

混載輸送時の温度およびエチレン条件がモモの果実品質に及ぼす影響

大庭千佳*・佐藤辰哉・塚崎守啓・馬場紀子

シンガポールへの海上コンテナによるモモの輸出を目的として福岡県の主要品種である「日川白鳳」と「あかつき」の貯蔵温度の違いによる低温障害やエチレン発生速度等への影響およびエチレン感受性について調査した。調査は 10, 5, 0℃に設定した恒温室での貯蔵試験 (20 日間) と、その後 20℃で店頭販売を想定した恒温室での棚もち試験を行った。10℃で 20 日間貯蔵した場合、両品種とも貯蔵開始前よりも果肉硬度が低くなり、カビも発生し、品質が低下した。5℃貯蔵において「あかつき」では低温障害と推察される果肉の褐変や水浸状化が有意に認められ、棚もち中の呼吸速度でも 5℃が高かったが、「日川白鳳」では有意差は認められなかった。しかし、糖組成は両品種とも 5℃貯蔵においてスクロース含有割合の低下が認められた。0℃では両品種とも果実の障害が少なく、棚もち 3 日後まで腐敗とカビの発生は抑制された。呼吸速度とエチレン発生速度は、両品種で貯蔵中の温度が低いほど抑えられた。

以上のことより、両品種の輸送温度は 0℃が適していると考えられた。さらに、0℃での混載輸送を想定し、外生エチレン濃度に対する影響について検討したところ、10ppm 以下ではエチレンによる品質低下は両品種で認められなかった。

[キーワード: エチレン, 混載輸出, モモ, 低温障害]

Effects of Storage Temperature and Ethylene Sensitivity on Quality of Peaches in Mixed Transportation. OBA Chika, Tatsuya SATO, Morihiro TSUKAZAKI and Noriko BABA (Fukuoka Agriculture and Forestry Research Center, Chikushino, Fukuoka 818-8549, Japan) *Bull. Fukuoka Agric. For. Res. Cent.* 6: 80-86 (2020)

We investigated the effect of storage temperatures and ethylene on the quality of peaches (chilling injury, ethylene production and sensitivity) during assumed transportation to Singapore as mixed cargo in shipping containers. Peach cultivars 'Hikawa Hakuhou' and 'Akatsuki' were stored at 10°C, 5°C, and 0°C for 20 days and then at 20°C for examination the shelf life. Slight quality deterioration was observed during storage at 10°C. In both varieties, flesh hardness reduction and surface fungal contamination were observed during storage at 10°C. During storage at 5°C, 'Akatsuki' peaches exhibited high respiratory rate and flesh browning and translucency, likely attributable to chilling injury, whereas no differences were observed in 'Hikawa Hakuhou' peaches. Sucrose level decreased during the storage at 5°C in both varieties. Peaches stored at 0°C did not rot or develop mold infection for up to 3 days. Respiration rate and ethylene production were high at 10°C and low at 0°C. For both varieties, 0°C was the optimal temperature for transportation to Singapore. Moreover, no discernible sensitivity-related damages were observed at ethylene concentrations up to 10 ppm during storage at 0°C.

[Key words : chilling injury, ethylene, mixed transportation, peach]

緒 言

日本国内では、人口減少や高齢化が進行しているため、国内の食に関する需要はますます縮小することが見込まれている。一方、海外に目を向けると経済成長や人口増加が著しいアジア圏では、その需要は今後も拡大することが見込まれている。2013 年に「和食」がユネスコの無形文化遺産に登録されたことを背景に、海外では日本食ブームによる日本食材への需要が高まっている。このような中、国は農林水産物・食品の輸出拡大に取り組み、2018 年の輸出額は 9,068 億円に及んだ (農林水産省 2019a)。福岡県においても、県産農林水産物の輸出額は年々増加しており、2017 年には 32.6 億円に達した (福岡県 2018a)。

農林水産物、特に青果物を輸出する手段として、飛行機による航空輸送と船舶コンテナによる海上輸送がある。航空輸送では、輸送期間が短いため青果物の鮮度保持が比較的容易であるが、輸送コストが高いことから高価格岡県のモモの栽培面積は 106ha で、平成 28 年度の産出額

が期待できる品目でないと利用が難しい。一方、船舶コンテナによる海上輸送は、輸送コストが低く、さらに満載輸送すればコストを格段に抑えることができる。しかし、海上輸送は輸送期間が長く九州からシンガポールへは 20 日程度の輸送日数を要する。また、1 つのコンテナを単一の青果物だけで満載することは難しいため、多品目混載輸送が必要となる。海外バイヤーからも 1 つの青果物を大量に輸送するのではなく、店頭にそのまま陳列できるように少量多品目をまとめて輸送してほしいという要望がある。しかし、青果物は品目ごとに品質保持に適した温度などの輸送条件が異なることが問題である。また、混載する青果物の中に老化促進物質であるエチレンを発生する品目があると、他の青果物の品質を著しく損なうことが懸念される。そのため、混載による海上輸送では、青果物の品目および品種ごとの品質特性を事前に明らかにすることが重要である。

