

一般論文

嫌気的環境下のサツマイモに発生する 加熱後の青緑変について

宮崎丈史* 日坂弘行* 新堀二千男*

Development of Blue Green Color by Cooking in Sweet Potatoes
under Anaerobic Conditions

Takeshi MIYAZAKI*, Hiroyuki HISAKA*, Fujio SHINBORI*

Blue green color developed by cooking at cortical region of sweet potatoes stored in plastic film bag, flooded in the field or dipped in water after harvest.

Similar color change was developed by cooking of sweet potatoes in alkaline carbonate solution.

Generation of carbon dioxide from the treated sweet potatoes was extremely high and development of off-flavor was observed beside the color change.

The color change was not developed in the sweet potatoes standed in open atmosphere for more than one day after the treatments.

Cause of the color development was estimated to be accumulation of carbon dioxide in a high content in sweet potatoes.

Use of plastic film bags with perforations or high gas permeable films in the distribution, or not to keep the soaked conditions for more than two days in the field, was effective to prevent the color change.

Keywords : Sweet potato, Cooking, Color change, Flooding, Plastic film packaging, Anaerobic condition, Carbondioxide

加熱した青果用サツマイモに生じる、青緑色の変色の発生原因とその防止対策を検討した。青緑変は、プラスチックフィルムによる包装や水中への浸漬などの嫌気的環境下におかれたサツマイモを、処理直後に加熱すると発生した。処理直後のサツマイモは、二酸化炭素排出量がきわめて多く、オフフレーバーも生じた。しかし、処理後1日以上大気中に放置すると、オフフレーバーは残るものの、青緑変は発生しなくなった。このため、嫌気的環境下でサツマイモ内に高濃度の二酸化炭素が集積したことが、青緑変の発生原因と推察された。

青緑変の発生防止には、流通段階ではサツマイモのプラスチックフィルム包装に数個の小孔を付けたフィルムがガス透過性のよいフィルムを用い、生産段階では灌水化状態に2日以上サツマイモを放置しないことが肝要と考えられた。

キーワード : サツマイモ、加熱、青緑変、灌水、プラスチックフィルム包装、嫌気環境、二酸化炭素

* 千葉県農業試験場 (〒266 千葉市緑区大膳野町808) : Chiba Agricultural Experiment Station, 808 Daizenno-cho, Midori-ku, Chiba-shi, Chiba 266

1. 緒言

青果用サツマイモを加熱して放置すると皮層部分が青緑色に変化する現象（以下青緑変と称する）が、近年増加してきた。青緑変は、軽度の場合には表皮直下に部分的に生じるだけであるが、甚だしい場合には皮層全体に及び、サツマイモを販売する上での障害となっている。

サツマイモの青緑変現象については、瓜谷ら³⁾によって、黒斑病にり病した部分の隣接部を重曹水に浸漬した場合におこることが報告されている。しかし、流通後の単なる加熱によって発生する青緑変現象はこれまで報告されておらず、その原因についても究明されていない。

加熱後の変色については各種の要因説が流布された。しかし、生産者や流通関係者から聞き取り調査を実施したところ、青緑変の発生したサツマイモは、その流通過程において、プラスチックフィルムで密封に近い状態に包装されていたことが判明した。このため、包装による環境ガス組成変化の関与することが推測された。また、生産者サイドから

は、貯蔵中に浸水をうけたサツマイモにも同様な青緑変が発生するという情報もよせられた。そこで本研究では、こうした発生状況を考慮して、加熱によって発生するサツマイモ青緑変の原因究明と防止対策を検討した。

2. 実験材料および方法

2.1 包装による再現試験

出荷用に洗浄・箱詰めされたサツマイモ‘ベニコマチ’を農家より購入し、その4~5個体（約600g）をプラスチックフィルムの袋に入れて密封し、15℃に保管した。包装にはエチレン-酢酸ビニル共重合体（EVA）、二軸延伸ポリプロピレン（OPP）およびポリエチレンとエチレン-ビニルアルコール共重合体（EVOH）をラミネートしたフィルムの袋を用いた。フィルムの特性をTable 1に示した。袋の大きさはいずれも200×300mmである。袋は2日後および5日後に3袋ずつ開封した。開封後サツマイモを取り出して加熱し、青緑変の有無を調査した。また、サツマイモ‘ベニアズマ’をポリプロピレンフィルムの袋に入れ、その開口部をテープ結束して包

