 13°C. Solid and dotted lines represent containers left the bottom open and covered the allsides, respectively.

考察

サツマイモ塊根の皮色は市場性評価の大きな要素となっているため、品種選抜などにおいても皮色の占める位置は大きくなっている。しかし、塊根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）。本研究で供試した品種中、'ベニアズマ'は濃い皮色を有しているため、皮色評価は栽培法などの影響をうけることが少ない。これに比べ、'ベニアズマ'ほど皮色の濃くない'紅赤'では、系統や栽培法の違いがただちに皮色評価に影響する。'紅赤'がよい市場評価を得るためには、塊根皮抽出液の吸光度で0.35以上の皮色の濃さが必要と考えられた。

アシル化アントシアニンを多く含むサツマイモ塊根の色素は、安定性があるため食品への応用も注目されつつある（Bassa・Francis, 1987）。塊根皮部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、塊根皮部の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。

色調の異なる4品種の塊根皮部の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系統などによってやや変化したが、塊根皮部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が可能と思われた。

生育中における塊根皮抽出液の吸光度変化は、'紅赤'と'ベニ

アズマ' に差があった。しかし、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 μ -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”塊根の皮部と塊根内部の色素を比較した結果、これらのアントシアニンは塊根内部にはほとんどなく皮部に局在しており、両者ともカフェ酸などのケイ皮酸誘導体を結合していないことが知られている(宮崎ら, 1991)。Kamsteegら(1980)はカフェ酸が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、その皮中にカフェ酸を結合したアントシアニンの見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塊根の貯蔵は、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。キュアリング処理によって、'ベニアズマ'や濃い系統の'紅赤'の塊根皮抽出液の吸光度は減少した。しかし、それらの皮色は赤み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塊根皮色に影響を与え、湿度が低いほど暗赤色となった。これに対し、湿度が高くなると皮色はやや淡くなったが、明るい色調であった。異なる湿度環境下で貯蔵されたサツマイモ塊根皮部のアントシアニンの組成変化を見ると、100%RHに近いポリフィルム内包装区ではP-3などの非アシル化アントシアニンの割合がポリフィルム外包装区より多くなった。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塊根の皮部には、しばしば斑状

に茶色あるいは黒褐色の変色が発生する。甚だ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皮そのものが劣化した。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塊根が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と推察された。このため、温度の調節が十分できない溝穴などの貯蔵において皮色の変化を防止するためには、20℃以上の高温時には高湿度を避け、温度を15℃以下まで低下させた後に湿度を95%RH程度に保つことが適切と考えられた。

摘要

サツマイモ'紅赤'、'ベニアズマ'、'ベニコマチ'および'紅高系'塊根の皮色と皮部アントシアニンの品種間差異や、'紅赤'と'ベニアズマ'塊根皮色の生育中と貯蔵中における変化を調査し、以下のような結果を得た。

1. 塊根の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。

塊根皮部の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2~3倍の吸光度を有していた。

2. 生育中の'紅赤'および'ベニアズマ'の塊根皮部では、2種類のアントシアニン(ペオニジン-3-β-D-グルコシド-5-β-D-グルコシドとp-ヒドロキシベンゾイルペオニジン-3-β-D-グルコシド-5-β-D-グルコシド)の増加が顕著であった。

3. 貯蔵中に塊根皮色は変化した。貯蔵6か月後には皮抽出液の吸光度が収穫時より2～3割減少した。また、皮抽出液の吸光度はキュアリング処理によって約2割減少した。

4. 13℃貯蔵において、95%RH程度の貯蔵湿度は塊根皮色を明るい色調に保ち、斑状変色の発生を抑制した。このため、4か月以上の長期貯蔵における塊根皮色の保持には、13℃で95%RH程度の貯蔵環境が適していると考えられた。

第2章 サツマイモ塊根の成分に及ぼす貯蔵処理と加熱処理の影響

サツマイモは、青果物としてこれまで以上に品質が重視されるようになってきているため、貯蔵中における品質の保持はますます重要となっている。サツマイモの短期貯蔵は溝穴やパイプハウス内での簡易な方法で、また長期貯蔵は溝穴や縦穴あるいは横穴を利用した方法の他に、半地下式貯蔵庫、簡易貯蔵庫、キュアリングも可能な定温貯蔵庫などを利用して行われる。

‘紅赤’と‘ベニアズマ’は外観と食味がよいことから、首都圏に貯蔵出荷される青果用サツマイモの主要品種となっている。しかし近年、貯蔵中における塊根皮色の低下（第1章第2節；宮崎，1992）、腐敗の増加、塊根内部における褐斑の発生（宮崎・猪野，1991）、食味の低下などの問題が顕在化してきた。そこで、これらの変質を防止するために、それぞれの品種に適した貯蔵条件を解明することが望まれている。

サツマイモ塊根の主要な成分である炭水化物は、食味への影響も大きいことから、貯蔵中における変化がいくつかの品種について調査されている（Hopkins・Phillips, 1937；富田，1950；Sistrunkら，1954；Jenkins・Gieger, 1957；中，1962；Picha, 1987）。しかし、これらの研究で対象とした品種はデンプン含量などが‘紅赤’や‘ベニアズマ’とはかなり異なっており、貯蔵湿度の影響などについての調査も少ない。そこで本章では、‘紅赤’と‘ベニアズマ’の品質および貯蔵条件を解明する研究の一環として、成分や加熱後の食味に及ぼすキュアリング処理とその後の貯蔵条件の影響について検討した。

材料および方法

供試したサツマイモ塊根は、千葉県農業試験場畑作営農研究室および土壌肥料研究室の各圃場で透明ポリマルチ栽培された‘紅赤’と‘ベニアズマ’であり、圃場の土壌は表層腐植質黒ボク土であった。5月中下旬に挿苗したサツマイモは10月下旬に掘り取り、塊根を蒔梗より切り離して60×40×30cmの網目状プラスチックコンテナに詰め、3.3~6.8 m²の定温貯蔵庫に入れた。

塊根の炭水化物に及ぼす温度や湿度あるいはキュアリング処理の影響を以下のように調査した。貯蔵温度は11°、13° および15℃の3区を設けた。また、貯蔵湿度の影響は13℃において無包装区とポリフィルム包装区を設けて調査した。無包装区は貯蔵庫内にコンテナをそのまま積み上げ、ポリフィルム包装区はコンテナの内側に厚さ0.03 mmのポリエチレンフィルムを敷き、塊根を入れた後に上部のフィルムを折り込んだ。包装処理区内の湿度はMGCハイグロメーター（三菱瓦斯化学製）で、またガスタイトシリンジでガスを採取し、ガスクロマトグラフ（063型、日立製作所製）でその濃度を測定した。糖の変化にともなうシュクロース合成関連酵素の活性は、13℃に貯蔵した塊根を用いて測定した。キュアリング処理は、収穫した塊根を30℃、96~100%RHに7日間保持した。

加熱によって生じる塊根の成分やテクスチャーの変化を調査するために、300~400 gの塊根を蒸し器を用いて35分間水蒸気加熱した。加熱後の塊根の粉質の程度は4段階で表し、ほぼ全体的に粉質を示したものを4とし、ほとんど粉質を示さなかったものを1とした。

塊根の分析試料調製は以下のように行った。塊根を基部および末端から数 cmのところ厚さ約1 cmの輪切りとし、これらを3個体より集めて1試料分とした。輪切りにして取り出した部分は薄く剝

皮した後、フードカッターで細切・混合して炭水化物含量および酵素活性測定の試料とした。

糖とデンプンを分析するために、試料10 gに80%エタノールを加えて1時間加熱後ホモジナイズし、遠心分離機で分別した。糖を含む上澄部分、ロータリーエバポレーターでエタノールを留去後蒸留水で定容とした。また、デンプンは0.5 N塩酸でグルコースに分解した。分解液は5 N水酸化ナトリウム溶液で中和した後、蒸留水を加えて定容とした。定容液は0.45 μ mのメンブランフィルターでろ過後、高速液体クロマトグラフィー (HPLC) で定量した。HPLCはLC-5A (島津製作所製) にSCR101Nカラム (島津製作所製、7.9 mm I.D. \times 300 mm) を装着して50°Cに保ち、蒸留水を1.0 ml/minで流した。検出は示差屈折計 (RI:ERC-7515A, エルマCR. 製) で行った。デンプン含量は、デンプンが加水分解されて生じたグルコースの測定量に0.9を乗じて求めた。また、マルトースを含む糖の定量は以下のような条件のHPLCで行った。カラム: バイオシルアミノ5S (Bio-Rad製、4 mm I.D. \times 250 mm)、カラム温度: 40°C、移動相: アセトニトリル : 水 = 70 : 30、流量: 1.0 ml/min、検出器: RI。

有機酸は、試料を蒸留水とともにホモジナイズ後定容とした水抽出液を、遠心分離・ろ過後直ちに以下の条件のHPLCで分析した。カラム: SCR101H (島津製作所製、7.9 mm I.D. \times 300 mm)、カラム温度: 60°C、移動相: リン酸酸性水 (pH 2.20)、流量: 1.0 ml/min、検出器: UV (島津製作所製、検出波長: 210 nm)。

シュクロースシンターゼとシュクロースリン酸シンターゼの活性を村田の方法 (1971) に準拠し、以下のように測定した。試料25 gを冷却した乳鉢にとり、これに冷却した0.1 MTris-酢酸バッファー

(pH 7.8) 25 mlとポリクラールAT2.5 gおよび石英砂10 gを加え、5℃の低温室内で磨砕後ガーゼでろ過した。ろ液を冷却高速遠心分離(12,000rpm)した後、得られた上澄部をセファデックスG-25カラムに通して粗酵素液を調製した。活性の測定は、基質を含む反応液50 μ lに粗酵素液50 μ lを加え、37℃で15分間反応させた後、生成したシュクロースをPercheronの方法(1962)で定量した。酵素1 unitは、上述の条件で1 μ moleのシュクロースを生成する量とし、活性は粗酵素液1 mlあたりのunit数で表した。

結果

1. 塊根成分に及ぼすキュアリング処理と貯蔵条件の影響

1984年～1988年の収穫時における‘紅赤’および‘ベニアズマ’塊根の糖およびデンプン含量(いずれも新鮮重あたり)は次のような範囲にあった。デンプンは炭水化物の成分中最も多く、‘紅赤’では23～26%、‘ベニアズマ’では27～30%であった。糖はシュクロース、グルコース、フラクトースで構成されていたが、このうちシュクロースは最も多く、両品種とも1.2～1.8%であった。また、グルコースとフラクトースを合わせた還元糖含量は、‘紅赤’では0.2～0.4%、‘ベニアズマ’では0.1%であった。塊根比重は品種によって明らかな差があり、‘紅赤’が0.983 (n=9, SE=0.012)、‘ベニアズマ’が1.030 (n=7, SE=0.012)であった。

塊根の有機酸としては、リンゴ酸、クエン酸、シュウ酸、フマル酸などが同定された。収穫時の‘ベニアズマ’は主要成分としてリンゴ酸を新鮮重あたり(以下同様)0.5%、クエン酸を0.3%含有していたが、‘紅赤’はリンゴ酸0.4%、クエン酸0.1%といずれも‘ベニアズマ’より少なかった。

1) キュアリング処理時期が糖含量に及ぼす影響

キュアリング処理による‘紅赤’塊根の糖含量の変化を第2-1図に示した。キュアリングの影響は処理時期によって差が認められ、収穫直後に行うキュアリングはシュクロース含量を2倍以上に増加させたが、収穫後13℃に一定期間保持した後にキュアリングを行うと、保持期間が長くなるほどシュクロースの増加量が少なくなった。一方、還元糖はキュアリング処理の有無および処理前の保持期間による影響が少なかった。

2) キュアリング処理が貯蔵中の成分変化に及ぼす影響

‘紅赤’および‘ベニアズマ’を無処理あるいはキュアリング処理して貯蔵したところ、糖およびデンプン含量は第2-2図のような変化を示した。両品種とも収穫直後の7日間のキュアリング処理により、デンプン含量が減少してシュクロース含量が4%前後に急増した。貯蔵中における無処理区のシュクロース含量は、‘紅赤’では貯蔵4か月後より増加して8~10%にも達したが、‘ベニアズマ’ではほとんど変化せず、品種による差が認められた。また、キュアリング処理区では、両品種とも糖およびデンプン含量の変化が少なかった。

貯蔵中の有機酸含量の変化を第2-1表に示した。‘ベニアズマ’では変化が少なかったが、‘紅赤’ではリンゴ酸が著しく増加し、貯蔵5か月後には収穫時に比べて無処理区では3倍以上、キュアリング処理区で2倍となった。

3) シュクロース合成関連酵素の貯蔵中における活性変化

シュクロースシンターゼとシュクロースリン酸シンターゼの、貯蔵中における活性変化を第2-3図に示した。

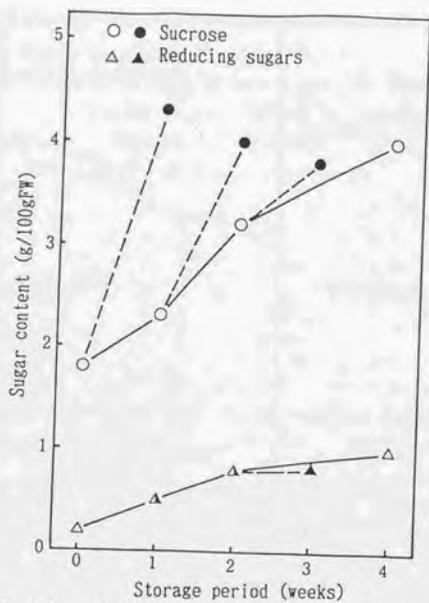


Fig. 2-1. Changes in sucrose and reducing sugar contents of 'Beniaka' sweet potato roots stored at 13°C (open symbols) after harvest and those cured at 30°C for 7 days (solid symbols) after storage of different periods at 13°C.

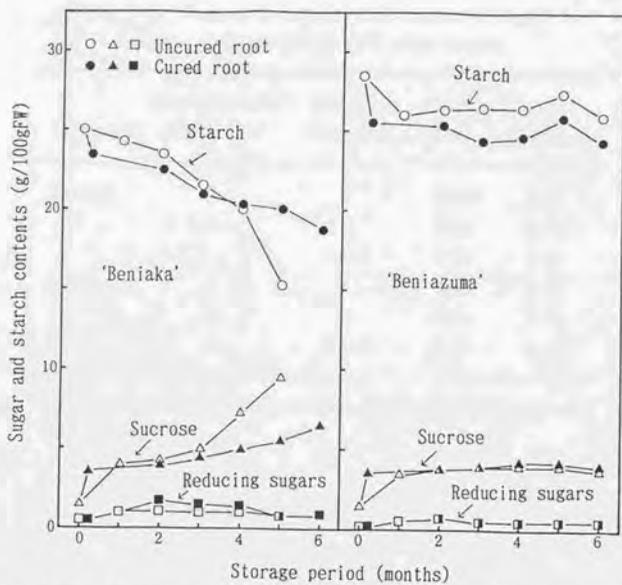


Fig. 2-2. Changes in carbohydrate contents of sweet potato roots of two cultivars held at 13°C.

Table 2-1. Changes in organic acid content of sweet potato roots stored at 13°C after curing.

Cultivar	Storage period (months)	Curing treatment	Malate (%FW)	Citrate (%FW)
Beniaka	0	-	0.4d*	0.1b
	5	-	1.4a	0.2b
		Cured	0.9b	0.2b
Beniazuma	0	-	0.5d	0.3a
	5	-	0.6c	0.3a
		Cured	0.7c	0.4a

* Different letters within columns indicate significance at 5% level.

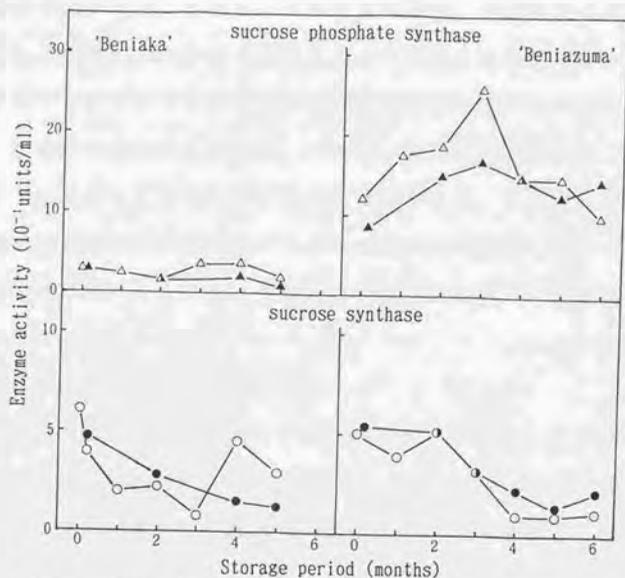


Fig. 2-3. Changes in activities of sucrose phosphate synthase (upper graphs) and sucrose synthase (lower graphs) in roots of 'Beniaka' (left) and 'Beniazuma' (right) during storage at 13°C. Open and solid symbols represent uncured and cured roots, respectively.

シュクロースリン酸シンターゼの活性は品種による差がみられ、収穫時には‘ベニアズマ’が‘紅赤’より数倍高い活性を示し、貯蔵中の活性も高かった。またキュアリング処理は、両品種のいずれにおいても、貯蔵中の本酵素の活性に大きな影響を及ぼさなかった。

シュクロースシンターゼの活性は収穫時には両品種とも同程度であるが、貯蔵中の変化は異なった。‘紅赤’無処理区の活性は、3か月後までは減少し4か月以降になると増加したが、これに対しキュアリング処理区では貯蔵期間が長くなるにつれて漸減した。一方、‘ベニアズマ’ではキュアリング処理の有無に係わらず、貯蔵後半になると活性が低くなった。

4) 成分変化に及ぼす包装処理の影響

包装処理区の湿度は、無包装区が88~92%RH、ポリフィルム包装区の上部では98~100%RHであった。また、ポリフィルム包装区内のガス濃度は二酸化炭素2%、酸素19%前後であり、無包装区(貯蔵庫内)と大差なかった。

無包装とポリフィルム包装の環境におかれたサツマイモ塊根の成分は、貯蔵5か月後には第2-2表のように変化した。‘紅赤’では、ポリフィルム包装区が無包装区よりシュクロース含量が低く、デンプン含量が高かったが、重量減少を補正して比較するとシュクロースだけが有意な低下を示した。一方、還元糖含量はポリフィルム包装区で高くなった。また、‘ベニアズマ’でもデンプン含量はポリフィルム包装区で低くなったが、糖含量は両区の差がなかった。

有機酸含量は、‘ベニアズマ’では無包装区とポリフィルム包装区の差がなかったが、‘紅赤’ではポリフィルム包装区でリンゴ酸が少なくなった。

Table 2-2. Effects of wrapping treatment^a on carbohydrate and organic acid content of uncured sweet potato roots stored for 5 months at 13°C.

Cultivar	Treatment	Weight loss (%)	Carbohydrate(g/100gFW)			Organic acid(g/100gFW)	
			Sucrose	R. S. ^y	Starch	Malate	Citrate
Beniaka	Control	16	9.6a*	0.8b	15.3d	1.4a	0.2b
	Wrapping	2	5.0b	1.2a	20.0c	0.8b	0.1b
Beniazuma	Control	12	3.9c	0.6c	27.7a	0.6b	0.3a
	Wrapping	3	4.1c	0.4c	22.6b	0.7b	0.4a

^a Wrapped with 0.03mm-thick polyethylene films.

^y Reducing sugars.

* Different letters within columns indicate significance at 5% level.

5) 糖含量に及ぼす貯蔵温度の影響

キュアリング処理した‘紅赤’を11°、13°および15℃に貯蔵すると、その糖およびデンプン含量は第2-4図のように変化した。シュクロース含量は貯蔵温度が低いほど増加する傾向を示し、11℃では急増し、13℃ではやや増加したが、15℃ではほとんど変化しなかった。

2. 加熱による成分変化と食味に及ぼす貯蔵の影響

サツマイモ塊根を加熱するとデンプンが減少してマルトースが生成したが、シュクロースを始めとする他の糖には変化が認められなかった。マルトース生成量は、収穫時のサツマイモ塊根を加熱した場合、‘ベニアズマ’が‘紅赤’の約2倍であった(第2-3表)。また、13℃に5か月貯蔵したサツマイモ塊根の、加熱後のマルトース生成量を調査したところ、第2-4表に示したように、収穫時に比べ‘紅赤’では減少し、‘ベニアズマ’ではやや増加する傾向を示した。このため、加熱によってマルトースなどに变化したデンプンの割合は、‘紅赤’では収穫時と変わらなかったが、‘ベニアズマ’では収穫時より増加した。また、キュアリング処理はマルトース生成にほとんど影響しなかった。

収穫時の‘ベニアズマ’は、加熱すると粉質を示した。しかし、貯蔵後の塊根では粉質の程度は収穫時に比べてやや低下し、粘質化が認められた。また、無包装で6か月貯蔵した‘ベニアズマ’では、キュアリング無処理貯蔵塊根の粉質の程度が3.5であったのに対し、キュアリング処理後貯蔵した塊根の粉質の程度は2.9と低下し、キュアリング処理の影響が認められた。

粉質の程度と炭水化物含量との関係を調査するため、貯蔵した塊

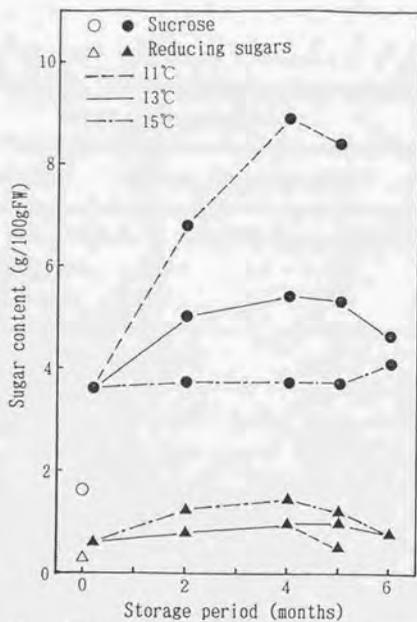


Fig. 2-4. Effects of storage temperature on sugar contents of 'Beniaka' sweet potato roots cured for a week (solid symbols). Open symbols represent the contents before curing.