一方、青果物 (果実) の輸出金額においてモモは 4 番目に多く (農林水産省 2019b)、海外での需要が高い。福岡県のモモの栽培面積は 106ha で、平成 28 年度の産出額

は12億円であり、福岡県の主要な果樹生産品目の1つである(福岡県 2018b)。モモは気温の高い夏季に収穫・出荷を行うため輸送中の品質保持が難しく、低温貯蔵では低温障害により、はく皮障害、粉状質化、果肉の褐変、水浸状化といった症状が発生する(小曾戸ら 1962, 梶浦 1972, Crisosto *et al.* 1999, Lurie・Crisosto 2005)。モモ品種「大久保」では、低温障害の発生は1℃より2.8℃貯蔵で早い(梶浦 1972)。特に、0℃より2.2～7.8℃の貯蔵温度が、粉状質化や果肉褐変といった低温障害が生じやすい温度としている(Crisosto *et al.* 1999, Lurie・Crisosto 2005)。また、「あかつき」、「楕形白桃」および「長沢白鳳」はエチレンを生成するが、「有明」などの硬肉品種はエチレンを生成せず、品種によるエチレン生成量の違いが認められている(Haji *et al.* 2004)。さらに、10～30℃貯蔵においては、モモはエチレン排出量が多い品種ほど果実の軟化やはく皮性の進行を促進したという報告もある(加藤・佐藤 1975)。このように、モモの品質保持には、品種や貯蔵温度、エチレンの影響を考慮する必要があると考えられた。

そこで、本研究では、本県の主要な果樹生産品目の一つであるモモを混載輸出する際に適した輸送条件を明らかにするために、主要品種「日川白鳳」と「あかつき」を用い、低温障害などの温度応答性、エチレン発生速度およびエチレン感受性について評価したので報告する。

材料および方法

供試材料

供試材料には、JA 筑前あさくら管内で栽培された「日川白鳳」と「あかつき」の白肉桃2品種を用いた。「日川白鳳」は品質の良い早生品種で糖度はやや低い、一方「あかつき」は肉質・糖度に優れた中生品種で日持ち性も優れている。供試果実は、福岡県果樹栽培技術指針(福岡県経営技術支援課 2018)に記載された収穫基準に基づき、開花から75日後程度で地色が抜けて果実基部にやや青みの残った状態で収穫された、中心階級である青秀・2Lまたは3Lサイズの果実を用いた。「日川白鳳」は2018年5月31日、「あかつき」は2018年7月9日に集荷された果実を購入後、ただちに福岡県農林業総合試験場資源活用研究センター(久留米市)に搬入し、各試験に供した。さらに、試験前に傷、カビ、腐敗の発生が認められるものは除外し、生産者や熟度によるばらつきが平準化されるように各試験区に仕分けた。

1 貯蔵温度の違いが果実品質に与える影響

モモ果実はフルーツキャップを被せ、段ボール箱(縦240×横355×高さ90mm)に満杯・平詰めし、箱上部を段ボールでふたをした。貯蔵はセンター内の恒温室内(LP-1.5S, 日本医科器械製作所, 湿度コントロール機能なし)を用い、貯蔵温度を10, 5, 0℃に設定し、貯蔵期間はシンガポールへの海上輸送を想定して20日間とした。貯蔵後(出庫直後)は、海外での店頭販売を想定して20℃に設定した恒温室内で3および5日間貯蔵して棚もち試験を行い、果実品質を調査した。果実品質の評価は、1調

査あたり8果を用い、外観品質(腐敗、カビの発生果率とその発生程度)、内部品質(果実断面の褐変、水浸状化の発生程度)、果肉硬度、糖度および糖組成について行った。なお、腐敗とはバクテリア等微生物の増殖により表面組織の軟化やとろけが認められたものとした。腐敗発生果率は、8果中の腐敗が発生した果実の割合とした。腐敗発生程度は腐敗果実における果実表面積あたりの発生程度を0(発生なし)、1(10%未満)、2(10%以上)として目視により評価した。カビ発生果率は、8果中、カビの菌糸が目視により認められた果実の割合とした。カビ発生程度はカビ果実における果実表面積あたりの発生程度を0(発生なし)、1(直径1mm未満)、2(直径1mm以上)として目視により評価した。ロス率は、腐敗とカビの発生程度を0(良い)、1(販売可能)、2(販売不可)の基準で判断し、商品価値がなくなった果実割合とした。また、低温障害の指標となる内部品質は、縫合線と平行になるように果実を3等分に切断し、核がある中心部側の果実片を評価対象とし、果実断面積に対する褐変、水浸状化の発生程度を0(発生なし)、1(10%未満)、2(10%～25%)、3(25%～50%)、4(50%～75%)、5(75%以上)として目視により達観で評価した。果肉硬度は、直径5mm円柱プランジャーを装着した果実硬度計(SF-1010, 青光舎)により、前述の核側果実片の断面における赤道部(果皮より2cm内側)の貫入抵抗力を測定した。

