

CA型包装によるカンショ低温輸出技術の開発

—炭酸ガス吸収剤によるカンショの低温保存法—

朝來壯一
食品産業担当

Cold storage of Sweet Potatoes (*Ipomea batatas*)

by Controlled Atmosphere Packaging.

— Sweet Potato Film Packaging Controlled by Carbon Dioxide Absorbent —

Shoichi Asaki
Food Industry Section

要旨

Long-term cryopreservation is necessary to export low temperature impaired sweet potato (*Ipomoea batatas*) at low cost. Therefore, we put some carbon dioxide absorbents and sweet potatoes “*Beniharuka*” into a plastic film package together and examined the cold storage at 2 °C – around 5 °C for 30 days. In 30-day 2 °C – 5 °C storage, the corruption ratio of 500 g of “*Beniharuka*” by the polypropylene package with open hole was 100%. We sealed up “*Beniharuka*” for polypropylene film package with some carbon dioxide absorbent, and the corruption ratio was less than 44 %. In addition, the putrefactive degree was also improved. By the tight seal packing of polypropylene of around 1,000 cc volume, as for the quantity of necessary carbon dioxide absorption, it was thought more than 80 cc of CO₂ for sweet potato weight 1g.

1. はじめに

TPP 交渉の進展に伴い高品質な日本の農林水産物輸出の産業上の重要度は増している。中でもカンショは有望品目として注目されており、九州の「べにはるか」に代表される糖度の高いカンショ（本報では以下サツマイモをカンショと記す）は東南アジアでも人気の商品となっている。一方、カンショは貯蔵適温が 13 °C～15 °Cの低温障害性作物であり低温貯蔵はこうした温度帯で行われている。青果物などを海外に輸出する場合、航空輸送か海上輸送を選択することになるが低コスト化を前提にすると低温の混載リーファ・コンテナ便を利用することになる。しかし汎用リーファ・コンテナは 2 °C～5 °Cの固定温度設定であるため、それ以外に適温がある場合には専用温度帯でチャーターする必要があり温度管理に難が生じる。

九州地域では高糖度カンショ「べにはるか」の小袋包装を東南アジア向けに輸出する試みがなされるようになったが、シンガポールやマレーシアなど輸送及び流通期間が 30 日を越えるような輸出では、着荷したカンショに腐敗が多発している。

そこで、低温障害性のカンショの海外輸出を想定し、40 日程度の低温保管を可能にするため、青果物流通技術

や包装技術を組み合わせて技術化を進めた結果、至適温度が 13 °C～15 °Cのカンショであっても、プラスチックフィルムによる密封包装と炭酸ガス吸収剤を組み合わせることによって低温障害を軽減しつつ 2 °C～5 °Cの低温で 40 日程度の品質保持を可能にする低温流通技術の開発を行った。

カンショの低温障害の要因として品種毎のミトコンドリアの脂質膜の性質と呼吸活性が高いため産生される炭酸ガスによるガス障害が腐敗等につながると考えられる。ミトコンドリアの性質に由来する呼吸温度反応のアレニウス作図の不連続点は低温障害の限界温度とよく一致しており、本来的な性質と考えられる。しかし、一方のカンショの貯蔵障害要因である炭酸ガスは包装技術によって制御可能な部分であり、通常カンショにおいては包装内炭酸ガスを外部に排出できるように穴あき包装で流通させることが常識となっている。

また青果物で一般に行われている MAP (Modified Atmosphere Packaging) は 2 軸延伸ポリプロピレン (OPP) などのプラスチックフィルムによる密封包装を用いて包装内の炭酸ガス濃度を高めるとともに、酸素欠乏状態に陥らせることなく低酸素条件にすることで青果物の鮮度を

保持している。

本研究では、生理的要因は品種毎の潜在的要因として、主にフィルム包装による炭酸ガスなどの障害要因を軽減することでカンショの低温貯蔵性の向上を図ることとした。このため包装のガス透過特性と包装された青果物の呼吸のみで鮮度保持環境を導く MAP に対して CA 貯蔵 (Controlled Atmosphere Storage) に準ずる包装として CA 型包装と本報では呼称する。

カンショを含む塊根類の貯蔵最適温度とフィルム包装適性を表.1 に示した。カンショは低温貯蔵とフィルム包装は有効であるが 2℃~5℃の低温域での貯蔵は腐敗を誘導し、密封包装はガス障害を起こすため一般には穴あきのフィルム包装が用いられている。