Table 1 Oxygen permeability¹⁾ of plastic films used in packaging of sweet potato

| Composition | Thickness (mm) | Oxygen permeability ²⁾ |
|-------------------------------------|----------------|-----------------------------------|
| Ethylene vinyl acetate (EVA) | 0.03 | 14,000 |
| Oriented polypropylene (OPP) | 0.03 | 1,400 |
| LDPE/EVOH/LDPE (EVOH) ³⁾ | 0.06 | 8 |

1) Japan Polyolefinfilm Industry Trade Association.

2) cc/m²・24h・atm.

3) EVOH: ethylene-vinyl alcohol, LDPE: low density polyethylene.

装した市販品8袋を購入し、包装内ガス濃度と青緑変の発生を調査した。

包装内の二酸化炭素と酸素の組成を、ガスクロマトグラフ(063型、日立製作所製)で測定した。測定に用いたカラム(ステンレス、直径3mm)は、シマライトQを充填した長さ20cmのカラムと活性炭を充填した45cmのカラムを直列に接続し、これとモレキュラーシーブを充填した225cmのカラムとを並列に接続して構成した。酸素濃度は、同一保持時間を示したアルゴンのピークを差し引いて求めた。

包装内ガス環境変化のサツマイモへの影響を調査するため、包装処理を異にしたサツマイモ破碎液のpHを測定した。サツマイモ破碎液の調製は以下に行った。サツマイモ試料をフードカッターで細切・混合し、その10gに蒸留水100mlを加えてホモジナイザーで破碎した。破碎液は、200mlに定容とした後、遠心分離とろ紙ろ過を行ってろ液とした。一処理区は3試料について、ろ液のpHをpHメーターを用いて測定した。

青緑変発生の有無は、サツマイモを蒸し器で30分間水蒸気加熱あるいは電子レンジで自動的にマイクロ波加熱して観察した。

2.2 無機塩類溶液中での加熱による再現試験

青緑変発生に及ぼす無機塩の種類および溶液のpHの影響を調査した。各種の無機塩類の0.1M溶液200mlを調製し、サツマイモ‘ベニコマチ’の輪切りにした部分を入れて15分間加熱した。加熱後溶液中より取り出して20℃に一晚放置し、青緑変発生の有無を観察した。

2.3 湛水および水浸漬による再現試験

長雨で収穫前の数日間湛水状態となった圃場と湛水しなかった圃場から、サツマイモ‘ベニアズマ’を掘り取って試験に供した。サツマイモは蔕梗から切り離した後、簡単に洗浄した。その後、青緑変の発生を電子レンジ加熱して調査するとともに、二酸化炭素排出量を経時的に測定した。二酸化炭素排出量は、サツマイモをデシケーター中に入れて15℃で2時間保持した後、ガスタイトシリンジでデシケーター中のガスを一定量採取し、前述したガスクロマトグラフィーで分析した。

水中への浸漬処理は、湛水しなかった圃場のサツマイモを20℃の水中に入れて6日間保持した。浸漬したサツマイモは、2日ごとに水中より3~6個体を取り出して電子レンジ加熱し、加熱後の青緑変の有無を調査した。

青緑変部分は各種の溶媒を加えて乳鉢中で磨碎抽出し、遠心分離後上澄液の吸収スペクトルを分光光度計(UV-2100、島津製作所製)で測定した。

3. 結果

3.1 青緑変の発生様相と青緑変部位抽出液の特徴

プラスチックフィルム包装されたサツマイモ‘ベニコマチ’の、加熱後に発生した青緑変の様相をFig. 1に示した。青緑変は、軽度の場合には表皮下に斑状に生じる程度であったが、重度になると皮層部全体に及んだ。青緑変は加熱直後には発生しないことが多く、加熱後放置すると徐々に現れた。

