

長期貯蔵における焼きいもの食味関連成分の変化を踏まえた サツマイモ「べにはるか」の貯蔵温度管理

安藤利夫・飯嶋直人・家壽多正樹

キーワード：サツマイモ，長期貯蔵，べにはるか，甘味，肉質

I 緒言

青果用サツマイモ品種「べにはるか」は、千葉県では2008年に導入され、2019年の作付面積は1,297haで、品種別構成では「ベニアズマ」に次いで2番目に多く、構成比は32%にまで達している(千葉県, 2020)。「べにはるか」は、生産面ではネコブセンチュウやつる割病などの病害虫に強く収量性に優れており(甲斐ら, 2017)、販売面では一定期間貯蔵することで甘味が強まり、肉質が粘質となる特長が焼きいも用として高く評価されていることから、年間を通して底堅い需要がある(吉永, 2014; 安藤ら, 2018)。

県内のサツマイモ農協共販産地は、生産物の多くを卸売市場へ出荷しているが、「べにはるか」の生産を開始した当初は流通関係者から年内出荷の供給過剰が指摘されていたことから(高橋ら, 2019)、周年を通じた安定出荷体制の構築を目指して、長期貯蔵が可能な地上部設置型のサツマイモ専用貯蔵庫の整備を進めてきた(千葉県・千葉県農林水産技術会議, 2015)。「べにはるか」については、2013年に農協共販産地の共通のルールとして「30日以上貯蔵ルール」が制定されたことに加えて、基幹農家の生産規模拡大と相まって、近年春先以降の出荷量が増加傾向にある。このような状況において、焼きいも需要を中心に、流通関係者から春先以降に出荷される「べにはるか」の甘味不足や肉質の過度な粘質化による食味低下を指摘する意見が聞かれるようになった。「べにはるか」の貯蔵性は「ベニアズマ」に比べて良く、貯蔵中に発生する塊根先端部の腐敗や、発根による品質低下が少ない。しかし、焼きいも需要が中心である「べにはるか」では、惣菜等の原材料に使用されることが多い「ベニアズマ」に比べて食味に関する要求が厳しいことから、出荷期間を通して十分な甘味と適度な粘質の肉質を維持することが重要である。前出のサツマイモ専用貯蔵庫は設置数が増加しているものの、貯蔵施設への投資状況は産地や生産者によって差があり、様々なタイプの

貯蔵施設が利用されている。中には、エアコンが装備されていない貯蔵施設も数多く存在し、エアコンが装備されていても外気温の上昇や扉の開閉に伴って庫内温度が高めとなっている事例もあることから、貯蔵環境は産地や生産者によって違いがあり(千葉県・千葉県農林水産技術会議, 2015)、春先以降の品質低下の原因となっている。貯蔵環境とサツマイモの食味品質について、「べにはるか」の2か月以内の短期貯蔵では、貯蔵温度を11°Cとすることで商品性を低下させる腐敗を発生させることなく糖化を促進できることが明らかとなっている(安藤ら, 2019)。しかし、長期貯蔵における温度条件と食味品質との関係を調査した事例はなく、特に、6か月以上の長期貯蔵における春先以降の貯蔵温度の上昇が「べにはるか」の食味や外観品質に及ぼす影響は明らかではない。そのため、県内のサツマイモ産地における貯蔵施設の実態を踏まえた貯蔵環境条件が、「べにはるか」の食味に及ぼす影響を明らかにすることは重要である。

そこで、「べにはるか」が収穫後6か月以上の貯蔵を経て5月下旬以降に出荷されることを想定して、貯蔵温度が焼きいもの食味関連成分に及ぼす影響を調査し、「べにはるか」の食味特性である強い甘味と適度な粘質の肉質を維持できる温度管理法を明らかにしたので報告する。

II 材料及び方法

1. 6か月の長期貯蔵における貯蔵温度の違いが生いも及び焼きいもの成分、貯蔵後の腐敗及び発根に及ぼす影響(試験1)

(1) 供試物の耕種概要

供試品種は「べにはるか」とし、水稻・畑地園芸研究所畑地利用研究室圃場(腐植質普通黒ボク土)で栽培した塊根を供試した。苗の植え付けは2013年5月27日、収穫は同年11月13日(生育日数170日)とし、収穫後のキュアリング処理は実施しなかった。

(2) 供試物の貯蔵条件

収穫物から選び出した250~600gの塊根約10kgを青果物用段ボール箱(内寸250×350×265mm)に蓋をしないう状態で入れた後、厚さ0.02mmの農業用ポリフィルム(大きさ2,000×1,800mm)を内装したプラスチックコ

2020年8月11日受領 (Received August 11, 2020)

2020年10月30日登載決定 (Accepted October 30, 2020)

ンテナ (内寸385×565×265mm) に2箱ずつ収納し、これを3反復設けた。段ボール箱を収納後に前出のポリフィルムを内側に貼り付けた段ボール製の蓋を被せ、プラスチックコンテナに内装したポリフィルムによって段ボール箱が包み込まれるように包装することで相対湿度95%前後となるように管理した。収穫7日間は呼吸による発熱を抑え、品温を揃える目的で塊根を収納したプラスチックコンテナを温度15℃ (床面積5.0m²) 設定されたプレハブ冷蔵庫内で保存し、収穫8日後から13℃, 15℃, 17℃の3温度帯に設定したプレハブ冷蔵庫 (床面積5.0m²又は6.6m²) でそれぞれ貯蔵した。

(3) 成分分析用サンプリング

貯蔵性及び食味を評価するために、生の塊根 (以下生いもとする) 及び焼き調理した塊根 (以下焼きいもとする) の両方を対象に成分分析を行った。成分分析のためのサンプリングは、収穫7日後、それぞれの貯蔵温度における貯蔵開始2か月後 (収穫後日数71日)、4か月後 (収穫後日数133日)、6か月後 (収穫後日数194日) の合計4回とした。

