

東アジアの温帯モンスーン気候におけるプルーン栽培を目指した品種選定と果実の成熟生理学的特性に関する研究

Study on Selection of Prune Cultivars Suitable for East Asian Monsoon Climate Zone and Characteristics of Fruit Maturation and Physiology

大畑和也

2017

目次

緒論	1
第1章 日本の西南暖地におけるプルーン栽培適性品種の検討	10
第1節 生育および樹体特性の品種比較	
第2節 果実品質および果実成熟特性の品種比較	
第3節 果実における抗酸化能の比較	
考察	
要約	
第2章 プルーン果実の成熟に伴う呼吸量とエチレン生成量の比較	43
第1節 樹上における呼吸量およびエチレン生成量の変化	
第2節 採取後貯蔵中における呼吸量およびエチレン生成量の変化	
第3節 エチレン処理による呼吸量およびエチレン生成量の変化	
考察	
要約	
第3章 プルーン果実の貯蔵特性と日持ち性向上	68
第1節 低温貯蔵における日持ち性の品種比較	
第2節 貯蔵中に発生する果肉障害とイオン漏出量の関係	
第3節 1-MCPによる果実の日持ち性向上	
考察	
要約	
総合考察	93
総合摘要	98
引用文献	100
Summary	113
学会誌公表論文リスト	116
謝辞	117

結論

1. プルーンの分類と起源

スモモ類はバラ科サクラ属スモモ亜属に分類され、温帯地域で広く栽培されている落葉果樹である。その中で、食用として主に栽培されているのはニホンスモモ (*Prunus salicina* Lindl.) とドメスチカスモモ (ヨーロッパスモモ) (*P. domestica* L.) である。本来、プルーンはドメスチカスモモの中のプルーングループを指すが、ドメスチカスモモ全体をプルーンと呼んでいる(宮澤・田尻, 2003)。プルーンの出産地はアジア西部のカスピ海と黒海に挟まれたコーカサス地方といわれているが、明確ではない。

2. プルーン産地の気候と品種

本来、プルーンは冷涼な気候を好み、アジア西部や欧米など夏に雨の少ない地域で栽培されており(第1図)、主に果実は乾果として利用されている。2014~2015年における世界の乾果プルーンの出産面積は約6万ヘクタール、生産量は約25万トンである(第2図; International Prune Association: IPA, 2015)。主産地はアメリカ合衆国などである。近年は、生食用プルーンの出産が高まり(Crisostoら, 1995)、生食用向けの品種育成を目標としている国もある(Okie・Ramming, 1999)。一方、東アジアモンスーン地帯である日本へのプルーンの出産は明治初期であり(垣内, 1990; 吉田, 2003)、東日本のやや冷涼な地帯で多く栽培されている。2013年の栽培面積および生産量はそれぞれ491 ha, 2,733 tである(第3図: 農林水産省, 2013)。主産地の長野県は、1965年以降産地化が始まり(堀, 2004)、国内における栽培面積の54.8%、生産量の67.7%を占めている(第4図, 第5図: 農林水産省, 2013)。しかし、収穫期に雨の多い日本では乾果用としての生産が難しく、年間1万~2万tの乾果が輸入されていることから(California Prune Board, 2016)、日本ではほとんどが生食用果実として栽培されてきた。

乾果プルーン産地では‘d’ Agen’種が栽培され(IPA, 2015)、ヨーロッパや北米等では生食用として‘スタンレイ’、‘プレジデント’、‘ブルーフル’が栽培されている(Ramming・Cociu, 1991)。また、ヨーロッパでは、各国で育種した品種や海外からの品種、伝統的な品種が栽培されている(Blažek

ら, 2004 ; Bozhekova, 2014 ; Okie・Ramming, 1999 ; Rakićević ら, 2008 ; Šebek, 2013). 一方, 日本では海外からの導入品種を中心に 26 品種の栽培面積が明らかとなっており, 自家和合性品種の栽培面積が多い (第 6 図: 農林水産省, 2013). また, 主要品種の育成地および来歴等は第 1 表に示した.

3. プルーン果実の特性

プルーン果実にはミネラルやビタミン, ポリフェノールなどの機能性成分が多く含まれ, 健康食品として注目されている (深井・松澤, 2000 ; Kim ら, 2003 ; 小嶋ら, 2005). 日本食品標準成分表 (文部科学省, 2015) によると, 生食用プルーン果実は食物繊維, カリウム, β カロテンおよび葉酸が多い. さらに, 糖含量の内, ソルビトールが多く含まれるため整腸や便秘防止に効果があるとされている (Cordova・Watson, 2011).

4. プルーン栽培における課題と現状

プルーンはオウトウと同様未熟期後期から成熟期の降雨によって裂果が発生する (今川, 2000b ; Sekse, 1995 ; Measham ら, 2014). 日本では, プルーン果実の裂果対策として, 収穫前または生育期間を通じた雨よけ栽培が行われている. そして, 雨よけ栽培によって糖度の高い樹上完熟果実が生産・出荷されている (倉橋, 1998). 近年, 従来 of 市場出荷以外にもインターネット販売などによる生産者から消費者への直接販売も増え, プルーン完熟果の流通量が増えつつある.

また, プルーンを含む核果類において最も重要な病害は plum pox potyvirus (PPV) による Sharke 病である (Neumüller, 2011). 海外では早期落果などにより減収をもたらす. 日本においては, 2009 年にウメで確認されているが (前島ら, 2009), プルーン等栽培品種への感染は確認されていない.

5. プルーン果実の成熟特性

プルーン果実の鮮度と品質を維持しながら流通させるためには, その生理的特性を明らかにする必要がある. Biale (1960b) は, 果実を成熟に伴う呼

吸量の変化に基づいてクライマクテリック型果実とノンクライマクテリック型果実に大別した。

果実の成熟特性から、スモモ類はクライマクテリック型果実に分類されている (Li, 2012)。さらに, Abdi ら (1997) は, ニホンスモモは成熟に伴う呼吸量とエチレン生成量の変化から 2 つのグループ (典型的なクライマクテリック型と抑制的クライマクテリック型) に分けられるとしている。

しかし, Biale (1960a) によってプルーンはクライマクテリック型かノンクライマクテリック型の分類はなされていない。Sekse (1988), Rato (2003), Lippert・Blanke (2004), Kožíšková・Goliáš (2013), Larsen・Vangdal (2013) はプルーン数品種がクライマクテリック型であると報告しているが, 広く栽培されている品種の成熟型に関する報告はない。

6. 生食用プルーンの日持ち性

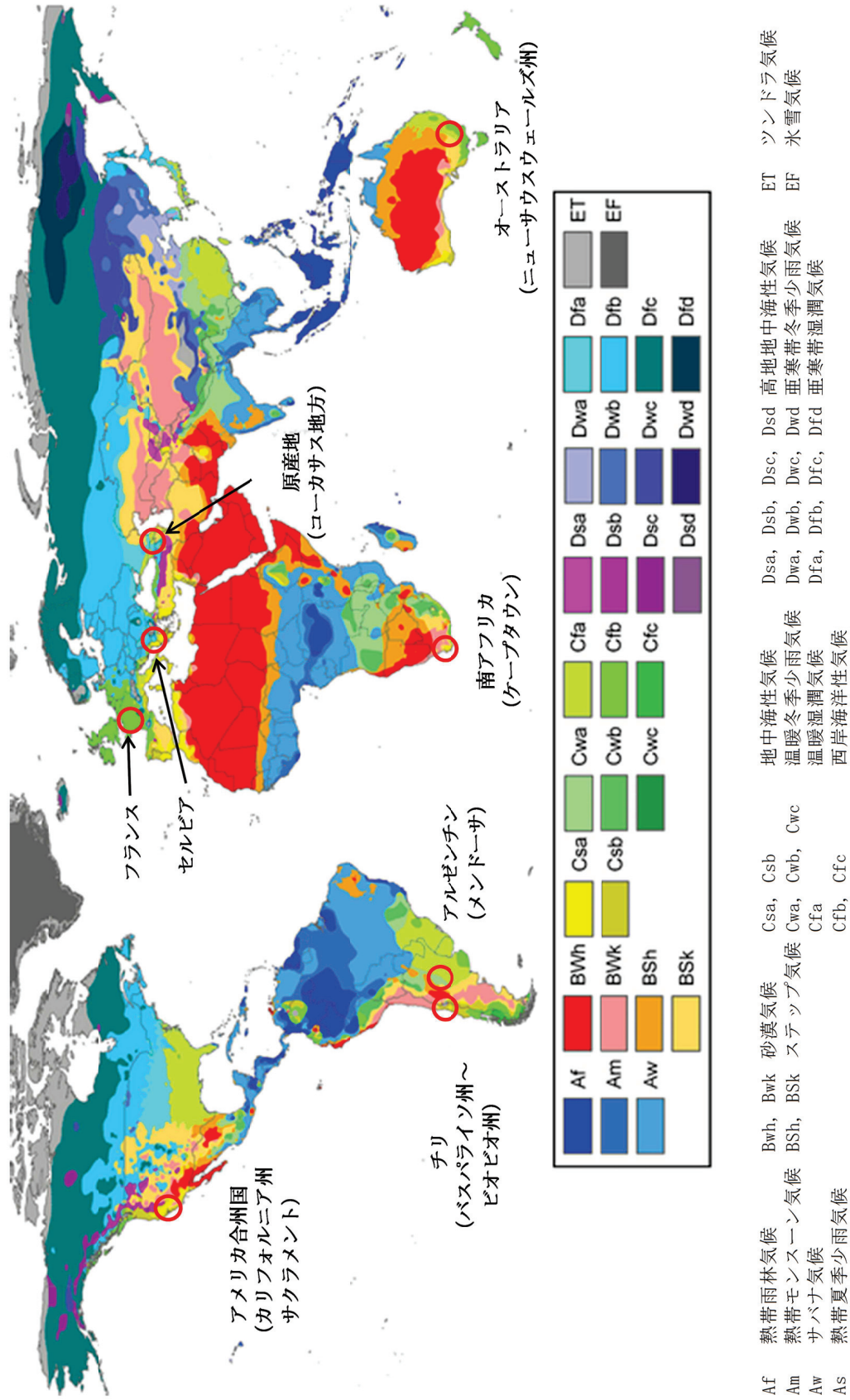
生食用プルーンを市場流通させるには, 複数の品種を組み合わせた長期出荷を行う必要があり, 貯蔵等による出荷調整を行わなければならない。

果実は収穫後も生きており, 果実内部では呼吸などによって様々な生理代謝が起きている。そのような中で, 果実を鮮度の良い状態で一定の品質を保ちながら流通させるためには, プルーンの貯蔵特性を明らかにし, 最適な貯蔵・流通条件を確立する必要がある。

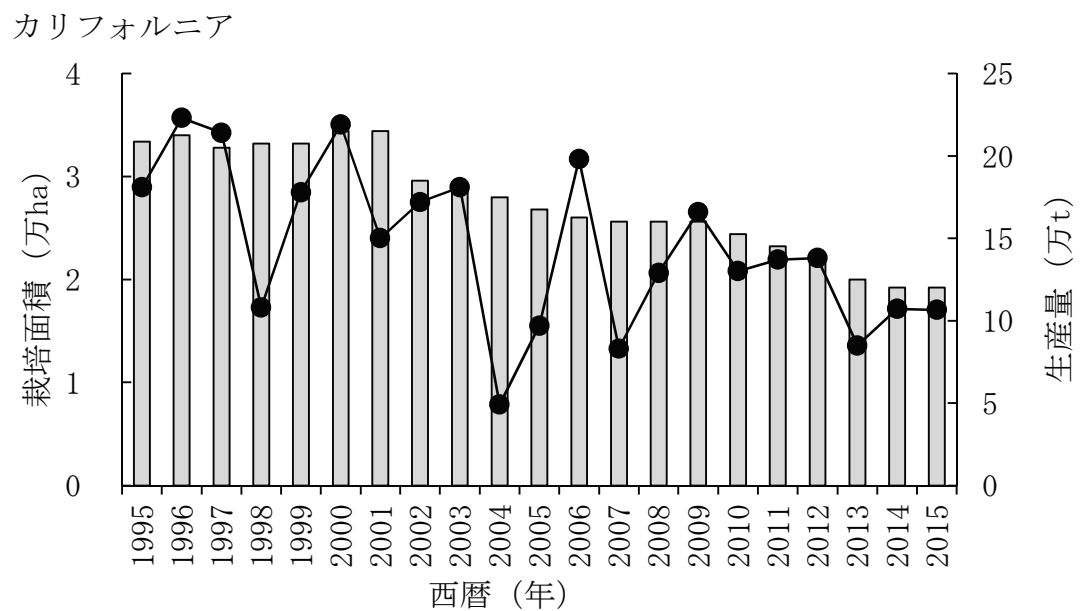
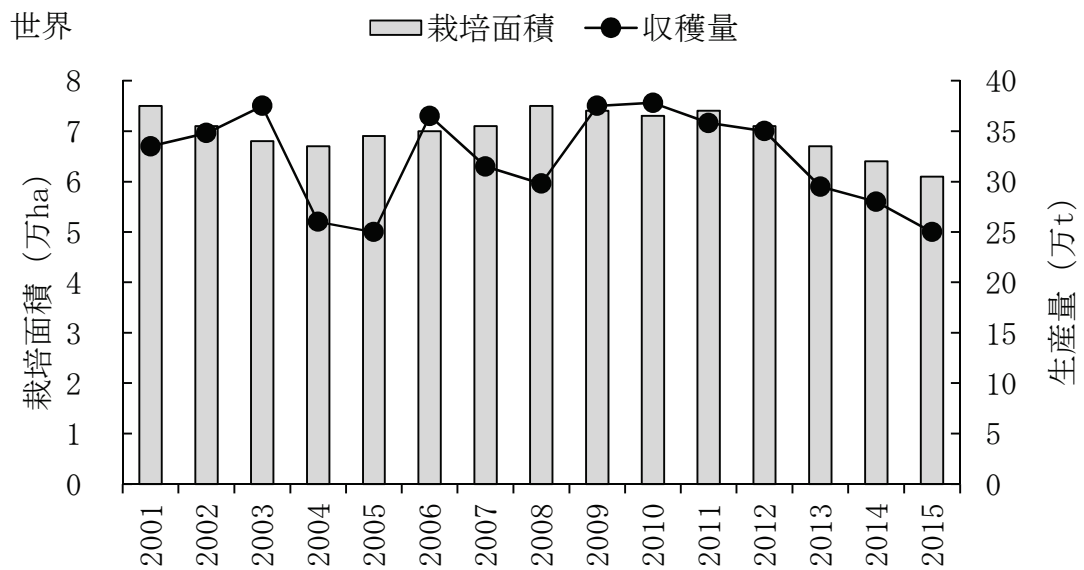
7. 本研究の目的

そこで, 本研究では原産地の気候に近い降雨の少ない気候や地中海性気候だけではなく, 本来, 栽培適地ではない東アジアの温帯モンスーン気候や世界の温暖湿潤気候地域でのプルーン栽培拡大の可能性を探るため, 西日本に位置する島根県をモデル地域として, 収穫期が 8 月中旬～10 月下旬のプルーン 8 品種を用いて, 適性品種を検討するとともに抗酸化能について比較した。また, プルーン果実を鮮度の良い状態で流通させるためには, 果実の生理的な特徴を明らかにする必要があることから, ①樹上での成熟期における呼吸量またはエチレン生成量増加の有無, ②成熟期に収穫した果実における採取後の呼吸量またはエチレン生成量増加の有無, ③外部エチレンまたはプ

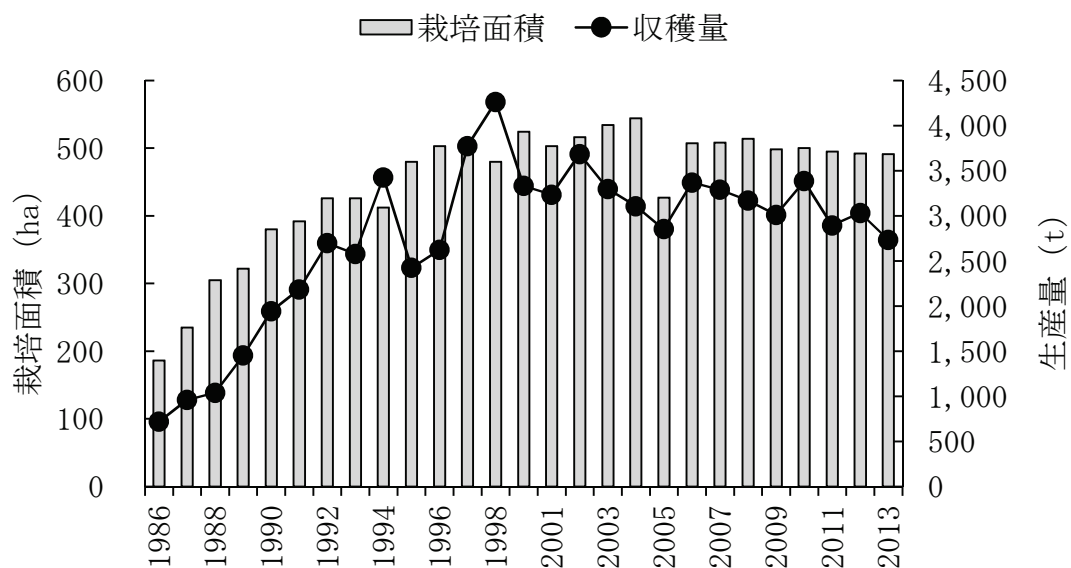
ロピレン処理による自己触媒的なエチレン生成の有無，について検討し，プルーン主要品種の成熟型を明らかにした．さらに，プルーン果実の品種および貯蔵温度別の果実品質変化を検討し，日持ち性を明らかにすると共に植物生育調節剤による日持ち性向上の可能性を検討した．



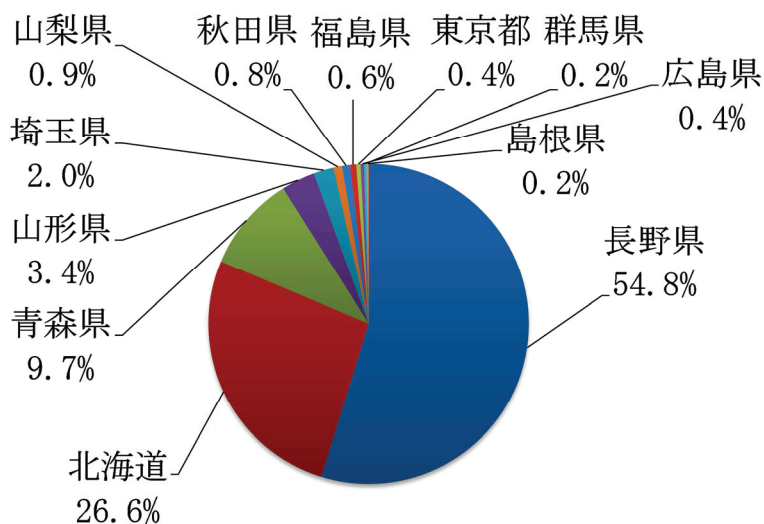
第1図 プルーンの前産地および主産地（乾果）とケッペン気候区分（Peelら，2007）



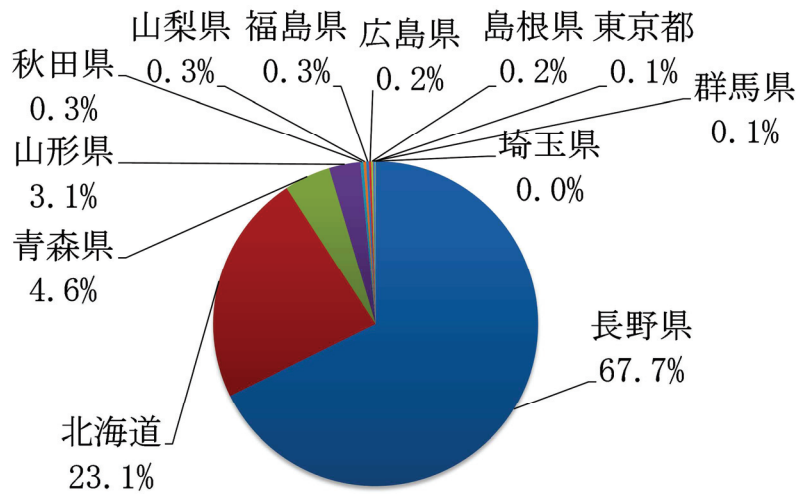
第2図 世界およびカリフォルニアにおけるプルーン栽培面積と収穫量の推移 (International Prune Association (IPA), 2015; California Department of Food and Agriculture (CDFA), 2016)



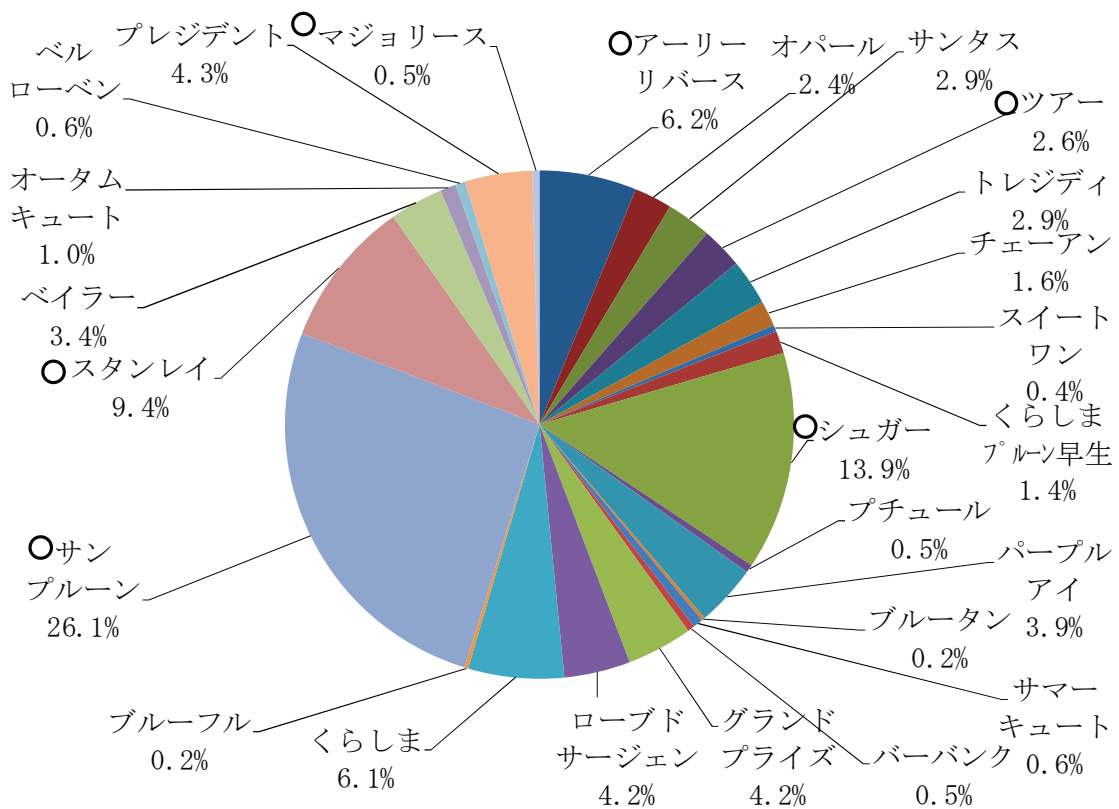
第3図 日本におけるブルーベリー栽培面積と収穫量の推移(農林水産省, 2013)



第4図 都道府県別のブルーベリー栽培面積割合 (農林水産省, 2013)



第 5 図 都道府県別のプルーン収穫量割合（農林水産省，2013）



第 6 図 日本におけるプルーン栽培品種別栽培面積割合（農林水産省，2013）

○は自家和合性品種

第1表 日本で栽培されている主な品種の育成地および来歴 (Okie・Ramming, 1999; 宮澤・田尻, 2003; 各種苗木カタログより)

品種名 ²	育成地等			来歴	
	国名	機関名	育成者名	公表年	交配等
プチュール	不明				
パーブルアイ	不明				
ブルータン	日本	ニッポン緑産 (株)	櫻井茂隆	2002	‘シュガー’ × ‘セネカ’, ‘イロクオイ’, ‘エドワーズ’, ‘キークラスブルー’, 他の混合花粉の実生
エドワーズ	アメリカ			1930	カリフォルニアで発見
スタンレイ	アメリカ	ニューヨーク州農業試験場 (ジェネバ)	ウエリントン	1926	‘エージェン’ × ‘グランドデューク’
バイラー	カナダ	オンタリオ州立園芸研究所バイランランド試験場	テラニ	1967	‘インペリアルエビネウス’ × ‘グランドデューク’
プレジデント	イギリス	リバース ナースリー (ハートフォードシャー州ソウブリッジワース)	リバース	1901	不明
マジョリース・シードリング	イギリス	(バークシャー州)		1912	不明
アーリーリバー	イギリス	リバース ナースリー (ハートフォードシャー州ソウブリッジワース)	リバース	1834	‘ブレコースドツール’の交雑実生
オパール	スウェーデン	アルナープ園芸試験場	スワーツ	1966	‘オーリンズゲージ’ × ‘アーリーフエボリット’
サンタス	ベルギー				‘マタードロローザ’ × ‘アーリーリバー’
ツアー	イギリス	リバース ナースリー (ハートフォードシャー州ソウブリッジワース)	リバース		‘プリンスイングルバード’ × ‘アーリーリバー’
トレジディ	アメリカ		ラニオン	1870年代	‘ジャーマンブルー’ と ‘デュエインパーブル’の 混植園の偶発実生
チェーアン	不明				
スイートワシ	不明				
くらしま早生	日本		倉島貞子	1889	‘ローブドサージェン’ × ‘プレジデント’
シュガー	アメリカ		バーバンク		‘エージェン’の実生
サマーキュート	日本	長野県果樹試験場	堀茂樹ら	2014	‘バイラー’ × ‘シュガー’
パーバンク	アメリカ			1924	
ローブドサージェン	フランス				‘サージェン’の実生
くらしま	日本		倉島貞子		‘ローブドサージェン’ × ‘プレジデント’
ブルーフル	アメリカ	ミズーリ州立果樹試験場	シェパード	1947	‘スタンレイ’ × ‘プレジデント’
サンブルーン	日本				導入品種の実生
オータムキュート	日本	長野県果樹試験場	堀茂樹ら	2014	‘バイラー’ × ‘プレジデント’
ペルローベン	ベルギー			1800年代	

² プチュール, パーブルアイ, ブルータン, エドワーズ, スタンレイ, バイラー, プレジデント, マジョリース・シードリングは本試験で使用した品種

第1章 日本の西南暖地におけるブルーベリー栽培適性品種の検討

近年、生食用ブルーベリーの機能性や抗酸化性に関する報告が蓄積される（木村ら，2008；Slimestad ら，2009；Thurrow・Lee，2012）とともに，需要が高くなっている（Crisosto ら，1995，Okie・Ramming，1999）．しかし，ブルーベリーを含む核果類の高品質果実を生産する場合，収穫調整に労力を要することから取扱量が限られるとともに，高品質果実は日持ち性が悪いため，需要に応えられていない（Crisosto ら，1995）．これらのことから，世界におけるブルーベリー生産拡大の可能性は高いと考えられる．本章では，本来，栽培適地ではない温暖湿潤気候でのブルーベリー栽培拡大の可能性を探るため，日本の西南暖地に位置する島根県出雲市をモデル地区として，適性品種を検討した．また，ブルーベリーの特徴の一つである抗酸化能についても検討した．

第1節 生育および樹体特性の品種比較

ブルーベリーは比較的冷涼で夏季に降水量の少ない地域で主に栽培されている．そのため，西南暖地のように夏季が高温かつ降水量の多い地域での栽培事例はほとんどない．そこで，本節ではモデル地区におけるブルーベリー8品種の生育特性および樹体特性について検討した．

材料および方法

1. 供試品種および栽培方法

島根県農業技術センターに植栽した雨よけ平棚栽培ブルーベリー品種‘プチュール’，‘パープルアイ’，‘ブルータン’，‘エドワーズ’，‘スタンレイ’，‘ベイラー’，‘プレジデント’および‘マジョリース・シードリング（以下マジョリース）’（ミロバランスモモ台木：以下ス台）を用いた．‘スタンレイ’は世界各地で栽培されていることから（Okie・Ramming，1999），標準品種として選び，他の7品種は，日本の主産地である長野県における収穫期が‘スタンレイ’と異なり，日本国内で苗木が購入できる品種とした．調査は2009年～2011年に行い，樹齢は初年目に4，5，11年生であった（‘プチュール’，‘パープルアイ’；4年生，‘ブルータン’，‘エドワーズ’，‘マジョリース’；5年生，‘スタンレイ’，‘ベイラー’，‘プレジデント’；11年生）．各品種の

苗木はス台に接ぎ木された 1 年生苗木であり、(株) ニッポン緑産より購入したものであった。雨よけ施設は間口 6 m、高さ 4 m のアーチ型連棟ハウス (10 a) であり、各品種 2~14 樹を列間 6 m、株間 3 m の並木植えて植栽した。調査には‘プチュール’および‘パープルアイ’は 2 樹、5 樹以上植栽された他の 6 品種では周辺効果の影響をあまり受けていない平均的な生育を示す 3 樹を用いた。

自家不和合性品種である‘プチュール’、‘ブルータン’、‘パープルアイ’、‘エドワーズ’、‘ベイラー’および‘プレジデント’は人工授粉を行い、自家和合性品種である‘スタンレイ’および‘マジョリース’は自然交配とした。なお、各品種における交雑和合性は第 1-1 表のとおりであった。栽培管理は島根県における慣行管理に従った。摘果は満開 30 日後頃 (5 月中旬) の予備摘果および 60 日後頃 (6 月中旬) の仕上げ摘果、その後の見直し摘果の 3 回を目安とし、収穫時に果実が触れ合わない程度とした。成木での年間施肥量は 10 a あたり N:16, P₂O₅:10, K₂O:11.6, CaO:18.3, MgO:5 kg であった。栽培管理は島根県におけるプルーン栽培の慣行管理 (島根県・JA 全農島根県本部, 2001) に従って行った (第 1-1 図)。

2. 生育特性および樹体特性

生育特性は育成系統適応性検定試験・特性検定試験調査方法 (スモモ; 独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構果樹研究所, 2007) に基づき、開花期、収穫期について調査した。開花期は開花 20% 程度を開花始期、開花 80% 程度を満開期、開花 95% または落弁始めを開花終期とした。収穫は果実を指でつまみやや軟らかくなった頃を目安に開始した。また、収穫終了後、1 樹あたりの樹冠占有面積を測定した。

樹体特性は農業生物資源ジーンバンク事業における遺伝子資源データベース (2016) に基づき調査を行った。枝の発生程度は、垂主枝先端部 2 m の範囲の 1 年生休眠枝の発生数を粗:20 以下, 中:21~30, 密:31 以上で判定した。短果枝の着生は、2 年生枝の 1 m あたりにおける 20 cm 以下の 1 年生枝の数を少:10 以下, 中:11~15, 多:16 以上で判定した。花芽の着生は、10~30 cm の 1 年生枝における長さ 10 cm あたりの花数を少:10 以下,

中：11～20，多：21以上で判定した。

結果

1. プルーン主産地の気候

世界のプルーン産地における生育期の平均気温は 16.6～19.3℃であり、産地間で差があった（第 1-2 表）。また、年間降水量は 712 mm 以下、生育期の降水量は 482 mm 以下であり、特に地中海性気候の地域ではプルーン収穫期における降水量は少なかった（第 1-2 図）。さらに、成熟期における昼夜温の差は 10～20℃と大きい。一方、日本におけるプルーン主産地である長野県佐久市の年間降水量は 961 mm であり、世界の産地と比較して多いのが特徴である。長野県に続いてプルーン生産量の多い青森県および北海道の主産地である弘前市と余市町の年間降水量も 1183mm および 1353mm と多い。今回モデル地区として選定した出雲市は、年間降水量が 1685 mm であり、6 月および 7 月の梅雨期に降水量が多くなる温帯モンスーン気候の特徴を示した。

出雲市の収穫期における降水量は 418 mm であり、佐久市、弘前市および余市町と同程度であるが、世界のプルーン産地と比較して多かった（第 1-2 図）。また、出雲市、佐久市、弘前市および余市町の間で、生育期間中の日照時間に大きな差はない（第 1-3 図）。出雲市における生育期間中の最高気温は、佐久市とほとんど差がなかったが、弘前市とは 2.2℃程度、余市町とは 4.5℃以上高かった。そして国内のプルーン産地である佐久市、弘前市および余市町では最低気温が低く、特にプルーンの成熟期である 7 月から 10 月における昼夜温の差が 9.0～11.2℃と大きいことが特徴である。また、佐久市における平均風速は $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 程度であるのに対して、出雲市および余市町は年間を通して平均風速が $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上であることが明らかとなった。

2. 生育特性、樹体特性および収量の比較

各品種の生育特性を第 1-4 図に示した。島根県におけるプルーンの開花期は 3 月下旬から 4 月中旬であり、3 月の平均気温の高かった 2009 年では、他の 2 年より開花期が早くなるとともに開花期間が長くなった。2011 年は 3

月の平均気温が低く、開花期が遅くなるとともに各品種の開花期に差がなくなった。また、各品種における開花期の違いは‘パープルアイ’を除いて3年間を通じて同じ傾向であった。そして‘ブルータン’を除く7品種の収穫時期は3年間を通じて一定であった。つまり‘プチュール’、‘パープルアイ’および‘ブルータン’は早生で収穫期が8月中旬から下旬、‘エドワーズ’、‘スタンレイ’および‘ベイラー’は中生で収穫期が9月上旬から10月上旬、‘プレジデント’および‘マジョリース’は晩生で収穫期が10月上旬から下旬であった。

‘スタンレイ’、‘ベイラー’、‘プレジデント’および‘マジョリース’における樹冠占有面積あたりの収穫量は、 $1000 \text{ kg} \cdot 10\text{a}^{-1}$ 以上であり、特に‘ベイラー’では調査を行った3年間を通じて、 $1800 \text{ kg} \cdot 10\text{a}^{-1}$ 以上と収量性が高かった（第1-3表）。‘プチュール’、‘パープルアイ’および‘ブルータン’の収穫量は $775 \text{ kg} \cdot 10\text{a}^{-1}$ 以下であった。

各品種の樹体特性を第1-4表および第1-5図に示した。樹勢は‘プチュール’でやや弱かった。枝の発生密度は中から密であり、短果枝の着生は中以上と多かった。花芽は‘プチュール’、‘パープルアイ’および‘エドワーズ’で少なかった。また、‘プチュール’、‘スタンレイ’および‘ベイラー’は短果枝が着生しやすいタイプであったが、他の品種は側枝の基部がはげ上がりやすく、短果枝が維持しにくいタイプであった。

第1-1表 プルーンの交雑和合性 (今川, 2000a; 各種苗木カタログより)

雌しべ	花粉									
	プチュール	パープルアイ	ブルータン	エドワーズ	スタンレイ	ベイラー	プレジデント	マジョリース	トランスパレント	アーリーリバー
プチュール	X ^z	-	-	○	-	○	○	-	○	○
パープルアイ	-	X	-	-	○	-	-	○	-	-
ブルータン	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-
エドワーズ	○	-	-	X	-	-	-	-	○	○
スタンレイ	-	-	-	-	○	◎	◎	-	-	-
ベイラー	-	-	-	-	◎	X	○	-	◎	-
プレジデント	-	-	-	-	◎	△	X	-	◎	◎
マジョリース	-	-	-	-	○	-	-	○	-	-
トランスパレント	○	-	-	○	-	-	-	-	-	-
アーリーリバー	○	-	-	-	-	◎	◎	-	◎	-
オパール	○	-	-	○	-	-	-	-	-	-
サンタス	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○
シユガー	-	-	○	-	-	◎	◎	-	◎	-
トレジディ	-	-	○	-	-	△	◎	-	◎	-
フレンチ	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-
サージエン	○	-	-	-	-	-	-	-	◎	-

