

島根農技研報

Bull. Shimane
Agric. Tech. Cent.

ISSN 0388-905X

BULLETIN
OF THE
SHIMANE AGRICULTURAL TECHNOLOGY CENTER
No. 52
March 2025

島根県農業技術センター研究報告

第 52 号

令和 7 年 3 月

SHIMANE AGRICULTURAL TECHNOLOGY CENTER
IZUMO, SHIMANE, 693-0035, JAPAN

島根県農業技術センター

島根県出雲市

島根県農業技術センター研究報告 第 52 号 (令和 7 年 3 月)

目 次

報 文

島根県における水稻品種‘つきあかり’の安定多収栽培のための生育指標

..... 川岡達也・田中 瓦 1

ブドウ‘デラウェア’の養液土耕栽培における窒素吸収特性

.....持田圭介..... 13

トルコギキョウ立枯病菌 *Fusarium oxysporum* に対する草丈抑制率を指標とした
品種の耐病性評価

.....永島 進・近藤亜美・塚本俊秀
北川絵理・今井達也・牧野雄太朗..... 21

正確な気温測定のための安価で軽量の強制通風筒「KM-01」の製作とその性能

..... 牧野雄太朗・加古哲也..... 31

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

..... 大畑和也..... 43

Bulletin of the Shimane Agricultural Technology Center
No.52 March 2025

CONTENTS

Original Research Articles

- Tatsuya Kawaoka and Wataru Tanaka:
Growth Indicators for Stable High-Yielding Cultivation of Rice Variety 'Tsukiakari' in Shimane Prefecture
..... 1
- Keisuke Mochida:
Characteristics of nitrogen uptake in 'Delaware' grapes under drip fertigation
..... 13
- Susumu Nagashima, Ami Kondo, Toshihide Tsukamoto, Eri Kitagawa,
Tatsuya Imai and Yutaro Makino:
Evaluation of Cultivar Resistance Based on the Plant Height Inhibition Rate
Against *Fusarium oxysporum* in *Eustoma grandiflorum*
..... 21
- Yutaro Makino and Tetsuya Kako:
Production and Performance of an Inexpensive, Lightweight Force-Ventilated
Radiation Shield "KM-01" for Accurate Air Temperature Measurement
..... 31
- Kazuya Ohata:
Study on Selection of Prune Cultivars Suitable for East Asian Monsoon Climate
Zone and Characteristics of Fruit Maturation and Physiology
..... 43

島根県における水稻品種‘つきあかり’の 安定多収栽培のための生育指標

川岡 達也¹⁾・田中 亘²⁾

Growth Indicators for Stable High-Yielding Cultivation of Rice Variety ‘Tsukiakari’
in Shimane Prefecture

Tatsuya Kawaoka¹⁾ and Wataru Tanaka²⁾

I 緒言

本県では、島根県農林水産基本計画（2020）の重点推進事項の一つとして「持続可能な米づくりの確立」の推進を掲げ、担い手への農地集積と生産コストの削減により米生産における経営体質の強化を図っている。この中の生産コストの削減については、契約取引などの需要に応じた生産と、多収穫米の導入等によりこれまで以上の米価下落予想に備えたコスト低減を図れるよう生産構造の改革を強く推進している。

本県の水稲作付面積は 16,100ha（農林水産省, 2023）であり、そのうち‘コシヒカリ’の作付面積が全体の 5 割程度を占める。‘コシヒカリ’への集中を避け、作期分散を図るために、2001 年頃から‘ハナエチゼン’が作付けされてきたが、食味が劣る等の理由から作付面積が減少傾向に転じたため、2021 年より食味が優れ実需者からの評価も高い‘つきあかり’を島根県農産物種子等生産品種に選定し作付転換を進めてきた（島根県, 2023a）。‘つきあかり’は、農研機構中央農業研究センター北陸研究拠点（現農研機構中日本農業研究センター上越研究拠点）で 2016 年に育

成された早生で大粒、極良食味を示す水稻多収品種である（笹原ら, 2018）。また、新潟県を中心に全国で栽培され、2024 年産では 17 県で産地品種銘柄に設定されており（農林水産省, 2024）、今後の普及拡大が期待される品種である。しかし、本県における‘つきあかり’の栽培実績はまだ多いとは言えず、生産現場では倒伏被害が散見され、収量が不安定な状況である。令和 5 年度島根県水稻・麦・大豆指導指針（島根県, 2023）では、安定多収栽培を目指して、‘つきあかり’の目標収量を 600kg/10a と定めており、これを達成するためには本県の気象や土壌条件に適応した生育指標を作成し、安定多収栽培方法を早期に確立する必要がある。

本稿では、島根県における水稻品種‘つきあかり’の生産において、倒伏を抑えつつ、10a 当たり収量 600kg を安定して得るため、異なる栽培管理を行った 4 カ年の試験を通じて、草丈、茎数、葉色値及び倒伏程度と収量及び収量構成要素との関係を明らかにするとともに、近年新たに省力的な生育診断技術の一つとして注目されている NDVI（Normalized Difference Vegetation Index）を用いた手法による生育指標を策定する

1) 島根県農業技術センター

2) 島根県立農林大学校

ことを目的とした。

II 材料及び方法

1 耕種概要

試験は、2020～2023 年に島根県農業技術センター水田試験ほ場(島根県出雲市芦渡町、標高6m、低地造成土、細粒質黄色土/湿性相)で行った。供試品種は‘つきあかり’を用い、3月31日～4月7日に播種した稚苗を4月20日～5月1日に移植した。栽植密度は約18.5株/㎡(条間30cm、株間18cm)とし、1株当たり3本程度を機械移植又は手植えた。試験規模は1区54㎡程度とした。各試験区のは場名及び詳細な試験条件は表1に示した。

2 施肥水準及び施肥方法

試験区の施肥水準は、無施肥及び窒素施肥成分量を8～12kg/10aとした。基肥・穂肥による施肥体系において、基肥は複合燐加安44号(N-P₂O₅-K₂O=14-17-13)を移植3日前の代かき時に全層施肥し、穂肥はNK化成肥料(N-P₂O₅-K₂O=17-0-17)を出穂25日前及び15日前に表層施肥した。基肥一発施肥では、緩効性窒素の混合割合の異なる数種肥料を用い、移植3日前に全層施肥した。供試した肥料における三要素の成分割合、速効性窒素及び緩効性窒素の配合割合は表2に示した。

3 調査方法

1) 生育調査

生育調査は、移植後30～70日に10日間隔で、草丈及び茎数は1区当たり連続20株、葉色は葉緑素計(コニカミノルタ株式会社製、SPAD-502Plus)を用いて上位展開第2葉を10～15株測定した。これらのデータから、草丈(cm)×茎数(本/㎡)×葉色(SPAD値)×10⁻⁴(以下、草丈×茎数×葉色値)による生育指標値を算出した。NDVIは携帯型NDVI測定機(株式会社ニコン・トリニプル製、Green Seeker Handheld Crop Sensor)を用いて、地際から105cmの高さを約10秒間連続的に水平移動しながら1区につき同一地点を3回計測し平均値を求めた。成熟期に稈

長、穂長及び穂数を1区当たり20株調査し、倒伏程度は0(無)～5(甚)の6段階で評価した。

2) 収量調査

収量調査は、生育調査株に隣接する1区約3.78㎡の収穫物を対象とした。精玄米収量は、成熟期に坪刈りを行ったサンプルを風通しが良く雨避けできる場所で通風乾燥させた後、調査用機械により脱穀、風選及び籾摺りを行い、ふるい目1.9mmにより選別し、水分15%換算値を算出した。

3) 収量構成要素

㎡当たり穂数は、成熟期に生育調査を行った20株の穂数の平均値から算出した。登熟歩合は、生育調査株の中から穂数が平均値と同等の6株を抽出し、総籾数に占める1.9mm以上の精玄米数の割合を算出した。㎡当たり籾数は、精玄米収量を玄米千粒重及び登熟歩合で割り戻すことによって算出した。1穂籾数は㎡当たり籾数を穂数で除して算出した。

III 結果

1 草丈、茎数及び葉色と収量の関係

表3に各年次の生育調査における草丈、茎数及び葉色の平均値及び収量との相関係数を示した。各調査項目と収量との間に、草丈では移植後40日、60日及び70日で、茎数は移植後40～70日の期間を通じて、葉色は移植後30日、40日、60日及び70日でそれぞれ有意な正の相関が認められた。草丈×茎数×葉色値と収量との間には、移植後30～70日の10日ごといずれの生育段階においても有意な正の相関が認められた。

2 ㎡当たり籾数及び穂数と収量との関係

図1に㎡当たり籾数と収量、図2に㎡当たり穂数と収量との関係を示した。ともに有意水準1%で正の相関が認められた。この相関図から、収量600kg/10aを確保するためには、㎡当たり籾数は30,800粒程度、㎡当たり穂数は330本程度が必要であると試算された。

3 生育及び成熟期の稈長と倒伏程度との関係

図3に成熟期の稈長と倒伏程度との関係を示した。成熟期の稈長が80cm未満の試験区では、

川岡・田中：島根県における水稻品種‘つきあかり’の安定多収栽培のための生育指標

表1 各年次の試験ほ場名,播種期,移植期,移植方法,施肥体系,供試肥料及び窒素施肥量

年次	ほ場名	播種期 (月.日)	移植期 (月.日)	移植方法	施肥体系	供試肥料	窒素施肥成分量(kg/10a)			備考
							基肥	穂肥	合計	
2020	403東	4.03	4.28	手植え	基肥・穂肥	基肥:複合燐加安44号 穂肥:NK化成肥料	4	4	8	
							10	0	10	節水区
	206	4.07	4.30	機械移植	基肥一発 ²⁾	多収米専用一発 3号改良(極早生)	10	0	10	間断かん水区
							10	0	10	常時湛水区
					無施肥	—	0	0	0	
							4	4	8	
	208	4.07	5.01	機械移植	基肥・穂肥	基肥:複合燐加安44号 穂肥:NK化成肥料	4	6	10	施肥試験
							6	6	12	
					基肥一発 ²⁾	多収米専用一発 3号改良(極早生)	10	0	10	
2021	403東	4.02	4.27	手植え	基肥・穂肥	基肥:複合燐加安44号 穂肥:NK化成肥料	4	4	8	
	305	4.06	4.27	機械移植	基肥・穂肥	基肥:複合燐加安44号 穂肥:NK化成肥料	4	6	10	動力散布追肥
						基肥:複合燐加安44号 穂肥:おてがるくんNK	4	6	10	流し込み追肥
					無施肥	—	0	0	0	
					基肥・穂肥	基肥:複合燐加安44号 穂肥:NK化成肥料	4	4	8	
	208	4.06	4.30	機械移植		多収米専用一発 3号改良(極早生)	10	0	10	施肥試験
					基肥一発 ²⁾	試験肥料①	10	0	10	
						試験肥料②	10	0	10	
2022	403東	4.01	4.26	手植え	基肥・穂肥	基肥:複合燐加安44号 穂肥:NK化成肥料	4	4	8	
	305	4.01	4.22	機械移植	基肥・穂肥	基肥:複合燐加安44号 穂肥:NK化成肥料	4	6	10	動力散布追肥
						基肥:複合燐加安44号 穂肥:おてがるくんスーパー	4	6	10	流し込み追肥
					無施肥	—	0	0	0	
							4	4	8	
	203	4.05	4.28	機械移植	基肥・穂肥	基肥:複合燐加安44号 穂肥:NK化成肥料	6	4	10	基肥量の比較
							8	4	12	
					無施肥	—	0	0	0	
						試験肥料③	10	0	10	
	208	4.05	4.28	機械移植	基肥一発 ²⁾	試験肥料④	10	0	10	基肥一発試験
						試験肥料⑤	10	0	10	
2023	403東	3.31	4.25	手植え	基肥・穂肥	基肥:複合燐加安44号 穂肥:NK化成肥料	4	4	8	手植え試験
	305	3.31	4.20	機械移植	基肥・穂肥	基肥:複合燐加安44号 穂肥:NK化成肥料	3	4	7	動力散布追肥
						基肥:複合燐加安44号 穂肥:尿素	3	4	7	流し込み追肥
					無施肥	—	0	0	0	
							4	2-2	8	
	203	4.04	4.27	機械移植	基肥・穂肥	基肥:複合燐加安44号 穂肥:NK化成肥料	4	1-3	8	穂肥施用試験
							4	4-0	8	
					無施肥	—	0	0	0	
						ハイセラコートR024	8	0	8	
	208	4.04	4.28	機械移植	基肥一発 ²⁾	Jコート488早生	8	0	8	基肥一発試験
						GO一発821	8	0	8	
						つきあかり専用一発	8	0	8	

²⁾基肥一発施肥に用いた肥効調節型肥料の肥料成分及び緩効性窒素溶出のタイプは表2のとおり。

表2 基肥一発施肥に用いた肥効調節型肥料の成分割合,速効性及び緩効性窒素の配合割合

年次	供試肥料	メーカー名	成分割合			速効性		緩効性窒素の配合 ²⁾						
			N (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)	窒素 (%)	無被覆 ³⁾ (%)	L40日 (%)	L50日 (%)	S50日 (%)	S70日 (%)	S80日 (%)	S90日 (%)	
2020	多収米専用一発 3号改良(極早生)	全農アグリウエスト(株)	30	5	10	35		25	30	10				
		全農アグリウエスト(株)	30	5	10	35		25	30	10				
2021	試験肥料① 試験肥料②	全農アグリウエスト(株)	30	5	10	35		10		30	25			
		全農アグリウエスト(株)	30	5	10	35				30		35		
2022	試験肥料③	全農アグリウエスト(株)	30	5	10	35			40		25			
	試験肥料④	全農アグリウエスト(株)	30	5	10	35			30			35		
	試験肥料⑤	全農アグリウエスト(株)	30	5	10	27	73							
2023	ハイセラコートR024	セントラル化成(株)	20	12	14	40			13				47	
	Jコート488早生	ジェイカムアグリ(株)	24	8	8	50		10			40			
	GO一発821	エムシー・フアーティコム(株)	18	12	11	38	10			26			26	
	つきあかり専用一発	全農アグリウエスト(株)	30	5	10	35		30				35		

²⁾被覆肥料の緩効性窒素のLはリニア型,Sはシグモイド型。

³⁾無被覆肥料はウレアホルム(2022,試験肥料)及びオキサミド(2023,GO一発821)配合のバンコーディング肥料。

表3 草丈、茎数及び葉色と収量との相関

調査項目		移植後日数(日)				
		30	40	50	60	70
平均値 ²⁾	草丈(a, cm)	28.9	38.8	54.5	74.6	87.1
	茎数(b, 本/m ²)	133	258	393	423	409
	葉色(c, SPAD値)	39.5	42.4	44.4	43.7	43.2
	$a \times b \times c \times 10^{-4}$	15	42	95	138	154
収量との ³⁾ 相関係数	草丈	0.181	0.420*	0.040	0.374*	0.561**
	茎数	0.360	0.529**	0.583**	0.515**	0.399*
	葉色	0.595**	0.530**	0.258	0.524**	0.447*
	$a \times b \times c \times 10^{-4}$	0.404*	0.606**	0.433*	0.519**	0.476*

²⁾ 各年次すべての試験区の生育調査における平均値。

³⁾ **, *はそれぞれ有意水準1, 5%で相関有り。

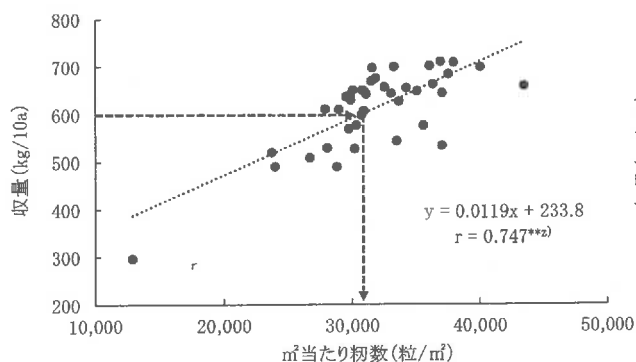


図1 m²当たり籾数と収量の関係

²⁾**は有意水準1%で相関有り。

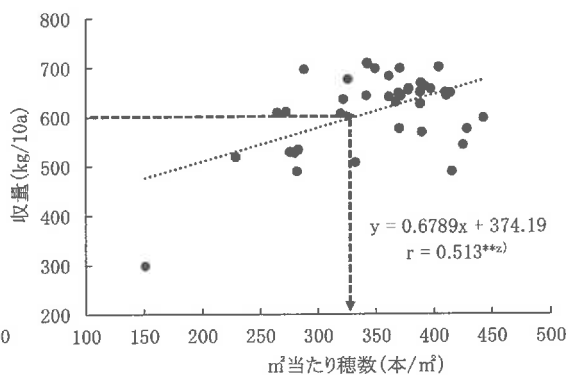


図2 m²当たり穂数と収量の関係

²⁾**は有意水準1%で相関有り。

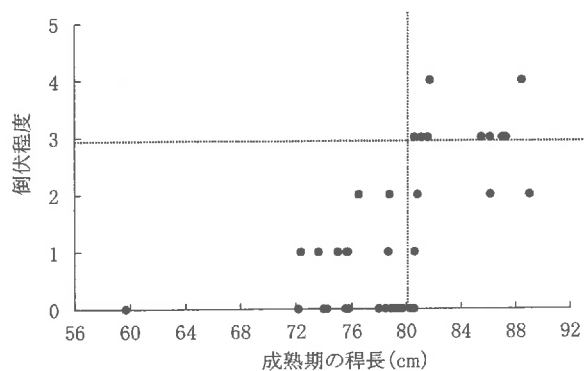


図3 成熟期の稈長と倒伏程度の関係

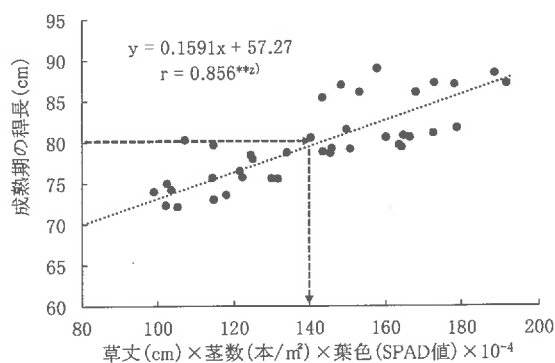


図4 移植後60日における草丈×茎数×葉色と成熟期の稈長の関係

²⁾**は有意水準1%で相関有り。

すべて倒伏程度 0~2 の範囲であったのに対し、80cm 以上の場合には、倒伏程度が 3~4 となる試験区が多く認められた。図 4 に‘つきあかり’の幼穂形成期頃に当たる移植後 60 日の草丈×茎数×葉色値と成熟期における稈長との関係を示した。両項目の間には有意な正の相関が認められたことから、移植後 60 日の草丈×茎数×葉色値が 140 以上になると成熟期の稈長が 80cm 以上となる傾向が示された。