(4) 試料調製及び成分分析

i 生いも

生いもの試料調製及び成分分析は以下の方法で実施した。それぞれのプラスチックコンテナから任意の2個体を選び1組とし、洗浄及び風乾の後、生いもの中央部から幅約2cmの輪切り状断片を切り出した。輪切り状の断片をさらにちょう切りにし、それぞれの2個体から約50gを取り出して合わせた後に1つとし、フードプロセッサ (MK-K57-W, 松下電器産業(株)) で幅2~3mm程度に細断し混合したものを試料とした。細断試料を80%エタノールによる熱アルコール処理によって1時間還流抽出後、直径20mmの回転刃 (PT-DA20, Kinematica AG) を取り付けたホモジナイザー (Polytron PT10-35, Kinematica AG) を用いて磨砕し、遠心分離 (4,000rpm, 10分間) することで抽出液と残さに分別した。抽出液からエタノールを除いた水溶液から、高速液体クロマトグラフィーによりスクロース、グルコース及びフルクトースを定量した。デンプン含量は、残さを0.5mol/Lの塩酸で2.5時間加水分解した後にグルコースを定量し、定量値に0.9を乗じることで算出した。測定には、長さ30cm×直径7.9mmの糖分析用充填カラム (SCR-101N, (株)島津製作所) を使用し、カラム温度は50℃、純水を溶離液として、流速は1mL/min、検出器は示差屈折計 (RI-101, 昭和電工(株)またはRID20A, (株)島津製作所) とした。水分含量は、細断試料を105℃で48時間常圧乾燥し、乾燥前後の重量から算出した。

ii 焼きいも

焼きいものサンプリング及び成分分析は以下の方法で

実施した。生いもの調査と同一方法で選んだ2個体を1組とした。塊根を水洗浄後に表皮を乾燥させた後、多目的遠赤外線試験装置 (FIR-33MR, ナラサキ産業(株)) を使用し、設定温度200℃で約45分間焼き調理した。調理終了後に常温で1時間放置して粗熱を取り除き、選んだ2個体の焼きいも中央部から幅約2cmの輪切り状の断片を切り出した。断片の表皮を剥いた後にそれぞれの個体から同一重量を取り出し、チャック付きポリ袋に入れ指で潰しペースト状にしたものを試料とした。

甘味に関する成分として、吉永・山川 (1992) の方法に準じて可溶性固形物含量 (以下糖度) を、安藤ら (2018) の方法に準じて遊離糖含量を調査した。糖度は、ペースト試料5gに純水15mLを加え、熱アルコール抽出後の生いもと同一の方法で30秒間微粉砕後、遠心分離 (4,000rpm, 10分間) によって得られた上清について、屈折糖度計 (PR-101, (株)アタゴ) で測定した。遊離糖は、糖度測定用の上清とアセトニトリルの1:1混合液について、高速液体クロマトグラフでスクロース、グルコース、フルクトース及びマルトースを定量した。測定には、長さ25cm×直径4.6mmの糖分析用充填カラム (Shodex HN2P-50, 昭和電工(株)) を使用しカラム温度は30℃または40℃、溶離液は75%アセトニトリル、流速は1.0mL/minまたは1.2mL/min、検出器は示差屈折計 (ERC-7510, Erma Optical Work またはRID20A, (株)島津製作所) とした。また、各糖含量の測定値に40℃におけるそれぞれの甘味比 (スクロース:1, グルコース:0.55, フルクトース:1, マルトース:0.35) を乗じ、その総和を焼きいもの甘味度とした (高畑ら, 1993)。

肉質に関連する成分として、水分含量及びデンプン含量を生いもと同じ方法で定量するとともに、乾物中のデンプン含有率を算出した。乾物中のデンプン含有率は、デンプン含量を生重100g当たりの乾物重、すなわち100-水分含量で除すことで求めた (安藤ら, 2018)。

(5) 塊根の先端部腐敗及び発根調査

貯蔵温度の違いが生いもにおける塊根先端部の腐敗及び発根に及ぼす影響を調査するため、貯蔵開始6か月後に腐敗程度及び発根程度を4段階で評価するとともに、腐敗指数及び発根指数を算出した。調査は1区21個体で実施し、腐敗程度は“腐敗なし”を0, “先端部が僅かに腐敗 (商品性に問題なし)”を1, “先端部が5cm未満の腐敗 (調製後に下位等級で出荷可能)”を2, “先端部が5cm以上の腐敗 (出荷不可)”を3とした。発根程度は“発根なし”を0, “発根量は少なく、洗浄機と手で容易に除去でき、出荷は可能”を1, “発根量はやや多いが、洗浄機と手で丁寧に除去することで出荷可能”を2, “発根量が多く、根が塊根に巻き付いて除去は困難なため出荷不可能”を3とした。腐敗指数及び発根指

数は以下の式から算出した。

$$\text{腐敗指数} = \frac{\Sigma (\text{腐敗程度} \times \text{発生個体数})}{(\text{調査個体数} \times 3)} \times 100$$

$$\text{発根指数} = \frac{\Sigma (\text{発根程度} \times \text{発生個体数})}{(\text{調査個体数} \times 3)} \times 100$$

2. 6か月以上の長期貯蔵における温度変化が生いも及び焼きいもの成分、貯蔵後の腐敗及び発根に及ぼす影響（試験2）

供試品種及び試験場所は試験1と同じとし、苗の植え付けは2014年5月22日、収穫は同年11月12日（生育日数174日）とし、収穫後のキュアリング処理は行わなかった。塊根の選別及び収納方法は試験1と同様とし、プラスチックコンテナに収納後速やかに温度15℃（床面積5.0m²）設定されたプレハブ冷蔵庫内に2015年3月31日（収穫後日数139日）まで貯蔵し、同年4月1日以降は設定温度を15℃及び17℃とする2温度帯に冷却無を加えた3試験区を設定し、それぞれに管理されたプレハブ冷蔵庫（床面積5.0m²又は6.6m²）内で貯蔵した。貯蔵性及び食味を評価するために、生の塊根（以下生いもとする）及び焼き調理した塊根（以下焼きいもとする）の両方を対象に成分分析を行った。成分分析のためのサンプリングは、収穫7日後、貯蔵開始6か月後（収穫後日数189日）、8か月後（収穫後日数259日）合計3回とした。サツマイモの貯蔵及び成分分析のためのサンプリングは3反復で実施した。併せて、試験1と同様の方法で貯蔵開始6か月後及び8か月後に生いもにおける塊根先端部の腐敗程度及び発根程度を調査した。調査個体数は1区18個体とした。

III 結 果

1. 6か月の長期貯蔵における貯蔵温度の違いが生いも及び焼きいもの成分、貯蔵後の腐敗及び発根に及ぼす影響（試験1）

貯蔵期間1週間における生いもの比重は1.060g/cm³、3糖総量は2.8g/100gFW、水分含量は64.7g/100gFW、デンプン含量は26.6g/100gFWであった（第1表）。各温度で貯蔵後の3糖総量は、貯蔵期間2か月では13℃区が15℃区及び17℃区に比べて、貯蔵期間4か月では13℃区が17℃区に比べ有意に高かった。一方、比重は貯蔵期間4か月までは試験区間で大差なかったが、貯蔵期間6か月では13℃区及び15℃区は17℃区に比べ高く、貯蔵温度が低いほど高い傾向であった。デンプン含量は比重と同様の傾向がみられ、貯蔵期間6か月での水分含量は13℃区が17℃区に比べて有意に少なく、デンプン含量は13℃区及び15℃区が17℃区に比べて高かった。

焼きいもの食味関連成分について、3糖総量はすべての貯蔵期間で13℃区が高く、加熱調理により生成されるマルトースの含量はすべての貯蔵期間で有意差は認められなかった（第2表）。肉質との関連が大きいとされる焼きいも中の水分含量及びデンプン含量について、水分含量は貯蔵期間4か月及び6か月で有意差が認められ、貯蔵温度13℃区が最も少なかったが、デンプン含量は有意差が認められなかった。