Table.1 貯蔵最適温度とフィルム包装適性

| 品 目 | 貯蔵最適温度(℃) | 貯蔵最適湿度(%) | 貯蔵限界(目安) | エチレン生成量 | エチレン感受性 | 低温貯蔵とフィルム包装 |
|-------|-----------|-----------|----------|---------|---------|-------------|
| サツマイモ | 13~15 | 85~95 | 4~7月 | 極少 | 低 | 有効 |
| サトイモ | 7~10 | 85~90 | 4月 | 極少 | 低 | 穴あき袋 |
| ショウガ | 13 | 65 | 6月 | 極少 | 低 | 有効 |
| パレイショ | 10~15 | 90~95 | 10~14日 | 極少 | 中 | 穴あき袋 |

食品総合研究所公表データより抜粋

Table.2 各種プラスチックのガス透過性

| プラスチック種類 | ガス透過率(g/m ² 24h/1atm) | | 水蒸気透過率(g/m ² 24h) |
|-----------|----------------------------------|-----------------|------------------------------|
| | O ₂ | CO ₂ | |
| 低密度ポリエチレン | 13~16 | 70~80 | 16~22 |
| 高密度ポリエチレン | 4~6 | 20~30 | 5~10 |
| ポリプロピレン | 5~8 | 25~35 | 8~12 |

THE ENGINEER'S BOOKより抜粋

2. 実験方法

2.1 呼吸特性

○供試材料：大分県農業協同組合から提供を受けた平成26年産べにはるか「甘太くん」。JAの出荷規格では、大分県産のべにはるかを収穫後40日以上貯蔵したものである。

○試験方法：ガス分析可能なシリコン栓付きの1000cc容量アクリル製チャンバーに250g(±10g)のべにはるかを入れ、室温(22℃)保存して随時内部のCO₂及びO₂濃度を測定した。ガス測定にはCHECKMATE II炭酸ガス/酸素濃度計(DANSENSOR製)を用いた。

2.2 炭酸ガス吸収剤の特性

○供試材料：炭酸ガス吸収剤エバーフレッシュ2000(CO₂吸収能2000cc鳥繁産業製)を用いた。

○試験方法：カンショ同様にガス分析可能なシリコン栓付きの1000cc容量アクリル製チャンバーにCO₂を組成比で60%となるように充填した。さらに炭酸ガス吸収剤とともに密封して室温保存しCHECKMATE II炭酸ガス/酸素濃度計(DANSENSOR製)でCO₂を72時間まで連続測定した。

2.3 貯蔵試験および評価

○供試材料：2.1と同一条件のべにはるかを選別して供試

した。また包装用プラスチックフィルムは容量で1000cc、25μmの規格として低密度ポリエチレン(以下LDPEと標記)、二軸延伸ポリプロピレン(以下OPPと標記)を供試した。

○試験方法：1包装単位で500g(±20g)となるようにトリミングせずに選別し、それぞれをLDPE、OPP包装した。包装はすべて密封とするため、炭酸ガス吸収剤として用意したエバーフレッシュ2000とカンショを包装してヒートシール後バッグシールした後、段ボール包装して2℃設定したインキュベータに30日間貯蔵し、30日目に評価を行った。その間のガス組成は2.1.1同様に炭酸ガス/酸素濃度計(Dansensor)を用いて経時的に測定した。

○腐敗いも率(%)：各区全いも数に対する外観目視確認による腐敗の有無の割合で示した。

○腐敗度：九州沖縄農業研究センターの方法によった。すなわち試料の腐敗程度を外観観察し、指数0(無)~5(甚)の6段階判定して次式で示した。

腐敗度=[Σ(指数×いも数)/(5×調査いも数)]×100

○内観：内観比較のため健全いもおよび腐敗いもについて縦割り半割して断面を比較観察した。

3. 実験結果及び考察

3.1 べにはるかの呼吸特性

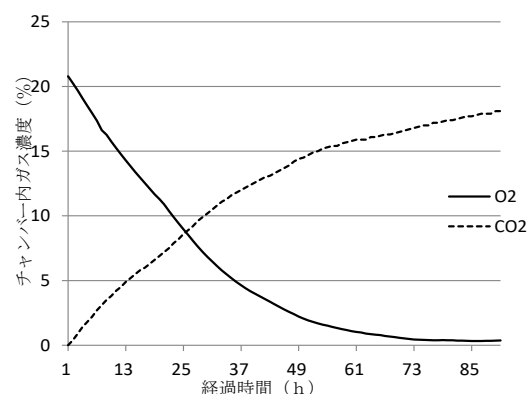


Fig.1 べにはるかの呼吸特性 (22℃)