4 草丈、茎数及び葉色と NDVI との関係

図 5 に移植後 30~70 日の 10 日ごとに測定した NDVI と草丈との関係を示した。両項目の関係は生育時期に関わらず同じ指数関数式で示すことが可能であり、高い決定係数が認められた。図 6 に NDVI と茎数との関係を示した。両項目の関係は生育時期に関わらず同じ一次関数式で示すことが可能であり、有意な正の相関が認められた。図 7 に NDVI と葉色値との関係を示した。両項目の関係は生育時期に関わらず同じ一次関数式で示すことが可能であり、有意な正の相関が認められた。図 8 に NDVI と草丈×茎数×葉色値との関係を示した。両項目の関係は生育時期に関わらず同じ指数関数式で示すことが可能であり、高い決定係数が認められた。

5 生育及び NDVI と収量との関係

図 9 に‘つきあかり’の幼穂形成期頃に当たる移植後 60 日の草丈×茎数×葉色値と収量との関係を示した。両項目の間には有意な正の相関がみられ、収量 600kg/10a 以上が得られるのは移植後 60 日の草丈×茎数×葉色値が 130 以上である傾向が示された。図 10 に移植後 60 日における NDVI

と草丈×茎数×葉色値との関係を示した。両項目の間には有意な正の相関がみられ、草丈×茎数×葉色値が 130 以上となる場合 NDVI は 0.75 以上である傾向が示された。

6 NDVI と生育との関係

図 11 に移植後 60 日における NDVI と草丈及び成熟期の稈長との関係を示した。移植後 60 日の NDVI と移植後 60 日の草丈及び成熟期の稈長との間には、それぞれ有意な正の相関が認められた。各関係は一次関数式で示すことが可能であり、移植後 60 日の NDVI が 0.75 である時、移植後 60 日の草丈が約 74cm、成熟期の稈長は約 78cm であると試算された。図 12 に移植後 60 日における NDVI と m^2 当たり茎数及び成熟期の m^2 当たり穂数との関係を示した。移植後 60 日の NDVI と移植後 60 日の茎数及び成熟期の m^2 当たり穂数との間には、それぞれ有意な正の相関が認められた。各関係は一次関数式で示すことが可能であり、移植後 60 日の NDVI が 0.75 である時、移植後 60 日の茎数は約 408 本/ m^2 、成熟期の穂数は約 338 本/ m^2 と試算された。図 13 に移植後 60 日における NDVI と葉色及び成熟期の m^2 当たり粒数との関係を示した。移植後 60 日の NDVI と移植後 60 日の葉色及び成熟期の m^2 当たり粒数との間には、それぞれ有意な正の相関が認められた。各関係は一次関数式で示すことが可能であり、移植後 60 日の NDVI が 0.75 である時、移植後 60 日の葉色は SPAD 値で約 43.4、成熟期の粒数は約 31,200 粒/ m^2 であると試算された。

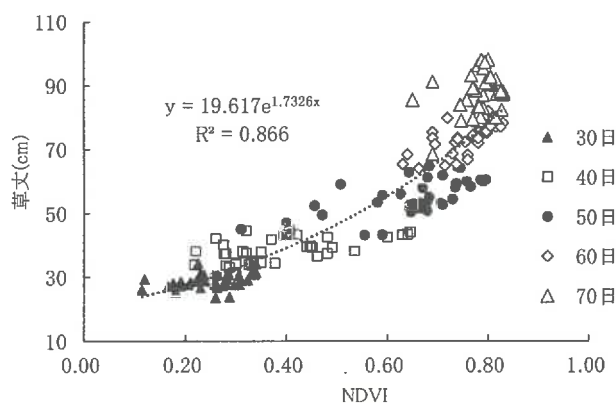


図 5 生育期間における NDVI と草丈の関係

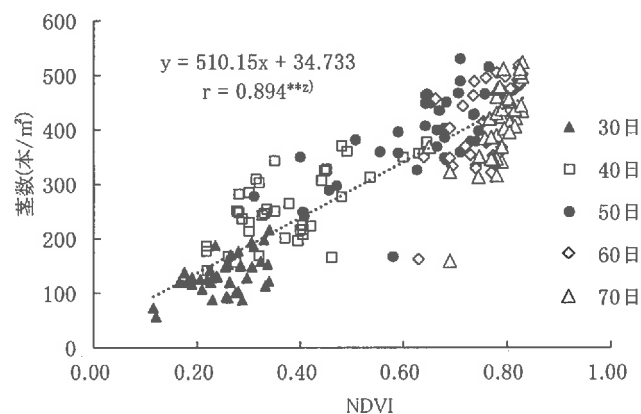


図 6 生育期間における NDVI と茎数の関係
2)**は有意水準1%で相関有り。

川岡・田中：島根県における水稲品種‘つきあかり’の安定多収栽培のための生育指標

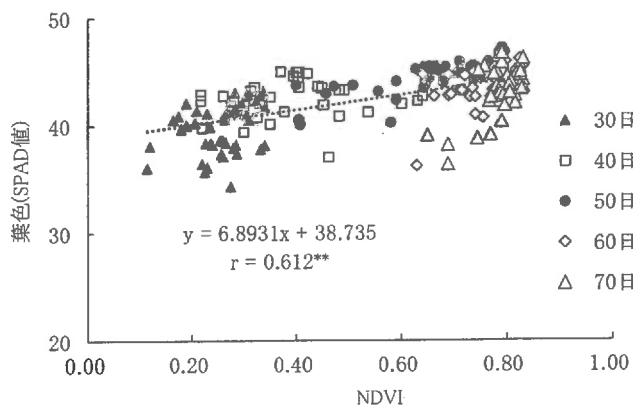


図7 生育期間におけるNDVIと葉色の関係
2)**は有意水準1%で相関有り。

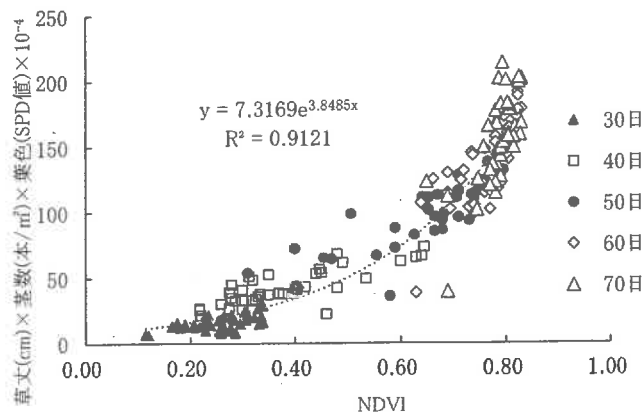


図8 生育期間におけるNDVIと草丈×茎数×葉色値の関係

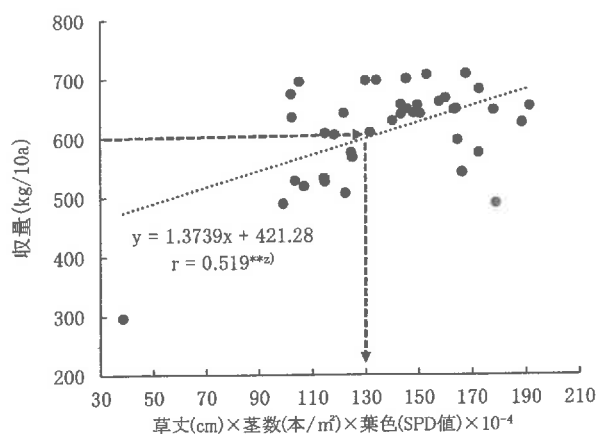


図9 移植後60日における草丈×茎数×葉色値と収量との関係
2)**は有意水準1%で相関有り。

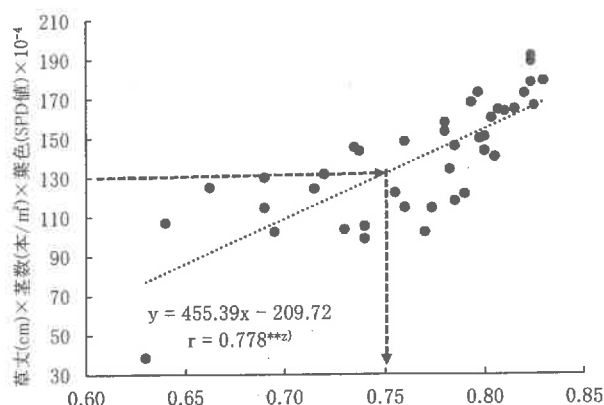


図10 移植後60日におけるNDVIと草丈×茎数×葉色値との関係
2)**は有意水準1%で相関有り。

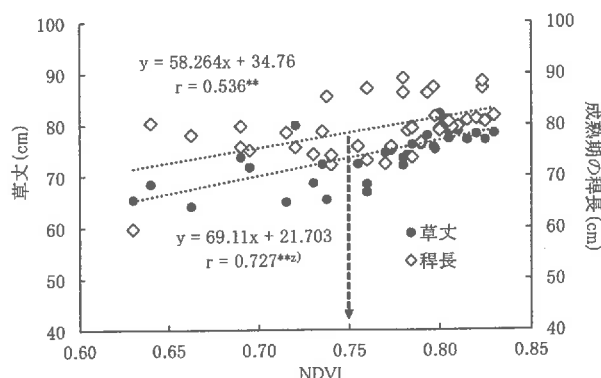


図11 移植後60日におけるNDVIと草丈及び成熟期の
稈長との関係
2)**は有意水準1%で相関有り。

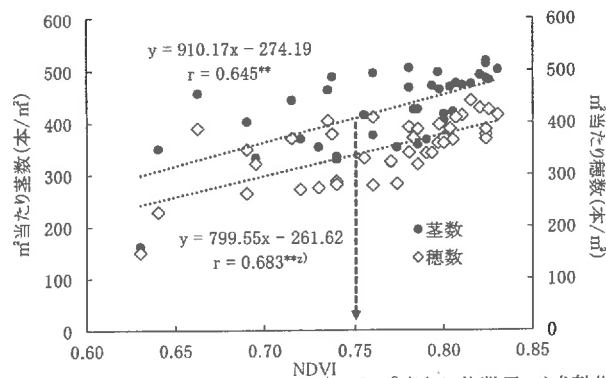


図12 移植後60日におけるNDVIと㎡当たり茎数及び成熟期
の㎡当たり穂数との関係
2)**は有意水準1%で相関有り。

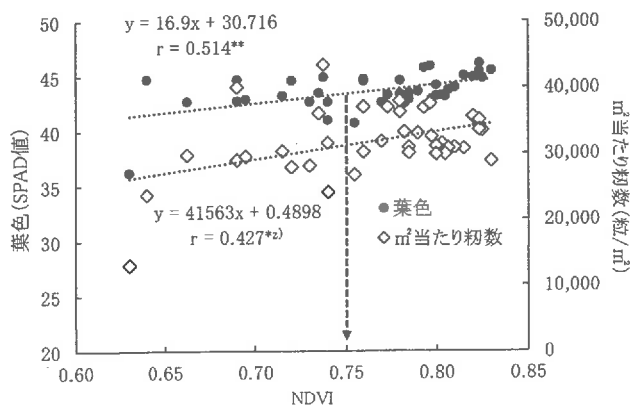


図13 移植後60日におけるNDVIと葉色及び成熟期の㎡当たり穂数との関係
2)**はそれぞれ有意水準1, 5%で相関有り。

IV 考察

1 ‘つきあかり’の目標収量達成のための生育条件

‘つきあかり’の収量性について、笹原ら(2018)は同熟期の‘あきたこまち’に比べて10%程度多収であり684kg/10aを示したことで、1穂粒数は多いが穂数が少ない偏穂重型品種であること、玄米千粒重が24g前後の大粒であることを明らかにした。また石丸ら(2022)は、北陸地域における‘つきあかり’の収量限界を750kg/10aとし、その時の収量構成要素は、粒数35,700粒/m²、穂数423本/m²、登熟歩合83.8%、玄米千粒重25.1gであり、地上部窒素吸収量は14.0kg/10aであるとした。これに対し、島根県における‘つきあかり’の目標収量は10a当たり収量が150kg少ない600kgと定めた。この目標収量を確保するための生育条件は、図1の回帰式より、粒数30,800粒/m²程度、図2の回帰式により穂数330本/m²程度が必要であると試算された。石丸ら(2022)は、最高分げつ期までに分げつ発生を最大限に促進させることが偏穂重型の品種である‘つきあかり’を安定多収栽培する上で重要であることを明らかにした。本研究においても、移植後40～70日のm²当たり茎数と収量との間には経時的に、常に有意な正の相関が認められ(表3)、多収のためには分げつ増加による茎数確保が最も重要であることが示された。

農業経営者、流通関係者及び消費者のいずれにとっても、作物生産において収量や品質の安定化は重要であり(浪川ら, 2016)、安定生産には栽培期間中の生育診断に基づく栽培管理が不可欠である(鳥山, 2009)。水稻の多収品種は、慣行品種に比べて総粒数を多く確保し、登熟を良好に進める必要があり、生育診断による追肥や水管理などの生育調節が重要となる(金田ら, 2020)。水稻の生育診断に用いる指標には草丈、茎数及び葉色値があり、これは草丈、茎数、葉色値の積が窒素吸収量と相関が高いことに基づいている(金田ら, 1986)。本研究でも、移植後40～70日の草丈×茎数×葉色値と収量との間には有意な正の相関が認められ(表3)、茎数だけでなく草丈を含めた生育量と葉色値を適正域に確保維持することが多

収を得る上で重要であると考えられた。4月20日～5月1日移植の‘つきあかり’の生育において、穂肥施用時期の幼穂形成期は移植後60日頃に当たり、平均値による茎数の推移をみると移植後60日が最高茎数となった(表3)。また、草丈、茎数、葉色及び草丈×茎数×葉色値と収量の間には全ての項目において有意な正の相関が認められた(表3)。これらのことから、4月下旬植え‘つきあかり’の生育診断を行う上で、移植後60日が最も重要な時期であることが示された。また本研究では、目標収量600kg/10a以上を得るために、移植後60日の草丈×茎数×葉色値が130以上必要であることが図9の回帰式により明らかとなった。

2 成熟期の稈長と倒伏の関係と幼穂形成期における生育指標

‘つきあかり’の多収を得るためには、一定以上の草丈及び茎数の確保と高い葉色値の維持が重要であることは前述したとおりだが、幼穂形成期頃に当たる移植後60日の草丈×茎数×葉色値が増大するほど成熟期の稈長は長くなり(図4)、成熟期の稈長が長くなるほど倒伏程度が増大する傾向が認められた(図3)。したがって、‘つきあかり’を倒伏させず、安定多収栽培を実現するためには、適正な施肥により各生育ステージにおいて最適な生育量を確保することが重要である。山口ら(1963)は、水稻の倒伏程度を0(無)～5(甚)により達観評価し、倒伏程度が3以上になると減収傾向が大きいと述べている。また、望月ら(2019)は‘コシヒカリ’、渡邊(2018)は‘アケボノ’で同じく倒伏程度が3以上になると機械収穫の作業性が著しく低下することを確認している。本研究でも、成熟期の稈長が80cm以上になると倒伏程度が3以上の被害が発生する傾向が確認され(図3)、移植後60日の草丈×茎数×葉色値が140以上になると成熟期の稈長が80cm以上となる傾向が示された(図4)。これらのことから、600kg/10aの収量を確保しながら過剰生育による倒伏を防ぐための移植後60日における生育指標値(草丈×茎数×葉色値)は、130～140が適正であることが明らかとなった。栽培管理への活用にあたっては、幼穂形成期頃の生育指標値に基づき、穂肥施用量を加減することが重要になると考えられた。

3 NDVI を活用した生育指標値の設定

水稻の生育診断に用いる草丈、茎数及び葉色値の正確な計測は経験及び労力を必要とするため、経営規模が拡大している水稻の生産現場においてきめ細かく実施することは困難である。近年では、省力的な生育診断技術の一つとして、正規化植生指数（NDVI：Normalized Difference Vegetation Index）が注目されている（鳥山，2009）。このNDVIは、植生の分布状況や活性度を表す指標であり、近赤外光反射率（RNIR）と赤色光反射率（RRED）を用いた次式により示される。
$$NDVI = (RNIR - RRED) / (RNIR + RRED)$$

NDVIによる生育診断手法として、浪川ら（2016）、西田ら（2018）、後藤ら（2018）及び金田ら（2020）は携帯型NDVIセンサーを用いて生育診断手法の確立を図り、NDVIと草丈×茎数×葉色値及び窒素吸収量との関係性を明らかにするとともに、安定多収生産のための生育診断への利用が有効であることを確認した。この携帯型NDVIセンサーは、柄に付随するトリガーを引くことで近赤外光と赤色光が照射され、反射する光を測定してNDVIを算出できる（佐々木ら，2014）。浪川ら（2016）は、このセンサーを地際から105cmの高さで10秒間連続的に水平移動させて測定した値が水稻群落全体のNDVI値に近いことを明らかにしており、金田ら（2020）は省力的なこの測定方法を用いて、‘ゆみあずさ’の多収生育診断基準と収量との関係を調査し、NDVI値活用の有効性を実証した。