青緑変部分を集め、これを数種の溶液で抽出したところ、蒸留水では青緑色、1%塩酸水

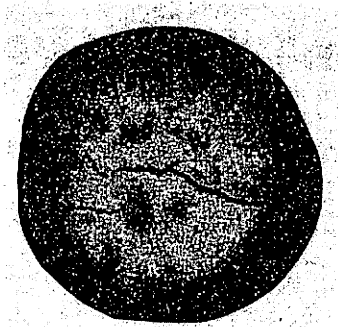


Fig. 1 Development of blue green color in cooked sweet potato (cross section)

では薄い赤色、0.1N水酸化ナトリウム溶液では褐色、また2Nアンモニア水では暗緑色となった。しかし、メタノール、アセトンあるいはヘキサンでは、青緑色部分からの色の抽出はなかった。蒸留水で抽出された液（青緑色）のスペクトルは、可視部に685nmの吸収極大を有していた。また、水抽出液の液色は希塩酸やアルカリの滴下により可逆的に変化した。

3.2 プラスチックフィルム包装の影響

3種類のプラスチックフィルムでサツマイモを密封包装して15℃に保管したところ、包装内のガス濃度はFig. 2のような変化を示した。EVA区の酸素および二酸化炭素濃度は、5日後まで3~5%で推移した。これに対し、OPP区およびEVOH区では、2日後に約30%の二酸化炭素とほぼ無酸素のガス組成となった。また、5日後の二酸化炭素濃度は、OPP区では平均で37%、EVOH区では平均で62%にそれぞれ高まった。

包装2日後のEVA区は異臭がなかったが、OPP区とEVOH区には異臭が認められた。しかし、2日後では異臭の生じていた区を含め、加熱後の青緑変は発生しなかった。包装

5日後になると、OPP区とEVOH区では異臭とともに加熱後に青緑変の発生が認められた。一方、EVA区では2日後と同様に異臭や青緑変の発生がなかった。

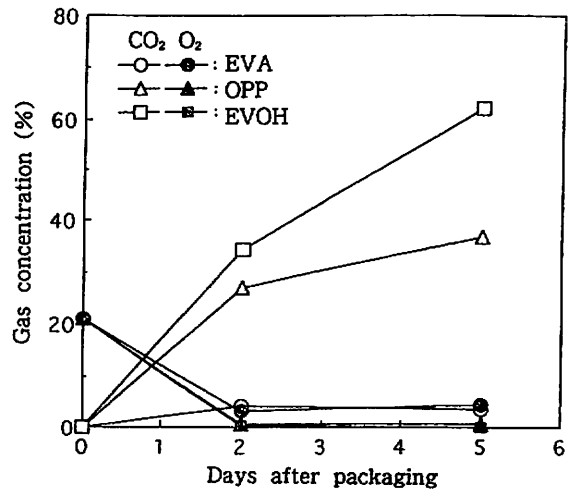


Fig. 2 Concentrations of CO₂ and O₂ in head space of the sweet potato packages (stored at 15°C)

包装5日後のサツマイモを蒸留水とともに破碎した液の、pH測定結果をTable 2に示した。無包装区に比べて、OPP区とEVOH区のpHはかなり高くなった。また、青緑変した加熱後のサツマイモ破碎液のpHを測定したところ、pHは約7.6と高かった。

Table 2 pH of water extracts of sweet potato packaged in plastic films and stored at 15°C for 5days.

| Treatment | pH of water extracts |
|-------------------------|----------------------|
| Unpackaged | 6.48 ± 0.01 |
| Seal-packaged with EVA | 6.51 ± 0.01 |
| Seal-packaged with OPP | 6.91 ± 0.01 |
| Seal-packaged with EVOH | 7.06 ± 0.03 |

OPPフィルムの袋に包装されたサツマイモの市販品8袋を調査したところ、その包装内ガス濃度は二酸化炭素8~38%、酸素2~11%であった。このうち、異臭のあるものは5袋、ないものは3袋であった。異臭のあるもののうち、3袋は二酸化炭素36~38%、酸素約2%のガス濃度であり、強い異臭があった。包装解除後、この3袋のサツマイモを加熱して室温に一晩放置したところ、全個体に青緑変が発生した。しかし、異臭の軽かった2袋と異臭のなかった3袋については、青緑変の発生が認められなかった。