内容成分の分析に用いる果実片は、貯蔵開始前と試験後に核がない切片をサンプルとし、耐熱性フィルムに入れ、分析を行うまで-30℃で冷凍保存した。分析時に、この果実片を家庭用電子レンジで酵素が失活するまで加熱後、ガーゼで搾汁して、果汁の糖度(Brix値)を糖度計(PAL-1, ATAGO)により測定した。また、糖組成については、前述の果汁2mLに99%エタノールを加えて10mLに定容し、定量ろ紙(JIS P 3801 2種, ADVANTEC)でろ過し、このろ液をシリンジフィルターユニット(13HP020AN, ADVANTEC)に通し、バイアル瓶に採取して測定サンプルとした。測定は、高速液体クロマトグラフ(HPLC インテリジェントシリーズ, 日本分光)にアミノカラム(Shodex Asahipak NH2P-50 4E, 昭和電工)を使用し、検出器に示差屈折計(RI-2031, 日本分光)を用いた。測定条件は、遊離溶媒アセトニトリル:水=75:25(v/v)、カラム温度40℃、流速1mL/minで行った。

第1表 ガスクロマトグラフ測定条件

設定項目	TCDガスクロマトグラフ	FIDガスクロマトグラフ
測定ガス	酸素, 二酸化炭素	エチレン
機器	GC-3200	GC-2014
カラム	①PoraPak T 50/80	RESTEK
	②Molecular Sieve 5A 60/80	(Rt-Q-BOND, 30m) 内径 0.32mm
キャリアガス	ヘリウム	ヘリウム
カラム入口圧	210kPa	100kPa
温度	OVEN 50℃	OVEN 50℃
	INJ 80℃	INJ 100℃
	TCD 80℃	FID 100℃
検出器	TCD	FID
その他	TCD電流: 120mA	流速: 1.6mL/min

第2表 貯蔵温度がモモの外観品質に及ぼす影響¹⁾

貯蔵温度	日川白鳳									あかつき								
	腐敗発生果率(%) ²⁾ (腐敗発生程度)			カビ発生果率(%) ³⁾ (カビ発生程度)			ロス率 ⁴⁾			腐敗発生果率(%) (腐敗発生程度)			カビ発生果率(%) (カビ発生程度)			ロス率		
	出庫直後	棚3日後	棚5日後	出庫直後	棚3日後	棚5日後	出庫直後	棚3日後	棚5日後	出庫直後	棚3日後	棚5日後	出庫直後	棚3日後	棚5日後	出庫直後	棚3日後	棚5日後
10℃	0.0 -	87.5 (1.5)	37.5 (2.0)	25.0 (1.5)	87.5 (1.3)	50.0 (1.5)	1/8	4/8	3/8	0.0 -	37.5 (1.3)	37.5 (1.0)	87.5 (1.4)	75.0 (1.5)	87.5 (1.4)	3/8	3/8	3/8
5℃	0.0 -	25.0 (1.0)	50.0 (2.0)	0.0 -	50.0 (1.5)	75.0 (1.7)	0/8	2/8	4/8	0.0 -	50.0 (1.3)	75.0 (1.2)	25.0 (1.0)	87.5 (1.1)	75.0 (1.2)	0/8	2/8	2/8
0℃	12.5 (1.0)	0.0 -	12.5 (2.0)	0.0 -	0.0 -	62.5 (1.2)	0/8	0/8	1/8	0.0 -	0.0 -	25.0 (1.5)	12.5 (1.0)	62.5 (1.0)	100.0 (1.3)	0/8	0/8	2/8

- 1) 出庫直後、棚もち 3, 5 日後の調査日で、それぞれ n = 8
- 2) 腐敗発生果率は、8 果実中の腐敗が発生した果実の割合。腐敗発生程度は腐敗果実における果実表面積あたりの発生程度を 0(発生なし), 1(10%未満), 2(10%以上)として目視により評価した
- 3) カビ発生果率は、8 果実中のカビが発生した果実の割合。カビ発生程度はカビ果実における果実表面積あたりの発生程度 0(発生なし), 1(直径 1mm 未満), 2(直径 1mm 以上)として目視により評価した
- 4) 総合ロス率は、腐敗とカビの発生程度を 0 (良い), 1 (販売可能), 2 (販売不可) の基準で商品価値がなくなった果実割合

2 貯蔵温度の違いが呼吸速度・エチレン発生速度に与える影響

フルーツキャップを被せた果実を各温度 5 果ずつ供し、容積 1,076mL の円柱型プラスチック製容器に 1 果ずつ入れ、10, 5, 0℃の恒温庫で静置し、品温が貯蔵温度になるまで安定させてから密封した。密封直後と 4 時間後の雰囲気ガスをシリンジでサンプリングした。サンプリングした雰囲気ガス中の二酸化炭素 (CO₂) 量をガスクロマトグラフ I (GC-3200, ジーエルサイエンス) で測定し、単位時間あたりに変化した CO₂ 量から呼吸速度を算出し、貯蔵開始直後、7, 14, 20 日後、および棚もち 4 日後に調査した。同様に、エチレン発生速度は密閉容器内のガスをシリンジでサンプリングし、ガス中のエチレンをガスクロマトグラフ II (GC-2014, 島津製作所) で測定し、密封直後と 4 時間後のエチレン増加量により算出し、貯蔵開始直後、7, 14, 20 日後に調査した。各ガスクロマトグラフの測定条件は、第 1 表に示した。