本研究において、‘つきあかり’の草丈、茎数、葉色及び草丈×茎数×葉色値は、NDVIと高い決定係数における指数関数式、又は有意な正の相関による1次関数式で近似できることが示された（図5, 6, 7, 8）。したがって、本県における‘つきあかり’の最適な生育量もNDVIを計測することにより推定することが可能であると考えられた。また、幼穂形成期頃に当たる移植後60日のNDVIと草丈×茎数×葉色値、また収量との間にはそれぞれ有意な正の相関が認められ（図9, 10）、収量600kg/10aを安定的に確保するための移植後60日のNDVIは約0.75と推定され、この時の草丈は約74cm（図11）、茎数は約408本/m²（図12）、葉色はSPAD値で約43.4（図12）となることが明ら

かとなった。そしてこの指標を用いた場合、成熟期における稈長は約78cm（図11）、穂数は約338本/m²（図12）、籾数は約31,200粒/m²になると試算された。これらの数値は倒伏被害を抑えられる指標である稈長80cm以下、穂数330本/m²以上、籾数30,800粒/m²以上の範囲内に収まっており精度良く合致した。

4 生育指標を活用した栽培管理

本県で作成した‘つきあかり’の安定多収栽培指針（2024）では、本県の気象や土壌条件に対応した‘つきあかり’の品種特性や、育苗、移植、施肥、水管理及び収穫時期等の栽培管理方法の指針を示している。これらの基本的な栽培管理と併せて、本研究で明らかにした草丈、茎数、葉色及びNDVI測定値から求められた生育指標を活用し、栽培管理を行えば安定的に目標収量600kg/10aを達成することが可能であると考えられる。今回の報告は農業技術センター内の水田ほ場で実施した結果であり、今後更に実効性の高い技術にするためには、生産現場においてNDVI等簡易な方法での調査を含め、本研究で明らかにした生育指標に基づいた栽培管理による安定多収栽培の実証が必要である。このことにより、‘つきあかり’が多収品種として県内で普及拡大し本県の主力品種として定着すれば、生産者のコスト低減に寄与することとなり、島根県農林水産基本計画（2020）の重点推進事項である「持続可能な米づくりの確立」の推進を更に加速化することができると考える。

V 摘要

本研究では、島根県における水稻品種‘つきあかり’の安定多収生産のため、異なる栽培管理を行った4カ年の栽培試験を通じて、草丈、茎数、葉色値及び倒伏程度と収量及び収量構成要素との関係を明らかにするとともに、NDVIを用いた生育指標を策定することを目的とした。‘つきあかり’の目標収量を600kg/10aと設定した場合、籾数は30,800粒/m²、穂数は330本/m²程度必要であることが示唆された。また、成熟期の稈長を80cm以下に抑えることが倒伏抑制に重要であると考えられた。4月下旬植

え‘つきあかり’の安定多収栽培において、幼穂形成期頃に当たる移植後 60 日における生育指標の最適値は、草丈×莖数×葉色値が 130～140、NDVI では 0.75 程度であることを明らかにした。今後は、生育診断に基づいた栽培管理により、生産現場での安定多収を実証し、‘つきあかり’の生産コスト低減を図りながら、栽培面積の更なる拡大を目指す。

引用文献

- 後藤元・井上吉雄・中場勝(2018)携帯型 NDVI 測定器を用いた水稻品種「つや姫」の生育診断. 日作東北支部報 61, 31-32.
- 石丸努・大平陽一・大角壮弘・古畑昌巳・大川 泰一郎・吉永悟志(2022)水稻新品種「つきあかり」の北陸地域における多収条件－成熟期の諸形質の解析より－. 日作紀 91(1), 49-58.
- 金田吉弘・児玉徹・三浦昌司・長野間宏・佐々木昭太郎(1986)八郎潟干拓地における水稻の栄養診断と追肥の要否判定. 東北農業研究 39, 55-56.
- 金田吉弘・西田瑞彦・高階史章・佐藤孝(2020)ハンドヘルド作物センサーによる NDVI を用いた新たな多収米生育診断基準と多収の実証. 土肥誌 91(6), 417-425.
- 望月篤・鶴岡康夫・中川博視(2019)気象条件及び生育量による水稻「コシヒカリ」の稈長の簡易推定モデル. 日作紀 88(2), 132-142.
- 浪川茉莉・西田瑞彦・高橋智紀・金田吉弘(2016)携帯型 NDVI 測定機による NDVI 値と水稻窒素吸収量の関係. 土肥誌 87(6), 450-454.
- 西田瑞彦・浪川茉莉・工藤洋晃・大平陽一・高橋 智紀(2018)生育時期別に異なる高さで測定した携帯型 NDVI 測定機による NDVI 値と極穂重型水稻「いわいだわら」の窒素栄養指標値との関係. 土肥誌 89(2), 146-151.
- 農林水産省(2023)作況調査(水陸稲, 麦類, 豆類, かんしょ, 飼料作物, 工芸農作物).
- <URL:https://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sakumotu/menseki/index.html>
- 農林水産省(2024)農産物検査を行う産地品種銘柄の取扱い.
- <URL:https://www.maff.go.jp/j/seisan/syoryu/kenasa/sentakui/>>
- 笹原英樹・後藤明俊・重宗明子・長岡一朗・松下景・前田英郎・山口誠之・三浦清之(2018)早生で多収の極良食味水稻品種「つきあかり」の育成. 農研機構研究報告中央農研 6, 1-21.
- 佐々木大・村上則幸・林怜史(2014)携帯型 NDVI センサの特性と利用の検討. 農作業研究 49(4), 155-161.
- 島根県農林水産部(2020)島根県農林水産基本計画 2020 年度～2024 年度
- <URL:https://www.pref.shimane.lg.jp/industry/norin/info/kihonkeikaku/>>
- 島根県(2023a)島根県農業技術センターピックアップ「ときめき」
- <URL:https://www.pref.shimane.lg.jp/industry/norin/gijutsu/nougyo_tech/kenyui/kenkyu_seika/tokimeki/index.data/No.456tsukiakari.pdf>
- 島根県(2023b)令和 5 年度水稻・麦・大豆指導指針
- <URL:https://www.pref.shimane.lg.jp/industry/norin/gijutsu/nougyo_tech/kenyui/sisin_manyuaru/ine-sisin/ine-sisin.html>
- 鳥山和伸(2009)非破壊的手法による作物栄養診断の最前線:1.水稻:リモートセンシングによる窒素栄養診断. 土肥誌 80(1), 66-74.
- 渡邊丈洋(2018)水稻「アケボノ」で回避すべき倒伏の程度とその目安となる稈長. 日本作物学会中国支部研究集録 58, 18-19.
- 山口邦夫・石山六郎・斎藤正一・島田孝之(1963)水稻の倒伏程度の決め方についての一考察. 日作紀 31, 399.

Summary

The purpose of this study was to clarify the relationship between the growth of the paddy rice variety ‘Tsukiakari’ and its cultivation conditions [including grass height (cm), number of stems (stem density)(/m²), leaf color (SPAD values), lodging extent (grade 0 to 5), yield (kg/10a), and components of yield] through a four-year trial under different growth conditions in Shimane Prefecture. The goal was to establish an optimum growth index based on the normalized difference vegetation index (NDVI). Results indicated that for a target yield of 600 kg/10a, the estimated number of grains should be approximately 31,000/m² with around 330 rice ears. The optimum growth index (grass height × stem density × leaf color × 10⁻⁴) and NDVI of ‘Tsukiakari’ during the panicle formation stage (at 60 days after transplanting) was determined to be 130-140 and 0.75, respectively. To expand the cultivation area of ‘Tsukiakari’ while reducing its production costs, stable and high-yielding production must be verified through periodic growth assessments and cultivation control in the production areas.

ブドウ‘デラウェア’の養液土耕栽培における窒素吸収特性

持田 圭介¹⁾

Characteristics of nitrogen uptake in 'Delaware' grapes under drip fertigation

Keisuke Mochida

I 緒言

ブドウは、果樹の中で最も施設化の進んでいる品目であり、2020年の施設栽培面積は全国で2,672haと全栽培面積の約16%、全果樹の施設栽培面積の約48%を占めている（農林水産省 a, 2020）。島根県のブドウ栽培は、県東部の出雲市、県西部の益田市を中心に県内の各産地で行われ、‘デラウェア’‘シャインマスカット’を中心に228haの面積を有し（農林水産省 b, 2020）、そのうちの約74%がハウス栽培である（農林水産省 a, 2020）。

一方で、養液栽培は施設野菜を中心に導入が進み、トマト、イチゴなど、全国で2,081haの栽培面積に達している（農林水産省 a, 2020）。ブドウの養液栽培は、これまで‘巨峰’の培養液薄膜法と根への培養液噴霧（安田ら, 1998）や、‘マスカット・オブ・アレキサンドリア’の人工培地を用いた底面給液培養液循環栽培法（田村・藤井, 2009）が試作されたものの、主にコスト面と廃液処理の問題で現地に普及するまでには至っていない。

これに対し、養液土耕栽培は慣行栽培と同様に園地に栽植するものの、主に点滴チューブを用いて作物の生育にあわせ、無機成分と水を必要な時に必要な量だけかん水施肥する栽培法である。したがって、慣行施肥、スプリンクラーかん水と比較して養分吸収効率の高いかん水同時施肥であるため、硝酸態窒素の流亡が回避されることから、

環境保全に資する栽培システムである（青木ら, 2001）。ブドウでは、‘ピオーネ’‘オーロラブラック’の密植栽培での利用により、高品質多収生産が可能なが明らかになっている（倉藤ら, 2008）。

島根県におけるブドウ栽培は、県東部の出雲市の栽培面積が最も多く、出荷量の約8割を占める主産地である（島根県農業協同組合, 2023）。この地域は、砂丘未熟土壌であることから保肥力が極めて低く、過去にはブドウ園周辺の地下水中の硝酸態窒素濃度が高くなり問題となった。これは、国及び地方公共団体等による硝酸態窒素等の監視について、1993年3月に要監視項目の指針値（10 mg/L以下）が設定され、その後1999年には環境基準健康項目（基準値は10 mg/L）に移行されたことが契機となっている（環境省, 2021）。この後、肥料成分の吸収効率の高い養液土耕点滴栽培が出雲部を中心に急速に普及し、これまでに農林水産省の補助事業を活用して導入された面積だけでも県内で約10haに達している（安田ら, 2016）。

これまで、島根県内のブドウ養液土耕栽培では、専用の肥料として、ブドウの無機成分吸収特性（小豆沢, 1995）に比較的近い、N、P₂O₅、K₂Oの含有率がいわゆる谷型の養液土耕栽培用肥料（養液土耕1号、OATアグリオ株式会社）が主に使用されてきた。一方で、一部生産者は有機アミノ酸肥料（アミビタゴールド、株式会社ミズホ）を使用する事例もあったが、その吸収特性や、効果的

1) 島根県農業技術センター

な施用方法は不明であった。

また、養液土耕栽培で施用する液肥の濃度は、N 濃度を基準に行う場合が専らであり、生育ステージにより 0~60ppm の間で調整しているのが一般的であるが(島根農技セ, 2022), 生育に悪影響を及ぼす濃度は明確でない。

そこで本試験では、‘デラウェア’を用いた養液土耕栽培のかん水同時施肥において、液肥の種類による吸収速度の違い、及び施用する液肥の生育に障害を及ぼす限界 N 濃度を検討した。

II 材料および方法

1. 液肥の種類が施用後の葉柄中アミノ酸、N 含量等に及ぼす影響(試験 1)

試験は、2007 年に島根県農業技術センター果樹ほ場内雨よけハウス(標高 30m)において行った。供試樹は、60L 鉢栽植(真砂土:牛糞堆肥=1:1)の 3 年生‘デラウェア’(テレキ 5BB 台)15 樹であった。各供試樹は、地上 180cm 部分に設置した平棚上に 5 芽せん定した結果母枝 1 本を配置し、全ての芽から発芽した新梢を結果母枝に対し概ね 90° の角度になるよう棚面に誘引した。果房は、1 樹当たり 2~3 果着房させ、植物生育調節剤処理は 1 回目が開花前約 2 週間にジベレリン(以下 GA)100ppm+ホルクロルフエニユロン 2ppm を、2 回目が満開後 2 週間に GA100ppm を花(果)房浸漬処理した。各果房は、2 回目の GA 処理後速やかに 80~100 粒/房になるよう摘粒を行った。

処理区は、肥料の種類により、養液土耕栽培用肥料(養液土耕 1 号,成分含有率 N;15%, P₂O₅;8%, K₂O;17%, CaO;6%, MgO;1%)施用区(以下養液土耕)、有機アミノ酸肥料(アミビタゴールド,成分含有率 N;6%, アミノ酸 40%)施用区(以下アミノ酸)及び硝安(成分含有率 N;32%)施用区とし、各 5 樹を用いた。各処理区とも、N 成分含量が 100ppm になるよう水に溶かし、各供試樹にベレゾーン期の 6 月 19 日~6 月 21 日の 9 時及び 13 時に各 1L, 6 月 22 日及び 6 月 23 日の 9 時に 1L を施用した。処理前日, 処理開始 1, 3, 5 及び 7 日後に各供試樹の新梢第 5 葉を 1 枚ずつ採取した(各区計 5 枚)。採取した葉は、葉色値を葉緑

素計(SPAD501, コニカミノルタ株式会社)で測定後、葉身と葉柄に分け、葉柄中間部分 1g を細断して純水 4mL を加え 24 時間抽出し、RQ フレックス(関東化学株式会社)で硝酸濃度を測定した。純水抽出残渣を用いて沸騰した湯浴中で 20 分抽出し、アミノ酸含量をニンヒドリン法(元村・大川, 1995)で定量した。葉身は、各区とも採種日ごとに 90°C に設定した通風乾燥器(DN63, ヤマト科学株式会社)で恒量になるまで乾燥し、粉碎機(WB-1, 大阪ケミカル株式会社)を用いて微粉碎したものを試料とした。葉身中全 N は、ケルダール分解により試料液を調整し(窒素分解装置 2302, 株式会社相互理化学硝子製作所)、水蒸気蒸留法(スーパーケル 142, 株式会社アクタック)で定量した。

2. 液肥の N 濃度が施用後の葉柄中アミノ酸、N 含量等に及ぼす影響(試験 2)

供試樹は、試験 1 と同様の方法で栽培を行った、60L 鉢栽植の 3 年生‘デラウェア’(テレキ 5BB 台)25 樹であった。処理区は、養液土耕を用い N 濃度 100, 500, 1000, 3000 及び 10000ppm の各施用区とし、5 樹反復とした。液肥の施用方法、葉の分析方法は試験 1 と同様とした。

III 結果および考察

1. 液肥の種類が施用後の葉柄中アミノ酸、N 含量等に及ぼす影響(試験 1)

現在、島根県内のブドウ園において、点滴かん水システムを用いた養液土耕栽培が普及しているが、使用されている液肥の種類は、化成肥料や有機アミノ酸肥料があり、生産者の意向で使い分けられているのが現状である。本試験では、液肥の種類による肥効速度の違いを検討した。

葉色値の推移を図 1 に示した。各処理区とも処理前から処理 7 日後にかけて 35 前後で推移しており、処理間差はみられなかった。一方、葉身中全 N 含量は、全処理区で処理 7 日後にかけて明らかに増加したことから(図 2)、葉身中全 N 含量と葉色値に関係は認められなかった。田村・藤井(2009)は、養液栽培のブドウ‘マスカット・オブ・アレキサンドリア’を用いて、生育時期別

持田：ブドウ‘デラウェア’の養液土耕栽培における窒素吸収特性

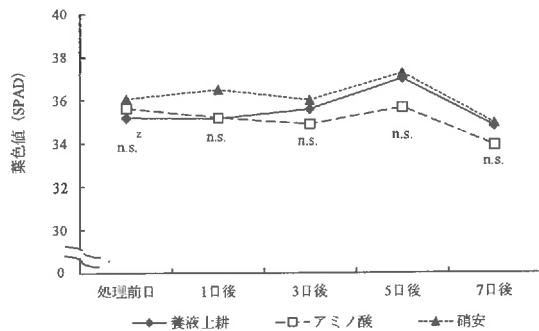


図1 ‘デラウェア’における液肥の種類が施用後の葉色値に及ぼす影響
²⁾ Kruskal-Wallis検定により n.s.; 各処理間に有意差無し

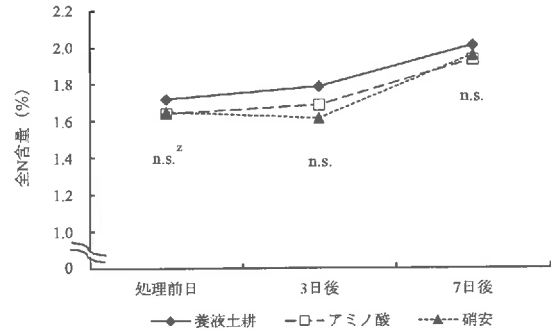


図2 ‘デラウェア’における液肥の種類が施用後の葉身中全N含量に及ぼす影響
²⁾ Kruskal-Wallis検定により n.s.; 各処理間に有意差無し

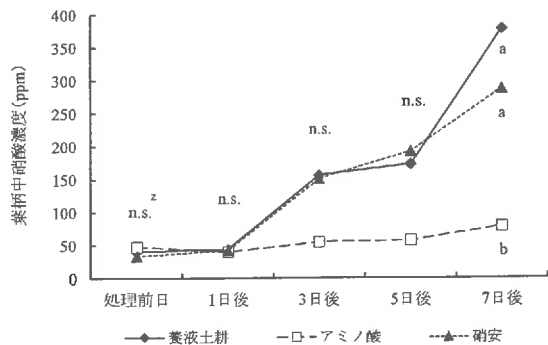


図3 ‘デラウェア’における液肥の種類が施用後の葉柄中硝酸濃度に及ぼす影響
²⁾ Steel-Dwass検定により異符号間に5%水準で有意差有り, n.s.; 有意差無し