図.1にべにはるかの呼吸特性を示した。室温22℃では呼吸が盛んであり常温では37時間程度で酸素濃度が5%以下となり30時間で炭酸ガス濃度が10%を越えた。

カンショは低温障害性であり、炭酸ガス障害性でもある。またエチレン産生は極小とされている(Table.1)。このうちミトコンドリアの特性に由来する低温耐性は本報の対象外として、炭酸ガス障害とエチレン障害は包装によって回避できる可能性があると考えられる。密封包装ではこうしたカンショの呼吸特性から24時間程度で酸素と炭酸ガス濃度の逆転が起こり72時間程度で酸欠、高炭酸ガス環境となる。このため一般にカンショの流通では密封包装をもちいることはなく、OPPの穴あき包装が用いられている。また温度以外の条件としては、炭酸ガス濃度3%~5%

以上にならないこと、湿度 90 %以上が好適という報告がある (鹿児島農試 2006)。これらのことから、本法では一般に用いられている MAP の CO₂ および O₂ 濃度 10%前後ではなく、炭酸ガス吸収剤を用いて 3 %~5 %程度に制御することは、ミトコンドリアに由来する低温障害要因を緩和に有効と考えられる。

3.2 炭酸ガス吸収剤の特性

青果物用の炭酸ガス吸収剤は、一般的には炭酸ガス障害性の青果物に用いられている。しかし、青果物包装で広く行われている鮮度保持包装では高炭酸ガス+低酸素にして鮮度を維持するため、炭酸ガス吸収剤の用途は限られている。

本報で用いた炭酸ガス吸収剤は一般的な水酸化カルシウムを主剤 (商標名: エバーフレッシュ 2000 鳥繁産業製) とするものである。その 2,000cc の CO₂ 吸収規格の製剤の CO₂ 吸収特性を 1,000 cc 容量の亚克力容器を CO₂ 濃度 60 %に調整した条件で測定した結果を Fig. 2 に示した。

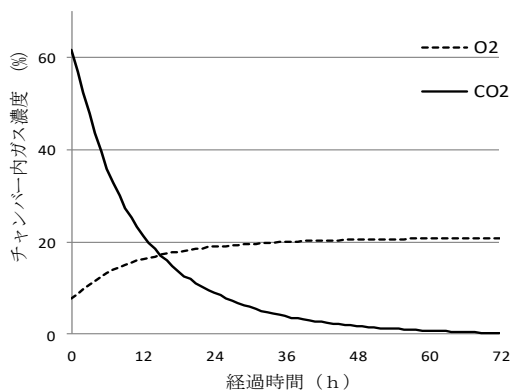


Fig.2 炭酸ガス吸収剤(2,000cc型)の吸収特性

48時間で2%程度までCO₂を低下させることが可能であった。このためこの2,000cc吸収能を持つ製剤1包を基本単位として用いることとし、包装容量及び炭酸ガス吸収剤の性能との組み合わせを検討することとした。

3.3 包装法と包装内ガス組成

青果物の鮮度保持では可能な限り早い段階で、酸欠に至らない範囲で低酸素に誘導して呼吸を抑制することが重要である。その酸素濃度3%~5%を目標としてカンショの重量に対する炭酸ガス吸収剤の数量、そして包装の材質を決定する必要がある。Fig. 3は「べにはるか」約500gを2℃で30日間保存した場合のLDPE包装内のガス組成変化である。LDPEはOPPに比べてガス透過性であり、CO₂およびO₂で約2倍のガス透過性 (Table. 2) である。この特性により炭酸ガス濃度上昇は緩やかであり、酸素濃度の低下も緩やかである。したがって酸素濃度が高い期間が長いことや防曇性がないことなど課題はあるが使用は可能と考えられる。青果用プラスチックフィルムとしてはOPP