^z 結実率はX:5%未満, △:5~30%, ○:30~50%, ◎:50%以上, -:データなし

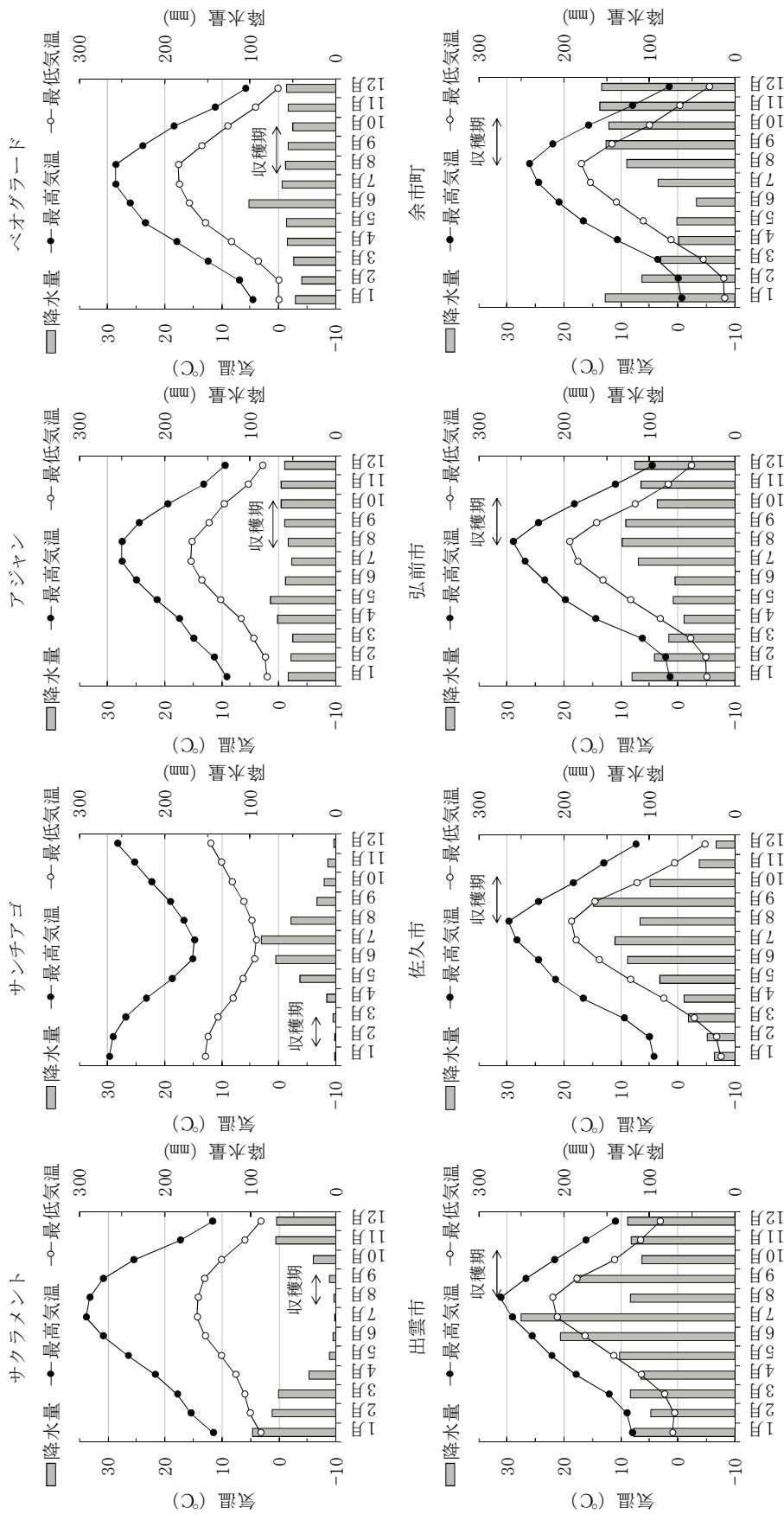


第1-1 図 ブルーン栽培管理の状況

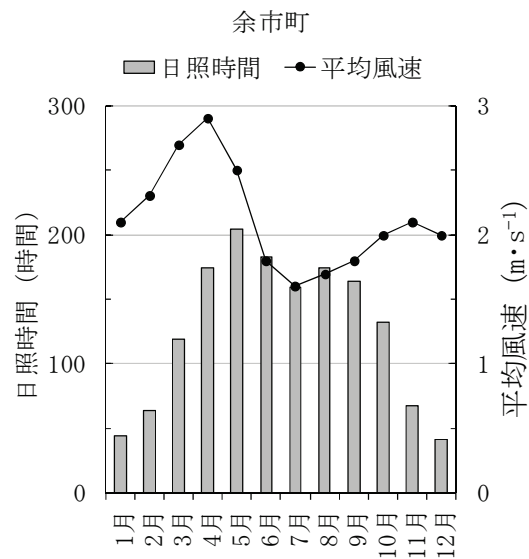
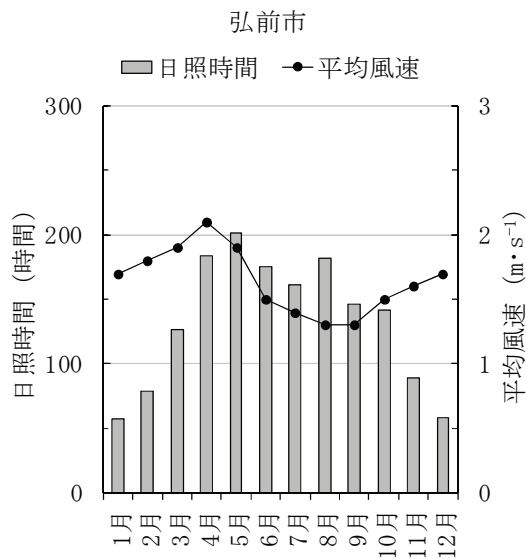
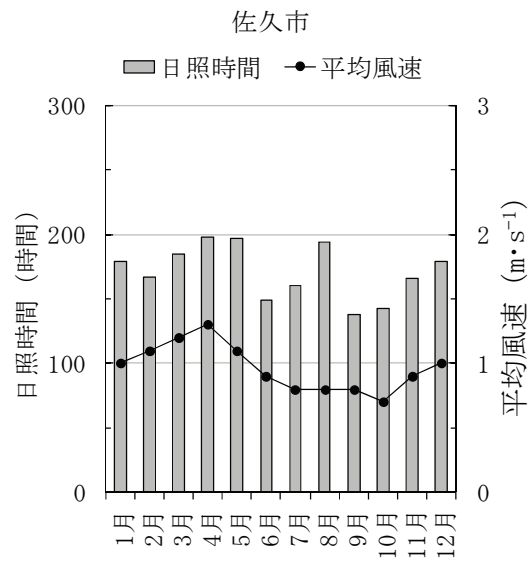
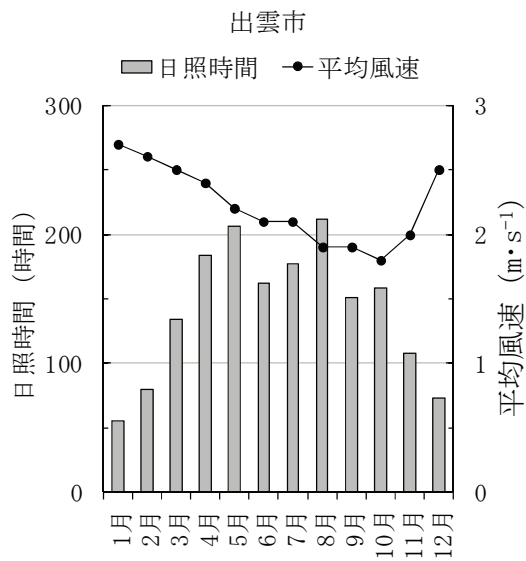
第1-2表 世界と日本のプルーン栽培地域における気温と降水量²

項目	時期	アメリカ (サクラメント)	チリ (サンチアゴ)	フランス (アジャン)	セルビア (ベオグラード)
		(Csa: 地中海性気候)	(Csb: 地中海性気候)	(Cfb: 西岸海洋性気候)	(Dfa: 亜寒帯湿潤気候)
平均気温 (°C)	年間	15.9	15.4	13.4	12.5
	生育期	19.3 (3~10月)	17.8 (9~4月)	16.6 (3~10月)	18.4 (4~10月)
	休眠期	8.4 (12~2月)	9.9 (6~8月)	6.2 (12~2月)	3.7 (12~3月)
降水量 (mm)	年間	459	313	712	691
	生育期	147 (3~10月)	62 (9~4月)	482 (3~10月)	442 (4~10月)
	休眠期	242 (12~2月)	209 (6~8月)	167 (12~2月)	194 (12~3月)
日本					
項目	時期	出雲市	佐久市	弘前市	余市町
		(Cfa: 温暖湿潤気候)	(Dfa: 亜寒帯湿潤気候)	(Dfa: 亜寒帯湿潤気候)	(Dfb: 亜寒帯湿潤気候)
平均気温 (°C)	年間	14.6	10.6	10.2	8.1
	生育期	18.4 (3~10月)	17.1 (4~10月)	16.7 (4~10月)	14.6 (4~10月)
	休眠期	5.5 (12~2月)	0.3 (12~3月)	-0.1 (12~3月)	-2.3 (12~3月)
降水量 (mm)	年間	1685	961	1183	1353
	生育期	1239 (3~10月)	788 (4~10月)	664 (4~10月)	693 (4~10月)
	休眠期	342 (12~2月)	131 (12~3月)	409 (12~3月)	503 (12~3月)

² 1981年から2010年までの平年値

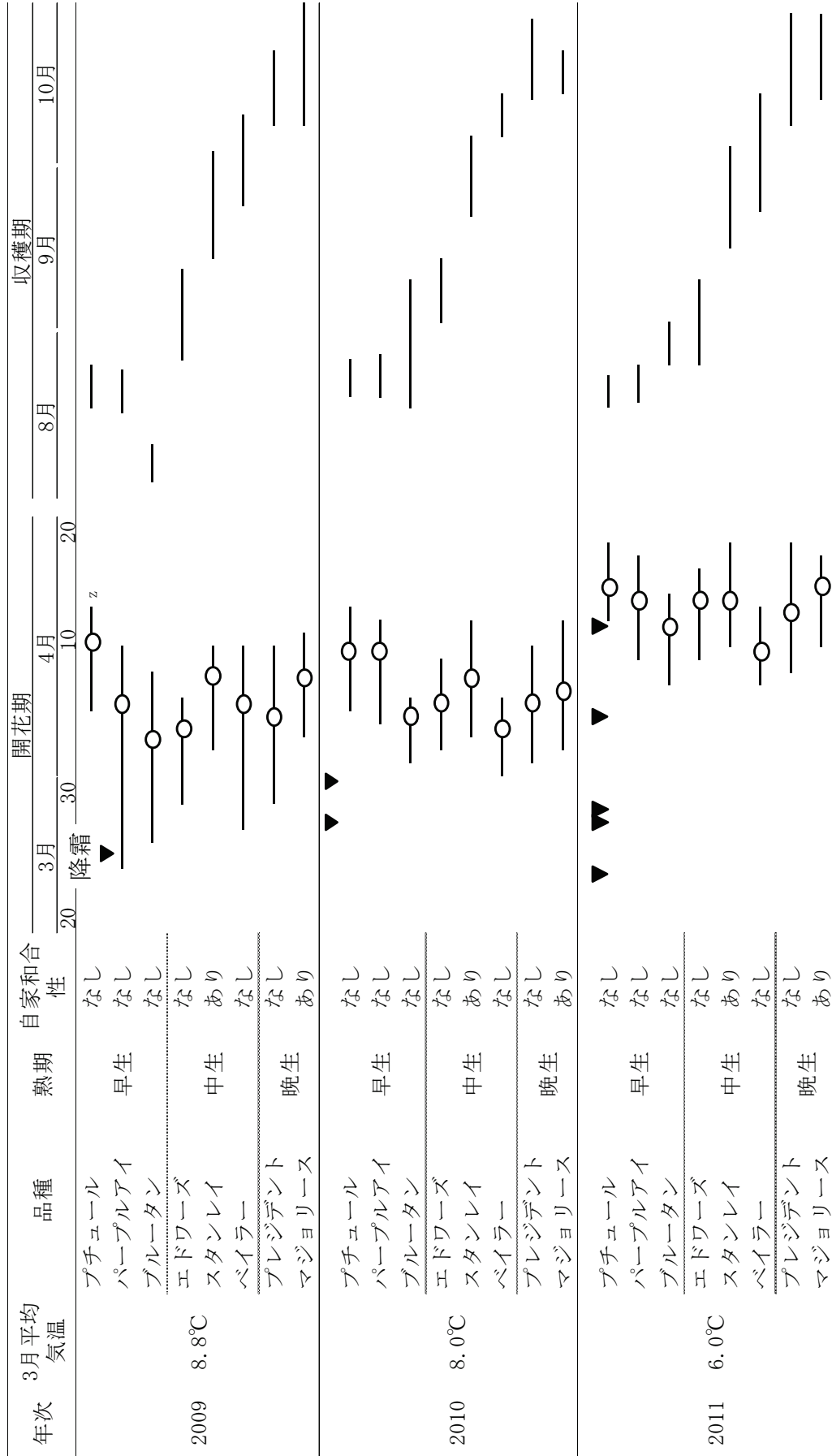


第1-2図 世界と日本のブルーベリー栽培地域における月別最高気温、最低気温および降水量の変化^z
^z 1981年から2010年までの平年値



第 1-3 図 出雲市と日本のプルーン栽培地域における月別日照時間および平均風速の変化^z

^z 気温と風速は 1981 年から 2010 年の平均値，日照時間は 1987 年から 2010 年の平均値



第1-4図 島根県におけるプルーンの開花期と収穫期

^z 横線は開花期間または収穫期間を示し、○は満開期を示す

第1-3表 プルーンにおける収穫量の比較

品種	収穫量 ^z (kg・10a ⁻¹)		
	2009年 ^y	2010年	2011年
プチュール	337.6 b ^x	159.9 c	375.0 c
パープルアイ	284.5 b	307.7 c	775.1 bc
ブルータン	456.1 b	661.2 bc	441.8 c
エドワーズ	469.8 b	744.2 bc	1,181.8 abc
スタンレイ	1,376.7 a	1,639.1 a	1,832.0 ab
ベイラー	1,882.5 a	1,979.6 a	1,907.5 a
プレジデント	1,382.1 a	1,092.4 bc	1,278.8 abc
マジョリース	1,704.3 a	1,292.9 ab	1,673.1 ab

^z 雨よけ平棚栽培における樹冠占有面積あたりの収穫量

^y プチュール、パープルアイ：4年生；ブルータン、エドワーズ、マジョリース：5年生；スタンレイ、ベイラー、プレジデント：11年生

^x Tukey-Kramerの多重検定により異符号間に5%水準で有意差あり

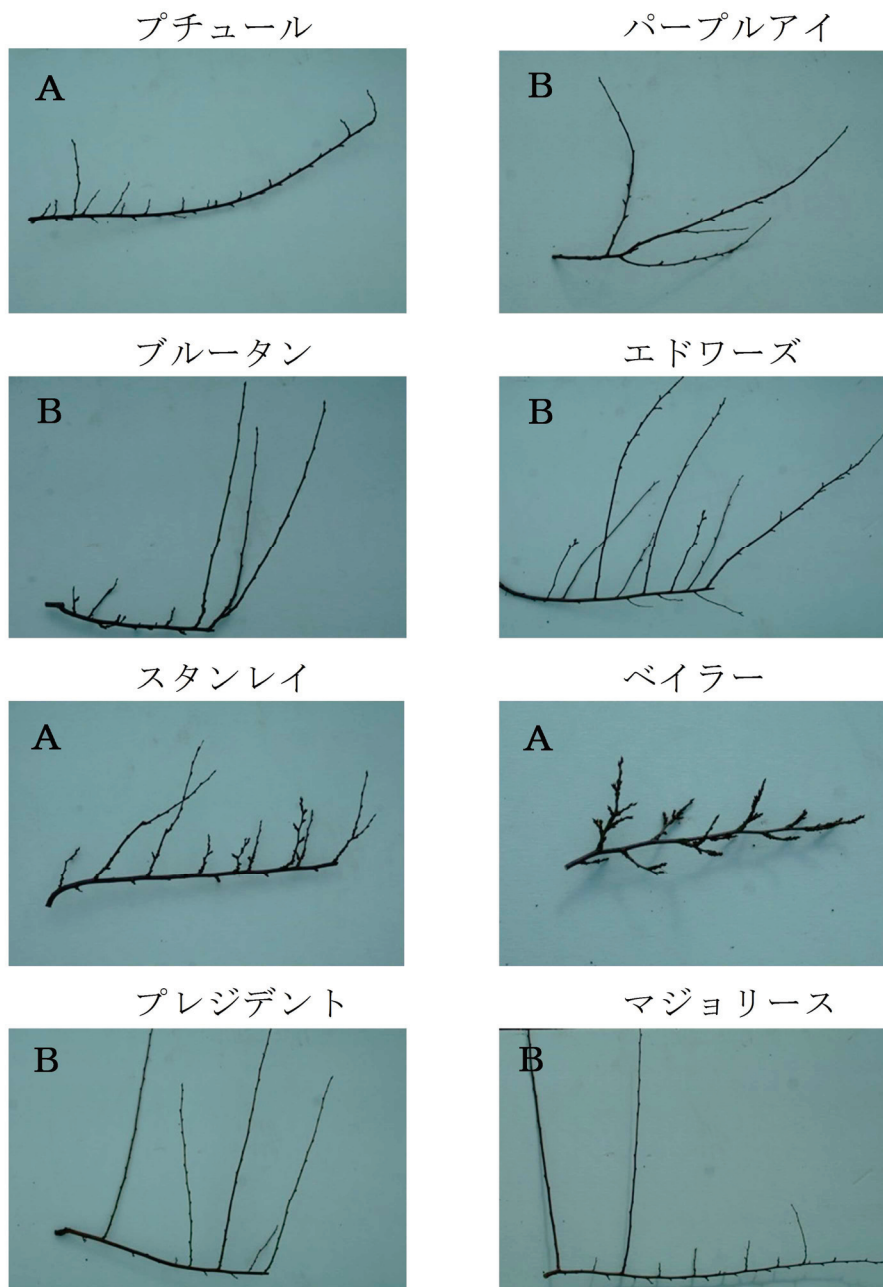
第1-4表 プルーン各品種の樹体特性

品種	樹勢	枝の発生 密度 ^z	短果枝の 着生 ^y	花芽	
				着生 ^x	着生部位
プチュール	やや弱	中	多	少	全体
パープルアイ	強	中	多	少	基部
ブルータン	強	密	中	中	基部
エドワーズ	強	中	中	少	基部
スタンレイ	中	中	多	多	全体
ベイラー	中	密	多	多	基部
プレジデント	強	中	中	多	全体
マジョリース	強	中	多	中	全体

^z 亜主枝先端部2mの範囲の1年生休眠枝の発生数を粗：20以下，中：21～30，密：31以上で判定

^y 2年生枝の1mあたりにおける20cm以下の1年生枝の数を少：10以下，中：11～15，多：16以上で判定

^x 10～30cmの1年生枝における長さ10cmあたりの花数を少：10以下，中：11～20，多：21以上で判定



第 1-5 図 プルーンにおける短果枝着生の特徴

A : 短果枝が維持しやすいタイプ

B : 短果枝が維持しにくく，側枝の基部がはげ上がりやすいタイプ

第2節 果実品質および果実成熟特性の品種比較

ブルーベリー栽培では、地域特性に応じた品種選択することによって、高品質果実の生産と販売が可能である（宮澤・田尻，2003）。また、ブルーベリーは日持ち性が悪いことから早取りされることが多く、消費者の満足する果実を提供することが出来ていない（Valeroら，2003）。本節では、雨よけ栽培における完熟果実品質を比較するとともに、成熟に伴う果実品質の変化を検討した。

材料および方法

供試品種および栽培方法は前節と同じであった。

1. 果実品質

果実特性は育成系統適応性検定試験・特性検定試験調査方法（スモモ；独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構果樹研究所，2007）に基づき行った。完熟果実品質の調査には、2009年は1樹あたり3～6果、2010年および2011年は1樹当たり10～20果を用いた。調査項目は果実重、果形、果皮色、果肉色、果実および果肉硬度、糖度、酸度および核の粘離とした。また、2011年の果実調査では各品種10果程度を用いて果粉量、酸含量および搾汁率も調査した。

果皮色は果実側面の果粉をガーゼ等で除去後、色差計（Color Reader CR-10, MINOLTA）を用いて測定し、L*、a*、b*値およびh*値で表した。また、果肉色は果実側面の断面を色差計で測定し、L*、a*およびb*値で表した。硬度は果実硬度計（KM-1・円錐形プランジャー、藤原製作所製）を用い、果実側面の対面する2ヶ所を果皮の上から測ったものを果実硬度、果実側面を厚さ2 cm程度で切った断面を測ったものを果肉硬度とした。糖度は屈折計（N-1E, ATAGO）で測定した。果皮色、果肉色、果実および果肉硬度、糖度は、果実の両側面で測定した。粘離の判定は果肉と核の離れ易さから4段階で判定した。すなわち、粘離；完熟しても離れない、半粘離；完熟すると少し離れる、半離核；完熟すると容易に離れる、離核；未熟でも容易に離れる、とした。搾汁には2分の1から3分の1に切った果実を用いた。具体的には、搾汁器

(SUPER EXTRACTOR, ATAGO) を用いて搾汁を行った後にガーゼで濾し、搾汁率は搾汁後の果汁重を搾汁前の果実重で除して求めた。酸含量は 0.1 N NaOH で中和滴定した値をリンゴ酸含量に換算した。果粉の厚さを測定するため、‘スタンレイ’を用いて人為的に果粉を除去した 4 段階の果粉量区を設定した。各果粉量区の果粉着生程度は目視により 1; 微, 2; 少, 3; 中, 4; 多に判定した。次に果粉除去前の果皮色 L*値から果粉除去後の果皮色 L*値を引いた値(果粉除去前後の果皮色 L*値の差)を求めた。目視による果粉量区(X)と果粉除去前後の果皮色 L*値の差(Y)との関係を見ると、両者の間には $Y = 3.305X + 2.3667$ ($R^2 = 0.7905$, データ省略) の有意な相関関係が認められた。このことから、果粉除去前後の果皮色 L*値の差を果粉量の厚さとした。

2. 果肉色, 果皮色および果実品質の推移

果肉色, 果皮色, 果肉硬度, 糖度および酸度の推移は 2010 年および 2011 年に調査を行った。2010 年は満開後 80 日前後から, 2011 年は満開後 50 日前後から約 1 週間間隔で 1 樹あたり 3~5 果を採取して調査に用いた。調査方法は果実品質と同様にして行った。酸度は簡易 pH メーター(B-211, HORIBA) を用いて測定した。

結果

1. 果実品質

第 1-5 表には 2011 年の果実品質を示した。果実重は品種間で異なり, ‘パープルアイ’, ‘エドワーズ’ および ‘プレジデント’ は約 100 g の大果となり ‘プチュール’ と ‘スタンレイ’ は約 55 g の小果であった。果形は円形, 短楕円形, 紡錘形, 楕円形と異なっていたが, 短楕円形の品種が多かった。また, ‘ブルータン’ および ‘エドワーズ’ は半粘核, ‘パープルアイ’ および ‘マジョリース’ は半離核, 他の 4 品種は離核であった。果実硬度は, ‘スタンレイ’ および ‘プレジデント’ で 0.70 kg 以上と高く, ‘プチュール’ では 0.56 kg と低かった。果肉硬度は, ‘スタンレイ’ で 0.53 kg と最も高く, ‘プレジデント’, ‘ブルータン’, ‘マジョリース’ が続き, ‘パープルアイ’ では 0.34 kg と最も低かった。糖度は, ‘ベイラー’ で 25.8 ° と最も

高く，‘プレジデント’，‘スタンレイ’，‘マジョリース’，‘パープルアイ’
と続いた．また，‘ブルータン’および‘エドワーズ’では 15.8 ° 以下と
低かった．酸含量は‘ブルータン’で $1.54 \text{ g}\cdot 100\text{ml}^{-1}$ と最も高く，‘プレジ
デント’が続いた．また，‘スタンレイ’および‘ベイラー’の酸含量は 0.50
 $\text{g}\cdot 100\text{ml}^{-1}$ 以下と低かった．搾汁率は‘ブルータン’で 31.8% と最も高く，
‘エドワーズ’および‘パープルアイ’では 15.0% 以下と低かった．2009
年と 2010 年における果実重，果実硬度，果肉硬度および糖度は 2011 年と同
じ傾向であった．なお，いずれの品種においても収穫果で裂果の発生は見ら
れなかった．

プルーン果実の外観と縦断面を第 1-6 図に示した．‘プチュール’，‘パー
プルアイ’，‘ブルータン’および‘エドワーズ’では，収穫果において果肉
の黒褐変化などが見られた．同時に異臭のする果実もあった．一方，‘スタ
ンレイ’，‘ベイラー’，‘プレジデント’および‘マジョリース’では，果肉
の変色は見られなかった．

2. 果実品質の変化

1) 果肉色の変化

‘パープルアイ’，‘エドワーズ’，‘ベイラー’および‘マジョリース’に
おける樹上での成熟に伴う果肉色の推移を第 1-7 図に示した．4 品種におけ
る果肉色 a*値は異なるものの，成熟に伴って徐々に増加し，収穫期間中は
一定となった．‘ベイラー’および‘マジョリース’では，成熟期間中に果
肉色 L*値は 40 から 50，b*値は 30 前後でほぼ一定で推移した．一方，‘パー
プルアイ’，‘エドワーズ’における収穫前の L*値および b*値は，満開後 110
日まで‘ベイラー’と同様に推移したが，収穫直前または収穫期間中，急激
に減少した．つまり，‘ベイラー’および‘マジョリース’の果肉色は，緑
から黄色そして黄褐色となった．一方，‘パープルアイ’および‘エドワー
ズ’の果肉色は緑から黄色，そして収穫適期前後に黒褐色となった．‘プチ
ュール’および‘ブルータン’における果肉色の変化は‘パープルアイ’お
よび‘エドワーズ’と同様，‘スタンレイ’および‘プレジデント’におけ
る成熟中の果肉色変化は‘ベイラー’，‘マジョリース’と同様であった．

2) 果皮色の変化

2011 年における収穫時期の異なる ‘パープルアイ’, ‘エドワーズ’, ‘ベイラー’ および ‘マジョリース’ における果皮色差計値の推移を第 1-8 図に示した. いずれの品種においても L^*/b^* 値は収穫前まで 1~2 でほぼ一定であったが, 収穫前に増加し, その後収穫期に急激に低下した. また, h^* 値は未着色期において 100 前後で推移し, 着色期前に値が急激に低下し, 収穫期には急激に増加した.

3) 果肉硬度, 糖度および果汁 pH の変化

‘パープルアイ’, ‘エドワーズ’, ‘ベイラー’ および ‘マジョリース’ における樹上での成熟に伴う果肉硬度, 糖度および果汁 pH の推移を第 1-9 図に示した. ‘ベイラー’ の果肉硬度は満開後 140 日あたりまでは徐々に低下し 2 kg となり, 収穫前 2 週間あたりから急激に低下した. 果汁 pH は同様に高くなった. また, 糖度は満開後 120 日あたりから急激に上昇し, 収穫期間中にはほぼ一定となった. 他の 3 品種における変化も同様であった.

3. 果粉量の比較

果粉除去前後の果皮色色差計 L^* 値の差を調査した結果を第 1-10 図に示した. L^* 値の差が大きい ‘パープルアイ’, ‘エドワーズ’ および ‘マジョリース’ では目視による果粉量も多く, L^* 値の差が小さい ‘プレジデント’ では他の品種と比較して果粉量が少なかった.

第1-5表 プルーンにおける果実品質の比較 (2011年)

品種	1果重 (g)	果形	核の粘離	硬度		糖度 (° Brix)	酸含量 ^z (g/100ml)	搾汁率 (%)
				果実 (kg)	果肉 (kg)			
プチュール	54.5 ^{c,xy}	円	離核	0.56 ^c	0.36 ^{cd}	19.0 ^{bc}	0.93 ^{bc}	17.9 ^{abc}
パープルアイ	111.9 ^a	短楕円	半離核	0.65 ^{abc}	0.34 ^d	20.0 ^b	1.06 ^b	12.8 ^c
ブルータン	71.1 ^{bc}	短楕円	半粘核	0.60 ^{bc}	0.45 ^{abc}	15.5 ^d	1.54 ^a	31.8 ^a
エドワーズ	117.0 ^a	短楕円	半粘核	0.66 ^{ab}	0.39 ^{cd}	15.8 ^{cd}	0.96 ^{bc}	15.1 ^{bc}
スタンレイ	56.4 ^c	紡錘	離核	0.74 ^a	0.53 ^a	20.2 ^b	0.48 ^d	26.9 ^{ab}
バイラー	71.2 ^{bc}	紡錘	離核	0.60 ^{ab}	0.44 ^{bcd}	25.8 ^a	0.49 ^d	25.7 ^{abc}
プレジデント	99.9 ^a	楕円	離核	0.71 ^a	0.49 ^{abc}	21.1 ^b	1.11 ^b	18.9 ^{abc}
マジョリース	78.3 ^{bc}	短楕円	半離核	0.66 ^{ab}	0.48 ^{abc}	20.1 ^b	0.70 ^{cd}	22.2 ^{abc}

^z リンゴ酸含量に換算

^y 同一列間において異符号間にはTukey-Kramerの多重検定により5%水準で有意差あり



‘プチュール’



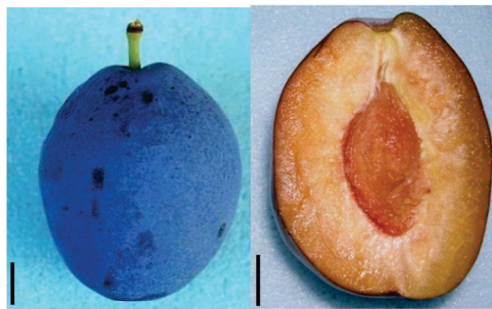
‘パープルアイ’



‘ブルータン’



‘エドワーズ’



‘スタンレイ’



‘ベイラー’



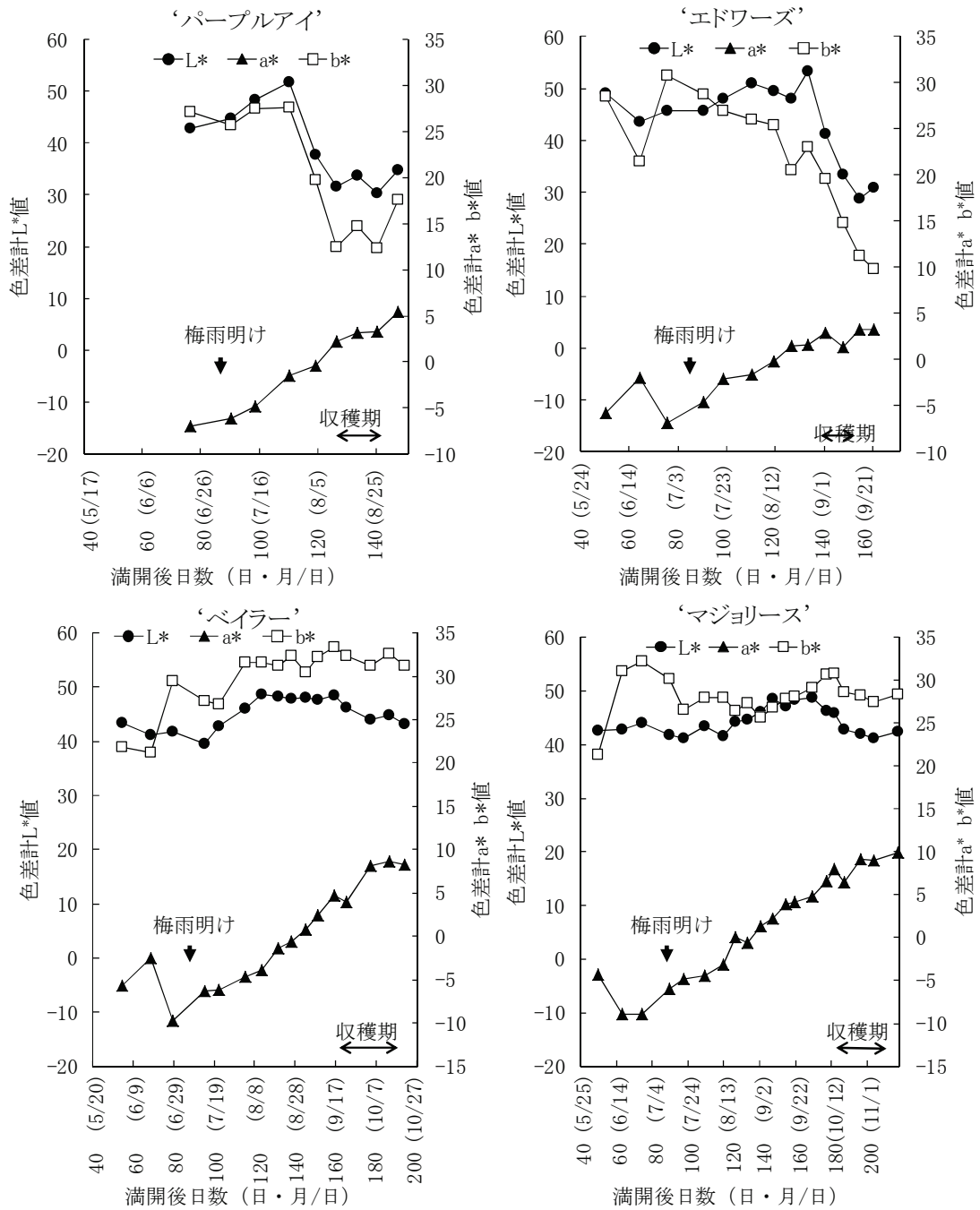
‘プレジデント’