遊離糖含量に各糖の甘味比を乗じた値の総和とした甘味度は、貯蔵期間2か月及び4か月では有意差が認められなかったが、貯蔵期間6か月間では13℃が最も高かった

第1表 貯蔵温度の違いが生いもの水分含量、比重、遊離糖含量、デンプン含量に及ぼす影響

| 貯蔵期間 | 貯蔵温度 (℃) | 比重 (g/cm ³) | 遊離糖含量 (g/100gFW) | | | | 水分含量 (g/100gFW) | デンプン含量 (g/100gFW) |
|------|-------------|----------------------------|------------------|-------|--------|--------|--------------------|----------------------|
| | | | スクロース | グルコース | フルクトース | 3糖総量 | | |
| 1週間 | - | 1.060 | 2.6 | 0.1 | 0.1 | 2.8 | 64.7 | 26.6 |
| | 13℃ | 1.054 b | 4.7 a | 0.3 | 0.5 | 5.6 a | 66.1 | 22.5 |
| | 15℃ | 1.058 a | 3.8 b | 0.5 | 0.5 | 4.8 b | 64.1 | 25.1 |
| 2か月 | 17℃ | 1.057 ab | 3.8 b | 0.5 | 0.6 | 4.9 b | 64.2 | 25.2 |
| | 分散分析 | * | ** | ns | ns | * | ns | ns |
| | 13℃ | 1.043 | 5.1 a | 0.4 | 0.5 | 6.0 a | 64.8 | 22.1 |
| 4か月 | 15℃ | 1.046 | 4.2 b | 0.5 | 0.5 | 5.2 ab | 64.9 | 24.4 |
| | 17℃ | 1.042 | 3.8 b | 0.5 | 0.5 | 4.8 b | 66.7 | 23.3 |
| | 分散分析 | ns | ** | ns | ns | * | ns | ns |
| 6か月 | 13℃ | 1.037 a | 5.3 | 0.4 | 0.5 | 6.3 | 63.6 b | 23.2 a |
| | 15℃ | 1.035 a | 4.6 | 0.4 | 0.4 | 5.4 | 65.9 ab | 22.6 a |
| | 17℃ | 1.030 b | 4.8 | 0.5 | 0.5 | 5.8 | 67.5 a | 20.4 b |
| 分散分析 | ** | ns | ns | ns | ns | * | * | |

注1) 植え付け：2013年5月27日、収穫：11月13日（生育日数：170日）

2) 3糖総量は、スクロース、グルコース、フルクトースの総量とした。

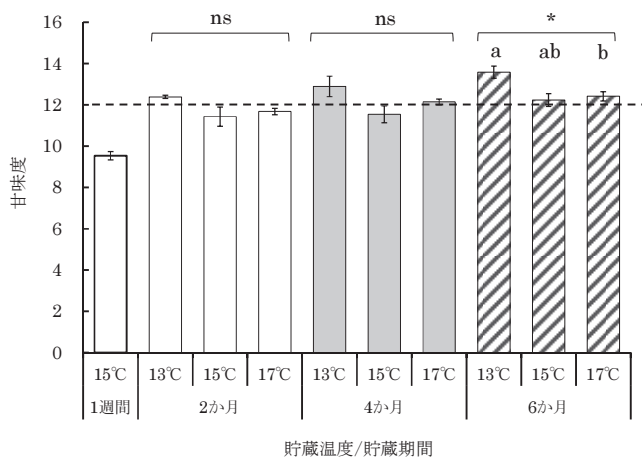
3) 各貯蔵期間の分散分析において、**、*はそれぞれ1%水準、5%水準で有意差あり、nsは有意差なし（n=3）。

4) 各貯蔵期間の3試験区間で同一のアルファベット間にはTukey-Kramer法により5%水準で有意差なし（n=3）。

第2表 貯蔵温度の違いが焼きいもの糖度、遊離糖含量、水分含量及びデンプン含量に及ぼす影響

| 貯蔵期間 | 貯蔵温度 (°C) | 糖度 (Brix%) | 遊離糖含量(g/100FW) | | | | 3糖総量 | 4糖総量 | 水分含量 (g/100 g FW) | デンプン含量 (g/100 g FW) |
|------|-----------|------------|----------------|-------|--------|-------|--------|------|-------------------|---------------------|
| | | | スクロース | グルコース | フルクトース | マルトース | | | | |
| 1週間 | - | 25.2 | 3.2 | 0.1 | 0.1 | 17.9 | 3.3 | 22.2 | 62.9 | 13.8 |
| | 13°C | 32.2 | 5.1 a | 0.4 | 0.4 | 19.1 | 5.9 a | 26.0 | 63.9 | 9.7 |
| 2か月 | 15°C | 33.8 | 4.0 b | 0.5 | 0.4 | 19.3 | 4.9 b | 25.2 | 62.7 | 11.2 |
| | 17°C | 33.0 | 3.9 b | 0.6 | 0.5 | 20.0 | 4.9 b | 26.0 | 62.7 | 10.1 |
| 分散分析 | | ns | ** | ns | ns | ns | * | ns | ns | ns |
| | 13°C | 35.2 | 5.9 a | 0.5 | 0.4 | 18.0 | 6.8 a | 25.8 | 61.1 b | 11.5 |
| 4か月 | 15°C | 32.8 | 4.6 b | 0.4 | 0.4 | 18.0 | 5.4 b | 24.4 | 64.9 a | 10.7 |
| | 17°C | 33.6 | 4.8 b | 0.5 | 0.3 | 19.4 | 5.6 b | 26.0 | 63.8 ab | 10.3 |
| 分散分析 | | ns | * | ns | ns | ns | * | ns | * | ns |
| | 13°C | 36.6 a | 6.0 | 0.3 | 0.3 | 20.2 | 6.7 a | 27.9 | 60.7 b | 9.4 |
| 6か月 | 15°C | 33.8 b | 5.3 | 0.4 | 0.3 | 18.4 | 6.0 b | 25.3 | 63.0 a | 10.5 |
| | 17°C | 32.6 b | 5.5 | 0.4 | 0.3 | 18.2 | 6.3 ab | 25.4 | 63.0 a | 9.7 |
| 分散分析 | | * | ns | ns | ns | ns | * | ns | * | ns |