Table 2-3. Carbohydrate contents of cooked* sweet potato roots at harvest.

Cultivar	Maltose	Sucrose	R. S. †	Starch
	(g/100g cooked root)			
Beniaka	7.1	1.6	0.5	18.9
Beniazuma	13.8	1.7	0.1	17.0

* Steamed for 30 minutes.

† Reducing sugars.

Table 2-4. Effects of storage on maltose content and converted starch^z of cooked^y sweet potato roots.

Cultivar	Storage ^x period (months)	Produced maltose ^w	Converted starch(%)
Beniaka	0	7.1	25
	5	3.1	22
Beniazuma	0	13.8	41
	5	14.5	59

^z {(Amount of starch in raw sample - amount of starch in cooked sample) / amount of starch in raw sample} × 100.

^y Steamed for 30 minutes.

^x Stored at 13°C after curing.

^w Grams in 100 g of a cooked sample.

根の粘質を示した皮層近辺と、粉質を示した髓部を取り分けて、各々の糖およびデンプン含量を分析した。その結果、デンプン含量は加熱前に髓部でやや多かったが、加熱後は差がなかった。このため、加熱によって生成したマルトース量は髓部で多くなった（第2-5表）。また、デンプン含量が23~30%の範囲にあった‘ベニアズマ’塊根について、一単位ごとに加熱前のデンプン含量と加熱後の粉質の程度を調査したところ、デンプン含量の高低に係わらず粉質や粘質を示し、デンプン含量と粉質・粘質とは一定の関係が認められなかった。

Table 2-5. Effects of cooking on texture and carbohydrate content in parts of 'Beniazuma' sweet potato roots stored for 5 months at 13°C.

Treatment	Root part	Texture	Maltose	Starch
			(g/100gFW)	
Uncooked	C and V ^z	-	-	29.3b ^y
	Pith	-	-	32.6a
			(g/100g cooked root)	
Cooked*	C and V	Moist	15.6b	14.2c
	Pith	Mealy	18.2a	15.4c

^z Cortical and vascular parts.

^y Different letters within columns indicate significance at 5% level.

* Steamed for 30 minutes.

考察

サツマイモ塊根は、収穫後のキュアリング処理や貯蔵によって糖およびデンプン含量が変化する。収穫直後からのシュクロースの増加は保持温度によって速度に差はあるが、その増加量はほぼ一定である (Hopkins・Phillips, 1937 ; Jenkins・Gieger, 1957)。

‘紅赤’ と ‘ベニアズマ’ では、30℃ 7日間のキュアリング処理後あるいは13℃ 4週間貯蔵後に、シュクロース含量は収穫時より約2.5%増加して4%となった。キュアリング処理は塊根中での α -アミラーゼの合成を遅延させるが、 α -アミラーゼ活性とシュクロース含量の増加との関係は明かではない (Deobaldら, 1971)。一方、収穫後13℃に一定期間保持してからのキュアリング処理は、シュクロースの増加量が少なく、処理後の含量も収穫直後に処理した場合より低かった。また、一定期間保持後の処理では芽の伸長がほとんどなく、収穫直後に処理した場合とは差が認められた。このような収穫直後と一定期間保持後のキュアリング処理に対する糖含量や発芽の程度の違いは、13℃貯蔵中にサツマイモ塊根の代謝に変化が生じたことを推測させた。

キュアリング処理の効果は、コルク層を形成させて皮部を強化し、病原菌の侵入を防止することによるものとされてきた。しかし、キュアリング処理した塊根は、貯蔵中の炭水化物変化が少なくなったことや、貯蔵した塊根の呼吸量がキュアリング無処理塊根より低下した (宮崎・新堀, 1991) ことから、キュアリング処理によるサツマイモ塊根の代謝変化がその腐敗防止効果に寄与をしている可能性が考えられた。

塊根成分への貯蔵温度の影響は、とりわけ‘紅赤’で大きかった。

温度条件として適温と考えられる13℃を中心に前後2℃の温度を設定してその影響を検討したところ、11℃ではシュクロースが急増した。Sistrunkら(1954)は、'Porto Rico'を用いた実験において、貯蔵7か月後の糖含量が10℃では15.6℃の2倍となったことを報告している。またPicha(1987)は、7℃では糖含量の増加とともに呼吸量の増加が認められたため、低温ではこれらの変化が関連していると考察した。しかし、8℃以上では温度の上昇につれて呼吸量も増加するという野口ら(1945)および繁村ら(1960)の報告を考慮すると、呼吸量の増加がシュクロース増加の主因とは考えられない。一方、Lewis・Morris(1956)は10℃貯蔵中に塊根の呼吸量が徐々に増大しそれとともに腐敗も増加することを報告しているが、これらは低温障害の現象と考えられる。低温下におけるシュクロース増加の意義としては、低温耐性の獲得があげられる。ap Reesら(1981)は、ジャガイモの低温下におけるシュクロース含量の増加を、糖代謝にかかわる酵素の低温感受性に差があるため、ヘキソースリン酸がグルコース代謝系に入ることを制限されることによるものと推察した。貯蔵したサツマイモにおけるシュクロースの増加も、これと同様の機作による可能性が考えられた。このことから、'紅赤'の低温下におけるシュクロースの急増は、品種による低温感受性の差が影響しているものと思われる。

サツマイモ塊根をポリエチレンフィルムで包装して貯蔵すると、その環境ガス濃度は庫内とそれほど差がなかったが、湿度は高く保持され重量変化も少なかった。このような環境下では、シュクロースは貯蔵当初に増加したがその後はほとんど変化せず、有機酸の変化も少なかった。また、ポリフィルム包装貯蔵では貯蔵中に腐敗の

発生が少ないことも知られている（宮崎・新堀，1991）。このように、高湿度ほど成分変化や腐敗の発生は抑制される傾向にあったが、長期貯蔵になると皮色がやや淡くなることや発芽しやすいことが認められた。このため、ポリフィルム包装を貯蔵に用いる場合には、皮色の濃い品種の選択や貯蔵期間などに留意する必要があると考えられた。

シュクロースシンターゼにはシュクロースの合成と分解の両作用が知られており、スイートコーンやコメなどの種子中ではデンプン合成を促進する作用がある（Defekete・Cardini, 1964；Chenら, 1981）。一方、シュクロースリン酸シンターゼはメロン果実（Hubbardら, 1989）やバナナ果実（Hubbardら, 1990）のシュクロース合成に大きく寄与していることが報告されている。サツマイモ塊根でも、シュクロース合成に関与する酵素の中ではシュクロースリン酸シンターゼの寄与が大きいとされている（村田, 1971）。しかし、放射線照射したサツマイモとジャガイモのシュクロース合成関連酵素の活性変化を調査した結果から、二つの酵素ともシュクロース合成に寄与しているとの報告もある（Hayashi・Kawashima, 1983；Hayashiら, 1984）。また、Ajlouni・Hamdy（1988）は‘Red Jewel’を放射線照射し24℃に2週間保持したところ、照射によってシュクロースは増加したが両酵素の活性は低下したため、シュクロース分解作用の抑制がシュクロースの増加に寄与したものと考察した。

本研究においては、シュクロースシンターゼの活性は、シュクロース含量が増加するキュアリング処理期間中の低下が少なく、シュクロース含量の変化が少ない貯蔵中には漸減する傾向を示した。こ

のため、'紅赤'無処理区の貯蔵1か月後までのシュクロースの増加を取種時における活性によるものとすれば、貯蔵中のシュクロース含量の変化は本酵素の活性変化に関連していると考えられた。しかし、'ベニアズマ'ではすでにシュクロース含量の増加が停止した2か月後においても、貯蔵開始時と同程度の活性を有していた。このように、シュクロースシンターゼはサツマイモ塊根のシュクロース増加に関与している傾向が認められたが、品種によって異なる結果が得られたので、シュクロースの増加に果たす役割については明確な結論が得られなかった。

シュクロースリン酸シンターゼの活性は'ベニアズマ'では'紅赤'より数倍高く、貯蔵中における変化も大きかった。しかし、'ベニアズマ'ではこの活性とシュクロース含量の変化との間の関係はほとんど認められなかった。そこで、本酵素は貯蔵中のシュクロース増加に主要な役割を担っていないと推察された。

サツマイモの食味は、粉質の程度も含めたテクスチャーと甘さに左右されると考えられる。サツマイモを加熱すると、 β -アミラーゼの作用によってデンプンが分解され、マルトースが生成する(桐樹・久保田, 1976)。しかし、その生成量は品種によって異なる(馬場ら, 1987)。マルトースの甘味はシュクロースの1/3~2/3とされているが、生成量が多くなると食味への影響が大きい。加熱による'ベニアズマ'のマルトース生成量は'紅赤'の約2倍であり、シュクロース含量を大きく上回った。このため、'ベニアズマ'の甘味については生成したマルトースの寄与が大きいと考えられた。また、'紅赤'を水蒸気加熱して食味試験を行ったところ、シュクロース含量の最も高い無処理区がキュアリング処理区やポリフィル

ム包装区より良い食味評価が得られた。このため、'紅赤'の甘味についてはシュクロースの寄与が大きいと考えられた。

貯蔵後の'ベニアズマ'は収穫時に比べてやや粘質化する傾向がみられた。加熱によって生じる粉質・粘質というテクスチャーを決定する要因は、一般的に貯蔵中におけるデンプンの糖化の程度とされている。しかし、本研究の6か月間貯蔵した'ベニアズマ'塊根では、糖含量はキュアリング処理の有無に係わらずほぼ同程度であったが、粉質の程度は両区に差があり、糖化の程度を示す糖含量と粘質化との関係は認められなかった。また奈良(1957, 1958)は、粉質な品種と粘質な品種を比較しても、塊根中のアミラーゼ活性、デンプンの性質あるいはペクチン質の変化に差がないとしている。

一方、粘質なサツマイモでは加熱後のデンプン残存量が少ない(奈良, 1951)ことや、加熱によってデンプンの42~95%がマルトースとデキストリンに転換され、テクスチャーの変化とデンプン残存量やデキストリン生成量とは関連が高い(Walterら, 1975)ことあるいはデンプンとプロトペクチンの減少が粘質化に関係すること(Swingle, 1966)が報告されている。これらは、加熱によるデンプンの分解程度がテクスチャーに大きな係わりを持っていることを推察させる。本研究に用いた'ベニアズマ'でも、貯蔵した塊根の加熱後のデンプン残存量は収穫時より減少しており、デンプンの分解と粘質化とは何らかの関係があると思われた。しかし、加熱した'ベニアズマ'塊根個体中の粉質部分と粘質部分とを分析すると、そのデンプン残存量には差がなかった。また、加熱前のデンプン含量と加熱後の粉質の程度にも一定の関係は認められなかった。

このように、加熱後の塊根の粉質の程度は、加熱前の塊根の糖や

デンプン含量とは関係が認められなかった。また、加熱によるデンプンの低分子化などとの関連は明らかではなかった。

摘要

‘紅赤’と‘ベニアズマ’塊根の成分含量および加熱後の食味に及ぼすキュアリング処理と貯蔵条件の影響を検討した。

1. 収穫時の塊根成分含量は、‘紅赤’ではデンプン23~26%、全糖2%、有機酸0.5%であり、‘ベニアズマ’ではデンプン27~30%、全糖2%、有機酸1%であった。主要な糖はシュクロースであり、‘ベニアズマ’では全糖の90%以上を占めていた。

2. 13℃貯蔵において、無処理区のシュクロース含量は両品種とも貯蔵1か月後までは徐々に増加して約4%となった。その後、‘紅赤’では貯蔵4か月後より再び増加し、貯蔵6か月後には8~10%に達した。収穫直後にキュアリング処理した塊根のシュクロース含量は、両品種とも1週間後に約4%に増加したが、その後の13℃貯蔵中における変化は少なかった。また‘紅赤’では、低温での貯蔵ほどシュクロース含量が増大した。

3. 貯蔵中におけるシュクロース含量の変化は、‘紅赤’ではシュクロースシンターゼ活性と関連する傾向が認められた。しかし、シュクロースリン酸シンターゼは、シュクロースの増加に関与していないと考えられた。

4. ポリフィルム包装によって塊根の貯蔵湿度を高めると、貯蔵中の重量減少が抑制されるだけでなく、‘紅赤’では貯蔵中のシュクロースや有機酸含量の変化が少なくなった。

5. 収穫直後の塊根を加熱することにより、‘紅赤’では7%、‘ベニアズマ’では14%のマルトースが生成した。加熱によってマ

ルトースへ転換するデンプンの割合は、貯蔵期間の長い塊根ではやや増加した。

6. 加熱後の‘ベニアズマ’のテクスチャーは、収穫時には粉質であるが貯蔵中にやや粘質化する傾向を示した。加熱した塊根のテクスチャーと加熱前の塊根デンプン含量との関連性は認められなかった。

第3章 サツマイモの塊根タンパク質と貯蔵性との関係

第1節 塊根タンパク質の生育中および貯蔵中における変化

サツマイモ塊根は、次世代の発芽生長に必要な物質を蓄える貯蔵器官である。タンパク質は、塊根成分中新鮮重あたり0.5~2.5%を占めるにすぎない (Purcellら, 1972) が、塊根の生理的な状態を示す成分として貯蔵性との関連が注目される。

サツマイモ塊根の主要なタンパク質は、Jones・Gersdorff (1931) によってグロブリンの一種として初めて報告された。また西 (1949) も、塊根タンパク質の約7割をグロブリンと報告した。Maeshimaら (1985) はサツマイモ塊根の主要なタンパク質を分離してスポラミン (Sporamin) と命名し、Hattoriら (1985) がそのcDNAの塩基配列などを明らかにした。スポラミンはプロテアーゼに対するインヒビター活性を有している (中村・服部, 1989) が、プロテアーゼインヒビターは自己防御作用などの生物学的機能を持つ可能性も示唆されている (Ryan, 1981)。また、ジャガイモ塊茎中の主要タンパク質であるPatatinもエステラーゼ活性を有している (Racusen, 1984)。このように、これらのタンパク質は、貯蔵タンパク質としてだけでなく他の機能を有する可能性もあるため、興味深い。

本節では、青果用サツマイモ4品種を用いて、塊根タンパク質の含量や組成の差異および生育中と貯蔵中の変化を調査するとともに、その役割などについて検討した。

材料および方法

サツマイモは‘紅赤’、‘ベニアズマ’、‘ベニコマチ’および‘高系14号’の4品種を供試したが、主要な調査は‘紅赤’と‘ベ

ニアズマ'を用いて行った。各品種とも千葉県農業試験場およびサツマイモ生産農家の圃場で、5月下旬に苗を植え付け透明ポリマルチ栽培を行った。圃場の土壌は、いずれも表層腐植質黒ボク土であった。

'紅赤'と'ベニアズマ'を用いて、生育中における塊根タンパク質の含量および組成の変化を調査した。調査数は、植え付け3か月後は各1試験圃場区、また4か月後と5か月後は各4試験圃場区であった。

10月下旬に収穫した'紅赤'と'ベニアズマ'の塊根は、網目状のプラスチックコンテナ(60×40×30 cm)に入れ、13℃の貯蔵庫(2.6×2.6×2.3 m、6.8 m²)に搬入した。塊根を入れたコンテナは5段程度に積み重ねて20~30のブロックとし、その上部にむしろをのせて厚さ0.03 mmのポリエチレンフィルムでブロック全体を被覆した。被覆した内部の湿度は95%RH前後で推移した。塊根重量の減少は、貯蔵6か月後において、'紅赤'、'ベニアズマ'ともに7~9%であった。1調査区の貯蔵塊根数は100~250本とした。

貯蔵中におけるタンパク質の変化は、'紅赤'と'ベニアズマ'の試験圃場区より、高いタンパク質含量の塊根を生産した試験圃場区と、相対的に低いタンパク質含量の塊根を生産した試験圃場区の塊根を、それぞれ選定して調査した。また、塊根の発芽などの形態的变化とタンパク質やシュクロース含量の変化との関連について、収穫時と4か月貯蔵後にキュアリング処理を行って調査した。キュアリング処理は30℃、96~100%RHの条件で、収穫直後はキュアリング処理庫において7日間、また4か月貯蔵後は160ℓのアクリル箱内で1~2週間、それぞれ保持した。

塊根分析試料の調製は以下のように行った。塊根は基部、中央部および末端部に3分し、基部および末端部から厚さ1 cmの輪切りとした部分を取り出し、これらを3個体より集めて1試料分とした。輪切りにして取り出した部分は薄く剥皮した後、フードカッターで細切・混合した。1試験圃場区の測定は3反復した。

タンパク質の抽出・定量は、WetterとDyckの方法(1983)によった。細切したサンプル10 gに5 gの石英砂と20 mlの抽出液(0.2 M Tris-HClバッファー、pH 8.5; 1 Mのシュクロースと0.056 Mの2-メルカプトエタノールを含む)を加え、乳鉢で磨砕した。磨砕物はポリエチレンメッシュでろ過後、30,000×gで1時間遠心分離した。以上の抽出操作は5℃で行った。遠心分離によって得られた抽出液の一部を5℃に保管した。抽出液より25~50 μlを10 mlスピッチグラスに取り、24%トリクロロ酢酸を加えてタンパク質を沈澱させた。上澄を捨てて沈澱物をアルカリ溶液で溶解後、フェノール試薬を加えて加熱した。生成した液色の吸光度を625 nmで測定し、同時に作成する検量線より含量を求めた。

タンパク質の組成は、ポリアクリルアミドゲルを用いたSDS-電気泳動(SDS-PAGE)法(Laemmli, 1970)により調査した。SDS-PAGEは、厚さ2 mm、大きさ105×150 mmの平板ゲルにSDSで処理したタンパク質溶液を5~30 μl添加し、10 cm泳動させた。分離用ゲルのポリアクリルアミド濃度は10%としたが、分子量推定のために15%ゲルも一部で使用した。泳動を終了したゲルはCBB溶液で染色後、7%酢酸で脱染色した。SDS-PAGEで分離したタンパク質の分子量は、標準タンパク質を用いて作成した分子量標準曲線より求めた。また、各タンパク質バンドの組成比をデンストメーター(DENSITRON, 常光製)

によって測定した。

塊根の糖含量は、第2章に記載した方法で分析した。

結果

1. タンパク質含量とその塊根内における変動

サツマイモ塊根タンパク質の収穫時における含量は、品種による差が認められた。品種の平均含量は、新鮮重あたり‘ベニアズマ’： $0.98 \pm 0.24\%$ ($n=45$)、‘ベニコマチ’： $0.88 \pm 0.23\%$ ($n=6$)、‘紅赤’： $0.41 \pm 0.12\%$ ($n=45$)、‘高系14号’： $0.34 \pm 0.05\%$ ($n=6$)であった。

塊根の部位別タンパク質含量を調査した。塊根を長軸方向にそれぞれ基部と中央部および末端部に三分すると、そのタンパク質含量は中央部と末端部はほぼ同程度であったが、これらに比べ基部では明らかに多かった。基部と末端部の含量比は、‘紅赤’では1.1~1.5倍であったが、他の3品種では1.4~2倍と大きかった。また、塊根を横断して皮より1次形成層の内側まで約5 mm程度の皮層部とそれ以外の中心部に分けて調査したところ、皮層部のタンパク質含量は‘紅赤’では中心部の約1.1倍、‘ベニアズマ’では中心部の約1.5倍であった。

2. SDS-PAGEによる構成タンパク質の分析

‘紅赤’と‘ベニアズマ’の塊根タンパク質抽出液を10%と15%の分離用ポリアクリルアミドゲルで電気泳動させ、その結果を第3-1図に示した。両品種の主要タンパク質は4本の共通した主要なバンド（泳動距離の短い側よりB-1、B-2、B-3およびB-4）に分離し、その分子量は10%分離用ゲルを用いて、B-1：85 kDa、B-2：52 kDa、B-3：24 kDa、B-4：22 kDaと推定された。また、15%分離用ゲルを

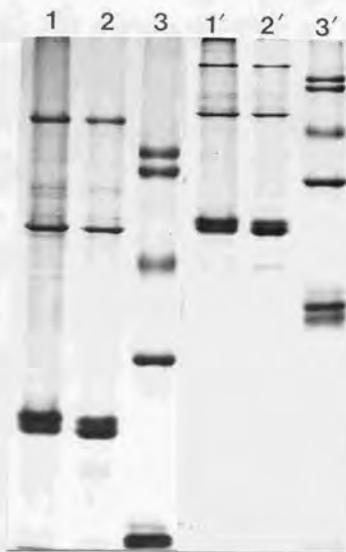


Fig. 3-1. SDS-PAGE analysis of proteins extracted from 'Beniaka' and 'Beniazuma' sweet potato roots. Lane 1, 2, 3 : 10% separating gel, lane 1', 2', 3' : 15% separating gel. Lane 1, 1' : 'Beniaka' , lane 2, 2' : 'Beniazuma' , lane 3, 3' : standard molecular mass markers.