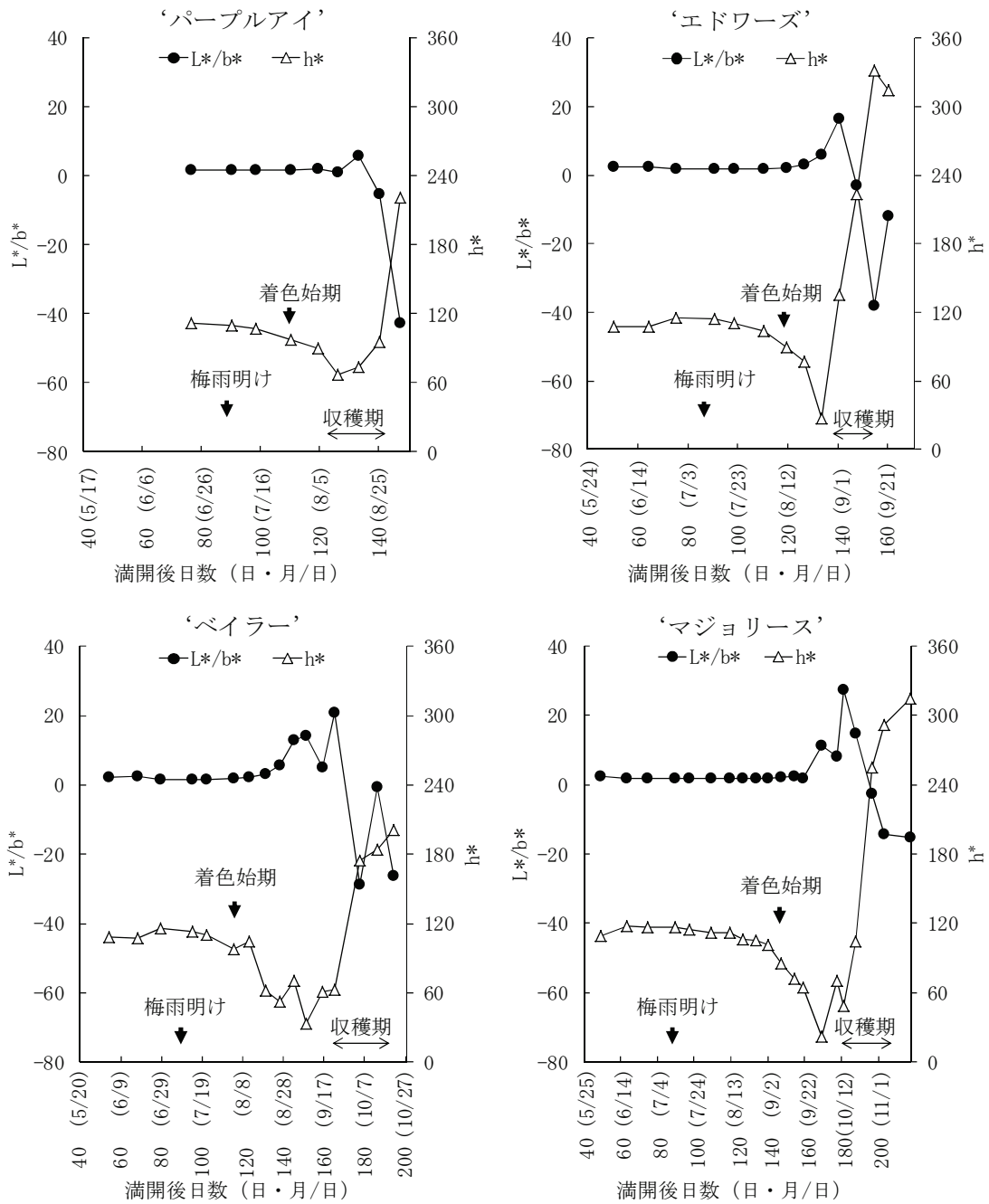
‘マジヨリス’

第 1-6 図 島根県において栽培したプルーン果実の外観および縦断面の様子

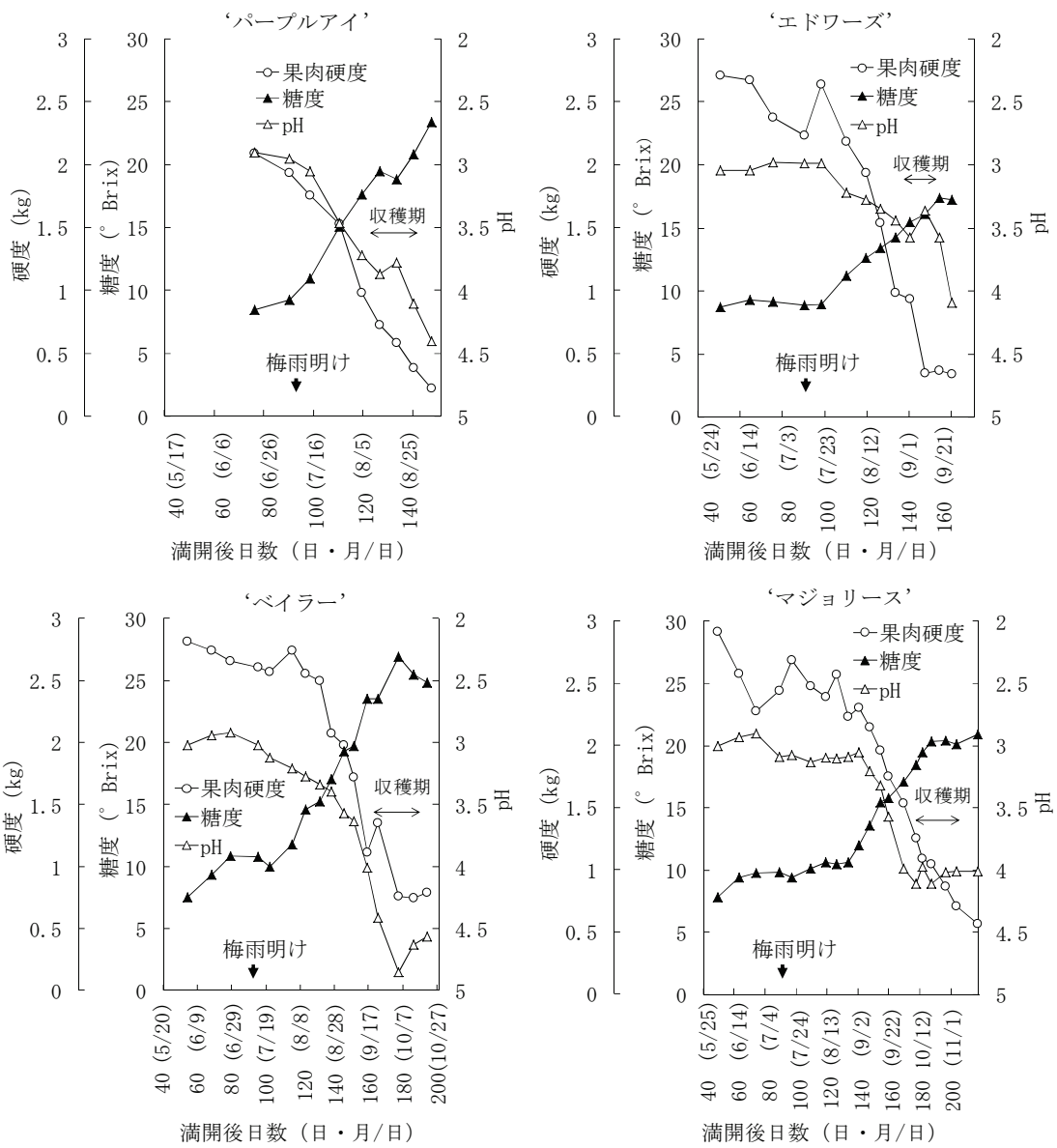
z 縦バーは 1cm を示す



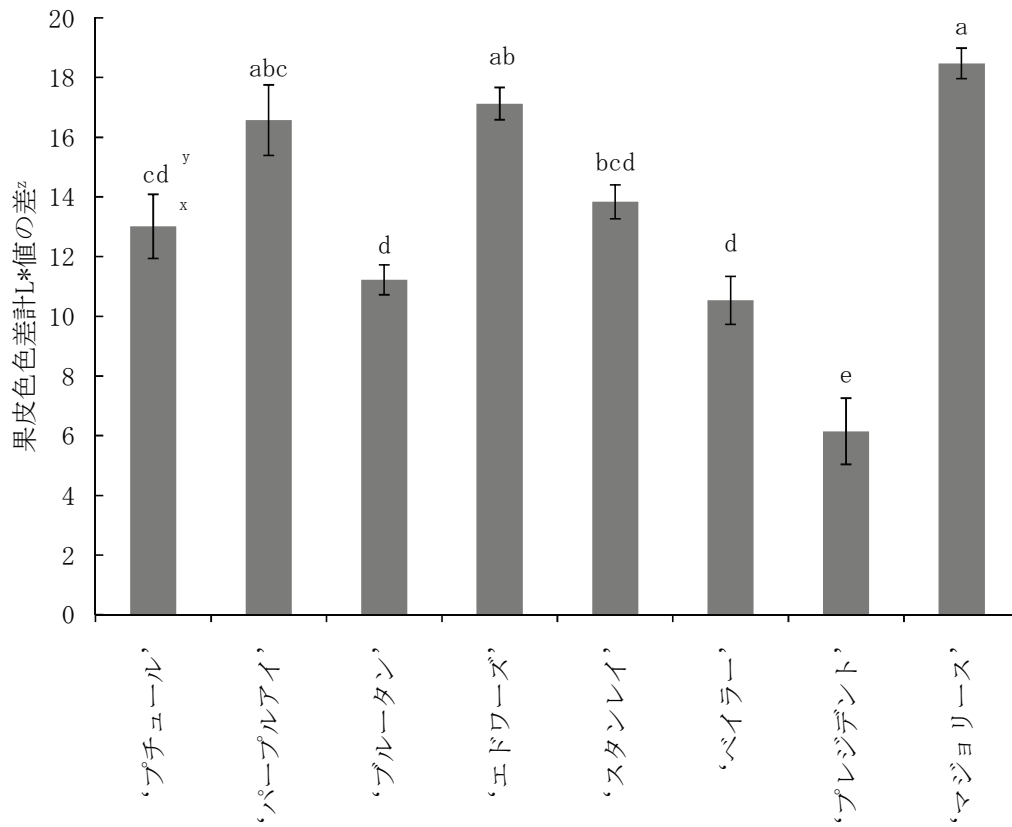
第 1-7 図 プルーン各品種における果肉色色差計値の時期別変化 (2011 年)



第 1-8 図 プルーン各品種における果皮色色差計値の時期別変化 (2011 年)



第 1-9 図 プルーン各品種における果肉硬度, 糖度および酸度の時期別変化 (2011 年)



第 1-10 図 プルーン成熟果実における果粉除去前後の果皮色色差計 L 値の差 (2011 年)

^z 果粉除去前の L*値から果粉除去後の L*値を引いた値

^y 異符号間には Tukey の多重検定により 5%水準で有意差あり

^x 縦棒は標準誤差を示す (n=9~10)

第3節 果実における抗酸化能の比較

ブルーンは機能性が高いことからミラクルフルーツと呼ばれている。機能性の中の一つである抗酸化能は、生体の酸化を防止する効果の指標として重要視され、様々な方法で測定されている（渡辺ら，2009）。それらの中で統一的な食品の抗酸化能測定方法として注目されている ORAC (Oxygen Radical Absorbance Capacity：活性酸素吸収能) 法を用いて、ブルーンの抗酸化能を評価した。

材料および方法

1. 供試品種

第1節および第2節と同じ8品種を供試し、2012年に収穫した果実を用いた。各品種の収穫日は、‘プチュール’（8月10日）、‘パープルアイ’（8月18日）、‘ブルータン’（8月20日）、‘エドワーズ’（9月7日）、‘スタンレイ’（9月21日）、‘ベイラー’（10月2日）、‘プレジデント’（10月18日）および‘マジョリース’（10月23日）であり、各品種5果を調査に用いた。

2. 試料の調製

収穫した果実は果皮色および果肉色を測定後、核を除き、くし形に切断した。切断した果実は果肉と果皮に分け、 -60°C で凍結保存した。凍結乾燥（FD-4 BMS, 日本テクノサービス（株））後、液体窒素中で粉砕（SKミル, フナコシ）したものを測定に用いた。

抽出および評価は H-ORAC 分析法標準手順書 (20 μM Trolox 基準改良法) (独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構食品総合研究所編, 2013) に準拠して行った。凍結乾燥後の粉末試料を 0.4~0.7 g 正確に量り、メタノール：酢酸：水 (90：0.5：9.5, 以下 MWA とする) で 90 分間攪拌抽出し、 -20°C で 1 日~2 日間静置した。

3. 測定方法

試料を遮光条件で室温に戻し、遠心分離後、上清を回収し Assay buffer (75 mM リン酸バッファー, pH7.4) で 10 mL に定容し、10 倍希釈溶液とし

た. 96 穴マイクロプレートを用い, 10 倍希釈溶液を濃度調整した測定試料 35 μ L, Fluorescein working solution 115 μ L を加え, 37°C に保ったプレートリーダー (Wallac 1420 ARVO SX, パーキンエルマー社製) を用い, Fluorescein の蛍光強度 (励起波長 485 nm, 検出波長 530 nm) を測定した. AAPH 溶液 (2, 2' -Azobis (2-amidinopropane) Dihydrochloride) (31.7 nM, Assay buffer) を 50 μ L 加えて浸透攪拌後, 添加から 2 分後から 2 分間隔で 90 分間蛍光強度の経時変化を測定した. 蛍光強度の軸と時間軸とのグラフに囲まれた面積 (Area Under Curve: AUC) を算出した. Trolox (6-Hydroxy-2, 5, 7, 8-tetramethylchroman-2-carboxylic Acid) を標準物質として測定結果を Trolox 当量で示し, 100 g 新鮮重あたりの ORAC 値 (μ mol TE/100g FW) とした.

結果

1. プルーンにおける部位別 ORAC 値

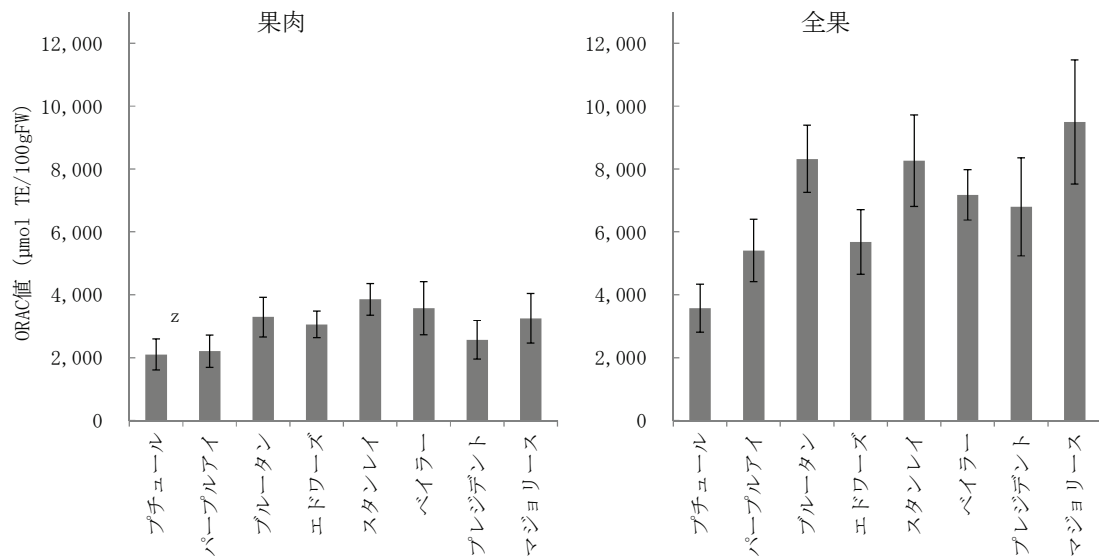
プルーンの果肉および全果における ORAC 値を第 1-11 図に示した. 果肉の ORAC 値は 'スタンレイ' において最も高く 3857 μ mol/100 gFW であり, 'ブルータン', 'エドワーズ', 'ベイラー', 'プレジデント' および 'マジョリース' では 3000 μ mol/100 gFW 以上であった. ORAC 値が最も低いのは 'プチュール' であり, 2101 μ mol/100 gFW であった.

全果の ORAC 値は 'マジョリース' において最も高く 9496 μ mol/100 gFW であり, 'ブルータン', 'エドワーズ', 'ベイラー', 'プレジデント' および 'マジョリース' では 6000 μ mol/100 gFW 以上であった. ORAC 値が最も低いのは 'プチュール' であり, 3577 μ mol/100 gFW であった.

2. 果皮色と果皮における ORAC 値の関係

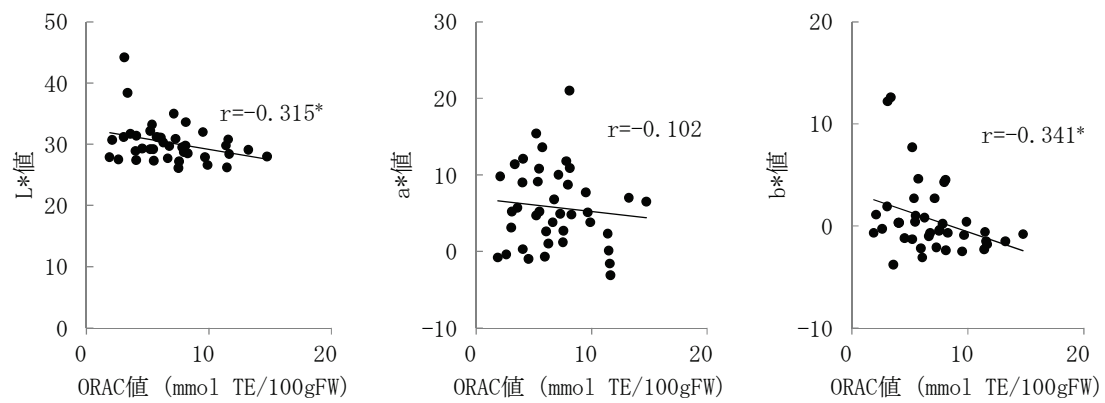
果皮色色差計値と全果の ORAC 値の関係を第 1-12 図に示した. 色差計 L* 値および b* 値と ORAC 値の間にはそれぞれ負の相関関係が認められた

($r=-0.315$ および $r=-0.341$). しかし, 色差計 a* 値と ORAC 値の間には相関関係が認められなかった.



第 1-11 図 プルーン果実の部位別 H-ORAC 値 (2012 年)

^z 縦棒は標準誤差を示す (n=5)



第 1-12 図 プルーン果実の果皮色色差計値と H-ORAC 値の関係 (2012 年)

^z * は 5% 水準で相関関係あり (n=40)

考察

1. 開花期の気象と結実の関係

世界最大のプルーン産地であるカリフォルニア州におけるプルーンの開花期は3月中旬から下旬であるが(Norton・Kruger, 2007), 暖冬の場合やや早くなる(Glozer・Niederholzer, 2007). また, ヨーロッパ主産地におけるプルーンの開花期は3月下旬から4月上旬である(Miloševićら, 2010; Šebek, 2013). そして, 開花期間中の降雨や強風, 異常高温, さらには霜害によって結実不良となる場合がある(Mikaら, 2012; Neumüller, 2011; Yao, 2011).

一方, 出雲市におけるプルーンの開花期は3月下旬から4月中旬であり, 降霜期と重なる. 開花期の早晩は3月の平均気温と関係しており, 3月の気温が高いと開花期が早くなり, 霜害を受ける可能性が高くなる. 調査を行った3年間において, 開花期から結実期における降霜は, 回数は異なるものの毎年発生した(第1-2図). また, 日本の主産地である長野県佐久市におけるプルーンの開花期は4月下旬から5月上旬であり, 出雲市と同様に降霜期と重なる.

このように, 温帯モンスーン地帯だけでなく, 現在のプルーン産地においても結実を確保するために, 防霜対策を行う必要がある.

また, モデル地区では特に春の強風による農作物の被害が多い(小豆澤, 2003). そのため本試験では降雨や強風による結実不良を避けるため, 雨よけ栽培を行った(第1-1図). 施設の換気を十分に行うことで, 高温による結実不良を回避した.

2. 交雑和合性の組み合わせによる結実の確保

プルーンは自家和合性品種と自家不和合性品種があり, 自家不和合性品種の結実を確保するためには, 授粉が必要である(Hartmann・Neumüller, 2009). また, 受粉時には交雑和合性のある品種の花粉を用いる必要がある. 本試験で用いた8品種の交雑和合性は第1-1表のとおりであり, 混植することで相互授粉が可能であると考えられた.

バラ科果樹は, 配偶体不和合性を示す事が知られており, ハプロタイプ(花

粉 S 遺伝子，雌ずい S 遺伝子）が調べられている（牛島，2005）．プルーンと同じスモモ亜属のウメ（林ら，2004；Yaegaki ら，2001），アンズ（Burgos ら，1998）およびニホンスモモ（雨宮ら，2005）でも S 遺伝子型が明らかにされている．Yamane・Tao（2009）は，ウメ，アンズおよびニホンスモモは 2 倍体であるが，プルーンは 6 倍体であるため，交雑不和合性のグループ分けが進んでいないとしている．そのため，プルーンは多品種の混植によって結実を確保していると考えられる．

3. 開花期の異なる品種の組み合わせによる結実の確保

自家不和合性品種の結実を確保するためには，交雑和合性とともに入花期の早晩も重要である（今川，2000a）．開花期の近い品種間における結実確保には，毛ばたきによる人工授粉やミツバチなど訪花昆虫が利用できる．開花期の早い自家不和合性品種では，花粉を採取して他品種との授粉に利用できると考えられる．また，開花期が早いとともに開花期間が短く，他品種と開花期が重ならないプルーン品種は結実を確保できる可能性が低いため導入を避けるべきであるが，本試験で用いた 8 品種の中にはなかった．

本試験で用いた自家不和合性の早生品種を栽培する場合，‘プチュール’と‘ブルータン’の開花期はほとんど重ならないことから，両品種と開花期の重なる‘パープルアイ’との混植が必要である．しかし，2010 年のように‘ブルータン’の開花期が早く，開花期間も短い場合は，早生 3 品種の混植だけでは結実が確保できない可能性がある（第 1-4 図）．これらのことから，自家不和合性品種の結実を確保するためには，開花期の重なる品種を導入するとともに人工授粉や虫媒授粉などを行う必要がある．なお，カリフォルニアで主に栽培されているプルーンは‘d’ Agen’種と呼ばれるフレンチプルーンであり（Okie・Ramming，1999），自家和合性であるが，結実安定と収穫量増加のため，ミツバチなどによる授粉を行っている（Vansell・Griggs，1952）．

4. 収量性と果実品質からみた温帯モンスーン地帯に適した品種

花芽着生等の樹体特性は，樹種および品種により異なり（田村ら，2010；

小川, 2012; 阿部ら, 2001; 佐竹・矢野, 1993), 収量性にも影響すると考えられる. プルーンにおいても樹体特性は品種により異なった (第 1-4 表, 第 1-5 図). ‘プチュール’ は樹勢が弱く, 花芽の着生が少ないことから収量性が低くなったと考えられる. ‘パープルアイ’, ‘ブルータン’ および ‘エドワーズ’ は花芽の着生がやや少なく, 側枝基部がはげ上がりやすいことから収量性が低くなったと推察された.

モデル地区である出雲市における樹冠占有面積あたりの収穫量は, 早生の ‘プチュール’, ‘パープルアイ’ および ‘ブルータン’ において $159\sim 775\text{ kg}\cdot 10\text{a}^{-1}$, 中生の ‘エドワーズ’ において $469\sim 1181\text{ kg}\cdot 10\text{a}^{-1}$, 中生の ‘スタンレイ’ および晩生の ‘ベイラー’, ‘プレジデント’ および ‘マジョリース’ において, $1092\sim 1979\text{ kg}\cdot 10\text{a}^{-1}$ であった. 中生の ‘スタンレイ’ および晩生の 3 品種の収量は, 調査を行った 3 年間を通して $1000\text{ kg}\cdot 10\text{a}^{-1}$ と高かった. 海外においてもこれらの品種は収量が高いことが報告されている. チェコ共和国において, スピンドル仕立ての 5 年生 ‘ベイラー’ および ‘プレジデント’ の収量は, それぞれ $1440\text{ kg}\cdot 10\text{a}^{-1}$ および $1680\text{ kg}\cdot 10\text{a}^{-1}$, であり早生および中生品種の収量 ($580\sim 1380\text{ kg}\cdot 10\text{a}^{-1}$) と比較し多かった (Blažek・Pištěková, 2009). ポーランドにおいて, 自然形整枝の 8 年生 ‘ベイラー’ および ‘プレジデント’ の収量はそれぞれ $2900\text{ kg}\cdot 10\text{a}^{-1}$ および $1700\text{ kg}\cdot 10\text{a}^{-1}$ であったが, 早生品種および中生品種の収量はそれぞれ $1200\sim 1800\text{ kg}\cdot 10\text{a}^{-1}$ および $1100\text{ kg}\cdot 10\text{a}^{-1}$ であった (Markuszewski・Kopytowski, 2013). セルビアにおける ‘スタンレイ’ の収量は, 改良円錐形整枝では $1333\sim 5300\text{ kg}\cdot 10\text{a}^{-1}$ であり (Rakičevićら, 2008), スピンドルブッシュ仕立てでは $1300\sim 2100\text{ kg}\cdot 10\text{a}^{-1}$ であり, 早生の ‘オパール’ の収量 ($400\sim 1,700\text{ kg}\cdot 10\text{a}^{-1}$) と比較して多かった (Milošević・Milošević, 2011). ルーマニアにおいては, ‘ベイラー’ および ‘スタンレイ’ における 1 樹あたりの収量は早生および中生品種と比較して 1.2~1.25 倍であった (Butacら, 2012). また, カリフォルニアにおけるプルーンの収量は, 肥沃な土壌において生果ベースで $3000\sim 3750\text{ kg}\cdot 10\text{a}^{-1}$ であり (Norton・Kruger, 2007), 産地全体のプルーン乾果の収量は $500\text{ kg}/10\text{a}$ であることから (California Department of Food and Agriculture (CDFA), 2016), 生果に換算すると $1400\sim 1750\text{ kg}\cdot 10\text{a}^{-1}$ と推定

される。さらに、高橋（2016）は物質生産が多く、果実分配率の高いブドウ‘デラウェア’の多収園を基準とすると、‘スタンレイ’における適正収量は約 $4600 \text{ kg} \cdot 10\text{a}^{-1}$ であるとの仮説を立てている。これらのことから、モデル地区においても早期に最適葉面積指数で全園が覆われるような高生産樹相にすることでプルーンの収穫量を高く出来る可能性が示唆された。一方、本試験において早生品種の収量は低かったものの、海外では収量の多い早生品種も報告されている（Embree ら, 1999 ; Blažek・Pištěková, 2009 ; Butac ら, 2012）。

最も重要な果実品質は食味であり、消費者や国によって異なるが、一般的には糖度が深く関係している（Neumüller, 2011）。中生および晩生の‘スタンレイ’、‘ベイラー’および‘プレジデント’は糖度が高く、良食味品種である。‘パープルアイ’は糖度が高いものの、硬度と搾汁率が低いことから食味が劣った。また、Crisosto（1994）は、糖酸比は果実品質に深く関係しているとしている。2011年における‘スタンレイ’、‘ベイラー’、‘プレジデント’および‘マジョリース’の糖酸比は 20.0~52.8 と高く（データ省略）、これらの品種は良食味品種と言える。

これらのことから、温帯モンスーン地域におけるプルーン栽培には収量性が高く、食味の良い中生および晩生品種である‘スタンレイ’、‘ベイラー’、‘プレジデント’および‘マジョリース’が生食用として適すると考えられた。また、これら4品種は花芽の着生数が多いことから収量が高いと考えられた。一方、村松・小嶋（2005）は、亜寒帯湿潤気候の北海道において、雨よけ栽培の‘パープルアイ’は市場性が優れると報告している。モデル地区において‘パープルアイ’は搾汁率および果肉硬度が低かったことから生食用としての栽培には適さなかったが、収穫期の8月に降雨が少なく、昼夜温差が 9°C 以上と大きい北海道（第1-2図）においては、果実品質が優れると考えられた。

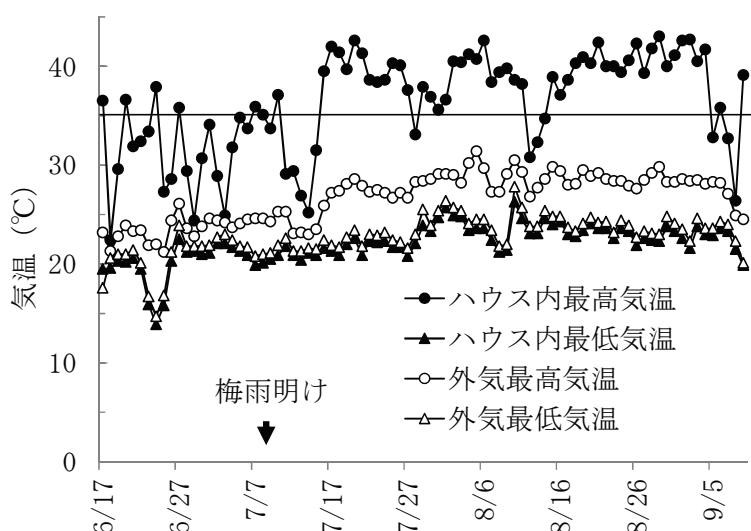
5. 高温障害の発生と収穫時期の関係

ニホンスモモや西洋スモモでは夏季の高温によって果肉の下層にある細胞が黒変することがある（Neumüller, 2011）。このことから、今回早生品種

（‘プチュール’，‘パープルアイ’，‘ブルータン’）と中生品種の‘エドワーズ’で見られた果肉の黒褐色化は同様の高温障害であると考えられる。また，これらの品種では，Neumüller（2011）が報告していることと同様，収穫前の果皮にも高温による凹みが生じた（第 1-13 図）。このことから，9 月上旬までに収穫期を迎えるこれらの 4 品種は，生食用完熟果生産を目的とした場合，モデル地区である温帯モンスーン地域での栽培には向かないと考えられた。

また，高温障害は 35℃以上の温度で発生するとされている（Neumüller, 2011）。モデル地区における梅雨明けは 7 月上中旬であり，梅雨明け後はハウス内温度が 35℃を超える日が増加する（第 1-9 図）。この時期は，ブルーンにおいて満開後 100 日前後であり，9 月上旬までに収穫を迎えるこれら 4 品種では，果肉硬度が低下し始める時期でもある（第 1-9 図）。このように急激な温度上昇と果実内部品質の変化する時期が重なることから，果面における高温障害が発生するとともに内部障害の起因となる考えられる。

果肉色の変化から，高温による果肉の褐変は収穫直前に発生することが明らかとなった（第 1-7 図）。果肉が褐変する前に収穫することも考えられるが，果皮の着色が不十分であり（第 1-8 図），硬度と酸度が高く，糖度が十分に上昇して（第 1-9 図）おらず，食味が劣っていることか，生食用として収穫することはできないと考えられた。



第 1-13 図 プルーン施設内温度および外気温の変化（2010）

プルーンや他の果実において果実表面に発生する果粉は、果面からの水分吸収や果皮からの蒸散を防止している (Kolattukudy, 1984). また、果粉量が果実品質保持に関係しているとの報告がある (Nunes・Emond, 2007) ことから、果粉量が果肉の黒褐色化発生の指標となるかを検討した。しかし、果粉量の多少と果肉の黒褐色化は関連性がないことが明らかとなった。

6. 他地域におけるプルーン栽培の可能性と品種選択

果実において、成熟期における昼夜温の日較差は、糖度の上昇 (Uematsu ら, 1997) や着色向上 (苦名ら, 1979) に繋がることが報告されている。世界のプルーン主産地および佐久市では、成熟期 (北半球では 7 月～10 月) の昼夜温の差が 10℃以上である (第 1-2 図)。一方、出雲市における昼夜温の差は平均値で 7 月が 7.8℃, 8 月が 9.1℃, 9 月が 9.0℃, 10 月が 10.5℃である。このことから、収穫期前月の昼夜温差が 7.8℃以下で成熟期を迎える早生の‘プチュール’, ‘パープルアイ’, ‘ブルータン’ および中生の‘エドワーズ’では、昼夜温差が小さいため、糖度が上昇せず、食味が劣ると考えられた。

ケッペン-ガイガーの気候区分では、東アジア (韓国沿岸部, 華中から華南の北部), アメリカ東部と南部, 黒海沿岸, オーストラリア東部, 南アメリカ東部などが出雲市と同じ温暖湿潤気候に分類されている (Peel ら, 2007)。これら温暖湿潤気候の地域において、中国の杭州, 韓国の釜山, アメリカのアトランタ, ロシアのソチを比べてみると, アトランタ, ソチでは、成熟期において昼夜間の温度差はほとんどの月で 7.8℃以上となり、モデル地区と同様な中生から晩生品種の‘スタンレイ’, ‘ベイラー’, ‘プレジデント’ および ‘マジョリース’ が適していると考えられた。一方、東アジアモンスーン気候に属する杭州および釜山では、それぞれ 8 月と 9 月および 7 月と 8 月での昼夜間の温度差が 7.8℃以下となることから、モデル地区において生食用適性を有する晩生品種よりもさらに遅い品種がよいと考えられる。なお、いずれの都市においても年間降水量が出雲市と同様に 1200 mm 以上と多いことから、プルーン栽培では雨よけは必須である。

7. プルーン果実の抗酸化能評価

アメリカ農務省 (United States Department of Agriculture : USDA) のデータベース (Haytowitz・Bhagmat, 2010) において、プルーン (生果) の ORAC 値はほとんどが水溶性の H-ORAC 値であることが知られている。そこで本試験ではプルーンの H-ORAC 値を ORAC 値として考察する。

本試験においてプルーン果肉の ORAC 値は品種によるバラツキは少なかったが、全果の ORAC 値は 3577~9496 $\mu\text{mol TE}/100 \text{ gFW}$ となり、品種によるバラツキが大きくなった (第 1-11 図)。佐藤ら (2010) もプルーンにおける ORAC 値は品種による差が大きいことを報告している。また、全果の ORAC 値は果肉の ORAC 値と比較して 1.7~2.9 倍となったことから、プルーンは果皮に強い抗酸化能があることが示された。深井・松澤 (2000) もプルーンにおける抗酸化能 (DPPH ラジカル消去活性) は特に果皮部において高いことを報告している。さらに、ORAC 値に対する果皮の影響は、果実の種類および品種により異なることが明らかとなっている (木村ら, 2011)。

果皮における抗酸化能はブドウ、リンゴ、ナスなどに含まれるアントシアニンやポリフェノールによっている (Tamura・Yamagami, 1994; 岸本ら, 2007; Igarashi ら, 1993)。また、イチジクの抗酸化能は果皮色の濃い品種ほど高いことが報告されている (Solomon ら, 2006)。本研究においてもプルーンの果皮色色差計値 L*値および b*値と ORAC 値の相関関係が高かったことから (第 1-12 図)、果皮色の濃い果実で抗酸化能が高いと推察された。また、早生と比較して晩生品種における ORAC 値が高くなる傾向が見られたことから (第 1-11 図)、食味の良い ‘スタンレイ’、‘ベイラー’、‘プレジデント’ および ‘マジョリース’ は抗酸化能も高く、販売面で優位であると考えられた。

これらのことから、プルーンは高い機能性を有しており、特に果皮に高い活性があることが分かった。したがって、プルーンは皮を含めて丸ごと食べるのが良いと考えられる。また、プルーンは完熟するほど抗酸化能が高くなる (Kristl ら, 2011) とともに、雨よけ栽培によって果実に含まれるポリフェノール量の年次変動が少ないことから (小嶋ら, 2005)、雨よけ栽培方法によって生産されるプルーンは果実品質だけでなく、抗酸化能も安定している可能性が高い。

要約

ブルーンは乾燥気候を好み、夏季に降水量の少ないカリフォルニアなどで主に栽培されており、夏季の気温が高く降水量の多い東アジアの温帯モンスーン地帯は本来ブルーン栽培の不適地である。本研究ではこれらの地域でのブルーン栽培拡大を目指し、西日本に位置する島根県出雲市をモデル地区として、収穫期が8月から10月の8品種（‘プチュール’、‘パープルアイ’、‘ブルータン’、‘エドワーズ’、‘スタンレイ’、‘ベイラー’、‘プレジデント’および‘マジョリース・シードリング’）を用い、生食用適性を有する品種の検討を行った。出雲市におけるブルーンの開花期は3月下旬から4月中旬であり、開花の早晩は3月の平均気温の影響を受けることが明らかとなった。開花期の年次変動があることから、自家不和合性品種の結実を確保するためには、開花期の重なる数品種の混植が必要であることが示された。また、出雲市におけるブルーンの開花期は降霜期と重なるため、霜害対策も必要である。さらに、出雲市におけるブルーンの成熟期は降雨が多いため、裂果を回避するための雨よけ栽培は必須である。収穫期が9月中旬以降の中生品種‘スタンレイ’と‘ベイラー’および晩生品種‘プレジデント’と‘マジョリース・シードリング’では、樹冠占有面積あたりの収穫量が1000 kg・10a⁻¹以上であり、糖酸比が20以上の高品質果実を生産することができた。一方、収穫期を8月から9月中旬に迎える早生および中生品種の‘プチュール’、‘パープルアイ’、‘ブルータン’および‘エドワーズ’では、樹冠占有面積あたりの収穫量が少ないうえに、果実の糖酸比が低く食味も劣った。さらに、これらの品種では、収穫前に果肉の褐変などの高温障害が発生した。果肉の褐変発生前の果実は果皮の着色が不十分であり、食味が劣っていることから、生食用果実として収穫することは出来ない。ブルーンは高い抗酸化能を有しており、特に果皮における活性が高いことが明らかとなった。また、晩生品種の抗酸化能が高くなる傾向があった。以上のことから、モデル地区である島根県出雲市におけるブルーン栽培には、収穫期が9月中旬から10月下旬の中生および晩生品種が生食用として適しており、抗酸化能も高いことが明らかとなった。さらに東アジアモンスーン地帯や世界の温暖湿潤気候地域におけるブルーン栽培の可能性が示唆された。