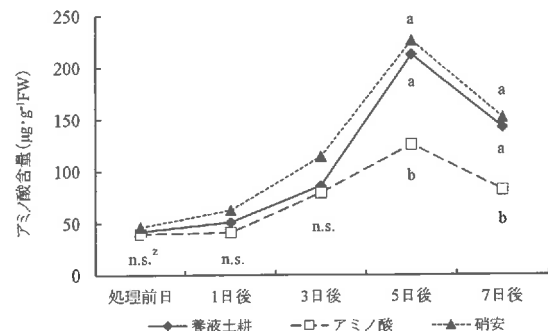


図4 ‘デラウェア’における液肥の種類が施用後の葉柄中アミノ酸含量に及ぼす影響
²⁾ Steel-Dwass検定により異符号間に5%水準で有意差有り, n.s.; 有意差無し

に SPAD による葉色値と葉柄搾汁液中硝酸濃度との関係を検討した結果、開花期には正の有意な相関関係がみられたのに対し、果粒軟化期には相関関係がみられなかったとしており、本研究の結果と符合する。本研究の結果からも、ベレゾーン期の葉色値は必ずしも葉身中の N 栄養状態を示すものではないことが明らかであった。

葉柄中硝酸濃度の推移を図3に示した。養液土耕区及び硝安区が処理3日後には約150ppmまで上昇し、その後処理7日後には硝安区が288ppm、養液土耕区が378ppmまで高まった。それに対し、アミノ酸区は処理5日後までは40～60ppmで推移し、処理7日後には79ppmに高まったものの上昇はわずかであった。一般的に畑土壌では、施用されたN肥料が有機態→アンモニア態→亜硝酸態→硝酸態と比較的速やかに酸化され(青木ら, 2001)、根から吸収される。本研究で供試した肥料について、養液土耕肥料に含まれるNの57%が硝酸態、43%が尿素であり、尿素はアンモニア態を経て硝酸態に変化する。また、硝安はアンモニア態と硝酸態が同量ずつ含まれている。従って、すべてのN分が硝酸態で吸収されると仮定する

と、吸収速度は概ね硝安≧養液土耕>アミノ酸になると推測される。実際、本研究の硝安区と養液土耕区の葉柄中硝酸濃度は、処理3日後からほぼ同様にアミノ酸区より高く推移し、処理7日後には有意差が認められたことから、そのことを裏付ける結果となった。一方で、アミノ酸区の葉柄中硝酸濃度は処理前日と処理7日後に大きな変化はみられなかったことから、本試験期間中にアミノ態から硝酸態にまで酸化されて根から吸収される現象は確認できなかった。

葉柄中アミノ酸含量の推移を図4に示した。養液土耕区とアミノ酸区が処理3日後まではほぼ同様に推移し、処理前日の約40μg・g⁻¹から処理3日後には約80μg・g⁻¹まで上昇したのに対し、硝安区は上昇速度が速く、処理3日後には約114μg・g⁻¹に達したものの、有意差は認められなかった。その後処理5日後には養液土耕区の増加が著しく、硝安区とほぼ同程度の200μg・g⁻¹余りまで上昇し、アミノ酸区より有意に高まった。処理7日後には、養液土耕区及び硝安区が約150μg・g⁻¹まで、アミノ酸区が約80μg・g⁻¹まで低下した。このことから、施用した養液の硝酸が

速やかに吸収され、根において、もしくは葉柄まで移行後にアミノ酸が合成され、処理 3～5 日後に著しく上昇したと考えられる。この間、葉柄中硝酸濃度はほとんど停滞していることから(図 3)、吸収された硝酸からアミノ酸が速やかに合成されているものと推測された。一方アミノ酸区では、葉柄中硝酸濃度が処理 7 日後に施用前の約 1.7 倍に上昇したものの、有意差はみられなかったことから(図 3)、施用したアミノ酸液肥が硝酸に分解され吸収されていることは確認できなかった。一方で、アミノ酸含量は処理 5 日後には施用前の約 3 倍まで上昇しており(図 4)、アミノ酸を直接吸収していることが示唆された。

二瓶(2010)は、イネ幼植物に対し無機態窒素と 20 種のアミノ酸を N 源として栽培した結果、グルタミンは無機態窒素以上の生育を示し、これを N 源として生育させることが可能であるとしている。また、松本(2003)はハウレンソウ、チンゲンサイ、ニンジンを用いた実験で、土壌中の無機態窒素が低くなる有機物施用条件下でも化学肥料区と同等以上の N 吸収反応を示すことを認めており、土壌中タンパク質を直接吸収する能力を有しているとしている。ブドウにおいても、Lang ら(2018)は台木品種 Ru140 及び SO-4 に接いだ赤ワイン用品種‘Regent’を供試し、硝酸塩、アンモニウム、尿素、アルギニン、グルタミンの異なる形態の N 源を用いて水耕栽培した結果、アミノ酸の形で吸収されることを実証しており、吸収可能な窒素形態は台木の品種に依存するとしている。本研究で使用したアミノ酸液肥中のアミノ酸組成は明らかでないものの、使用した‘テレキ 5BB’台がグルタミン等のアミノ酸を吸収しているものと推測される。しかし、処理 5 日後のアミノ酸区における葉柄中アミノ酸含量は $126 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ と硝安区及び養液土耕区の 56%及び 59%と低く(図 4)、N 濃度を同一にして養液を施用した場合の葉柄中アミノ酸含量は、無機態の養液が効率的に高まることが明らかとなった。

処理 7 日後の葉柄中硝酸濃度は、硝安区及び養液土耕区とも著しく高まったものの(図 3)、アミノ酸含量は低下した。これは、処理 5～7 日後の日照がほとんどなく(データ略)、光合成同化量が減少したことによりアミノ酸生成が抑えられ

たことが原因と考えられる。一方で、アミノ酸区の葉柄中アミノ酸含量も、同じタイミングで減少した(図 4)。これは、蒸散の低下によるアミノ酸吸収速度の低下によると推測される。

葉身中全 N 含量は各処理区とも処理 3 日後までは変化がみられなかったものの、処理 7 日後には各処理区とも 2%前後まで増加したが、処理間差はなかった(図 2)。このことは、ブドウ‘デラウェア’では、施用 N 源が硝酸態、アミノ態いずれであっても全 N レベルでは同程度に吸収されることを示している。

2. 液肥の N 濃度が施用後の葉柄中アミノ酸、N 含量等に及ぼす影響(試験 2)

島根県のブドウ養液土耕栽培導入の手引き(島根農技セ, 2022)では、液肥の N 濃度を生育期や樹齢、樹勢によって 0～60ppm で施用するよう指導されているものの、生育障害が発生する限界の濃度は明らかにされていないことから、施用濃度について検討した。

10000ppm 区は、処理開始 3 日後に新梢基部～中間葉を中心に葉柄及び葉脈が褐変(図 5)、果粒が脱水症状を呈し(図 6)、明らかな濃度障害が認められたことから、その時点で液肥の施用を中止した。

葉色値の推移を図 7 に示した。各処理区とも処理前から処理 7 日後にかけて 35 前後で推移しており、処理間差はみられなかった。

葉柄中硝酸濃度の推移を図 8 に示した。10000ppm 区で処理 1 日後に 3000ppm を超え、3 日後に 3850ppm となった時点で、明らかな生育障害が認められた。その他の処理区は、処理 3 日後以降上昇がみられ、N 濃度の高い処理区ほど顕著であり、全処理区で処理 7 日後まで上昇を続けた。処理 7 日後の 10000ppm 区以外の各処理区における硝酸濃度は、3000ppm 区が 4,090ppm、1000ppm 区が 2,406ppm、500ppm 区が 1,878ppm、100ppm 区が 314ppm であった。

葉柄中アミノ酸含量の推移を図 9 に示した。10000ppm 区で処理 1 日後に $520 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ に達したが、処理 3 日後にかけての増加はわずかであった。その他の処理区は、処理 3 日後にかけて徐々に上昇し、3000ppm 区で $130 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ に達したが、

持田：ブドウ‘デラウェア’の養液土耕栽培における窒素吸収特性



図5 ‘デラウェア’におけるN濃度10000ppm養液施用3日後の葉脈及び葉柄の褐変症状



図6 ‘デラウェア’におけるN濃度10000ppm養液施用3日後の果粒の脱水症状

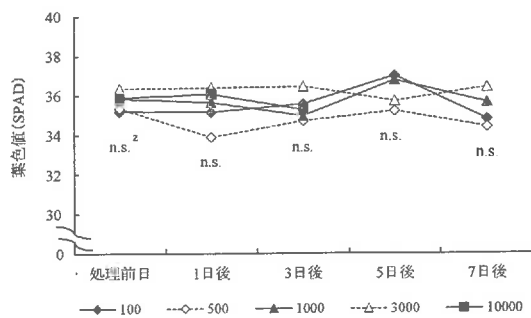


図7 ‘デラウェア’における液肥濃度が施用後の葉色値に及ぼす影響
2) Kruskal-Wallis検定によりn.s.;各処理間に有意差無し

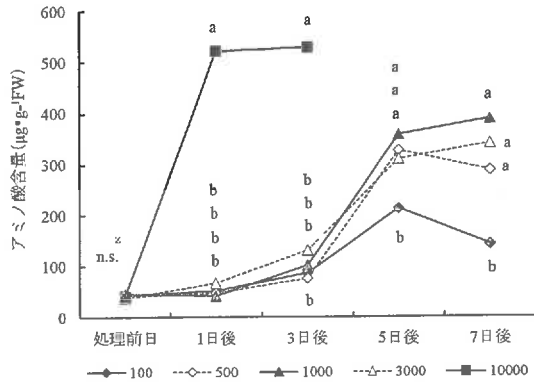


図9 ‘デラウェア’における液肥濃度が施用後の葉柄中アミノ酸含量に及ぼす影響
2) Steel-Dwass検定により異符号間に5%水準で有意差有り, n.s.;有意差無し

1000ppm以下の処理区は $75\sim 100\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ で大きな差はみられなかった。その後処理5日後にかけて各処理区とも大きく増加し、500～3000ppm区は $300\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 以上に達し、100ppmに比べて有意に高くなった。100ppm区及び500ppm区は処理5日後にピークとなり、処理7日後にはやや減少した。

葉身中全N含量の推移を図10に示した。処理3日後に1000ppm以上の3処理区が2%を超え、100及び500ppmより有意に高くなった。その後、処理7日後には全処理区で2%を超え、処理間差はなくなった。

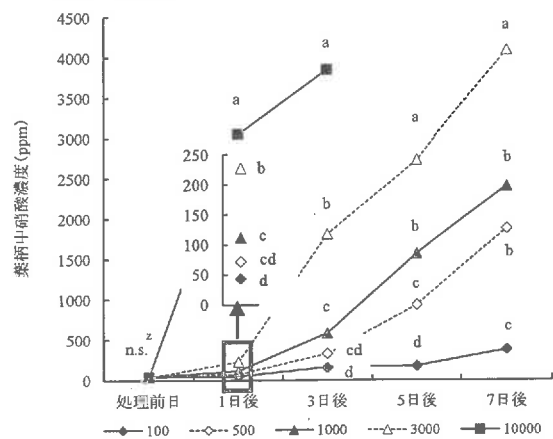


図8 ‘デラウェア’における液肥濃度が施用後の葉柄中硝酸濃度に及ぼす影響
2) Steel-Dwass検定により異符号間に5%水準で有意差有り, n.s.;有意差無し

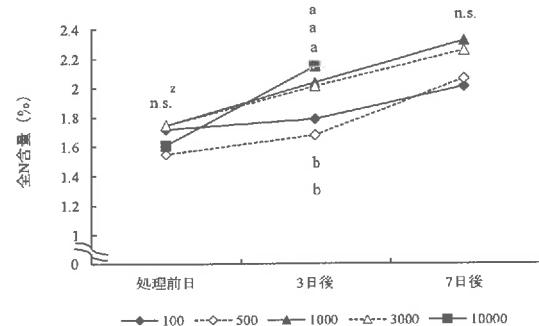


図10 ‘デラウェア’における液肥濃度が施用後の葉身中全N含量に及ぼす影響
2) Steel-Dwass検定により異符号間に5%水準で有意差有り, n.s.;有意差無し

以上のことから、施用した養液のN成分は速やかに吸収移行し、3000ppm以下の濃度であれば濃度が高いほど生育障害を発生させることなく葉柄中硝酸濃度の増加がみられた。アミノ酸含量は、処理5日後に急激な増加がみられたものの、500～3000ppmの処理間では明らかな差はみられなかった。しかし、500ppm以下の処理では、処理7日後にはアミノ酸含量が減少しており、アミノ酸の

消費が生成を上回ったものと考えられる。

ブドウの養液土耕栽培における N 施用は、通常 60ppm 以下の濃度で行われることから（島根農技セ、2022）、本試験のような高濃度での施用は通常考えられない。しかし、生産者のほ場では弱勢樹への緊急的対策として、硫酸や硝酸カルシウムの高濃度水溶液を施用する場合がある。古屋ら（2006）は、水耕栽培「巨峰」樹において多量要素過剰症発生試験を行い、N 施用濃度を標準の 9 倍となる 378ppm で施用したところ、クロロシス等の明瞭な外観上の症状は認められなかったとしている。本試験では、それよりも極端に高濃度での施用を行った場合においても、3000ppm までの濃度であれば 5 日間程度の短期間の施用では生育障害はみられなかったことから、「デラウェア」における N 施用限界濃度は 3000ppm より高いことが明らかとなった。一方で、葉柄中アミノ酸含量は 500～3000ppm の窒素濃度では明らかな差がみられなかったことから、短期間で速やかに N を効かせたい場合、500ppm で十分な効果が得られると考えられた。

IV 摘要

60L ポット栽植ブドウ「デラウェア」（テレキ 5BB 台）を供試し、養液土耕栽培における最適な窒素施肥量を調べるため、液肥の種類による N 吸収速度の違いを 3 種類の液肥を用いて検討した。

養液土耕栽培用肥料、有機アミノ酸肥料及び硝酸を N 濃度 100ppm に希釈して施用した。

葉柄中硝酸濃度は、養液土耕区及び硝安区が処理 3 日後以降上昇し、処理 7 日後にはともに処理前の約 9 倍に達したのに対し、アミノ酸区はほとんど上昇しなかった。

一方、葉柄中アミノ酸含量は、各処理区とも処理 3 日後以降上昇し、処理 5 日後には養液土耕区及び硝安区が処理前の約 5 倍に、アミノ酸区が約 3 倍に達した。このことから、アミノ酸区ではアミノ酸を直接吸収していることが示唆されたが、N 濃度を同一にして養液を施用した場合の葉柄中アミノ酸含量は、無機態 N 含有養液で効率的に高まることが明らかとなった。

次に、N の限界施用濃度を明らかにするため、

養液土耕栽培肥料を用い N 濃度を 100～10000ppm で 5 段階に変えて施用した。10000ppm 区では、処理 3 日後に葉柄や葉脈の褐変といった明らかな濃度障害が発生した。

葉柄中硝酸濃度は、100～3000ppm 区では窒素濃度の高い区ほど上昇が顕著であり、全 4 処理区で処理 7 日後まで上昇を続けたことから、「デラウェア」における N の限界施用濃度は 3000ppm より高いことが明らかとなった。一方、葉柄中アミノ酸含量は、500～3000ppm の窒素濃度では明らかな差はみられなかった。このことから、短期的に N を効かせたい場合 500ppm で十分であると考えられた。

引用文献

青木宏史・梅津憲治・小野信一 [編] (2001) 養液土耕栽培の理論と実際。誠文堂新光社、12-19。

小豆沢 斉 (1995) 施設栽培ブドウにおける土壤肥料的な研究。島根農試研報 29, 1-107。

古屋 栄・齊藤典義・手塚誉裕 (2006) 水耕法によるブドウ「巨峰」の要素過剰症の再現と栄養障害診断システムの開発。山梨果試研報 11, 57-73。

環境省 (2021) 硝酸性窒素等地域総合対策ガイドライン—技術・資料編—。

〈https://www.env.go.jp/water/chikasui/post_91.html〉

倉藤祐輝・尾頃敦郎・藤井雄一郎・小野俊朗・久保田尚浩・森 茂郎 (2008) ブドウにおけるマルチと灌水同時施肥による超密植栽培システムの開発。園学研 7, 425-431。

Lang, Carina P., Merkt, Nikolaus and Zörb, Christian (2018) Different nitrogen (N) forms affect responses to N form and N supply of rootstocks and grafted grapevines. Plant sci. 277, 311-321。

松本真悟 (2003) 土壌の可給態窒素の実態と作物によるその特異的吸収。島根農試研報 34, 1-46。

元村佳恵・大川 亘 (1995) 植物生産農学実験マニュアル。ソフトサイエンス社、299-300。

持田：ブドウ‘デラウェア’の養液土耕栽培における窒素吸収特性

二瓶直登（2010）植物のアミノ酸吸収・代謝に関する研究．福島農総セ研報 2，21-97．

農林水産省 a（2020）園芸用施設の設置等の状況（令和 2 年）．

〈https://www.maff.go.jp/j/seisan/ryutu/engei/sisetsu/haipura/setti_2.html〉

農林水産省 b（2020）令和 2 年産果樹生産出荷統計．

〈https://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sakumotu/sakkyou_kazyu/index.html〉

島根県農業技術センター（2022）ぶどう養液土耕栽培導入の手引き．島根県，16-18．

島根県農業協同組合（2023）令和 5 年産島根

ぶどう出荷反省会資料，49．

田村史人・藤井雄一郎（2009）養液栽培したブドウ‘マスカット・オブ・アレキサンドリア’の葉色と結実，果実品質および収量との関係．岡山農総セ研報 27，5-12．

安田雄治・小豆澤 斉・石倉一憲（1998）ブドウ‘巨峰’の水気耕栽培における培養液濃度および N 濃度が生育に及ぼす影響．植物工場学会誌 10(3)，194-202．

安田雄治・都間三鶴・坂本太智（2016）砂丘地ブドウの現状と課題．日砂丘誌 63(2)，71-73．

Summary

To determine the appropriate amount of nitrogen (N) fertilization for 'Delaware' grapes, differences in nitrogen absorption rates were investigated using 3 types of liquid fertilizers. 'Delaware' grape vines (grafted onto '5BB' rootstocks) were cultured in 60-L pots and treated with hydroponic fertilizer, organic amino acid fertilizer, and ammonium nitrate fertilizer, each diluted to a nitrogen concentration of 100 ppm. In the hydroponic and ammonium nitrate plots, the nitric acid content in the petioles of 'Delaware' vines increased from 3 days after applying fertilizer, and at 7 days post-application, reached approximately 9 times the pre-application level in both treatment plots. In contrast, the organic amino acid fertilizer plot showed no notable increase in nitric acid content. The amino acid content in the petioles increased from 3 days after applying fertilizer in all plots. At 5 days post-application, amino acid levels were approximately 5 times higher than pre-application levels in the hydroponic and ammonium nitrate plots, while the organic amino acid fertilizer plot showed approximately 3 times of the pre-application level. This suggests that 'Delaware' grapes directly absorbed amino acids in the organic amino acid fertilizer plot. When nutrient solutions were applied at the same nitrogen concentration, amino acid accumulation increase in the petioles was more pronounced with inorganic nitrogen-containing nutrient solutions than with organic amino acid-based nutrient solution.

