

海外輸出向けサツマイモ腐敗抑制技術の開発

茨城県農林水産部産地振興課 主任
(前茨城県農業総合センター農業研究所)

あ ら き だ な お ひ ろ
荒木田 尚広

1 研究の背景

日本産サツマイモは甘くて食味の良いことから海外で高く評価され、輸出額が年々増加しており、農産物輸出における成長品目の一つである。特にタイやシンガポールなど東南アジア方面への輸出が盛んである。通常、東南アジアの国々には、輸送期間が短期間でコストが高い空輸ではなく、輸送期間は長いがコストが安い船便により輸送されている。しかし、2～3週間の輸送期間中に腐敗が発生し、輸出の問題となっている。

そこで、2017～2019年度に「海外輸出向けサツマイモ腐敗抑制技術の開発」に取り組むこととした。本稿ではその研究成果について報告する。

2 サツマイモ輸出と輸送中の腐敗発生に関する実態調査

2017年当時、茨城県においてはサツマイモの輸出が始まって間もなかったため、輸出実態そのものが不明であった。そこで、まずサツマイモはどのように輸出されているか、その中で腐敗がどのように発生しているか、実態調査を行った。

(1) 調査方法

調査は2017年7月～8月に実施した。あらかじめ調査票を作成し、茨城県産サツマイモの輸出に取り組む集荷業者2社および輸出業者2社を対象に、訪問による聞き取り調査を実施した。

(2) 結果及び考察

①サツマイモ輸出について

輸出されたサツマイモの品種割合は「シルクスweet」63%、「べにはるか」35%、「ベニアズマ」2%で、東南アジアの人々に人気が高いとされる粘質食感の品種が大半を占めていた。輸送時の温度は5℃～9℃が3社、13℃が1社であり、いずれの事業者も湿度の制御はせず、他の青果物と混載して輸出していた。輸送時に使用される輸送コンテナは、全てリーファーコンテナであり、CAコンテナは利用されていなかった。出荷までの取扱については国内出荷と同様で、洗浄後は乾燥のため常温で保管され、翌日に選別、包装されていた。乾燥時の保管温度は、冬期では夜間の気温が0℃前後まで低下し、サツマイモに障害が生じるリスクが高まると考えられた。国内流通の場合、洗浄から調整、出荷までに2～3日を要し、出荷翌日には市場に到着す

る。一方、船便で輸出する場合、国内流通と同様に出荷された後、港湾に併設される倉庫に搬入され、検疫や積込、海上輸送を経て、輸出先国に到着するまで14日程度を要していた。出荷時の梱包形態は国内出荷と同様、ダンボール詰めであった。

②輸送中における腐敗発生について

輸送中の腐敗発生は12月～3月において特に顕著で、最も高い発生事例で50%程度腐敗が生じていた。鮮度保持のため個包装に取り組む事例があったが、腐敗は防止できていなかった。また、腐敗は出荷調製した塊根の両端部および外傷部から発生していることが多く、これが直接の要因と考えられた。また、その外観の腐敗症状は *Rhizopus stolonifer* による軟腐病と酷似していた（図1）。



図1 サツマイモ輸送中に発生する腐敗例

3 ダブルキュアリング法の考案と所内試験による効果確認

（1）試験の目的

前述の実態調査により、サツマイモ輸送中における腐敗発生は、出荷前の洗浄・調整により塊根表面に傷が生じることに起因し、*Rhizopus stolonifer* によるサツマイモ軟腐病が原因であると考えられた。

軟腐病によるサツマイモの腐敗はごく一般的であり、特に収穫間もない時期に、収穫や運搬時の傷から軟腐病菌に感染することにより、発生するとされている（L. L. HARTERら、1923）。腐敗を防ぐためには、サツマイモを収穫後に温度32℃前後かつ湿度90%前後の高温多湿条件で3～5日間保管することで外傷部にコルク層を形成させるキュアリング処理が有効とされる。

そこで、従来の出荷体系を見直し、洗浄・調整後に再度キュアリング処理を行う、「ダブルキュアリング法」を考案した（図2）。しかし、既に一度キュアリング処理し、長期貯蔵後かつ洗浄した塊根に対して、再度キュアリングを施すことにより同様の効果が得られるかについては、研究されていなかった。そこで、長期貯蔵後かつ洗浄後の塊根に対するキュアリング効果を検証し、サツマイモの持つ自己治癒能力を利用した腐敗抑制技術を開発しようと試みた。