がコスト、防曇性で優れており一般に普及している。そこでカンショの密封包装材としてOPPを検討した。

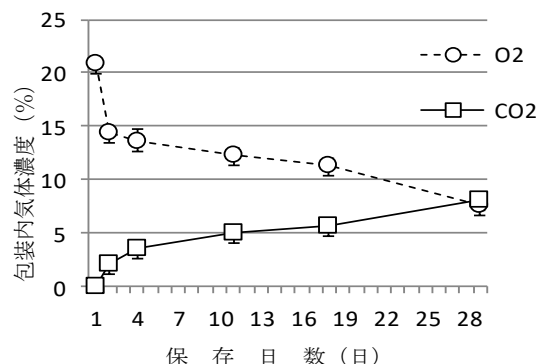


Fig.3 LDPE25µm (2℃30日保存)

炭酸ガス吸収剤 (商品名: エバーフレッシュ 2000 鳥繁産業製) を「べにはるか」500g/袋のOPP包装に対して、吸収剤を同封しないものを対照として1包~4包 (炭酸ガス吸収量で2,000cc~8,000cc)を同封して2℃で30日保存した。Fig. 4~Fig. 8は包装内ガス組成の変化を示したものである。

炭酸ガス吸収剤を用いない場合を Fig. 4 に示した、OPPはLDPEに比べてガス透過性が低いため、カンショを気密性の亚克力チャンパーに保存した場合と同様に包装内にCO₂が高濃度で集積し19日で20%に達した。また呼吸によるO₂消費により11日目に2%まで減少した。

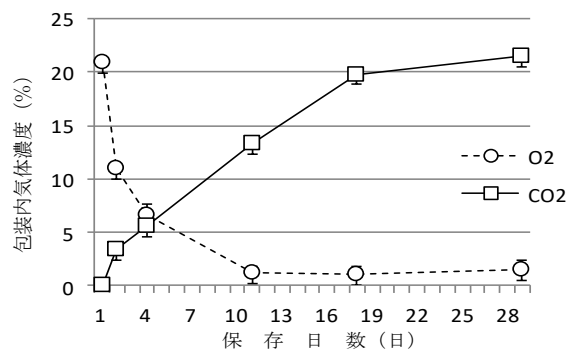


Fig.4 ポリプロピレン25µm (2℃30日保存)

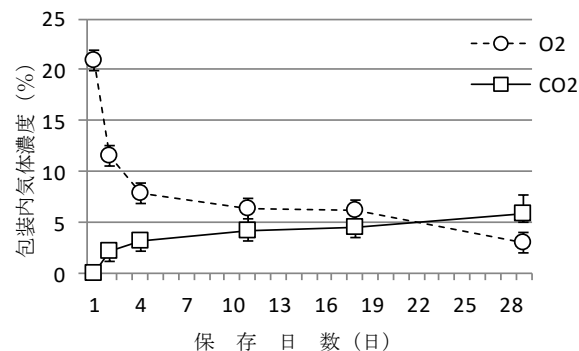


Fig.5 ポリプロピレン25µm (CO₂吸収2,000cc)

CO₂濃度は炭酸ガス吸収剤の増加と共に低下し、CO₂及びO₂ 3%～5%の目標水準に対しては、カンシヨ 500gに対して1包以上で改善効果が認められCO₂及びO₂の濃度は5%に収斂する傾向が認められた (Fig. 5)。30日間保存においてO₂及びCO₂を5%水準に維持するにはカンシヨ 500gに対して2包で4,000 cc以上のCO₂吸収能力が必要と考えられた。また炭酸ガス吸収剤を増やすと包装内CO₂の濃度水準は低下するが、同時にO₂も低下する傾向が認められたため、カンシヨ 1gに対して80 cc～100 ccのCO₂吸収量で十分な効果があると考えられた (Fig. 5～Fig. 8)

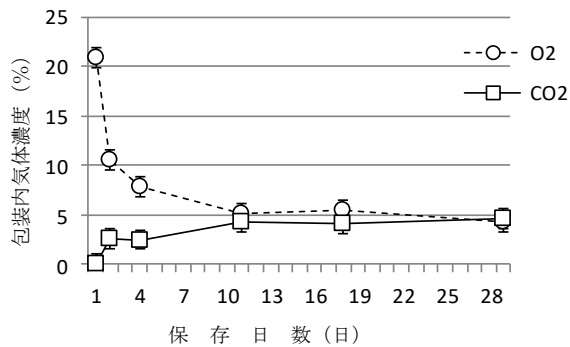


Fig.6 ポリプロピレン 25 μm (CO₂ 吸収 4,000cc)