Secondly, to clarify the critical nitrogen concentration, 5 different nitrogen concentrations (100 to 10,000 ppm) were tested using the hydroponic fertilizer. In the 10,000 ppm treatment, browning of petioles and leaf veins occurred at 3 days after the treatment onset, indicating an occurrence of concentration disorder (nitrogen toxicity) in the grape vines. The nitric acid levels in the petiole increased more significantly in accordance with the nitrogen concentration increase ranging from 100 to 3,000 ppm, and continued to increase for up to 7 days after treatment in all 4 nitrogen concentration plots. Therefore, critical limit of nitrogen fertilization concentration in 'Delaware' was suggested to be higher than 3,000 ppm. However, no notable differences in amino acid content were observed in petioles in all plots with the nitrogen concentrations between 500 and 3,000 ppm. Based on these findings, a nitrogen application concentration of 500 ppm is considered sufficient to achieve a short-term nitrogen absorption effect in 'Delaware' grape vines.

トルコギキョウ立枯病菌 *Fusarium oxysporum* に対する 草丈抑制率を指標とした品種の耐病性評価

永島 進¹⁾・近藤亜美¹⁾・塚本俊秀²⁾・北川絵理³⁾・今井達也³⁾・牧野雄太朗¹⁾

Evaluation of Cultivar Resistance Based on the Plant Height Inhibition Rate Against *Fusarium oxysporum* in *Eustoma grandiflorum*

Susumu Nagashima, Ami Kondo, Toshihide Tsukamoto,
Eri Kitagawa, Tatsuya Imai and Yutaro Makino

I 緒言

島根県の主要花きであるトルコギキョウの作付面積は、市販品種や島根オリジナル品種(以下、S0 品種)の普及によって 2014 年まで伸び、生産額も 2015 年に約 1 億 4 千万円でピークとなったが、その後は急激に低下している(島根県, 2022)。その要因として、規模が零細な生産者が多いことや土壌病害の発生等があり、なかでも立枯病の発生が最も問題となっている。

トルコギキョウ立枯病は、*Fusarium oxysporum* と *Fusarium* sp. (the *Fusarium solani* species complex) の 2 種の病原菌によって引き起こされる病害で(日本植物病理学会, 2024)、発病すると萎凋や枯死などの症状を呈し、罹病株は出荷できなくなる。このうち、*F. oxysporum* による立枯病が日本各地で問題となっている(藤永・佐藤, 2022; 川勝, 2024; 菅原ら, 2022; 寺田ら, 2022; 矢北ら, 2022; 安永ら, 2020)。島根県でも同様

に本菌による罹病が出荷率低下の一因となっており、発病現場では発病株率が 5 割以上になった事例もある。病徴は葉の黄化、奇形、萎凋および草丈の抑制症状であり、特に生育が進んだ株では激しい萎凋や茎部導管の褐変がみられ、最終的には枯死に至る(岸, 1998; 菅原, 2023; 安永ら, 2020)。

このようにトルコギキョウの栽培に深刻な被害を与える立枯病に対する主な対策として、生産現場では作付け前の土壌消毒が行われているが、防除効果の低い事例が散見されている。川勝(2024)および菅原ら(2022)は、本病の防除では土壌くん蒸剤がよく使用されるが、根が地表下からより深層部に達した場合には発病を抑制できないと報告している。そして、土壌くん蒸剤の有効な土壌深度について、クロルピクリン剤の畝立後処理の効果は、土壌表面から深さ約 30cm までと報告している(菅原ら, 2022)。これらのことから、筆者らは土壌消毒のみに依存した対策で

1) 島根県農業技術センター

2) 島根県農業技術センター(現在、退職)

3) 島根県農業技術センター(現在、島根県西部農林水産振興センター)

本研究の一部は令和 2 年度および 6 年度の日本植物病理学会大会において発表した。

は立枯病の防除は不十分であると考えた。

一方、本菌に対する品種間による耐病性の違いが、国内外で多数報告されており (Bertoldo ら, 2015; 藤永ら, 2023; 入谷ら, 2023; 佐藤ら, 2023; 瀬戸山ら, 2021; 外側ら, 2008), 立枯病の防除対策として耐病性品種の活用が検討されている。トルコギキョウは島根県の花き主要品目の一つであり、市販品種に加え S0 品種を含む多くの品種が栽培されている。複数品種が同時期に栽培されている生産現場において、生産者や指導する関係者等が立枯病発生状況の品種間差を観察するようになり、耐病性品種の選定が求められてきた。

これまで、接種試験での立枯病菌 *F. oxysporum* に対する耐病性評価の指標は、萎凋程度を示す発病指数から算出する発病度に基づいた評価で行われてきた (Bertoldo ら, 2015; 入谷ら, 2023; 佐藤ら, 2023; 瀬戸山ら, 2021)。しかし、筆者らが行ったトルコギキョウ数品種を用いたプランターでの予備試験において、接種土壌に移植した苗は、無接種土壌に移植した苗と比較して著しく草丈が抑制され、品種による反応の違いも認めら

れた。また、草丈が著しく抑制されたにも関わらず、葉の萎凋が発生しない現象や調査時が晴天であると葉の萎れが発生し、曇や雨で萎れが回復する現象が観察された。これらのことから、萎凋程度のみを基に算出された発病度では、本病に対する耐病性の強弱を正しく評価できないことが推察された。

そこで、本報ではトルコギキョウ立枯病菌 *F. oxysporum* に対する品種の耐病性評価の精度改善を目的に、土壌かん注接種法により草丈抑制率を指標とした耐病性評価の有効性について検討を行った。

II 材料および方法

試験は 2018 年および 2019 年の 2 か年行った。

1 供試品種と育苗

島根県の主要作型である秋出し栽培で県が推奨する品種を含む市販 14 品種と S06 品種の合計 20 品種を供試した (表 1)。メトロミックス 350J

表1 トルコギキョウ供試品種の特徴^{a)}

種苗会社	品種	花色	覆輪	花径	早晩性	秋出し栽培推奨品種
カネコ種苗	コレゾライトピンク	淡ピンク	無	中大	中晩	○ ^{b)}
カネコ種苗	ピンクサワー	ピンク	無	中小	中	
サカタのタネ	オーブイエロー	黄	無	中大	晩	○
サカタのタネ	オーブスノー	白	無	中大	晩	○
サカタのタネ	オーブブルーピコティー	白	有(紫色)	中大	中晩	○
サカタのタネ	ボヤージュ2型ホワイト	白	無	大	中	○
住化農業資材	海あやか	白	有(紫色)	中	中晩	○
住化農業資材	海ほのか	白	有(紫色)	中	中	○
住化農業資材	パティオスノー	白	無	中小	中晩	○
住化農業資材	パティオラベンダー	ラベンダー	無	中	中晩	○
タキイ種苗	パレオゴールド	濃黄	無	大	中晩	○
ミヨシ	ジャスニーホワイト	白	無	中大	中晩	○
ミヨシ	ハピネスホワイト	白	無	中大	中晩	○
ミヨシ	ロマンスグリーンネオ	緑	無	中大	中	○
島根県 ^{b)}	SOチェリーブルーリング	白	有(紫色)	小	中晩	
島根県	SOホワイトエース	白	無	中	中	
島根県	SO八雲小町	淡ピンク	無	中	中晩	
島根県	SO八雲コーラル	濃ピンク	無	中	中晩	
島根県	SO八雲ホワイト	白	無	中	中晩	
島根県	SO八雲雅	紫	無	中	中晩	

^{a)} 特徴は、種苗会社のカタログ情報による。

^{b)} 種苗会社の「島根県」は、島根オリジナル品種として県内生産者向けに提供しているものである。

^{c)} ○は、島根県農業技術センターが島根県内の2018年産秋出し栽培で推奨した品種を示す。

とニッテンEE 培土2号を体積比1:1で混和した用土を充填した406穴ペーパーポット(2.0cm角×高さ5.0cm)に播種した。播種日は定植時の葉数を揃えるため、生育の遅いS0品種では、2018年および2019年それぞれ2月9日、2月12日とし、その他の品種については、それぞれ2月27日、2月25日とした。播種したペーパーポットにかん水した後、直ちにビニールで被覆し、10℃、暗黒下、1か月間の種子冷蔵処理を行った。その後、ビニール被覆を除去してガラス室に搬出した。本葉展開時期までは温床マット(発芽揃い期まで23℃、子葉展開期は20℃に設定)とトンネル被覆によって保温し、気温25℃で換気を行った。ガラス室搬出1か月後から1週間おきにクミアイ液肥2号(N-P₂O₅-K₂O=10-4-8)の300倍液を施肥した。かん水はミストによって1日1~5回行った。

2 接種および接種後の管理

接種菌は、2017年に島根県出雲市のトルコギキョウから分離し、-40℃で凍結保存していたトルコギキョウ立枯病菌 *F. oxysporum* 1704TK-2株を供試し、接種源は大畑ら(1995)に準じて次のとおり調整した酵母様胞子懸濁液とした。供試菌をブドウ糖加用ジャガイモ煎汁寒天培地(Becton, Dickinson and Company製)で3~5日間前培養(25℃、暗黒下)し、菌叢外縁部を径4mmのコルクボーラーでくりぬいた含菌培地5片を300mL容三角フラスコ内のショ糖2%加用ジャガイモ煎汁液体培地(PSB)100mLに移植して7日間振とう培養(25℃散光下、110rpm)した。培養後、4重の滅菌ガーゼでろ過して菌糸片を除去し、滅菌蒸留水で酵母様胞子を3×10⁶個/mLに調整した(培養ろ過液を40倍希釈)。酵母様胞子懸濁液100mLを4Lの土壌(JAの土、全農アグリウエスト株式会社製)を充填したプランター(縦13cm×横35cm×高さ14cm、プラスチック製)に2018年、2019年とも5月15日に土壌かん注した。対照の無接種区は、100mLの40倍希釈PSBを土壌かん注した。また、接種当日に被覆肥料のスミコート424(80日タイプ、N-P₂O₅-K₂O=14-12-14)をプランター当たり4.5g表層施肥した。接種翌日、プランター当たり5本の苗(本葉2~3.5対)を2018年、2019年とも5月16日に移植した。なお、処理区

はプランター単位であり、3反復で試験を実施した。移植後のプランターを島根県農業技術センターのガラス室内(縦8.0m×横5.4m×高さ3.0m、換気は25℃で天窓開閉)で管理し、1日1回頭上かん水した。2018年および2019年の栽培期間中の気温は、それぞれ10.5~35.2℃(平均値22.5℃)、11.2~37.1℃(平均値23.0℃)であった。

3 発病調査

発病調査は2018年、2019年とも苗移植後35日目の6月20日に行った。供試した全株について、発病指数を0:無病徴、1:葉の萎れ、2:全身萎凋、3:枯死、で判定した。また全株の草丈を測定した。発病株率、発病度および草丈抑制率は以下のとおり算出した。

発病株率=指数1~3の株数/調査株数×100

発病度=Σ(指数別発病株数×指数)/
(調査株数×3)×100

草丈抑制率=[1-(接種5株の草丈平均/
無接種5株の草丈平均)]×100

また、接種区の発病株または草丈抑制株および無接種区のプランター中央の株について、主根内部に発生する褐変の有無を確認し、褐変が確認された場合は菌の再分離を行った。確認を行った株は各品種が移植された3つのプランターからそれぞれ1株とし、計3株を供試した。

2018年および2019年における発病調査項目別のデータの相関は、JMP9.0.0(SAS Institute Inc.)によってSpearmanの順位相関係数を算出した。また、立枯病菌 *F. oxysporum* 接種区と無接種区における草丈の平均値の有意差検定はt検定により行った。

III 結果

1 供試20品種における発病株率、発病度および草丈抑制率

供試した20品種における発病株率、発病度および草丈抑制率を表2に示した。20品種における発病株率、発病度および草丈抑制率の2か年の平均値は、それぞれ0~90.0%、0~65.6、7.6~70.9%であった。両年次の試験結果から特徴的な

3 品種について、発病調査時の生育状況を図 1 に示した。‘SO 八雲コーラル’の接種区では、5 株中全てが発病指数 0 であったが、5 株中 4 株で草丈がやや抑制される傾向であった。‘パレオゴールド’の接種区では、5 株中 1 株が発病指数 2 で、5 株中 4 株の草丈がやや抑制される傾向であった。接種区の‘SO 八雲雅’は、5 株中 1 株が発病指数 1 で、3 株が発病指数 2 であり、草丈の抑制が全 5 株で顕著であった。

2 草丈抑制率と発病株率および発病度との 相関関係

草丈抑制率と発病株率および発病度との関係について、図 2 に示した。草丈抑制率は、発病株率および発病度との Spearman の順位相関係数 (ρ) がそれぞれ 0.95 ($n=40$, $p < 0.0001$), 0.94 ($n=40$, $p < 0.0001$) であり、ともに正の強い相

関が認められた。

3 無病徴であった品種における草丈の抑制

‘SO 八雲コーラル’、‘SO 八雲小町’および‘ピンクサワー’は、2018 年と 2019 年ともに無病徴（発病株率 0%, 発病度 0）であったが、草丈抑制率が 5.8~15.4%であり、草丈が抑制される傾向であった（表 2）。‘海ほのか’、‘ボヤージュ 2 型ホワイト’および‘オーブブルーピコティー’は 2018 年では発病が認められたが、2019 年では無病徴（発病株率 0%, 発病度 0）で、草丈抑制率が 19.6~22.7%であり、草丈が抑制される傾向であった（表 2）。無病徴（発病株率 0%, 発病度 0）であった品種における接種区と無接種区の草丈を表 3 に示した。これらの品種のうち、2018 年と 2019 年の‘ピンクサワー’、2019 年の‘海ほのか’、‘ボヤージュ 2 型ホワイト’および‘オーブブル

表2 トルコギキョウ立枯病菌 *Fusarium oxysporum* に対する品種の発病株率、発病度および草丈抑制率^{a)}

品種	発病株率 (%) ^{b)}			発病度 ^{c)}			草丈抑制率 (%) ^{d)}		
	2018年	2019年	平均	2018年	2019年	平均	2018年	2019年	平均
SO八雲コーラル	0	0	0	0	0	0	5.8	9.4	7.6
SO八雲小町	0	0	0	0	0	0	10.6	7.7	9.2
ピンクサワー	0	0	0	0	0	0	13.7	15.4	14.5
パティオラベンダー	6.7	20.0	13.3	2.2	6.7	4.4	18.2	15.6	16.9
海ほのか	13.3	0	6.7	8.9	0	4.4	15.0	19.7	17.4
ボヤージュ2型ホワイト	13.3	0	6.7	13.3	0	6.7	23.4	22.7	23.1
オーブブルーピコティー	20.0	0	10.0	20.0	0	10.0	30.6	19.6	25.1
パレオゴールド	13.3	26.7	20.0	4.4	13.3	8.9	25.6	27.1	26.4
ロマンスグリーンネオ	26.7	20.0	23.3	11.1	6.7	8.9	30.8	22.9	26.9
ハビネスホワイト	33.3	20.0	26.7	20.0	6.7	13.3	28.8	30.2	29.5
コレゾライトピンク	73.3	20.0	46.7	37.8	13.3	25.6	46.9	28.7	37.8
SO八雲ホワイト	33.3	20.0	26.7	22.2	6.7	14.4	42.4	34.8	38.6
SOホワイトエース	26.7	66.7	46.7	17.8	28.9	23.3	37.7	49.8	43.7
オーブイエロー	66.7	40.0	53.3	51.1	24.4	37.8	56.4	32.0	44.2
海あやか	53.3	33.3	43.3	26.7	22.2	24.4	45.3	44.7	45.0
パティオスノー	60.0	60.0	60.0	28.9	28.9	28.9	41.8	48.7	45.2
ジャスニーホワイト	60.0	33.3	46.7	46.7	17.8	32.2	61.9	35.6	48.7
オーブスノー	66.7	93.3	80.0	46.7	44.4	45.6	56.5	62.0	59.3
SOチェリーブルーリング	73.3	100.0	86.7	55.6	62.2	58.9	56.7	67.7	62.2
SO八雲雅	93.3	86.7	90.0	84.4	46.7	65.6	77.0	64.8	70.9

a) 立枯病菌 *Fusarium oxysporum* を土壌かん注接種したプランターにトルコギキョウ苗を移植し、移植35日後に全株の発病指数と草丈を調査した。各品種の苗5株を1つのプランターに移植し、3反復で行った。

b) 下記のとおり発病指数別に調査し、発病株率を算出した。

発病指数 0:無病徴, 1:葉の萎れ, 2:全身萎凋, 3:枯死

発病株率 = 指数1~3の株数 / 調査株数 × 100

c) 下記のとおり発病度を算出した。

発病度 = Σ (指数別発病株数 × 指数) / (調査株数 × 3) × 100

d) 全株の草丈を調査し、草丈抑制率を下記のとおり算出した。

草丈抑制率 = $[1 - (\text{接種5株の草丈平均}) / (\text{無接種5株の草丈平均})] \times 100$

永島・近藤・塚本・北川・今井・牧野：トルコギキョウ立枯病菌 *Fusarium oxysporum* に対する草丈抑制率を指標とした品種の耐病性評価



図1 立枯病菌 *Fusarium oxysporum* を土壌かん注接種したプランターにおける移植後35日目のトルコギキョウの生育状況 (2019年6月20日)

