

高温キュアリング処理によるサツマイモ「高系14号」「なると金時」の貯蔵性向上効果

誌名	日本食品保蔵科学会誌
ISSN	13441213
著者名	兼田,朋子 中村,宣貴 椎名,武夫 馬場,正
発行元	日本食品保蔵科学会
巻/号	47巻2号
掲載ページ	p. 67-75
発行年月	2021年4月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



高温キュアリング処理によるサツマイモ ‘高系14号’「なると金時」の貯蔵性向上効果

兼田 朋子^{*1§}・中村 宣貴^{*2}・椎名 武夫^{*3}・馬場 正^{*4}

* 1 徳島県立農林水産総合技術支援センター

* 2 農研機構食品研究部門

* 3 千葉大学大学院園芸学研究科

* 4 東京農業大学農学部

Effect of a High Temperature-Curing Treatment on Storability in Sweet Potato (*Ipomoea batatas* L.) ‘Kokei No.14’ Naruto-Kintoki

KANETA Tomoko^{*1§}, NAKAMURA Nobutaka^{*2}, SHIINA Takeo^{*3} and BABA Tadashi^{*4}

* 1 *Tokushima Agriculture, forestry and fisheries Technology Support Center,
1660 Ishii, Myozai, Tokushima 779-3233*

* 2 *National Food Research Institute, NARO, 2-1-12 Kannondai, Tsukuba, Ibaraki 305-8642*

* 3 *Graduate School of Horticulture, Chiba University, 648 Matsudo, Matsudo, Chiba 271-8510*

* 4 *Tokyo University of Agriculture, 1737 Funako Atsugi, Kanagawa 243-0034*

To evaluate the transportation environment from Tokushima, Japan to Kelang, Malaysia by overland and marine shipping, we measured the chronological fluctuation in temperature and humidity in the reefer container and the carton of sweet potatoes. Further, we clarified the effects of the curing treatment and the high-temperature curing treatment before shipping on root quality during storage in Naruto-Kintoki selected from sweet potato ‘Kokei No.14’. By combining the reefer container and the warehouse (which have temperature control), the optimum temperature (13°C) of sweet potato was maintained during the distribution process. However, humidity during marine transportation had a wider fluctuation. After 52 d of storage, the high temperature-curing treatment (42°C for 36 h) significantly decreased the weight-change ratio and the mold incidence ratio on the cutting surface of the root. After 23 d of storage, the rot ratio and the disposal ratio for serious mold/rot on the root were significantly decreased. The effects of the curing treatment (35°C for 72 h) on quality retention (weight-change ratio, wilting ratio, and mold incidence ratio on the cutting surface of root) were not apparent. The rot ratio and the disposal ratio decreased during the storage period (not significantly, though). The high temperature-curing treatment improved preservation as evidenced by the decrease in the disposal ratio of Naruto-Kintoki. After 52 d of storage, the disposal ratio was 4.9% in the control and 0.7% in the high-temperature curing treatment.

(Received Aug. 27, 2020 ; Accepted Dec. 28, 2020)

Key words : *Naruto-Kintoki, high temperature-curing treatment, curing treatment, maritime transport, improved storability*

なると金時, 高温キュアリング処理, キュアリング処理, 海上輸送, 貯蔵性向上

近年, 日本産サツマイモ (*Ipomoea batatas* L.) の輸出需要が高まる中¹⁾, 徳島県産サツマイモ「なると金時」(‘高系14号’の選抜系統)も東・東南アジア各国を

中心に輸出量が年々増大している²⁾。サツマイモは10°C以下では低温障害を起し, その多くは商品性を失うことが知られている^{3),4)}。しかし, 効率的・低コストでの

* 1 〒779-3233 徳島県名西郡石井町石井字石井1660

§ Corresponding author, E-mail : kaneta_tomoko_1@pref.tokushima.jp

* 2 〒305-8642 茨城県つくば市観音台2-1-12

* 3 〒271-8510 千葉県松戸市松戸648

* 4 〒243-0034 神奈川県厚木市船子1737

輸送が優先され、サツマイモは、現状では他の青果物と混載され低温で輸送されるのが一般的で、流通中の商品性損失が問題となっている。

サツマイモの流通に伴う商品性維持のためには、貯蔵適温の近い青果物を組み合わせ、適温で混載輸送することが望まれる。貯蔵適温がサツマイモのそれ（13℃近傍）に近い青果物としては、キュウリ、スイカ、ショウガ、カボチャなどが挙げられるが⁹⁾、サツマイモとはその流通時期や産地が異なる。したがって、サツマイモとその他の青果物の効率的な混載は容易ではなく、サツマイモを単独で一括輸送の方が現実的であろう。

海上輸送で使用されるリーファコンテナ（以下、コンテナ）は容量が大きく（20もしくは40フィート）、一括大量輸送した場合、20フィートコンテナ（おおよその内寸；2.2mW×5.4mD×2.1mH）で約5tから7tのサツマイモを積載することとなる。それらのサツマイモを完全販売するには2か月程度を要する（以上、徳島県産品輸出業者からの聞き取り事例）。