用いると、分子量は各バンドとも約1 kDa高く推定された。'ベニコマチ'と'高系14号'を含めた塊根タンパク質の、10%分離ゲルを用いたSDS-PAGEによる泳動結果を第3-2図に示した。4品種とも主要なタンパク質バンドは共通しており、このうち'ベニアズマ'、'ベニコマチ'および'高系14号'にあつてはB-4が、また'紅赤'ではB-3が全体のタンパク質に占める割合が最も大きかつた。

'紅赤'と'ベニアズマ'の電気泳動バンドの組成比をデンストメーターによって測定した。第3-1表には、タンパク質含量の異なる塊根の、収穫時におけるタンパク質の組成比を示した。'紅赤'ではB-3がB-4の約2倍であり、'ベニアズマ'ではB-4がB-3の約3倍であつた。タンパク質バンドの組成比はタンパク質含量の多少によつて変化したが、品種ごとの特徴は変わらなかつた。

3. 生育中における変化

生育中における'紅赤'と'ベニアズマ'の、塊根タンパク質含量の変化を第3-2表に、また50 g以上の塊根の平均塊根重の変化を第3-3図に示した。'紅赤'では生育中にタンパク質含量の変化がほとんどなかつた。また'ベニアズマ'では、5か月後に1試験圃場区で4か月後より減少したが、他の試験圃場区では明かな増減が認められなかつた。塊根重は品種間差があつたが、両品種とも生育期間の経過とともに増加した。200 g以上の塊根の割合は、3か月後の'紅赤'では1割未満であつたが、'ベニアズマ'では4割と多かつた。また、5か月後にはそれぞれ4割および7割となつた。

生育中におけるタンパク質組成の変化を、タンパク質含量が同程度の塊根を用いて比較した。塊根タンパク質の電気泳動パターンは、第3-4図に示したように、3か月後においても5か月後においても品

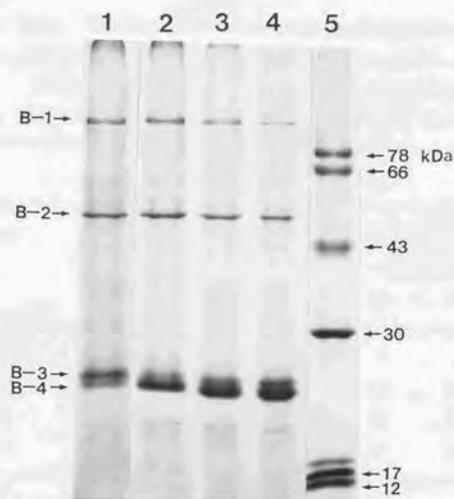


Fig. 3-2. SDS-PAGE (10% separating gel) analysis of proteins extracted from the roots of marketable sweet potato cultivars. Lane 1 : 'Beniaka' , lane 2 : 'Kokei No.14' , lane 3 : 'Benikomachi' , lane 4 : 'Beniazuma' , lane 5 : standard molecular mass markers.

Table 3-1. Electrophoretic separation of proteins in freshly harvested roots of 'Beniaka' and 'Beniazuma' sweet potatoes. Roots were divided into two groups according to the protein content.

Protein band ^z	MW ^y (KDa)	Proportion(%) ^x			
		'Beniaka'		'Beniazuma'	
		LP ^w	HP ^w	LP	HP
B-1	85	15	6	7	4
B-2	52	16	14	14	13
B-3	24	27	41	18	14
B-4	22	15	20	37	45

^z Refer to Fig. 3-2.

^y Estimated by sodium dodecyl sulfate polyacrylamide gel electrophoresis (SDS-PAGE) using 10% separating gel.

^x Measured with a densitometer.

^w LP:roots with lower protein content, HP:roots with higher protein content.

Table 3-2. Changes in protein content of sweet potato roots during growth.

Cultivar	Field	period after planting (months)		
		3	4	5
		(g/100gFW)		
Beniaka	A	0.36±0.04	0.32±0.02	0.38±0.05
	B	-	0.40±0.04	0.46±0.06
	C	-	0.38±0.02	0.36±0.03
	D	-	0.40±0.02	0.44±0.08
Beniazuma	E	0.98±0.08	1.07±0.05	0.86±0.11
	F	-	1.05±0.05	0.97±0.03
	G	-	0.97±0.07	0.92±0.03
	H	-	1.06±0.09	1.20±0.08

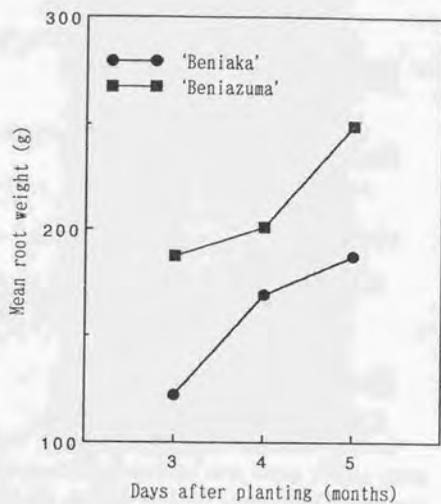


Fig. 3-3. Changes in mean weight of sweet potato roots during growth. Roots of 50 g and below were discarded.

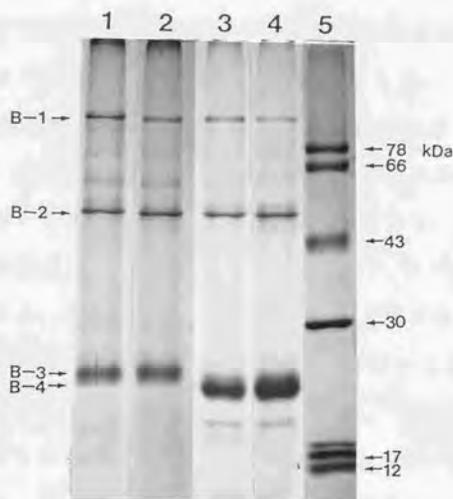


Fig. 3-4. SDS-PAGE (10% separating gel) analysis of proteins extracted from sweet potato roots during growth. Lane 1 : 'Beniaka' -3 months after planting, lane 2 : 'Beniaka' -5 months after planting, lane 3 : 'Beniazuma' -3 months after planting, lane 4 : 'Beniazuma' -5 months after planting, lane 5 : standard molecular mass markers.

種ごとにほぼ同様であった。

4. 貯蔵中における変化

高タンパク質含量の塊根と低タンパク質含量の塊根の、13℃貯蔵中におけるタンパク質含量の変化を第3-5図に示した。‘紅赤’ではタンパク質含量が貯蔵中にやや減少する傾向がみられた。しかし‘ベニアズマ’では、タンパク質含量は高い含量の塊根で減少後再び増加したが低い含量の塊根ではやや増加傾向にあり、その変化に一定の傾向が認められなかった。

SDS-PAGEによる、貯蔵6か月後の塊根タンパク質の泳動パターンを第3-6図に示した。‘紅赤’の低タンパク質含量の塊根では、主要タンパク質であるB-3の減少が明らかであった。しかし、タンパク質含量が減少しなかった‘ベニアズマ’では、泳動パターンの変化が少なかった。低タンパク質含量の‘紅赤’塊根の、貯蔵中におけるタンパク質組成比の変化を第3-3表に示した。貯蔵中の組成比は、B-2、B-3およびB-4が減少し、B-1が増加する傾向にあった。

5. キュアリング処理による変化

1) 収穫直後の処理による変化

収穫直後のキュアリング処理によって、‘ベニアズマ’は1個の塊根あたり2～3 cmの芽が1～3本程度発芽したが、‘紅赤’はほとんど発芽しなかった。処理前後の部位別タンパク質含量とシュクロース含量の変化を第3-4表に示した。処理中に発芽した‘ベニアズマ’塊根のタンパク質含量は、基部ではほとんど変化しなかったが、末端部では減少した。一方、発芽がほとんど見られなかった‘紅赤’では、塊根の基部と末端部でタンパク質含量が同様にやや減少した。また、第3-7図に示した‘ベニアズマ’のタンパク質の電

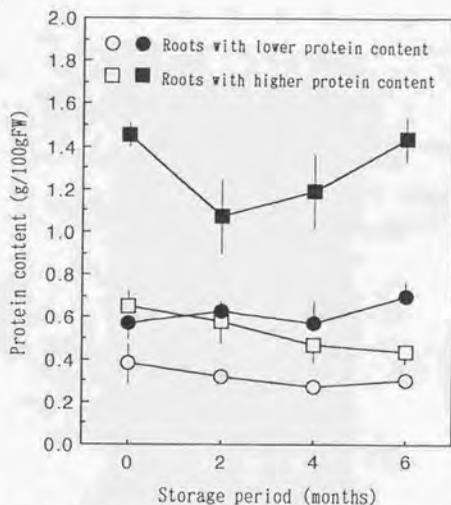


Fig. 3-5. Changes in protein content of uncured sweet potato roots during storage at 13°C. Open and solid symbols represent 'Beniaka' and 'Beniazuma' roots. For grouping roots depending on protein content, refer to Table 3-1. Vertical bars indicate standard errors.

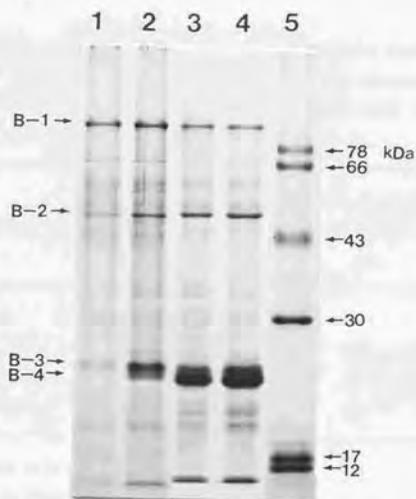


Fig. 3-6. SDS-PAGE (10% separating gel) analysis of proteins of sweet potato roots stored for 6 months at 13°C. Lane 1 : 'Beniaka' roots with lower protein content, lane 2 : 'Beniaka' roots with higher protein content, lane 3 : 'Beniazuma' roots with lower protein content, lane 4 : 'Beniazuma' roots with higher protein content, lane 5 : standard molecular mass markers.

Table 3-3. Changes in proportion* of protein bands of 'Beniaka' sweet potato roots during storage at 13°C. Roots were chosen from those with lower protein content as shown in Table 3-1.

Protein band ^y	Storage period (months)			
	0	2	4	6
	(%)			
B-1	15	18	21	21
B-2	16	15	16	9
B-3+B-4	42	27	12	5

* Measured with a densitometer.

^y Refer to Fig. 3-2.

Table 3-4. Effects of curing on protein and sugar contents of proximal and distal parts of freshly harvested sweet potato roots.

Cultivar	Root part	Protein (g/100gFW)		Sucrose (g/100gFW)	
		At harvest	After curing	At harvest	After curing
Beniaka	Proximal	0.42±0.07	0.33±0.03	2.0±0.2	3.9±0.1
	Distal	0.31±0.03	0.25±0.02	1.9±0.2	4.3±0.2
Beniazuma	Proximal	1.07±0.16	1.03±0.06	2.1±0.1	3.9±0.2
	Distal	0.64±0.10	0.44±0.03	2.2±0.2	4.3±0.1

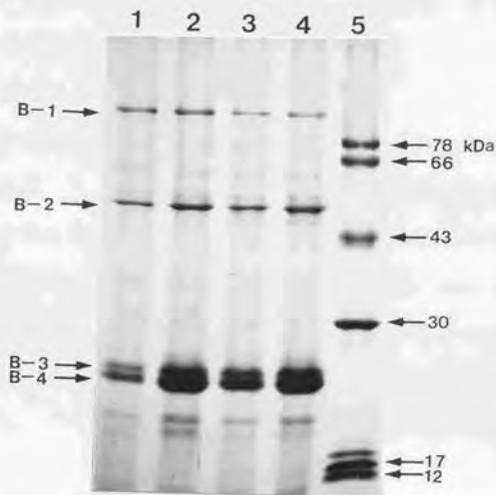


Fig. 3-7. SDS-PAGE (10% separating gel) analysis of root proteins after curing of freshly harvested 'Beniazuma' sweet potato roots. Lane 1 : distal part of cured roots, lane 2 : proximal part of cured roots, lane 3 : distal part of uncured roots, lane 4 : proximal part of uncured roots, lane 5 : standard molecular mass markers.

電気泳動パターンでは、末端部のタンパク質のうちB-4の減少が顕著であった。

キュアリング処理後の部位別のシュクロース含量は、両品種とも末端部では基部よりも1割程度高くなった。

2) 貯蔵後の処理による変化

13℃に4か月貯蔵した塊根をキュアリング処理(1~2週間)したところ、'紅赤'・'ベニアズマ'とも収穫直後の処理とは異なる形態的变化を示した。'紅赤'は1塊根あたり数本の発芽があり、芽の伸びは1週間後には1~2 cm、2週間後には5 cm以上に伸長した。これに対し'ベニアズマ'では、発芽はしたが芽の伸びは1週間後で5 mm以下ときわめて少なく、2週間後になって1~2 cmとなった。また、'ベニアズマ'では発根し、長いものは数 cmに伸びた。

キュアリング処理によるタンパク質含量の変化を第3-8図に示した。'ベニアズマ'では、塊根の基部・末端部とも、タンパク質の含量およびその電気泳動パターンに大きな変化がなかった。一方、'紅赤'ではタンパク質含量がわずかに増加する傾向を示し、塊根の基部でも末端部でもB-3やB-4タンパク質がやや増加した。

塊根の糖含量は、キュアリング処理によって第3-9図のように変化した。'紅赤'のシュクロース含量は、発芽の多い基部では変化が認められなかったが、末端部では明らかな変化を示した。また、還元糖は両部位とも減少した。'ベニアズマ'では、基部・末端部とも還元糖含量は変化せず、シュクロース含量は処理開始から2週間後にやや増加した。

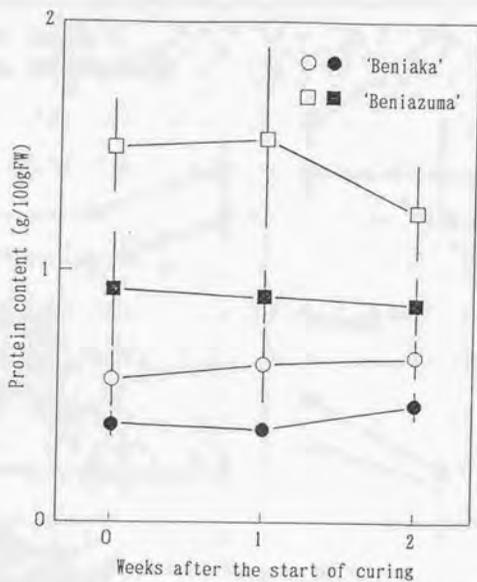


Fig. 3-8. Changes in protein content of sweet potato roots during curing started after storage for 4 months at 13°C. Open and solid symbols represent proximal and distal parts of roots, respectively. Vertical bars indicate standard errors.

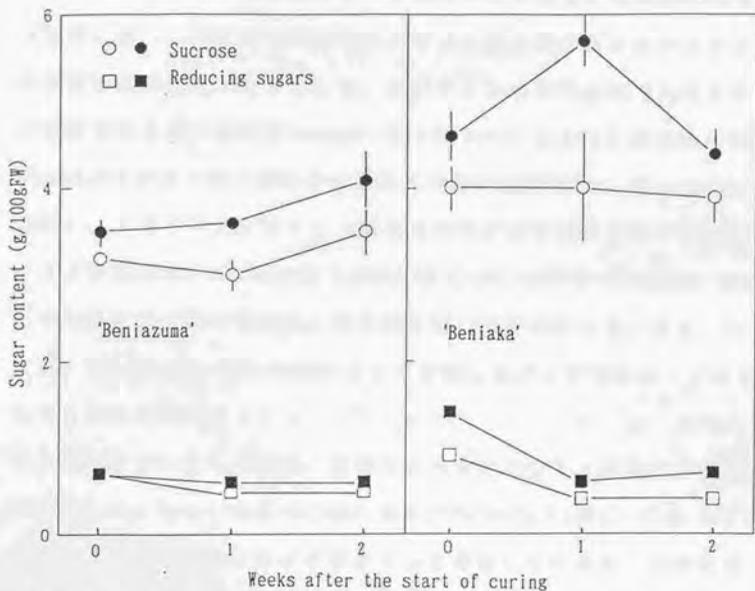


Fig. 3-9. Changes in sugar content of sweet potato roots during curing started after storage for 4 months at 13°C. Open and solid symbols represent proximal and distal parts of roots, respectively. Vertical bars indicate standard errors.

考察

サツマイモ塊根の主要なタンパク質について調査したMaeshimaら(1985)は、'高系14号'塊根全タンパク質の約8割を占めるタンパク質をスポラミンと命名した。スポラミンは分子量25 kDaのタンパク質であるが、これはJones・Gersdorff(1931)が報告したIpomoeinとまったく同じものであることが確認された(Varonら、1989)。スポラミンにはアミノ酸配列のわずかに異なるいくつかのタイプが知られ、Hattoriら(1985)はこのうちの1つのcDNAを単離して塩基配列を調べた結果、分子量を20 kDaと算出した。また、Li・Oba(1985)は、SDS-PAGEによって分離したバンド中に β -アミラーゼを認めている。

本研究で用いた4品種は、主要タンパク質として4本のバンドが分離された。Maeshimaら(1985)およびVaronら(1989)は25 kDa近傍には1本のバンドだけが存在すると報告しているが、本研究では分子量24 kDaと推定されたB-3および22 kDaと推定されたB-4の2本のバンドが存在し、しかもその比率は品種によって異なることを示した。すなわち、'ベニアズマ'、'ベニコマチ'および'高系14号'の3品種ではB-3が少なくB-4が多かったが、これに対し'紅赤'ではB-4が少なくB-3が多かった。

生育中における塊根のタンパク質含量は、植え付け4か月後から収穫期の5か月後にかけてほとんど変化しなかった。また、タンパク質含量が同程度であれば、その組成は生育時期によってほとんど変化しなかった。含量の変化は、'紅赤'ではB-3、'ベニアズマ'ではB-4の組成比に影響が大きかった。Purcellら(1976)は植え付けから102~165日後までのサツマイモ塊根タンパク質含量を調査し

た結果、タンパク質含量は生育後期に一定の割合で減少したと報告している。しかし、タンパク質含量と関係の深い塊根の窒素含量は、生育後期の10月以降やや増加傾向にある（中，1962）ことや、生育後期にはほとんど変化しない（岩井ら，1953；戸苅・白沢，1955）ことも報告されている。こうした結果を考えると、生育後期のタンパク質含量の変化は、品種や栽培条件によって異なるものと思われた。

中（1962）は、地下に貯蔵した‘護国’塊根の蛋白態窒素が、1～2月の貯蔵中期に増加し3～4月の貯蔵後期に減少することを示した。また、Li・Oba（1985）は、10～12℃に1年間貯蔵した‘農林1号’塊根ではスポラミンがほとんど消失したと報告した。これに対し、13℃貯蔵した‘紅赤’と‘ベニアズマ’のタンパク質はそれらとは異なる変化を示した。すなわち、貯蔵中のタンパク質含量は、‘紅赤’では貯蔵後期にかけてやや減少する傾向にあったが、‘ベニアズマ’では貯蔵6か月後においても収穫時と同程度ないしやや多い含量となった。またタンパク質の組成は、‘紅赤’では貯蔵期間の経過とともにB-3などが減少したが、‘ベニアズマ’では変化が少なかった。

発芽にともなう塊根の糖含量とタンパク質含量の変化を調査し、それらの役割について検討した。発芽による塊根タンパク質の変化については、塊根の末端部を水に浸して26日間発芽させた場合にタンパク質含量の減少にともなってスポラミンが激減したことが報告されている（Maeshimaら，1985）。このため、スポラミンは発芽によって消費されるタンパク質と考えられている。本研究では、収穫直後のキュアリング中に発芽した‘ベニアズマ’を処理後に調査した

ところ、発芽部位である基部ではタンパク質含量がほとんど変化しなかったが、末端部ではタンパク質含量が減少しB-3とB-4タンパク質の割合も減少した。また、13℃に4か月貯蔵した塊根をキュアリング処理した場合には、発芽した‘紅赤’のB-3とB-4タンパク質はむしろ増加する傾向さえ認められた。このように、塊根のタンパク質含量は発芽部位で減少しなかった。また、収穫時と貯蔵後では、‘紅赤’と‘ベニアズマ’の塊根タンパク質はキュアリング処理に対して同一の変化を示さなかった。発芽の程度が異なるため、Mae-shimaらの結果との比較は困難であるが、本研究での結果からは塊根のB-3やB-4の主要なタンパク質は、発芽にともなって直ちに消費される貯蔵タンパク質とは考えられなかった。