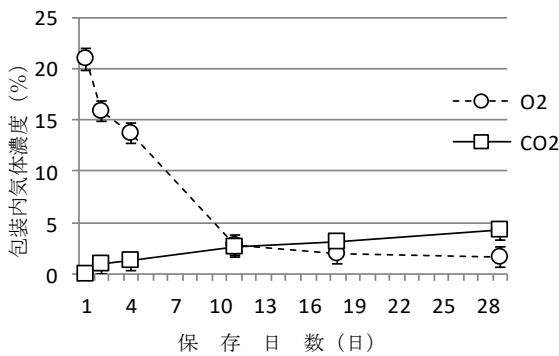


Fig.7 ポリプロピレン 25 μm (CO₂ 吸収 6,000cc)

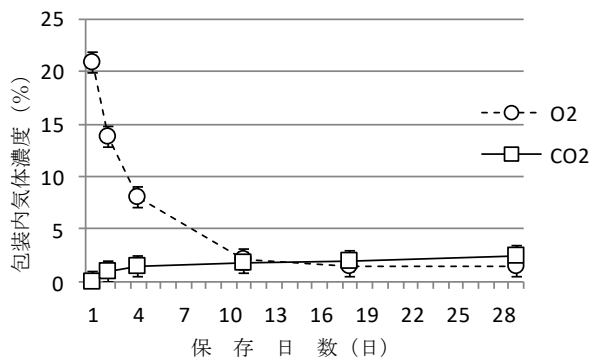


Fig.8 ポリプロピレン 25 μm (CO₂ 吸収 8,000cc)

3.4 炭酸ガス吸収剤と保存品質

Fig. 9はCA型包装 (OPP 密封+炭酸ガス吸収剤) の標準形である。これを平成 28 年 2 月～3 月にかけて実施した約 30 日間のシンガポール向け輸出テストにおいて現地回収したものである。約 10 kg のべにはるかの外観及び断面に腐敗は認められなかった。図. 10 は平成 27 年 3 月にカンシヨ 250g (±10g) に対して、炭酸ガス吸収剤 2 包 (CO₂ 4,000 cc 吸収) を封入して 2℃30 日間保存した例である。従来型包装 (穴あき OPP) と CA 型包装 (OPP) のべにはるかで炭酸ガス吸収剤を使用した CA 型包装区では腐敗は認められなかったが、従来型では腐敗劣化が著しかった。



Fig.9 (左) CA 型包装と (右) シンガポール輸送着荷後の CA 型包装のべにはるか (2/15-3/11 : 腐敗無し)



Fig.10 (左) 穴あき包装 (右) CA 型包装 (いずれも 30 日間 2℃インキュベータ保存)

インキュベータで 2℃保存したべにはるかの腐敗いも率 (%) と腐敗度を表. 3 に示した。べにはるか 500g に対して穴あき包装した区では腐敗程度に差異はあるものの腐敗いも率は 100%であり、腐敗度は 64 であった。このべにはるかは 13℃～15℃の貯蔵温度で既に 40 日以上保存されたものについて、さらに 30 日間 2℃の低温で貯蔵したものであり、低温障害性のカンシヨとしては腐敗を促進する条件と考えられる。

これに対して OPP 密封包装で炭酸ガス吸収剤 (1 包 2000cc CO₂ 吸収) を使用したものは腐敗いも率、腐敗度ともに改善された。2000cc 吸収区では腐敗いも率は 44%となり、腐敗度も 64 から 12 まで低下した。炭酸ガス吸収量を 2000cc から 8000cc まで増やすにしたがって腐敗いも率

は低下したが、カンシヨ 500 g に対して吸収能 4000cc 以降の低減効果は腐敗度同様に少なかった。500g に対して2包以上では追加の効果は認められなかった。

表.3 ベにはるかかの貯蔵品質 (30 日 2°C 保存)

| 品 種 | 低温 (平均貯蔵温度 2°C) | |
|---------------------------------|-----------------|-----|
| | 腐敗いも率 (%) | 腐敗度 |
| ベにはるか+孔あき包装 | 100 | 64 |
| ベにはるか+CO ₂ 吸収 2000cc | 44 | 12 |
| ベにはるか+CO ₂ 吸収 4000cc | 24 | 6 |
| ベにはるか+CO ₂ 吸収 6000cc | 20 | 5 |
| ベにはるか+CO ₂ 吸収 8000cc | 18 | 4 |