しかし、サツマイモは貯蔵適温を維持し、貯蔵病害を抑制できれば数か月単位での貯蔵が可能である⁹⁾。そこで執筆者らは、海上輸送により適温（13℃近傍）で一括大量輸送した「なると金時」を、輸出国に設置・適温に設定された定温物流倉庫（本報告ではマレーシアを想定。以下、貯蔵庫）に一定期間貯蔵し、需要に応じ周辺国を含めた消費地へ出荷するプラン「海外物流ハブ拠点を活用した「なると金時」の定温流通システム」を考案し、輸送・鮮度保持技術、経営的評価、販売促進活動など、その構築に向け多面的に取り組んでいる（徳島県成長するASIAを拓け！「輸出ハイウェイ」展開事業）。ただし、このプランの実現のためには、サツマイモの貯蔵適温をおおむね維持できる定温流通ルートの確保に加えて、想定される販売期間（約2か月間）の貯蔵病害（カビや腐敗等）抑制技術の確立が必須である。

サツマイモやカボチャなど、貯蔵期間が長期にわたる青果物のカビや腐敗の抑制については、収穫後のキュアリング処理（温度30～35℃・湿度90～95%）による損傷部位のコルク層形成が貯蔵病害抑制に有効であることを示す報告が複数なされ^{6)~8)}、収穫から出荷に至るまでの期間の品質保持技術として既に多くの産地で導入されている。しかし、サツマイモは、出荷前に行われるバーナーによる細根の焼き切り処理や、ブラシを用いた水洗浄等の調製作業により、新たな傷が付きやすい。特に水洗

浄に伴う細かい傷は病原菌の侵入等を容易にし、流通中のカビや腐敗発生による品質低下や商品性損失を引き起こす要因となる⁹⁾。このことは未だ流通上の大きな課題の一つとして挙げられており⁹⁾、解決が求められている。

田之上ら⁹⁾は、「高系14号」を含む数種のサツマイモに対し、貯蔵性向上を目的としたキュアリングもしくは高温処理を行い、高温処理による腐敗防止効果を確認している。ただし、同報告は、収穫直後のサツマイモを対象に、産地での貯蔵期間延長を目的としたものである。一方、貯蔵後、出荷調製作業により生じた新たな傷を対象にした「高系14号」を含むサツマイモに対する高温処理効果に関する報告は、執筆者の知る限りでは見受けられない。

そこで本報では、定温流通システム実現の可能性を検討する目的で、温度制御可能なコンテナおよび貯蔵庫を活用したサツマイモ「なると金時」のマレーシア向け海上輸出実証試験（以下、輸出実証試験）を実施し、流通環境調査を行った。また、キュアリングおよび高温キュアリング処理（以下、高温処理）の品質保持効果について、輸出実証試験の場であわせて検討を行った。

実験方法

1. 材料

2018年10月下旬に収穫後、13℃に設定された恒温庫で2019年1月下旬まで貯蔵した、徳島県徳島市川内町の砂地畑で露地栽培されたサツマイモ「なると金時」のMサイズ（約200g/本）を、高温処理・輸出実証試験に供試した。

「なると金時」は、甘薯根毛処理機（MBD-1C、みのる産業社製）および洗浄機（FRENIC-MINI、株式会社浪製作所社製；モーター周波数16Hz、洗浄時間3分間）により、根塊表面の細根および砂を除去する出荷前調製（以下、調製）を行った。なお、徳島県の「なると金時」産地では、収穫後のキュアリング処理は実施していない。

調製の済んだ「なると金時」は、Table 1の条件で、キュアリング処理および高温処理を行った。また、温度処理を行わない無処理区を設け、輸出実証試験用試料とした。各試験区ともに、出荷用段ボール箱（0201形式、内寸：430mmW×225mmD×130mmH）に「なると金時」を約5kgずつランダムに充填した。反復は5反復（計5箱、約25kg）とした。そして、輸出実証試験開始日の1月29

Table 1 Curing treatment conditions during this study

	Temperature of treatment (°C)	Time of treatment (hour)
Curing treatment	35	72
High temp.-curing treatment	42	36
Non-treatment	13	-

日まで、13℃に設定した定温庫内で保管した。

2. キュアリング処理

キュアリング処理は、2019年1月20日から23日にかけて、徳島市川内町の「なると金時」生産者が保有する天吊型電熱式ユニットファンヒーター（容量200V-3kW、吹出風速3m/sec.）1台および加湿ユニット（加湿量2.0ℓ/h）4台を備えたキュアリング処理庫（5.0mW×6.0mD×5.0mH）で行った。通気孔付きのプラスチック製コンテナ（520mmW×365mmD×300mmH）に約20kgずつ入れた調製済みの「なると金時」約60kgをパレットに積載し、予め温度35℃、湿度90%RHに設定したキュアリング庫の中央に静置した。キュアリング処理時間は、庫内温度が35℃に到達した時点から72時間とした。なお、一般的なキュアリング温度は30~35℃とされることから、本研究でのキュアリング温度は35℃とし、予備試験により品質保持効果が高かった72時間を処理時間とした（データ省略）。キュアリング処理終了後は速やかに庫外へ搬出し、倉庫内（温度調整なし、室内温度7~12℃程度）で放冷し、根塊表面の水分を蒸発・乾燥させた（15時間）。放冷後は、徳島県立農林水産総合技術支援センター（名西郡石井町；以下、センター）へ小型トラック（温度調整なし、外気温14℃程度）で輸送後、前述の出荷用段ボール箱に充填し、輸出実証試験開始日まで13℃に設定した定温庫内で保管した。