第2章 プルーン果実の成熟に伴う呼吸量とエチレン生成量の比較

プルーンを生産、流通させるためには、果実の生理化学的特性を十分に把握する必要がある。これまでプルーンはクライマクテリック型かノンクライマクテリック型の分類はなされておらず (Biale, 1960a), 数品種についてクライマクテリック型であることが報告されているにすぎない (Sekse, 1988; Rato, 2003; Lippert・Blanke, 2004; Kožíšková・Goliáš, 2013; Larsen・Vangdal, 2013)。また、果実の成熟型を分類する方法として、①樹上での成熟期における呼吸量またはエチレン生成量増加の有無 (北村ら, 1980; Smock・Neubert, 1950), ②成熟期に収穫した果実における採取後の呼吸量またはエチレン生成量増加の有無 (Biale, 1960b; 稲葉・中村, 1981; Kidd・West, 1930), ③外部エチレンまたはプロピレン処理による自己触媒的なエチレン生成の有無 (Li, 2012; McMuechie ら, 1972) がある。

そこで、本章ではプルーン主要品種の成熟型を明らかにするため、第1章と同じプルーン8品種を用いて、上記①～③について検討した。

第1節 樹上における呼吸量およびエチレン生成量の変化

本節ではプルーン8品種を用いて、未熟期から成熟期において樹上果実で推定される呼吸量およびエチレン生成量の変化を比較検討した。

材料および方法

1. 供試品種および栽培方法

島根県農業技術センターに植栽した雨よけ平棚栽培プルーン‘プチュール’ (成熟期: 8月中旬, 以下同様), ‘パープルアイ’ (8月中旬～下旬), ‘ブルータン’ (8月下旬), ‘エドワーズ’ (9月上旬～中旬), ‘スタンレイ’ (9月中旬～下旬), ‘ベイラー’ (9月下旬～10月上旬), ‘プレジデント’ (10月上旬～中旬) および ‘マジョリース・シードリング (以下マジョリース)’ (10月中旬～下旬) の8品種を各2～3樹用い, 調査は2012～2013年に行った。栽培管理は, 島根県におけるプルーン栽培の慣行管理 (島根県・JA全農島根県本部, 2001) に従って行った。

2. 果実の発育解析

果実の成長を解析するため、2012年に果実重および着色の変化を調査した。7月2日から約1週間間隔で外観が平均的な果実を各品種3~5果ずつ採取した。採取した果実は1果重および着色程度を測定し、果実肥大および発育段階を推定した。着色程度は目視による果実表面の着色割合を基に、0:0%（未着色：緑色）~10:100%（完全着色：黒紫色、紫色など各品種の固有色）の11段階で評価した。果実肥大第Ⅰ期は幼果期、第Ⅱ期および第Ⅲ期の前半は未熟期、第Ⅲ期の後半の8割着色以降は成熟期とした。

3. 樹上果における推定される呼吸量およびエチレン生成量の変化

1) 果実内部エチレン濃度の測定

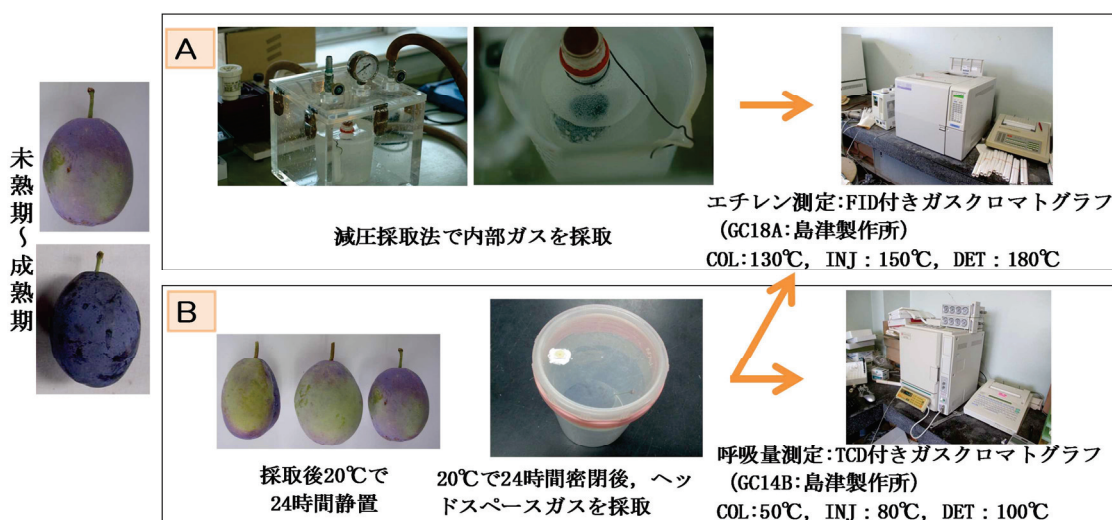
樹上での果実のエチレン生成量の時期別変化を推定するため、果実内部エチレン濃度を測定した。調査は2012年に行い、‘プチュール’を除く7品種について7月6日から約1週間間隔で外観が平均的な果実を各品種3~5果ずつ採取した。内部エチレンの採取および測定はItamuraら（2000）の方法に準拠して行った（第2-1図A）。すなわち、約4分の1に切った1.5Lのペットボトルの上部分を飽和食塩水が入ったデシケーター内に入れ、そのペットボトル中に果実をひとつずつ入れて中の空気をすべて飽和食塩水に置換して口に厚さ3mm程度のゴム栓をした。次に、デシケーター内をポンプで減圧、脱気し、ペットボトル上部に気体が十分に貯まった時点でデシケーター内を常圧に戻した。ペットボトルの口のゴム栓に注射針を差し込み、ヘッドスペースガスを1mL採取し、活性アルミナカラムとFID検出器付きのガスクロマトグラフ（GC-18A、島津製作所）に注入することでエチレン濃度を測定した。ガスクロマトグラフのカラム温度は130℃、注入口温度は150℃、検出器温度は180℃とした。

2) 未熟期から成熟期にかけての樹上における果実の呼吸量およびエチレン生成量の推定

調査は2012年および2013年に行った。2012年は‘プチュール’を除く7

品種を用い、果実は満開後約 80 日の 7 月 2 日から成熟期まで約 1 週間隔で各品種 3~5 果を採取した。2013 年は 8 品種を用いた。果実は着色期前後（‘ブチュール’：7 月 26 日，‘パープルアイ’，‘ブルータン’，‘エドワーズ’および‘スタンレイ’：7 月 12 日，‘ベイラー’および‘プレジデント’：8 月 23 日，‘マジョリース’：9 月 5 日）より，採取した。

未熟期から成熟期の樹上における果実の呼吸量とエチレン生成量を推定するために Smock・Neubert (1950) の方法に準拠して，採取後 24 時間静置した果実の呼吸量とエチレン生成量を測定した（第 2-1 図 B）。すなわち，採取した果実は直ちに空調管理された 20℃の恒温室（4.9 m×5.5 m×2.5 m）に運び，450 mL のポリプロピレン容器プラスチック容器内に果実を 1 果ずつ入れ，果実の過乾燥を防止するため容器上部を密閉しない程度に紙で軽く覆った。24 時間静置後に果実重を測定し，ポリプロピレン容器を密閉した。24 時間後，ヘッドスペースガスをシリンジで採取し，呼吸量とエチレン生成量を測定した。呼吸量はヘッドスペースガスを 0.5 mL 採取し，並列分流カラム（ポラパック Q とモレキュラーシーブ）と TCD 検出器付きのガスクロマトグラフ（GC-14B，島津製作所）に注入することで CO₂ 濃度を測定した。カラム温度は 50℃，注入口温度は 80℃，検出器温度は 100℃とした。また，エチレン生成量はヘッドスペースガス 1 mL を採取して内部エチレンの測定と同様な方法で測定した。



第 2-1 図 樹上のプルーン果実における内部エチレン濃度 (A) と呼吸量およびエチレン生成量 (B) の測定方法 (2012 年)

結果

1. 果実重および着色程度の時期別変化

2012年に採取した果実の1果重および着色程度の変化を第2-2図に示した。‘パープルアイ’の1果重は7月2日以降S字曲線を描きながら増加し、7月30日から8月5日にかけて最大となり、その後収穫期にやや減少した。‘マジョリース’の1果重は収穫期まで増加し続けた。他の品種における果実重の変化は‘パープルアイ’における変化と類似しており、果実重が最大となった後、変化しないか、またはやや減少した。

‘パープルアイ’、‘ブルータン’、‘エドワーズ’および‘マジョリース’では収穫期間中も着色が進んだが、他の3品種では、収穫前に着色が一定となった。

2. 樹上における推定される呼吸量とエチレン生成量の時期別変化

1) 果実内部エチレン濃度の時期別変化

2012年に調査したブルーン果実内部エチレン濃度の時期別変化を第2-3図に示した。

調査した7品種の未熟期における内部エチレン濃度はほとんどの時期で0.2 ppm以下だった。しかし、‘ベイラー’および‘マジョリース’では内部エチレン濃度は成熟期において0.2 ppmより有意に高くなった。また、‘パープルアイ’、‘ブルータン’および‘プレジデント’では内部エチレン濃度が0.2 ppmより高くなる果実が認められた。

2) 未熟期から成熟期にかけての推定される樹上における果実の呼吸量およびエチレン生成量の変化

2012年および2013年に調査したブルーン果実の樹上において推定される呼吸量およびエチレン生成量の変化を第2-4図および第2-5図に示した。

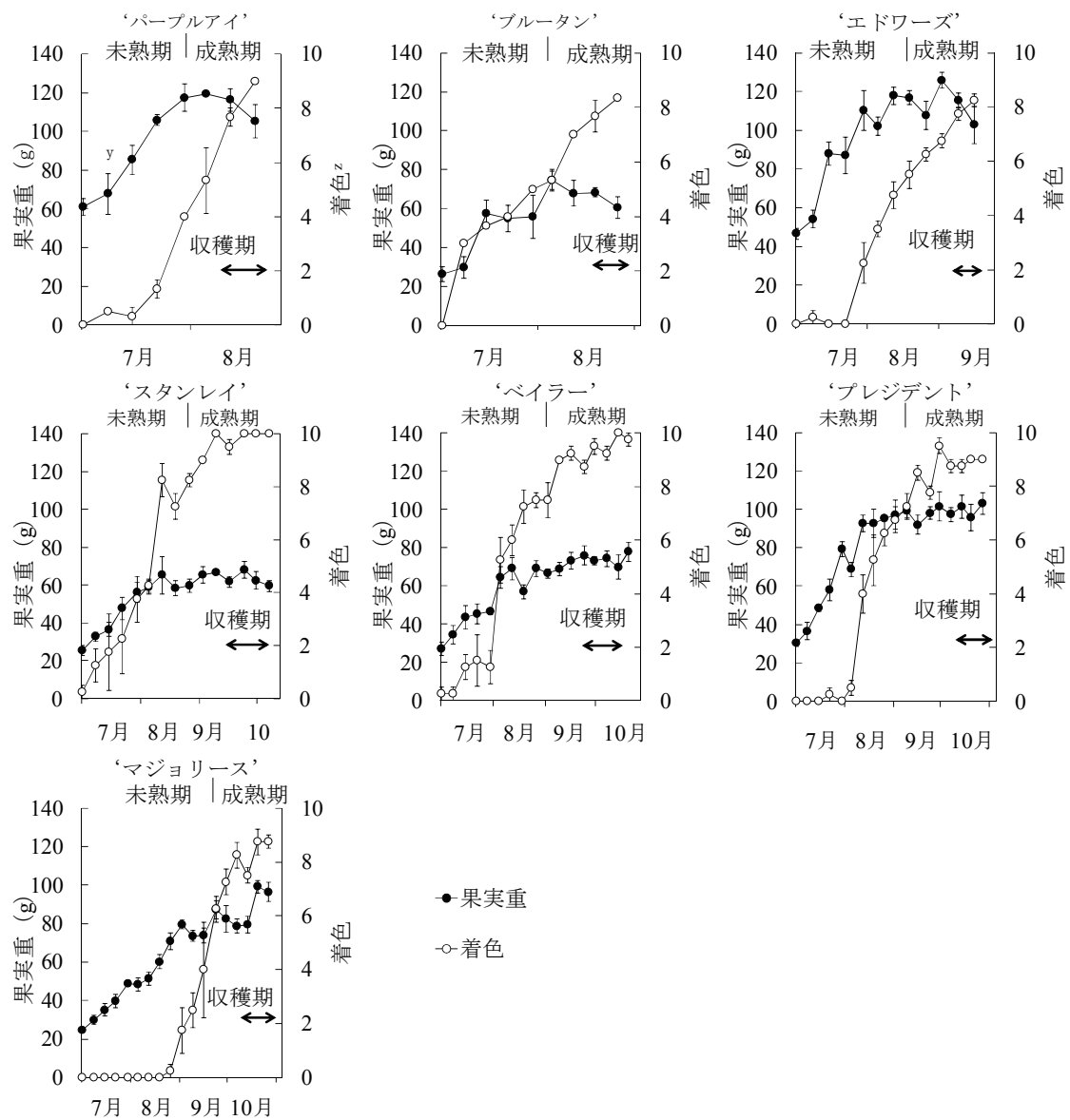
(1) 樹上果における推定される呼吸量の時期別変化

調査した7品種の樹上果における呼吸量は、未熟期に漸減した後、一定と

なった。その後、‘スタンレイ’の呼吸量は、調査を行った2年間ともに成熟期に $17 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ へと増加した。‘ベイラー’、‘プレジデント’および‘マジョリース’の樹上果における呼吸量も、‘スタンレイ’とは値が異なるものの同様に变化した。‘パープルアイ’および‘ブルータン’の成熟期における呼吸量は、2012年では増加したが、2013年では‘パープルアイ’では変化せず、‘ブルータン’では減少した。‘エドワーズ’の呼吸量は $10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 程度に漸減した後、成熟期においても変化しなかった。

(2) 樹上果における推定されるエチレン生成量の時期別変化

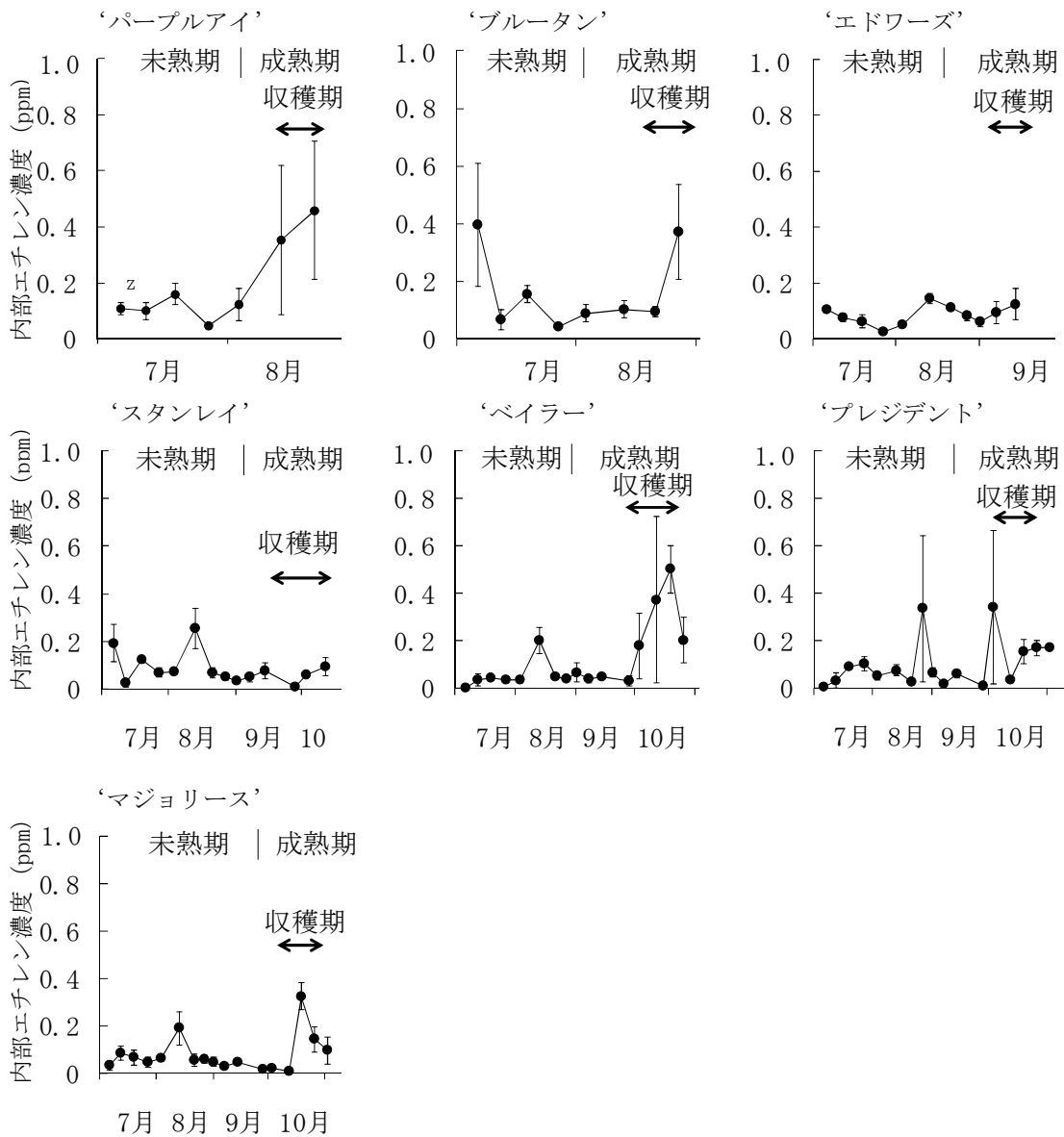
ブルーン果実は樹上でいずれの時期においてもほとんどエチレンを生成しなかった。しかし、‘ブルータン’および‘ベイラー’はエチレン生成を行わない果実がある一方で、成熟期に $1.8 \sim 1.9 \text{ } \mu\text{L} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 程度のエチレン生成を行う果実が認められた。



第 2-2 図 プルーンにおける成熟に伴う果実重および着色の変化 (2012 年)

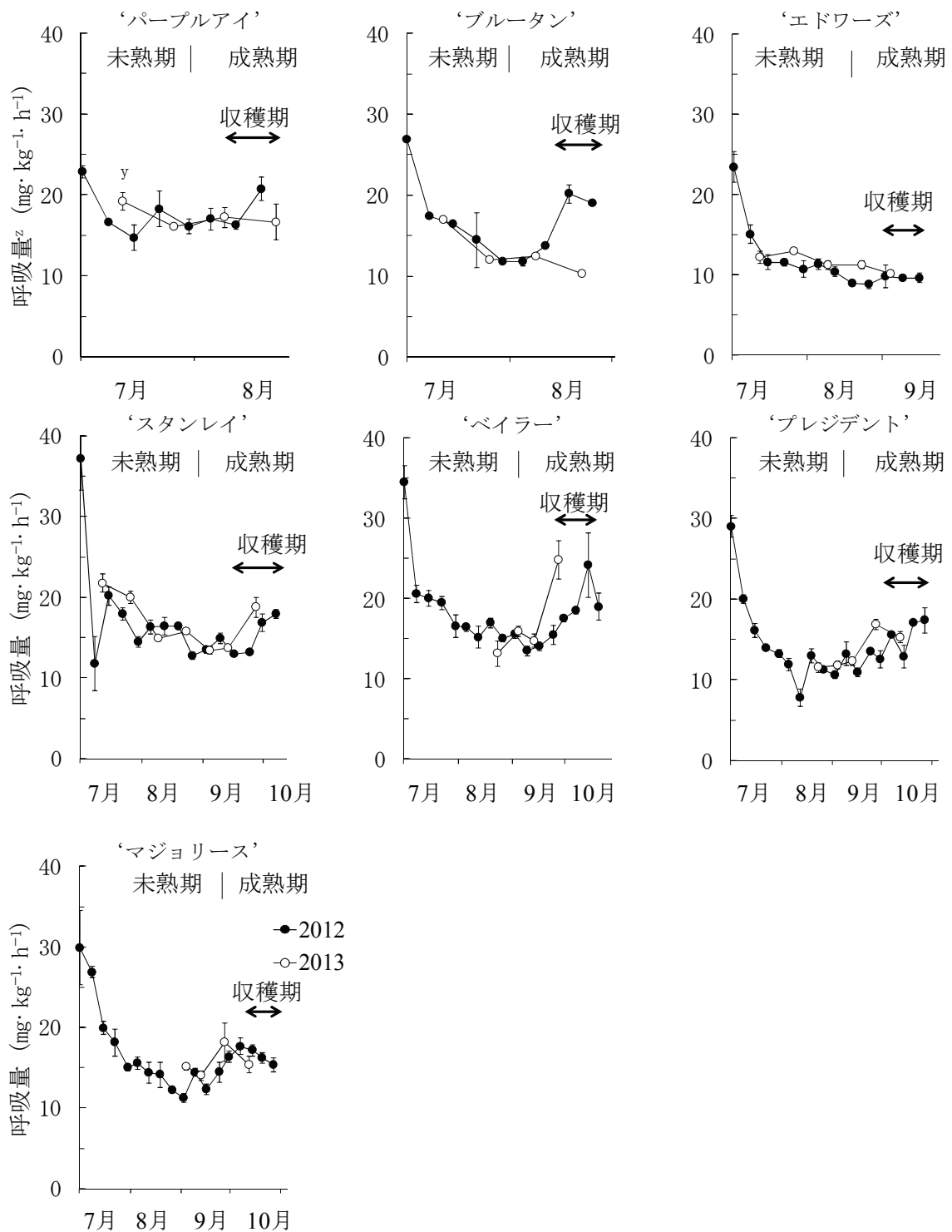
^z 着色は 0 : 緑色 ~ 10 : 完全着色で判定した

^y 縦バーは標準誤差を示す (n=3~4)



第 2-3 図 プルーン果実における内部エチレン濃度の変化 (2012 年)

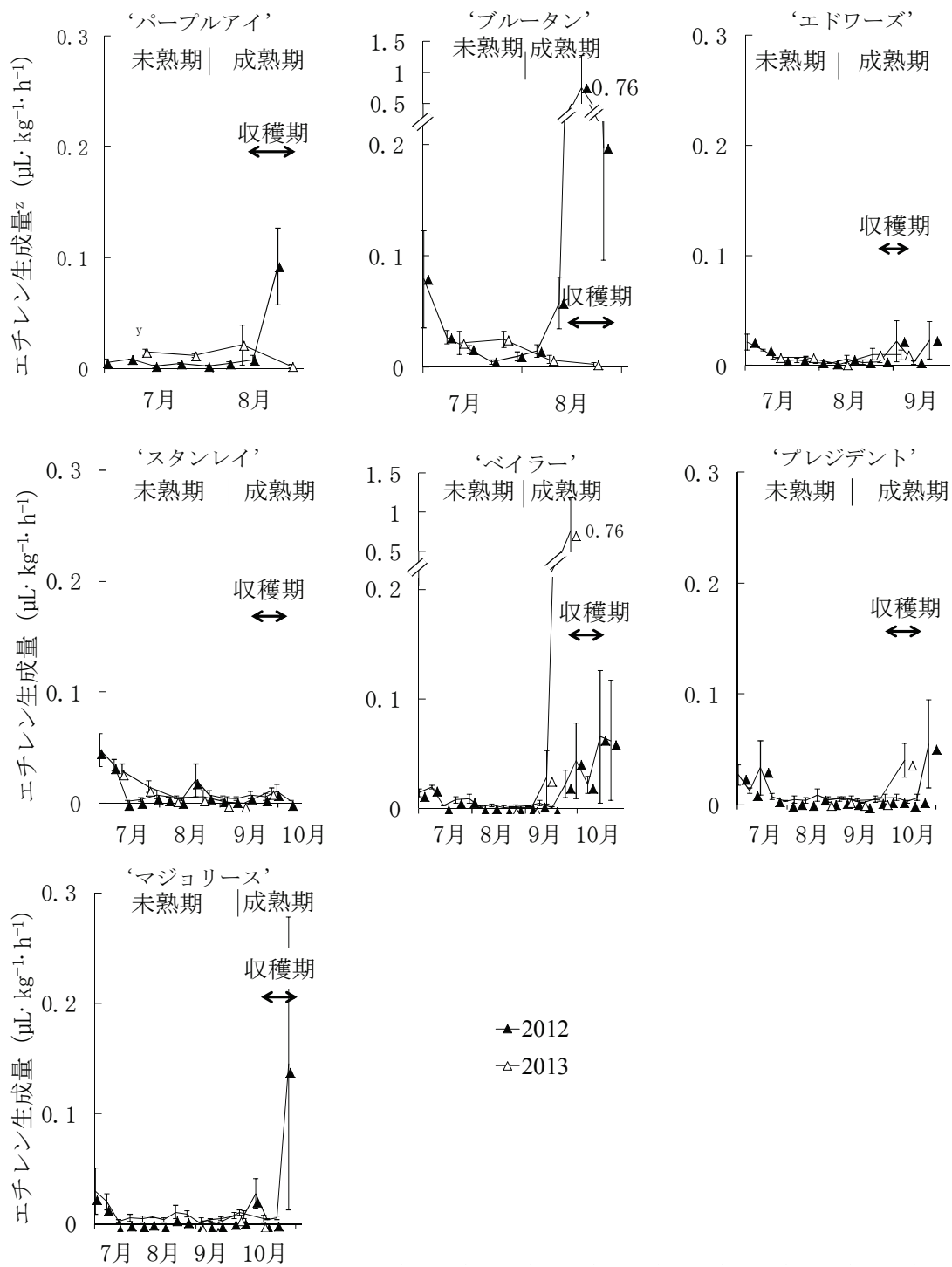
^z 縦バーは標準誤差を示す (n=3~4)



第 2-4 図 プルーン果実における樹上の推定される呼吸量の推移 (2012, 2013 年)

^z 推定される呼吸量は採取後 20℃で 24 時間放置した後の呼吸量とした

^y 縦バーは標準誤差を示す (n=3~4)



第 2-5 図 プルーン果実における樹上の推定されるエチレン生成量の推移 (2012, 2013 年)

^z 推定されるエチレン生成量は採取後 20℃で 24 時間放置した後のエチレン生成量とした

^y 縦バーは標準誤差を示す (n=3~4)

第2節 採取後貯蔵中における呼吸量およびエチレン生成量の変化

本節ではプルーン8品種を用いて、成熟期における採取果の貯蔵中の呼吸量およびエチレン生成量の変化を検討した。また、‘スタンレイ’における幼果期から過熟期における採取果の貯蔵中の呼吸量およびエチレン生成量の変化を検討した。

材料および方法

供試品種は第1節と同じであった。

1. 採取後貯蔵中の呼吸量およびエチレン生成量の変化

1) 成熟期に採取した果実における貯蔵中の呼吸量およびエチレン生成量の変化

調査は2012年と2013年に行った。成熟期の異なる2～3時期に採取した果実を用いて、採取後1～7日までの呼吸量およびエチレン生成量を測定した。第1節と同様にして呼吸量およびエチレン生成量を測定したが、20℃における封入時間は2～4時間とし、ヘッドスペースガス採取後は容器の蓋を解放し、容器上部を紙で軽く覆った。各品種の果実採取日は、‘プチュール’：7月25日および8月7日，‘パープルアイ’および‘ブルータン’：8月1日および8月23日，‘エドワーズ’：8月23日および9月2日，‘スタンレイ’：9月2日，9月13日および9月27日，‘ベイラー’：9月13日および9月27日，‘プレジデント’および‘マジョリース’：9月27日および10月12日，であった。

2) 幼果期から過熟期に採取した果実における貯蔵中の呼吸量およびエチレン生成量の変化

調査は2012年と2013年に‘スタンレイ’の果実を用いて行った。2012年は未熟期の7月2日から，2013年は幼果期である満開後30日の5月15日から，約2週間間隔で果実を採取し，採取後1日～7日まで呼吸量およびエチレン生成量を測定した。測定条件などは上記1)と同じとした。

結果

1. 採取後の果実における呼吸量およびエチレン生成量の変化

1) 成熟期における採取果の呼吸量およびエチレン生成量の採取後の変化

2013年に8品種を用いて成熟期間内の異なる2~3時期に採取した果実における20℃貯蔵中の呼吸量およびエチレン生成量の変化を調査し、それぞれ第2-6図および第2-7図に示した。

‘パープルアイ’および‘ブルータン’の呼吸量は増加し続け、貯蔵後6日にそれぞれ、27および30 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ の値となった。‘スタンレイ’、‘ベイラー’、‘プレジデント’および‘マジョリース’の呼吸量も増加したが、‘パープルアイ’および‘ブルータン’と比較すると緩やかであった。一方、‘プチュール’および‘エドワーズ’の呼吸量は変化しなかった。

成熟期における採取果のエチレン生成量は、呼吸量とほぼ同様に变化した。‘パープルアイ’および‘ブルータン’のエチレン生成量は、貯蔵後6日にそれぞれ7.9および13.6 $\mu\text{L}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ まで増加した。‘スタンレイ’および‘ベイラー’のエチレン生成量も、それぞれ4.9および2.8 $\mu\text{L}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ まで増加した。‘プチュール’、‘エドワーズ’および‘マジョリース’のエチレン生成量は0.1 $\mu\text{L}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ 程度であった。

2) 幼果期から過熟期における採取果の呼吸量およびエチレン生成量の時期別変化

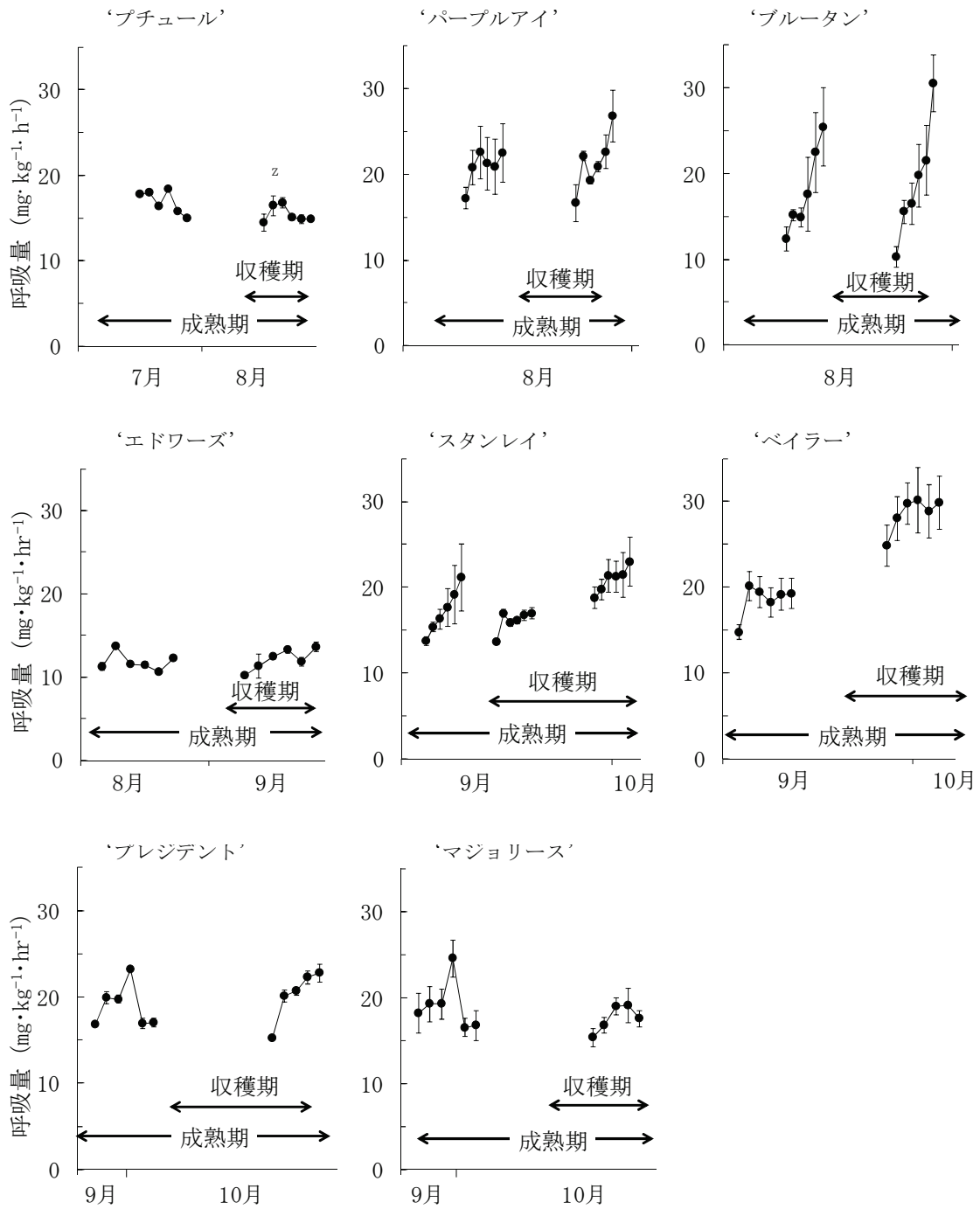
2012年および2013年に調査した幼果期から過熟期における‘スタンレイ’果実の採取後20℃貯蔵中の呼吸量およびエチレン生成量の変化を第2-8図に示した。

幼果期である5月15日採取果の呼吸量は、貯蔵後2日に190 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ の値でピークを形成し、その後減少した。その後、発育ステージが進むにつれ呼吸量のピーク値は減少していき、7月中旬以降、未熟期の採取果における呼吸量はピークを形成しなくなった。その後、成熟期後半の採取果における呼吸量は増加した。

また、5月15日採取果のエチレン生成量は、呼吸量がピークとなった1日後の採取後3日に1.1 $\mu\text{L}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ の値でピークとなり、その後減少した。

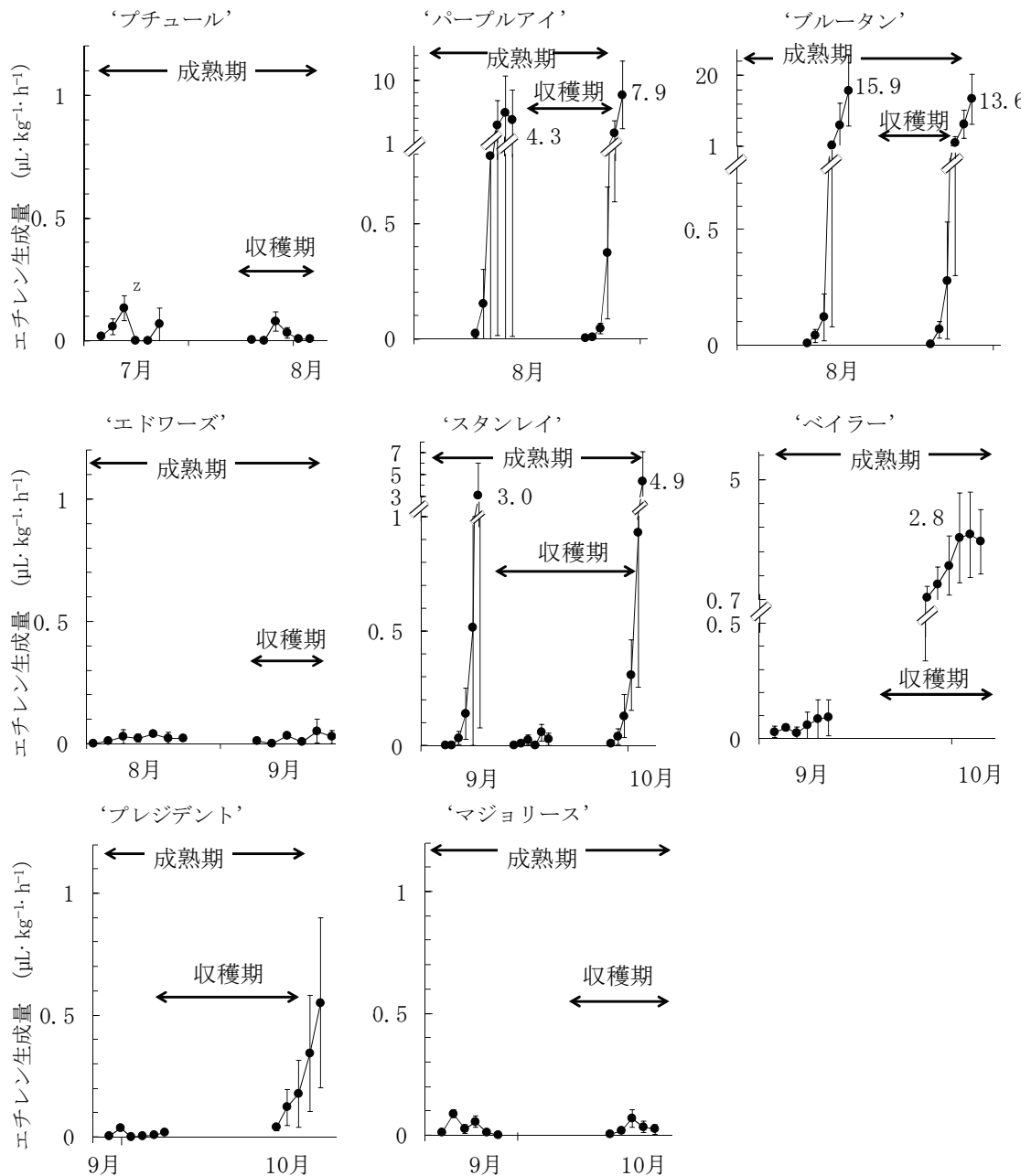
その後のエチレン生成量は,呼吸量と同様,採取後低い値で推移した.また,成熟期後半における採取果のエチレン生成量は,貯蔵後4日以降増加し続け, $4\mu\text{L}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ 以上となった.