塊根の主要なタンパク質は、生物学的機能を持つことも示唆されている（中村・服部ら，1989）。「紅赤」と「高系14号」はタンパク質含量についてほぼ同程度であるが、B-3とB-4タンパク質の組成比は明らかに異なっていた。B-4タンパク質の多い「高系14号」は、一般的に「紅赤」より腐敗が少ないとされていることから、B-3あるいはB-4タンパク質と塊根の貯蔵性との関連も興味深い。

キュアリング処理により、収穫時の塊根のシュクロース含量は基部より末端部で変化が大きかった。また、貯蔵した塊根をキュアリング処理した場合にも、発芽部位である基部ではシュクロース含量の変化がなかった。このように、発芽部位のシュクロースは発芽と関連した変化を示さなかった。Collinsら（1990）は、発芽過程において塊根の還元糖は減少するが、シュクロースは発芽本数が急増した際にだけ明らかな増加を示したことから、シュクロースを急激な発芽の際に必要な成分と推察した。本研究でも、貯蔵した塊根をキ

キュアリング処理した場合の発芽と糖の変化を見ると、塊根の基部と末端部を合わせたシュクロース含量は、芽の伸長の遅い‘ベニアズマ’では2週間後にやや増加傾向となり、芽の伸長の早い‘紅赤’では1週間後に増加した後減少した。また、還元糖は両品種とも処理前より減少した。このため、塊根の基部と末端部を合わせた糖の変化は、発芽と関連していると考えられた。

摘要

‘紅赤’、‘ベニアズマ’、‘ベニコマチ’および‘高系14号’の塊根タンパク質について、その含量や組成を調査した。また、‘紅赤’と‘ベニアズマ’について、生育、貯蔵およびキュアリング処理によるタンパク質の変化を調査した。

1. 塊根のタンパク質含量は、‘ベニアズマ’と‘ベニコマチ’では新鮮重あたり約1%、‘紅赤’と‘高系14号’では新鮮重あたり約0.4%であった。最も主要なタンパク質は‘紅赤’では24 kDa、他の3品種では22 kDaの分子量を有していた。

2. 生育中、タンパク質は含量や組成の変化が少なかった。また貯蔵中、タンパク質含量は‘紅赤’ではやや減少する傾向を示したが、‘ベニアズマ’では一定の変化を示さなかった。貯蔵中にタンパク質含量の低下した塊根では、最も主要なタンパク質の組成比が低下した。

3. ‘ベニアズマ’のタンパク質含量は、収穫時のキュアリング処理によって塊根末端部で減少したが、貯蔵後のキュアリング処理では変化がなかった。また、‘紅赤’では、収穫時および貯蔵後ともキュアリング処理によるタンパク質の含量および組成変化が少なかった。

4. キュアリング処理によるタンパク質含量の変化と発芽の有無との関係は明かでなかった。しかし、塊根の糖含量は発芽と関連した変化が認められた。

第2節 収穫時の生育量および塊根タンパク質含量と貯蔵性

サツマイモ（塊根）は、多くが収穫後様々な方法で貯蔵される。貯蔵したサツマイモはその後順次出荷されるが、貯蔵期間は短いものでも2か月、長いものでは6か月以上におよび、その間の腐敗の発生が大きな問題となる。また、貯蔵したサツマイモでは皮色などの品質が良く保持されていることも重要である。

サツマイモ塊根の貯蔵性は、貯蔵条件と塊根自体の生理的状态に大きく影響されると考えられる。宮崎・新堀（1991）は‘紅赤’と‘ベニアズマ’を用いて、皮色の保持と腐敗の防止などに最も適した温度（13℃）と湿度（95%RH）およびこれを貯蔵庫において作り出す被覆方法などを報告した。しかし、塊根の貯蔵性は適切な貯蔵条件下においても、栽培された圃場ごとに大きな違いを生じる。これは、栽培条件の違いによって収穫時の塊根の生理的状态が異なるために生じるものと考えられた。

サツマイモの塊根は水分と炭水化物が主要な構成成分であり、両者で90%以上を占めている。一方、タンパク質は新鮮重あたり1～2%の成分であるが、飼料や食糧として利用する際の栄養的な観点から、その含量を高める研究が行われてきた（Purcellら、1972；Li、1982）。その結果、塊根のタンパク質含量は乾物重換算では10%に達するものも出現した。しかし、タンパク質含量は水分やデンプンの含量に比べて少ないため、これまで品質や貯蔵性に関する研究の対象とされてこなかった。

そこで本節では、収穫時におけるサツマイモの茎葉と塊根の生育状態および塊根タンパク質含量と、貯蔵中に発生する腐敗との関係を調査した。また、その結果から高品質で貯蔵性に優れた塊根の栽

培法について検討を加えた。

材料および方法

サツマイモ生産農家および千葉県農業試験場の圃場で栽培された‘紅赤’と‘ベニアズマ’を用い、1989～1991年の3年間に毎年、生育量および塊根成分と貯蔵性を調査した。苗は、高さ22～25 cmの透明ポリマルチを施した畝に5月下旬に植え付けた。栽植密度は‘紅赤’では2,400～2,700本/10a、‘ベニアズマ’では3,700～4,200本/10aであった。塊根の収穫は10月下旬に行った。各試験圃場の栽培面積は毎年4～10 aであり、その土壌はいずれも表層腐植質黒ボク土であった。施肥は各圃場ごとの慣行とした。収穫時における茎葉重、塊根重および塊根品質の調査は、各試験圃場区とも20株を用いて行った。

貯蔵は以下のように行い、貯蔵中の腐敗の発生と皮色の変化を調査した。試験圃場より収穫した塊根は、落梗より切り離して網目状のプラスチックコンテナ(60×40×30 cm)に入れた。コンテナは、13℃の定温貯蔵庫(2.6×2.6×2.3 m、6.8 m²)に搬入して5段程度に積み重ねた。積み重ねたコンテナは20～30を1ブロックとし、上部にむしろをのせて厚さ0.03 mmのポリエチレンフィルムでブロック全体を被覆した。被覆した内部の湿度は95%RH前後で推移した。本貯蔵条件における塊根重量の減少は、貯蔵6か月後において、‘紅赤’・‘ベニアズマ’とも7～9%であった。キュアリング処理は収穫直後に行い、30℃、96～100%RHの条件で7日間保持した。1試験圃場の塊根は、キュアリング処理貯蔵区、キュアリング無処理貯蔵区ともそれぞれ100～250本を貯蔵した。

収穫時および貯蔵後の塊根品質等を調査するために、試験圃場区

および貯蔵区とも、1区あたり9～15本の塊根を分析試料として用いた。分析は塊根3本を1試料とし、3～5反復した。分析試料は、塊根の基部および末端部から厚さ1 cmの輪切りにした部分を取り出し、これを合わせて細切・混合した。炭水化物の分析は第2章に記述した方法で、またタンパク質の抽出・定量は、第3章第1節で用いたWetter・Dyckの方法(1983)によって行った。皮色は塊根皮抽出液の吸光度を比較した。皮は基部と末端部の数か所から一定の面積(8 cm²)をとり、1%塩酸-メタノールで色素を抽出した後、抽出液の525 nmにおける吸光度を分光光度計(UV-2100、島津製作所製)によって測定した。

収穫時における茎葉と塊根の生育量は、20株の新鮮重を調査し、栽植密度から10 aあたり新鮮重に換算して求めた。また、収穫時の茎葉および塊根の窒素含量は、乾燥した試料を硫酸分解後ケルダール法によって分析した。10 aあたり窒素含量は、収穫時の茎葉と塊根の窒素含量に各々の収穫時における10 aあたり新鮮重を乗じて算出し、両者を加えた。

貯蔵中における塊根の貯蔵性は、腐敗の発生と皮色の変化を調査した。塊根の腐敗の発生程度は、貯蔵した各区の全塊根について腐敗を調査し、貯蔵塊根数に対する販売可能な塊根の割合、すなわち商品塊根率として示した。腐敗は塊根の両端から進行したので、販売可能な塊根は、腐敗した部分を切除した際の切口の径が1 cm以下の塊根とした。

結果

1. 収穫時の生育量と塊根成分

収穫時の‘紅赤’と‘ベニアズマ’について、生育量と塊根の夕

ンパク質含量との関係などを調査した。試験に供したサツマイモ栽培圃場の、土壌中の肥料成分と施肥量を第3-5表と第3-6表に示した。

‘紅赤’試験圃場の土壌の硝酸態窒素 ($\text{NO}_3\text{-N}$) 含量は、‘紅赤’栽培圃場としてはNo. 3、No. 7、No. 8が高かったが、No. 3とNo. 7は前作がそれぞれラッカセイとサトイモであった。No. 8試験圃場はサツマイモ連作にもかかわらず硝酸態窒素含量が高かった。その他の試験圃場はサツマイモの2～6年連作圃場であり、硝酸態窒素含量は低かった。‘ベニアズマ’試験圃場では、No. 12はニンジン、No. 13とNo. 16はラッカセイ、No. 15とNo. 18はサトイモが前作であり、その他は2～3年のサツマイモ連作であった。硝酸態窒素含量は、前作がサトイモの場合にはとりわけ高かった。試験圃場の土壌の硝酸態窒素含量は、‘ベニアズマ’が‘紅赤’より総じて高かった。リンとカリ含量は、両品種とも試験圃場間で大差なかった。肥料は品種や前作物などを考慮して各栽培者が施したが、‘ベニアズマ’の一部を除き、前作がサツマイモでない試験圃場は窒素施用量が少なかった。

‘紅赤’収穫時の10 aあたりの茎葉と塊根の生育量、植物体全体の10 aあたり窒素含量および塊根の新鮮重あたり成分含量を第3-7表に示した。植え付け前土壌中の硝酸態窒素含量あるいは窒素施用量が多い試験圃場では、茎葉重が多くなる傾向にあった。収穫時に茎葉の生育量が少ない試験圃場では、植物体の10 aあたり窒素含量が少なく、茎葉重の塊根重に対する割合 (T/R比) も小さかった。塊根収量は、いずれの試験圃場でもほぼ良好であった。また、塊根はいずれも皮色が濃くてデンプン含量も高く、皮色とデンプン含量には試験圃場間の差がなかった。しかし、タンパク質含量は試験圃

Table 3-5. Mineral nutrients of soil and fertilizer application in the fields where 'Beniaka' sweet potato roots were grown.

Field No.	Mineral nutrients of soil before planting (mg/100g)			Fertilizer applied (kg/10a)		
	NO ₃ -N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1	0.10	2.7	30	0	21	0
2	0.10	2.7	30	1.4	27	17
3	0.65	2.1	33	0.0	21	0
4	0.32	2.2	30	5.4	29	12
5	0.04	2.7	35	5.7	99	12
6	0.21	1.7	19	0.8	115	10
7	1.23	-	31	2.0	7	7
8	0.78	1.7	35	1.2*	119	14
9	0.04	2.7	35	5.7	29	12
10	0.32	2.2	30	5.4	99	12

* In addition, compost was applied at 400 kg/10a.

Table 3-6. Mineral nutrients of soil and fertilizer application in the fields where 'Beniazuma' sweet potato roots were grown.

Field No.	Mineral nutrients of soil before planting (mg/100g)			Fertilizer applied (kg/10a)		
	NO ₃ -N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
6	0.21	1.7	19	0.8	115	10
11	0.21	-	21	3.0	10	10
12	0.59	3.6	34	0.6	107	2
13	0.44	5.0	41	5.6 [*]	32	17
14	0.44	2.7	35	5.0	84	12
15	1.50	-	-	0.8	110	8
16	0.49	3.0	37	5.6 [*]	32	17
17	0.44	2.7	35	5.0	14	12
18	1.50	-	-	0.8	40	8
19	0.15	3.2	38	6.2 [*]	34	19

* In addition, compost was applied at 600 kg/10a.

Table 3-7. Yield and chemical composition of 'Beniaka' sweet potato roots at harvest.

Field ^a No.	Yield (t/10a, FW)		T/R ratio	N content of plants (kg/10a)	Root composition		
	Tops	Root			Protein (g/100gFW)	Starch (g/100gFW)	Skin color ^y
1	1.5	2.3	0.65	5.0	0.35d*	25.6a	0.50a
2	1.6	2.4	0.67	6.3	0.38cd	25.8a	0.52a
3	1.7	2.7	0.63	5.7	0.32d	25.0a	0.54a
4	1.8	2.1	0.86	-	0.36d	25.3a	0.51a
5	1.8	2.7	0.67	-	0.37d	25.5a	0.50a
6	2.2	2.2	1.00	8.3	0.66a	26.4a	0.56a
7	2.4	1.8	1.33	8.0	0.52b	25.2a	0.44a
8	2.3	3.0	0.77	9.5	0.65a	25.1a	0.58a
9	1.9	2.5	0.76	-	0.46bc	25.5a	0.53a
10	2.6	2.2	1.18	-	0.44bc	24.5a	0.48a

^a Same as shown in Table 3-5.

^y Absorbance at 525 nm of 1% HCl-methanolic extract of root skin.

* Different letters within columns indicate significance at 5% level.

場間で約2倍の差があり、10 aあたり茎葉重とは $r=0.67$ 、植物体の10 aあたり窒素含量とは $r=0.94$ の相関があった(第3-10図)。

第3-8表には、'ベニアズマ' 収穫時の茎葉と塊根の生育量、植物体の10 aあたり窒素含量および塊根の新鮮重あたり成分含量を示した。植え付け前土壤中の硝酸態窒素あるいは窒素施用量の多い試験圃場(No.13~No.19)では、茎葉重と塊根重はほとんどが2.5 t/10a以上となった。これに対し、両者とも少ない試験圃場(No.6, No.11, No.12)では、いずれが多い試験圃場と比べて、10 aあたり塊根重はほぼ同等であるが茎葉重は少なかった。収穫時の10 aあたり茎葉重が少ない試験圃場では、'紅赤'と同様に、10 aあたり植物体の窒素含量が少なく、T/R比も小さかった。新鮮重あたりタンパク質含量は試験圃場間で約5倍の差があり、10 aあたり茎葉重とは $r=0.70$ 、植物体の10 aあたり窒素含量とは $r=0.90$ の相関があった(第3-11図)。しかし、新鮮重あたりタンパク質含量は皮色と関係が認められず、デンプン含量とも相関が低かった($r=0.54$)。塊根の皮色と新鮮重あたりデンプン含量には試験圃場間差が認められたが、いずれも濃い皮色と高いデンプン含量を有しており、品質的には良好な塊根であった。

10 aあたりで示した収穫時における茎葉重と塊根重および植物体の窒素含量は、'ベニアズマ'が'紅赤'より多かった。また、'ベニアズマ'の塊根は'紅赤'塊根に比べて皮色が濃く、新鮮重あたりのタンパク質含量やデンプン含量も高かった。

2. 収穫時の生育量および塊根タンパク質含量と貯蔵中の商品塊根率の変化

6か月貯蔵後の商品塊根率を、第3-9表('紅赤')と第3-10表

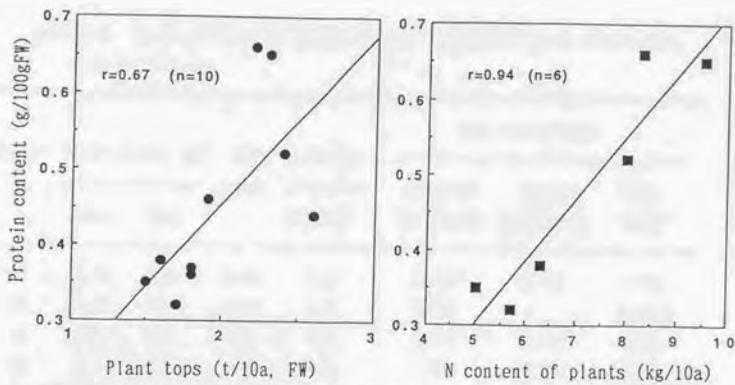


Fig. 3-10. Protein contents of roots as related to amounts of plant tops per 10 a and N contents of plants per 10 a in 'Beniaka' sweet potatoes at harvest.

Table 3-8. Yield and chemical composition of 'Beniazuma' sweet potato roots at harvest.

Field ^a No.	Yield (t/10a, FW)		T/R ratio	N content of plants (kg/10a)	Root composition		
	Tops	Root			Protein (g/100gFW)	Starch (g/100gFW)	Skin color ^y
6	1.3	2.8	0.46	7.5	0.79d*	32.7a	1.00a
11	1.3	2.0	0.65	4.3	0.30f	-	0.95ab
12	1.9	3.6	0.53	8.5	0.57e	32.1ab	0.98a
13	3.2	3.2	1.00	13.8	1.08b	28.5bc	0.74c
14	2.4	2.6	0.92	-	0.84d	28.6bc	1.01a
15	2.5	3.1	0.81	-	1.20b	28.2c	0.96ab
16	2.7	3.1	0.87	13.2	1.45a	29.7b	0.82c
17	2.9	2.3	1.26	-	0.97c	27.8c	0.92ab
18	2.4	3.0	0.80	-	1.19b	29.2b	1.05a
19	2.9	3.2	0.91	11.1	0.96c	30.5b	0.88b

^a Same as shown in Table 3-6.

^y Absorbance at 525 nm of 1% HCl-methanolic extract of root skin.

* Different letters within columns indicate significance at 5% level.

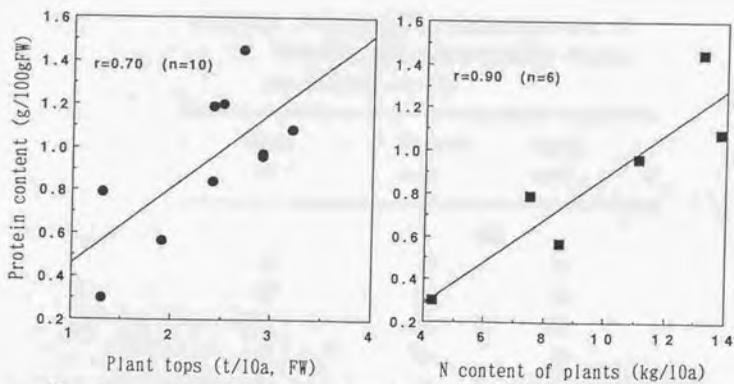


Fig. 3-11. Protein contents of roots as related to amounts of plant tops per 10 a and N contents of plants per 10 a in 'Beniazuma' sweet potatoes at harvest.

Table 3-9. Percentage of marketable roots of 'Beniaka' sweet potatoes after storage for 6 months at 13°C.

Field No. ^a	Uncured root	Cured root
	(%)	
1	19	61
2	30	56
3	33	50
4	54	90
5	59	-
6	62	90
7	73	84
8	82	83
9	83	-
10	85	-

^a Same as shown in Table 3-5.

Table 3-10. Percentage of marketable roots of 'Beniazuma' sweet potatoes after storage for 6 months at 13°C.

Field No. ^a	Uncured root	Cured root
	(%)	
6	47	76
11	56	65
12	62	90
13	82	97
14	87	96
15	89	-
16	93	97
17	94	-
18	94	-
19	95	100

^a Same as shown in Table 3-6.

('ベニアズマ') に示した。 'ベニアズマ' では、腐敗発生が総合的に '紅赤' より少なかったために、商品塊根率も高かった。またキュアリング処理は、両品種とも腐敗を抑制し、商品塊根率を高めた。

貯蔵後の商品塊根率と収穫時の塊根タンパク質含量および10 aあたりの茎葉重と塊根重との関係を検討した。第3-12図と第3-13図には、塊根の新鮮重あたりタンパク質含量と6か月貯蔵後の商品塊根率との関係を示した。キュアリング無処理貯蔵区では、塊根のタンパク質含量が '紅赤' では約0.4%以上、また 'ベニアズマ' では約0.8%以上になると商品塊根率は高くなる傾向にあった。しかし、キュアリング処理貯蔵区では、タンパク質含量がこれより少なくても商品塊根率が90%と高いものが認められた。

収穫時におけるT/R比と6か月貯蔵後の商品塊根率との関係を、第3-14図と第3-15図に示した。 '紅赤' のキュアリング無処理貯蔵区では、T/R比が約0.8以上になると貯蔵後の商品塊根率は60~80%となり、キュアリング処理貯蔵区では80%以上と高くなった。

'ベニアズマ' では、T/R比が約0.8以上になると、キュアリング無処理貯蔵区でも貯蔵後の商品塊根率が高くなった。キュアリング処理貯蔵区では、T/R比が0.8未満でも商品塊根率が90%になる試験圃場区があったが、T/R比が0.8以上の試験圃場区では貯蔵6か月後においても腐敗の発生はほとんどなく、商品塊根率は96~100%に達した。

収穫時における植物体の10 aあたり窒素含量と6か月貯蔵後の商品塊根率は比較的高い正の相関が認められた。相関係数(いずれもn=6)は、キュアリング無処理貯蔵区では '紅赤' : 0.97、 'ベニア

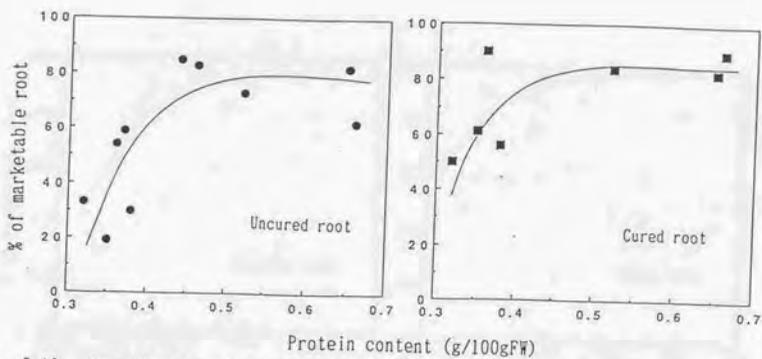


Fig. 3-12. Relationships between protein content of freshly harvested roots and percentage of marketable roots after storage of 6 months at 13°C in 'Beniaka' sweet potatoes.