3. 高温処理

高温処理は、2019年1月25日から26日にかけて、徳島県立農林水産総合技術支援センター（名西郡石井町）が保有するインキュベーター（700mmW×510mmD×1,500mmH；三洋電機製、MIR-251）で行った。調製済みの「なると金時」約60kgを、予め温度42℃に設定し、庫内底部に水を入れたバットを設置したインキュベーター内網棚に、「なると金時」を静置した。高温処理時間は庫内温度が42℃に到達した時点から36時間とした。なお田之上ら⁶⁾により、‘高系14号’では40℃以上の高温処理で貯蔵中の腐敗がほぼ抑制されるものの、45℃では高温障害が発生し品質低下をおこすこと、腐敗低減効果は36時間処理で高い効果が得られることが明らかにされているため、本研究での高温処理条件を42℃・36時間とした。高温処理終了後は速やかに庫外へ搬出し、実験室内（温度調整なし、室内温度15℃程度）で放冷（15時間）し、根塊表面の水分を蒸発・乾燥させた。放冷後は出荷用段ボール箱に充填し、輸出実証試験開始日まで13℃に設定した定温庫内で保管した。

4. 輸出実証試験の工程

(1) 輸送および貯蔵条件 2019年1月29日から同年3月20日にかけて輸出実証試験を実施した。試験工程についてFig. 1に示した。

生産者宅（徳島市川内町）からセンター、およびセンターから徳島小松島港（小松島市豊浦町）までは、それ

Date	Process	Conditions of distribution	Charge
20 ~ 23th. Jan.	Curing treatment (35℃・72hour)	Storage temp. 13℃ after treatment	Agricultural production corporation in Tokushima
24th. Jan.	Delivery of Sweet potato (Curing treated/Non-treat) Transport from corporation to Institute (Overland shipment・40min.)	Mini truck (Non-control temp.) Kawauchi Tokushima City to Ishii town Myozai	Agricultural production corporation in Tokushima Tokushima pref.
24 ~ 28th. Jan. (25 ~ 26th. Jan.) (27 ~ 28th. Jan.)	Preparation for test High temp.-curing treatment (42℃・36hour) Packing for test cargo	Storage temp. 13℃	Tokushima pref.
29th. Jan.	Domestic transportation	Transportation from Center to Komatsushima Port (Overland shipment・1 hour)	Medium (4t) truck (Non-control temp.) Ishii town Myozai to Toyoura town Komatsushima city
29th. Jan.		Pallettaize・Vanning	Non-control temp. (3hour)
		Export procedure from Japan	Storage temp. 13℃
	Exporter		Tokushima pref.
30th. Jan.	Marine transportation	Departure Transport from Komatsushima Port to KLANG Port, Malaysia Shipment by sea (18 days)	20ft Reifer container (13℃)
17th. Feb.		Arrival	Storage temp. (13℃) was kept by plug in during idelling time
19th. Feb.	Storage	Devanning/Warehousing (Overland shipment by Truk・10min.)	Trailer for Cargo container (13℃) Container yard to warehouse in FTZ
19th Feb. ~ 20th Mar. 19th Feb. 20th Mar.		Storage test Quality check (day23) Quality check (day52)	Storage temp. 13℃
		Import procedure to Malaysia	
	Importer		Importer (Malaysian corporation)
21th. Mar.	Carry out from warehouse (Finish the test)	Medium (4t) Truk (Non-control temp.)	Forwerder (Malaysian corporation)

Fig. 1 Process and distribution conditions of the transport-storage test from Tokushima to Malaysia by marine transportation

ぞれ小型トラックおよび中型（4t）トラックにて、温度調整をせず常温（外気温度14℃および6℃程度）で陸上輸送した。徳島小松島港からマレーシアKLANG港（以下、KLANG港）までは、20フィートコンテナにて海上輸送した。コンテナは13℃設定とし、換気口の開口度は50%とした。KLANG港から貯蔵庫まではコンテナトレーラで陸上輸送した。貯蔵庫には任意の温度設定が可能な定温倉庫を活用した。貯蔵庫に輸送した「なると金時」は出荷用段ボール箱をパレット上にレンガ積みした状態で、貯蔵庫内の一室に保管した。貯蔵庫の設定温度は13℃だが、日中は貨物の出し入れに伴う他温度帯室および外気の流入があった。

（2）流通環境測定 センターから徳島小松島港の陸上輸送、徳島小松島港からKLANG港の海上輸送、KLANG港から貯蔵庫への陸上輸送および貯蔵庫での貯蔵期間中の温度・湿度変化について、経時的に測定した。測定には温湿度ロガー、ハイグロクロン（DS1923, KNラボラトリーズ社製）を用い、流通期間（センター出荷後から現地貯蔵庫での貯蔵試験終了時まで）を通じ、サンプリング周期20min. の条件で測定、収録した。

温湿度ロガーは、コンテナや貯蔵庫内（以下、庫内）、「なると金時」が入った段ボール箱内（以下、箱内）の温湿度を測定することを目的に、「なると金時」入りの段ボール箱の外側および内側に、両面テープにより固定した。計測したデータの回収および解析は、専用ソフトウェアRh Manager（ver.2.16, Build30, KNラボラトリーズ社製）により行った。

5. 品質調査

輸送試験開始時から23日後および52日後に、現地貯蔵庫に貯蔵した「なると金時」の品質を調査した。調査項目は、質量および外観品質とした。

（1）質量 「なると金時」の1反復ごと（段ボー

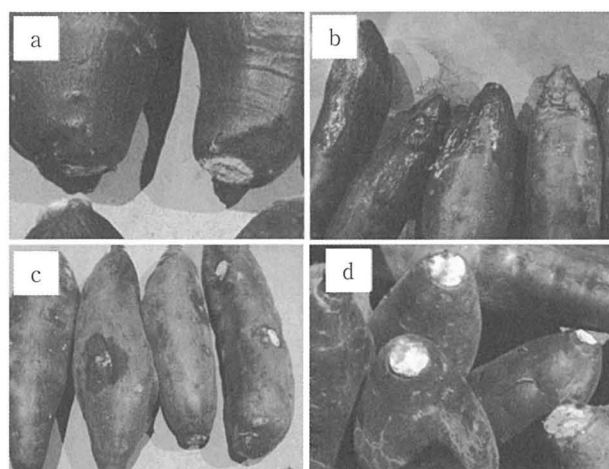


Fig. 2 Types of storage diseases during distribution on Naruto-Kintoki root

a: Wilting, b: Rot, c: Mold (on the root surface), d: Mold (on the cutting surface)