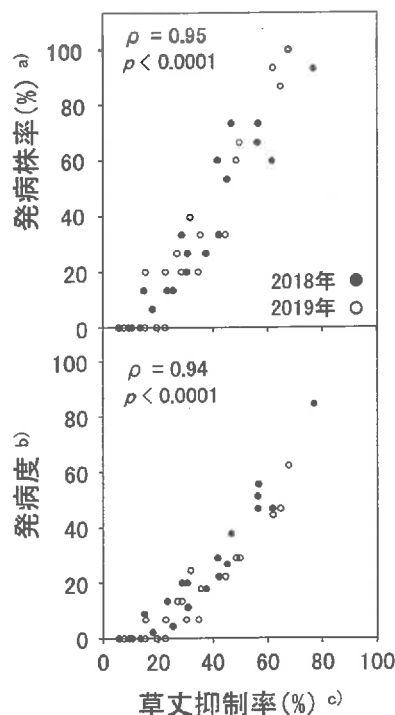


図2 立枯病菌 *Fusarium oxysporum* を接種したトルコギキョウ20品種における草丈抑制率、発病株率および発病度との関係

20品種における2018年と2019年のデータを示す (n = 40).
a), b), c) 表2を参照

表3 立枯病菌 *Fusarium oxysporum* を土壌かん注接種した接種区と無接種区における無病徴^{a)}を呈したトルコギキョウ品種の草丈 (cm)

品種	処理	試験年次	
		2018年	2019年
SO八雲コーラル	接種	19.0 ± 0.5 ^{b)}	23.3 ± 0.7 ^{NS}
	無接種	20.2 ± 0.1	25.7 ± 0.5
SO八雲小町	接種	16.4 ± 1.1 ^{NS}	19.3 ± 0.5 ^{NS}
	無接種	18.4 ± 0.3	21.3 ± 2.4
ピンクサワー	接種	16.8 ± 0.5 ^{* c)}	19.6 ± 0.5 [*]
	無接種	19.5 ± 0.5	23.3 ± 1.1
海ほのか	接種	— ^{d)}	18.5 ± 0.1 [*]
	無接種	—	23.0 ± 0.6
ボヤージュ2型ホワイト	接種	—	22.2 ± 0.6 [*]
	無接種	—	28.7 ± 0.1
オーブブルーピコティー	接種	—	21.6 ± 1.6 [*]
	無接種	—	27.0 ± 1.1

a) 無病徴は発病株率0%, 発病度0を示す。

b) 平均値±標準誤差を示す (n = 3)。

c) t検定によって無接種区と比較して有意差があることを示す (p < 0.05)。

d) 接種区において地上部に病徴が観察されたため、データを記載しなかった。

ーピコティー’の接種区の草丈は、無接種に比較して有意に抑制された。

4 各発病調査項目の年次変動

発病調査項目別の 2018 年と 2019 年の関係について、発病株率の Spearman の順位相関係数は 0.79 ($n=20$, $p < 0.0001$), 発病度が 0.80 ($n=20$, $p < 0.0001$), 草丈抑制率が 0.88 ($n=20$, $p < 0.0001$) であり、草丈抑制率が発病株率や発病度に比べて年次変動がより小さく、再現性が最も高かった (図 3)。しかし、草丈抑制率が約 40%を超えるにしたがって、年次のばらつきが大きくなる傾向が認められた。

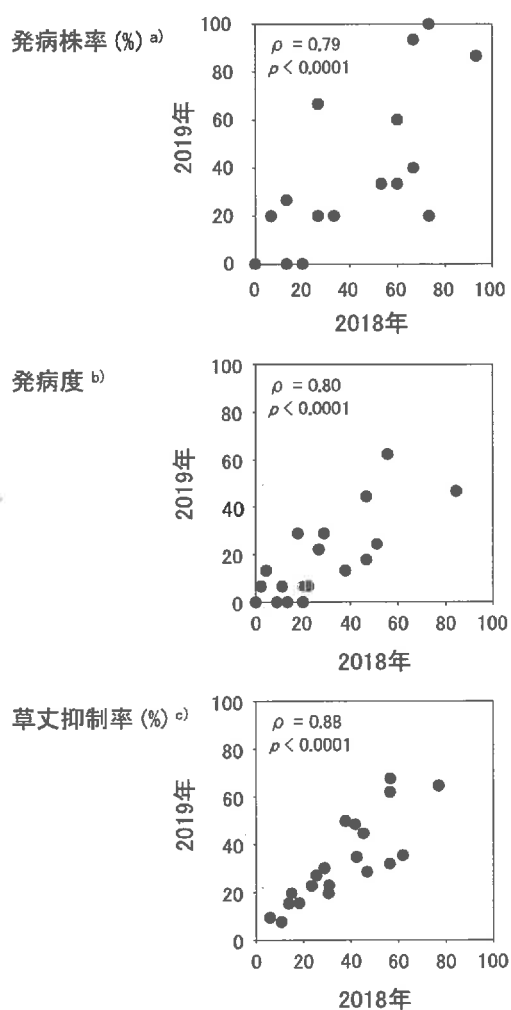


図3 トルコギキョウ20品種を用いた *Fusarium oxysporum* の土壌かん注接種による立枯病の発病調査項目と年次変動との関係

20品種における2018年と2019年のデータを示す($n = 20$).
a), b), c) 表2を参照

5 分離結果

‘S0 八雲コーラル’, ‘S0 八雲小町’の2018年の調査では、主根内部の褐変が全く認められなかったが、その他全ての品種では発病や草丈の抑制が見られた両年次とも主根内部の褐変が認められた (表 4, 図 4)。また、褐変が認められたほとんどの株から接種菌が分離された (表 4)。一方、無接種区における主根内部の褐変は全品種で認められなかった (データ省略)。

IV 考察

F. oxysporum によるトルコギキョウ立枯病の防除対策の一つとして、耐病性品種の活用が検討されている。本菌に対するトルコギキョウ品種の耐病性は、主に萎凋程度を表す発病指数から算出した発病度に基づいた評価で行われているが (Bertoldo ら, 2015; 入谷ら, 2023; 佐藤ら, 2023; 瀬戸山ら, 2021), 筆者らが行った予備試験において、本指標のみでは不十分な場合があり、品種の耐病性評価の精度改善が必要である。

1 草丈抑制率と発病株率および発病度との相関関係

供試 20 品種について、発病株率、発病度および草丈抑制率、いずれの発病調査項目とも品種により異なった。本報で着目した草丈抑制率については、発病株率および発病度の両項目との間に正の強い相関が認められた。その要因として、トルコギキョウの生育初期において、草丈の抑制が萎凋症状と同様に顕著に発生するためではないかと推察された。

2 無病徴であった品種における草丈の抑制

2018 年と 2019 年の ‘ピンクサワー’, 2019 年の ‘海ほのか’, ‘ボヤージュ 2 型ホワイト’ および ‘オーブブルーピコティー’ は無病徴 (発病株率 0%, 発病度 0) であったにも関わらず、草丈抑制率は 13.7~22.7%であった。これらの株では、併せて主根内部の褐変が認められ、接種菌が再分離され、さらに草丈が有意に抑制された。このように、本報において今までの評価法では無病徴 (発病株率 0%, 発病度 0) と判定されたにも関わ

永島・近藤・塚本・北川・今井・牧野：トルコギキョウ立枯病菌 *Fusarium oxysporum* に対する草丈抑制率を指標とした品種の耐病性評価

表4 トルコギキョウ立枯病菌 *Fusarium oxysporum* を接種した各品種における主根内部の褐変の有無と接種菌の再分離

品種	2018年			2019年		
	調査 株数 ^{a)}	主根内部の 褐変株数	接種菌 分離株数	調査 株数	主根内部の 褐変株数	接種菌 分離株数
SO八雲コーラル	3	0	0/0 ^{b)}	3	2	2/2
SO八雲小町	3	0	0/0	3	2	2/2
ピンクサワー	3	1	1/1	3	3	2/3
パティオラベンダー	3	3	3/3	3	2	2/2
海ほのか	3	3	3/3	3	3	3/3
ボヤージュ2型ホワイト	3	3	3/3	3	3	3/3
オーブブルーピコティー	3	3	3/3	3	3	1/3
パレオゴールド	3	3	3/3	3	3	3/3
ロマンスグリーンネオ	3	3	3/3	3	3	3/3
ハピネスホワイト	3	3	3/3	3	3	1/3
コレゾライトピンク	3	3	3/3	3	3	3/3
SO八雲ホワイト	3	3	3/3	3	3	3/3
SOホワイトエース	3	3	3/3	3	3	3/3
オーブイエロー	3	3	3/3	3	3	3/3
海あやか	3	3	3/3	3	3	3/3
パティオスノー	3	3	3/3	3	3	3/3
ジャスニーホワイト	3	3	3/3	3	3	2/3
オーブスノー	3	3	3/3	3	3	3/3
SOチェリーブルーリング	3	3	3/3	3	3	3/3
SO八雲雅	3	3	3/3	3	3	3/3

a) 各品種が移植された3つのプランターから発病株または草丈抑制株をそれぞれ1株選び、計3株を調査した。

b) 接種菌が分離された株数/分離に供試した株数



図4 トルコギキョウ立枯病菌 *Fusarium oxysporum* の土壌かん注接種後35日目における主根内部の褐変状況

品 種 'ピンクサワー', 2019年6月20日撮影
赤矢印は褐変部を示す。

らず、主根内部が立枯病菌に罹病しており、草丈が抑制された事例を確認した。このような場合には発病株率や発病度では主根内部の褐変による罹病の評価ができない。しかし、草丈抑制率は、罹病したが症状が明確でない段階での評価を可能とする指標と考えられた。

3 各発病調査項目の年次変動

発病株率、発病度および草丈抑制率について2か年の変動をみると、草丈抑制率は、発病株率や発病度より強い正の相関が認められ、再現性が高いことが示された。これは、発病株率が2値変数、発病度が4段階の変数であるのに対し、草丈抑制率は草丈という連続変数から算出されるため、年次変動がより小さかったと考えられる。

一方で、草丈抑制率がおよそ40%を超えるにしたがって年次のばらつきが大きくなる傾向が認められた。草丈抑制率が高い品種は、発病度も高いため発病指数の高い株を多く含み、発病指数が高い株は、罹病時期と症状の進行が早い。罹病と症状の進行は栽培環境要因によって影響するため、草丈抑制率の高い品種は、低い品種と比較して年次のばらつきが大きくなったと考えられた。

4 草丈抑制率の耐病性評価指標としての有効性

本報の結果から、草丈抑制率を評価指標とした場合の特徴として次の3点が示された。①発病株率や発病度と正の強い相関が認められる、②従来の指標では無病徴（発病株率0%、発病度0）と判定される場合であっても、草丈が抑制されている症状により主根内部が立枯病菌に罹病していることを評価できる、③発病株率や発病度と比べて年次変動が小さく再現性が高い。このうち、特に②は従来の発病度と比べて優れている特徴である。これらのことから、従来の萎凋程度を表す発病指数から算出した発病度に加え、草丈抑制率を指標として用いれば、より精度の高い耐病性評価が可能になると考えられた。しかし、草丈抑制率は、無接種区を設ける必要があるため、一度に多くの品種の耐病性評価をすることが困難である。また、本報の結果から草丈抑制率が低い品種について再現性の高さが顕著であった。そのため、こ

れまで用いられてきた指標で発病度の低い品種を絞り込み、それらを草丈抑制率で高精度に評価する方法が適していると考えられる。

今後、草丈抑制率を指標とした耐病性評価の妥当性について、さらには場レベルでの検証を実施する必要がある。

V 摘要

F. oxysporum によるトルコギキョウ立枯病の防除対策の一つとして、耐病性品種の活用が国内外で検討されている。そのためには品種の耐病性評価の精度をより向上させる必要がある。本報では、新たな指標として着目した草丈抑制率の有効性について、プランターを用いた土壌かん注接種法で評価した。

供試した2018年～2019年の20品種において、発病株率、発病度および草丈抑制率は品種により異なった。そして、草丈抑制率は、萎凋程度を基に算出された発病度と正の強い相関（Spearmanの順位相関係数0.94, $p < 0.0001$ ）が認められた。さらに、草丈抑制率は、従来の発病度の指標では無病徴と判定される場合でも、主根内部が立枯病菌に罹病していることを評価できた。また、草丈抑制率の年次変動について解析した結果、Spearmanの順位相関係数が0.88（ $p < 0.0001$ ）となり、発病株率および発病度と比較して高く、再現性が高かった。

以上より、トルコギキョウ立枯病菌 *F. oxysporum* に対する品種の耐病性評価において、草丈抑制率は、評価の精度を高めるうえで有効な指標の一つであると考えられた。

引用文献

- Bertoldo, C., Gilardi, G., Spadaro, D., Gullino, M.L., and Garibaldi, A. (2015) Genetic diversity and virulence of Italian strains of *Fusarium oxysporum* isolated from *Eustoma grandiflorum*. Eur. J. Plant Pathol. 141, 83-97.
- 藤永真史・佐藤憲二郎 (2022) 高冷地におけるトルコギキョウ立枯病の特徴と品種の感受

永島・近藤・塚本・北川・今井・牧野：トルコギキョウ立枯病菌 *Fusarium oxysporum* に対する草丈抑制率を指標とした品種の耐病性評価

- 性差異, 関東病虫研報 69, 99.
- 藤永真史・藤 結宇・山岸菜穂 (2023) 品種の抵抗性利用を主体としたトルコギキョウ立枯病の防除対策. 日植病報 89, 21.
- 入谷明里・鍋谷宏美・鈴木幹彦・寺田吉徳・佐藤 衛・川勝恭子・川部眞登 (2023) *Fusarium oxysporum* 静岡菌株に対するトルコギキョウ品種・系統の抵抗性評価. 園学研 22 (別 1), 395.
- 川勝恭子 (2024) トルコギキョウ土壌病害の現状と対策技術の展望. 施設と園芸 204, 31-34.
- 岸 國平 (1998) 日本植物病害大事典. 全国農村教育協会, 726-727.
- 日本植物病理学会 (2024) 日本植物病名目録 (2024 年 8 月版).
<https://www.ppsj.org/act/disease-list/>
- 大畑貫一・荒木隆男・木曾 皓・工藤 晟・高橋廣治 (1995) 作物病原菌研究技法. 日本植物防疫協会, 295-298.
- 佐藤憲二郎・藤 結宇・佐藤 衛・川勝恭子 (2023) *Fusarium oxysporum* 長野菌株に対するトルコギキョウ品種の抵抗性評価. 園学研 22 (別 1), 396.
- 島根県 (2022) 島根県花き振興計画. 島根県農林水産部産地支援課, 1-6.
https://www.pref.shimane.lg.jp/industry/norin/seisan/engei_shinkou/kaki/index.data/kakisinkoukeikaku.pdf
- 瀬戸山修仁・安永智希・佐藤 衛・川部眞登・川勝恭子 (2021) 福岡県のトルコギキョウから分離された *Fusarium oxysporum* 菌株の病原性検定および抵抗性の品種間差異. 園学研 20 (別 1), 114.
- 菅原 敬・渡部由理・黒坂美穂・高橋佳孝 (2022) トルコギキョウ立枯病発生圃場における土壌消毒前後および栽培後の立枯病菌密度と発病推移. 北日本病虫研報 73, 48-54.
- 菅原 敬 (2023) 近年猛威を振るうトルコギキョウ立枯病のやっかいな一面. iPlant 1(7) https://www.iplant-j.jp/journal/vol-1_no-7/eustoma_fusarium-root-rot/
- 寺田吉徳・鍋谷宏美・入谷明里・佐藤 衛・小野崎 隆・川勝恭子・川部眞登 (2022) 静岡県のトルコギキョウにおける立枯病菌の種同定および *Fusarium solani* 静岡菌株に対する品種間差の抵抗性評価. 園学研 21 (別 2), 364.
- 外側正之・鈴木幹彦・内山 徹 (2008) *Fusarium oxysporum* によるトルコギキョウ立枯病—接種試験による病原性の確認—. 日植病報 74, 35.
- 矢北舞子・川勝恭子・工藤陽史 (2022) 熊本県で発生するトルコギキョウ立枯原因菌の同定と病原性. 園学研 21 (別 2), 365.
- 安永智希・瀬戸山修仁・近藤孝治・川勝恭子・川部眞登・佐藤 衛・小野崎 隆 (2020) 福岡県におけるトルコギキョウ立枯病菌の同定と地域分布. 九病虫研会報 66, 33-39.

Summary

As one of the control methods for root rot caused by *Fusarium oxysporum* in *Eustoma grandiflorum*, the development of disease-resistant cultivars has been desired both domestically and internationally. To achieve this goal, we aimed to improve the accuracy of evaluating cultivar resistance to *Fusarium oxysporum* in *Eustoma grandiflorum*, by investigating the effectiveness of plant height inhibition rate as a new evaluation index through pot inoculation tests with soil irrigation.

Among the 20 cultivars we tested in 2018 and 2019, disease incidence, disease severity, and plant height inhibition rate varied depending on the cultivar. The plant height inhibition rate showed a strong positive correlation with disease severity, which was calculated based on the degree of wilting (Spearman's rank correlation coefficient 0.94, $p < 0.0001$). Furthermore, the plant height inhibition rate reflected the presence of *F. oxysporum* inside the taproots even when above-ground portions of the plants showed no visible disease symptoms (disease incidence: 0%, disease severity: 0). The Spearman's rank correlation coefficient between the 2018 and 2019 data was 0.80 ($p < 0.0001$) for disease severity and 0.88 ($p < 0.0001$) for plant height inhibition rate. The smaller annual fluctuation of the plant height inhibition rate indicated it is highly reproducible.