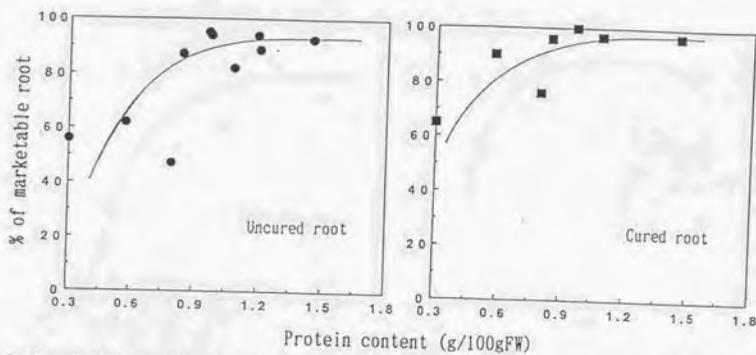


Fig. 3-13. Relationships between protein content of freshly harvested roots and percentage of marketable roots after storage of 6 months at 13°C in 'Beniazuma' sweet potatoes.

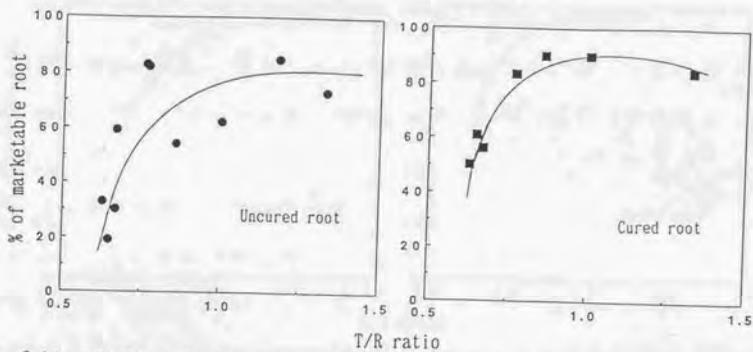


Fig. 3-14. Relationships between tops/root (T/R) ratio in fresh weight at harvest and percentage of marketable roots after storage of 6 months at 13°C in 'Beniaka' sweet potatoes.

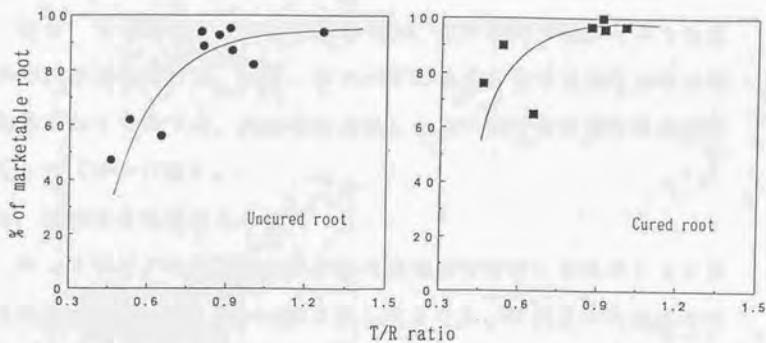


Fig. 3-15. Relationships between tops/root (T/R) ratio in fresh weight at harvest and percentage of marketable roots after storage of 6 months at 13°C in 'Beniazuma' sweet potatoes.

ズマ' : 0.81であり、キュアリング処理貯蔵区では '紅赤' : 0.86、
'ベニアズマ' : 0.91であった。

塊根の新鮮重あたりタンパク質含量と乾物重あたり窒素含量とは、
'紅赤' と 'ベニアズマ' でそれぞれ、第3-16図に示したような正
の相関が認められた。また、タンパク質含量と窒素含量をともに乾
物重あたりで表すと、両品種に共通した高い相関の直線回帰式が得
られた (第3-17図)。

3. 貯蔵後の塊根皮色の变化

キュアリング無処理塊根の皮抽出液の吸光度を、収穫時と6か月
貯蔵後に測定した。第3-11表に示したように、貯蔵後の吸光度は収
穫時に比べて '紅赤'、'ベニアズマ' とともに0~30%減少したが、皮
色の評価はいずれも良好であった。

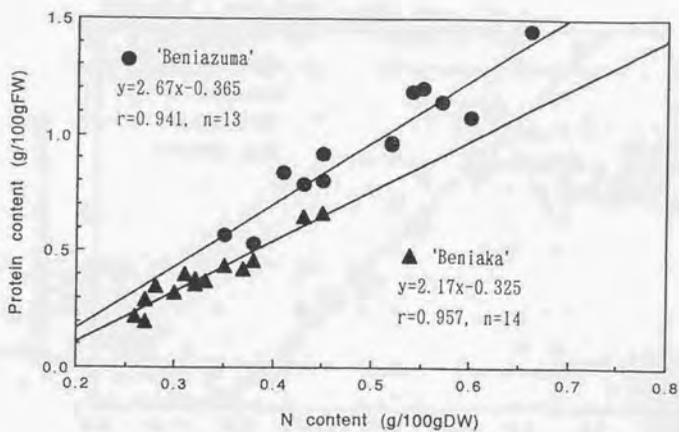


Fig. 3-16. Relationships between protein and N contents in sweet potato roots.

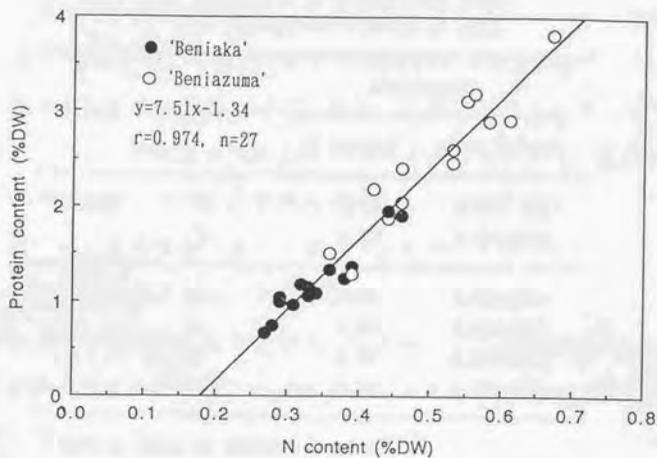


Fig. 3-17. Relationship between protein and N contents by dry weight basis in sweet potato roots.

Table 3-11. Skin color of sweet potato roots
after storage for 6 months at 13°C.

Cultivar	Field No. ^a	Absorbance ^y	
		At harvest	After Storage
Beniaka	4	0.51	0.52(0%) ^x
	9	0.53	0.41(-23%)
Beniazuma	12	0.98	0.67(-32%)
	14	1.01	0.69(-32%)
	15	0.96	0.69(-28%)
	16	0.82	0.74(-10%)

^a Same as shown in Tables 3-5 and 3-6.

^y 1% HCl-methanolic extract of root skin at 525 nm.

^x Percentage of decrease in absorbance during storage.

考察

サツマイモは、土壤中の水分や窒素が多い場合に茎葉が過繁茂となる“つるぼけ”現象を呈することがあり(中, 1962; 渡邊, 1979)、そのようなサツマイモでは塊根の収量や品質の低下が生じる(植田ら, 1959; Constantinら, 1974)。品質を重視する青果用のサツマイモ生産においては、茎葉の繁茂を抑制する傾向があり、これまで経験的に品質と貯蔵性は相反するものと考えられてきた。すなわち、茎葉部の生育が少ないと塊根品質はよい(皮色が濃くデンプン含量も高い)が貯蔵性は劣り、茎葉部が過繁茂になると貯蔵性はよいものの品質・収量が劣るとされてきた。

サツマイモの茎葉部と塊根部は成分移動に関して密接な関係にあり、茎葉部に蓄えられたタンパク質などの窒素化合物の約50%が生育後期に塊根部に移行する(戸荻・白沢, 1957)。このため、サツマイモにおいても茎葉部と塊根部の生育およびその比率は、塊根の成分や生理的状态に大きく影響すると考えられた。サツマイモ塊根のタンパク質含量は、茎葉や塊根の生育量と関係が認められ、‘紅赤’でも‘ベニアズマ’でも茎葉の生育量が少なくT/R比の小さい塊根はタンパク質含量が少なかった。また、塊根のタンパク質含量は貯蔵後の商品塊根率に関係することが認められた。しかし、皮色やデンプン含量は生育量やT/R比と関係が認められなかった。このため、タンパク質含量は皮色やデンプン含量よりも塊根の貯蔵性を推測する指標になりうると考えられた。塊根中のタンパク質含量は品種によって違いがあるため、あらゆる品種に対して一律にその指標を決めることはできないが、本研究に用いた‘紅赤’では新鮮重あたり0.4%以上、‘ベニアズマ’では新鮮重あたり0.8%以上

のタンパク質含量であれば、貯蔵性の良い塊根とみなされた。このように、茎葉の生育量が比較的多くタンパク質含量が高い塊根は、両品種とも貯蔵中の腐敗発生が少なくなる傾向が認められた。

塊根のタンパク質含量は窒素含量と高い正の相関を示したので、直線回帰式を用いて乾物重あたり窒素含量から新鮮重あたりタンパク質含量を推定することが可能と考えられた。商品塊根率が高い塊根の乾物重あたり窒素含量を直線回帰式から推定すると、'紅赤'では0.33%以上、'ベニアズマ'では0.44%以上となった。一方、塊根のタンパク質含量と窒素含量を乾物重あたりに換算して水分の影響を除くと、'紅赤'と'ベニアズマ'の直線回帰式に有意な差はなかったため、これらの関係は一つの回帰式で表された。塊根における乾物重あたりの両者の回帰式からは、窒素の増加につれてタンパク質への転換比率が高まることが推察された。

商品塊根率は、 T/R 比や植物体の10 aあたり窒素含量とも関係の高いことが認められた。腐敗の少ない塊根は、茎葉を含めた植物体の生育量や茎葉と塊根の比率が適切であり、その T/R 比は0.8~1.3の範囲にあった。'紅赤'の商品塊根率は、植物体の10 aあたり窒素含量が5~6 kgの場合には低く、7~9 kgの場合には高かった。また'ベニアズマ'の商品塊根率は、植物体の10 aあたり窒素含量が8~9 kgの場合には低く、11~13 kgの場合には高かった。篠原ら(1987)は、黒ボク土壌における'紅赤'の塊根生産を最も高める場合には、茎葉重を2.0t/10a前後、 T/R 比を1.0程度とすることが適切であり、その際の植物体の10 aあたり窒素含量は5~9 kgであったと報告している。しかし、収量だけでなく品質や貯蔵性にも優れた塊根の生産という観点から考察すると、植物体の10 aあ

たり窒素含量は7~9 kg/10aとなることが必要と考えられた。

本研究においては、濃い皮色や高いデンプン含量をもつ塊根でも貯蔵性に優れているものがあり、品種に適した圃場の選択や適正な施肥（とりわけ窒素）あるいは品種の中でも皮色の濃い系統の選択によって、塊根の品質と貯蔵性を両立させることが可能であることを示した。高品質で貯蔵性の良い塊根生産のためには、'紅赤'では2~2.5 t/10a、'ベニアズマ'では約3 t/10aの茎葉の生育量が適切であり、これを実現するためには輪作体系や土壌中の肥料分を考慮した施肥基準作りが不可欠と考えられた。

摘要

'紅赤'と'ベニアズマ'を用いて、塊根の貯蔵性と収穫時における茎葉と塊根の生育量および塊根タンパク質含量との関係について検討した。

1. 塊根のタンパク質含量は、収穫時における10 aあたり茎葉重と'紅赤'では $r=0.67$ 、'ベニアズマ'では $r=0.70$ の相関があり、植物体の10 aあたり窒素含量とはそれぞれ $r=0.94$ 、 $r=0.90$ の高い相関があった。しかし、塊根の皮色やデンプン含量とは良い相関が認められなかった。
2. 塊根の新鮮重あたりタンパク質含量と乾物重あたり窒素含量とは、'紅赤' ($r=0.957$)、'ベニアズマ' ($r=0.941$)とも比較的高い正の相関があった。また、乾物重あたりのタンパク質含量と窒素含量との相関は $r=0.974$ と高かった。
3. 貯蔵後の商品塊根率が高い塊根は、'紅赤'では0.4%以上、'ベニアズマ'では0.8%以上のタンパク質含量を有していた。また、商品塊根率が高かった試験圃場の、収穫時における植物体の10 aあ

たり窒素含量は、'紅赤'では7~9 kg/10a、'ベニアズマ'では11~13 kg/10aであった。

4. 茎葉の生育がよく、T/R比が0.8~1.3の範囲にあった塊根は、貯蔵中の腐敗が少なく、皮色の保持も良好であった。

5. 高品質で貯蔵性に優れた塊根を生産するためには、収穫時における茎葉重を'紅赤'では2~2.5 t/10a、'ベニアズマ'では約3 t/10aとすることが適当と考えられた。

第4章 近赤外分光分析法によるサツマイモ塊根成分含量の推定

近赤外分光法を農産物の成分分析に用いる近赤外分光分析法は、コンピューターの発達などにより、近年急速な進展を遂げつつある。近赤外分光分析法は、試料の近赤外スペクトルから成分値を推定する方法であり、これまでに食品や飼料の水分、タンパク質、糖、脂肪、デンプン、セルロースなど各種成分について検討されてきた。

近赤外分光分析法は、とりわけ水分含量の少ない小麦や米などの穀物での研究が進んでおり (Williams, 1975 ; Iwamotoら, 1981, 1984 ; 若井ら, 1984 ; 稲津, 1988)、アメリカやカナダではすでに本法が小麦検査業務に取り入れられている。また、乳製品 (Satoら, 1987) や畜肉 (Lanza, 1983 ; Nagaoら, 1985) などについての研究も比較的多い。これに比べ、果実や野菜については、乾燥野菜 (Parkら, 1982) やジュース (Lanza・Li, 1984) などでの研究が先行し、原形を保持したままのものについては研究が少なかった。しかし近年、近赤外分光分析法を利用して非破壊で熟度や品質を判定する試みが、レタス (Brachら, 1982)、デーツ (Dullら, 1991)、イチゴ (藤原, 1991)、モモ (河野ら, 1989) などで報告された。わが国では、こうした果実や野菜の非破壊成分分析についての研究は緒についたばかりであるが、すでにモモなど2、3の果実の選果過程には近赤外分光分析法が導入されつつある (大森, 1990)。

サツマイモ塊根中の主成分は水分とデンプンであり、これらは品質に大きな影響を及ぼしている。また、タンパク質は1%前後の少ない成分ではあるが、貯蔵性との関係が示唆されている。このため、これらの成分は化学的に分析され、品質評価や品種あるいは系統選抜の基礎資料として用いられている。しかし、化学分析は熟練と多

くの時間を要することが難点である。そこで本章では、近赤外分光分析法によってサツマイモの塊根成分（水分、タンパク質、全糖、デンプン）含量を推定する可能性について検討した。

材料および方法

栽培農家の圃場で透明ポリマルチをして栽培されたサツマイモ‘紅赤’と‘ベニアズマ’の塊根（重量：200～450 g）を洗浄して供試した。1990年10月に収穫して13℃に4～6か月間貯蔵した塊根を貯蔵後の塊根とし、1991年10月に収穫してただちに分析した塊根を収穫時の塊根とした。

塊根の成分および近赤外スペクトルの測定試料には、塊根の基部あるいは末端部を厚さ約2 cmの輪切りとした円柱状の部分を用いた。供試数は、収穫時塊根試料24（‘紅赤’：12、‘ベニアズマ’：12）と貯蔵後塊根試料62（‘紅赤’：23、‘ベニアズマ’：39）の合計86である。これらの試料については、中心部（髓部）の両面を測定した。また、それらの試料のうち、貯蔵後の‘紅赤’16試料と‘ベニアズマ’32試料については、中心部の両面のほか塊根の周辺部3箇所の近赤外スペクトルを測定した。周辺部の測定では、試料を剥皮せず表面へ垂直に近赤外光を照射した。周辺部と中心部のスペクトルはそれぞれ3スペクトルと2スペクトルを平均化し、分析値との相関に及ぼす測定部位の影響を調査した。また、推定値と分析値との相関に及ぼす品種およびスペクトルの微分処理の影響は、それぞれ86試料と収穫時の24試料を用いて調査した。近赤外スペクトルは、100メッシュの篩を通過させたシュクロース（和光純薬工業製）と可溶性デンプン（水分11.2%を含む、関東化学製）についても、あわせて測定した。測定時における試料の温度は20～26℃であった。

近赤外スペクトルは、近赤外分光分析計Quantum 1200 (LT Industries社製)を用い、1200~2400 nmの波長を走査させて測定した。近赤外分光分析計は、サツマイモ塊根などの大型試料が測定できるように、黒色のアルマイト加工を施したアルミニウム板で大きさ20×20×20 cmの試料測定部を作製して取り付けた。

塊根試料は、それぞれ近赤外線拡散反射スペクトルの測定と化学分析を行って、スペクトルからの推定値と分析値との相関を検討した。重回帰式に用いた波長はコンピューターの重回帰演算プログラム(SpectraMetrix V1.7)による自動選択とし、選択波長数は10試料ごとに1波長を追加した。86試料のうち、65試料を用いて分析値とスペクトルからの推定値との重回帰式を求め(キャリブレーション)、21試料を用いてキャリブレーションで得た重回帰式の有効性を評価した(Validation、バリデーション)。

スペクトルを測定した厚さ約2 cmの塊根試料は、約1 mm剥皮してフードカッターで細切・混合した。分析には、その一定量をサンプリングして供した。水分は、精秤した約5 gの試料を105℃で5時間乾燥させた後、秤量して求めた。糖とデンプンは第2章で用いた方法により、またタンパク質は第3章第1節で用いたWetter・Dyckの方法(1983)によって定量した。

結果

1. 供試した塊根試料の成分的な特性

供試した塊根試料の水分含量は、'紅赤'では59.7~68.9% (平均64.4%) 'ベニアズマ'では56.6~66.5% (平均62.0%)、タンパク質含量は、'紅赤'では0.14~0.66% (平均0.37%) 'ベニアズマ'では0.28~2.22% (平均0.98%)であった。またデンプン含

量は、'紅赤'では19.1~28.6%（平均24.4%）'ベニアズマ'では22.0~31.9%（平均27.2%）であった。

全糖含量は両品種とも収穫時には約2%であったが、貯蔵中に増加して'紅赤'では3.6~9.8%、'ベニアズマ'では3.2~4.8%となった。シュクロースは塊根全糖の約9割を占める主要な糖であった。

2. 塊根の近赤外スペクトルの特徴

サツマイモ塊根中心部とシュクロースおよび可溶性デンプン（水分11.2%を含む）の近赤外スペクトルを測定し、その特徴を検討した。

拡散反射値Rの $\log(1/R)$ を第4-1図に、また $\log(1/R)$ の2次微分スペクトルを第4-2図に示した。サツマイモ塊根中心部とデンプンの2次微分スペクトルは、1700 nmと2300 nm付近の形がよく似ていた。また、シュクロースに特徴的な1420 nmのピークも肩として現れていた。水の特徴的なピークは、含水デンプンでは1910 nm付近にあったが、サツマイモ塊根中心部では約30 nmずれた1880 nm付近に現れていた。

3. 成分含量の推定に及ぼすスペクトル測定部位の影響

成分含量の推定精度に及ぼす、塊根のスペクトル測定部位の影響を調査した。周辺部と中心部の2次微分スペクトルを第4-3図に示した。両者を比較すると、中心部のスペクトルは周辺部のスペクトルより明瞭なピークが多かった。

周辺部あるいは中心部のスペクトルからの推定値と分析値との重回帰分析結果を第4-1表に示した。水分、タンパク質およびデンプンは中心部のスペクトルを用いた場合に分析値との相関が高くなった。

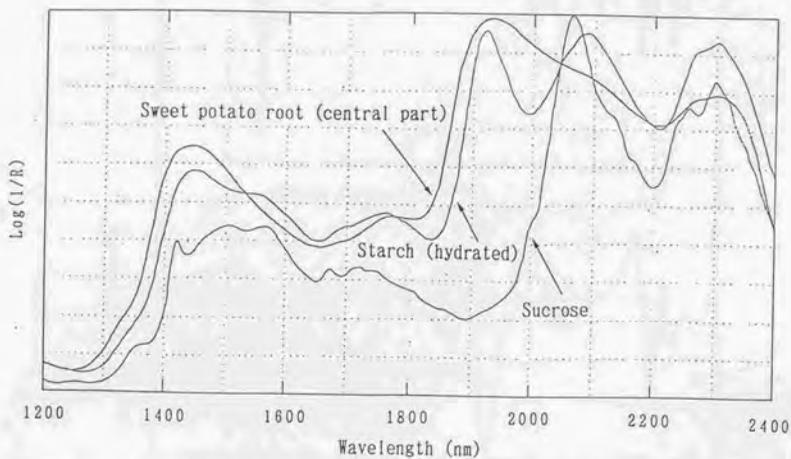


Fig. 4-1. Near infrared reflectance (NIR) spectrum of authentic samples of sucrose and starch, and sweet potato root samples.