ル箱1箱約5kg；28～30本）の質量を、23日後および52日後に測定した。輸送前（2019年1月18日）の質量（以下、輸送前質量）と比較し、質量減少率（ $(\text{輸送前質量} - \text{調査日質量}) / \text{輸送前質量} \times 100$ ）を算出した。

（2）外観品質 「なると金時」を目視で観察し、萎れ、腐敗、カビといった障害の有無を観察した（Fig. 2）。1反復ごとの発生数をそれぞれ記録し、それぞれの発生率（各障害発生数/全根塊数 $\times 100$ ）を算出した。52日後の発生率は23日後との累積値とした。

カビは、根塊本体にカビが発生したものおよび根塊両端の切り口のみにかビが発生したもの（Fig. 2-cおよびFig. 2-d）に分類した。腐敗（Fig. 2-b）や重篤なカビ（Fig. 2-c）により商品性を損失した根塊は廃棄処分とし、調査日ごとに試験区から除外した上でその数を記録し、前述の方法で1反復ごとの廃棄率を算出した。

結果

1. 流通環境

流通期間を、国内輸送（徳島県内陸送～バンニング）、海上輸送（徳島小松島港～KLANG港）、貯蔵庫（貯蔵庫搬入～調査終了日）に大別し（Fig. 3）、流通期間中の温度・湿度変化および各工程について庫内、箱内それぞれの平均温度・湿度を求めた（Table 2）。

流通中の平均温度は、国内輸送の庫内が $11.3 \pm 1.06^\circ\text{C}$ （ \pm の後の数値は標準偏差、以下同様）、箱内が $12.0 \pm 0.77^\circ\text{C}$ 、海上輸送の庫内が $13.9 \pm 0.55^\circ\text{C}$ 、箱内が $13.7 \pm 0.66^\circ\text{C}$ 、貯蔵庫の庫内が $13.5 \pm 1.11^\circ\text{C}$ 、箱内が $12.9 \pm 0.97^\circ\text{C}$ であった（Table 2）。庫内・箱内に関わらず、いずれの工程においてもサツマイモの流通適温の 13°C 近傍を示したが、庫内の温度変動幅は、国内輸送および貯蔵庫において平均温度の $\pm 9.4\%$ および $\pm 8.2\%$ で、海上輸送のそれ $\pm 4.0\%$ と比較して大きかった。

一方、流通中の平均湿度は、国内輸送の庫内が $56.1 \pm 8.93\%RH$ 、箱内が $71.1 \pm 7.64\%RH$ 、海上輸送の庫内が $63.6 \pm 24.05\%RH$ 、箱内が $63.5 \pm 20.55\%RH$ 、貯蔵庫の庫内が $67.5 \pm 9.16\%RH$ 、箱内が $70.3 \pm 6.62\%RH$ であった（Table 2）。流通期間を通じ、箱内の湿度は庫内に比べて高い（国内輸送および貯蔵庫）もしくは同等（海上輸送）の値を示した。また、庫内の湿度は国内輸送中に最も低い値を示し、湿度変動幅は、海上輸送は平均湿度の $\pm 37.8\%$ で、国内輸送（ $\pm 15.9\%$ ）および貯蔵庫（ $\pm 13.6\%$ ）と比較して大きな変動を示した。

2. 高温処理による品質保持効果

（1）質量 流通期間中の「なると金時」の質量減少率をFig. 4に示した。質量減少率は、23日後にはキュアリング区で2.2%、高温処理区で1.4%、無処理区で2.0%で、高温処理による質量減少抑制傾向がみられた。52日後には3.6%、2.4%、4.1%で、無処理区と比較して高温処理による有意な質量減少抑制効果が認められた（ $p < 0.01$ ）。

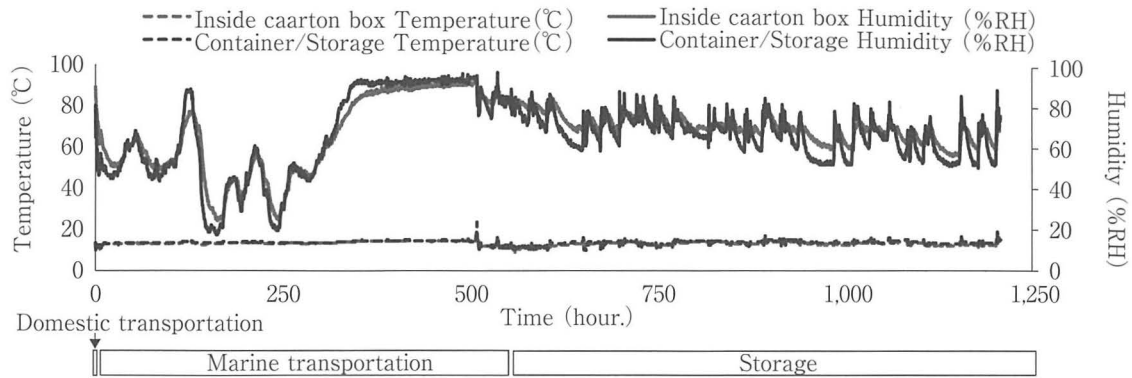


Fig. 3 Changes in temperature and humidity during distribution from Tokushima to Malaysia