3 0℃貯蔵におけるエチレン感受性

果実 8 果を直方体型ポリプロピレン製容器 (縦 31.7cm 横 48.0cm×高さ 29.5cm, 容積 44.9L) に入れ、ポリエチレンフィルム (厚さ 0.2mm) をビニルテープで張り付けて容器を密封した。エチレン濃度が 0, 1 および 10ppm になるように 99.5%エチレンガス (標準品) をシリンジで注入してエチレン暴露処理を行い、貯蔵温度を 0℃に設定した恒温庫で 20 日間貯蔵した。エチレン濃度は、リンゴの半載を想定し、船舶コンテナにエチレンを注入する予備試験を実施し、混載によりコンテナ内で農産物が排出して影響するエチレン濃度が最大 10ppm 程度となった結果をもとに設定した。試験は 2 反復で行い、貯蔵 20 日後および棚もち 5 日後に果実品質として腐敗、褐変および水浸状化の発生程度を達観調査した。

結果

1 貯蔵温度の違いが果実品質に与える影響

貯蔵温度の違いが「日川白鳳」と「あかつき」の外観品質に与える影響を第 2 表に示した。腐敗の発生果率とその程度について、「日川白鳳」では、出庫直後は 0℃で発生率 12.5%であったが発生程度は 1.0 と低く、全ての温度区で商品性が認められた。棚もち 3 日後では 10℃と 5℃で貯蔵した果実での腐敗果率が高く、とくに 10℃で発生程度が 1.5 と高かったが、0℃では発生は認められなかった。棚もち 5 日後では 0℃貯蔵での腐敗果率は 12.5%であったが発生程度は 2.0 と高く商品性を失った。ロス率では、10℃で出庫直後から商品価値のない果実が認められ、商品性が低下した。「あかつき」では、出庫直後の腐敗はいずれの温度でも認められなかった。棚もち

第3表 貯蔵温度がモモの内部品質に及ぼす影響

貯蔵温度	日川白鳳						あかつき					
	褐変 ²⁾			水浸状			褐変			水浸状		
	出庫直後	棚3日後	棚5日後	出庫直後	棚3日後	棚5日後	出庫直後	棚3日後	棚5日後	出庫直後	棚3日後	棚5日後
10℃	0.3	2.3	2.4	1.0 a	3.3	3.3	1.5	2.3 ab	2.4	1.0	2.1	1.8 b
5℃	0.1	1.3	3.0	0.8 ab	3.6	4.0	1.1	2.8 a	3.0	2.1	2.4	4.3 a
0℃	0.1	0.8	1.6	0.1 b	2.6	4.1	1.4	1.0 b	1.8	2.1	1.8	2.4 b
有意性	ns ³⁾	ns	ns	**	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	**

- 1) 出庫直後、棚もち 3, 5 日後の調査日で、n = 8
- 2) 果実断面積に対する褐変、水浸状化の発生程度を、0(発生なし), 1(10%未満), 2(25%未満), 3(50%未満), 4(75%未満), 5(75%以上)として目視により評価した
- 3) Tukey 多重検定により、異文字間に有意差あり (**, *; 1%, 5%水準)。n. s. は有意差なし。第 4 表も同様



第1図 「あかつき」における果実断面の低温障害症

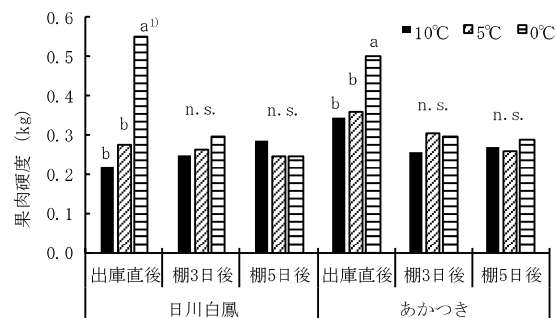
- 1) 貯蔵開始前の果実断面
- 2) 5℃で20日間貯蔵し、20℃で棚もち5日後に発生した低温障害（褐変、水浸状化）果実

3日後では0℃で腐敗は認められなかったが、5℃および10℃で棚もち3日後から発生程度が1.0を超える腐敗果実が認められた。棚もち5日後では0℃でも腐敗の発生割合および発生程度が高くなった。カビの発生については、「日川白鳳」では、10℃で出庫直後から1.0より高く、棚もち3日後には0℃のみで発生が認められず、棚もち5日後にはすべての試験区で発生率が高く、発生程度も1.0以上で商品性を失う果実が多かった。「あかつき」では、すべての温度で出庫直後からカビの発生が認められた。10℃では出庫直後から1.0を超えるカビの発生が認められたが、0℃では棚もち3日後までは1.0と抑えられていた。0℃貯蔵した場合、両品種ともに棚もち3日後までは1.0を超える腐敗やカビの発生は認められず商品性を保持していた。