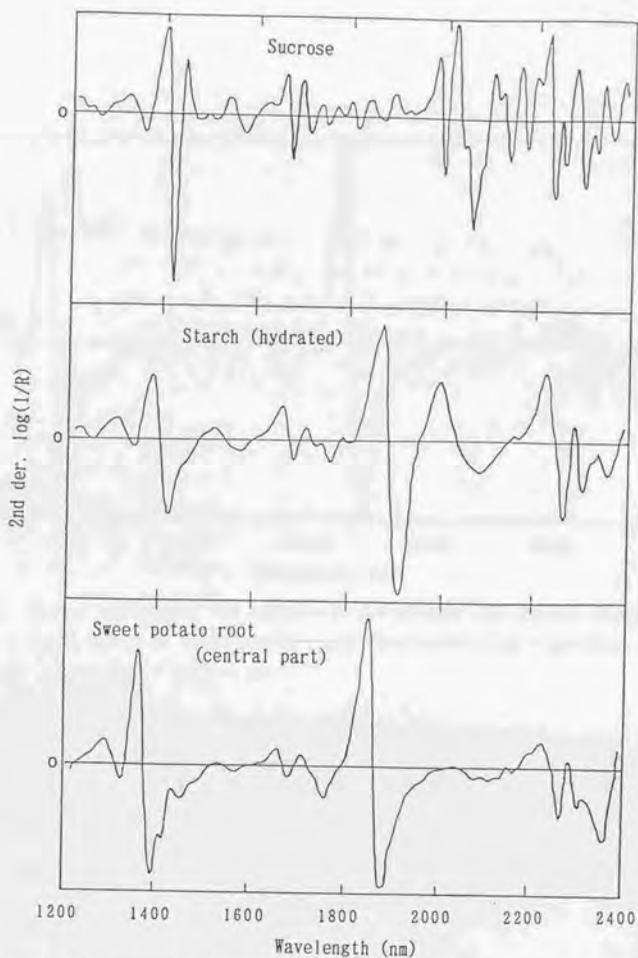


Fig. 4-2. Second derivative NIR spectra of authentic samples of sucrose and starch, and sweet potato root samples.

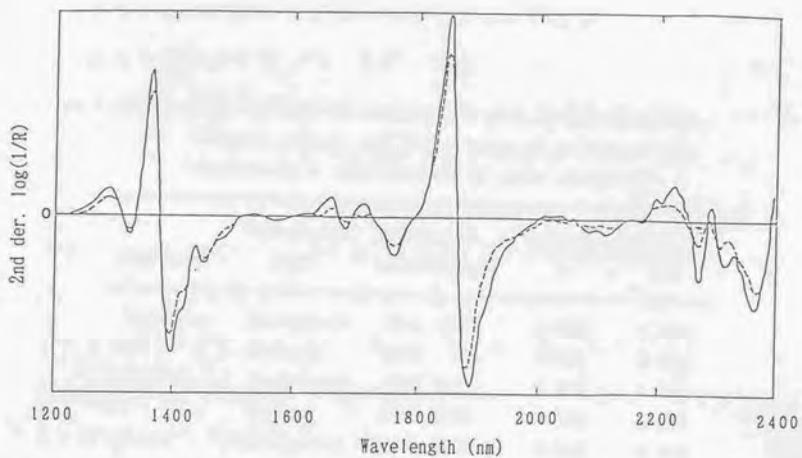


Fig. 4-3. Second derivative NIR spectra of peripheral and central parts of a round sample of sweet potato roots. Continuous line = peripheral part, broken line = central part.

Table 4-1. Effects of measurement part on relationships between actual and NIR predicted values of the components in root samples of sweet potatoes.

Component	Measurement part	Wavelength selected(nm)	Regression ^a (n=48)	
			r	SEC
Moisture	Peripheral	1741, 1309	0.865	1.295
	Central	2248	0.963	0.682
Protein	Peripheral	1739, 2168	0.866	0.232
	Central	2205, 2156	0.934	0.164
Sugar	Peripheral	1738, 1607	0.956	0.522
	Central	1700, 2295	0.935	0.630
Starch	Peripheral	1740, 1310	0.907	1.352
	Central	1670, 1387	0.980	0.646

^a r : multiple correlation coefficients, SEC : standard errors in calibration.

また、周辺部のスペクトルを用いた重回帰式には、各成分とも共通して1740 nm付近の波長が相関の高い波長として選択されていた。

4. 成分含量の推定に及ぼすスペクトル処理の影響

収穫時試料の塊根中心部を測定した近赤外スペクトルを用い、その数学的な処理法が成分含量の推定に及ぼす影響を検討した。log(1/R)スペクトルからの推定値と分析値との相関は水分 ($r=0.956$) とデンプン ($r=0.924$) では認められたが、タンパク質と全糖では単相関がきわめて低かったために有意な重相関係数が得られなかった。log(1/R)の1次微分ないし2次微分スペクトルを用いた重回帰分析結果を第4-2表に示した。1次微分処理と2次微分処理を比較すると、水分とタンパク質はほぼ同様な相関であったが、全糖とデンプンは2次微分処理との相関が高くなった。

5. 成分含量の推定に及ぼす品種の影響

‘紅赤’と‘ベニアズマ’2品種をこみにした86試料を用いて、分析値とスペクトルからの推定値との重回帰分析を行った。重相関係数(r)とキャリブレーションの標準誤差(SEC)は、以下のようであった。水分： $r=0.950$ SEC=0.837、タンパク質： $r=0.947$ SEC=0.152、全糖： $r=0.935$ SEC=0.608、デンプン： $r=0.946$ SEC=0.942。これを品種ごとに分けた場合には、第4-3表に示したような重回帰分析結果が得られた。供試数が異なるため正確な比較は困難であるが、全体として、品種ごとに分割しても相関には明かな改善が認められなかった。

6. 全塊根試料のキャリブレーションとバリデーション

収穫時と貯蔵後および品種をこみにした塊根試料86を、キャリブレーションセット65とバリデーションセット21にランダムに分割し

Table 4-2. Effects of differential treatment of spectrum on relationships between actual and NIR predicted values of the components in root samples of freshly harvested sweet potatoes.

Component (mean, %)	Differential treatment	Wavelength selected (nm)	Regression ^a (n=24)	
			r	SEC
Moisture (63.9)	1st	1668, 1214, 2143	0.982	0.591
	2nd	1635, 2264, 1511	0.987	0.502
Protein (0.62)	1st	1654, 1962, 2091	0.959	0.100
	2nd	1306, 1967, 2158	0.964	0.094
Sugar (2.4)	1st	2303, 2276, 2378	0.707	0.164
	2nd	1979, 1793, 1749	0.912	0.095
Starch (26.4)	1st	2145, 2108, 2130	0.961	0.748
	2nd	1314, 1792, 1776	0.982	0.511

^a Refer to Table 4-1.

Table 4-3. Relationships between actual and NIR predicted values of the components in root samples of 'Beniaka' and 'Beniazuma' sweet potatoes.

Cultivar	Component (content, %)	Wavelength selected(nm)	Regression*	
			r	SEC
Beniaka (n=35)	Moisture (59.7~68.9)	1263, 1410	0.970	0.638
	Protein (0.14~0.66)	1336, 2322	0.891	0.062
	Sugar (2.1~9.8)	1385, 1590	0.931	0.860
	Starch (19.1~28.6)	1699, 2122	0.961	0.801
Beniazuma (n=51)	Moisture (56.6~66.5)	1667, 1762	0.963	0.596
	Protein (0.28~2.22)	1647, 2205	0.933	0.162
	Sugar (2.1~4.8)	1388, 1590	0.938	0.269
	Starch (22.0~31.9)	1482, 2249	0.939	0.797

* Refer to Table 4-1.

た。水分とデンプンはキャリブレーションにおいて標準誤差が比較的小さく、相関も良かった（第4-4図および第4-5図）。また、バリデーションにおいても変動係数は水分では1.5%、デンプンでは5.1%と小さかった。しかし、タンパク質と全糖はキャリブレーションにおいては重相関係数がそれぞれ0.905、0.945とやや低く、バリデーションにおいても変動係数がそれぞれ32.4%、22.4%と大きかった。

7. 収穫時試料のキャリブレーション

収穫時の試料について、分析値と推定値との相関を調査した。収穫時試料の成分含量は、水分が60.0~68.9%、タンパク質が0.27~1.41%、全糖が2.1~2.8%、デンプンが22.2~31.1%であった。

収穫時試料の中心部を測定した2次微分スペクトルを用いて、4成分の分析値と推定値のキャリブレーションを行い、その結果を第4-6図に示した。収穫時の試料は、水分、タンパク質およびデンプンで良い相関が得られた。全糖は、成分含量の変化がきわめて少なかったために他の成分に比べて相関は低かったが、SECは約0.1と小さかった。

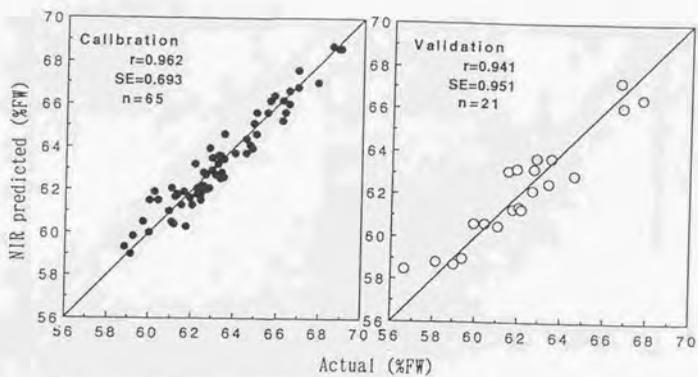


Fig. 4-4. Actual vs. NIR predicted values of moisture content in sweet potato root samples.

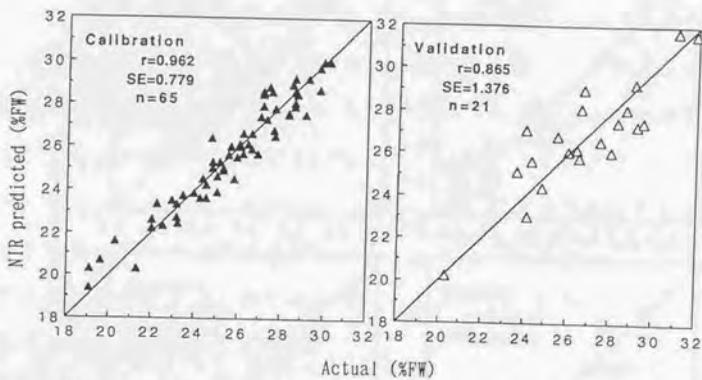


Fig. 4-5. Actual vs. NIR predicted values of starch content in sweet potato root samples.

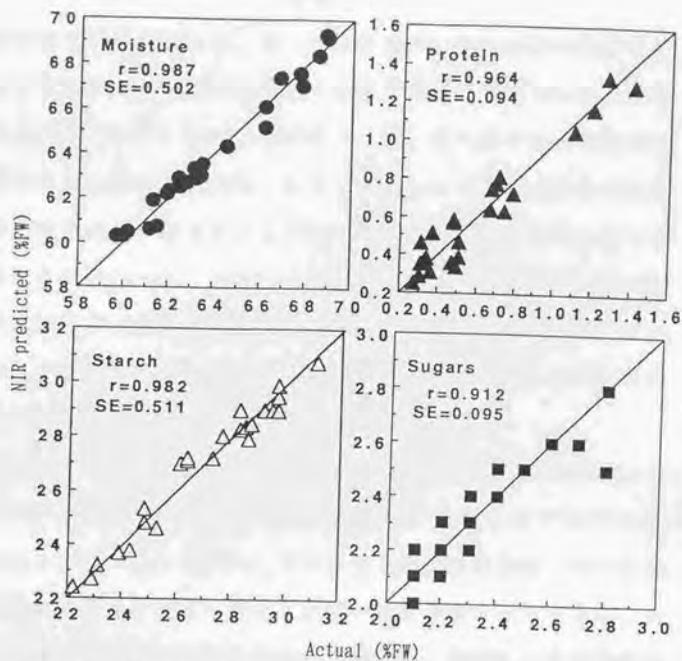


Fig. 4-6. Actual vs. NIR predicted values of moisture, protein, sugar, and starch contents in root samples of freshly harvested sweet potatoes.

考察

近赤外分光分析法により、サツマイモ塊根の成分含量を推定する可能性を検討した。成分含量は、これと相関の高い波長の吸光度を用いて推定されるが、成分の推定式（波長の吸光度を独立変数とする重回帰式）に用いる波長は、定量しようとする成分に特有であることや、他の成分の吸収による干渉が最も少ないことなどによって選択される（Williams, 1990）。本実験では、推定式に用いた波長はコンピューターの回帰演算プログラムによる自動選択としたため、選択された波長は成分との相関が高いものの、必ずしも各成分に特徴的とされる波長ではなかった。

推定式に用いるスペクトルは、拡散反射値 R の $\log(1/R)$ よりも $\log(1/R)$ の2次微分を用いることが望ましいと報告されている（Norris・Williams, 1984）。スペクトルの微分処理は、ベースラインの変動の影響を消去し重なったピークを分離させるために、より多くの情報を得ることができる（Hrushuka, 1990）。本実験においても、 $\log(1/R)$ よりはその1次微分スペクトルが、また総じて1次微分スペクトルよりも2次微分スペクトルが成分含量と高い相関を示した。

非破壊で測定するという観点からは、塊根の周辺部を測定することによって成分含量の推定を行えることが最も望ましい。しかし、周辺部を測定したスペクトルからは良好な成分含量の推定が困難であった。これは、反射スペクトルが皮の影響を受けることや、近赤外線線の到達距離が皮層の一部に限られてしまうことなどの影響によるものと考えられた。また、周辺部を測定したスペクトルからの推定式では、各成分とも1740 nm付近の波長が選択されていた。これは、

各成分と共通する因子との相関が高かったことを示唆している。しかし、塊根を輪切りにしてその中心部を測定したスペクトルを用いると、周辺部のスペクトルより精度の高い成分含量の推定が可能となった。

収穫時と貯蔵後および品種をこみにした塊根試料の、中心部を測定した2次微分スペクトルから得られた推定式について、その有効性を評価した。水分とデンプンについては、塊根の品種や貯蔵歴を問わず、含量の推定に利用できると思われた。しかしタンパク質と全糖は、収穫時と貯蔵後の試料をこみにした場合には相関がやや低くなったため、精度の高い含量の推定は困難と考えられた。

塊根試料を品種別に分けて、分析値と推定値との相関に及ぼす影響を検討した。品種別のキャリブレーションによっても相関は全体として大きな改善がなかったことから、これらの相関に及ぼす品種の影響は少ないと考えられた。

成分含量の推定は、貯蔵性や品質評価の目安とするために収穫時の塊根について行うことが多い。また、収穫時の塊根では糖含量がほぼ一定であるため、デンプン含量とタンパク質含量が主たる推定の対象となる。収穫時の試料だけを用いた場合に、水分やデンプンで相関が高いだけでなく、タンパク質や全糖での相関も比較的良好であった。塊根成分のうち、水分、糖、デンプンは各品種とも部位別に大きな差はないが、タンパク質は‘ベニアズマ’、‘ベニコマチ’、‘高系14号’では基部で高く中央部や末端部は相対的に低い(第3章第1節)。このため、塊根1個体のタンパク質含量の推定には、基部と末端部の試料を測定して平均化する必要がある。こうした点に留意することによって、収穫時サツマイモ塊根のデンプ

ン含量やタンパク質含量を近赤外分光分析法で推定することが可能と考えられた。

摘要

‘紅赤’と‘ベニアズマ’の、収穫時の塊根と貯蔵後の塊根を供試して、近赤外分光分析法によるサツマイモ塊根成分含量の推定について検討した。

1. 塊根試料の水分、タンパク質およびデンプンの含量は、試料の周辺部より中心部を測定した近赤外スペクトルとの相関が高かった。また、各成分含量は $\log(1/R)$ やその1次微分スペクトルより、総じて2次微分スペクトルとの相関が高かった。

2. 水分含量とデンプン含量は、収穫時と貯蔵後および品種をこみにした全ての試料について、2次微分スペクトルからの推定値と良好な相関（ともに $r=0.962$ ）があった。しかし、試料を品種ごとに分割しても、相関には明かな改善がなかった。

3. 収穫時試料の成分は、水分（ $r=0.987$ ）、デンプン（ $r=0.982$ ）とともにタンパク質（ $r=0.964$ ）についても、スペクトルからの推定値と分析値との間には良い相関があった。また、糖含量については相関がやや低かった（ $r=0.912$ ）ものの、SECは約0.1と小さかった。このため収穫時の塊根は、水分とデンプンだけでなくタンパク質や全糖についても、その含量を近赤外分光分析法によって推定することが可能と考えられた。

総合考察

サツマイモは高い同化能力を持つ作物であるため、食用作物や飼料作物として重要な役割を果たしており、全世界における生産量の9割を占めるアジア各国においては、塊根のデンプン含量やタンパク質含量を高めることが重要な課題となっている（藤瀬，1983）。

一方、日本やアメリカでは青果用としての需要が高く、わが国では生産されるサツマイモの約4割が市場販売用となっている（農水省畑作振興課，1991）。青果用サツマイモに求められる品質は外観や食味の良さが中心であるが、一部ではビタミンや食物繊維の量なども品質構成要素として取り上げられている。

1. 青果用サツマイモの皮色について

青果用サツマイモは、その原形を比較的活かした調理用途が中心となっているため、外観の品質は特に重要である。サツマイモ塊根の品質を構成する外観要素は病虫害の有無、形状および皮色であるが、これらの中で皮色は、その構成色素を含めて栽培要因や貯蔵要因の及ぼす影響の解明が必要とされていた。

(1) 皮色構成色素

サツマイモ塊根の最外層組織は周皮であり（星川，1983）、周皮細胞は皮色を構成するアントシアニンを含んでいた。サツマイモのアントシアニンについては、塊根内部（津久井ら，1983）や茎（Imbertら，1966）に含まれるアントシアニン、あるいは培養細胞の生産するアントシアニン（Nozueら，1987）などについての研究がある。しかし、塊根周皮に含まれるアントシアニンについては、ケラシアニン（シアニジン-3-グルコシルラムノシド）とする報告（中林ら，1967）があるだけである。

市場に流通している青果用サツマイモのほとんどは赤い皮色を有している。本研究によれば、これを構成する色素はアントシアニン配糖体であり、そのアグリコンはシアニンとペオニンだけであった。アグリコンに結合する糖はグルコースあるいはグルコースを単位とした2糖類だけであり、Imbert (1966) や Nozueら (1987) もサツマイモあるいはサツマイモを材料とした培養細胞において、アントシアニンの結合糖としてはグルコースないしはグルコースの二糖類だけを見いだした。サツマイモと同じ *Ipomoea* 属の *Ipomoea congesta* (Pomilio · Sproviero, 1972) や *Ipomoea tricolor* (Gotoら, 1981) の花に含まれるアントシアニンも、3-ソホロシド-5-グルコシドというグルコシドパターンを有していた。しかし、“紫サツマイモ”である ‘Yen 217’ ではキシロースの結合したアントシアニンが報告されている (津久井ら, 1983)。

サツマイモの塊根皮部アントシアニンは、ケイ皮酸の誘導体であるカフェ酸やフェルラ酸などを結合していた。また、天然色素では比較的事例の少ない *p*-ヒドロキシ安息香酸を結合するアントシアニンが4成分見いだされ、このうちの *p*-ヒドロキシベンゾイル-ペオニン-3-ジグルコシド-5-グルコシドは主要な色素の一つであった。

塊根内部にアントシアニンを持つ“紫サツマイモ”の、わが国における代表的な品種である‘山川紫’と‘種子島紫’では、塊根内部に含まれるアントシアニンは皮部に含まれるアントシアニンと同じ構造を有していた。しかし、塊根内部のアントシアニンはほとんどが有機酸の結合したアシル化アントシアニンであり、非アシル化アントシアニンを多く含む塊根皮部のアントシアニンとは明らかに組成を異にしていた。この組成の違いは、塊根内部におけるアント

シアニンのアシル化の必要性など、二次代謝の各器官における差異を推察させるものとして興味深い。

皮色を構成するアントシアニンの組成は、品種ごとに特徴があった。とりわけ皮色の濃い‘ベニアズマ’は、有機酸を結合しないアントシアニンの比率が高く、またシアニジンのアグリコンとするアントシアニンがきわめて少なかった。このため、アントシアニンの組成分析は品種の判別にも利用可能と考えられた。