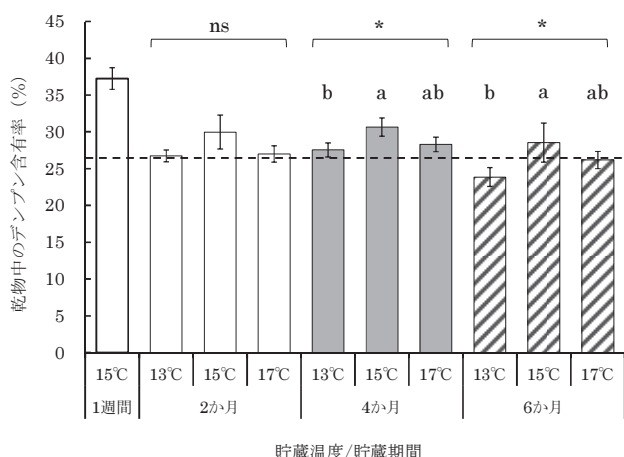
注1) 3糖総量は、スクロース、グルコース、フルクトースの合計値、4糖総量は3糖総量にマルトースを加えた値とした。
 2) 各貯蔵期間の分散分析において、**、*はそれぞれ1%水準、5%水準で有意差あり、nsは有意差なし(n=3)。
 3) 各貯蔵期間の3試験区間で同一にアルファベット間にはTukey-Kramer法により5%水準で有意差なし(n=3)。



第1図 貯蔵期間及び貯蔵温度が焼きいもの甘味度に及ぼす影響

注1) 甘味度 = スクロース含量 + グルコース含量 × 0.55 + フルクトース含量 + マルトース含量 × 0.35
 2) 点線は「べにはるか」の甘味を担保する基準値12.3
 3) 各貯蔵期間の分散分析において、**、*はそれぞれ1%水準、5%水準で有意差あり、nsは有意差なし(n=3)。
 4) 各貯蔵期間の3試験区間で同一のアルファベット間にはTukey-Kramer法により5%水準で有意差なし(n=3)。

(第1図)．焼きいもの甘味の基準値とした甘味度12.3には、貯蔵期間2か月及び4か月では13°C区でのみ到達したが、貯蔵期間6か月ではすべての区で到達した。一方、肉質の指標となる乾物中のデンプン含有率は、貯蔵期間4か月及び6か月で有意差が認められ、15°C区が13°C区に比べて有意に高かった(第2図)．焼きいもの肉質の基準値とした乾物中のデンプン含有率26.3%には、



第2図 貯蔵期間及び貯蔵温度が焼きいもの乾物中のデンプン含有率に及ぼす影響

注1) 乾物中のデンプン含有率(%) = $\frac{\text{デンプン含量}}{(100 - \text{水分含量})} \times 100$
 2) 図中の点線は、過乾質とならない肉質を担保する基準値26.3%。
 3) 各貯蔵期間の分散分析において、**、*はそれぞれ1%水準、5%水準で有意差あり、nsは有意差なし(n=3)。
 4) 各貯蔵期間の3試験区間で同一のアルファベット間にはTukey-Kramer法により5%水準で有意差なし(n=3)。

貯蔵期間2か月ではすべての貯蔵温度で上回ったものの、貯蔵期間6か月では貯蔵温度15°Cでのみ基準値を上回った。

貯蔵期間6か月における塊根先端部の腐敗は、13°C区でわずかに発生したものの試験区間の有意差はなかった(第3表)．発根はすべての区で認められなかった。

第3表 貯蔵期間6か月における塊根先端部の腐敗及び発根状況

| 貯蔵温度 (°C) | 塊根先端部の腐敗 | | 発根 | |
|-----------|----------|------|---------|------|
| | 発生率 (%) | 腐敗指数 | 発根率 (%) | 発根指数 |
| 13°C | 5 | 2 | 0 | 0 |
| 15°C | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 17°C | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 有意性 | ns | — | ns | — |

注1) 塊根先端部の腐敗程度は，“腐敗なし”は0，“先端部が僅かに腐敗（商品性に問題なし）”は1，“先端部が5cm未満の腐敗（調製後に下位等級で出荷可能）”は2，“先端部が5cm以上の腐敗（出荷不可）”は3とした。

2) 発根程度は，“発根なし”は0，“発根量は少なく，洗浄機と手で容易に除去でき，出荷は可能”は1，“発根量はやや多いが，洗浄機と手で丁寧に除去することで出荷可能”は2，“発根量が多く，除去は困難なため出荷不可能”は3とした。

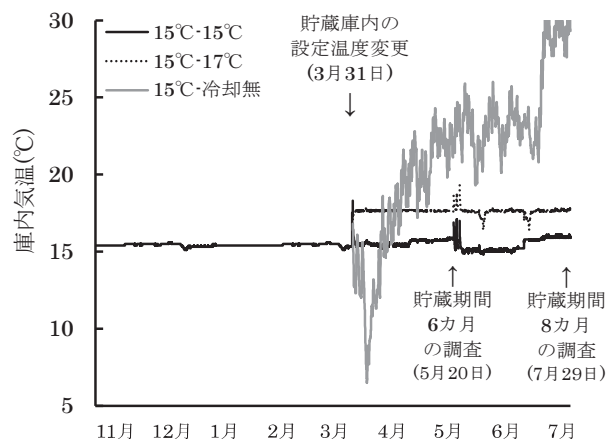
3) 腐敗指数・発根指数＝
 $(\text{発生程度} \times \text{個体数}) / (\text{調査個体数} \times 3) \times 100$

4) 腐敗発生率及び発根率について，有意性の ns は尤度比検定（両側）により有意差なし(n=21)，—は検定未実施。

2. 6か月以上の長期貯蔵における温度変化が生いも及び焼きいもの成分，貯蔵後の腐敗及び発根に及ぼす影響（試験2）

貯蔵期間1週間における生いもの比重は 1.072g/cm³，3糖総量は 2.9g/100gFW，水分含量は 61.9g/100gFW，デンプン含量は 29.4g/100gFW であった（第4表）。

貯蔵温度の実測値は，設定温度を 15°C とした貯蔵開始から 3月31日までの期間の平均気温は 15.4°C であった。温度管理に差を設けた 4月1日以降では，15°C・冷却無区



第3図 庫内気温の推移（試験2）

は温度変化が大きく（第3図），貯蔵期間6か月の調査を実施した5月20日までの貯蔵温度の平均値は，15°C・15°C区が 15.5°C，15°C・17°C区が 17.6°C，15°C・冷却無区が 17.2°C，5月21日から貯蔵期間8か月後の調査を実施した7月29日までの平均値は，それぞれの試験区で 15.5°C，17.6°C，24.4°C であった。

貯蔵期間6か月における生いもの内容成分は，いずれも有意差が認められなかったが，貯蔵期間8か月ではいずれの項目も有意差が認められた（第4表）。遊離糖含量では，15°C・冷却無区で他の試験区に比べてスクロース含量が多く，グルコース含量及びフルクトース含量が少なかった。比重は貯蔵温度が高いほど低く，デンプン含量は 15°C・15°C区が 15°C・冷却無区に比べて有意に多かった。