Table 2 Temperature and humidity of the distribution environment

		Domestic transportation	Marine transportation	Storage
Temperature (°C)	Container/Storage ^z	11.3 ± 1.06**	13.9 ± 0.55**	13.5 ± 1.11**
	Inside carton box ^y	12.0 ± 0.77	13.7 ± 0.66	12.9 ± 0.97
Humidity (%RH)	Container/Storage	56.1 ± 8.93**	63.6 ± 24.05	67.5 ± 9.16**
	Inside carton box	71.1 ± 7.64	63.5 ± 20.55	70.3 ± 6.62

Means were ^z Inside Container/Storage ^y Inside carton-box of Naruto-Kintoki.

**Means with different lowercase letters were significantly different among the different process based on Tukey-Kramer test ($p < 0.01$).

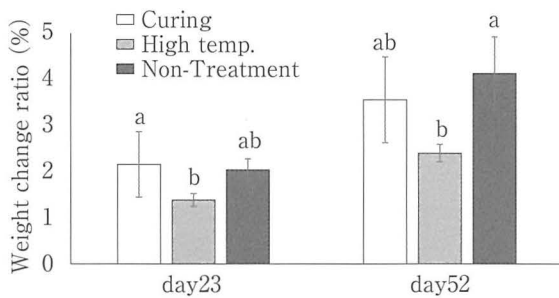


Fig. 4 Weight change ratio of Naruto-Kintoki during the storage period

Means with different lowercase letters were significantly different among the different treatments at each storage period based on the Tukey-Kramer test (day23 : $p < 0.05$, day52 : $p < 0.01$).

The data are represented by the mean values and standard deviation (n=5).

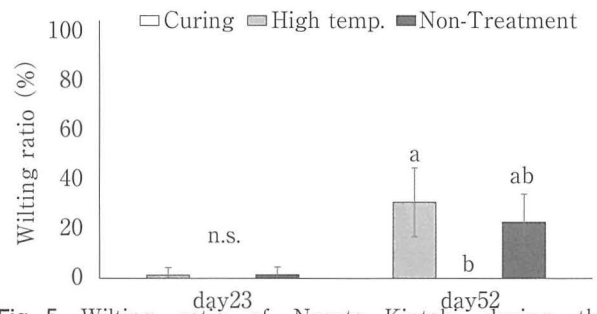


Fig. 5 Wilting ratio of Naruto-Kintoki during the storage period

Means with different lowercase letters and n.s. were significantly different and not significantly different, respectively, at $p < 0.05$ among the different treatments at each storage period based on the Tukey-Kramer test.

The data are represented by the mean values and standard deviation (n=5).

(2) 萎れ 流通期間中の「なると金時」の萎れ発生率をFig. 5 に示した。23日後の萎れ発生率は、キュアリング区1.3%、高温処理区0.0%、無処理区1.4%で、いずれの試験区でも萎れ発生率は小さく、有意差は認められなかった。一方、52日後には、キュアリング区および無処理区で30.7%、22.7%で23日後よりも大幅に増加したのに対し、高温処理区では0.0%を維持していた。

(3) 腐敗 流通期間中の「なると金時」の腐敗発生率をFig. 6 に示した。23日後の高温処理区の腐敗発生

率は0.0%で、無処理区 (3.5%) と比較して有意に腐敗発生が抑制された ($p < 0.05$)。キュアリング区の腐敗発生率は1.4%で、腐敗発生を完全に抑制することはできなかった。

一方、52日後には、無処理区の4.2%に腐敗が発生したが、キュアリング区で1.4%、高温処理区で0.7%であり、高温処理区、ついでキュアリング区で腐敗発生率が低い傾向を示した (有意差なし)。

(4) 塊根本体のカビ 流通期間中の「なると金時」

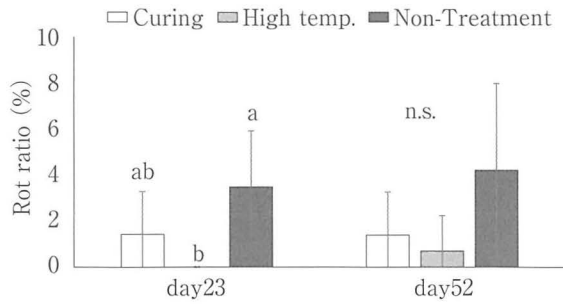


Fig. 6 Rot ratio of Naruto-Kintoki during the storage period

Means with different lowercase letters and n.s. were significantly different and not significantly different, respectively, at $p < 0.05$ among the different treatments at each storage period based on the Tukey-Kramer test. The data are represented by the mean values and standard deviation ($n=5$).

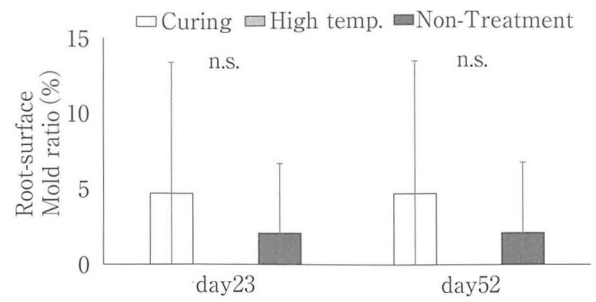


Fig. 7 Mold ratio on the root surface of Naruto-Kintoki during the storage period

Means with n.s. letters were not significantly different at $p < 0.05$ among the different treatments at each storage period based on the Tukey-Kramer test.