(2) 皮色と栽培要因

サツマイモ塊根皮部のアントシアニンは、収穫までの生育中、各成分ごとに異なる変化を示した。増加の著しかったアントシアニンは、‘紅赤’でも‘ベニアズマ’でもペオニジン-3-ジグルコシド-5-グルコシドや*p*-ヒドロキシベンゾイル-ペオニジン-3-ジグルコシド-5-グルコシドであったが、これらは塊根内部にはほとんど存在せず、皮部に特徴的なアントシアニンであった。

植物のアントシアニン含量は様々な要因によって影響される(杉山, 1970)。サツマイモ塊根の皮色に影響する栽培要因としては、土壌中の窒素含量などの化学性および土壌水分などの物理性や気象条件などがあげられる。これまでに、土壌水分や窒素が多くて“つるぼけ”をおこすとサツマイモ塊根の皮色が不良になる(Constantinら, 1974)ことや、葉色濃度が高いほど皮色は低下するが収量との間には相関がない(植田ら, 1959)ことが知られている。一方、土壌の物理性と皮色との関連については、通気性と排水性が良くかつ保水性の良い沖積砂壤土で最も皮色が濃く、過乾燥となる海成砂土では皮色が不良であったとする金田ら(1975)の報告や、早掘り栽培では砂土は埴土に比べて生育は劣るが皮色は濃く

なったという報告（加藤・中山，1975）がある。このため、皮色は土質そのものより土質に影響される生育との関連が高いと考えられた。また、一時的に湛水するような排水の不良な圃場では、生育については異なるところがなくとも、塊根の着色は不良となる傾向にあった（宮崎ら，未発表）。このように、塊根皮色は茎葉および塊根の生育や圃場の排水性などとの関連が高いと考えられた。また、肥料要素としては窒素が最もこれに影響するが、津野・藤瀬（1965）は、カリもサツマイモの生育および塊根の着色に及ぼす影響が高いと報告している。

また、皮色を濃くする栽培方法としてルチンの葉面散布などの報告（加藤ら，1973）があるが、最近猪野ら（1991）は、‘紅赤’や‘高系14号’ではウイルスフリー苗の利用によって皮色の改善がはかれることを報告した。

（3）皮色と貯蔵条件

皮色に及ぼす貯蔵要因の影響はキュアリング処理と貯蔵湿度が大きく、貯蔵温度は小さかった。キュアリング処理によって皮抽出液の吸光度は15～20%減少し、皮色はやや赤みを増した。しかし、皮色の濃い‘ベニアズマ’などでは、キュアリング処理による皮色評価の低下は少なかった。

貯蔵湿度が皮色に及ぼす影響について報告した例は少ない。‘紅赤’と‘ベニアズマ’を包装処理して貯蔵したところ、両品種とも90%RH以下の湿度では皮色は暗赤色化し、98%RH以上の高湿度では斑状の変色が多く発生した。これに対し、95%RH程度の湿度はいずれの異状も少なかった。このため、皮色が重視される青果用サツマイモの場合には、95%RH程度の湿度で貯蔵することが望ましいと考

えられた。一方、貯蔵湿度に対する塊根の変化を調査したEzellら(1956)は、空気中の水分を飽和状態として貯蔵した場合に脱色に近い皮色の変化が起こることを認め、95%RH以上の貯蔵湿度は不適当であり、85~90%RHを適当な貯蔵湿度と結論した。しかし同時に、85~90%RHにおける貯蔵では6か月貯蔵後の重量減少率が15%前後にもなることを報告している。わが国の青果用品種の中でも、'高系14号'は貯蔵中に甚だしい脱色を生じることがあり、湿度に対する皮色の反応は品種でかなり異なっている。

2. 青果用サツマイモの貯蔵性について

サツマイモ塊根は、期間の長短はあるものの、ほとんどが貯蔵される。貯蔵中における最大の障害は腐敗である。これを防止するために、これまで主として病害対策などを中心とした貯蔵方法の研究が行われてきた(松本・庵原, 1948; Moyer, 1982)。しかし、腐敗に関係するもう一つの大きな要因と考えられる塊根自体の健全性については、これまでほとんど研究されなかった。

(1) 栽培要因と貯蔵性

腐敗の発生には病原菌の有無や貯蔵条件だけでなく、サツマイモ塊根自体の健全性が大きく影響していると考えられた。同一品種においては、塊根の健全性は茎葉の繁茂をはじめとする生育の状態と深くかわり合っている。茎葉が比較的多く繁茂し植物体の10 aあたり窒素含量の多いサツマイモの塊根は、貯蔵中の腐敗が少なかった。塊根においては窒素の多くがタンパク態であるため、植物体の10 aあたり窒素含量が多いことは、植物体が生長を続けタンパク質の合成などを行うために窒素を必要としている状態にあることを示している。従って、このようなサツマイモ塊根は健全性が高く、腐

敗に対する抵抗性が強いと考えられた。

‘紅赤’と‘ベニアズマ’の生育状態と塊根の貯蔵性を見ると、両品種とも茎葉の生育が一定程度あり、T/R比が1.0前後の生育を示した場合に、塊根は品質と貯蔵性に優れている傾向が認められた。サツマイモの生育に最も大きな影響を及ぼす要因は土壌中の窒素含量であり（沢畑，1992）、窒素が過剰に存在しかつカリ／窒素比が低い場合には“つるぼけ”傾向があらわれ、塊根の品質や収量が低下する（渡邊，1979）。「紅赤」は窒素に敏感で“つるぼけ”する傾向が強い（戸苅，1950）ため、特にその施用を控える傾向がみられる。しかし、窒素の施用が少なすぎるとは貯蔵性の優れた塊根は生産できない。“つるぼけ”はカリの投与などによっても軽減できる（津野・藤瀬，1965）が、化学肥料の多投による連作は塊根の形を乱し良品の生産を妨げる（篠原，1987）。このため、外観と貯蔵性を良好にするためには、野菜や他作物との輪作によって土壌養分の供給を行うことが望ましいと考えられた。

（2）塊根特性と貯蔵性

塊根の主要な構成成分は水分とデンプンであり、2成分で90%以上を占めた。塊根タンパク質は‘ベニアズマ’と‘ベニコマチ’では約1%の含量を有していたが、‘紅赤’と‘高系14号’では0.4%程度にすぎなかった。Varonら（1989）は、‘Jewel’の塊根から抽出したタンパク質を12% SDS-PAGEで分離した結果、主要なタンパク質はJones・Gersdorff（1931）のIpomoeinあるいはMaeshimaら（1985）が‘高系14号’から分離したSporaminと同じ25 kDaのタンパク質であると報告した。

しかし本研究では、10%と15%の分離用ゲルを用いたSDS-PAGEに

において、'紅赤'と'ベニアズマ'に共通して4本の主要なタンパク質のバンドを分離した。このうち25 kDa近傍のバンドは、タンパク質含量の変化に連動していた。また、この近傍ではバンドは1本ではなく、近接した2本のバンドが認められた。最も多いタンパク質バンドは品種によって異なり、'紅赤'では24 kDa、'ベニアズマ'・'ベニコマチ'・'高系14号'では22 kDaであった。

青果用サツマイモでは、濃い皮色を有する塊根を生産するために系統選抜や栽培条件の検討が行われてきた。濃い皮色を有する塊根はデンプン含量も高い(加藤・中山, 1975; 金田ら, 1975)。皮色などの品質的な属性と貯蔵性との関連については、皮色が濃くデンプン含量の高い塊根は皮色がうすくデンプン含量も低い塊根に比べて貯蔵中の腐敗は多くなる、と経験的に考えられている。塊根の皮色を構成する色素であるアントシアニンのような二次代謝産物は、細胞の分化と深い係わりを持つとされている。駒嶺らのグループは培養細胞系を用いた実験において、タンパク質の合成が停止したとき中間代謝物質であるフェニルアラニンがアントシアニンの合成に振り向けられるとしている(掛川ら, 1991)。このことは、サツマイモの皮色と細胞の老化ひいては塊根の貯蔵性を考察するうえで興味深い。

一方、高品質な塊根の中にも貯蔵性の良い塊根が少なからず見いだされた。このため、塊根の品質・成分と貯蔵性との関係を調査し、新たな貯蔵性の指標を検討した。皮色が濃くデンプン含量も高い塊根中、腐敗が多く発生したのはタンパク質含量の少ない塊根であり、タンパク質含量の多い塊根では腐敗の発生が少ない傾向が認められた。このためタンパク質含量は、皮色やデンプン含量より優れた貯

蔵性の指標になり得ると考えられた。そして、貯蔵中に腐敗が少ない塊根の収穫時におけるタンパク質含量の目安は、'紅赤'では約0.4%、'ベニアズマ'では約0.8%と考えられた。また、皮色が濃く貯蔵中の腐敗が少ない塊根は、貯蔵後の皮色の保持も良好であり、総合的にも貯蔵性が優れていた。

塊根のタンパク質組成と貯蔵性の品種間差異を検討したところ、'紅赤'は22 kDaと24 kDaのタンパク質組成が他の品種とは異なっており、4品種の中では貯蔵性のやや劣る品種であった。また、'紅赤'はタンパク質含量が比較的少ないにもかかわらず、酸性フォスファターゼ活性は他の品種よりも約100倍高い特異な品種でもあり(藤本ら, 1986)、これらのタンパク質と貯蔵性との関連も興味深い。

3. 青果用サツマイモの品質評価法

これまでのサツマイモの品質評価は、人の主観的な判断や煩雑な化学分析などによって行われてきた。また、貯蔵性については収穫時の品質としてはほとんど顧慮されてこなかった。そこで、品質評価を迅速で客観的に行う方法を検討した。

(1) 皮色の評価

サツマイモの皮色は濃い鮮紅色が好まれている。皮色の濃さは一定面積の皮を1%塩酸-メタノールで抽出した液の吸光度と良い比例関係があったため、皮抽出液の吸光度は品質要因である皮色の濃さを判定する客観的な基準になり得ると考えられた。皮抽出液の吸光度は'ベニアズマ'が最も濃く、'紅赤'や'高系14号'の2~3倍であった。皮色は、皮(8 cm²)抽出液の吸光度で0.35以上が市場評価で好ましいとされる最低限の濃さと考えられた。このため、

ほとんどの‘ベニアズマ’は良い市場評価を得られるが、系統や栽培法で皮色はかなり変化する‘紅赤’などでは、皮色の濃さの測定を品質評価に取り入れる必要があると考えられた。

鮮紅色は明るく艶がある赤色とも表現される。明るさや艶は塊根皮抽出液の吸光度とは必ずしも比例せず、吸光度は高いが暗く艶のない皮色もある。皮色の明るさや艶は色彩色差計を用いた測定によって表すことが可能であり、同一品種では“L”×“b”/“a”値が小さいほど明るく好ましい色と観察された。なお、“a”値は観察による皮色の濃さと高い正の相関のあることを金田ら(1975)が報告している。また、皮色の色調は品種によって微妙な差があるが、これはアントシアニンの量と組成の違いが影響していると思われる。

(2) 成分分析

収穫時における塊根成分のうち、デンプンは品質の要素として、またタンパク質は貯蔵性を推定するものとして重要である。このため、これらの成分の含量を迅速に推定する方法の開発が望まれている。

近赤外分光分析法は、試料に近赤外線を照射してその反射光あるいは透過光の測定から目的成分を分析する方法であり、成分含量を推定するために必要な時間はきわめて短い。このため、最近では果実の非破壊選果などにも取り入れられるようになってきている(大森, 1990)。サツマイモにおいても、成分含量を非破壊で精度良く測定できることが望ましい。しかし、非破壊で測定する場合には塊根周辺部組織の成分の影響が強く、必ずしも塊根全体の成分含量との相関は高くないことが懸念された。本研究でも、塊根の周辺

部を測定した場合より中心部を直接測定した場合に成分含量の推定精度が高くなったため、サツマイモ塊根の非破壊成分分析は困難と考えられた。

塊根を横断して中心部のスペクトルを測定した収穫時の塊根についてみると、水分含量とデンプン含量は分析値と近赤外分光分析法による推定値との間に高い相関が得られた。タンパク質含量は、これらに比べやや相関が低かったが、キャリブレーションの標準誤差は約0.1（タンパク質含量の平均値：0.62%）であり、貯蔵性の予測にも利用可能と考えられた。しかし、一圃場よりランダムに塊根を分析に供した場合、タンパク質含量の変動率は10～30%あるため、一圃場の塊根のタンパク質含量の推定には少なくとも10本程度の塊根を分析する必要があると考えられた。

近赤外分光分析計は価格が一千万円以上する高価な分析機器であり、高性能のコンピューターを登載したことによってデータの迅速な解析が可能となった。しかし近赤外分光分析法では、成分の分子運動に関連した倍音とよばれる微弱なシグナルを利用するため、ランプのエネルギー源や機器のスペクトル解析能力などの違いによる差が大きい。このため、いまだ成分を推定するための重回帰式はそれぞれの分析計ごとに求めることが望ましいとされており、機器については汎用性などにも改善すべき点が残されている。

このように、近赤外分光分析法はいくつかの問題点も指摘されているが、これを選果へ利用し始めたモモなどでは、個体ごとに糖度を推定することによって個々の品質保証が可能となっただけでなく、これらのデータを生産樹や栽培圃場ごとにまとめ、栽培の改善に利用することも計画されている。サツマイモにおいても、近赤外分光

分析計によるデンプン含量などの迅速な推定は、青果用だけでなくデンプン原料用あるいは加工用サツマイモの品質判定にも利用できると思われた。またタンパク質含量の推定は、収穫時におけるT/R比などの生育状況と合わせて、貯蔵中における塊根の腐敗発生を予測することが可能となるため、サツマイモの合理的な貯蔵・出荷に役立つものと考えられた。

総摘要

本研究は、高品質で貯蔵性に優れた青果用サツマイモ（塊根）の生産技術と高品質を保持する貯蔵技術の開発に資するために、その品質特性と塊根の貯蔵性に関する諸要因について検討したものである。

1. サツマイモ塊根の皮色および皮色構成色素とその生育中および貯蔵中における変化

(1) '紅赤' および 'ベニアズマ' の塊根皮部に含まれる主要なアントシアニンは、シアニジン-3-ジグルコシド-5-グルコシド、ペオニジン-3-ジグルコシド-5-グルコシド、*p*-ヒドロキシベンゾイル-シアニジン-3-ジグルコシド-5-グルコシド、*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、カフェオイル-*p*-ヒドロキシベンゾイル-シアニジン-3-ジグルコシド-5-グルコシド、カフェオイル-*p*-ヒドロキシベンゾイル-ペオニジン-3-ジグルコシド-5-グルコシドおよびカフェオイル-ペオニジン-3-ジグルコシド-5-グルコシドであった。

(2) '紅赤'、'ベニアズマ'、'山川紫' および '種子島紫' の塊根皮部には共通したアントシアニンが含まれており、最大で13種類が分離された。

(3) "紫サツマイモ" である '山川紫' と '種子島紫' の塊根内部に含まれるアントシアニンは、カフェ酸やフェルラ酸の結合したアシル化アントシアニンが大部分を占め、塊根皮部に存在するアントシアニンとは組成を異にしていた。

(4) 塊根皮色を構成するアントシアニンは、'紅赤'、'ベニアズマ'、'ベニコマチ' および '高系14号' の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。

塊根皮部の1%塩酸-メタノール抽出液の吸光度は皮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2~3倍の吸光度を有していた。

(5) 生育中の‘紅赤’および‘ベニアズマ’の塊根皮部では、2種類のアントシアニン(ペオニジン-3-ジグルコシド-5-グルコシドと*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)が顕著に増加した。

(6) 貯蔵中に皮色は変化した。貯蔵6か月後には皮抽出液の吸光度が2~3割減少した。また、キュアリング処理によって皮抽出液の吸光度は約2割減少した。

(7) 4か月以上の長期貯蔵における塊根皮色の保持には、13℃で95%RH程度の貯蔵環境が適していると考えられた。貯蔵湿度を100%RH近くに高めると皮色はやや淡くなり、貯蔵4か月以降には一部に斑状の変色なども生じた。

2. サツマイモ塊根の成分に及ぼす貯蔵処理と加熱処理の影響

(1) 収穫時の塊根成分含量は、‘紅赤’ではデンプン23~26%、全糖2%、有機酸0.5%であり、‘ベニアズマ’ではデンプン27~30%、全糖2%、有機酸1%であった。主要な糖はシュクロースであり、‘ベニアズマ’では全糖の90%以上を占めていた。

(2) 収穫直後のキュアリング処理によって両品種のシュクロース含量は約4%に増加した。キュアリング無処理区のシュクロース含量は13℃貯蔵中に1か月後まで徐々に増加して約4%となったが、‘紅赤’では貯蔵4か月後より再び増加し貯蔵6か月後には8~10

％にも達した。しかし、キュアリング処理区は貯蔵中における糖含量の変化が少なかった。また、'紅赤'では低温での貯蔵ほどシュクロース含量が増大した。

(3) 貯蔵中におけるシュクロース含量の変化は、シュクロースシンターゼの活性変化と関連する傾向が認められた。しかし、シュクロースリン酸シンターゼはシュクロースの増加に関与していないと考えられた。

(4) ポリフィルム包装によってサツマイモ塊根の貯蔵湿度を高めると、貯蔵中の重量減少が抑制されるだけでなく、'紅赤'ではシュクロースや有機酸の変化が少なくなった。

(5) 収穫直後の塊根を加熱することにより、'紅赤'では7%、'ベニアズマ'では14%のマルトースが生成した。加熱によってマルトースへ転換したデンプンの割合は、貯蔵期間の長い塊根ではやや増加した。

(6) 加熱後の'ベニアズマ'のテクスチャーは、収穫時には粉質であるが貯蔵中にやや粘質化する傾向を示した。加熱した塊根のテクスチャーと加熱前の塊根デンプン含量との関連性は認められなかった。

3. サツマイモの塊根タンパク質と貯蔵性との関係

(1) 塊根のタンパク質含量は、'ベニアズマ'と'ベニコマチ'では新鮮重あたり約1%、'紅赤'と'高系14号'では新鮮重あたり約0.4%であった。最も主要なタンパク質は'紅赤'では24 kDa、他の3品種では22 kDaの分子量を有していた。

(2) 生育中、タンパク質は含量や組成の変化が少なかった。また貯蔵中、タンパク質含量は'紅赤'ではやや減少する傾向を示した

が、'ベニアズマ'では一定の変化を示さなかった。貯蔵中にタンパク質含量の低下した塊根では、最も主要なタンパク質の組成比が低下した。

(3) 'ベニアズマ'のタンパク質含量は、収穫時のキュアリング処理によって塊根末端部で減少したが、貯蔵後のキュアリング処理では変化がなかった。また、'紅赤'では、収穫時および貯蔵後もキュアリング処理によるタンパク質の含量および組成変化が少なかった。

(4) キュアリング処理によるタンパク質含量の変化と発芽の有無との関係は明かでなかった。しかし、塊根の糖含量は発芽と関連した変化が認められた。

(5) 塊根のタンパク質含量は、収穫時における10 aあたり茎葉重と'紅赤'では $r=0.67$ 、'ベニアズマ'では $r=0.70$ の相関があり、植物体の10 aあたり窒素含量とはそれぞれ $r=0.94$ 、 $r=0.90$ の高い相関があった。しかし、塊根の皮色やデンプン含量とは良い相関が認められなかった。

(6) 塊根の新鮮重あたりタンパク質含量と乾物重あたり窒素含量とは、'紅赤' ($r=0.957$)、'ベニアズマ' ($r=0.941$)とも比較的高い正の相関があった。また、乾物重あたりのタンパク質含量と窒素含量とは高い相関 ($r=0.974$)を示した。

(7) タンパク質含量が高い塊根は、貯蔵中の腐敗が少なかった。'紅赤'では0.4%以上、'ベニアズマ'では0.8%以上のタンパク質を含有する塊根は、貯蔵性に優れていると考えられた。また、植物体の10 aあたり窒素含量が'紅赤'では7~9 kg/10a、'ベニアズマ'では11~13 kg/10aであった試験圃場の塊根は、貯蔵後の商品

塊根率が高かった。

(8) 茎葉の生育が多く、 T/R 比が0.8~1.3の範囲にある株から収穫された塊根は、貯蔵中に腐敗が少なく皮色がよく保持された。貯蔵性に優れた塊根を生産するためには、収穫時における茎葉が‘紅赤’では2~2.5 t/10a、‘ベニアズマ’では約3 t/10a必要と考えられた。

4. 近赤外分光分析法によるサツマイモ塊根成分含量の推定

(1) 塊根試料の水分、タンパク質およびデンプンの含量は、試料の周辺部より中心部を測定した近赤外スペクトルとの相関が高かった。また、各成分含量は $\log(1/R)$ やその1次微分スペクトルより、総じて2次微分スペクトルとの相関が高かった。

(2) 水分含量とデンプン含量は、収穫時と貯蔵後および品種をこみにした全ての試料について、2次微分スペクトルからの推定値と良好な相関(ともに $r=0.962$)があった。しかし、試料を品種ごとに分割しても、相関には明かな改善がなかった。

(3) 収穫時試料の成分は、水分($r=0.987$)、デンプン($r=0.982$)とともにタンパク質($r=0.964$)についても、スペクトルからの推定値と分析値の間には良い相関があった。また、糖含量については相関がやや低かった($r=0.912$)ものの、SECは約0.1と小さかった。このため収穫時の塊根は、水分とデンプンだけでなくタンパク質や全糖についても、その含量を近赤外分光分析法によって推定することが可能と考えられた。

引用文献

- Ajlouni, S. and M. K. Hamdy. 1988. Effects of gamma-irradiation and storage on biochemical changes in sweet potato. *J. Food Sci.* 53 : 477-481.
- ap Rees, T., W. L. Dixon, C. J. Pollock and F. Franks. 1981. Low temperature sweetening of higher plants. p. 41-61. In : Friend, J. and M. J. C. Rhodes (eds.). *Recent Advances in the Biochemistry of Fruits and Vegetables*. Academic Press. London.
- Asen, S., R. N. Stewart and K. H. Norris. 1979. Pelargonidin 3-Dl (*p*-hydroxybenzoyl) rutinoside-7-glucoside from flowers of *Campanula*. *Phytochem.* 18 : 1251-1252.
- 馬場透・中間洋征・田丸保夫・河野利治. 1987. 低B-アミラーゼ活性サツマイモの貯蔵中における糖類及びデンプンの変化. *日食工誌*. 34 : 249-253.
- Bassa, I. A. and F. J. Francis. 1987. Stability of anthocyanins from sweet potatoes in a model beverage. *J. Food Sci.* 52 : 1753-1754.
- Brach, E. J., C. T. Phan, G. Poushinsky, J. J. Jasmin and C. B. Aube. 1982. Lettuce maturity detection in the visible (380-720 nm) far red (680-750 nm) and near infrared (800-1850 nm) wavelength band. *Agronomie* 2 : 685-694.
- Chandler, B. V. and K. A. Harper. 1961. Identification of saccharides in anthocyanins and other flavonoids. *Aust. J. Chem.* 14 : 586-595.