貯蔵温度の違いが「日川白鳳」と「あかつき」の内部品質に与える影響を第3表に示した。「日川白鳳」の褐変の発生程度は、いずれの貯蔵温度でも出庫直後では0.3以下であったが、棚もち中に発生程度が高くなった。

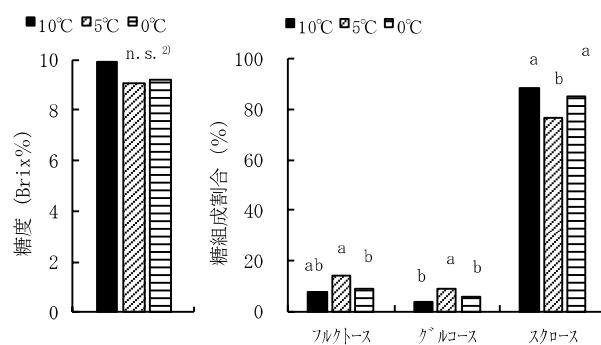
「あかつき」では、いずれの貯蔵温度でも、出庫直後から発生程度1.0を超える褐変が認められ、棚もち3日後では5℃の発生程度2.8、10℃の2.3と比較して0℃が低い傾向を示した。果肉の水浸状化については、「日川白鳳」では出庫直後の発生程度は1.0以下と低かったが、温度が高いほど発生程度が高い傾向を示した。また、いずれの貯蔵温度でも棚もち3日後から2.5以上の発生があり、水浸状化の発生が顕著であった。「あかつき」では、出庫直後から水浸状化の発生がいずれの貯蔵温度でも1.0以上認められ、棚もち5日後では5℃が有意に高かった。「日川白鳳」では、出庫直後の果実で褐変および水浸状化程度が1.0以下で小さかったが、棚もち3日後から2.5以上の褐変や水浸状化の発生し、「あかつき」でも棚もち5日後の水浸状化の発生が3.0以上と顕著であった（第1図）。温度別の比較では、統計上の有意差はないものの、5℃で貯蔵した果実における果肉の褐変や水浸状化の発生程度が高かった。

貯蔵温度の違いが「日川白鳳」と「あかつき」の果肉硬度に与える影響を第2図に示した。両品種とも10℃と



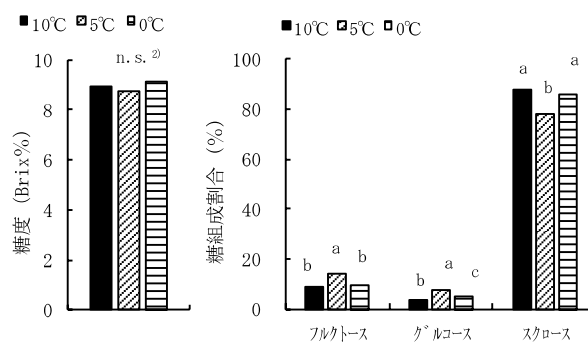
第2図 貯蔵温度がモモの果肉硬度に及ぼす影響¹⁾

- 1) 出庫直後、棚もち3、5日後の調査日で、各n=8
- 2) Tukey多重検定により、異文字間に有意差あり（5%水準）。n.s.は有意差なし
- 3) 貯蔵開始前の果肉硬度、「日川白鳳」は0.60kg、「あかつき」は0.54kg



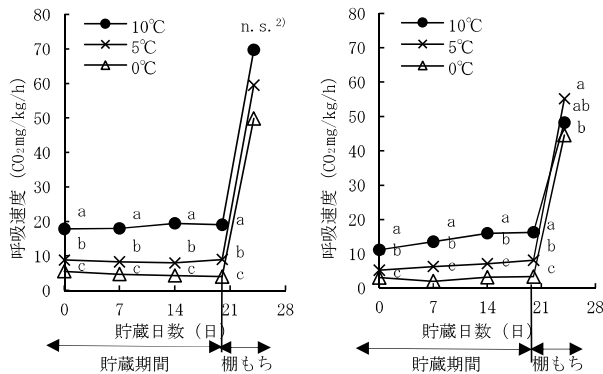
第3図 貯蔵温度が「日川白鳳」の糖度および糖組成に及ぼす影響¹⁾

- 1) 棚もち3日後調査。n=8
- 2) BoxCox変換して、Tukey多重検定により、異文字間に有意差あり（5%水準）。n.s.は有意差なし
- 3) 貯蔵開始前の糖度は9.1、糖組成割合は、フルクトース11.1%、グルコース7.2%、スクロース81.7%



第4図 貯蔵温度が「あかつき」の糖度および糖組成に及ぼす影響¹⁾

- 1) 棚もち3日後調査。n=8
- 2) BoxCox変換して、Tukey多重検定により、異文字間に有意差あり（5%水準）。n.s.は有意差なし
- 3) 貯蔵開始前の糖度は9.2、糖組成割合は、フルクトース8.6%、グルコース5.2%、スクロース86.2%



第5図 貯蔵・棚もち期間中の「日川白鳳」(左) および「あかつき」(右) の呼吸速度の推移¹⁾

- 1) 各温度区で $n = 5$ 調査した平均値
- 2) Tukey-Kramer 多重検定により, 異文字間に有意差あり (5%水準)。n. s. は有意差なし