The data are represented by the mean values and standard deviation ($n=5$).

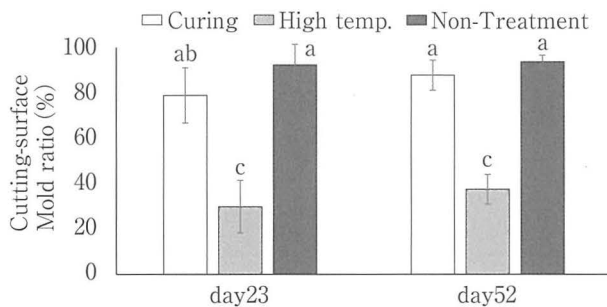


Fig. 8 Mold ratio on the cutting surface of Naruto-Kintoki during the storage period

Means with different lowercase letters were significantly different among the different treatments at each storage period based on the Tukey-Kramer test ($p < 0.01$).

The data are represented by the mean values and standard deviation ($n=5$).

の塊根本体に発生したカビ発生率をFig. 7に示した。カビ発生率は23日後も52日後も同じ値を示し、キュアリング区で4.7%と最大値を示し、次いで無処理区で2.1%であった。一方、高温処理区では貯蔵期間を通じ、塊根本体にカビの発生は認められなかった(23日後、52日後ともに試験区間に有意差なし)。

(5) 切り口のカビ 流通期間中の「なると金時」の切り口のカビ発生率をFig. 8に示した。23日後の無処理区の切り口のカビ発生率は92.3%で、ほぼ全量の根塊の切り口にカビが発生した。次いで、キュアリング区が78.9%と高い値を示した。一方、高温処理区では29.8%で、無処理区およびキュアリング区の4割以下にその発生率が抑えられ、有意差が認められた($p < 0.01$)。52日後にはいずれの試験区でも発生率は増大したが、無処理区の93.8%およびキュアリング区の87.8%と比較して、高温処理区では37.5%と有意に小さい値を示した($p < 0.01$)。

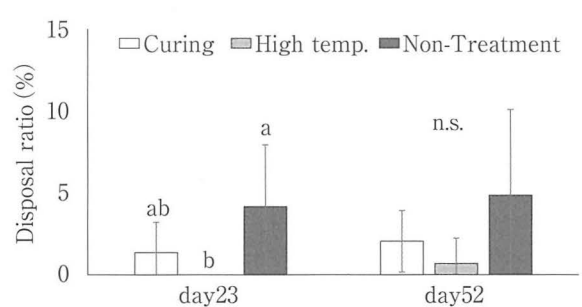


Fig. 9 Disposal ratio on the cutting surface of Naruto-Kintoki during the storage period

Means with different lowercase letters and n.s. were significantly different and not significantly different, respectively, at $p < 0.05$ among the different treatments at each storage period based on the Tukey-Kramer test.

The data are represented by the mean values and standard deviation ($n=5$).

(6) 廃棄率 流通期間中の「なると金時」の廃棄率をFig. 9に示した。23日後の廃棄率は、キュアリング区で1.4%、高温処理区で0%、無処理区は4.2%で、無処理区と比較して高温処理により廃棄率が有意に低減した($p < 0.05$)。有意差は認められないもののキュアリング区でも廃棄率が低減する傾向がみられた。さらに52日後においても、キュアリング区で2.0%、高温処理区で0.7%であり、無処理区の4.9%と比較して、高温処理区、キュアリング区の順で廃棄率が抑えられる傾向にあった(有意差なし)。

考 察

サツマイモ「なると金時」の定温流通システムの実現可能性について検討する目的で、温度制御可能なコンテナおよび輸出先の商用貯蔵庫を活用した「なると金時」のマレーシア向け輸出実証試験を行い、流通中の温度・湿度変動について環境測定を行った。流通中の平均温度

は、いずれの工程でも、庫内、箱内共にサツマイモの流通適温の13℃近傍を示したことから、温度制御可能なコンテナおよび貯蔵庫を組み合わせることで、流通期間中継続してサツマイモの貯蔵適温を維持できること、すなわち、定温流通は実現可能であることが示唆された。ただし、外気との換気が容易な国内輸送中のコンテナおよび貯蔵庫の庫内温度変動幅は、換気量の小さい海上輸送の約2倍であった。今回利用した貯蔵庫は、定温物流倉庫という性質上、日中、作業のための出入りが複数回見受けられた。そのため、国内輸送および貯蔵庫の庫内温度変動幅が海上輸送と比較して大きくなったと推察された。今後、定温倉庫を活用した貯蔵で、より安定した温度管理を行うためには、人や他貨物の出入りを極力制限した閉鎖空間を保管先に指定することが望ましいと考えられた。

また流通中の庫内平均湿度は、56.1~71.1%RHで箱内の平均湿度は庫内と同等かそれ以上の値を示した。庫内温度の変動幅は、国内輸送および貯蔵庫で海上輸送の2倍程度を示したが、一方で湿度変動幅は、海上輸送が国内輸送および貯蔵庫と比較して2.4~2.8倍であった。通常、密閉空間においては温度が変動（低下）すると相対湿度は上昇する。王ら¹⁰⁾は、二元庫においては、貯蔵室内の温度は換気の有無にかかわらず安定するものの、湿度は換気を行う試験区で変動幅が大きくなることを明らかにしている。今回の計測では、海上輸送中の温度の変動幅が最小（安定）だったにもかかわらず、湿度の変動幅が大きかった。海上輸送に用いたコンテナは、冷凍機により温度制御が可能である一方、湿度制御機能は付いておらず、通気口から水蒸気を含んだ空気が比較的自由に出入りできる非密閉空間であった。また、コンテナの周辺の温湿度環境は船の航行位置の気候帯や天候に左右され、それらの要因が湿度の振れ幅を大きく（最大値95.4%、最小値17.2%）し、不安定にしたものと考えられた。