なお,他品種の未熟期における採取果の呼吸量およびエチレン生成量の変化は‘スタンレイ’と同様であった(データ未掲載).



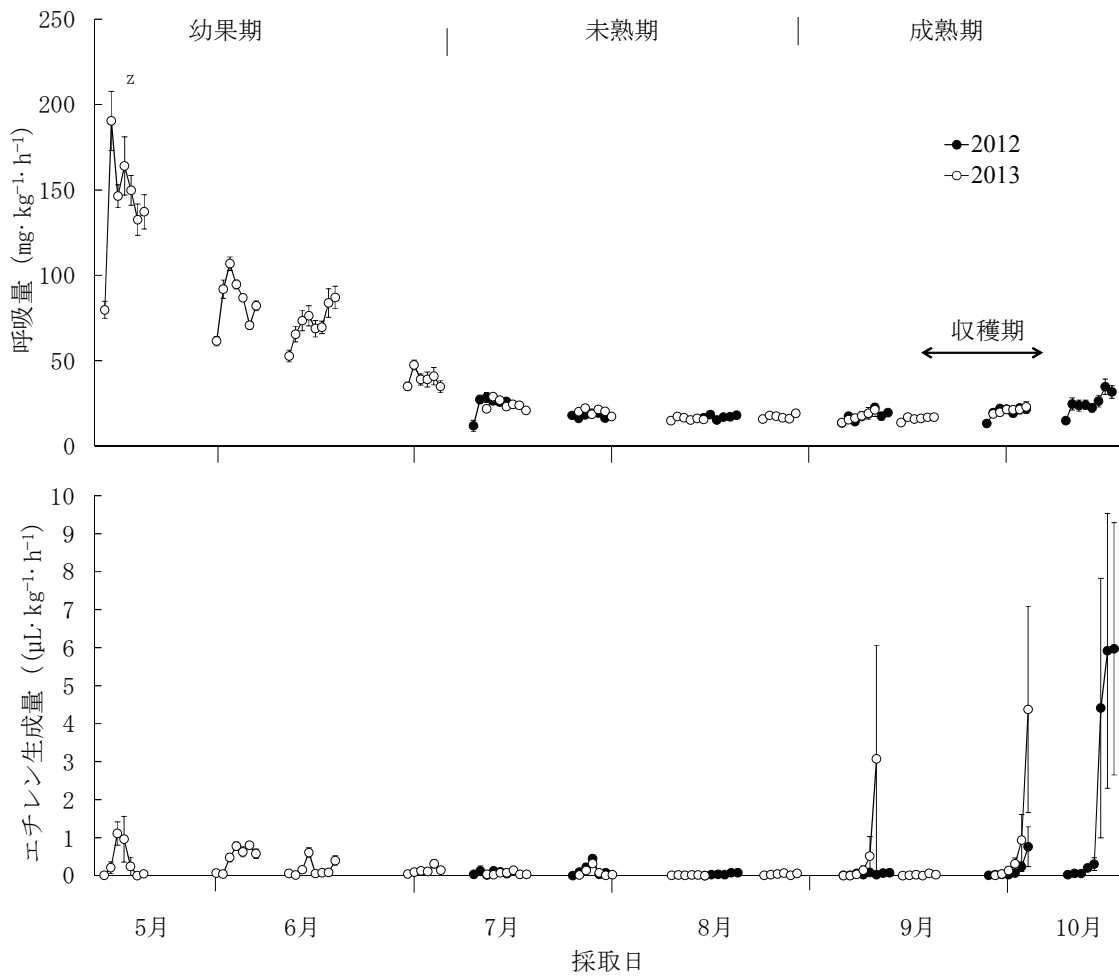
第 2-6 図 成熟期のプルーン果実における採取後貯蔵中 (20℃) の呼吸量の推移 (2013 年)

^z 縦バーは標準誤差を示す (n=3~5)



第 2-7 図 成熟期のブルーベリー果実における採取後貯蔵中 (20°C) のエチレン生成量の推移 (2013 年)

^z 縦バーは標準誤差を示す (n=3~5)



第 2-8 図 プルーン ‘スタンレイ’ における採取後貯蔵中 (20℃) の呼吸量およびエチレン生成量の時期別変化 (2012, 2013 年)

^z 縦バーは標準誤差を示す (n=3~5)

第3節 エチレン処理による呼吸量およびエチレン生成量の変化

本節では、プルーン2品種の成熟果に対するエチレン処理後の呼吸量およびエチレン生成量の変化などを比較検討した。

材料および方法

供試樹として雨よけ平棚栽培の‘スタンレイ’および‘ベイラー’を用いた。

調査は2014年に行い、9月14日に採取した‘スタンレイ’および10月1日に採取した‘ベイラー’の果実を各10果用いた。採取果は直ちに20℃の恒温室に入れてしばらく静置し、450 mLのポリプロピレン容器に1果ずつ封入した。そのうち5果は500 ppmのエチレンで48時間処理した。呼吸量およびエチレン生成量は処理後開封6日（採取後8日）まで、20℃における封入時間を2時間として第1節と同様に、ガスクロマトグラフで測定した。果実軟化程度は0：十分な弾力がある、1：やや軟らかいが商品性はある、2：果実全体が軟らかく、商品性はない、4：果実が変形するほど軟らかい、の4段階で評価した。

結果

1. 成熟果に対するエチレン処理による果実の呼吸量およびエチレン生成量の変化

‘スタンレイ’および‘ベイラー’の成熟果を用いて48時間エチレン処理を行い、20℃貯蔵中の呼吸量およびエチレン生成量の変化を第2-9図に示した。

‘スタンレイ’のエチレン処理果における呼吸量はエチレン処理中に $34 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ まで増加して無処理果と比較して高い値となり、エチレン処理解除後1日から6日までは、ほぼ一定で推移した後、採取後7日以降さらに増加し、採取後8日には $44 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ となった。‘ベイラー’のエチレン処理果における呼吸量はエチレン処理解除後2日に $25 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ へと増加し、それ以降はほぼ一定の値で推移し、常に無処理果より高い値で推移した。

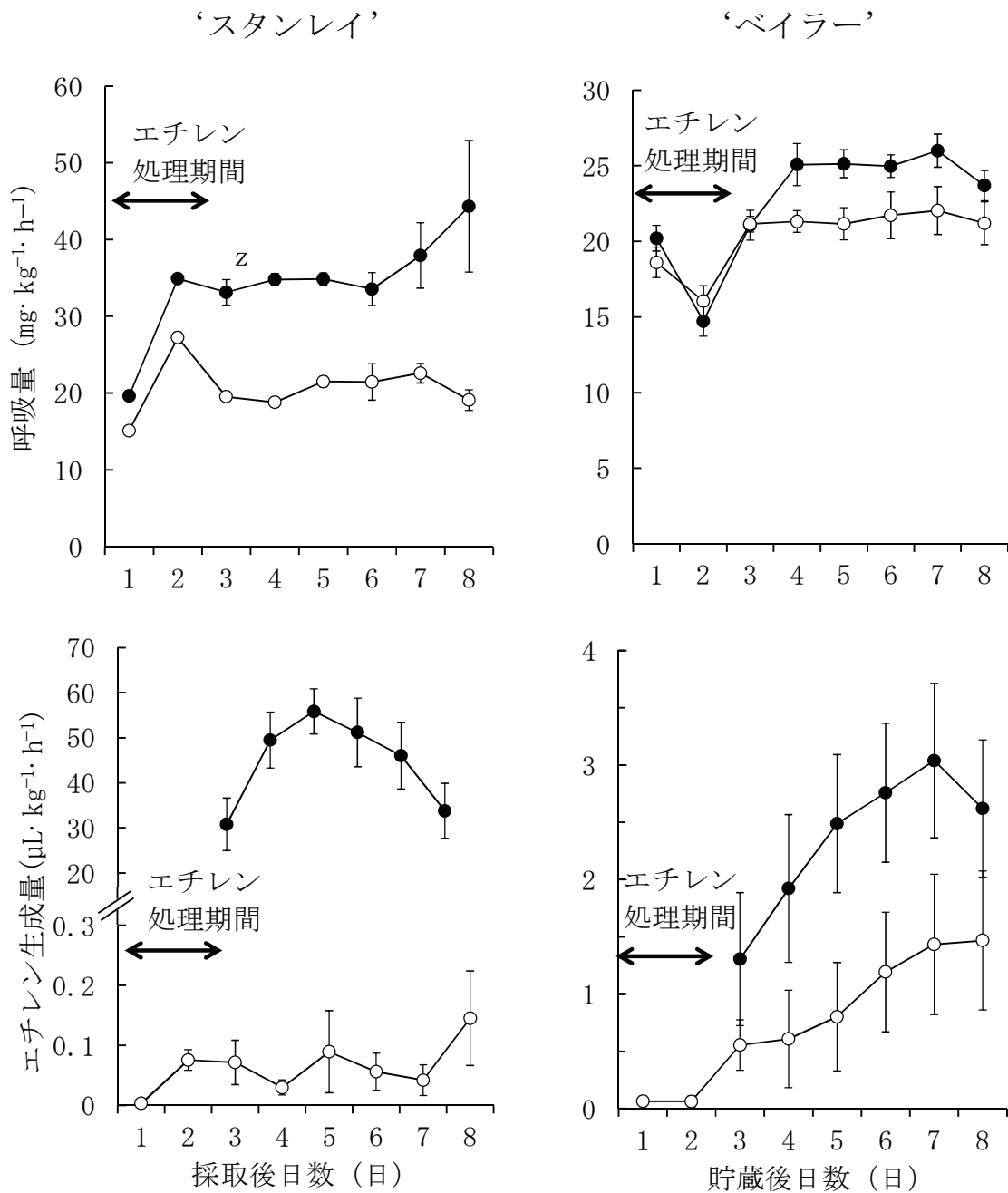
‘スタンレイ’のエチレン処理果におけるエチレン生成量はエチレン処理

解除後 1 日に $30.8 \mu\text{L}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ となり，無処理果の 430 倍となった．採取後 5 日にピーク値となり，その後減少した．‘ベイラー’のエチレン処理果におけるエチレン生成量もエチレン処理解除後増加したが，その値は無処理果の 1.5～2.3 倍であった．

2. 成熟果に対するエチレン処理による果実重および軟化程度の変化

果実重減少率は採取後 3 日以降増加したが，両品種においても両処理区で変化に差は無かった（第 2-10 図）．また，‘スタンレイ’においては，エチレン処理によって果面のシワが早く発生した．

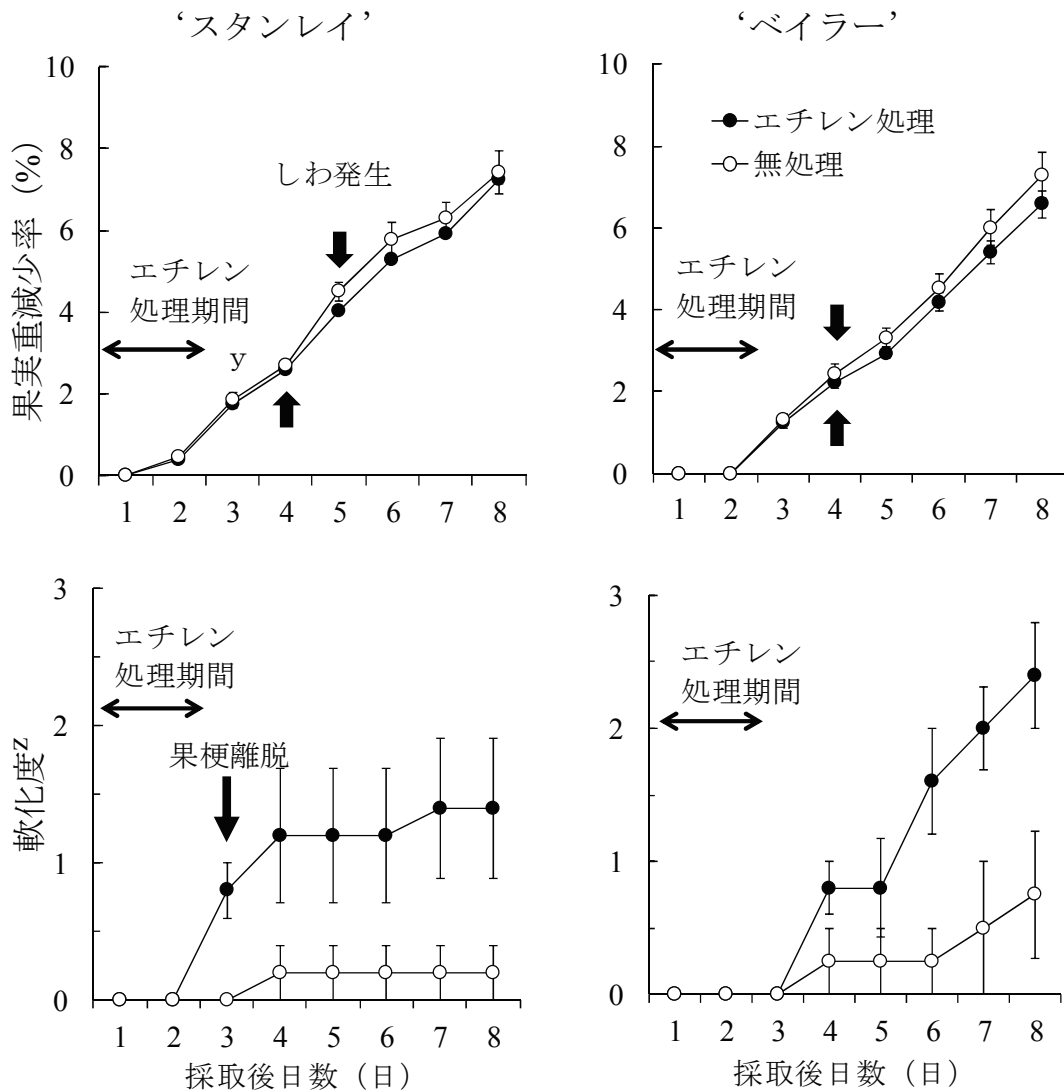
果実軟化はエチレン処理果でみられた．‘スタンレイ’の軟化はエチレン処理解除後にゆっくりと進んだ．一方‘ベイラー’の軟化はエチレン処理解除後 2 日以降急激に進んだ．また，‘スタンレイ’においては，エチレン処理果において果梗が脱落した．



第2-9図 エチレン処理を行ったプルーン成熟果²⁾における呼吸量およびエチレン生成量の変化 (2014年)

²⁾ 縦バーは標準誤差を示す (n=3~5)

³⁾ ‘スタンレイ’は2014年9月14日, ‘ベイラー’は2014年10月1日に収穫し, 500ppmのエチレンで48時間処理を行い, 採取後貯蔵中の温度は20℃とした



第 2-10 図 エチレン処理を行ったプルーン成熟果^xにおける果実重減少率および軟化程度の変化 (2014 年)

^z 軟化度は 0:十分な弾力がある, 1:やや柔らかい, 2:果実全体が柔らかい, 3:果実が変形するほど柔らかい, で判定した

^y 縦バーは標準誤差を示す (n=3~5)

^x 果実の収穫日およびエチレン処理は第 2-9 図と同じ

考察

1. プルーン果実の生育特性

一般にモモやオウトウなどの核果類は2重S字曲線を描きながら生育していくことが知られており、今回調査を行った7月以降は、果実肥大の第Ⅱ期からⅢ期に相当すると考えられる。

平（2013a）は成熟とは果実がほぼ本来の大きさに発育して成分的にも充実し、収穫が可能になった状態で、その時点で可食可能か、その後の追熟などで可能になることである、としている。このことから、プルーンでは、肥大第Ⅱ期および第Ⅲ期で果実が品種固有の大きさとなり、8割程度の着色となるまでの期間が未熟期に相当し、それ以降が成熟期に相当し、収穫期を迎えると考えられた（第2-2図）。

2. プルーン果実はクライマクテリック型かノンクライマクテリック型か

1) 樹上における推定される呼吸量またはエチレン生成量の変化

KiddとWest（1930）はリンゴが成熟期に移る時、貯蔵中の果実呼吸量が増加するクライマクテリックライズという現象を発見した。SmockとNeubert（1950）は、樹上でのクライマクテリックライズを推定するためにはリンゴの果実を生育期間中に数回採取し、毎回約20℃の恒温下に静置して、24時間後の呼吸量を測定するのが適切であるとしている。この方法は簡便であるため、広く使われ、カキ（板村，1986；高田，1967）、リンゴ（加藤ら，1977；北村ら，1980；中島・田村，1970）、ナシ（北村ら；1981）、ニホンスモモ（Ponceら，2010）などで利用されている。

本調査において、‘プチュール’を除く7品種を用いてプルーン果実の樹上における呼吸量を7月から成熟期まで上記とほぼ同様に測定した。その結果、呼吸量は、年次変動があるものの、漸次減少して最低値を示し、‘エドワーズ’以外の品種においてその後増加するクライマクテリックライズを示した（第2-4図）。他の樹種についてみると、リンゴ（加藤ら，1977；北村ら，1980）、セイヨウナシ（北村ら，1981）、ニホンスモモ（北村ら，1983）ではクライマクテリックライズを示すことから、プルーン果実の樹上における呼吸活性はこれらの樹種に近いと考えられた。北村ら（1980）はリンゴ‘国

光’において、果実がほとんど落果した時期まで樹上における呼吸量を測定した結果、呼吸量が増加し続けたことを報告している。‘エドワーズ’においても、落果時期まで調査を継続して行えば、クライマクテリックライズが認められたかもしれない。

Burg・Burg (1962) はクライマクテリック型果実においてエチレンがクライマクテリックライズの引き金として作用することを明らかにし、エチレンは成熟ホルモンであるとした。クライマクテリック型果実では、樹上において呼吸量の増加に伴ってエチレン生成量が増加することが知られている。本調査において、プルーン果実の内部エチレン濃度は、いずれの品種も未熟期において概ね 0.2 ppm 以下であり、成熟期になると‘エドワーズ’と‘スタンレイ’以外は高くなる傾向がみられた (第 2-3 図)。また、樹上で推定されるエチレン生成量は、内部エチレン濃度と同様に变化した (第 2-5 図)。すなわち、未熟期の樹上における推定されるエチレン生成量は $0.02 \mu\text{L}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ 以下と低く推移した後、‘エドワーズ’および‘スタンレイ’以外は高くなる傾向にあった。

2) 採取後の果実における呼吸量およびエチレン生成量の変化

Biale (1960b) は、やや未熟な段階から採取した果実を用いて貯蔵中の呼吸量を調べ、クライマクテリック型果実とノンクライマクテリック型果実の 2 つに分類した。成熟期において、クライマクテリック型果実では採取後数日で呼吸量およびエチレン生成量は増加し、ピークに達した後減少するのに対して (Biale, 1950; Biale, 1960b)、ノンクライマクテリック型果実では、採取後に呼吸量およびエチレン生成量は増加しない (Biale, 1960b)。成熟期におけるプルーン採取果の呼吸量およびエチレン生成量は、成熟期後半に増加を示すタイプが多く、‘プチュール’と‘エドワーズ’以外の品種はクライマクテリック型と考えられた。

‘スタンレイ’果実では、採取後の呼吸量およびエチレン生成量は、クライマクテリック様の増大を示し、発育が進むにつれ、その増大がはっきりしなくなり、成熟期では再び増大した (第 2-8 図)。同様な呼吸量の変化はカキ (板村, 1986; 高田, 1967)、モモ (蔡ら, 1984) でも認められる。一方、

ノンクライマクテリック型のカンキツでは、幼果期における採取果の呼吸量とエチレン生成量はクライマクテリック様に増加するが、生育が進むと不明確となり、成熟期では増大しない (Eaks, 1970; Hyodo, 1977; 兵藤・邨田, 1972)．‘スタンレイ’果実は収穫期にそれらが増大するため、カンキツとは明らかに呼吸とエチレン生成増大のパターンが異なった．他の品種における採取果の呼吸量およびエチレン生成量の幼果期から成熟期にかけての変化も‘スタンレイ’と同じパターンを示すのではないかと考えられた．

3) エチレン処理による呼吸量とエチレン生成量の変化

クライマクテリック型果実とノンクライマクテリック型果実の違いは、エチレン処理によって前者は自己触媒的にエチレン生成が誘導されるのに対して、後者はエチレン生成が誘導されないことである (McMuechie ら, 1972)．成熟期の‘スタンレイ’および‘ベイラー’果実を用いてエチレン処理を行った結果、両品種ともエチレン処理後に呼吸量およびエチレン生成量は増加し、果実の軟化も促進された．このことから、両品種はクライマクテリック型果実であると考えられた．‘スタンレイ’のエチレン処理果におけるエチレン生成量のピーク値は無処理果における値の 600 倍となり、‘スタンレイ’はエチレン処理の影響を受けやすいと考えられた．このようなエチレン処理に対する反応性の違いはブドウの脱粒性においても報告されている (酒井ら, 1979)．また、‘ベイラー’では‘スタンレイ’に比べてエチレン処理果におけるエチレン生成量の増加は僅かであったにも関わらず軟化は促進された．プルーン果実において、果実の軟化に関与する β -ガラクトシダーゼおよびポリガラクトツロナーゼ活性には品種間差があると報告されており (Kovács・Kállay, 2007) ，‘ベイラー’ではエチレン処理によってこれらの酵素活性が高くなる可能性が考えられる．

4) プルーン果実の成熟型

上記 1), 2), および 3) の 3 つの観点において、各品種別に呼吸およびエチレン生成の増大を判定した結果を第 2-1 表に示した．判定基準は○：呼吸やエチレン生成の増大が認められる、△：呼吸やエチレン生成の増大が不

明瞭，×：呼吸やエチレン生成の増大が認められないとした．‘スタンレイ’および‘ベイラー’は各調査において呼吸またはエチレン生成が増加する項目数が多く，成熟期における採取果のエチレン処理によって呼吸およびエチレン生成が増大したことから，クライマクテリック型であると言える．‘パープルアイ’，‘ブルータン’，‘プレジデント’および‘マジョリース’は各調査において呼吸またはエチレン生成が増加する項目数が多いことから，エチレン処理による自己触媒的エチレン生成の有無は確認していないものの，クライマクテリック型であると推定された．また，‘プチュール’および‘エドワーズ’は，樹上および採取後の呼吸およびエチレン生成の増大が明瞭ではなかったことから Abdi ら（1997）が述べている抑制型クライマクテリックに似ていると考えられた．これらのことから，プルーン果実は一般にクライマクテリック型であると考えられるが，各品種の成熟型を確定するには，成熟期における採取果を用いて，エチレンまたはプロピレン処理を行い，呼吸またはエチレン生成が増大するかどうかを調査する必要がある．

久保（2007）は種々の果実をその呼吸型と常温下で貯蔵中の最大エチレン生成量をもとに分類をしている．今回調査したプルーン品種は，成熟期における採取果の最大エチレン生成量から第2-2表のように4つのグループに分類できた．具体的には，最大エチレン生成量が $1 \mu\text{L}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ 以下：‘プチュール’，‘プレジデント’および‘マジョリース’， $1\sim 5 \mu\text{L}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ ：‘スタンレイ’および‘ベイラー’， $5\sim 10 \mu\text{L}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ ：‘パープルアイ’， $10 \mu\text{L}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ 以上：‘ブルータン’，であった．各樹種におけるエチレン生成量と品種の関係は，リンゴ（加藤ら，1977；壽松木ら，1997），ニホンナシ（田辺ら，1991），モモ（Haji ら，2004）などで検討され，早晩性や貯蔵性との関連性についても議論されている．リンゴでは，成熟期の遅い‘ふじ’および‘国光’で貯蔵中のエチレン生成量が少なく，貯蔵性が高いとされている（吉岡ら，1989）．ニホンナシでは，‘幸水’，‘新水’などは貯蔵中に急激なエチレン生成が起こり，貯蔵性も低い，‘二十世紀’，‘新高’，‘晩三吉’などはエチレン生成量が少なく，1か月以上果実品質が維持できるとされている（Itai ら，1999；田辺ら，1991）．プルーンにおけるエチレン生成量と貯蔵性については，次章で検討する．

第2-1表 プルーン各品種における呼吸量およびエチレン生成量の特徴

品種名	実験 ^z							推定される成熟型
	1			2		3		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	
‘プチュール’	- ^y	-	-	△	△	-	-	抑制型クライマクテリック型
‘パープルアイ’	○	○	△	○	○	-	-	クライマクテリック型
‘ブルータン’	○	○	○	○	○	-	-	クライマクテリック型
‘エドワーズ’	△	△	△	△	△	-	-	抑制型クライマクテリック型
‘スタンレイ’	△	○	△	○	○	○	○	クライマクテリック型
‘ベイラー’	○	○	○	○	○	○	○	クライマクテリック型
‘プレジデント’	○	○	○	○	○	-	-	クライマクテリック型
‘マジョリース’	○	○	○	○	○	-	-	クライマクテリック型

^z 実験1: (1) 内部エチレン濃度の時期別変化, (2) 樹上で推定される呼吸量の変化および (3) エチレン生成量の変化
 実験2: (4) 成熟期に採取した果実における20℃貯蔵中の呼吸量の変化および (5) エチレン生成量の変化

実験3: (6) エチレン処理および無処理の成熟果における20℃貯蔵中の呼吸量の変化および (7) エチレン生成量の変化

^y ○:呼吸量またはエチレン生成量の増大が認められる, △:呼吸量またはエチレン生成量の増大が不明瞭, ×:呼吸量およびエチレン生成量が増大しない, -: 実験未実施, で判定

第2-2表 プルーン各品種の成熟果におけるエチレン生成量の比較

エチレン生成量 ^z ($\mu\text{L} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)	品種名
>10	‘ブルータン’
5~10	‘パープルアイ’
1~5	‘スタンレイ’, ‘ベイラー’
<1	‘プチュール’, ‘エドワーズ’, ‘プレジデント’, ‘マジョリース’

^z 20℃における貯蔵中の最大値

要約

ブルーベリー果実の成熟型を明らかにするため、8品種を用いて、①樹上での成熟期における呼吸量またはエチレン生成量増加の有無（‘プチュール’を除く7品種）、②成熟期に採取した果実における採取後の呼吸量またはエチレン生成量増加の有無、③成熟果に対する外部エチレン処理による自己触媒的なエチレン生成の有無を調査した。樹上における呼吸量およびエチレン生成量は、採取後20℃で24時間放置した後測定した値を推定値とした。樹上における推定呼吸量は、いずれの品種も未熟期の始めから終わりまで漸次減少して最低値となり、‘エドワーズ’を除く6品種では、その後成熟期に増加するクライマクテリックライズを示した。樹上における内部エチレン濃度と推定エチレン生成量は未熟期から成熟期にかけてほぼ同様の変化を示した。すなわち、未熟期の樹上でのエチレン生成量は全品種ともごく僅かであり、成熟期に‘エドワーズ’と‘スタンレイ’を除く5品種で高くなる傾向にあった。成熟期に採取した果実における採取後20℃貯蔵中の呼吸量およびエチレン生成量は、‘プチュール’および‘エドワーズ’を除く6品種で増加した。‘スタンレイ’および‘ベイラー’の成熟期に採取した果実を用いて500 ppmのエチレンガスで48時間処理すると、呼吸量およびエチレン生成量が増加した。以上の結果を総合的に判断すると、‘プチュール’および‘エドワーズ’は抑制型クライマクテリック型、その他の‘パープルアイ’、‘ブルータン’、‘スタンレイ’、‘ベイラー’、‘プレジデント’および‘マジヨリース・シードリング’はクライマクテリック型に属すると考えられた。

第3章 プルーン果実の貯蔵特性と日持ち性向上

第1章においてプルーンは雨よけ栽培によって食味の優れた樹上完熟果実を生産できることが明らかとなった。そして、生食用プルーンの消費者ニーズに応えるためには、高品質なプルーン果実を一定の品質で流通させる必要がある。そのためには収穫後果実における生理学的変化の特徴を把握する必要がある。

そこで、本章ではプルーン果実の貯蔵特性を比較検討した。また、貯蔵中に発生する障害の原因について検討した。さらに、植物生育調節剤により日持ち性の向上についても検討した。

第1節 低温貯蔵における日持ち性の品種比較

本節では、プルーン果実における貯蔵中の果実品質の変化を調査し、日持ち性の品種間比較を行った。

材料および方法

1. 供試品種および栽培方法

島根県農業技術センター植栽の雨よけ平棚栽培プルーン8品種、‘プチュール’、‘パープルアイ’、‘ブルータン’、‘エドワーズ’、‘スタンレイ’、‘ベイラー’、‘プレジデント’および‘マジョリース・シードリング’（以下、マジョリース）を用いた。調査は2012年および2014年に行った。栽培管理は島根県におけるプルーン栽培の慣行管理（島根県・JA全農島根県本部、2001）に従って行った。

2. 常温（20℃）貯蔵中における果実品質の変化（2012年）

2012年に収穫した‘スタンレイ’果実を用いた。収穫日は9月5日および9月26日であり、それぞれ未熟期、完熟期であった。収穫した果実は直ちに空調管理された20℃の恒温室に運び、450 mLのポリプロピレン容器に1果ずつ入れ、密閉しないよう軽く蓋を載せた。1日1回果実重を測定し、果実重の割合（収穫時の果実重に対する測定時の果実重の相対値）を算出した。測定に用いた果実は4果とした。

また、同日に収穫した別の果実をポリプロピレン容器（330 mm×450 mm×70 mm）に並べ、厚さ 0.06 mm のポリエチレン袋に封入した。ポリエチレン袋には直径 5 mm 程度の孔を 4 ヶ所設け、袋の中が過湿とならないようにした。毎日 2～3 果を取り出し、収穫後 6 日まで果肉硬度、糖度、酸度および果肉色を測定した。

果実重の割合は知野ら（2010）の方法に準拠して算出した。すなわち、（調査時の果実重÷収穫時の果実重）×100 とした。果肉硬度の測定には果実硬度計（KM-1・円錐形プランジャー、藤原製作所製）を用い、果実側面を厚さ 2cm 程度で切った断面 2 ヶ所を測定したものを果肉硬度とした。糖度はデジタル糖度計（PR-101 α 、アタゴ社製）、酸度はコンパクト pH メーター（B-211、堀場製作所製）を用いて測定した。果肉色は果実側面の断面を色差計（Color Reader CR-10、ミノルタ社製）により L*、a*、b*値を測定した。

3. プルーン完熟果における低温貯蔵性の品種比較（2014 年）

2014 年に 8 品種、‘プチュール’（収穫日：8 月 12 日、以下同様）、‘パープルアイ’（8 月 12 日）、‘ブルータン’（8 月 13 日）、‘エドワーズ’（8 月 26 日）、‘スタンレイ’（9 月 24 日）、‘ベイラー’（10 月 1 日）、‘プレジデント’（10 月 1 日）および‘マジョリース’（10 月 9 日）の完熟果を収穫し、試験に用いた。

収穫した果実は室温で暫く静置した後、1 果重を測定し、果実出荷用パック（105 mm×156 mm×54 mm）に 4～5 果ずつ入れた。さらにパックはポリプロピレン製の容器（370 mm×520 mm×140 mm）に並べ、ポリエチレン袋（厚さ 0.1 mm、720×1300 mm）に封入した。ポリエチレン袋には 5 mm 程度の孔を 6 ヶ所設け、袋の中が過湿とならないようにした（第 3-1 図）。次に、果実を 2℃（平均湿度 98%）および 10℃（平均湿度 94%）下で貯蔵した。7 日間隔で 3～4 果を取り出し、2 と同様の調査を行った。また果肉障害程度の調査および官能評価も行った。果肉障害程度の調査は第 3-2 図で示す 5 段階で評価した。官能評価は 4 段階（1：非常に悪い、2：悪い、3：良い、4：非常に良い）で判定し、熟練したパネリスト 1 名が行った。

ポリプロピレン製容器 ポリエチレン袋 (厚さ0.1 mm) 過湿防止孔 (直径5 mm)



第 3-1 図 プルーン完熟果における低温貯蔵の様子 (2014)



水浸状の割合
 0% ~10% 11~30% 31~60% 61~100%

第 3-2 図 プルーン^zにおける貯蔵中の果肉障害の程度

^z 品種は ‘プチュール’

結果

1. 熟度の違いと室温貯蔵中の果実特性の変化

熟度の異なる ‘スタンレイ’ 果実を 20℃で貯蔵した場合における、果実重、果実品質および果肉色の変化を第 3-3 図に示した。貯蔵中の果実重は果実の熟度に関わらず減少したが、貯蔵後 6 日の果実重割合は未熟果で 98.3%、完熟果で 95.8%となり、完熟果で低くなった。果肉硬度は収穫時に 0.6kg であり、未熟果においては貯蔵後 6 日までほとんど変化しなかったが、完熟果では貯蔵日数とともに低下し、貯蔵後 6 日に 0.41 kg となった。糖度は未

熟果において貯蔵日数とともにやや減少したが、完熟果ではほとんど変化しなかった。酸度は果実の熟度に関わらず貯蔵日数とともに低下し、完熟果ではさらに大きく低下した。果肉色は、未熟果において貯蔵後 6 日までほとんど変化しなかったが、完熟果では貯蔵後 6 日に L*値が急激に減少するとともに b*値が上昇した。また、完熟果では 20℃貯蔵後 6 日に食味がやや悪くなった（データ省略）。