Our results confirm that plant height inhibition rate is an effective indicator for evaluating cultivar resistance to *F. oxysporum* in *E. grandiflorum*.

正確な気温測定のための安価で軽量の強制通風筒

「KM-01」の製作とその性能

牧野雄太郎¹⁾・加古哲也¹⁾

Production and Performance of an Inexpensive, Lightweight Force-Ventilated Radiation Shield "KM-01" for Accurate Air Temperature Measurement

Yutaro Makino and Tetsuya Kako

I 緒言

近年、施設園芸においては、ハウス内気温と植物体の生育状況を把握し、加温温度や換気温度の設定変更などが栽培管理方法の改善として行われるが、その前提として、ほ場の気温を正確に観測する必要がある(福岡・吉本, 2012)。気温は、植物の生育ステージ、同化産物の分配、伸長反応などに影響を与える重要な指標である(Ep・Tijs, 2017; 加古・川村, 2024)。また、植物体の成長点は、温度感受性が高いことがわかっており、成長点付近の温度を観測することが重要である(斉藤, 2015)。

気温をセンサー付きロガーで観測する際、センサーに放射除けが設置されていることが重要であるが、自然通風に依存した放射除けでは、弱風下で強い日射を受けると気温が実際より高めに測定される傾向があるため、強制通風筒の使用が望ましいとされる(気象庁, 2007)。しかし、市販の強制通風筒は1台あたり数十万円程度と高価である。一方、強制通風筒を自作する場合には、測定精度を確保できる構造の検討や、製作の容易さ、の均質性が課題である。

福岡ら(2010, 2011)は、既製の資材を組み合わせ、低コストながら卓越した性能を備え、自作可能な強制通風筒「NIAES-09」を開発し、作成方法を公開している。また、NIAES-09を改良して小型化した「NIAES-09S」も開発している(福岡

ら, 2012)。しかし、これら2機種は、その大きさや重量から植物の成長点付近に設置することは難しいと考えられた。

そこで、気象温度センサーと合わせて使用する放射除けとして、ハウス内の群落にも容易かつ軽量で設置可能でより簡易に自作可能な強制通風筒「KM-01」(図1)を開発した。本論文では、KM-01の性能を評価した。加えて、KM-01の材料および作成方法を図解した。

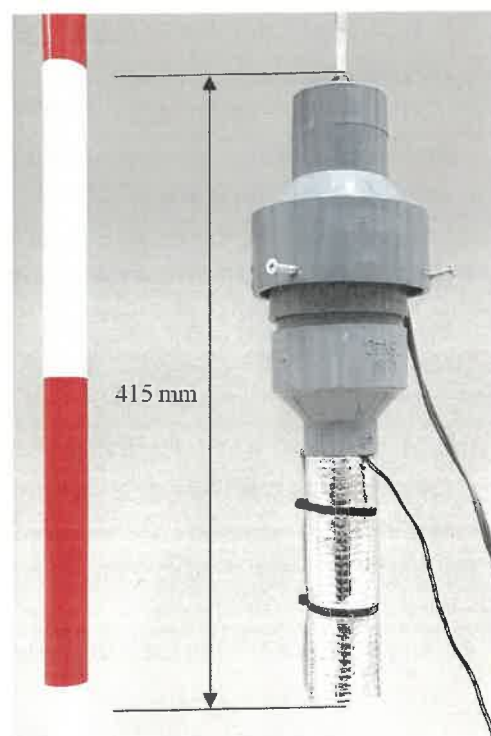


図1 強制通風筒 KM-01

Ⅱ 材料および方法

1 強制通風筒 KM-01 の材料および作成方法

強制通風筒 KM-01 を下記の方法で作成し、その作成にかかった材料費と完成した本体の重量、全高および全幅を測定し、NIAES-09S(福岡ら(2012)の論文を元に作成)と比較した。

1) 材料と工具

本体部品として AC ファン(San Ace60 109-130), 硬質ポリ塩化ビニル管(以下塩ビ管: VU40 長さ 195mm, VU50 長さ 50mm, VU75 長さ 85mm), 硬質塩ビ管用継手(VU 管用インクリーザ 100×50 と 75×40), VU キャップ(VU75 と VU50), 差込プラグ, ビニールコード(10 m), ヒートン, プラスチック板(47mm×22mm 厚さ 1mm), 遮熱シートを用いた。接続部品として, ねじ(なべ 4mm×50mm)2 本, ねじ(なべもしくは平 5mm×35mm) 3 本, ビニールタイ(50mm) 2 本, 結束バンド(300mm) 2 本, 接続端子を用いた。また, 作成に必要な工具類として, 自在錐, ボール盤, 丸棒やすり, カッターナイフ, 糸のこぎり, プラスドライバー(2 番), ハンマー, 電動ドリル, 電工ペンチを用いた。

2) 作成方法

- (1) VU キャップ 75 の中心に自在錐で直径 55mm の穴を開ける。
- (2) (1)で作成した部材に Φ2.7 の下穴をボール盤で 2 か所開け, AC ファンをねじ(なべ 4mm×50mm)2 本で固定する。
- (3) (2)で作成したものに塩ビ管(VU75 長さ 50mm), VU 管用インクリーザ(75×40)を接続する。
- (4) AC ファン, ビニールコード, 差込プラグを取り付ける。
- (5) VU キャップ 50 と VU 管用インクリーザ(100×50)を塩ビ管(VU50 長さ 50mm)パイプで固定する。
- (6) (5)の VU キャップ 50 の中心にヒートンを取り付ける。
- (7) VU 管用インクリーザ(100×50)の周囲に 3 か所均等に穴を開ける。(4)と(6)をねじ(なべもしくは平 5mm×35mm) 3 本で均等に締め, 固定する。

- (8) センサーを取り付けるプラスチック板を固定するため, 塩ビ管(VU40 長さ 195mm)に長さ 20mm の切り込みを塩ビ管の端面から垂直に長手方向へ糸のこぎり で 2 か所入れる。

- (9) センサー線を通すための長さ 20mm の切り込みを糸のこぎり で 1 か所入れる。

- (10) センサーを固定するための穴をプラスチック板の中心から均等に 4 か所開ける。

センサーを収納する筒の下端から 100mm の位置にセンサーの感温部位をビニールタイ(50mm)2 本で固定する。

なお, センサーはプラスチック板を用いて筒の中心に位置するように固定する。

- (11) 本体下部に筒を挿入する。100V 電源に接続して, ファンが回転することを確認したのち, 筒を覆うように断熱資材を 10mm の厚さに巻き, 落下防止のための結束バンド(300mm)で 2 か所固定する。

- (12) 観測を行う場所に設置したのち, 100V 電源に接続する。通電直後は, 温度が不安定な場合があるため, しばらくしてから観測を開始する(図 6~9. 末頁に記載)。

2 強制通風筒 KM-01 による気温の観測

完成した強制通風筒 KM-01 を用いて気温を観測し, 他の放射除けとともに性能の評価を行った。

気温の観測は, 島根県農業技術センター水田園芸科ほ場(島根県出雲市)にある K1 ハウス(間口 8m, 奥行 25m, 高さ 4m)内にて 2024 年 6 月 29 日から 7 月 28 日まで行った。供試した放射除けは, KM-01, NIAES-09S(福岡ら(2012)の論文を元に作成), 二重傘(ニッポー株式会社, NP-131)とし, 放射除けを使用しない放射除けなしを加えた計 4 区を設定した。ロガーは, おんどとり(TR-71wb, 株式会社ティアンドディ), 温度センサーは, サーミスタ(TR-106, 株式会社ティアンドディ)を使用した。なお, 温度センサーは, いずれの区もハウス東端面から 2m 内側, 高さ 1.5m の位置に設置した。測定項目は気温とし, 観測した 1 分値に基づく 10 分間平均値を使用した。また, 同時に照度も観測し, 照度のロガーは, おんどとり(TR-74Ui, 株式会社ティアンド

ディ)、照度センサーは、照度 UV センサー (ISA-3151, 株式会社ティアンドディ) を使用した。

性能の評価は、観測した結果から晴天、曇天および雨天の天候別に、日時別の観測値を比較して行った。また、NIAES-09S と KM-01 の観測値の差を算出し、比較した。

Ⅲ 結果

1 強制通風筒 KM-01 の材料および作成方法

作成した KM-01 と NIAES-09S を比較したところ、2024 年 6 月 4 日時点での材料費は、KM-01 が 8889 円、NIAES-09S が 38476 円であり、KM-01 の方が 29587 円安価であった。本体重量は、KM-01 が 1.36 kg、NIAES-09S が 2.48kg であり、KM-01 の方が 1.12kg 軽かった。全高は KM-01 が 415mm、NIAES-09S が 400mm で、全幅は KM-01 が 143mm、NIAES-09S が 192mm であった (表 1)。

2 強制通風筒 KM-01 による気温の観測

供試した強制通風筒の 2024 年 7 月 27 日から 28 日での時間帯別の気温観測値について、5 時 10 分から 19 時 20 分の日中の気温は、KM-01 と NIAES-09S では、いずれも放射除けなしと比べ気温が低く観測される傾向が見られた。一方、19 時 30 分から 5 時 00 分の夜間における観測値に大きな差は見られなかった。なお、供試した強制通風筒間には、日中と夜間の各平均観測値に差は見られなかった (表 2)。

異なる気象条件で測定した強制通風筒の気温観測値と照度の推移について、晴天、曇天および雨天での推移を比較したところ、晴天は放射除けなしに比較して二重傘が低くなったが、曇天と雨天では同等となった。NIAES-09S と KM-01 は、いずれの天候でも同様な推移を示し、日中はいずれの気象条件でも放射除けなしおよび二重傘に比較して低く推移した (図 2)。

NIAES-09S と KM-01 の気温観測値を比較したところ、2 つの観測値の直線回帰式は $y = 1.0117x - 0.2857$ で、決定係数は $R^2 = 0.9989$ であった (図 3)。

KM-01 と NIAES-09S の気温観測値の差と照度を比較したところ、最大で 0.79°C 、最低で -0.99°C

の差が見られた。観測値の 95% は $\pm 0.28^{\circ}\text{C}$ 以内に、99% は $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 以内に収束した (図 4)。

NIAES-09S と KM-01 の気温観測値の差を算出し観測値差の分布を調べたところ、すべての観測値での平均は -0.041°C で、標準偏差は 0.124 であった。照度が 0 lx より高い観測値での平均は -0.067°C で、標準偏差は 0.147 であった。照度が 0 lx の観測値での平均は -0.005°C で、標準偏差が 0.037 であった (図 5)。

Ⅳ 考察

施設園芸におけるビニールハウス内での正確な温度観測のため、強制通風筒 KM-01 の製作と性能の評価を行った。

今回作成した KM-01 は、可能な限り金属部材を使用せず主に塩ビ管等を用いて設計し、ファンも軽量なものを採用したことで、NIAES-09S よりも材料費が安価であり、重量も軽くなった。そのため、導入しやすく、ほ場での設置も容易であると考えられた。

日中の気温は、放射除けなしや二重傘と比べて KM-01 で低く観測される傾向が見られた。一方、夜間の気温に差がないのは、主に直射日光、輻射熱、周辺の物体からの熱伝導が低く、日中と比較して大きな影響を受けないためと推察された。

異なる気象条件における気温観測値について比較したところ、晴天時は放射除けなしに比較して二重傘が低くなったが、曇天と雨天では同等となった。気温観測値について、強制通風式が自然通風式よりも低く測定されることは、岡田・中村 (2010) の報告と一致し、本研究でも同等の傾向が見られた。強制通風筒 KM-01 と NIAES-09S の観測値は、いずれの気象条件でも非常に良く一致していた。このため、2 機種は同等の性能を持つことが示唆された。

KM-01 と NIAES-09S の気温観測値を比較したところ、直線回帰式の傾きは $y = 1.0117x - 0.2857$ であり、 $y = x$ 線の上に近く分布した。また 3 万 lx を境にした寡日照条件および強日照条件において比較しても、2 機種の観測値にはほぼ差が見られなかった。加えて照度と 2 機種の観測値の差に

表 1 強制通風筒 KM-01 と NIAES-09S の作成に要する材料費, 重量, 全高および全幅

機種	材料費 ²⁾ (円)	重量 (kg)	全高 (mm)	全幅 ³⁾ (mm)
NIAES-09S	38476	2.48	400	192
KM-01	8889	1.36	415	143

²⁾ 2024 年 6 月 4 日時点の出雲市内におけるホームセンター価格より算出

³⁾ NIAES-09S を設置するためにはアームが必要であり, それを含めると全幅は 452mm 程度となる

表 2 放射除けの違いが時間帯別の気温観測値に及ぼす影響

試験区	気温観測値 (°C)	
	日中 ²⁾	夜間 ³⁾
放射除けなし	35.68±0.39 ³⁾	27.46±0.15
NIAES-09S	33.00±0.26	27.61±0.14
KM-01	33.04±0.26	27.60±0.14

²⁾ 日中は 7 月 27 日 15:00 から 19:20, 7 月 28 日 5:10 から 14:50 の平均を示す

³⁾ 夜間は 7 月 27 日 19:30 から 7 月 28 日 5:00 の平均を示す

³⁾ 値は平均値±SE を示す

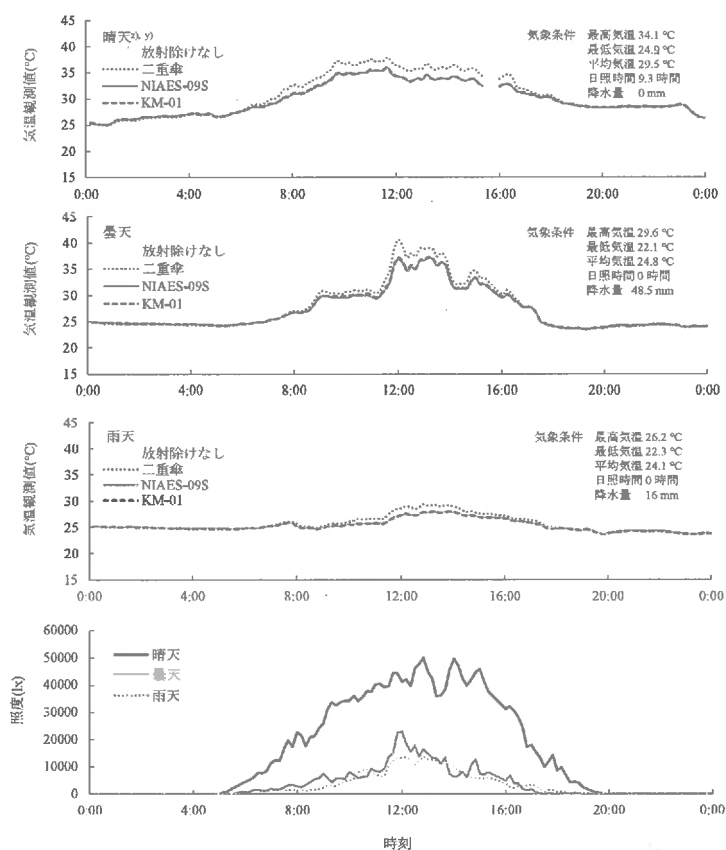


図 2 異なる気象条件における強制通風筒 KM-01 と NIAES-09S を用いた気温観測値と照度の日推移

²⁾ 晴天は 2024 年 7 月 3 日, 曇天は 7 月 10 日, 雨天は 7 月 14 日に島根県出雲市芦渡町で観測されたデータとした。観測値は 1 分間隔で観測したものを 10 分間平均にした。気象条件は, AMeDAS データ(出雲市芦渡町)より引用した。降水について, 曇天は 18 時と 19 時, 雨天は 3 時から 9 時, 11 時と 12 時, 16 時から 20 時に観測された (気象庁, 2024)