流通期間中の商品性維持を目的として、出荷前の「なると金時」にキュアリングおよび高温処理を行い、品質保持効果について検討した。その結果、高温処理により、質量減少率、切り口のカビが貯蔵期間の52日間を通じ有意に抑制された。また、23日後までは、腐敗および廃棄率を有意に低減できた。一方、キュアリング処理では、質量減少率や萎れ、塊根本体および切り口のカビ抑制に対する効果は認められなかったものの、腐敗や廃棄率については、無処理区の2.5~3割程度にその発生が低減する傾向がみられた（いずれも有意差なし）。本研究では、サツマイモの貯蔵中に発生する腐敗の要因のひとつである軟腐病¹¹⁾を引き起こす*Rhizopus*菌類の最高生育温度が33~35℃であること¹²⁾、35℃以上では生育不能である^{13)~16)}ことから、キュアリング温度を35℃とした。田之上ら⁶⁾は、キュアリング(38℃・6日間)および高温処理(40℃および42℃・1.5日)による‘高系14号’を含

む数種のサツマイモに対する貯蔵中の腐敗抑制効果について検討を行い、いずれの品種においても40℃以上の高温処理において腐敗率が0%に抑制された一方で、キュアリングでは20~87%（‘高系14号’は42%）のサツマイモが腐敗したことを報告している。本研究でも、高温処理による腐敗や廃棄率の発生抑制効果が23日後までは有意に認められた一方で、キュアリングの抑制効果は高温処理よりも低く、田之上ら⁶⁾の結果と一致した。荒木田ら⁹⁾はサツマイモの海外輸送時に発生する腐敗は出荷前の洗浄・調製により生じた塊根表面の傷に起因し、*Rhizopus st淋ifer*によるサツマイモ軟腐病が主要因であることを報告している。また、前述のように*Rhizopus st淋ifer*は35℃以上では生育が認められないことが報告されている^{13)~16)}。よって「なると金時」の腐敗を抑制するためには、軟腐病の抑制温度を十分に上回った42℃の高温処理が有効であることが推察された。

また、サツマイモに発生するカビの主な病原は、青かび病(*Penicillium expansum*およびその近縁種)であることが知られている¹⁷⁾。*Penicillium expansum*は40~45℃では菌糸が死滅することが明らかにされており¹¹⁾、高温処理による感染抑制効果がナシ(46℃・10-20min.)やリンゴ(リンゴ; 45℃・10min.)で報告されている^{18)~19)}。また田之上ら⁶⁾は、腐敗防止目的の高温処理では、40℃、42℃いずれの処理温度でも同様の効果が得られることを報告している。本研究では、より高い腐敗や青かび病抑制効果を得る目的で42℃で高温処理を行った。その結果、切り口に発生するカビを無処理およびキュアリングと比べ1/3程度に低減することができた。しかし、一方で3~4割の根塊にはカビが発生し、完全にカビの発生を防ぐことができなかった。これには高温処理時のサツマイモの積載位置や密度等によって、遭遇する温度に差が生じ、それがカビの抑制効果のばらつきを生じさせた可能性が考えられる。今後、それらの昇温特性を明確にし、カビの抑制に十分な温度をムラなくサツマイモに伝えられる高温処理条件を明らかにし、カビの発生を高精度で抑える処理技術を確認する必要がある。

本研究では、海上輸出に伴う長期流通期間中のサツマイモの品質保持を目的に、温度制御可能なコンテナおよび貯蔵庫を組み合わせることで、徳島小松島港~マレーシアKLANG港の海上輸送期間および現地貯蔵庫での貯蔵期間のいずれも、サツマイモの貯蔵適温(13℃近傍)を維持できた。出荷調製後のサツマイモ「なると金時」に42℃・36時間の高温処理を行うことで、無処理区と比較して、52日後まで質量減少率、切り口のカビを、23日後まで腐敗、廃棄率を有意に低減できた。今後は、大口一括処理を、高精度かつ省エネルギーで実施可能な実用技術の確立を目標に、サツマイモの積載方法や、効率的な温度制御技術について検討を進め、社会実装につなげていく予定である。

要 約

海外物流ハブ拠点を活用したサツマイモ「なると金時」の定温流通システム実現の可能性を検討する目的で、マレーシア向け輸出実証試験を実施し、流通環境の温度・湿度を測定した。また貯蔵後、出荷前調製（ひげ焼き・ブラシ洗浄）し、新たに傷が付いたと思われる「なると金時」に対するキュアリング処理および高温処理を行い、それらの品質保持効果を明らかにした。

温度制御可能なコンテナおよび貯蔵庫を組み合わせることで、いずれの工程においてもサツマイモの貯蔵適温（13℃近傍）を比較的安定して維持できた。ただし、海上輸送中の湿度は変動幅が大きかった。

出荷調製後のサツマイモ「なると金時」に42℃・36時間の高温処理を行うことで、無処理区と比較して、52日後まで質量減少率、切り口のカビを、23日後まで腐敗、廃棄率を有意に低減できた。

一方、35℃・72時間のキュアリング処理では、質量減少率や萎れ、塊根本体および切り口のカビ抑制に対する効果は認められないが、腐敗や廃棄率が低減する傾向がみられた。