3.3 無機塩類の影響

サツマイモを0.1Mの無機塩類溶液中で加熱したところ、いずれの溶液中でも加熱直後に発生は認められなかった。しかし、その後20℃に一晩保管したところ、Table 3に示したように、アルカリ性炭酸塩溶液中で加熱したサツマイモだけに青緑変と同様の変色が認め

められた。しかし、炭酸塩溶液と同様にpHの高かったリン酸塩溶液では、加熱しても青緑変が発生しなかった。

3.4 湛水などの影響

湛水圃場から掘り取ったサツマイモは、軽い異臭があったが病気や腐敗の発生は認められなかった。これを電子レンジ加熱したところ、加熱後に明らかな青緑変が発生した。また変色は、加熱直後から1日後まで、放置時間の経過とともに徐々に進行した。しかし、掘り取ったサツマイモを1日以上室内に放置後加熱すると、異臭は残るが青緑変は発生しなくなった。

湛水した圃場からのサツマイモと湛水しなかった圃場からのサツマイモの二酸化炭素排出量は、Fig. 3のような経時変化を示した。湛水した圃場のサツマイモは、収穫直後に湛水しなかった圃場のサツマイモの約4倍もの二酸化炭素排出量を示した。二酸化炭素排出量は1日後には急減し、その後の変化は少な

Table 3 Development of blue green color in sweet potato cooked in 0.1M salt solutions

| Salt | pH | Color development |
|--|------|-------------------|
| KCl | 5.5 | - |
| NaCl | 5.5 | - |
| CaCl | 6.3 | - |
| KHCO ₃ | 8.4 | + |
| NaHCO ₃ | 8.3 | + |
| K ₂ CO ₃ | 11.6 | + |
| Na ₂ CO ₃ | 11.7 | + |
| Na ₂ HPO ₄ + KH ₂ PO ₄ | 6.5 | - |
| | 7.5 | - |
| | 8.0 | - |
| | 11.0 | - |

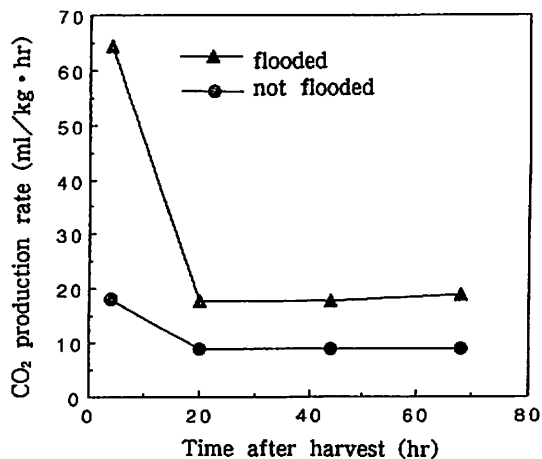


Fig. 3 Changes in CO₂ production rate at 15°C of sweet potato harvested from the different field conditions

かった。

水中に浸漬したサツマイモを2日ごとに取り出して電子レンジ加熱した。2日後のサツマイモは異臭があり、加熱後に1/3の個体に青緑変が認められた。また、4日後および6日後のサツマイモには強い異臭があり、全個体に加熱直後から青緑変が発生した。

4. 考 察

加熱したサツマイモに発生する青緑変を、3種類の実験によって再現させた。このうち、炭酸塩の一種（重曹：炭酸水素ナトリウム）による青緑変発生は従来からも知られていた。しかし、包装や水浸漬などの嫌気的環境条件におかれたサツマイモでの発生については、これまで知見がなかった。

サツマイモの貯蔵では、二酸化炭素10%以上ある酸素濃度7%以下の環境ガス濃度は、オフフレーバーを引き起こすために適当ではないとされている¹⁾。近年、小売段階では青果物の多くが包装して販売されており、サツマイモも量販店などでは1~数本の単位で包装・販売されることが多くなってきている。また、包装フィルムとしては、透明感があって腰も強いOPPフィルムの使用割合が高くなってきた。しかし、プラスチックフィルムのガス透過性についてはほとんど注意が払われないため、袋の開口部を閉じて密封状態とするなど、サツマイモの保存には不適切な包装形態となっている事例が少なくない。サツマイモを業務用にカットする加工処理業者からは、カットしたサツマイモを厚手のプラスチックフィルムの袋に大量に詰めて出荷すると、納入先で加熱処理後に青緑変が発生した