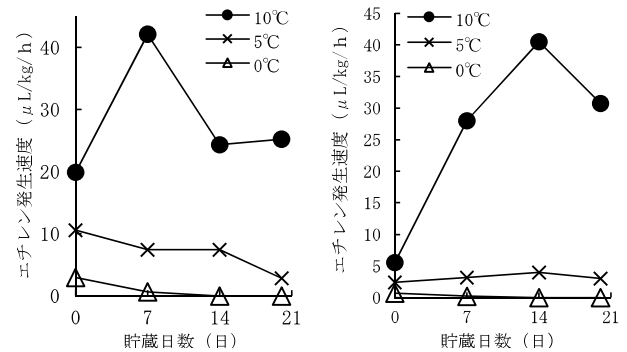
5°Cでは出庫直後から貯蔵開始前に比べ果肉硬度の低下が認められた。一方, 0°C貯蔵は出庫直後の果肉硬度が0.5kg以上あり, 10°Cと5°Cで貯蔵した果実よりも有意に高かった。しかし, 棚もち3日後以降急激に果肉硬度は低下し, 貯蔵温度による差は認められなかった。

貯蔵中の温度の違いが棚もち3日後の「日川白鳳」, 「あかつき」果汁の糖度および糖組成に与える影響についてそれぞれ第3図, 第4図に示した。両品種とも, 果汁の糖度(Brix)に有意な差は認められなかった。両品種とも糖の大部分はスクロースで構成されていた。5°Cで貯蔵した場合, 0°Cおよび10°Cと比較してスクロース割合が有意に低く, フルクトースおよびグルコース割合が高い傾向が認められた。

2 貯蔵温度の違いが呼吸速度・エチレン発生速度に与える影響

貯蔵期間中および棚もち後の「日川白鳳」と「あかつき」の貯蔵温度ごとの呼吸速度の推移を第5図に示した。両品種とも, 貯蔵中の呼吸速度は温度が高いほど高く, 貯蔵期間を通じてほぼ一定であった。棚もち後は両品種とも呼吸速度が急激に増加した。「日川白鳳」は貯蔵温度による差は認められなかったが, 「あかつき」では5°Cが棚もち後に有意に高くなった。よって, 本試験では貯蔵期間中は0°C貯蔵で最も呼吸速度が低く抑えられた。

貯蔵中の「日川白鳳」と「あかつき」の温度別エチレン発生速度の推移を第6図に示した。「日川白鳳」のエチレン発生速度は, 10°C貯蔵では7日後に42.1 μ L/kg/hのエチレンが発生し最大値を示した。5°C貯蔵では, 貯蔵開始時は10.6 μ L/kg/hで, 貯蔵中に徐々に低下し, 貯蔵20日後から7日後までは0.6 μ L/kg/hの発生が認められたが, 14日以降はエチレンの発生は認められなかった。「あかつき」では10°C貯蔵で14日後に最大値(40.5 μ L/kg/h)を示し, 5°C貯蔵では2.4~4.0 μ L/kg/hのエチレンが発生したが, 「日川白鳳」より発生は少なく貯蔵中は同程度の値で推移した。0°C貯蔵では7日後までは0.2 μ L/kg/hとわずかに認められたが, 14日以降はエチレンの発



第6図 貯蔵期間中の「日川白鳳」(左) および「あかつき」(右) のエチレン発生速度の推移¹⁾

- 1) 各温度区で $n = 5$ 調査した最大値
- 生は認められなかった。

3 0°C貯蔵におけるエチレン感受性

0°C貯蔵時に0, 1, 10ppmのエチレンに暴露させた場合の「日川白鳳」と「あかつき」の果実品質に与える影響について, 棚もち5日後の結果を第4表に示した。「日川白鳳」では, 腐敗は0.4~0.5, 褐変1.1~1.6と発生程度が小さかったが, 水浸状化の発生程度はエチレン濃度に関わらず2.5以上と高かった。「あかつき」では, 腐敗や褐変, 水浸状化のいずれもエチレン濃度が高くなるほど発生程度は高かったが有意な差は認められなかった。このことから, 0°C貯蔵において10ppm以下の外生エチレンの施用では, 「日川白鳳」と「あかつき」に対する品質への影響は認められなかった。

第4表 暴露処理によるエチレン濃度がモモの果実品質に及ぼす影響¹⁾

エチレン濃度	日川白鳳			あかつき		
	腐敗 ²⁾	褐変 ³⁾	水浸状化	腐敗	褐変	水浸状化
0ppm	0.5	1.4	3.4	0.2	1.1	1.5
1ppm	0.4	1.1	2.9	0.4	1.3	1.9
10ppm	0.5	1.6	3.9	0.6	1.6	2.1
有意性	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.