2. 完熟果における低温貯蔵中の果実品質の変化

1) 果実重，果肉硬度，糖度および酸度の変化

2℃および 10℃貯蔵中の果実重，果肉硬度，糖度および酸度の変化を調査し，第 3-4 図および第 3-5 図に示した。

果実重はいずれの品種においても貯蔵日数の経過とともに減少した。‘プチュール’，‘パープルアイ’および‘ブルータン’における果実重は 10℃区において 2℃区と比較して大きく減少し，‘スタンレイ’および‘ベイラー’における果実重は 10℃区で大きく減少した。

貯蔵日数の経過に伴う果肉硬度の変化は品種および温度により異なった。‘パープルアイ’および‘ブルータン’における果肉硬度は貯蔵温度に関わらず貯蔵日数に伴って急激に低下した。‘プチュール’および‘エドワーズ’における果肉硬度は，両温度区で貯蔵日数に伴って漸減した。‘スタンレイ’，‘ベイラー’，‘プレジデント’および‘マジョリース’における果肉硬度は 2℃区では貯蔵後 35～42 日までほとんど変化しないまたは漸減し，10℃区では貯蔵後 14～21 日以降に急激に減少した。また，いずれの品種においても，果肉硬度は 10℃区と比較して 2℃区において長く維持された。

糖度は‘ブルータン’において 2℃区で貯蔵後 35 日以降急激に増加した。‘スタンレイ’および‘プレジデント’における糖度は 10℃区で貯蔵日数に伴って増加した。‘プチュール’，‘パープルアイ’および‘マジョリース’における糖度は貯蔵温度区に関わらずほとんど変化しなかった。酸度は全ての品種において貯蔵日数に伴って減少した。また，2℃区と比較して 10℃区での変化は早く，大きかった。

2) 果肉色の変化と果肉障害の発生

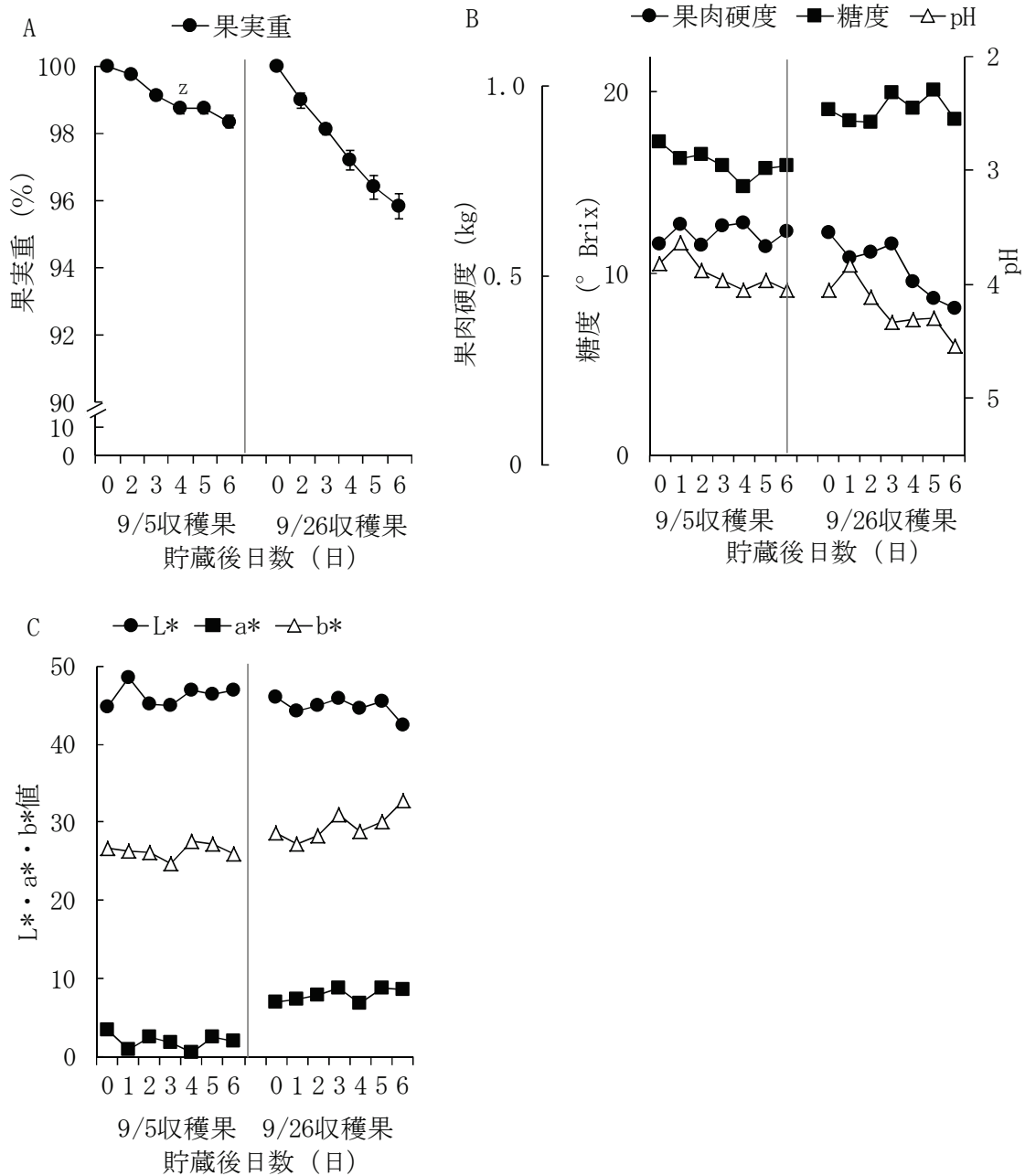
ブルーン完熟果における低温貯蔵中の果肉色および果肉障害の変化を第 3-6 図に示した。

果肉色 L*値は、ほとんどの品種において貯蔵中に減少傾向を示した。‘プチュール’、‘パープルアイ’および‘ブルータン’における L*値は 10℃区では貯蔵後 14 日に急激に減少し、2℃区では貯蔵後 21 日～42 日後に減少した。‘スタンレイ’、‘ベイラー’、‘プレジデント’および‘マジョリース’における L*値は 10℃区では貯蔵後 21～28 日に急激に増加し、2℃区では漸減またはほとんど変化しなかった。‘エドワーズ’における L*値は貯蔵中 10℃区ではほとんど変化しなかったが、2℃区では貯蔵後 21 日まで上昇し、その後下降した。

全ての品種において貯蔵中の果肉障害は発生し、2℃区で 10℃区と比較して果肉障害が発生するまでの日数が遅延された。‘プチュール’および‘ブルータン’における果肉障害は 2℃区および 10℃区ではそれぞれ貯蔵後 21 日および 7 日まで抑制された。‘パープルアイ’、‘スタンレイ’、‘ベイラー’および‘マジョリース’における果肉障害は、2℃区で貯蔵後 35 日～42 日、10℃区で 14～28 日まで抑制された。‘プレジデント’では、2℃区において調査を行った貯蔵後 42 日まで果肉障害は発生しなかった。‘ブルータン’における貯蔵中の果肉では、他の品種で観察された水浸状の障害とともに赤色化する障害も観察された（第 3-7 図）。

3) 貯蔵中の官能評価

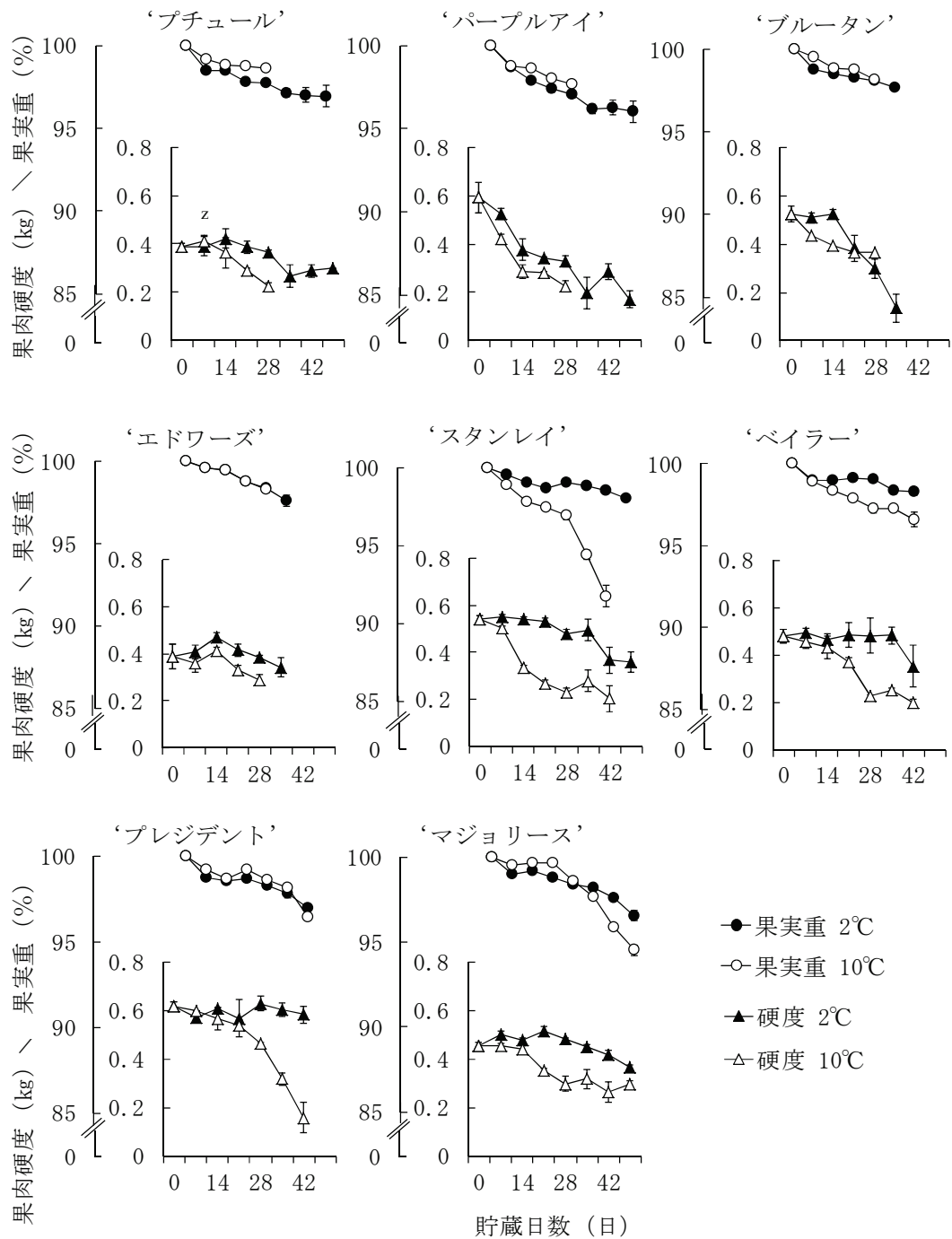
低温貯蔵において食味を維持出来る日数は品種および貯蔵温度によって異なっていた（第 3-8 図）。‘プチュール’、‘パープルアイ’、‘ブルータン’および‘エドワーズ’において食味を維持出来る日数は、10℃区では貯蔵後 7 日、2℃区では貯蔵後 7～21 日であった。‘スタンレイ’、‘ベイラー’、‘プレジデント’および‘マジョリース’において食味を維持出来る日数は、10℃区では貯蔵後 14 日または 28 日、2℃区では貯蔵後 35～42 日であった。



第 3-3 図 プルーン‘スタンレイ’未熟果と完熟果^γにおける 20℃貯蔵中の果実重 (A), 果実品質 (B) および果肉色 (C) の変化 (2012 年)

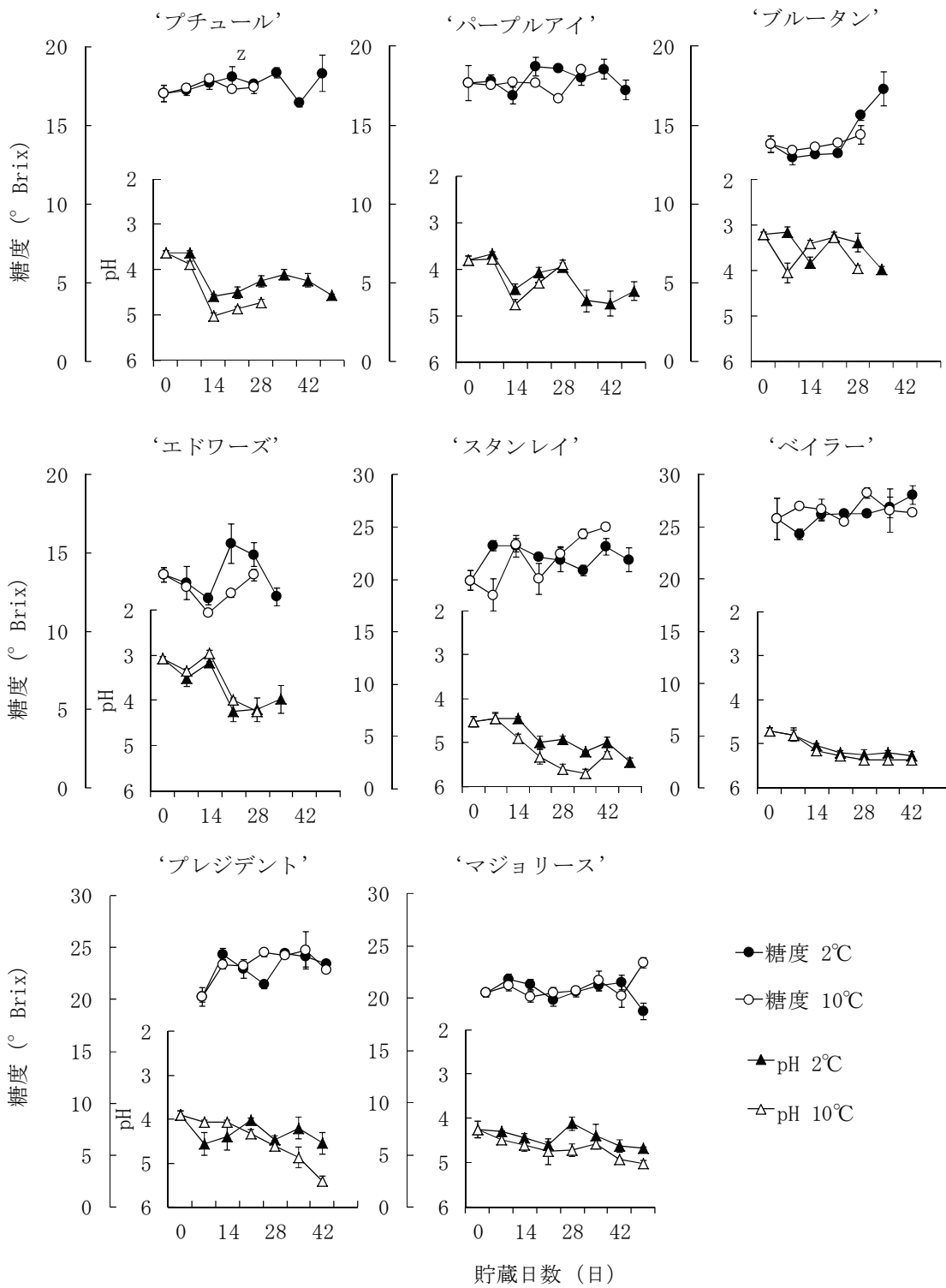
^z 縦バーは標準誤差 (A : n=4, B および C : n=2~3)

^γ 未熟果は 2012 年 9 月 5 日収穫, 完熟果は 2012 年 9 月 26 日収穫



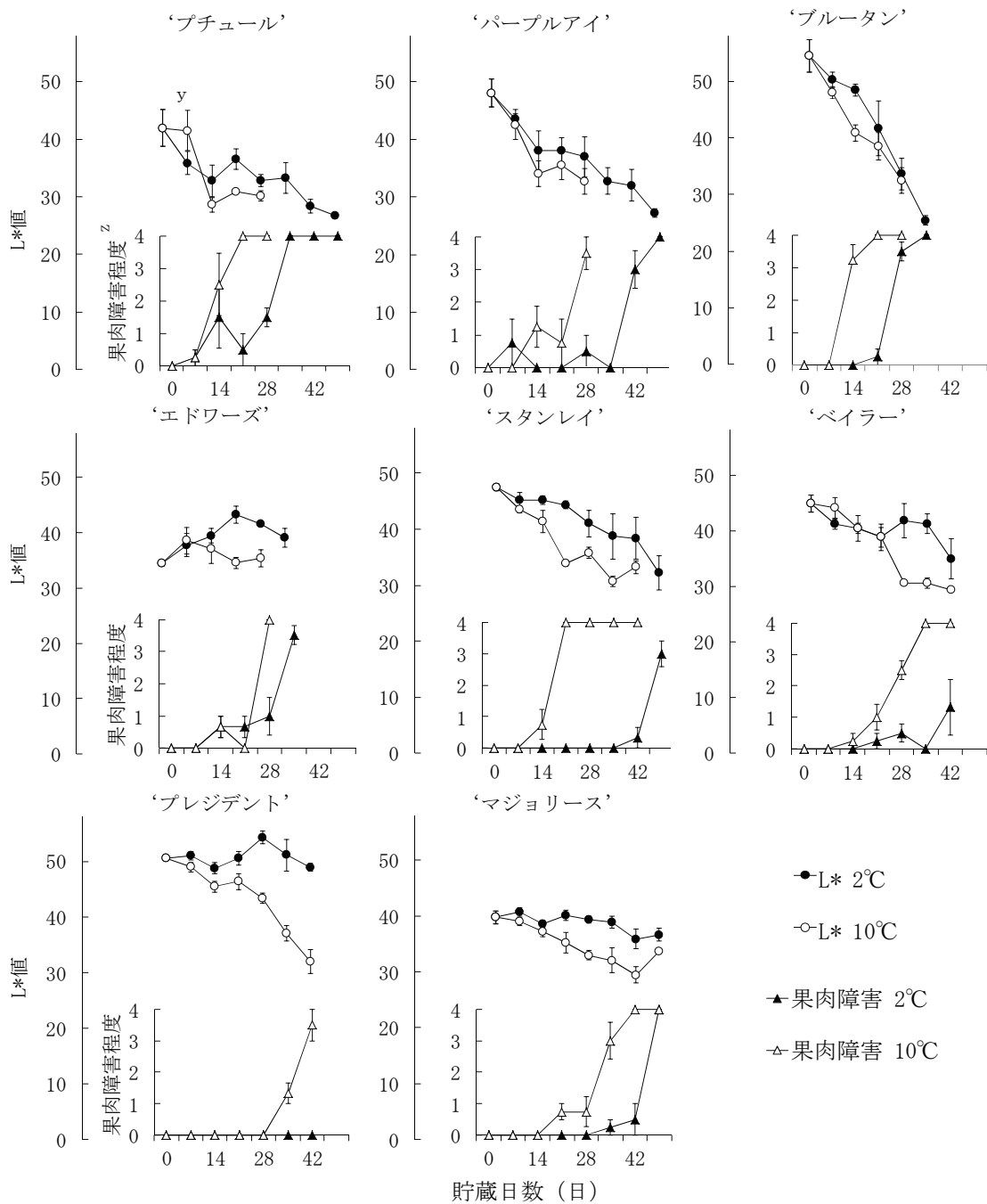
第 3-4 図 プルーン果実における貯蔵温度の違いが果実重および果肉硬度の変化に及ぼす影響 (2014 年)

^z 縦バーは標準誤差を示す (n=3~4)



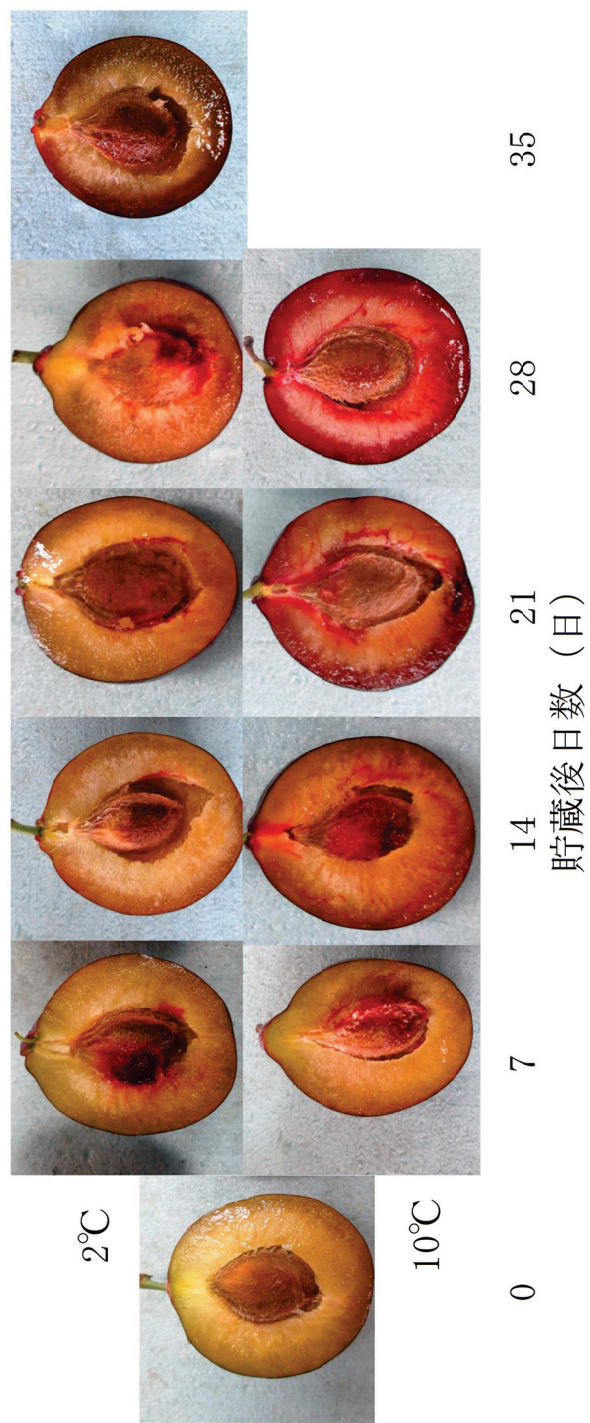
第 3-5 図 プルーン果実における貯蔵温度の違いが糖度および酸度の変化に及ぼす影響 (2014 年)

^z 縦バーは標準誤差を示す (n=3~4)

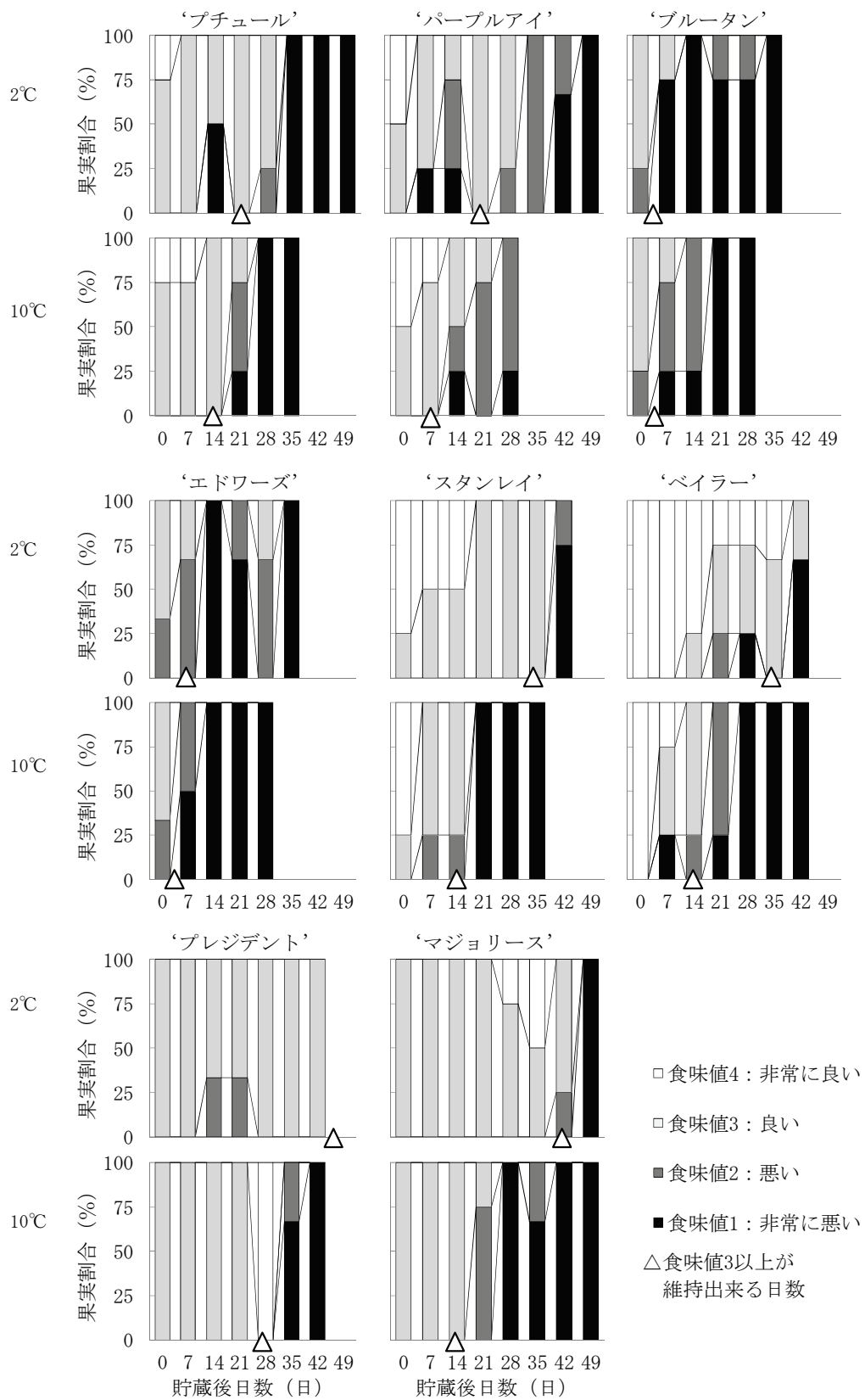


第 3-6 図 プルーン完熟果における貯蔵温度の違いが果肉色 L*値および果肉障害発生に及ぼす影響 (2014 年)

^z 果肉障害程度は第 3-2 図のとおり
^y 縦バーは標準誤差を示す (n=3~4)



第 3-7 図 プルーン ‘ブルータン’ における低温貯蔵中の果実断面の変化 (2014 年)



第 3-8 図 プルーン完熟果における貯蔵温度の違いが食味値の変化に及ぼす影響 (2014 年)

第2節 貯蔵中に発生する果肉障害とイオン漏出量の関係

収穫した果実を一定温度以下の低温（0～15℃）におくと、果肉の軟化や水浸状の褐変などの生理障害が起き、低温障害と呼ばれている（邨田, 1980）。また、Liebermanら（1958）はサツマイモ、Lewisら（1964）はトマト果実を用いて、低温障害によって組織切片から漏出するイオンや電解質が増加する事から、膜透過性の変化が起きていることを明らかにした。そこで、プルーンにおいて貯蔵中に発生した障害の原因について検討した。

材料および方法

供試樹として雨よけ平棚栽培のプルーン‘スタンレイ’、‘ベイラー’および‘マジョリース’を用いた。

1. 貯蔵中の果肉障害とイオン漏出量の変化

2016年9月28日に‘スタンレイ’および‘ベイラー’の果実を収穫し、試験に用いた。

収穫した果実は第1節と同様に貯蔵した。‘スタンレイ’および‘ベイラー’の貯蔵温度は2℃、10℃および20℃とした。2℃および10℃では7日間隔で、20℃では2～3日間隔で5果程度を取り出し、前節と同様に調査を行った。

電解質漏出量の測定は辰巳ら（1981）の方法に準拠して行った。すなわち、果肉色を測定した果実赤道部の果肉をコルクボーラー（直径1 cm）で抜き取り、1 gに調整後、0.4 M マンニトール水溶液 20 mL を分注した 50 mL の遠心管に入れ、90 分間攪拌しながらインキュベートした（23℃, 120 回/分）。その後電気伝導度計（MW802, Milwaukee 社製）で漏出した電解質量を測定した。さらに、90℃の熱水中で30分間浸漬し、氷中で冷却後、再び30分間攪拌しながらインキュベートした（23℃, 120 回/分）。最後に電解質の総漏出量を電気伝導度計で測定し、電解質の漏出割合は百分率で求めた。

2. 貯蔵中の部位別イオン漏出量の変化

2016年10月9日に‘マジョリース’の完熟果を収穫し、試験に用いた。

収穫した果実は第1節と同様に貯蔵し、貯蔵温度は25℃とした。2～7日

間隔で5果を取り出し、果肉障害程度を確認後、果肉を健全部と障害部に分けた。両部位の糖度、酸度およびイオン漏出量を上記と同様に測定した。

結果

1. 貯蔵中における果肉障害の発生と果肉中のイオン漏出量の変化

2℃、10℃および20℃貯蔵中の‘スタンレイ’および‘ベイラー’における果肉障害発生と果肉のイオン漏出量の変化を第3-9図に示した。

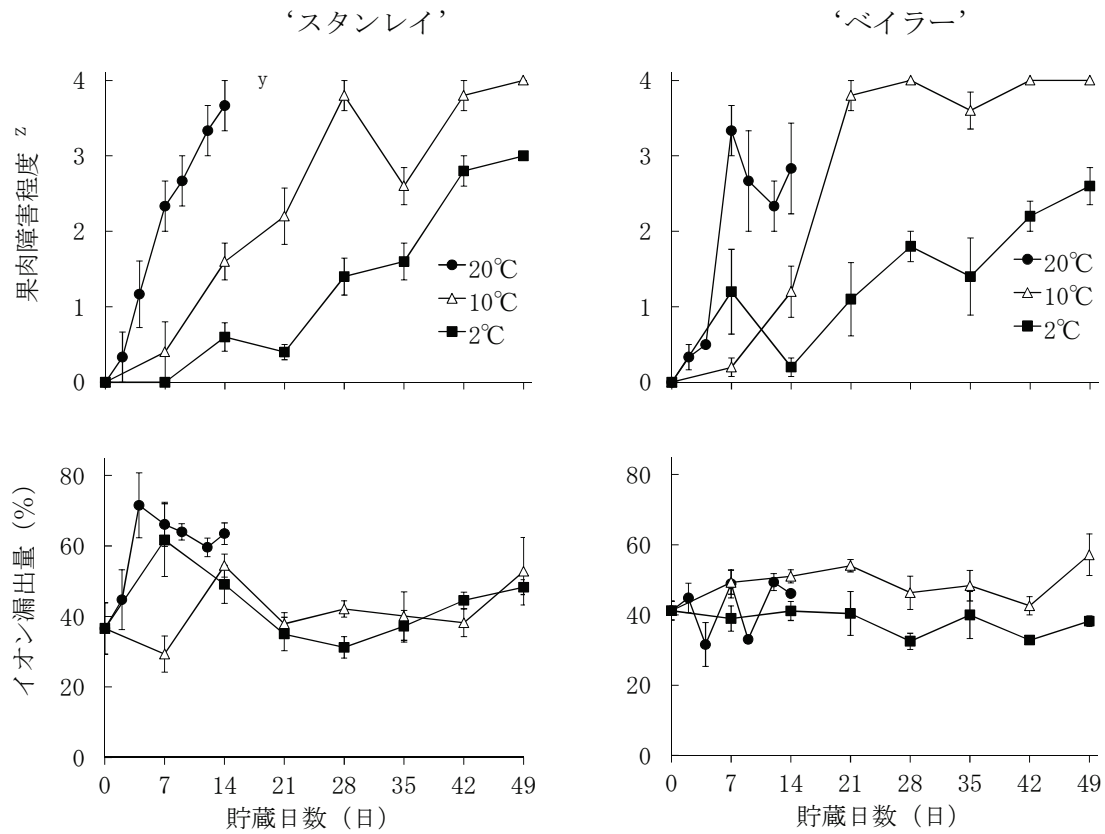
‘スタンレイ’における貯蔵中の果肉障害は、貯蔵温度が高いほど早く発生すると共に進展した。イオン漏出量は、20℃区において貯蔵後4日にピークとなり、その後減少した。10℃区および2℃区におけるイオン漏出量も20℃区と同様にそれぞれ貯蔵後7日及び14日にピークとなり、その後減少した。また、10℃区および2℃区におけるイオン漏出量は貯蔵後21日以降収穫時とほぼ同じ値となった。

‘ベイラー’における貯蔵中の果肉障害は‘スタンレイ’と同様に変化した。また、10℃区および2℃区におけるイオン漏出量は10℃区でやや高い値を示すものの、貯蔵期間中ほとんど変化しなかった。20℃区におけるイオン漏出量は、2℃区と10℃区におけるイオン漏出量が推移した範囲内で変化した。

2. 貯蔵中の果肉部位別イオン漏出量の変化

25℃貯蔵中の‘マジョリース’における果肉障害発生の変化、果肉の部位別糖度、酸度およびイオン漏出量の変化を第3-10図に示した。果肉障害は貯蔵後10日以降に発生が認められ、その後は緩やかに増加した。

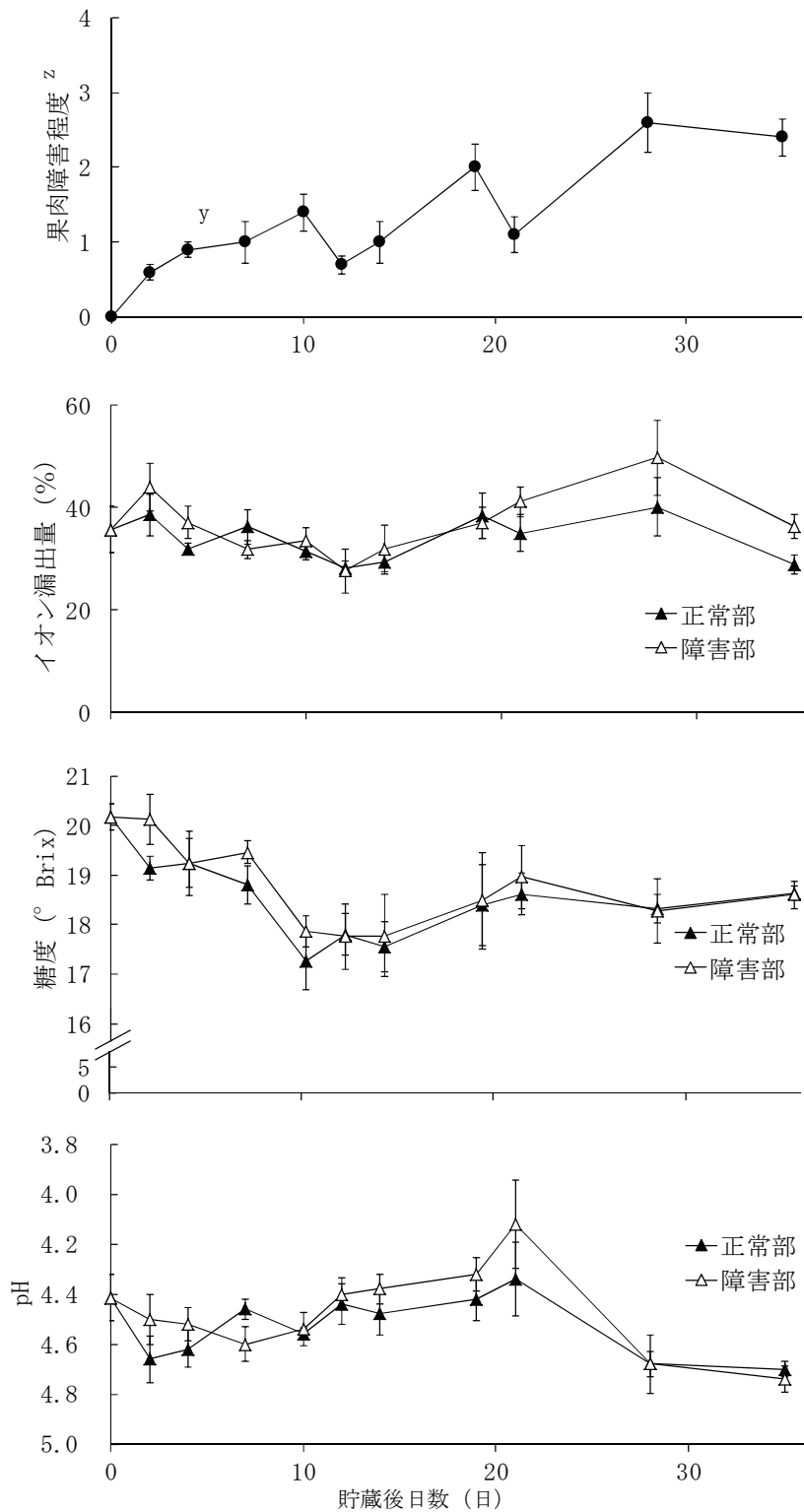
健全部におけるイオン漏出量はほとんど変化しなかった。障害部におけるイオン漏出量は、健全部と差が無かった。収穫時の糖度は20.1°であり、健全部および障害部における貯蔵中の糖度は、貯蔵後10～12日まで低下が見られ、その後上昇し、貯蔵後19日以降は一定となった。また、障害部における可溶性固形物含量の変化は、健全部と比較してやや遅れた。健全部の酸度は貯蔵後2日、障害部の酸度は貯蔵後7日にpH4.6のピークが見られ、貯蔵後21日まで上昇し、その後再び減少した。