注1) 各区5本入り500g×10袋で比較した

注2) 鳥繁産業製エアーフレッシュ2000 (CO₂2リットル吸収型)

注3) 2°C30日間インキュベータ保存

注4) 腐敗度は腐敗程度を観察し、指数0 (無) ~ 5 (甚) の6段階判定し次式から算出

腐敗度 = [Σ (指数×いも数) / (5×調査いも数)] × 100

これは包装内ガス組成の変化 (図. 5~図. 8) でも同様の傾向であり、炭酸ガス吸収剤を同封することで 5%前後に CO₂ も O₂ も収斂する傾向が認められ、ガス吸収量が増えると酸素濃度も低下する傾向が認められた。これは OPP は LDPE などに較べて O₂ の透過性が低く (表. 2)、密封包装では酸素濃度に限界があるため呼吸による CO₂ 産生にも限界があるためと考えられる。

これらのことから品質面でもカンシヨ 500g に対して炭酸ガス吸収能 2000cc の吸収剤 2~3 程度で十分な包装内炭酸ガス低減効果があり、一定の空間容積内では最低限必要な炭酸ガス吸収剤はカンシヨ 500 g に対して最低 4000cc 以上と考えられた。

また 30 日程度であれば OPP フィルムなどのガス透過性の低いプラスチックフィルムの密封包装で炭酸ガス吸収剤等により CO₂ を制御すればカンシヨの低温障害による腐敗を抑制できると考えられた。

要 旨

1) カンシヨは貯蔵適温範囲が 13°C~15°C と狭く、10°C 以下では低温障害を受ける。こうした低温障害性カンシヨ「ベにはるか」の低コスト輸出に必要な長距離低温コンテナ輸送のため、炭酸ガス吸収剤とプラスチックフィルム包装を組み合わせ 2°C~5°C 程度の低温で 30 日程度保存する方法について検討した。

2) 30 日程度の 2°C~5°C 貯蔵において、500g の「ベにはるか」OPP 穴あき包装での腐敗いも率は 100% であったが、OPP 密封包装に炭酸ガス吸収剤を使用したものでは腐敗いも率 44% 以下で腐敗程度も改善した。

3) OPP 密封包装 1000cc 容量程度に必要な炭酸ガス吸収量はカンシヨ 1g に対して 80cc 以上と考えられた。

追 記

本研究は「低温障害性青果物の長期低温貯蔵法と包装法」として技術化し平成 28 年 3 月に特許申請を行った。また海外調査にあたって支援を頂いた JETRO 大分センター、JETRO シンガポール事務所、自治体国際化協会シンガポール事務所並びにブランドおおいた輸出促進協議会にお礼申し上げます。

参考文献

- (1) 宮崎丈史「青果用サツマイモの品質特性と貯蔵性に関する研究」東京大学学位論文 (1993)
- (2) 宮崎丈史・日坂弘行ら「嫌気的環境下のサツマイモに発生する加熱後の緑変現象について」日本包装学会誌 Vol. 2, No. 2 (1993)
- (3) Handbook of Food Preservation (2007)
- (4) 向坂勝之助「低温下の植物代謝」化学と生物 Vol. 12, No. 1 東京大学出版会 (1974)
- (5) 相良泰行「生鮮青果物のコールドチェーンにおける温湿度管理の留意点」, 冷凍第 78 巻第 906 号 (2003)
- (6) 邨田卓夫「青果物の低温流通と低温障害」コールドチェーン研究 6(2), 42-51, 1980
- (7) 並木満夫「通常の化学反応系におけるフリーラジカル」, 化学と生物 Vol. 49, No. 10, 東京大学出版会 (2011)
- (8) 山木昭平「植物低温障害の機構」化学と生物 Vol. 13, No. 1 東京大学出版会 (1975)
- (9) 福岡信之ら「サツマイモ‘高系 14 号’の内部褐変症の発生に関する組織形態的および生化学的要因の検討」, 8(1), 47-53 日本園芸学会誌 (2009)
- (10) 千葉県農業試験場 (1993) 牧野義雄他; 日本包装学会誌 Vol. 4 No. 1 (1995)
- (11) 鹿児島県農業試験場「さつまいもの貯蔵について」農産物加工研究指導センター資料 (2006)