焼きいもの甘味に関する成分について，貯蔵期間6か月では糖度及び各種糖含量とも有意差が認められなかったが，貯蔵期間8か月では，焼きいもの甘味への寄与が大きいマルトースに有意差が認められた（第5表）。

第4表 貯蔵期間及び貯蔵温度の変化が生いもの水分含量，比重，遊離糖含量，デンプン含量に及ぼす影響

| 貯蔵期間 | 湿度管理 | | 比重 (g/cm ³) | 遊離糖含量 (g/100gFW) | | | 水分含量 (g/100 g FW) | デンプン含量 (g/100 g FW) | |
|------|------|------|-------------------------|------------------|-------|--------|-------------------|---------------------|---------|
| | 3月まで | 4月以降 | | スクロース | グルコース | フルクトース | | | |
| 1週間 | - | - | 1.072 | 2.8 | 0.0 | 0.1 | 2.9 | 61.9 | 29.4 |
| 6か月 | 15°C | 15°C | 1.041 | 4.7 | 0.5 | 0.4 | 5.7 | 65.0 | 25.0 |
| | 15°C | 17°C | 1.042 | 5.0 | 0.5 | 0.4 | 5.9 | 65.7 | 23.9 |
| | 15°C | 冷却無 | 1.045 | 5.4 | 0.3 | 0.4 | 6.1 | 64.5 | 23.2 |
| | 分散分析 | | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns |
| 8か月 | 15°C | 15°C | 1.032 a | 4.3 b | 0.4 a | 0.4 a | 5.2 ab | 63.1 b | 24.8 a |
| | 15°C | 17°C | 1.023 b | 4.0 b | 0.4 a | 0.4 a | 4.8 b | 65.7 ab | 22.4 ab |
| | 15°C | 冷却無 | 0.994 c | 5.7 a | 0.2 b | 0.2 b | 6.1 a | 66.1 a | 21.7 b |
| | 分散分析 | | ** | * | * | * | * | * | * |

注1) 植え付け：2014年5月22日，収穫：11月12日（生育日数：174日）

2) 3糖総量は，スクロース，グルコース，フルクトースの総量とした。

3) 各貯蔵期間の分散分析において，**，*はそれぞれ1%水準，5%水準で有意差あり，nsは有意差なし（n=3）。

4) 各貯蔵期間の3試験区間で同一のアルファベット間には Tukey-Kramer 法により 5%水準で有意差なし（n=3）。

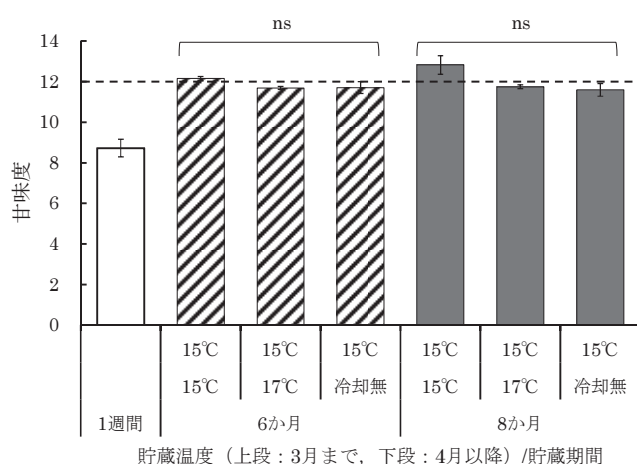
第5表 長期貯蔵における貯蔵温度の変化が焼きいもの糖度、遊離糖含量、水分含量及びデンプン含量に及ぼす影響

| 貯蔵期間 | 貯蔵温度 (°C) | | 糖度 (Brix%) | 遊離糖含量(g/100FW) | | | | 3糖総量 | 4糖総量 | 水分含量 (g/100gFW) | デンプン含量 (g/100gFW) |
|------|-----------|------|------------|----------------|--------|--------|--------|------|---------|-----------------|-------------------|
| | 3月まで | 4月以降 | | スクロース | グルコース | フルクトース | マルトース | | | | |
| 1週間 | - | - | 25.2 | 2.7 | 0.1 | 0.1 | 16.7 | 2.9 | 19.7 | 59.4 | 15.6 |
| 6か月 | 15°C | 15°C | 36.0 a | 5.2 | 0.5 | 0.3 | 18.2 | 6.0 | 24.2 | 65.0 | 12.1 |
| | 15°C | 17°C | 34.3 ab | 4.8 | 0.5 | 0.3 | 18.0 | 5.6 | 23.6 | 65.7 | 9.6 |
| | 15°C | 冷却無 | 32.8 b | 5.2 | 0.5 | 0.3 | 17.2 | 5.9 | 23.1 | 65.9 | 9.6 |
| 分散分析 | | | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns |
| 8か月 | 15°C | 15°C | 35.8 | 5.0 | 0.5 a | 0.3 a | 20.5 a | 5.9 | 26.4 a | 62.1 | 9.7 |
| | 15°C | 17°C | 32.9 | 4.8 | 0.4 ab | 0.3 a | 18.2 a | 5.5 | 23.8 ab | 63.7 | 9.4 |
| | 15°C | 冷却無 | 31.4 | 5.9 | 0.3 b | 0.1 b | 15.5 b | 6.3 | 21.8 b | 63.8 | 9.0 |
| 分散分析 | | | ns | ns | * | ** | ** | ns | * | ns | ns |

注1) 3糖総量は、スクロース、グルコース、フルクトースの合計値、4糖総量は3糖総量にマルトースを加えた値。

注2) 各貯蔵期間の分散分析において、**、*はそれぞれ1%水準、5%水準で有意差あり、nsは有意差なし (n=3)。

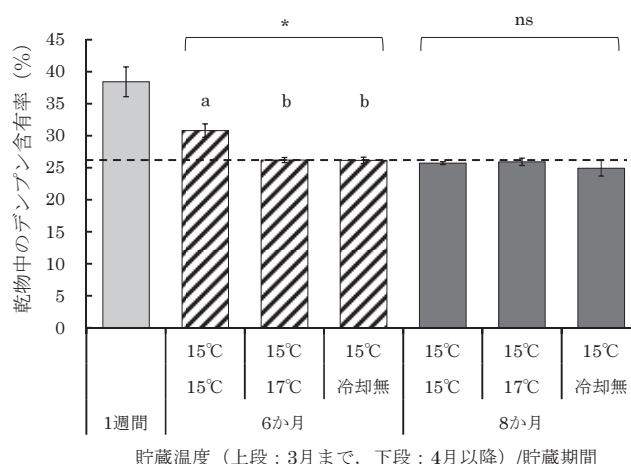
注3) 各貯蔵期間の3試験区間で同一のアルファベット間には Tukey-Kramer 法により 5%水準で有意差なし (n=3)。