以上のことから、「なると金時」の流通中の品質保持には高温処理がより有効であり、52日間の流通後においても、無処理区での廃棄率が4.9%、キュアリング区が2.0%だったのに対し、高温処理区では0.7%に抑えることができた。

謝 辞 本研究を実施するにあたり、キュアリング処理庫の借用およびキュアリング試料の作製にご協力頂きました株式会社農家ソムリエーズ代表取締役藤原俊茂氏に感謝申し上げます。輸出実証試験に際し、特段のご配慮・ご協力を頂きました日本通運株式会社四国支店、同小松島事業所、NIPPON EXPRESS (MALAYSIA) SDN. BHD., NIPPON EXPRESS (SINGAPOLE) PTE. LTD., 郵船ロジスティクス株式会社、TASCO Berhad (20218-T), 株式会社藤生, EIGHT HUNDRED EIGHT TRADING SDN. BHD. に深謝致します。また、現地での品質調査を補助して頂いた徳島県立農林水産総合技術支援センターの津田毅彦氏にお礼申し上げます。

文 献

- 1) 首相官邸：農林水産業の輸出力強化ワーキンググループ（第10回）配付資料 資料4別紙2全体版（2016）（http://www.kantei.go.jp/jp/singi/nousui/kyouka_wg/dail10/siryou4-2.pdf）（最終アクセス：2020年8月11日）
- 2) 兼田朋子：なると金時の一括大量輸送を実現するなると金時流通プラン，農林水産技術セミナー「青果物の品質保持・輸送技術と輸出促進」講演配付資料（2018）
- 3) LIEBERMAN, M., CRAFT, C. C. AUDIA, W. V. and WILCOX, M. S. : Biochemical Studies of Chilling Injury in Sweetpotatoes, *Plant Physiology*, **33** (5), 307~311 (1958)
- 4) YAMAKI, S. and I. URITANI, I. : Mechanism of Chilling Injury in Sweet Potatoes Part V Biochemical Mechanism of Chilling Injury with Special Reference to Mitochondrial Lipid Components, *Agr. Biol. Chem.*, **36** (1), 47~55 (1972)
- 5) 農産物流通技術研究会：農産物流通技術2019（農産物流通技術研究会年報），3. 参考資料，91~92（2019）
- 6) 田之上隼雄・下蘭かおり・前屋義孝：甘しょの貯蔵性向上のための高温処理条件，鹿児島県農業試験場研究報告，**17**，59~69（1989）
- 7) 長尾明宣・伊東照彦・土肥 紘：カボチャの収穫後の品質に及ぼすキュアリング条件と貯蔵温度の影響，園芸学会雑誌，**60**（1），175~181（1991）
- 8) 小川 奎・千葉恒夫・武田秀男：サツマイモ貯蔵病害に対するキュアリングの効果，関東東山病害虫研究会年報，**34**，34~35（1987）
- 9) 荒木田尚広・島田 峻・田中研一・西宮智美・渡邊 健：サツマイモ輸出に係る海上輸送時のいもの腐敗実態とその発生要因，第247回日本作物学会講演会要旨集，101（2019）
- 10) 王 世清・田中俊一郎・田中史彦・森田和夫：二元調湿換気式定温貯蔵庫内における温湿度予測に関する基礎的研究（I）—準定常運転時—，農業施設，**28**（2），77~85（1997）
- 11) 渡邊 健・林川修二：インターネット版防除ハンドブック サツマイモの病害虫（全国農村教育協会，東京）（2019）（<https://www.boujo.net/newhandbook15/軟腐病なんぷびょう.html>）（2020年8月11日アクセス）
- 12) 宇田川俊一・鶴田 理：かびと食物（医歯薬出版，東京），pp.163~166（1976）
- 13) 志田俊郎・古木市重郎・有本 裕・本間保男・椿啓介・見里朝正：マスクメロン黒かび病について，日本植物病理学会報，**48**，702~704（1982）
- 14) 余 小林・邨田卓夫：イチゴ果実貯蔵中の品質変化に及ぼす高温処理の影響，日本食品低温保蔵学会誌，**20**（4），3~8（1994）
- 15) 田場 聡・照屋清仁・諸見里善一：*Rhizopus stolonifer* ver. *Stolonifer*によるツルレイシ黒かび病（新称），日本植物病理学会報，**72**，22~24（2006）
- 16) 岡田清嗣・大植大輔：ナスの果実に発生した *Rhizopus stolonifer* ver. *Stolonifer*による黒かび病（新称），関西病害虫研究会報，**49**，55~57（2007）
- 17) 渡邊 健・林川修二：インターネット版防除ハンド

- ブック サツマイモの病害虫 (全国農村教育協会, 東京) (2019) (<https://www.boujo.net/newhandbook15/青かび病あおかびびょう.html>) (2020年8月11日アクセス)
- 18) ZHANG, H., WANG, S., HUANG, X., DONG, Y. and ZHENG, X.: Integrated control of blue mold decay of pears with hot water treatment and *Rhodotorula glutinis*, *Postharvest Biology and Technology*, **49**, 308~313 (2008)
- 19) SPADONI, A., GUIDARELLI, M., PHILLIPS, J., MARI, M. and WISNIEWSKI, M.: Transcriptional profiling of apple fruit in response to heat treatment: Involvement of a defense response during *Penicillium expansum* infection, *Postharvest Biology and Technology*, **101**, 37~48 (2015)
(令和2年8月27日受付, 令和2年12月28日受理)
-