- Chen, H. J., H. Y. Sung and J. C. Su. 1981. Role of sucrose synthase in sucrose-starch conversion in rice grains. Proc. Natl. Sci. Counc. Repub. China. Part B. Life Sci. 5 : 165-170.
- Collins, W. W., W. M. Walter, Jr. and S. Torgersen-Belding. 1990. Carbohydrate changes in sprouting sweetpotato roots. HortScience 25 : 979.
- Constantin, R. J., T. P. Hernandez and L. G. Jones. 1974. Effects of irrigation and nitrogen fertilization on quality of sweet potatoes. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 99 : 308-310.
- Defekete, M. and C. E. Cardini. 1964. Mechanism of glucose transfer from sucrose into the starch granule of sweet corn. Arch. Biochem. Biophys. 104 : 173-184.
- Deobald, H. J., V. C. Hasling and E. A. Catalano. 1971. Variability of increases in α -amylase and sugars during storage of 'Goldrush' and 'Centennial' sweet potatoes. J. Food Sci. 36 : 413-415.
- Dull, G. G., R. G. Leffler, G. S. Birth, A. Zaltzman and Z. Schmilovitch. 1991. The near infrared determination of moisture in whole dates. HortScience 26 : 1303-1305.
- Ezell, B. D., M. S. Wilcox and K. E. Demaree. 1956. Physiological and biochemical effects of storage humidity on sweet potatoes. Agri. Food Chem. 4 : 640-644.
- 藤本貞毅・山田健司・黒田隆治・田中 徹・小原 晃. 1986. サツ

- マイモに含まれる2種の酸性フォスファターゼの酵素学的、物理化学的、免疫学的性質の比較。農化。60 : 605-608.
- 藤瀬一馬。1983. 高エネルギー植物の研究—世界のいも類作物のエネルギー生産力調査。(2) サツマイモの収量性について。文部省科研費。エネルギー特別研究V。生物エネルギーの利用と開発。
- 藤原孝之。1991. 近赤外分光分析法によるイチゴ糖度の非破壊測定。園学雑。60(別2) : 640-641.
- Goto, T., T. Kondo, H. Imagawa, S. Takase, M. Atobe and I. Miura. 1981. Structure confirmation of tris-deacyl heavenly blue anthocyanin an alkaline hydrolysis product of heavenly blue anthocyanin obtained from flower of morning glory 'Heavenly Blue'. Chem. Letters. p.883-886.
- Harborne, J.B. 1958. Spectral methods of characterizing anthocyanins. Biochem. J. 70 : 22-28.
- Harborne, J.B. 1967. Comparative Biochemistry of the Flavonoids. p. 16-21. Academic Press, London and New York.
- Hattori, T., T. Nakagawa, M. Maeshima, K. Nakamura and T. Asahi. 1985. Molecular cloning and nucleotide sequence of cDNA for sporamin, the major soluble protein of sweet potato tuberous roots. Plant Mol. Biol. 5 : 313-320.
- Hayashi, T. and K. Kawashima. 1983. Activities of enzymes of sugar metabolism in gamma-irradiated potato tubers. J. Food Sci. 48 : 1242-1246.

- Hayashi, T., T. Sugimoto and K. Kawashima. 1984. Effects of gamma-irradiation on the activities of sucrose synthase and sucrose phosphate synthase in potato tubers and sweet potato roots. *Jap. J. Food Sci. Technol.* 31 : 281-284.
- Hopkins, E. F. and J. K. Phillips. 1937. Temperature and starch-sugar change in sweet potatoes. *Science* 86 : 523-525.
- 星川清親. 1983. 新編食用作物. p. 591-601. 養賢堂. 東京.
- Hubbard, N. L., S. C. Huber and D. M. Pharr. 1989. Sucrose phosphate synthase and acid invertase as determinants of sucrose concentration in developing muskmelon (*Cucumis melo* L.) fruits. *Plant Physiol.* 91 : 1527-1534.
- Hubbard, N. L., D. M. Pharr and S. C. Huber. 1990. Role of sucrose phosphate synthase in sucrose biosynthesis in ripening banana and its relationship to the respiratory climacteric. *Plant Physiol.* 94 : 201-208.
- Hruschka, W. R. 1990. Data analysis : wavelength selection methods. p. 35-56. In : Williams, P. C. and K. H. Norris (eds.). *Near-infrared Technology in Agricultural and Food Industries*. Amer. Assoc. Cereal Chemists, Minnesota.
- Imbert, M. P., C. E. Seaforth and D. B. Williams. 1966. The anthocyanin pigments of the sweetpotato *Ipomoea batatas* (L.) Lam. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 88 : 481-485.
- 稲津 脩. 1988. 北海道産米の食味向上による品質改善に関する

- 研究. 北海道立農試報, 66 : 7-10.
- 猪野 誠・大越一雄・長谷川理成. 1991. サツマイモ・ウイルスフリー苗の利用効果(2)形状、表皮色、炭水化物含量の推移. 日作紀別 1. : 278-279.
- 岩井 巖・畑佐邦男・池ヶ谷賢次郎. 1953. 施用窒素量が甘藷の生育並びに無機成分の含有量に及ぼす影響. 岐阜大農研報, 2 : 113-119.
- Iwamoto, M., K. H. Norris and S. Kimura. 1981. Rapid prediction of chemical compositions for wheat, soybean, pork and fresh potatoes by near infrared spectrophotometric analysis. J. Jpn. Soc. Food Sci. Technol. 28 : 85-90.
- Iwamoto, M., C. R. Kwang, T. Suzuki and J. Uozumi. 1984. Near infrared reflectance analysis for determining moisture, protein and ash contents in home-grown wheat flours. J. Jpn. Soc. Food Sci. Technol. 31 : 50-53.
- Jenkins, W. F. and M. Gieger. 1957. Quality in baked sweet potatoes affected by varieties and post-harvest treatments. Food Res. 22 : 32-36.
- Jones, D. B. and C. E. F. Gersdorff. 1931. Ipomoein, a globulin from sweet potatoes, *Ipomoea batatas*. Isolation of secondary protein derived from Ipomoein by enzyme action. J. Biol. Chem. 93 : 119-126.
- 掛川弘一・杉山宗隆・駒嶺 稔. 1991. 高等植物の細胞増殖と二次代謝の発現機構. 化学と生物 29 : 70-72.
- 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壤環境に関する研究. (第1報) カンショ '高系14号' の皮色に及ぼす土壤環境の影響について. 静岡農試研報. 22 : 24-31.

加藤 徹・吉弘昌昭・中山信弘. 1973. 園芸作物に対するルチンの生理的役割ならびにその利用に関する研究. II. サツマイモに対する散布効果について. 高知大学研報 (農学). 22 : 107-114.

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.

河野澄夫・渡邊久芳・岩本睦夫. 1989. 近赤外分光分析法によるモモの糖度の非破壊計測. 園学雑. 58(別2) : 604-605.

桐淵寿子・久保田紀久枝. 1976. 甘藷の加熱調理に関する研究. (第1報) 生成糖と β -アミラーゼ活性. 家政誌. 27 : 418-422.

小林 仁. 1984. サツマイモのきた道. 古今書院. 東京.

Kondo, T., K. Oki, K. Yoshida and T. Goto. 1990. Structure of violdelphin, an anthocyanin from violet flower of *Delphinium hybridum*. *Chemistry Letters*. 137-138.

Laemmli, U. K. 1970. Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4. *Nature*

- (London) 227 : 680-685.
- Lanza, E. 1983. Determination of moisture, protein, fat, and calories in raw pork and beef by near infrared spectroscopy. *J. Food Sci.* 48 : 471-474.
- Lanza, E. and B. W. Li. 1984. Application for near infrared spectroscopy for predicting the sugar content of fruit juices. *J. Food Sci.* 49 : 995-998.
- Lewis, D. A. and L. L. Morris. 1956. Effects of chilling storage on respiration and deterioration of several sweet potato varieties. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 68 : 421-428.
- Li, H. and K. Oba. 1985. Major soluble proteins of sweet potato roots and changes in proteins after cutting, infection, or storage. *Agri. Biol. Chem.* 49 : 737-744.
- Li, L. 1982. Breeding for increased protein content in sweet potatoes. p. 345-354. In : Villareal, R. L. and T. D. Griggs (eds.). *Sweet Potato, Proceedings of first international symposium.* AVRDC, Tainan.
- Mabry, T. J., K. R. Markham and M. B. Thomas. 1970. *The Systematic Identification of Flavonoids.* p. 268-269. Springer-Verlag, N.Y. Inc. New York.
- Maeshima, M., T. Sakai and T. Asahi. 1985. Characterization of major protein in sweet potato tuberous root. *Phytochem.* 24 : 1899-1902.
- 松本熊市・庵原 遜. 1948. 甘藷の貯蔵法. p. 1-36. 農業技術協会.

東京.

- 宮崎丈史・猪野 誠. 1991. 貯蔵サツマイモの内部褐斑発生に及ぼす塊根品質と貯蔵条件の影響. 千葉農試研報. 32 : 65-72.
- 宮崎丈史・新堀二千男. 1991. サツマイモ '紅赤' および 'ベニアズマ' の品質変化に及ぼす貯蔵条件の影響. 千葉農試研報. 32 : 73-80.
- 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.
- 宮崎丈史. 1992. 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. 園学雑. 61 : 191-197.
- Moyer, J. W. 1982. Postharvest disease management for sweet potatoes. p. 177-184. In : Villareal, R. L. and T. D. Griggs (eds.). Sweet Potato, Proceedings of the first international symposium. AVRDC. Tainan.
- 村田孝雄. 1971. 甘しょ塊根におけるデンプン生合成に関する研究. (第4報) 甘しょ塊根のショ糖合成酵素. 農化. 45 : 441-448.
- 村田孝雄. 1971. 甘しょ塊根のショ糖代謝. 化学と生物 9 : 505-507.
- 中 潤三郎. 1962. 甘藷の生育過程に関する作物生理学的研究. 香川大農紀要. 9 : 1-96.
- Nagao, A., J. Uozumi, M. Iwamoto and M. Yamazaki. 1985. Determination of fat content in meats by near-infrared reflectance spectroscopy. J. Jpn. Oil Chem. Soc. (YUKA-

- GAKU) 34 : 257-261.
- 中林敏郎・木村 進・加藤博道. 1967. 食品の変色とその化学.
p. 36. 光琳書院. 東京.
- 中村研三・服部束穂. 1989. 貯蔵タンパク質遺伝子. p. 212-237.
高橋萬右衛門監修. 植物遺伝情報の変換. 秀潤社. 東京.
- 奈良省三. 1951. 甘藷の加工貯蔵に関する一、二の基礎的研究.
三重大学芸教育研紀要. 6 : 31-37.
- 奈良省三. 1957. 蒸甘藷加工に関する研究 (第5報) 粉質と粘質と
の差違. 三重大農学報. 14 : 145-147.
- 奈良省三. 1958. 蒸甘藷加工に関する研究 (第6報) 蒸煮によるペ
クチン物質の変化. 三重大農学報. 18 : 41-46.
- 西 宏. 1949. 甘藷蛋白質について. 農化. 23 : 52-56.
- 野口弥吉・竹井邦彦. 1945. 貯蔵中における甘藷の呼吸作用.
農及園. 20 : 303-304.
- Nooden, L. D. 1988. Whole plant senescence. p. 391-439. In :
Nooden, L. D. and A. C. Leopold (eds.). Senescence and
Aging in Plants. Academic Press. San Diego.
- 農林水産省農蚕園芸局畑作振興課. 1991. いも類の生産流通に関す
る資料. p. 78-81.
- Norris, K. H. and P. C. Williams. 1984. Optimization of
mathematical treatments of raw near-infrared signal in
the measurement of protein in hard red spring wheat. I.
Influence of particle size. Cereal Chem. 61 : 158-165.
- Nozue, M., J. Kawai and K. Yoshitama. 1987. Selection of a
high anthocyanin-producing cell line of sweet potato

- cell cultures and identification of pigments. *J. Plant. Physiol.* 129 : 81-88.
- 小川 奎・渡辺 健. 1988. サツマイモの貯蔵腐敗に関与する要因. 関東東山病害虫研究会年報. 35 : 36-37.
- 大森定夫. 1990. 青果物の鮮度・熟度計測技術の現状と展望. 食品低温流通. 19 : 4-8.
- Park, Y. W., M. J. Anderson and A. W. Mahoney. 1982. Potential of near infrared reflectance (NIR) spectroscopy for estimating nutrient content of dehydrated vegetables. *J. Food Sci.* 47 : 1558-1561.
- Percheron, F. 1962. Dosage colorimetrique du fructose et des fructofuranosides par l'acide thiobarbiturique. *Compt. Rend.* 255 : 2521-2522.
- Picha, D.H. 1987. Carbohydrate changes in sweet potatoes during curing and storage. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 112 : 89-92.
- Picha, D.H. 1987. Chilling injury, respiration, and sugar changes in sweet potatoes stored at low temperature. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 112 : 497-502.
- Pomilio, A. B. and J. F. Sproviero. 1972. Complex anthocyanins from *Ipomoea congesta*. *Phytochem.* 11 : 2323-2326.
- Purcell, A. E., H. E. Swaisgood and D. T. Pope. 1972. Protein and amino acid content of sweetpotato cultivars. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 97 : 30-33.
- Purcell, A. E., D. T. Pope and W. M. Walter, Jr. 1976.

- Effects of length of growing season on protein content of sweet potato cultivars. HortScience 11 : 31.
- Racusen, D. 1984. Lipid acyl hydrolase of patatin. Can. J. Bot. 62 : 1640-1644.
- Ryall, A. L. and W. J. Lipton. 1979. Handling, Transportation and Storage of Fruits and Vegetables. p. 281-287. AVI Publishing Co. Connecticut.
- Ryan, C. A. 1981. Proteinase inhibitors. p. 351-370. In : Marcus, A. (ed.). Biochemistry of Plants. Vol. 6. Academic Press. New York.
- Sato, T., M. Yoshino, S. Furukawa, Y. Someya, N. Yano, J. Uozumi and M. Iwamoto. 1987. Analysis of milk constituents by the near infrared spectrophotometric method. Anim. Sci. Technol. (Jpn.) 58 : 698-706.
- 沢畑 秀. 1992. カンショ塊根の肥大特性. 九州農試報. 27 : 269-315.
- 繁村 親・町田伊六・本谷耕一・井口武夫・西尾伸一. 1960. 甘藷貯蔵の研究. (5) 塊根の呼吸発熱量の研究. 中国農試報告. 4 : 395-433.
- 篠原茂幸・猪野 誠・勝木田博人. 1987. 黒ボク土壌におけるカンショ・紅赤の窒素施肥法. 千葉農試研報. 28 : 39-50.
- Sistrunk, W. A., J. C. Miller and L. G. Jones. 1954. Carbohydrate changes during storage and cooking of sweet potatoes. Food Technol. 8 : 223-226.
- 杉山直儀. 1970. 果実・そ菜におけるアントシアンの生成. 農及園.

- 45 : 1331-1336.
- Swingle, H. D. 1966. The relation of pectic substances and starch to consistency and moistness of sweet potatoes. Ph. D. Dissertation, Louisiana State University.
- 武田幸作・林孝三. 1980. 色素群の定性・定量分析各論. p. 157-173. 林孝三編著. 植物色素. 養賢堂. 東京.
- Taubenhaus, J. J. 1923. Culture and Diseases of the Sweet Potato. p. 101-175. E. P. Dutton & Co. New York.
- 戸刈義次. 1950. 甘藷塊根形成に関する研究. 農事試研報. 68 : 1-96.
- 戸刈義次・白沢義信. 1955. 甘藷の生育に伴う体内成分の消長. 日作紀. 24 : 99-102.
- 富田絹子. 1950. 発芽、生育、貯蔵における甘藷成分の変化. 第3報 貯蔵時の成分変化. 発酵工学 28 : 440-444.
- 津久井亜紀夫・桑野和民・三田村敏男. 1983. 紫色甘藷塊根のアントシアニン色素について. 家政誌. 34 : 153-159.
- 津野幸人・藤瀬一馬. 1965. 甘藷の乾物生産に関する作物学的研究. 農技研報. D-13 : 1-131.
- 都築和香子・朝岡淳一・宮崎丈史・鈴木建夫. 1990. 甘藷色素の構造と分布分析. 分化39年会要旨. p. 106.
- 植田精一・大橋義弘・鈴木 駿・米倉豊治・内田 敏. 1959. 青果用甘藷（農林1号, 高系14号）の品質に関する研究. 日作紀. 27 : 309-310.
- Varon, D., W. Collins and E. A. Foegeding. 1989. Ipomoein is the major soluble protein of sweet potato storage roots.

HortScience 24 : 829-830.

若井芳則・井上佳彦・西川泰央・邑田淳一・三浦 剛. 1984. 近赤
外分析計による清酒および原料米成分の定量. 醸協. 79 : 445
-446.

Walter, W. M., Jr., A. E. Purcell and A. M. Nelson. 1975.
Effects of amylolytic enzymes on "moistness" and carbo-
hydrate changes of baked sweet potato cultivars. J. Food
Sci. 40 : 793-796.

渡邊和之. 1979. カンショの過剰栄養生長機構に関する栽培学的研
究. 農事試研報. 29 : 1-94.

Wetter, L. and J. Dyck. 1983. Isoenzyme analysis of cultured
cells and somatic hybrids. p. 610-612. In : Evans, D. A.,
W. R. Sharp, P. V. Ammirato and Y. Yamada (eds.). Hand-
book of Plant Cell Culture. Vol. 1. Techniques for Pro-
pagation and Breeding. Macmillan Publishing Co. New York.

Williams, P. C. 1975. Application of near infrared reflec-
tance spectroscopy to analysis of cereal grains and oil-
seeds. Cereal Chem. 52 : 561-576.

Williams, P. C. 1990. Commercial near-infrared reflectance
analyzers. p. 107-142. In : Williams, P. C. and K. H.
Norris (eds.). Near-infrared Technology in Agricultural
and Food Industries. Amer. Assoc. Cereal Chemists.
Minnesota.

Williams, P. C. and K. H. Norris. 1990. Qualitative applica-
tions of near-infrared reflectance spectroscopy. p. 241-

246. In : Williams, P. C. and K. H. Norris (eds.). Near-
infrared Technology in Agricultural and Food Industries.
Amer. Assoc. Cereal Chemists. Minnesota.

山口雅篤. 1988. 有機酸の結合したアントシアニンに関する研究.

園学要旨. 昭63秋 : 364-365.

謝 辞

本論文のとりまとめにあたり、東京大学農学部教授崎山亮三博士には、終始懇篤なるご指導を賜り、かつ、ご校閲の労をおとりいただいた。

本研究の遂行にあたり、千葉県農業試験場流通利用研究室長新堀二千男氏には、終始ご指導とご助言をいただいた。

本研究を実施するにあたり、農林水産省農林水産技術会議事務局研究開発課長鈴木建夫博士と農林水産省食品総合研究所都築和香子博士には、実験に際してご協力と有益な論議をいただいた。

千葉県農業試験場畑作研究室研究員猪野誠氏、千葉県農業試験場土壌肥料研究室主任技師古川雅文氏には、実験と論議をともにしていただいた。

本研究を遂行するにあたり、千葉県農業試験場流通利用研究室職員各位には、終始ご援助とご協力をいただいた。

以上の各位に対し、深く感謝の意を表する。