第4図 長期貯蔵における貯蔵温度の変化が焼きいもの甘味度に及ぼす影響

- 注1) 甘味度 = スクロース含量 + グルコース含量 × 0.55 + フルクトース含量 + マルトース含量 × 0.35
- 2) 点線は「べにはるか」の甘味を担保する基準値 12.
- 3) 各貯蔵期間の分散分析において、**、*はそれぞれ 1% 水準、5%水準で有意差あり、nsは有意差なし (n=3).
- 4) 各貯蔵期間の3試験区間で同一のアルファベット間には Tukey-Kramer 法により 5%水準で有意差なし (n=3)。

マルトース含量は生いものデンプン含量が多かった 15°C・15°C区で最も多く、15°C・冷却無区は他の2区に比べて有意に低く、4糖総量も同様の傾向がみられた。肉質への関与が大きいとされる焼きいも中の水分含量及びデンプン含量は、貯蔵期間6か月及び8か月ともに有意差が認められなかったもののデンプン含量は 15°C・15°C区で高い傾向があった。甘味の指標となる甘味度は、試験区間で有意差は認められなかったものの、貯蔵期間6か月及び8か月のいずれとも、15°C・15°C区のみが焼きいもの甘味の基準値とした甘味度12に到達した(第4図)。肉質の指標となる乾物中のデンプン含有率は、貯蔵期間



第5図 長期貯蔵における貯蔵温度の変化が焼きいもの乾物中のデンプン含有率に及ぼす影響

- 注1) 乾物中のデンプン含有率 (%) = $\frac{\text{デンプン含量}}{(100 - \text{水分含量})} \times 100$
- 2) 図中の点線は、過粘質とならない肉質を担保する基準値 26.3%.
- 3) 各貯蔵期間の分散分析において、**、*はそれぞれ 1% 水準、5%水準で有意差あり、nsは有意差なし (n=3).
- 4) 各貯蔵期間の3試験区間で同一のアルファベット間には Tukey-Kramer 法により 5%水準で有意差なし (n=3)。

6か月では 15°C・15°C区が最も高く、肉質下限値の 26.3% を大きく上回ったが、貯蔵期間8か月では試験区間で有意差が認められず、すべての区で基準値を下回った(第5図)。

塊根先端部の腐敗は、定温管理した 15°C・15°C区及び 15°C・17°C区では貯蔵期間8か月まで発生しなかったが、15°C・冷却無区では貯蔵期間8か月で発生し、発生率は 11%、発生度は7であった(第6表)。発根は、定温管理した 15°C・15°C区及び 15°C・17°C区では貯蔵期間8か月まで認められなかったが、15°C・冷却無区では貯蔵期間8か月の調査で多発した。

第6表 長期貯蔵における温度変化と塊根先端部の腐敗及び発根状況

| 貯蔵期間 | 貯蔵温度 (°C) | | 塊根先端部の腐敗 | | 発根 | |
|------|-----------|------|----------|------|---------|------|
| | 3月まで | 4月以降 | 発生率 (%) | 腐敗指数 | 発根率 (%) | 発根指数 |
| 6か月 | 15°C | 15°C | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 15°C | 17°C | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 15°C | 冷却無 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 有意性 | | ns | — | ns | — |
| 8か月 | 15°C | 15°C | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 15°C | 17°C | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 15°C | 冷却無 | 11 | 7 | 58 | 24 |
| | 有意性 | | ns | — | ** | — |

- 注 1) 塊根先端部の腐敗程度は，“腐敗なし”は0，“先端部が僅かに腐敗（商品性に問題なし）”は1，“先端部が5 cm未満の腐敗（調製後に下位等級で出荷可能）”は2，“先端部が5 cm以上の腐敗（出荷不可）”は3とした。
- 2) 発根程度は，“発根なし”は0，“発根量は少なく、洗浄機と手で容易に除去でき、出荷は可能”は1，“発根量はやや多いが、洗浄機と手で丁寧に除去することで出荷可能”は2，“発根量が多く、除去は困難なため出荷不可能”は3とした。
- 3) 腐敗指数・発根指数＝
 $(\text{発生程度} \times \text{個体数}) / (\text{調査個体数} \times 3) \times 100$
- 4) 腐敗発生率及び発根率について、有意性の ns は尤度比検定（両側）により有意差なし(n=18)、一は検定未実施。

IV 考 察

1. 6か月の長期貯蔵における貯蔵温度の違いが生いも及び焼きいもの成分、貯蔵後の腐敗及び発根に及ぼす影響（試験1）

サツマイモの好適な貯蔵温度は、一般には13～14°Cとされているが（甲斐，2010），“ベニアズマ”に代表される現在の栽培品種の長期貯蔵を前提とした貯蔵適温は13～16°Cとする報告がある（千葉県・千葉県農林水産技術会議）。多くのサツマイモ品種では、13～14°Cで貯蔵することにより甘味に関与するスクロースを含む3糖は増加し、その総量は貯蔵期間2～6か月においては貯蔵期間が長いほど増加する（宮崎，1990；下園ら，1993；安藤ら，2018）。本試験では、貯蔵温度を13°C、15°C及び17°Cの3区を設けて比較した結果、3糖総量はすべての貯蔵温度で貯蔵期間1週間の値に比べて大幅に増加し、貯蔵温度の比較ではすべての貯蔵期間で貯蔵温度13°Cが多かった。宮崎（1990）は「紅赤」を供試し貯蔵温度を11°C、13°C及び15°Cとして2～6か月間貯蔵した結果、遊離糖含量は15°C貯蔵ではほとんど変化しなかったことを報告している。本試験で供試した「べにはるか」ではやや高めめの17°Cにおいても3糖総量が増加していることから、貯蔵温度に対するデンプンの糖化特性は「紅赤」とは異なることが明らかとなったが、貯蔵温度13°Cが

15°Cに比べて糖化促進される点は宮崎（1990）の報告と一致した。一方で、生いも中のデンプン含量は貯蔵期間が4か月までは貯蔵温度による有意差は認められなかったものの、6か月经過すると、貯蔵温度17°Cで貯蔵適温とされる13°C及び15°Cに比べて少なかった。貯蔵中におけるサツマイモ塊根の呼吸量は、サツマイモの貯蔵適温とされる13～15°Cで最も低く抑えられ、貯蔵適温より低い11°Cや高い20°Cで呼吸量が増加することが報告されている（宮崎・猪野，1990；宮崎・新堀，1990）。本試験では塊根の呼吸量を調査していないが、6か月間の長期貯蔵における呼吸による炭水化物の消費量は、貯蔵温度17°Cが貯蔵温度13°C及び15°Cに比べて多く、結果としてデンプン含量の差として現れたものと考えられる。