- 1) 貯蔵温度0°Cで20日間貯蔵, 棚もち5日後調査。 $n = 8$
- 2) 腐敗; 果実が軟化を伴って腐敗したものとし, 果実表面の腐敗の発生程度は, 0(発生なし), 1(10%未満での発生あり), 2(10%以上発生あり)として目視により評価した(0.5間隔)
- 3) 褐変, 水浸状化の発生程度は, 果実断面に対する発生割合で, 0(発生なし), 1(10%未満), 2(25%未満), 3(50%未満), 4(75%未満), 5(75%以上)として目視により評価した

考 察

モモ「日川白鳳」, 「あかつき」を10°Cで20日間貯蔵した場合, 両品種ともに出庫直後には腐敗の発生は認めら

れなかったが、カビの発生による品質低下が認められ、その後棚もち条件下では腐敗も発生し商品性が低下した。果肉硬度は貯蔵開始前よりも明らかに低下しており、組織の軟化の進行が腐敗の発生を助長したと考えられた。また、10℃貯蔵中における呼吸速度はほぼ一定で推移し藤・佐藤(1975)は、モモ「大久保」を用いた貯蔵試験において、10℃や15℃貯蔵では果肉の軟化が進行し、その際の呼吸速度やエチレン発生速度はゆるやかに増加したと報告している。さらに、スモモの貯蔵試験においても7℃貯蔵中に呼吸量およびエチレン生成量の増加や果実硬度の低下が報告されている(王ら1988)。本報告では10℃貯蔵中にエチレン発生速度の急激な上昇が認められたものの呼吸速度の増加は認められておらず、これまでの報告と異なる傾向を示したが、その要因については不明で今後検討が必要である。

以上の結果より、果肉硬度の低下や水浸状化の進行、さらに腐敗の発生により、シンガポールにモモを輸送する温度条件として10℃は不適であると考えられた。

一方、5℃貯蔵の「あかつき」において、棚もち3日後の褐変程度および棚もち5日後の水浸状化の発生程度が他の温度より有意に高かった。モモでは、0℃より2.2℃から7.6℃の範囲に低温障害が発生しやすい危険な温度域が存在し(Lurie・Crisosto 2005)、白肉桃品種では5℃で2週間後から低温障害が現れたとの報告がある(Crisosto *et al.* 1999)。今回の結果でも同様に、5℃は低温障害が発生しやすい温度域で、そのため果肉の褐変や水浸状化などの発生が多くなったと考えられた。また、果汁の糖組成では、両品種で5℃におけるスクロース割合が10℃や0℃よりも有意に低く、グルコースとフルクトース割合が高くなっていることから、5℃ではスクロースの分解が促進されたと推察された。低温障害は細胞の膜透過性を増大させ、内容成分の漏出量が増大するという報告がある(阿部ら1978, 辰巳・邨田1978, 後藤ら1984)。本報告で5℃貯蔵においてスクロース含有割合の低下が有意に認められたのは、低温障害により果肉組織の細胞膜透過性が増大し、スクロース代謝に関連するインベルターゼなどの酵素反応が進んだものと推察され、5℃における低温障害の特徴的な症状のひとつであると推察された。また、「あかつき」では棚もち中の5℃における呼吸速度が最も高くなっており、5℃では何らかの生理活性の変化があったものと推察された。

モモを0℃で20日間貯蔵した場合、貯蔵中は呼吸速度を抑制し、腐敗や内部品質の低下を抑え、顕著な低温障害の発生は認められなかった。0℃貯蔵が4週間以上の長期に及ぶ場合は低温障害の発生が認められるとの報告(Crisosto *et al.* 1999)があるが、輸送期間が長くても20日程度のシンガポールへの輸送においては、0℃貯蔵はモモの輸送温度として適していると考えられた。

0℃貯蔵果実における棚もち期間中の呼吸速度は、両品種ともに貯蔵期間中より大幅な上昇が認められた。また、出庫直後の0℃果実は両品種とも果肉硬度が他の温度と比べて高かったが、棚もち後は呼吸が増大したことで軟化が進行したと考えられた。貯蔵性が最も優れてい

た0℃においても、棚もち5日後には腐敗が発生しカビが増加するため、3日後までが店頭販売期間の限界と考えられた。

混載時のエチレンによる影響に関しては、内生エチレンと外生エチレンの2つの問題がある。まず、内生エチレンに関して、「日川白鳳」と「あかつき」では10℃より5℃や0℃でエチレンの発生が抑制され、特に0℃ではエチレンの発生が3 μ L/kg/h以下と少なかった。「幸茜」では、-1℃および5℃の低温で貯蔵することで常温よりエチレンの生成が抑制されたと報告がある(手塚・加藤2014)。このことから、0℃であれば混載時に他の青果物への影響が大幅に抑制できると考えられる。しかし、輸送期間中のエチレン生成が完全に抑制されていないため、ナスなどのエチレン感受性の高い青果物と混載する場合は、少量のエチレンであっても品質低下を誘発する恐れがある。そのため、モモを他品目と混載する場合、モモから発生するエチレン対策として、エチレン除去機能を有する鮮度保持剤等の利用が必要であると考えられる。