第 3-9 図 プルーン果実における貯蔵温度の違いが果肉障害およびイオン漏出量の変化に及ぼす影響 (2016 年)

^z 果肉障害の程度は第 3-2 図に従って判定した

^y 縦バーは標準誤差を示す (n=5)



第 3-10 図 プルーン‘マジョリース’における 25℃貯蔵中の果肉障害発生と部位別イオン漏出量，糖度および酸度の変化（2016 年）

^z 果肉障害の程度は第 3-1 図に従って判定した

^y 縦バーは標準誤差を示す (n=5)

第 3 節 1-MCP による果実の日持ち性向上

ブルーベリー‘ベイヤール’は生産性が高く、果実品質もよいことが第 1 章で明らかとなった。また、第 1 章においてクライマクテリック型であることが明らかとなり、エチレンによる貯蔵中の軟化が懸念される。そこで、エチレン作用阻害剤である 1-methylcyclopropene (1-MCP) が貯蔵中の呼吸量、エチレン生成量および貯蔵性に及ぼす影響について検討した。

材料および方法

1. 供試品種

島根県農業技術センター植栽の雨よけ栽培‘ベイヤール’を供試した。2014 年 10 月 2 日に収穫した完熟果実を試験に用いた。

2. 1-MCP 処理と貯蔵中の果実品質、呼吸量およびエチレン生成量の変化

収穫した果実は約 100L のポリプロピレン製容器に入れ、1-MCP (スマートフレッシュ；アグロフレッシュ社製) を用いて、500 ppb、24 時間室温で処理を行った。無処理区は 1-MCP を入れなかった。

処理後の果実は 1 果重を測定後、第 1 節と同様に有孔ポリエチレン袋に封入し、2℃および 10℃で貯蔵した。その後 7 日間隔で 3~4 果を取り出して、1 果重、軟化程度、果肉硬度、果皮色、糖度および酸度を調査した。軟化程度は第 2 章第 3 節と同様に評価した。

また、1-MCP 処理した果実を用いて、20℃で貯蔵中における呼吸量およびエチレン生成量の変化をガスクロマトグラフで調査した。測定方法およびガスクロマトグラフの検出条件は第 2 章と同様であった。

結果

1. 1-MCP 処理が貯蔵中の果実品質の変化に及ぼす影響

1-MCP 処理を行った‘ベイヤール’における 2℃および 10℃貯蔵中の果実重および軟化程度の変化を第 3-11 図に示した。2℃区における果実重は、1-MCP 処理区において貯蔵後 28 日に 98.2%となり、無処理区と比較して減少が抑制された。10℃区では、1-MCP 処理によって貯蔵後 21 日まで果実重

の減少が抑制された。また、果面におけるシワは、10℃区においてはほとんど見られなかった（データ省略）。また、10℃区における果実軟化は、1-MCP 処理区で大きく抑制された。0℃区では1-MCP 処理に関わらず、貯蔵後28日まで果実軟化をしなかった。

1-MCP 処理を行った‘ベイラー’における2℃および10℃貯蔵中の果実品質の変化を第3-1表に示した。10℃区における果肉硬度は、1-MCP 処理区で貯蔵後21日まで維持されたが、無処理区は貯蔵21日後に低くなった。一方、0℃区では、1-MCP 処理に関わらず、果肉硬度は貯蔵後28日まで大きな変化は無かった。

果肉色L*値は10℃において、1-MCP 処理区で貯蔵後28日、無処理区で14日後から減少した。2℃区では、1-MCP 処理に関わらず、貯蔵後28日まで大きな変化は無かった。

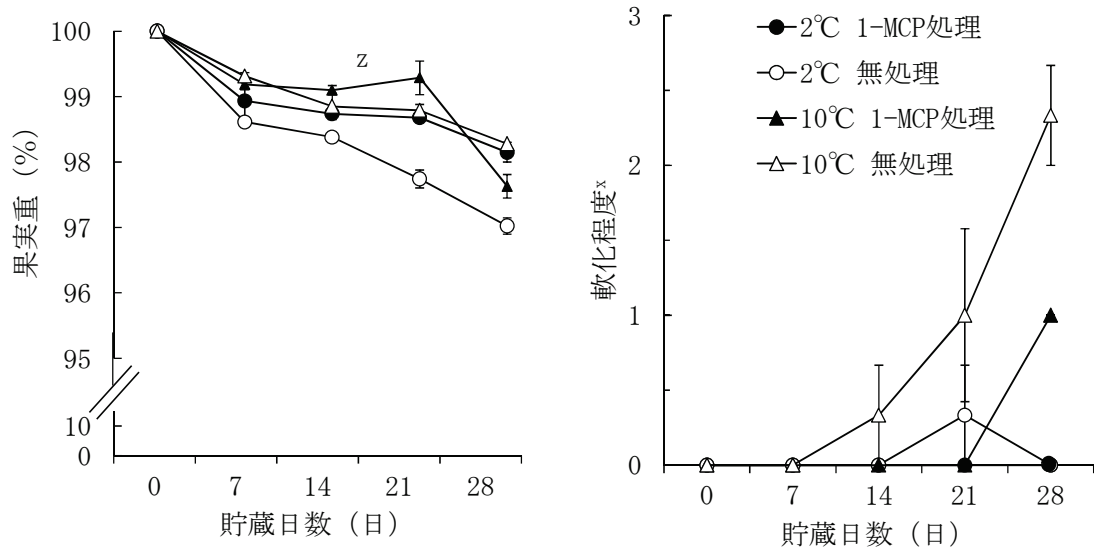
糖度は全試験区で、ほとんど変化しなかった。

酸度は10℃区において貯蔵日数とともに低下した。また、1-MCP 処理区で酸度の低下が緩やかであった。

2. 1-MCP 処理が20℃貯蔵中の果実における呼吸量およびエチレン生成量の変化に及ぼす影響

呼吸量およびエチレン生成量の変化を第3-12図に示した。1-MCP 処理区における呼吸量は処理後に $21.9 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ であったが徐々に減少し、7日後には $18.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ となった。無処理区における呼吸量はほとんど変化しなかった。

無処理区ではエチレン生成量は処理後4日に $1.0 \text{ } \mu\text{l} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ と急激に増加したのに対して、1-MCP 処理区では $0.5 \text{ } \mu\text{L} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 前後でほとんど変化しなかった。



第 3-11 図 プルーン ‘ベイラー’ に 1-MCP 処理^yが貯蔵中の果実重および軟化程度変化に及ぼす影響 (2014 年)

^z 縦バーは標準誤差を示す (n=3)

^y 1-MCP 処理は 500ppb, 24 時間, 室温とした

^x 軟化程度は 0: 十分な弾力がある, 1: やや軟らかい, 2: 果実全体が軟らかい, 4: 果実が変形するほど軟らかい, で評価した.

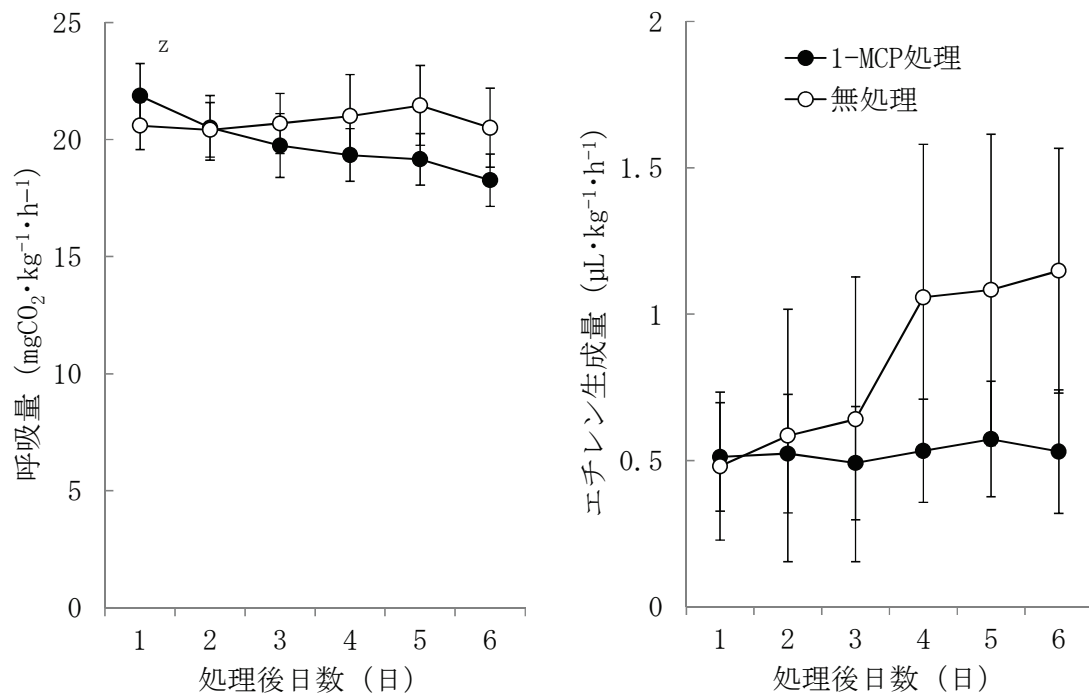
第3-1表 プルーン ‘ペイラー’ 果実における貯蔵温度と1-MCP処理^zが果実品質の変化に及ぼす影響 (2014)

試験区		貯蔵日数 (日)	果肉硬度 (kg)	果肉色			糖度 (° Brix)	pH
貯蔵温度 (°C)	1-MCP処理			L*	a*	b*		
2	有り	0	0.48	44.9	7.4	31.3ab ^x	25.8	4.7
		7	0.46	43.0	4.0	29.7ab	25.3	4.9
		14	0.43	39.2	4.5	27.0ab	26.9	4.9
		21	0.48	42.0	6.3	29.8ab	24.9	4.8
		28	0.48	40.6	6.8	28.4ab	24.3	5.2
	無し	0	0.48	44.9	7.4	31.3ab	25.8	4.7
		7	0.53	45.8	4.4	33.0a	26.0	4.7
		14	0.47	42.5	4.9	31.2ab	25.6	5.1
		21	0.31	36.1	5.6	24.9b	26.5	5.2
		28	0.52	42.3	5.7	27.8ab	26.7	4.9
有意性 ^y			ns	ns	ns	*	ns	*
10	有り	0	0.48a	44.6a	7.4	31.3a	27.8	4.7c
		7	0.47a	42.2a	4.6	30.7ab	25.8	5.1ab
		14	0.40ab	39.1abc	7.0	27.9abc	26.3	5.2a
		21	0.38ab	40.1abc	6.4	27.5abc	24.3	5.3a
		28	0.29b	32.0c	4.0	19.7c	24.7	5.3a
	無し	0	0.48a	44.9a	7.4	31.3a	25.8	4.7c
		7	0.39ab	39.5abc	3.6	24.6abc	25.9	4.7bc
		14	0.35ab	35.7bc	3.9	23.3bc	24.6	5.3a
		21	0.26c	33.4bc	5.2	22.4c	24.6	5.4a
		28	0.27b	32.7bc	6.1	22.7bc	25.9	5.3a
有意性		**	**	ns	**	ns	**	

^z 1-MCP処理は500ppb, 24時間, 室温とした

^y 一元配置分散分析により, nsは有意差なし, **は1%水準で有意差あり, *は5%水準で有意差あり

^x Tukey-Kramerの多重検定により, 異符号間に有意差あり



第 3-12 図 プルーン ‘ベイラー’ に 1-MCP 処理^yが 20℃ 貯蔵中の呼吸量およびエチレン生成量の変化に及ぼす影響 (2014 年)

^z 縦バーは標準誤差を示す (n=3~4)

^y 1-MCP 処理は 500 ppb, 24 時間, 室温とした

考察

1. 室温におけるブルーンの日持ち性および追熟性

一般に樹上における果実品質は熟度が進むほど向上するが、日持ち性は悪くなる（中村，2007）。また，樹上で一定以上熟度が進んだ果実は，未熟な状態で収穫しても成熟が続き，果実品質は向上する（平，2013a）。本試験において，ブルーン‘スタンレイ’を未熟期と完熟期に収穫し，室温における日持ち性を調査した結果，完熟果の日持ち性は7日間程度であると推察された。また，未熟果における追熟性はほとんど無かったことから（第3-3図），ブルーンは完熟果で収穫するのがよいと考えられた。

また，ニホンスモモにおける室温での日持ち性は3から30日間と品種により大きく異なることから（小宮山ら，1979a, b；小宮山・辻，1992），同じスモモ亜属であるブルーンにおいても室温における品種別貯蔵性を検討する余地はあると思われる。

2. ブルーン完熟果実における低温貯蔵性

収穫後の果実品質低下は，蒸散による外観，テクスチャー，栄養成分の消失，呼吸による生理的な劣化，カビなどの繁殖などによって進むため，低温で貯蔵，流通させることは有効である（岩田，1991）。

貯蔵中に果実重が5%以上減少すると，果面のしわや軟化などによって商品性を失うとされるが（田中，2001），ブルーン完熟果では，蒸散を抑制した有孔ポリ包装の場合でも，2~3%の果実重減少によってしわが発生することが明らかとなった（データ省略）。また，貯蔵中における果実重は、ほとんどの品種において貯蔵温度に関係なく，貯蔵日数の経過とともに漸減したが，‘スタンレイ’においては，10℃区で急激に減少した。‘スタンレイ’はドメスチカスモモの中ではブルーングループに属することから（長野県，2006），水分が減少しやすいと考えられた。果肉硬度の変化は貯蔵温度に依存しており，2℃区では10℃区と比較して硬度が維持されたが，果実重の変化とは一致しなかった。

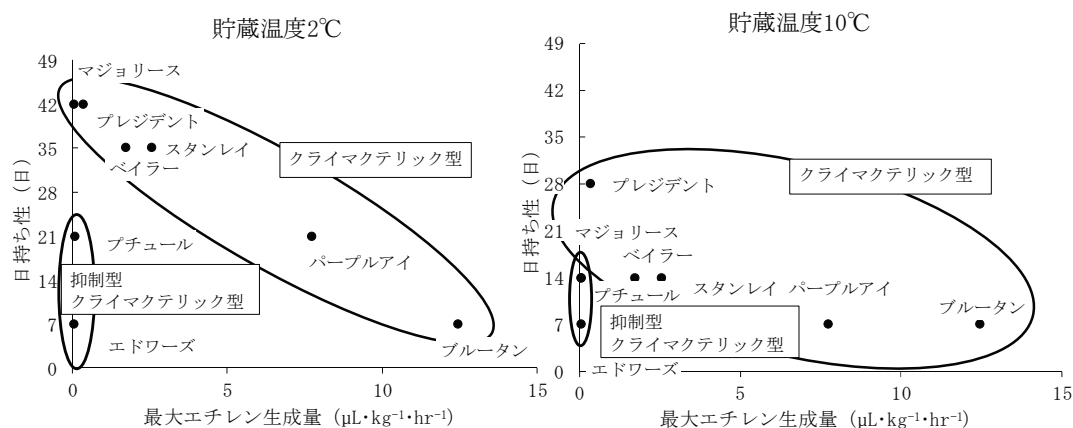
収穫後の果実は自身の持つ糖や酸を使用して呼吸する（平，2013b）。ブルーンにおいては，貯蔵中に糖度はほとんど変わらず，減酸していることから，

収穫後におけるプルーンの呼吸は、主に有機酸を利用していると推察された。‘スタンレイ’では10℃貯蔵において糖度上昇が認められたが、果実重が減少したためであると考えられた。また貯蔵中における果実の呼吸量は温度が高いほど多いことから（小宮山，1979b），プルーンにおける酸度の低下は2℃区と比較して10℃区で早く進んだと思われる。

一般には低温貯蔵中におきる褐変や陥没等の障害は、低温の方が早く、症状も進みやすい（阿部ら，1974；Lyons，1973；邨田，1980）。しかし、プルーンにおける貯蔵中の障害は、温度の低い2℃で発生が抑制されていた（第3-6図）。同様の現象はウメ（岩田・緒方，1976），モモ（梶浦，1972；Crisostoら，1999），ネクタリン（Crisostoら，1999）などで知られており，5から6℃の中間的な温度で貯蔵中の障害が発生しやすく，品種により発生程度が異なることが明らかにされているが，その原因については不明である。

また，‘ブルータン’では，貯蔵後14日前後から果肉が赤色に変化していった（第3-7図）。スモモでは貯蔵中に発生する障害には様々なタイプがあることが明らかとなっており（Crisostoら，2004），「溢泌（Bleeding）」と呼ばれるものであると思われた。

果実の日持ち性と第2章で調査した20℃における最大エチレン生成量の関係を第3-13図に示した。第2-1表においてクライマクテリック型に分類した6品種では，エチレン生成量の多い‘ブルータン’および‘パープルアイ’は日持ち性が悪く，エチレン生成量の少ない‘プレジデント’および‘マジョリース’は日持ち性が良くなったことから，日持ち性とエチレン生成量の関連性は高いと考えられた。しかし，抑制型クライマクテリック型の品種では，日持ち性とエチレン生成量の関連性は低いと考えられた。



第 3-13 図 プルーンにおける日持ち性と 20°C の最大エチレン生成量の関係

3. プルーンにおける低温貯蔵中に発生する果肉障害とイオン漏出量

低温貯蔵中に発生する障害と生体膜の関係は、多くの作物で検討されており、障害発生前後に電解質の漏出が起きることが分かっている(山内, 2007)。

本試験においてプルーン 2 品種を用いて 2°C, 10°C および 20°C 貯蔵中における果肉障害の発生を調査したところ、いずれの貯蔵温度においても果肉の障害は発生した。しかし、イオン漏出量の変化に貯蔵温度や部位による違いは無かったことから(第 3-9 図, 第 3-10 図)、プルーン完熟果における貯蔵中に果肉障害と膜透過性には関連性がないと考えられた。ニホンスモモでは低温貯蔵中に発生する果肉障害とイオン漏出量は関連しているとの報告があり(王ら, 1988)、スモモ亜属内においても種類によって貯蔵中の果肉障害とイオン漏出量の関係性は異なる可能性がある。また、カンキツにおける貯蔵障害(こはん症)では、なつみかんではイオン漏出量と障害発生の関連性はなく(岩田ら, 1968)、はっさくでは室温(20°C)で貯蔵化した果実からもイオン漏出量は増加する(Uthaibutra・Genma, 1992)こと、タンゴールでは貯蔵温度の急激な変化でイオン漏出量が増加する(阿部ら, 1996)が報告されており、種類によって障害とイオン漏出量の関連性には違いがあると考えられた。

4. 1-MCP によるプルーンの日持ち性向上の可能性

1-MCP 処理による品質保持，日持ち性向上効果はリンゴ（檜村ら，2010；Tatsuki ら，2007），ナシ（島田ら，2011），西洋ナシ（Trincherola ら，2004），モモ（Hayama ら，2005）およびカキ（倉橋ら，2005；鈴木ら，2014）などで報告されている．本試験においても，1-MCP 処理を行ったプルーン‘ベイラー’において 10℃での日持ち性が 1 週間延長出来ることが示された．また，他の果樹と同様に 1-MCP 処理によって貯蔵中のエチレン生成量は抑制されたことから（第 3-12 図），‘ベイラー’のようなクライマクテリック型のプルーン果実に対する 1-MCP 処理は有効であるといえる．しかし，エチレン生成量の少ない抑制型クライマクテリック型果実に対する 1-MCP 処理の効果は，Lippert・Blanke（2004）が述べているように，期待できないと考えられた．

これらのことから，生食用プルーン果実は 2℃程度で日持ち性が良いことが示された．プルーンの特徴の一つである，抗酸化能も 1℃で維持できる事が明らかとなっている（Hamauzu・Kume，2005）．さらに，プルーン果実に対する 1-MCP 処理は，貯蔵期間を 4 倍にしたとの報告もあることから（Valero ら，2003），低温と 1-MCP 処理を組み合わせることで，長期貯蔵が期待できる．なお，プルーンにおいて貯蔵中に発生する果肉障害は，1-MCP 処理によって抑制できないことから（Plich，2006），他の方法について検討する必要がある．

要約

ブルーンの貯蔵特性を明らかにするため、異なる温度における貯蔵中の果実品質変化を調査した。完熟期の‘スタンレイ’果実の20℃における日持ち性は7日程度であった。未熟果の果実品質は貯蔵中に変化することなく、追熟性はなかった。ブルーン8品種を用いて、2℃および10℃における貯蔵性を比較検討した。貯蔵中の果実重は、‘スタンレイ’および‘ベイラー’において、10℃区で大きく減少したが、他の品種では貯蔵温度による果実重変化に差は無かった。果肉硬度は全ての品種において2℃区と比較して10℃区で早く低下した。‘プチュール’および‘エドワーズ’における10℃区の果肉硬度の低下は緩やかであったが、他の6品種では果肉硬度が急激に低下した。貯蔵中の糖度は‘スタンレイ’および‘プレジデント’において、10℃区で貯蔵日数に伴って上昇し、‘ブルータン’では貯蔵後21日以降、2℃区で急激に高くなった。酸度は、全ての品種において貯蔵日数とともに減少し、2℃区と比較して10℃区でより早く減酸した。貯蔵中の水浸状軟化を伴う果肉障害は全ての品種において発生した。2℃区では10℃区と比較して果肉障害の発生が遅延され、その変化は果肉色L*値の変化とほぼ同じであった。貯蔵中の食味は10℃区と比較して2℃区で長く維持された。特に‘スタンレイ’、‘ベイラー’、‘プレジデント’および‘マジョリース’では、2℃区で貯蔵後35日以上食味が維持された。貯蔵中の果肉におけるイオン漏出量の変化を調査したところ、果肉障害の発生や進展との関連性は無かった。また、果肉障害部位と健全部位におけるイオン漏出量の変化にも差は無かった。ブルーン‘ベイラー’を用いて、500ppbの1-アミノシクロプロペン(1-MCP)処理を行ったところ、10℃における果実軟化が抑制され、日持ち性が1週間延長された。また、1-MCP処理を行った果実では、無処理果と比較して20℃貯蔵中のエチレン生成量および呼吸量が抑制される傾向であった。以上のことから、生食用ブルーン果実の適性貯蔵温度は2℃程度であり、収穫期の遅い品種ほど貯蔵性が良かった。また、ブルーン果実は、1-MCP処理によって日持ち性が長くなることが示された。

総合考察

プルーン (*Prunus domestica* L) はバラ科サクラ属スモモ亜属に属する果樹で、果実は機能性成分を多く含むことから健康食品として注目されている。原産地はコーカサス地方であるといわれており、栽培の歴史は2,000年ほどである。また、プルーンは夏季に降雨が少なく、乾燥した気候を好むため、欧米等の地中海性気候の地域が栽培に適している。主産地であるカリフォルニアなどでは主に乾果を目的として栽培されているが、近年は、生食用果実において機能性や抗酸化性に関する報告が増えているとともに（木村ら，2008；Slimestadら，2009；Thurrow・Lee，2012），樹上で完熟した生食用果実の需要が高まっている（Crisostoら，1995；Okie・Ramming，1999）。しかし、生食用果実は収穫調整に労力と時間を要することから、産地および生産者の取扱量が限られるとともに、日持ち性が悪いため、需要には十分に答えられていない（Crisostoら，1995）。そのため、消費者ニーズに応えるためには世界の生食用プルーン生産量を増やすとともに品質を保持しながら消費者に供給する流通システムを構築する必要がある。そこで、本研究では、プルーン果実の成熟生理学的特性明らかにし、品質を保持しながら貯蔵流通させるための貯蔵条件等を比較検討した。そして、世界の生食用プルーン生産量を増やすため、本来適地ではない東アジアの温帯モンスーン気候である島根県出雲市をモデル地区として生食用適性を有する品種の選定を行った。

プルーンの成熟型は何か

Kidd・West（1930）はリンゴが成熟期に移る時、貯蔵中の果実呼吸量が増加するクライマクテリックライズという現象を発見した。そして Smock・Neubert（1950）は、樹上でのクライマクテリックライズを推定する方法として採取後の果実を約20℃の恒温下に静置し、24時間後の呼吸量を測定するのが適切であるとしている。プルーンにおいても同様の方法で樹上において推定される呼吸量を調査した。年次変動および値の違いはあるものの、樹上における呼吸量は果実の発育とともに漸減して最低値を示し、その後増加するクライマクテリックライズを示した。また、エチレンは、クライマク

テリツライズの引き金として作用することから (Burg・Burg, 1962), クライマクテリックライズを示す果実では, 樹上において呼吸量の増加に伴ってエチレン生成量も増加する. プルーンにおける樹上で推定されるエチレン生成量は, 未熟期では低く推移した後, 成熟期になると呼吸量の変化と同様に増加した.

Biale(1960b)は, 未熟期から成熟期にかけて採取した果実を用いて貯蔵中の呼吸量を調査し, 種々の果実をクライマクテリック型とノンクライマクテリック型に分類した. 成熟期において, クライマクテリック型果実では, 採取後数日で呼吸量およびエチレン生成量は増加し, ピークに達した後減少するが, ノンクライマクテリック型果実では, 採取後に呼吸量およびエチレン生成量は増加しない. 成熟期に採取したプルーン果実では, 採取後貯蔵中における呼吸量およびエチレン生成量は, 特に成熟期後半に急激に増加するタイプが多かった.

McMurchie ら (1972) はクライマクテリック型果実とノンクライマクテリック型果実の違いは, 自己触媒的なエチレン生成の有無であることを明らかにした. エチレンまたはプロピレン処理によるエチレン生成量の増加の有無は, クライマクテリック型とノンクライマクテリック型の判断基準になっている (久保, 2007). プルーンにおいても 2 品種の成熟果を用いて, エチレン処理を行ったところ, 処理後貯蔵中におけるエチレン生成量および呼吸量の増大が見られたことから, これらの品種はクライマクテリック型果実であるといえる.

つまりプルーン果実は樹上における呼吸量およびエチレン生成量の増加, 成熟期における果実の採取後貯蔵中の呼吸量およびエチレン生成量の増加, エチレン処理によるエチレン生成量および呼吸量の増加を示したことから, 一部の品種において Abdi ら (1997) が示した抑制型クライマクテリック型が含まれるものの, クライマクテリック型果実であることが明らかとなった.

プルーンにおける貯蔵中の果実品質低下の原因と対策

次にプルーン果実の貯蔵特性について検討した. 収穫期に採取した果実の 20℃貯蔵中における急激な呼吸量とエチレン生成量の増加を示した品種で

は、完熟果の 10℃貯蔵中における果肉硬度も急激に低下した。逆に、20℃貯蔵中における呼吸量およびエチレン生成量の急激な増加を示さなかった品種では、果肉硬度の低下も緩やかであった。このことから、プルーン果実における貯蔵性は貯蔵中の呼吸量やエチレン生成量に大きく影響を受けると考えられた。一般に果実の呼吸は低温によって抑制されることから、プルーンにおける貯蔵中の果実品質変化を 2℃と 10℃で比較したところ、2℃において果実品質の低下は抑制され、日持ち性は向上した。このことから、生食用プルーン果実の貯蔵適性温度は 2℃前後であると考えられた。

また、エチレン作用阻害剤である 1-MCP 処理はクライマクテリック型果実において日持ち性向上効果があることから（樫村ら，2010；Trincherola，2004；Hayama ら，2005），プルーンにおいてもその効果を検討した。その結果 10℃における日持ち性を 1 週間延長することができた。1-MCP 処理と低温貯蔵を組み合わせることで、プルーン果実の日持ち性は向上する可能性が高いと考えられた。

貯蔵中のプルーン果実は、水浸状の軟化を伴う果肉障害が発生し、食味が低下した。青果物を貯蔵した場合に発生する障害は生体膜との関係で検討され、障害発生前後に電解質の漏出が起きることが明らかとなっている（山内，2007）。そこで、プルーンにおける貯蔵中の果肉障害とイオン漏出量との関係について検討した。果肉障害は貯蔵温度が高いほど早く発生し、進展も急激であった。しかし、イオン漏出量の変化パターンは、貯蔵温度による違いはなく、果肉障害の進展に伴い、増加し続けることもなかった。また、果肉障害発生部位と健全部位におけるイオン漏出量の変化に差はなかった。このことから、プルーンにおいて貯蔵中に発生する果肉障害と膜透過性には関係がないと考えられた。果肉障害発生の原因については、今後の検討課題である。

東アジアの温帯モンスーン気候におけるプルーン栽培を目指した適性品種の選定とプルーン栽培のさらなる可能性

プルーンには収穫期の異なる品種が多くある（農林水産省，2013）。現在の世界におけるプルーン産地では主に乾果やペーストが生産されているこ

とから、生食用果実の生産量を増加させるためには、新たな産地を育成する必要がある。また、生食用果実の需要に応えるとともに生産者の安定した収入を確保するためには、収量性が高く、果実品質の優れた品種を選択、栽培し、有利販売につなげなければならない。そこで、夏季が高温で降水量も多いことから、本来プルーンの栽培適地ではないモデル地区において、収穫期が8月から10月の生食用を有する品種の適応性を検討した。プルーンは収穫期の降雨によって裂果が発生することから、降水量の多い地域では雨よけ栽培が必須である。また、プルーンには自家不和合性品種と自家和合性品種があるため、結実安定には授粉が必要である。3月の平均気温によって開花期は年次変動するとともに、霜害の可能性もあるが、交雑和合性のある品種の組み合わせや、開花期における人工授粉または虫媒授粉により、結実は十分に確保することができた。

収穫期が9月中旬から10月下旬の品種は、雨よけ平棚栽培における樹冠占有面積あたりの収量が $1000 \text{ kg} \cdot 10\text{a}^{-1}$ 以上と高く、糖酸比が20以上の高品質果実が生産できたことから、モデル地区での栽培に適すと考えられた。さらに、これらの品種は抗酸化能も高かった。一方、8月中旬から9月中旬に収穫期となる品種においては、果実内部の褐変や異臭の発生、水分がやや抜けて食感の劣る果実が見られた。果実内部の褐変は、樹上において呼吸量やエチレン生成量が増加する前から発生したが、同じように呼吸量やエチレン生成量が急増する収穫期の遅い品種においては発生しなかった。このことから、プルーンにおいて樹上で発生する果肉褐変と呼吸量およびエチレン生成量の増加との関連性は無いと考えられ、梅雨明け後の急激な気温上昇と果肉硬度の変化が重なることによって、果肉褐変は発生すると推察された。また、モデル地区では、7月および8月の昼夜温差は主産地と比較して小さく、降水量も多いことから、夜間の呼吸による同化産物の消費や高湿度による呼吸障害が褐変を助長している可能性も考えられる。このように様々な条件が悪い時期に収穫期を迎える品種は導入するべきではない。

モデル地区において今回調査に用いた早生品種は収穫前に果肉が褐変するため生食用として適さなかったが、プルーンの遺伝資源が豊富なヨーロッパでは、育種も盛んであることから、モデル地区のような地域においても

栽培可能な早生品種が育成される可能性がある。さらに、かつて世界の東西交易が盛んに行われたシルクロードの舞台である中国西域では、多くのヨーロッパスモモが自生または植栽されていることから（佐藤ら，2006），これらの育種への利用も検討すべきである。また，日本においても主産地である長野県において収穫時期のやや早い品種が育成されており，このような品種のモデル地区における栽培適応性については検討する余地がある。

本研究によって，本来栽培適地ではない東アジアの温帯モンスーン気候におけるプルーン栽培には，収穫期が9月中旬から10月下旬の中生および晩生品種が収量性に優れ，昼夜間の温度差が大きいことから果実品質も良好であり，生食用果実として適する。収穫期が8月中旬から9月中旬の早生および中生品種は，急激な高温や昼夜間の温度差が小さいことによる果肉の褐変や食味不良が生じるため，生食用として適さない。具体的な適応品種については，各地域にて最終的には試験栽培を行う必要がある。また，プルーンはクライマクテリック型果実であることが明らかとなったことから，呼吸量やエチレン生成量の増加による果実品質の低下を抑制するためには2℃程度の温度で貯蔵するのがよく，エチレン作用阻害剤である1-MCPとの組み合わせで日持ち性は向上すると考えられた。東アジアの温帯モンスーン気候および他の温暖湿潤気候でのプルーン栽培が拡大すれば，既存の産地と合わせて生食用プルーン果実を十分量供給できるとともに，品種特性に合わせた長期貯蔵と低温流通を組み合わせることで北半球と南半球で生食用プルーンの周年供給も可能である。

総合摘要

本研究では本来栽培適地ではない東アジアの温帯モンスーン地帯でのブルー栽培拡大を目指し、西日本に位置する島根県出雲市をモデル地区として、収穫期が8月から10月の8品種（‘プチュール’、‘パープルアイ’、‘ブルータン’、‘エドワーズ’、‘スタンレイ’、‘ベイラー’、‘プレジデント’および‘マジョリース・シードリング’）を用い、生食用適性を有する品種の検討を行った。さらに、ブルー果実を鮮度のよい状態で流通させるため、生理学的特性および日持ち性についても検討した。

1. ブルーの成熟特性と果実品質

ブルーの開花期は3月下旬から4月中旬であり、年次変動があることから、結実を確保するためには、開花期の重なる数品種の混植が必要であることが示された。収穫期が9月中旬以降の‘スタンレイ’、‘ベイラー’、‘プレジデント’および‘マジョリース・シードリング’では、樹冠占有面積あたりの収穫量が $1000 \text{ kg} \cdot 10\text{a}^{-1}$ 以上であり、糖酸比が20以上の高品質果実を生産することができた。一方、収穫期を8月から9月中旬に迎える‘プチュール’、‘パープルアイ’、‘ブルータン’および‘エドワーズ’では、樹冠占有面積あたりの収穫量が少ないうえに、果実の糖酸比が低く食味も劣った。さらに、これらの品種では、収穫前に果肉の褐変などの高温障害が発生した。また、ブルー果実の抗酸化能は収穫時期の遅い品種ほど高くなる傾向があった。以上のことから、モデル地区である島根県出雲市において収穫期が9月中旬から10月下旬の中生および晩生品種が生食用として適するとともに抗酸化能が高いことが明らかとなった。

2. ブルー果実の成熟に伴う呼吸量とエチレン生成量の変化

ブルー果実の成熟型を明らかにするため、8品種を用いて、①樹上での成熟期における呼吸量またはエチレン生成量増加の有無（‘プチュール’を除く7品種）、②成熟期に採取した果実における採取後の呼吸量またはエチレン生成量増加の有無、③成熟果に対する外部エチレン処理による自己触媒的なエチレン生成の有無を調査した。樹上における推定呼吸量は、いずれの

品種も未熟期の始めから終わりまで漸次減少して最低値となり，‘エドワーズ’を除く6品種では，その後成熟期に増加するクライマクテリックライズを示した．未熟期の樹上でのエチレン生成量は全品種ともごく僅かであり，成熟期に‘エドワーズ’と‘スタンレイ’を除く5品種で高くなる傾向にあった．成熟期に採取した果実における採取後20℃貯蔵中の呼吸量およびエチレン生成量は，‘プチュール’および‘エドワーズ’を除く6品種で増加した．‘スタンレイ’および‘ベイラー’の成熟期に採取した果実を用いて500 ppmのエチレンガスで48時間処理すると，呼吸量およびエチレン生成量が増加した．以上の結果を総合的に判断すると，‘プチュール’および‘エドワーズ’は抑制型クライマクテリック型，その他の‘パープルアイ’，‘ブルータン’，‘スタンレイ’，‘ベイラー’，‘プレジデント’および‘マジョリース・シードリング’はクライマクテリック型に属すると考えられた．

3. プルーン果実の日持ち性と貯蔵中における果実品質の変化

プルーン8品種の成熟果を用いて，2℃および10℃における貯蔵性を比較検討した．果肉硬度は全ての品種において2℃区と比較して10℃区で早く低下した．貯蔵中の水浸状軟化を伴う果肉障害は全ての品種において発生し，2℃区では10℃区より発生が遅延された．食味は10℃区と比較して2℃区で長く維持され，特に‘スタンレイ’，‘ベイラー’，‘プレジデント’および‘マジョリース’では，2℃区で貯蔵後35日以上食味が維持された．貯蔵中におけるイオン漏出量の変化と果肉障害の発生とは関連性が無かった．‘ベイラー’への500 ppbの1-アミノシクロプロペン（1-MCP）処理は，10℃における果実軟化を抑制し，日持ち性が1週間延長された．また，1-MCP処理は20℃貯蔵中のエチレン生成量および呼吸量が抑制した．以上のことから，生食用プルーン果実は2℃程度で貯蔵が良好であり，収穫期の遅い品種ほど貯蔵性が良かった．また，1-MCP処理によって日持ち性が長くなった．

引用文献

- Abdi, N., P. Holford, W. B. McGlasson and Y. Mizrahi. 1997. Ripening behaviour and responses to propylene in four cultivars of Japanese type plums. *Postharvest Bio. Technol.* 12: 21-34.
- 阿部 薫・井上重雄・志村浩雄. 整枝・剪定. 2001. p.105-130. モモの作業便利帳. 農文協. 東京.
- 阿部一博・岩田隆・緒方邦安. 1974. ナス果実の低温障害に関する研究 (第1報). *園学雑*, 42: 402-407.
- 阿部一博・矢野昌充・長谷川美典・高橋徹・吉村公一・岩田隆. 1996. タンゴール‘清見’果実のこはん症発生に伴うイオン漏出と組織構造の変化. *日食低温誌*. 22: 85-89.
- 雨宮秀仁・三宅正則・佐藤明子・手塚誉裕・富田 晃・猪股雅人・櫻井健雄. 2005. ニホンスモモのS遺伝子型と交配親和性に関する研究. *山梨果試研報*. 14: 1-9.
- 小豆澤斉. 2003. 島根県の風土の農業. p.38-56. 日本気象学会中国・四国支部編. 中国・四国地域の農業気象. 農業統計協会. 東京.
- Biale, J. B. 1950. Postharvest physiology and biochemistry of fruits. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 1: 183-206.
- Biale, J. B. 1960a. Respiration of fruits. *Handbuch der Pflanzenphysiologie*. 12 (Part II): 536-592.
- Biale, J. B. 1960b. The postharvest biochemistry of tropical and subtropical fruits. *Adv. Food Res.* 10: 293-354.
- Blažek, J. and I. Pištěková. 2009. Preliminary evaluation results of new plum cultivars in a dense planting. *Hortic. Sci*, 36: 45-54.
- Blažek, J., R. Vávra and I. Pištěková. 2004. Orchard performance of new plum cultivars on two rootstocks in a trial at Holovousy in 1998-2003. *Hort. Sci.* 31: 37-43.
- Bozhkova, V. 2014. Chemical composition and sensory evaluation of plum fruits. *Trakya Univ. J. Nat. Sci.* 15: 31-35.