焼きいも中の各糖含量にそれぞれの甘味比を乗じた総和で表した甘味度は、甘味の官能値との相関が高く、その指標として有効である（津久井，2014；安藤ら，2018）。一定期間貯蔵した「べにはるか」の甘味度の基準値は、糖含量と食味官能評価との関係から12としている（安藤ら，2018；安藤，2019）。本研究においては、焼きいもの3糖総量はいずれの貯蔵期間とも貯蔵温度13°Cで高く、マルトース含量は貯蔵温度による差は認められなかったことから、甘味度は貯蔵期間2か月及び4か月では有意差は認められなかった。しかし、両貯蔵期間で貯蔵温度13°Cのみが甘味度12に到達した。貯蔵期間6か月では、貯蔵温度15°C及び17°Cにおいても基準値に到達したことから、貯蔵期間が十分に確保できる6か月程度の長期貯蔵では13°C、15°C及び17°Cのいずれの貯蔵温度でも甘味の基準値を満たす焼きいもが供給できることが明らかとなった。

焼きいもにおける乾物中のデンプン含有率は、肉質の官能値との相関が高く、その指標として有効である（安藤ら，2018）。乾物中のデンプン含有率は値が小さいほど肉質が粘質であることを示すが、過度な粘質は食味評価を下げることから、過粘質とならない肉質を担保する基準値は26.3%としている（安藤，2019）。本研究では、貯蔵期間が長くなるにつれて生いも中のデンプン含量は糖化及び呼吸による消費によって減少したことで、焼きいも中のデンプン含量も減少した。肉質の指標となる乾物中のデンプン含有率はすべての貯蔵温度で低下したが、15°Cでは貯蔵期間6か月においても基準値である26.3%を上回った。サツマイモを加熱調理するとマルトース生成量に相当するデンプンが減少することを明らかになっており（中村ら，2017）、β-アミラーゼ活性が高くマルトース生成量が多い「べにはるか」の肉質は、貯蔵によるデンプンから遊離糖への分解に加え、加熱調理に伴うデンプンからマルトースへの分解の影響を強く受けることが報告されている（安藤，2018）。本

研究では、マルトース含量は貯蔵温度による差はなかったことから、貯蔵温度 15℃で乾物中のデンプン含量が高かったのは、貯蔵期間中におけるデンプンの糖化量が貯蔵温度 13℃に比べて少なく、呼吸によるデンプンの消耗が貯蔵温度 17℃に比べて少なかったためと考えられる。

貯蔵期間 6 か月における「べにはるか」の貯蔵性は、貯蔵温度 13℃で塊根先端部の腐敗が発生したものの、商品性を損なう腐敗は発生せず、やや高めの貯蔵温度 17℃でも発根しなかった。甲斐ら (2017) は「べにはるか」の貯蔵性を「高系 14 号」並の「易」と判定しており、13℃~15℃の貯蔵適温であっても貯蔵期間 2 か月で商品性に影響を及ぼす腐敗が発生する「ベニアズマ」に比べて (千葉県・千葉県農林技術会議, 2015), 貯蔵温度に対する外観品質上の問題は生じにくいことが明らかとなった。

以上から、「べにはるか」の 6 か月間程度の長期貯蔵において、外観品質を損なうことなく、十分な甘味を備え適度な粘質の肉質を維持できる貯蔵温度は 15℃であることが明らかとなった。

2. 6 か月以上の長期貯蔵における温度変化が生いも及び焼きいもの成分、貯蔵後の腐敗及び発根に及ぼす影響 (試験 2)

6 か月以上の長期貯蔵における春先以降の貯蔵温度上昇が生いも及び焼きいもの成分、貯蔵後の腐敗及び発根に及ぼす影響を調査した。

貯蔵温度に差を設けた 4 月 1 日から、貯蔵開始後 6 か月となる 5 月下旬までの期間の平均気温の差は 2℃前後と小さかったため、貯蔵期間 6 か月における各試験区間の生いもの内容成分に差は認められなかった。しかし、6 月以降になると 15℃-冷却無区では、気温が 20℃以上で推移し、7 月には 30℃を上回ることも多かったため、貯蔵期間 8 か月では、15℃-15℃区に比べてスクロース含量及び水分含量が多く、デンプン含量が少なかった。

「ベニアズマ」を収穫直後に 30℃で 7 日間のキュアリング処理を行うことで、スクロース合成に関わる酵素の働きが活性化されスクロース含量が増加することが報告されているが (宮崎, 1990), 本試験における 15℃-冷却無区のスクロース含量の増加は、宮崎 (1990) の報告と同様に貯蔵期間後期の高温によるものと推察された。また、15℃-冷却無区のデンプン含量の減少と水分含量の増加は、貯蔵期間後半の呼吸量の増大によるものと考えられた (宮崎・猪野, 1991a; 宮崎・新堀 1991)。

焼きいもの成分についてみると、甘味度は貯蔵期間 6 か月及び 8 か月ともに有意差はなかった。貯蔵期間後半の温度変化によって、15℃-冷却無区では塊根中の糖組成の変化や炭水化物の消耗が認められたにもかかわらず、

焼きいもの甘味度に差は認められなかった。人が感じる甘味程度 (40℃) は、スクロースがマルトースの約 3 倍である。前述したように、15℃-冷却無区におけるスクロース含量は増加しており、これによってマルトース生成量の減少を相殺し、甘味度に差が認められなかったことが原因と考えられた。一方、肉質の指標である乾物中のデンプン含有率は、貯蔵期間 6 か月では 15℃-15℃区が基準値を超えたものの、貯蔵期間 8 か月ではいずれの区も基準に届かず、貯蔵中の温度管理に関わらず、粘質程度が高いことが明らかとなった。

外観については、15℃-冷却無区は貯蔵期間 8 か月において半数以上の塊根が発根し、商品性が著しく低下した。春先以降の無冷却は現実的ではなく、無冷却貯蔵の場合、貯蔵温度が上昇する前に出荷すべきであることが確認できた。

以上の結果から、「べにはるか」の 6 か月程度の長期貯蔵には、貯蔵期間を通して 15℃とすることで甘味及び肉質の両方を備えた焼きいもを提供できることが明らかとなった。また、貯蔵期間が 8 か月とさらに長期化すると、貯蔵期間中の温度変化をなくし、15℃を維持しても過粘質は避けられないことから、貯蔵期間が 6 か月程度である 5 月中には出荷を完了させることが望ましいと言える。

本研究では、外観品質の維持からみた「べにはるか」の貯蔵温度に対する適応幅は大きく、3 月までの貯蔵温度を 15℃、4 月以降の貯蔵温度を 17℃とすることで貯蔵期間 8 か月となる 7 月まで外観品質を損ねる腐敗や発根は発生しなかった。卸売市場経由の青果物流通では、腐敗や異物混入等はクレームとして産地にフィードバックされるが、軽度な食味低下についてはクレームとして扱われることは少ない。このため、産地関係者は食味品質の維持・向上を軽視しがちである。しかし、河野ら (2019) は、JA なめがたしおさいが開発した焼きいもの製品テストを通して、「べにはるか」を一定期間低温で貯蔵した商品は食味評価が高く、消費者や流通業者、小売店のニーズに応えられる可能性が高いことを報告しており、食味品質が需要を左右する可能性があることを示唆している。