次に、外生エチレンに対する感受性については、0℃貯蔵時のモモの品質低下とエチレン濃度との間に明確な関係性は認められなかった。硬肉の「有明」を25℃・1,000ppmで3日間エチレン処理すると軟化し、15℃貯蔵では軟化開始が遅れたが、5℃では軟化が起きなかったという報告がある(Haji *et al.* 2003)。このことから、低温貯蔵下では外部からのエチレンの影響が低減される可能性が考えられる。実際の混載輸送時に影響する外的エチレン濃度は最大10ppm程度と想定しており、今回の「日川白鳳」および「あかつき」のエチレン処理においても、0℃という低い温度条件下でエチレンを施用したため、エチレンによる品質への影響が認められなかったと示唆された。そのため、モモの混載輸送時の内生、外生エチレンの両観点からも、モモは0℃で輸送するのが適していると考えられた。

シンガポール輸出を想定した今回の試験結果では、モモ「日川白鳳」および「あかつき」の輸送温度は0℃が適当であると考えられた。ただし、0℃貯蔵でも棚もち条件に移すと果肉硬度が急激に低下し、品質低下が急速に進行し始めるため、店頭での販売期間は3日が限界と考えられ、この2品種に極端な特性の違いは認められなかった。

実際の輸出では、積み下ろしの際に温度変化が生じ、販売時の温度も店舗により異なる。また、カビや腐敗の進行は湿度の影響を受けやすいが、本試験で用いた恒温室は湿度コントロール機能がないため貯蔵温度により湿度条件が異なっていた可能性もある。本研究では限られた条件内ではあるが、モモを高品質なまま輸出するための基本的知見を得られたと考えている。今後は、実際の輸送環境の調査を進め、輸送環境と品質との関連についてさらに研究を進め、農産物の輸送技術の確立を目指すこととしたい。

引用文献

- 阿部一博・緒方邦安(1978) ナス果実の低温障害に関する研究(第4報) 障害の進展に伴う細胞の微細構造の変化. 園学雑. 46(4) : 541-547.
- Crisosto CH, Mitchell FG and Ju Z(1999) Susceptibility to Chilling Injury of Peach, Nectarine, and Plum Cultivars Grown in California. Hort Science 34(6) : 1116-1118.
- 福岡県(編)(2018a) 平成 29 年度農林水産白書. 福岡県農林水産部, 福岡, p. 14.
- 福岡県(編)(2018b) 平成 29 年度農林水産白書. 付属統計・資料(農業編). 福岡県農林水産部, 福岡, p. 9.
- 福岡県経営技術支援課(編)(2018)(6) モモ. ①露地共通. 福岡県果樹栽培技術指針. 福岡県経営技術支援課, 福岡, p. 330.
- 後藤昌弘・南出隆久・藤井雅弘・岩田 隆(1984) 低温ショックによるウメ果実の低温障害抑制効果と膜透過性及び膜脂質構成脂肪酸の変化との関係. 園学雑. 53(2) : 210-218.
- Haji T, Yaegaki H and Yamaguchi M (2003) Softening of Stony Hard Peach by Ethylene and the Induction of Endogenous Ethylene by 1-Aminocyclopropane-1-Carboxylic Acid(ACC). J. Japan. Soc. Hort. Sci. 72(3) : 212-217.
- Haji T, Yaegaki H and Yamaguchi M (2004) Varietal Differences in the Relationship between Maturation Characteristics, Storage Life and Ethylene Production in Peach Fruit. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 73(2) : 97-104.
- 梶浦一郎(1972) モモの低温貯蔵障害に及ぼす温度と貯蔵前追熟処理の影響. 日食工誌 19(1) : 31-33.
- 加藤公道・佐藤良二(1975) 異なる温度での白肉桃の追熟生理. 園学雑. 44(1) : 89-97.
- 小曾戸和夫・飯野久栄・数見秀次郎・黒田儀三郎・松岡徹夫・薮 花雄(1962) 白桃の冷蔵貯蔵に関する研究(第1報) 冷蔵障害について. 日食工誌 9(4) : 8-12.
- Lurie S and Crisosto CH(2005) Chilling injury in peach and nectarine. Postharvest Bio. 37 : 195-208.
- 農林水産省(2019a) 平成 30 年度食料・農業・農村白書. 農林水産省大臣官房広報評価課情報分析室年次報告班, 東京, http://www.maff.go.jp/j/wpaper/w_maff/h30/zenbun.html (2019 年 6 月 1 日閲覧).
- 農林水産省(2019b) 農林水産物輸出入概況(2018 年). 農林水産省国際部国際経済課, 東京, http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/kokusai/attach/pdf/houkoku_gaikyou-15.pdf (2019 年 6 月 1 日閲覧).
- 辰巳保夫・邨田卓夫(1978) 青果物の低温障害に関する研究(第1報) キュウリ果実の低温障害と生体膜の変性について. 園学雑. 50 : 108-113.
- 手塚誉裕・加藤 治(2014) 氷温貯蔵によるモモ果実の品種別鮮度保持効果と出庫後の温度管理. 山梨県総合理工学研究機構研究報告書 9 : 21-25.
- 王 洪剛・弦間 洋・大垣智昭(1988) チルド貯蔵温度域におけるスモモ果実の品質保持, エチレン生成及び低温障害について. 日食低温誌 14(3) : 89-94.