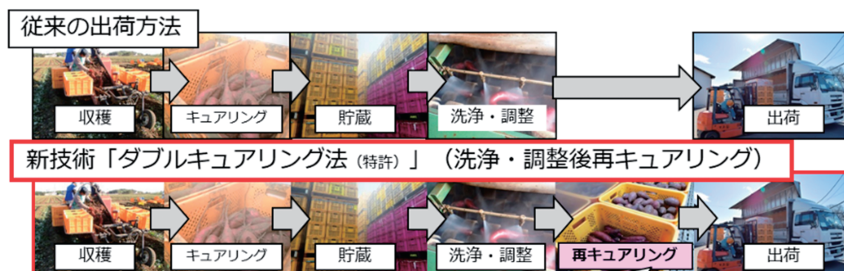


図2 「従来の出荷方法」と考案した「ダブルキュアリング法」

(2) 材料および方法

試験は、2017年4月に茨城県水戸市の農業研究所内キュアリング貯蔵庫で行った。材料は、所内圃場および鉾田市、行方市で2016年に収穫され、その後キュアリング貯蔵されたサツマイモ（品種：シルクスweet）の塊根を供試した。ダブルキュアリング区（以下、処理区）は塊根を根菜洗浄機で洗浄・調整後、再度キュアリング処理を行った。慣行区は同様に洗浄後、3時間室温で風乾した。その後、処理区、慣行区とも出荷用ダンボール箱に収納し、貯蔵庫にて温度13℃、湿度90%で保管し、処理11日後に徒手切片を作成し、塊根表層断面を実体顕微鏡で観察した。併せて、経時的に保管期間中の腐敗状況を調査した。

一方、*R. stolonifer*によるサツマイモ軟腐病に対して、ダブルキュアリング処理による腐敗抑制効果を明らかにするため、接種試験を行った。処理区は、洗浄後に直径6 mm コルクボーラーで塊根表面に深さ3 mm 程度の穴を開け、キュアリングを行った。その後、PDA平板培地で培養した供試菌株の菌叢ディスクを穴に埋め込み、乾燥を防ぐためセロハンテープで封をした。接種後の塊根は、バッド上に並べてポリエチレン袋で覆い、温度13℃で保管し、経時的に腐敗の有無を調査した。慣行区は、穴を開けた直後に供試菌株を接種し、同様に保管して調査した。

(3) 結果および考察

塊根表層断面を顕微鏡で観察したところ、処理区では、外傷部位の下にコルク層の形成が認められ、長期貯蔵後かつ洗浄後でも、再キュアリング処理によりコルク層が発達する事が確認できた。慣行区の腐敗

いも率は保管開始後21日後で33.9%、42日後で55.4%であったのに対し、処理区では21日後で7.1%、42日後で16.1%であり、処理区の腐敗いも率は慣行区に対し低く推移した（図3）。

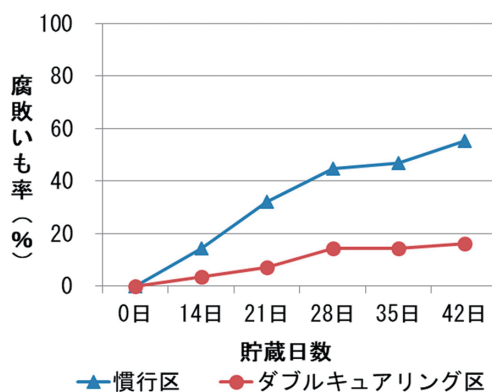


図3 腐敗いもの発生推移 (n=56)

また、サツマイモ軟腐病菌接種試験の結果、慣行区は接種7日後から腐敗が生じたのに対して、処理区は接種31日後まで腐敗は認められなかった。

以上のことから、長期貯蔵したサツマイモ塊根に対して、洗浄後に再度キュアリング処理を行うことで、外傷部下にコルク層を再形成することが可能で、腐敗抑制効果があることが明らかになった。また、本処理により、*R. stolonifer*による軟腐病の発生を抑制することができた。

4 輸出実証試験によるダブルキュアリング法の効果検証

(1) 試験の目的

所内試験で腐敗抑制効果があることが確認されたため、輸出現場における実証試験によりダブルキュアリング法の効果を検証した。

(2) 材料および方法

試験は、2017年11月～2018年2月に横浜港発～タイ王国レムチャバン港着で計2回実施した。材料は茨城県水戸市の農業研究所内圃場および現地圃場（鉾田市）で2017年に収穫され、その後キュアリング貯蔵されたサツマイモ（品種：「シルクスweet」）を用いた。処理区は根菜洗浄機で洗浄後、所内貯蔵庫にて、温度 32℃、湿度 90%以上の条件で 90時間 再キュアリング処理した。処理終了後に塊根表皮の外傷部分の切片を作製し、実体顕微鏡でコルク層の有無を観察した。洗浄後の再キュアリング処理は、一回目は2017年11月22日～11月26日、二回目は2018年1月4日～1月8日にそれぞれ実施した。慣行区は、一回目は2017年11月27日、二回目は2018年1月7日および8日に処理区と同様に洗浄