「べにはるか」の食味品質を担保し、良食味な商品を通年で安定的に出荷することは、消費者や流通業者、小売店から支持される産地となるための条件であり、外観品質と合わせて品質管理の重要ポイントと考えられる。本研究では、焼きいもの食味関連成分を踏まえた貯蔵限界は 6 か月間としたが、今後栽培技術の改善や長期貯蔵に向けた系統選抜を進めることで、年間を通して食味の基準を満たした「べにはるか」を安定出荷できることが期待される。

VI 摘要

サツマイモ「べにはるか」の6か月以上の長期貯蔵における貯蔵温度が、焼きいもの食味関連成分に及ぼす影響を明らかにした。

1. 貯蔵温度を13℃、15℃及び17℃の3温度帯を設けて、焼きいもの食味関連成分を比較したところ、貯蔵期間6か月では甘味の指標である甘味度はすべての貯蔵温度で基準値12を満たしていたが、肉質の指標である乾物中のデンプン含有率は貯蔵温度15℃でのみ基準値の26.3%に到達した。これらの結果から、十分な甘味を備え適度な肉質を維持できる長期貯蔵温度は15℃であることが明らかとなった。
2. 3月までの貯蔵温度を15℃として、4月以降の貯蔵温度を15℃、17℃及び冷却無とする3温度帯を設けて、焼きいもの食味関連成分を比較したところ、貯蔵期間を通して貯蔵温度を15℃とすることで貯蔵期間6か月までは甘味及び肉質の基準値を満たしたが、貯蔵期間8か月では肉質の基準である乾物中のデンプン含量が基準値を下回った。これらの結果から、貯蔵期間が8か月に長期化すると、貯蔵期間中の温度変化をなくして、15℃を維持しても過粘質は避けられないことから、貯蔵期間が6か月程度である5月中には出荷を完了させることが望ましいことが示唆された。

VII 引用文献

- 安藤利夫・家壽多正樹・日坂弘行（2018）焼きいもの食味が異なるサツマイモ6品種の遊離糖およびデンプン含量に対する貯蔵期間の影響ならびにこれら成分による甘味、肉質の数値化。園学研 17:449-457.
- 安藤利夫・家壽多正樹（2019）サツマイモ「べにはるか」における収穫後約2か月以内の短期貯蔵時の貯蔵温度が焼きいもの甘味及び肉質に及ぼす影響。千葉農林総研報 11:41-48.
- 安藤利夫（2019）「べにはるか」の貯蔵期間および貯蔵温度と焼きいもの食味。いも類振興情報 139:22-27.
- 千葉県（2020）千葉の園芸と農産。pp.64-67.
- 千葉県・千葉県農林水産技術会議（2015）新品種活用による産地育成を目指したサツマイモの高品質生産技術・販売促進支援の手引き。1-20pp.

- 甲斐由美（2010）サツマイモ事典。pp.95. 一般社団法人いも類振興会。東京。
- 甲斐由美・境 哲文・片山健二・熊谷 亨・石黒浩二・中澤芳則・山川 理・吉永 優（2016）サツマイモ新品種「べにはるか」の育成。九沖農研セ報 66:87-119.
- 河野恵信・荒木田尚広・西中未央・中村善行・此村 瞬・河野隆徳（2019）焼き芋の製品テストによるかんしょ貯蔵技術の評価。農研機構研報食農ビジネス推進センター 3:15-26.
- 宮崎丈史（1990）サツマイモの成分変化に及ぼすキュアリング処理と貯蔵条件および加熱処理の影響。園学雑 59:646-656.
- 宮崎丈史・猪野 誠（1991）貯蔵サツマイモの内部褐変発生に及ぼす塊根品質と貯蔵条件の影響。千葉農試県報 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.
- 中村善行・増田亮一・藏之内利和・片山健二（2017）蒸したサツマイモの肉質と未糖化残存デンプンに及ぼすβ-アミラーゼ活性の影響。食科工誌 64:59-65.
- 下園英俊・下園かおり・東 孝行・馬場 透・田之上隼雄（1993）加工用サツマイモの成分変化と調理後黒変に及ぼす貯蔵の影響。鹿児島農試研報 22:113-120.
- 高橋ゆうき・高橋大樹・栗原大二（2019）農協共販産地におけるマーケティング活動の支援策の検討ーサツマイモ「べにはるか」30日以上貯蔵ルールを事例としてー。関東東海北陸農業経営研究 109:75-80.
- 高畑康浩・野田高弘・永田忠博（1993）カンショ塊根遊離糖類組成の地域間比較および遊離糖類組成と食味との関連。九州農研 55:43.
- 津久井亜紀夫（2014）焼きいも事典。pp.87-105. 一般財団法人いも類振興会。東京。
- 吉永 優（2014）焼きいも事典。pp.87-105. 一般財団法人いも類振興会。東京。
- 吉永 優・山川 理（1992）かんしょ蒸しいもにおけるBrixの測定法。九州農研 54:49.

Storage temperature control of sweet potato cultivar 'Beniharuka' based on changes during long-term storage of the respective amounts of components affecting the taste of sweet potato when baked

Toshio ANDO*, Naoto Iijima and Masaki YASUDA

Key words: sweet potato, long-term storage, 'Beniharuka', sweetness, texture

Summary

We investigated the effect of storage temperature on sweet potato cv. "Beniharuka" in long-term storage for six months or more on the respective amounts of components related that affect the taste and texture of sweet potato when baked.

1. We investigated the respective amounts of components related to the taste of baked sweet potatoes in sweet potatoes stored in the three temperature zones of 13, 15, and 17 °C. After a storage period of six months, the sweetness index (SI) reached the standard value of 12 in all storage temperature zones. However, the starch content in dry matter, measured using the texture index (TI), reached the standard value of 26.3% only at a storage temperature of 15°C. These results suggest optimal long-term storage temperature, to provide sufficient sweetness and which can maintain a suitable texture, to be 15 °C.
2. When the respective amounts of components related to the taste of baked sweet potatoes were compared, the optimal storage temperature up to March was 15 °C, and the storage temperatures after April were 15 °C, 17 °C and no cooling. Both the sweetness index (SI) and texture index (TI) reached the standard value at a storage temperature of 15 °C after a storage period of six months. However, after a period of eight months, the starch content in dry matter as measured by texture index (TI) did not reach the standard value at any of the storage temperature zones. Because the texture of baked sweet potatoes proved too soggy to eat even if stored at 15 °C throughout the storage period without temperature change, these results suggest that the shipment of sweet potatoes should be completed by the end of May, giving a storage period of six months.

*Rice Paddy, Upland Farming and Horticulture Institute, Chiba Prefectural Agriculture and Forestry Research Center; 1285 One, Katori, Chiba 287-0026, Japan