という情報も著者のもとによせられた。こうしたことから、流通後消費先で発生するサツマイモの青緑変は、密封に近いプラスチックフィルム包装の形態をとり、包装の開始から解除（消費）までの期間が長い場合に発生するものと考えられた。

収穫前に圃場が湛水状態となったり、収穫後に貯蔵穴へ雨水が侵入した場合には、サツマイモは水に浸かった状態となり、その周囲は空気ではなく水で覆われる。そのため、サツマイモは呼吸に必要な酸素を取り込み二酸化炭素を放出することが極端に制限されると考えられる。水に浸かったサツマイモでは、エタノールの集積や貯蔵中の腐敗がやや多くなることが知られている²⁾が、二酸化炭素の集積などについての報告は見あたらない。湛水した圃場のサツマイモが示したような、二酸化炭素排出量の収穫直後の異常な多さと室温放置後の急減は、嫌気的環境下ではサツマイモの内部に多量の二酸化炭素が気体あるいは炭酸イオンなどの形態で集積することを推察させた。

青緑変の発生したサツマイモはいずれも異味・異臭が認められ、変質の程度が甚だしいことをうかがわせた。

青緑変の主成分と考えられる青緑色の物質は水溶性であり、その色調はpHによって変化した。しかし、青緑変反応の詳細や青緑変物質の構造はいまだ明らかではない。瓜谷ら³⁾は、黒斑病に罹病したサツマイモの変色現象を解明するなかで、青緑変はポリフェノール成分中のカフェ酸エステル類が還元性物質となり、これがアルカリ性炭酸塩の条件下で縮合して生成するものと推定した。そして、青緑変の発生にはアルカリ性が必要条件

であると結論した⁴⁾。

包装や湛水したサツマイモでの加熱後の青緑変は、二酸化炭素を多量に含む包装解除直後や湛水圃場からの掘り取り直後には発生したが、大気中に放置されると発生しなくなった。このことは、青緑変の発生に二酸化炭素が決定的な役割を果たしていることをうかがわせた。また、サツマイモ破碎液のpHが青緑変の発生した個体では大きな上昇を示した。こうしたことから、嫌気的環境条件下で発生する青緑変も、瓜谷らの報告と類似した機作によって生成される可能性が高いと考えられた。そして、高濃度の二酸化炭素の一部は細胞の自由水中に溶解、共存するカリウムイオンやナトリウムイオンなどとの反応によってアルカリ性炭酸塩を形成し、青緑色物質の生成に関与すると推察された。

5. 結 論

加熱後のサツマイモに発生する青緑変は、その内部に高濃度の二酸化炭素が集積するような嫌気的狀態を長く継続させないことで回避できると考えられた。このため、①サツマ

イモをプラスチックフィルムで密封状態に包装することは避け、フィルム包装を利用する際には小さな通気孔を設ける、②収穫前の圃場や収穫後の貯蔵においてはサツマイモを湛水状態に長く放置しない、ことが適切な防止対策と考えられた。

謝 辞

研究の遂行に際し、貴重な助言と激励をいただいた千葉県農業試験場技監武田英之氏に謝意を表します。

<文 献>

- 1) A. L. Ryall, W. J. Lipton, "Handling, Transportation and Storage of Fruits and Vegetables", AVI Publishing Co., p. 225 (1979)
- 2) K. A. Corey, W. W. Collins, D. M. Pharr, J. Amer. Soc. Hort. Sci. 107 (2), 195 (1982)
- 3) 瓜谷郁三、農芸化学会誌、27 (11), 781 (1953)
- 4) 瓜谷郁三、赤沢堯、瓜谷美代子、農芸化学会誌、29 (5), 344 (1955)

(原稿受付 1993年2月10日)

(審査受理 1993年5月24日)