後、3時間室温で風乾した。その後、処理区、および慣行区ともに出荷用ダンボール箱に収納し、所内貯蔵庫にて温度 13℃、湿度 90%で保管し、それぞれ 2017年11月28日、2018年1月9日に横浜港大黒埠頭へ搬入した。輸送にはリーファーコンテナを使用し、13℃で輸送した。着荷後は、現地倉庫にて、着荷直後および着荷2週間後の腐敗状況を調査した。

(3) 結果および考察

作出した切片の観察により、外傷部下におけるコルク層の発達が確認された。輸出実証試験の結果、処理区では着荷直後および着荷2週間後の腐敗いも率は45%、22.1%（同慣行区 55.7%、82.4%）であった。着荷直後および着荷2週間後の可販いも率は、処理区は 100.0%、92.8%（同慣行区 87.0%、66.3%）であった（表1）。いずれ

表1 輸出実証試験における腐敗抑制効果

生産者 (産地)	処理区		腐敗度		可販いも率 (%)	
			着荷直後	2週間後	着荷直後	2週間後
農業研究所 (水戸市)	ダブル	1回目	0.0	4.5	100.0	100.0
	キュアリング区	2回目	4.4	17.8	100.0	75.6
	平均		2.2	11.1	100.0	87.8
	慣行区	1回目	0.0	21.2	100.0	100.0
		2回目	23.3	32.8	91.1	62.2
	平均		11.7	27.0	95.6	81.1
事業者A (鉾田市)	ダブル	1回目	0.0	2.6	100.0	100.0
	キュアリング区	2回目	0.0	5.6	100.0	95.6
	平均		0.0	4.1	100.0	97.8
	慣行区	1回目	19.0	32.7	93.0	64.1
		2回目	45.7	51.8	63.7	39.0
	平均		32.4	42.2	78.4	51.6
全処理区	ダブルキュアリング区		1.1	7.6	100.0	92.8
平均	慣行区		22.0	34.6	87.0	66.3

注1) 供試本数13～15本/区、3反復

注2) 品種：「シルクスweet」

注3) 試験期間：1回目 H29.11.22～H29.12.29、2回目 H30.1.4～H30.2.14

注4) 処理手順：(1) 慣行区は洗浄後、3時間風乾し、ダンボール箱に収納し、13℃で一晩保管後輸出

(2) ダブルキュアリング区は、洗浄後、温度32℃、湿度90%で90h処理。放熱後、無処理区と同様に輸出

注5) 腐敗程度は無（腐敗なし）、微（わずかに腐敗）、小（全体の1割以上3割未満が腐敗）、中（全体の3割以上5割未満が腐敗）、多（全体の5割以上が腐敗）の5段階評価で評価し、以下の式で腐敗度を算出

腐敗度 = $(4 \times \text{「多」のいも数} + 3 \times \text{「中」のいも数} + 2 \times \text{「少」のいも数} + 1 \times \text{「微」のいも数} + 0 \times \text{「無」のいも数}) / (4 \times \text{調査いも数}) \times 100$

注6) 可販いも率 (%) = $(\text{「微」のいも数} + \text{「無」のいも数}) / \text{調査いも数} \times 100$



図4 実証試験における腐敗抑制効果（左：ダブルキュアリング区、右：慣行区）

の産地のいもでも、腐敗いも率は慣行区に比較して処理区の方が低く、ダブルキュアリング法による腐敗抑制効果が確認された(図4)。以上のことから、ダブルキュアリング法は、サツマイモの海上輸送中および着荷後保管時における腐敗を抑制し、可販率を高めることが実証された。

5 成果の公表と技術の普及

研究成果に基づき、茨城県は特許を取得(特許第6705954号)するとともに、HP上で成果を公表した。研究成果に基づき、本県産サツマイモの輸出に取り組む県内事業

者に対して情報提供をしている。事業者は通常サツマイモの集荷・販売をしており、キュアリングの経験と処理施設を有しているため、施設整備コストも抑えられ、本技術を速やかに導入することができ、実用性は高いと考えている。本技術の普及により、甘くて食味の良い日本産サツマイモが世界の消費者に届けられることを期待したい。

参考文献：

L. L. HARTER AND J. L. WEIMER
(1923), American J. Botany 10, 245-258