- Burg, S. P. and E. A. Burg. 1962. Role of ethylene in fruit ripening. *Plant Physiol.* 37: 179-189.
- Burgos, L., O. Pérez-Tornero J. Ballester and E. Olmos. 1998. Detection and inheritance of stylar ribonucleases associated with incompatibility alleles in apricot. *Sexual Plant Reproduction*, 11: 153-158.
- Butac, M., M. Militaru, S. Budan and I. Ancu. 2012. Field performance of several plum genotypes grown under environmental condition of Pitesti-maracineni. *Scientific Papers-Series B, Horticulture*, 56: 235-238.
- California Department of Food and Agriculture (CDFA). 2016. 2016 California dried plum (prune) forecast. <<http://www.cdfa.ca.gov/>>
- California Prune Board (CPB). 2016. Trade and Tool. CPB Japan marketing office, Tokyo. <<http://www.prune.jp/industry/statistics.html>>
- Cordova, F. M. and R. R. Watson. 2011. Prunus and plums in health promotion. p205-210. In: Ronald Ross Watson and Victor, R. P. (eds.). *Bioactive Foods and Extracts: Cancer Treatment and Prevention*. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, London, New York.
- Crisosto, C. H. 1994. Stone fruit maturity indices: a descriptive review. *Postharvest News Info* 5: 65-68.
- Crisosto, C. H, D. Garner, G. M, Crisosto and E. Bowerman. 2004. Increasing 'Black-amber' plum (*Prunus salicina* Lindell) consumer acceptance. *Postharvest Biol. Tech.* 34: 237-244.
- Crisosto, C. H., F. G. Mitchell and S. Johnson. 1995. Factors in fresh market stone fruit quality. *Postharvest News Info.* 6: 17-21.
- Crisosto, C. H., F. G. Mitchell and Z. Ju. 1999. Susceptibility to chilling injury of peach, nectarine, and plum cultivars grown in California. *HortScience.* 34: 1116-1118.

- 独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構果樹研究所. 2007. スモモ：育成系統適応性検定試験・特性検定試験調査方法. p. 88-96.
- 独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構食品総合研究所. 2013. 親水性酸素ラジカル消去能 (H-ORAC)測定法標準作業手順書.
- Eaks, I. L. 1970. Respiratory response, ethylene production, and response to ethylene of citrus fruit during ontogeny. *Plant Physiol.* 45: 334-338.
- Embree, C. G., G. Tehrani and K. B. McRae. 1999. Vineland plum cultivars perform well on dwarf and vigorous rootstocks in early production. *Can. J. Plant Sci.* 79: 611-615.
- 深井洋一・松澤恒友. 2000. プルーンの成分特性と抗酸化能. *日食工.* 47: 97-104.
- Glozer, K and F. Niederhorlzer. 2007. Using the dynamic model to time sprays of rest breaking agents in California prune production, 2005-2007. *California Dried Plum Board Research Reports 2007.* 28-38.
- Haji, T., H. Yaegaki and M. Yamaguchi. 2004. Varietal differences in the relationship between maturation characteristics, storage life and ethylene production in peach fruit. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 71: 97-104.
- Hamauzu, Y. and C. Kume. 2005. Changes in fruit quality, phenolic compounds and antioxidant capacity of fresh prunes during storage. *Acta Hortic.* 682: 557-564.
- Hartmann, W. and M. Neumüller. 2009. Plum breeding. p. 161-231. In: S. Mohan Jain and P. M. Priyadarshan (eds.). *Breeding plantation tree crops: temperate species.* Springer Science+Business Media, New York.
- Hayama, Y., A. Ito and Y. Kashimura. 2005. Effect of 1-methylcyclopropene (1-MCP) Treatment under sub-atmospheric pressure on the softening of 'Akatsuki' peach. *園学雑* 74: 398-400.

- 林 恭平・根来圭一・岩本和也. 2004. PCR 法によるウメ品種の S 遺伝子型. 和歌山県農林水産総合技術センター研究報告. 5: 67-73.
- Haytowitz, D. B. and S. Bhagwat. 2010. USDA database for the oxygen radical absorbance capacity (ORAC) of selected foods, Release 2. US Department of Agriculture.
- 堀 茂樹. 2004. 長野県のプルーン. 果実日本. 59: 66-67.
- Hyodo, H. 1977. Ethylene production and respiration of Satsuma mandarin (*Citrus unshiu* Marc.) fruit harvested at different stages of development. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 45: 427-432.
- 兵藤 宏・邨由卓夫. 1972. いろいろ生育段階における温州ミカン果実のエチレン生成. 園学雑. 41: 405-410.
- Igarashi, K., T. Yoshida and E. Suzuki. 1993. Antioxidant activity of nasunin in Chouja-nasu (little eggplant, *Solanum melongena* L. 'Chouja'). Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi. 40: 138-143.
- 今川昌平. 2000a. プルーン基本技術編. 開花結実期. p.1-3. 農業技術大系 果樹編 6 モモ ウメ スモモ アンズ. 農文協. 東京.
- 今川昌平. 2000b. プルーン基本技術編. 果実肥大成熟期. p.7-10. 農業技術大系 果樹編 6 モモ ウメ スモモ アンズ. 農文協. 東京.
- 稲葉昭次・中村怜之助. 1981. ウメ果実の樹上および収穫後の成熟. 園学雑. 49: 601-607.
- International Prune Assosiation (IPA). 2015. World prune production. IPA, France. <<http://www.ipaprunes.org/>>
- Itai, A., T. Kawata, K. Tanabe, F. Tamura, M. Uchiyama, M. Tomomitsu and N. Shiraiwa. 1999. Identification of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid synthase genes controlling the ethylene level of ripening fruit in Japanese pear (*Pyrus pyrifolia* Nakai). Mol. Gen. Genet. 261: 42-49.
- 板村裕之. 1986. 成熟段階の異なるカキ“平核無”果実のアルコール脱渋に伴う軟化と呼吸量及びエチレン生成量の関係. 園学雑. 55: 89-98.

- Itamura, H., M. Yoshioka and A. Nakatsuka. 2000. The effects of internal ethylene production on coloration and on-tree fruit softening of Japanese persimmon. *Acta Hortic.* 601: 165-169.
- 岩田 隆. 1991. 日本産果実・野菜の低温保蔵に関する研究. 日本食品低温保蔵学会誌. 17: 158-164.
- 岩田 隆・緒方邦安. 1976. ウメ果実の貯蔵と低温障害に関する研究 (第 1 報). 園学雑. 44: 422-428.
- 岩田 隆・中川勝也・緒方邦安. 1968. ナツミカン果実貯蔵中の低温障害に関する生理学的研究(第 1 報). 園學雜. 37: 383-390.
- 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の影響. 日食工. 19: 31-33.
- 垣内典夫. 1990. 果実. 化学と生物. 28: 120-127.
- 檜村芳記・羽山裕子・阪本大輔. 2010. 収穫から処理までの日数および保管温度がリンゴ ‘ふじ’ における 1-メチルシクロプロペンの品質保持効果に及ぼす影響. 園学研. 9: 361-366.
- 加藤公道・阿部 薫・佐藤良二. 1977. リンゴ果実の成熟 (第 1 報) 成熟期の呼吸量, エチレン排出量および内部エチレン濃度の変化. 園学雑. 46: 380-388.
- Kidd, F. and C. West. 1930. Physiology of Fruit -I. Changes in the respiratory activity of apples during their senescence at different temperatures. *Proc. Roy. Soc. London Ser. B.* 106: 93-109.
- Kim, D. O., O. K. Chun, Y. J. Kim, H. Y. Moon and C. Y. Lee. 2003. Quantification of polyphenolics and their antioxidant capacity in fresh prune. *J. Agric. Food Chem.* 51: 6509-6515.
- 木村英生・長沼孝多・小嶋匡人・小松正和・恩田 匠・辻 政雄. 2008. 山梨県産果実の総ポリフェノール含量とその DPPH ラジカル消去活性. 山梨県工業技術センター研究報告. 25: 64-67.
- 木村英生・樋口 かよ・小嶋匡人・橋本卓也. 2011. 地域特産物の抗酸化力向上に関する研究. 山梨県工業技術センター研究報告. 22: 59-63.

- 岸本良美・田口(柳澤)千恵・長谷川麻衣子・町田尚子・吉岡絵理・近藤(宇都)春美・山本忠道・中村信吾・岡部敏弘・近藤和雄. 2007. リンゴの抗酸化能に関する研究. 日本未病システム学会雑誌. 13; 160-162.
- 北村利夫・岩田 隆・落合利理・福島忠昭. 1980. 果実・野菜の成熟生理と貯蔵に関する研究(第1報)リンゴ果実の呼吸量, エチレン生成量及び組織内エチレン濃度の変化と成熟現象に関する品種間差異. 園学雑. 49: 277-285.
- 北村利夫・岩田 隆・福島忠昭・古川良茂・石黒運弥. 1981. 果実・野菜の成熟生理と貯蔵に関する研究(第2報)ナシ果実の呼吸量及びエチレン生成量と種間及び品種間差異. 園学雑. 49: 608-616.
- 北村利夫・板村裕之・福島忠昭. 1983. スモモ果実の成熟に伴う呼吸量, エチレン発生量及びアブシジン酸含量の変化. 園学雑. 52: 325-331.
- 小嶋道之・宮下淳一・前田龍一郎・稲川裕・村松裕司. 2005. プラム中の抗酸化活性を有する機能性成分. 日食工. 52; 507-511.
- Kolattukudy, D. E. 1984. Natural waxes on fruit. Post Harvest Pomology Newsletter 2: 3-7.
- 小宮山美弘・原川 守・辻 政雄. 1979a. 低温貯蔵が大石早生スモモの品質に及ぼす影響. 日食工 26: 331-336.
- 小宮山美弘・原川 守・辻 政雄. 1979b. 低温貯蔵がソルダムスモモの品質に及ぼす影響. 日食工 26: 351-355.
- 小宮山美弘・辻 政雄. 1992. スモモ“太陽”の温度別貯蔵性. 日食低保蔵学会. 18: 162-166.
- Kovács, E. and E. Kállay. 2007. Quality change of plums as a function of ripening and cultivars. Acta Hort. 734, 217-223.
- Kožíšková, J. and J. Goliáš, 2013. Influence of ripening on the ethylene and carbon dioxide production during storage of plum fruits. Acta Univ. Agricul. Silvic. Mendelianae Brun. 60: 133-140.
- Kristl, J., M. Slekovec, S. Tojnko and T. Unuk. 2011. Extractable antioxidants and non-extractable phenolics in the total

- antioxidant activity of selected plum cultivars (*Prunus domestica* L.): Evolution during on-tree ripening. *Food Chem.* 125: 29-34.
- 久保康隆. 2007. エチレンの制御とクライマクテリックライズの機構. 山本昭平宇編著. 園芸生理学. p.189-201. 文永堂出. 東京.
- 倉橋孝夫. 1998. スモモ (プルーン). P.321-332. 高橋国昭編著. 物質生産理論による落葉果樹の高生産技術. 農文協. 東京.
- 倉橋孝夫・松本敏一・板村裕之. 2005. 1-methylcyclopropene (1-MCP) 処理とエチレン吸収剤処理が収穫時期の異なるカキ'西条'果実のドライアイス脱渋後の軟化と日持ち性に及ぼす影響. 園学雑. 74: 63-67.
- Larsen, H. and E. Vangdal. 2013. Variation in ethylene production and respiration rate for Norwegian grown plums (*Prunus domestica* L.) in relation to packaging parameters. *Scientia Hort.* 154: 109-114.
- Lelièvre, J. M., A. Latche, B. Jones, M. Bouzayen and J.-C. Pech. 1997. Ethylene and fruit ripening. *Physiol. Plant.* 101: 727-739.
- Lewis, T. L. and M. Workman. 1964. The effect of low temperature on phosphate esterification and cell membrane permeability in tomato fruit and cabbage leaf tissue. *Aust. J. Biol. Sci.* 17: 147-152.
- Li, K.-T. 2012. Physiology and classification of fruits. p.8-9. In: N. Sinha, J. Sidhu, J. Barta, J. Wu and M. P. Cano, (Eds.). *Hand book of fruits and fruit processing.* Wiley-Blackwell. UK.
- Lieberman, M., C. C. Craft, W. V. Audia and M. S. Wilcox. 1958. Biochemical Studies of Chilling Injury in Sweetpotatoes. *Plant physiol.* 33: 307.
- Lippert, F. and M. M. Blanke. 2004. Effect of mechanical harvest and timing of 1-MCP application on respiration and fruit quality of European plums (*Prunus domestica* L.). *Postharvest Biol. Technol.* 34: 305-311.
- Lyons, J. M. 1973. Chilling injury in plants. *Ann. Rev. Plant. Physiol.* 24: 445-466.

- 前島健作・萱野佑典・姫野美紗子・濱本 宏・山次康幸・難波成任. 2009. plum pox virus (プラムポックスウイルス) の国内における発生. 植物防疫. 63 : 578-582.
- Markuszewski, B. and J. Kopytowski. 2013. Evaluation of plum cultivars grafted on 'Wangenheim Prune' rootstock in the northeast of Poland. Folia Hort. 25: 101-106.
- McMurchie, E. J., W. B. McGlasson and I. L. Eaks. 1972. Treatment of Fruit with Propylene gives Information about the Biogenesis of Ethylene. Nature. 237: 235-236.
- Measham, P. F., A. J. Gracie, S. J. Wilson and S. A. Bound. 2014. An alternative view of rain-induced cracking of sweet cherries (*Prunus avium* L.). Acta Hort. 1020: 217-222.
- Mika, A., P. Wawrzyńzak, Z. Buler, D. Konopacka, P. Konopacki, A. Krawiec, P. Bialkowski, B. Michalska, M. Plaskota and B. Gotowicki. 2012. Mechanical harvesting of plums for processing with a continuously moving combine harvester. J. Fruit Ornam. Plant Res. 20: 29-42.
- Milošević, T., N. Milošević and E. Mratinic. 2010. Morphogenic variability of some autochthonous plum cultivars in Western Serbia. Braz. Arch. Biol. Tech. 53: 1293-1297.
- Milošević, T., and N. Milošević. 2011. Growth, fruit size, yield performance and micronutrient status of plum trees (*Prunus domestica* L.). Plant Soil Environ. 57: 559-564.
- 宮澤孝幸・田尻勝博. 2003. 新特産シリーズ プルーン. p.26. 農文協. 東京.
- 文部科学省. 2015. 日本食品標準成分表 2015年版(七訂). <http://www.mext.go.jp/a_menu/syokuhinseibun/1365297.htm>.
- 村松裕司・小嶋道之. 2005. プルーン品種の特性と摘果効果. 北海道立農業試験場集報. 89 : 47-51.
- 邨田卓夫. 1980. 青果物の流通と低温障害. コールドチェーン研究. 6:42-51.

- 中村ゆり. 2007. 果実のおいしさと鮮度, 熟度. 研究ジャーナル. 30: 21-25.
- 中島武彦・田村 勉. 1970. リンゴ果実の成熟に関する研究 (第1報) 果実 (旭) の呼吸クライマクテリックと熟度の関係. 園学雑. 39: 283-383.
- 長野県果樹試験場. 2006. プラムとプルーン.
- Neumüller, M. 2011. Fundamental and applied aspects of plum (*Prunus domestica*) breeding. Fruit, Veg. Cereal Sci. Biotech. 5: 139-156.
- Norton, M. V. and W. H. Kruger. 2007. Growing prunes (dried plums) in California: an overview. UCANR Publications. California.
- 農業生物資源ジーンバンク事業. 2016. 遺伝子資源データベース <<http://www.gene.affrc.go.jp/databases.php>>.
- 農林水産省. 2013. 特産果樹生産動態等調査. <http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/tokusan_kazyu/index.html>.
- Nunes, M. C. N. and J. P. Emond. 2007. Relationship between weight loss and visual quality of fruit and vegetables. Proc. Fla. State Hort. Soc. 120: 235-245.
- 小川孝郎. 2012. スモモ安定生産6つのポイント. p.15-26. スモモの作業便利帳. 農文協. 東京.
- Okie, W. R. and D. W. Ramming. 1999. Plum breeding worldwide. Hort. Technol. 9: 162-176.
- Peel, M. C., B. L. Finlayson and T. A. McMahon. 2007. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. Hydrol. Earth Syst. Sci. 11: 1633-1644.
- Plich, H. 2006. Ethylene production and storage potential in 'Cacanska Najbolja' plums. J. Fruit Ornam. Plant Res. 14: 229-236.
- Ponce, N. M., V. H. Ziegler, C. A. Stortz and G. O. Sozzi. 2010. Compositional changes in cell wall polysaccharides from Japanese plum (*Prunus salicina* Lindl.) during growth and on-tree ripening. J. Agric. Food Chem. 58: 2562-2570.
- Rakičević M., R. Miletić and M. Pešaković. 2008. Productive properties of some major plum cultivars grown in the region of Central Serbia.

- p. 83-91. Proc. Inter. Sci. Conference Sustainable Fruit Growing: from plant to product. Latvia.
- Ramming, D. W. and V. Cociu. 1991. Plums (*Prunus*). In: J. N. Moore and J. R. Ballington Jr. (eds), p.235-290. Genetic resources of temperate fruit and nut crops Inter. Soc. Hort. Sci., Wageningen.
- Rato, A. E. 2003. Ethylene production and respiration rate in 'Green Gage' plums (*Prunus domestica* L.). Biology and Biotechnology of the Plant Hormone Ethylene III. 349: 449-450. IOS Press. Amsterdam.
- 酒井慎吾・馬場 赳・太田保夫. 1979. エチレン生成阻害蛋白によるブドウ巨峰の脱粒防止の効果について. 農学研究. 56: 217-223.
- 佐竹正行・矢野和男. 1993. 整枝・剪定. p.15-45. オウトウの作業便利帳. 農文協. 東京.
- 佐藤明子・渡辺純・後藤真生・石川祐子. 2010. Oxygen radical absorbance capacity 法によるスモモの抗酸化活性評価. 日食工. 57: 44-48.
- 佐藤義彦・山口正己・叢 花・王 粕柯・上田恵理子・山本俊哉・廬 春生. 2006. 中国新疆ウイグル自治区における果樹遺伝資源の共同調査プロジェクト. 植探報. 22: 101-113.
- Šebek, G. 2013. Morphogenic variability of some autochthonous plum cultivars in the region of north Montenegro. J. Agr. Sci. Tech. B3: 414.
- Sekse, L. 1988. Respiration of plum (*Prunus domestica* L.) and sweet cherry (*P. avium* L.) fruits during growth and ripening. Acta Agricul. Scand. 38: 317-320.
- Sekse, L. 1995. Fruit cracking in sweet cherries (*Prunus avium* L.). Some physiological aspects-a mini review. Sci. Hort. 63: 135-141.
- 島田智人・浅野聖子・六本木和夫・須賀昭雄. 2011. ニホンナシに対する 1-メチルシクロプロペン処理の効果. 農業および園芸. 86: 789-797.
- 島根県・JA 全農島根県本部. 2001. 果樹栽培指針. p.137-143.

- Slimestad, R., E. Vangdal and C. Brede. 2009. Analysis of phenolic compounds in six Norwegian plum cultivars (*Prunus domestica* L.). J. Agr. Food Chem. 57: 11370-11375.
- Smock, R. M. and A. M. Neubert. 1950. Apples and apple products. p.141-142. Interscience Publisher. New York and London.
- Solomon, A., S. Golubowicz, Z. Yablowicz, S. Grossman, M. Bergman, H. E. Gottlieb, A. Altman, Z. Kerem and M. A. Flaishman 2006. Antioxidant activities and anthocyanin content of fresh fruits of common fig (*Ficus carica* L.). J. Agric. Food Chem 54: 7717-7723.
- 鈴木哲也・新川 猛・櫻井直樹. 2014. 1-MCP 処理およびポリエチレン包装によるカキ‘太秋’の食感保持技術の開発. 園学研. 13: 275-282.
- 壽松木章・高橋 敦・青葉幸二・増田哲男・樫村芳記. 1997. リンゴ数品種の成熟期における樹上果実および収穫果実のエチレン生成の比較. 園学雑. 66: 495-503.
- 平 智. 2013a. 果実の発育と成熟. 果樹園芸の基礎. p.118-125. 農文協. 東京.
- 平 智. 2013b. 収穫後果実の取り扱い. 果樹園芸の基礎. p.137. 農文協. 東京.
- 高田峰雄. 1967. カキおよびトマト果実の生育ならびに成熟に伴う呼吸量の変化. 園学雑. 36: 357-362.
- 高橋国昭. 2016. 適性収量の考え方と多収園の例. p.95-108. 果樹高品質多収の樹形とせん定. 農文協. 東京.
- Tamura, H. and A. Yamagami. 1994. Antioxidative activity of monoacylated anthocyanins isolated from Muscat Bailey A grape. J. Agric. Food Chem. 42: 1612-1615.
- 田村文男・吉田亮・池田政隆. 2010. 新品種の特徴をつかむ. p.15-26. ナシをつくりこなす. 農文協. 東京.
- 田辺賢二・田村文男・伴野 潔・栗山吉弘・大旗英次. 1991. 果実のエチレン生成特性によるニホンナシ品種の類別. 鳥大農日本梨開発実験報告. 5: 21-54.

- 田中敬一. 2001. 貯蔵の基礎. p. 3-10 の 2. 農業技術大系 果樹編 8. 共通技術. 貯蔵施設とその利用.
- Tatsuki, M., A. Endo and H. Ohkawa. 2007. Influence of time from harvest to 1-MCP treatment on apple fruit quality and expression of genes for ethylene biosynthesis enzymes and ethylene receptors. *Postharvest Biol. Technol.* 43: 28-35.
- 辰巳保夫・岩本光弘・邨田卓夫. 1981. ウリ科果実の低温障害と果実組織切片からのイオン漏出について. *園学雑.* 50: 114-119.
- Thurrow, T and S-O. Lee. 2012. Effect of chlorogenic acid and neochlorogenic acid on human colon cancer cells. *Disc. J.* 13: 86-93.
- 苦名 孝・宇都宮直樹・片岡郁雄. 1979. 樹上果実の成熟に及ぼす温度環境の影響 (第 2 報). *園学雑.* 48: 261-266.
- 知野秀次・徳田美佳子・大石智美・小式澤一博・太田祐樹・松本辰也・児島清秀. 2010. 低温処理期間の違いが追熟中のセイヨウナシ ‘ル・レクチェ’ の果実特性に及ぼす影響. *園学研.* 9: 235-241.
- Trincherro, G. D., G. O. Sozzi, F. Covatta and A. A. Frascina, 2004. Inhibition of ethylene action by 1-methylcyclopropene extends postharvest life of ‘Bartlett’ pears. *Postharvest Biol. Technol.* 2: 193-204.
- 蔡 龍銘・水野 進・小机信行. 1984. 果実の追熟, 老化に伴う呼吸及びエチレンの発生とアブシジン酸の消長について. *園学雑.* 52: 458-463.
- Uematsu, H., S. Kuboi, Y. Ikeda, T. Ohtsubo, Y. Masumizu, and U. Kiyoto. 1997. Comparison of the quality of the Japanese pear ‘Nijisseiki’ (*Pyrus serotina* Rehd. var. *culta*) grown in Japan and California (USA). *Food Pres. Sci.* 23: 185-192.
- 牛島幸一郎. 2005. バラ科植物の自家不和合性の分子機構. *岡山大農学術報告* 94: 85-90.

- Uthaibutra, J. and H. Genma. 1992. Influence of storage temperatures on ultrastructural changes and water loss of hassaku fruit. J. Japan. Soc. Cold Preserv. Food. 17: 58-64.
- Valero, D., D. Martí, J. M. Valverde, F. Guillen and M. Serrano. 2003. Quality improvement and extension of shelf life by 1-methylcyclopropene in plum as affected by ripening stage at harvest. Inn. Food Sci. Emerging Techno. 4: 339-348.
- Vansell G. H. and W. H. Griggs. 1952. Honey bees as agents of pollination. US Department of Agriculture Yearbook 88-107.
- 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: 89-94.
- 渡辺 純・沖 智之・竹林 純・山崎光司・津志田藤二郎. 2009. 食品の抗酸化能測定法の統一化を目指して ORAC 法の有用性と他の測定法との相関性. 化学と生物. 47: 237-243.
- Yaegaki, H., T. Shimada, T. Moriguchi, H. Hayama, T. Haji and M. Yamaguchi. 2001. Molecular characterization of S-RNase genes and S-genotypes in the Japanese apricot (*Prunus mume* Sieb. et Zucc.). Sexual Plant Reproduction. 13: 251-257.
- Yamane H. and R. Tao. 2009. Molecular basis of self-(in) compatibility and current status of S-genotyping in Rosaceous fruit trees. J. Japan. Soc. Hort. Science, 78: 137-157.
- 山内直樹. 2007. 低温障害. 山本昭平宇編著. 園芸生理学. p.272-276. 文永堂出版. 東京.
- Yao, S. 2011. Winter 2011 Low-temperature injury to stone fruit flower buds in New Mexico. Hort. Tech. 21: 767-772.
- 吉田雅夫. 2003. プルーン ヨーロッパスモモの仲間. 農耕と園芸. 58: 29-32.
- 吉岡博人・青葉幸二・福元将志. 1989. リンゴ果実の貯蔵に伴う品質及び生理的变化と果実の成熟期との関連. 園学雑. 58: 31-36.

Summary

The purpose of this study was to investigate prune (*Prunus domestica* L.) cultivars that are ideal for the East Asian temperate monsoon zone, where is not well suited for cultivating prune trees, to expand the possibility of production. We evaluated the performance of 8 prune cultivars, ‘Puchull’, ‘Purple Ais’, ‘Blue Tan’, ‘Edwards’, ‘Stanley’, ‘Valor’, ‘President’, and ‘Marjorie’s Seedling’, by harvesting fruits from August to October to identify optimal cultivars in Izumo, western Japan, as a model area in the temperate climate monsoon zone. And the characteristics of prune fruit physiology and shelf life were investigated for the purpose of marketing the flesh prune while keeping freshness.

Chapter1. The characteristics of prune fruit maturity and quality

Results showed that the flowering period of prune trees was from late March to mid-April, and varied by year. Therefore, companion planting with other cultivars that have overlapping flowering periods is necessary for self-incompatible cultivars. With these management approaches, two mid-ripening types, ‘Stanley’ and ‘Valor’, and two late-ripening types, ‘President’ and ‘Marjorie’s Seedling’, yielded over 1,000 kg/10 a/canopy area and produced high-quality fruit with over 20 soluble solids content (SSC)/titratable acid (TA). However, three early-ripening types, ‘Puchull’, ‘Purple Ais’, and ‘Blue Tan’, and the mid-ripening ‘Edwards’, showed relatively low yields and produced fruit with low SSC/TA. Moreover, flesh darkening before harvest was observed as a result of high-temperature injury in these cultivars. We observed the tendency that strong antioxidant activity of prune fruit increased in late ripening cultivars. In summary, we consider mid- to late-ripening cultivars suitable for table use in Izumo, and they have high antioxidant activity.

Chapter2. The changes in respiration and ethylene production of prune fruit

To determine the ripening characteristics of prune fruits, we investigated, using eight different prune cultivars, whether there was (I) an increase of respiration and ethylene production on trees at the mature stage (except in 'Puchull'), (II) an increase after picking from trees at the mature stage, and (III) autocatalytic ethylene production or a respiration increase in mature fruit after exogenous ethylene treatment. All cultivars showed a gradual decrease of estimated respiration on trees from the early immature to late immature stages, reaching their lowest respiration levels. Then, six cultivars (except 'Edwards'), exhibited a climacteric rise at the mature stage. Ethylene production on trees was low at the immature stage in all cultivars, and exhibited a climacteric rise at the mature stage in six cultivars (except 'Edwards'). 'Stanley' and 'Valor' showed increases of both respiration and ethylene production after exposure to 500 ppm exogenous ethylene for 48 hours. From these results, 'Puchull' and 'Edwards' were categorized as suppressed-climacteric types, while the other six cultivars, 'Purple Ais', 'Blue Tan', 'Stanley', 'Valor', 'President' and 'Marjorie's Seedling', were categorized as climacteric types.

Chapter 3. Shelf life of fresh prune fruit and changes in fruit quality during storage

The storage quality of mature fruit of eight prune cultivars stored at 2 and 10 °C was investigated and compared. During storage, the flesh firmness of all cultivars decreased earlier at 2 °C than at 10 °C. Development of flesh injury with softening and translucency was observed in all prune cultivars, but this was delayed at 2 °C compared with that at 10 °C. The eating quality of the prune fruit was maintained for longer at 2 °C than at 10 °C, and was maintained for longer than 35 days at 2 °C in the 'Stanley', 'Valor', 'President' and 'Marjorie's Seedling' cultivars. No relationship was found between ion leakage and flesh injury in storage. The 'Valor' fruits were harvested at a mature stage and then treated with 1-methylcyclopropene (1-MCP) at 500 ppb. With this treatment, fruit softening was inhibited compared with that of non-treated controls, and the shelf

life of the treated fruit was prolonged for 1 week at 10 °C. In addition, the respiration and ethylene production of 1-MCP-treated fruits were limited compared with those of non-treated fruits. These results show that the storage quality of fresh prune fruit is good at temperatures of about 2 °C, and good storage quality can also be observed in late-harvested cultivars. Treatment of fresh prune fruit with 1-MCP prolonged its longevity.

学会誌公表論文リスト

第 1 章

Kazuya Ohata, Yasuyuki Togano, Toshikazu Matsumoto, Yoshinori Uchida, Takao Kurahashi and Hiroyuki Itamura. 2016. Selection of Prune (*Prunus domestica* L.) Cultivars Suitable for the East Asian Temperate Monsoon Climate: Ripening Characteristics and Fruit Qualities of Certain Prunes in a Warm Southwest Region of Japan. Hort. J. (in press).

第 2 章

大畑和也・都間三鶴・内田吉紀・板村裕之. 2016. プルーン果実の成熟に伴う呼吸量およびエチレン生成量の変化. 日食保蔵誌. 42 : 99-110.

謝辞

本研究の遂行ととりまとめ全般において、終始ご懇切なご指導とご校閲を賜った島根大学教授板村裕之博士に謹んで深く感謝の意を表します。また、本論文の作成にあたり、ご校閲の労と有益なご助言を頂きました、山口大学名誉教授山内直樹博士、鳥取大学教授田村文男博士、島根大学准教授中務明博士、山口大学教授山本晴彦博士、島根大学教授松本敏一博士に厚くお礼申しあげます。

本論文のとりまとめに際し、終始ご助言と激励をいただいた、前島根県農業技術センター栽培研究部部長山本孝司氏、島根県農業技術センター栽培研究部部長倉橋孝夫博士、前同栽培研究部果樹科長内田吉紀氏、同栽培研究部果樹科長安田雄治氏に厚くお礼申し上げます。

本研究の遂行に際し、貴重なデータの提供と有益なご助言をいただいた島根県農業技術センター栽培研究部果樹科研究員都間三鶴氏、同栽培研究部果樹科研究員川上裕也氏、分析方法についてご教授いただいた島根県産業技術センター技術部生物応用科主任研究員牧野正知博士に深く感謝いたします。供試ほ場の栽培管理をして頂いた同栽培研究部果樹科主任妹尾弘樹氏に厚くお礼申し上げます。

本論文のとりまとめに際し、ご激励とご助言をいただいた島根県農業技術センター栽培研究部果樹科専門研究員梅野康行氏、同資源環境研究部土壌環境科上席研究員藤本順子博士、同資源環境研究部特産開発科専門研究員杉山万里氏に厚くお礼申し上げます。

本研究の遂行にあたり格段のご配慮とご激励をいただきました前島根県農業技術センター所長持田守夫氏、同所長吉田政昭氏に深く感謝申し上げます。

最後に本研究に御協力頂いた島根県農業技術センター栽培研究部果樹科の皆様、そして家族に深く感謝申し上げます。