³⁾ 7 月 3 日 15:20 から 15:49 はデータ欠測

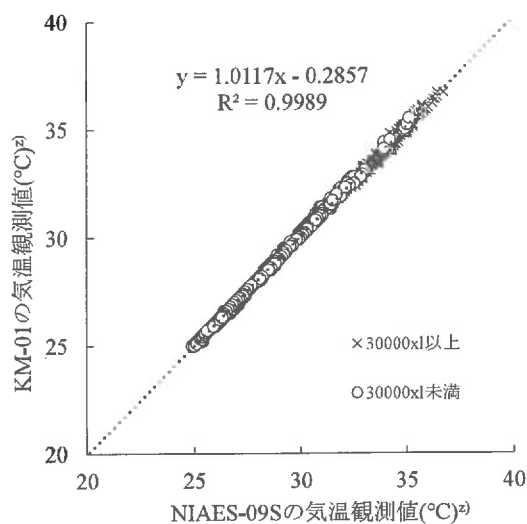


図3 強制通風筒 KM-01 と NIAES-09S による気温観測値の関係

²) 観測値は、7月3日 0:00～23:59 まで1分間隔で観測したものを用いた

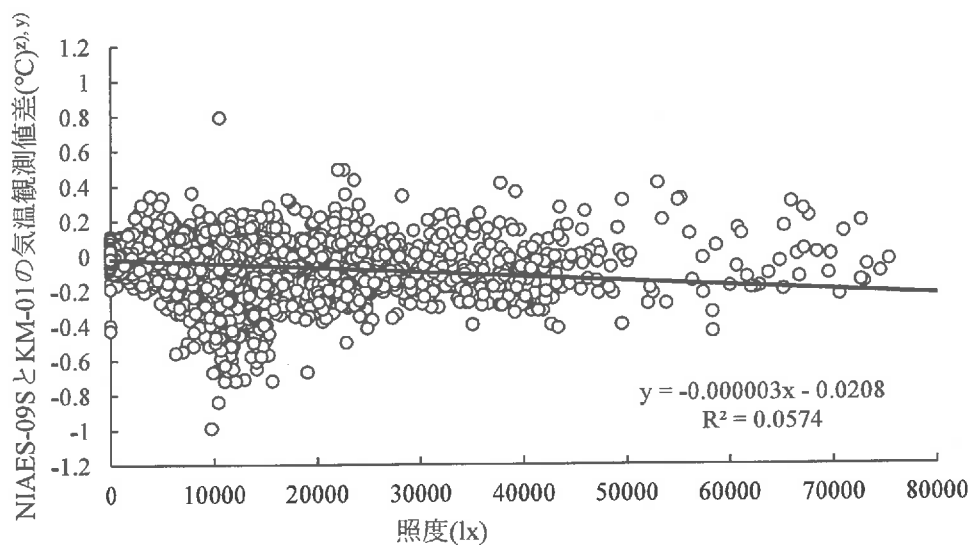


図4 強制通風筒による気温観測値の差と照度の関係

²) 観測期間は6月29日から7月28日。観測値は1分間隔で観測したものを10分間平均にした

³) NIAES-09S と KM-01 の気温観測値差は NIAES-09S の観測値から KM-01 の観測値を引いた値

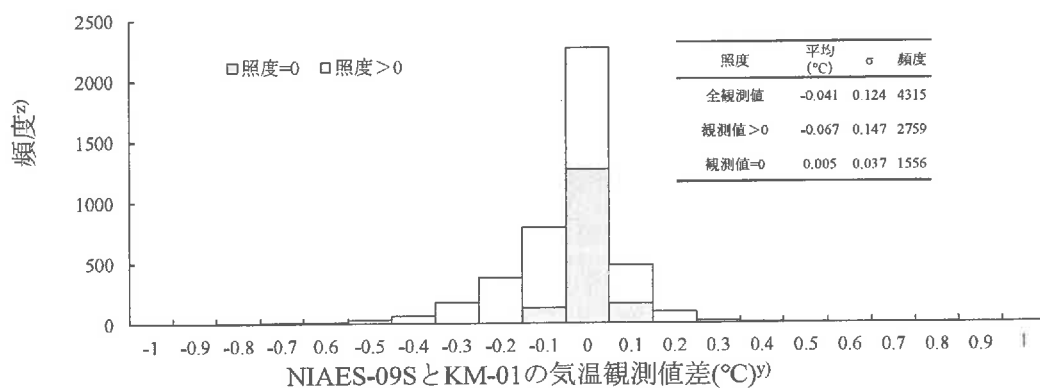


図5 強制通風筒 KM-01 と NIAES-09S による気温観測値の差を示したヒストグラム

²) 観測期間は6月29日から7月28日。観測値は1分間隔で観測したものを10分間平均にした

³) NIAES-09S と KM-01 の気温観測値差は NIAES-09S の観測値から KM-01 の観測値を引いた値

ついて、その関係を見たところ、直線回帰式の傾きは、 -0.000003 であった。これらのことから、広い照度条件で 2 機種を観測値が同等の値を示し、2 機種が照度から受ける影響は同等であることが示唆された。

KM-01 と NIAES-09S の気温観測値差の平均は -0.041°C だったことから KM-01 と NIAES-09S はほぼ同等の気温を観測できていると考えられたが、若干 KM-01 の観測値が高い数値を示す可能性があることには留意を要する。

気温観測を行うにあたり、強制通風筒は、二重筒であることが推奨されるが(近藤, 2010)、価格が高価になることや、加工が煩雑になる問題がある。今回 KM-01 は、遮熱シートを塩ビ管に巻き付けることで代替したが、二重筒で作成された NIAES-09S と同等の性能を有しており、軽量で簡易に作成できる農業用としては実用に耐えうると考えられた。

以上より KM-01 は、安価かつ軽量で、既報の NIAES-09S と同等の機能を有し、農業現場において実用可能な強制通風筒であることが示された。

V 摘要

正確なハウス内気温の観測を行うため、強制通風筒「KM-01」の開発を行うとともにその性能を評価した。

KM-01 は、既報の NIAES-09S に比較して、安価であることに加え、軽量に作成可能であった。また、全期間で観測したところ、KM-01 と NIAES-09S の観測値差の平均は -0.041°C であったことから KM-01 と NIAES-09S はほぼ同等に気温を観測できていると考えられた。更に、KM-01 は気象条件を問わず NIAES-09S と同等の精度で気温の観測が可能であった。このことから、KM-01 は、農業の現場において実用可能な強制通風筒であることが示された。

引用文献

- Ep, H. and Tijs, K. (中野明正, 池田英男ら監訳) (2017). オランダ最新研究 環境制御のための植物生理. 農文協, 112-115.
- 福岡峰彦・桑形恒男・吉本真由美(2010). 低コストで高精度の気温測定を可能にする強制通風筒. 農業環境技術研究所研究成果情報(26), 6-7.
- 福岡峰彦・桑形恒男・吉本真由美・山田幸則(2011). 建築資材を活用した低コスト強制通風筒「NIAES-09」の製作法. 生物と気象 11, A10-16.
- 福岡峰彦・吉本真由美(2012). 栽培試験における群落上および群落内気温の観測と利用. 日作紀 81(3), 363-371.
- 福岡峰彦・桑形恒男・吉本真由美(2012). 正確な気温の観測を低コストで実現する強制通風筒「NIAES-09S」の製作法. インベントリー(10), 47-54.
- 加古哲也・川村 通(2024). 早朝低温処理が加温促成鉢物アジサイの新梢伸長および開花に及ぼす影響. 島根農技セ研報 51, 39-47.
- 気象庁(2007). 気象観測の手引き. 気象庁, 9-15.
- 気象庁(2024). 過去の気象データ検索. 気象庁, <https://www.data.jma.go.jp/>.
- 近藤純正(2010). 日本における温暖化と気温の正確な観測. 伝熱, Vol. 49, N208, 58-67.
- 岡田益己・中村浩史(2010). 温度の正しい測り方(1) 通風式放射よけの作り方. 生物と気象 10:A-2, 1-5.
- 斉藤 章(2015). 光合成を高めればもっととれるハウスの環境制御ガイドブック. 農文協, 104.

Summary

To accurately measure temperature in a greenhouse, the force-ventilated radiation shield "KM-01" was designed and produced. And its performance was evaluated.

KM-01 was more inexpensive and lighter in weight than the "NIAES-09S", a force-ventilated radiation shield currently used in agricultural production. Since the average difference between the detected values of KM-01 and NIAES-09S during the entire measurement period was 0.041°C, indicating that temperature measurement accuracy of KM-01 was nearly identical to that of and NIAES-09S were almost the same. Furthermore, KM-01 was able to measure temperature with the same accuracy as NIAES-09S, regardless of weather conditions.

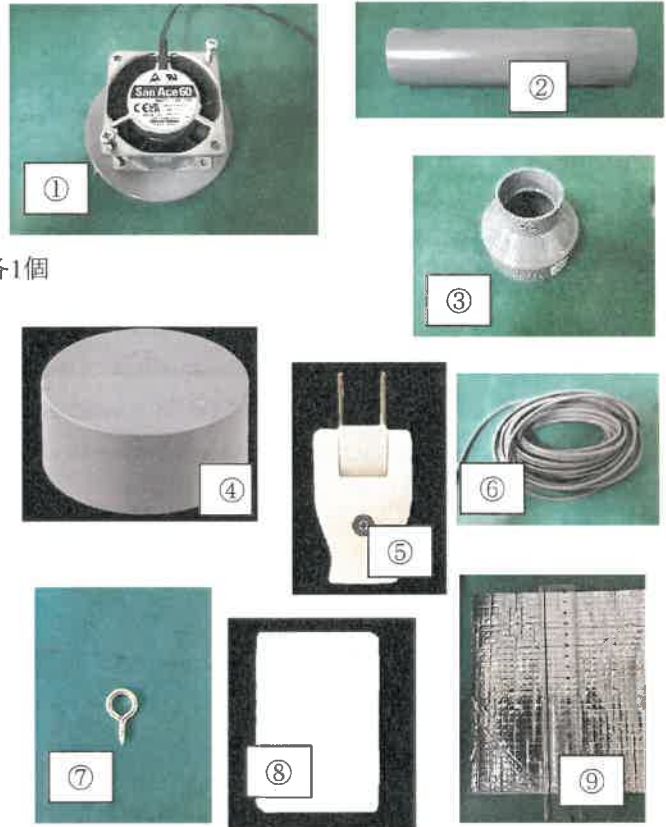
Based on these results, KM-01 is considered a practical force-ventilated radiation shield for agricultural use, offering substantial reduction in material costs and weight.

【強制通風筒KM-01の組み立て方】

A：部品と工具の用意

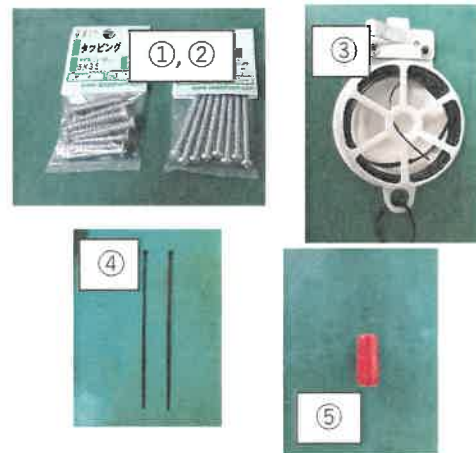
本体部品

- ①ACファン(San Ace60 109-130) 1個
- ②塩ビ管(VU40 長さ195mm, VU50 長さ50mm,
VU75 長さ85mm) 各1本
- ③硬質塩ビ管用継手
(VU管用インクリーザ 100×50と75×40) 各1個
- ④ VUキャップ(VU75とVU50) 各1個
- ⑤差込プラグ 1個
- ⑥ビニールコード(10m) 1本
(長さは設置する場所に合わせる)
- ⑦ヒートン 1個
- ⑧プラスチック板
(47mm×22mm 厚さ1mm) 1枚
- ⑨遮熱シート 1枚
(長さは作成する筒の長さに合わせる)



接続部品

- ①ねじ(なべ 4mm×50mm) 2本
- ②ねじ(なべもしくは平 5mm×35mm) 3本
- ③ビニールタイ(50mm) 2本
- ④結束バンド(300mm) 2本
- ⑤接続端子



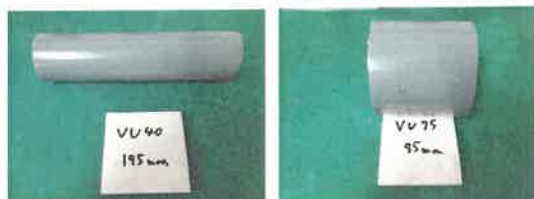
工具

- ①自在錐
- ②ボール盤
- ③丸棒やすり
- ④カッターナイフ
- ⑤糸のこぎり
- ⑥プラスドライバー(2番)
- ⑦ハンマー
- ⑧電動ドリル
- ⑨電工ペンチ

図6 強制通風筒KM-01の組み立て方(1/4)

B-1：部品の加工と接続

1. 塩ビ管を②に示した長さに切断する。



2. VUキャップ75の中心に自在錐で直径55mmの穴をあける。中心は紙で写し取った後、マジックで中心に点を取る。穴開けは、ボール盤や電動ドリルで行う。



3. ACファンを固定する。ねじで固定する位置をマジックで記入する。2で作成した部材にΦ2.7の下穴を電動ドリルで2か所開け、ACファンをねじ(なべ 4mm×50mm)2本をプラスドライバー(2番)を用いて固定する。

(注意)ACファンと塩ビの間に隙間がないようにする。隙間があると風量が少なくなり、適正な測定ができなくなる。



4. 3で作成したものに塩ビ管(長さVU75), VU管用インクリーザ(75×40)を接続する。ハンマーで叩いて隙間のないようにする。



5. ACファン、ビニールコード、差込プラグを取り付ける。ACファンとの接続には、接続端子を使う。

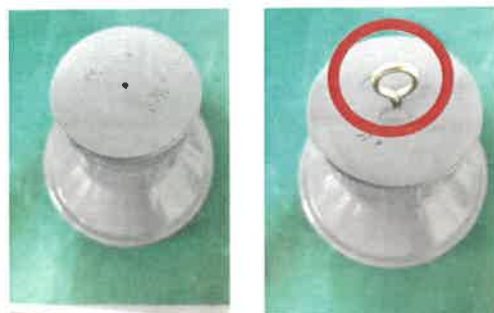
(注意)ACファンの接続は、電工ペンチを使用し行うこと。



6. VUキャップ50とVU管用インクリーザ(100×50)をVU50(長さ50mm)パイプで固定する。



7. VUキャップ50の中心にヒートンを固定するための下穴をホール盤や電動ドリルで開け、取り付ける。



8. VU管用インクリーザ(100×50)の側面に電動ドリルで3か所均等に穴を開ける。

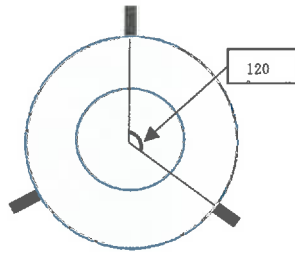


図7 強制通風筒KM-01の組み立て方(2/4)

②各工程で発生するバリは、丸棒やすりやカッターナイフを用いて取り除く

B-2：部品の加工と接続

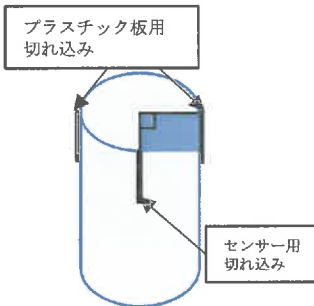
9. 5と8をねじ(なべもしくは平 5mm×35mm)3本で固定する。



10. 後述12, 13でセンサーを取り付けたプラスチック板を固定するための切り込みを入れる。塩ビ管(VU40 長さ195mm)に長さ20mmの切り込みを塩ビ管の端面から垂直に長手方向へ糸のこぎりで2か所入れる。切れ込みを入れる位置は塩ビ管切れ込み見当用型紙(図9)を使い、プラスチック板の厚さに合わせて決める。



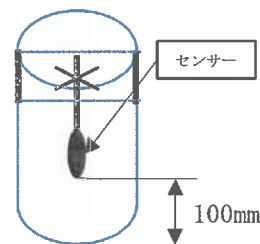
11. センサー線を通すための切り込みを入れる。10の塩ビ管に長さ20mmの切り込みを塩ビ管の端面から垂直に長手方向へ糸のこぎりで1か所入れる。



12. センサーを固定するための穴をプラスチック板の中心から均等になるように4か所開ける。



13. センサーを収納する筒の下端から100mmの位置にセンサーの感温部位を固定する。なお、センサーはプラスチック板を用いて筒の中心に位置するようビニールタイ(50mm)2本で固定する。



14. 7と10を接続する。100V電源に接続して、ACファンが回転することを確認する。



15. 筒を覆うように断熱資材を10mmの厚さに巻く。

(注意) 予めテープ等で固定した後、巻き付けると良い。



16. 落下防止のため、結束バンド(300mm)2本で固定する。



図8 強制通風筒KM-01の組み立て方(3/4)

各工程で発生するバリは、丸棒やすりやカッターナイフを用いて取り除く

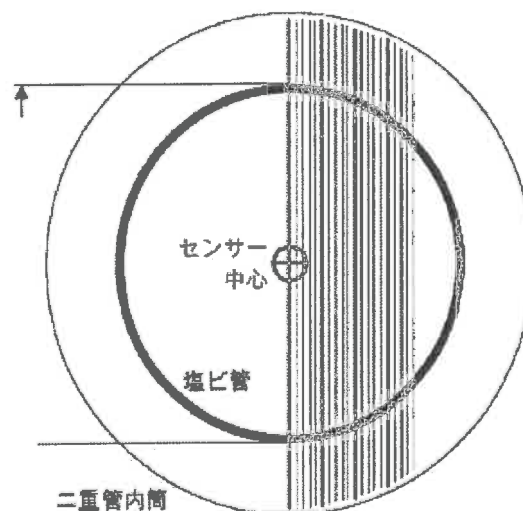
B-3：部品の加工と接続

17. 観測を行う場所に設置したのち、100V電源に接続する。通電直後は、温度が不安定な場合があるため、しばらくしてから観測を開始する。



センサー中心合わせ塩ビ管切れ込み見当用型紙

センサーを中心にするために、切り込みを入れる場所を中心からずらす偏移幅を決める。
(福岡ら(2012)を一部改変)



使用上の注意

ACファンの電源には交流100Vを使用するため、漏電による感電や発火等の予防策として、漏電遮断器を備えた電源を使用しなければならない。

本報を参照してKM-01を製作・利用するにあたっては、それにより当事者や第三者に生じた損害について、著者らは責任を負わないことを予めご理解頂きたい。

図9 強制通風筒KM-01の組み立て方(4/4)

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

大畑和也¹⁾²⁾

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

Kazuya Ohata¹⁾²⁾

1)鳥取大学大学院連合農学研究科

2)島根県農業技術センター

目次

I 緒論・・・・・・・・・・・・・・・・・・45	第3章 プルーン果実の貯蔵特性と日持ち性向上・・・・・・・・・・75
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・・・・・・・・・・49	第1節 低温貯蔵における日持ち性の品種比較
第1節 生育および樹体特性の品種比較	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2節 果実品質および果実成熟特性の品種比較	第3節 1-MCP による果実の日持ち性向上
第3節 果実における抗酸化能の比較	考察
考察	要約
要約	II 総合考察・・・・・・・・・・85
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・・・・・・・・・・65	III 総合摘要・・・・・・・・・・87
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	引用文献・・・・・・・・・・88
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	謝辞・・・・・・・・・・96
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	学会誌公表論文リスト・・・・・・・・・・96
考察	Summary・・・・・・・・・・97
要約	

大畑：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

I 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)。プルーンの原因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(図1)、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栽培面積は約6万ヘクタール、生産量は約25万トンである(図2; International Prune Association: IPA, 2015)。主産地はアメリカ合

衆国などである。近年は、生食用プルーンの需要が高まり(Crisostoら, 1995)、生食向き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導入は明治初期であり(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(図3: 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(図4, 図5: 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,

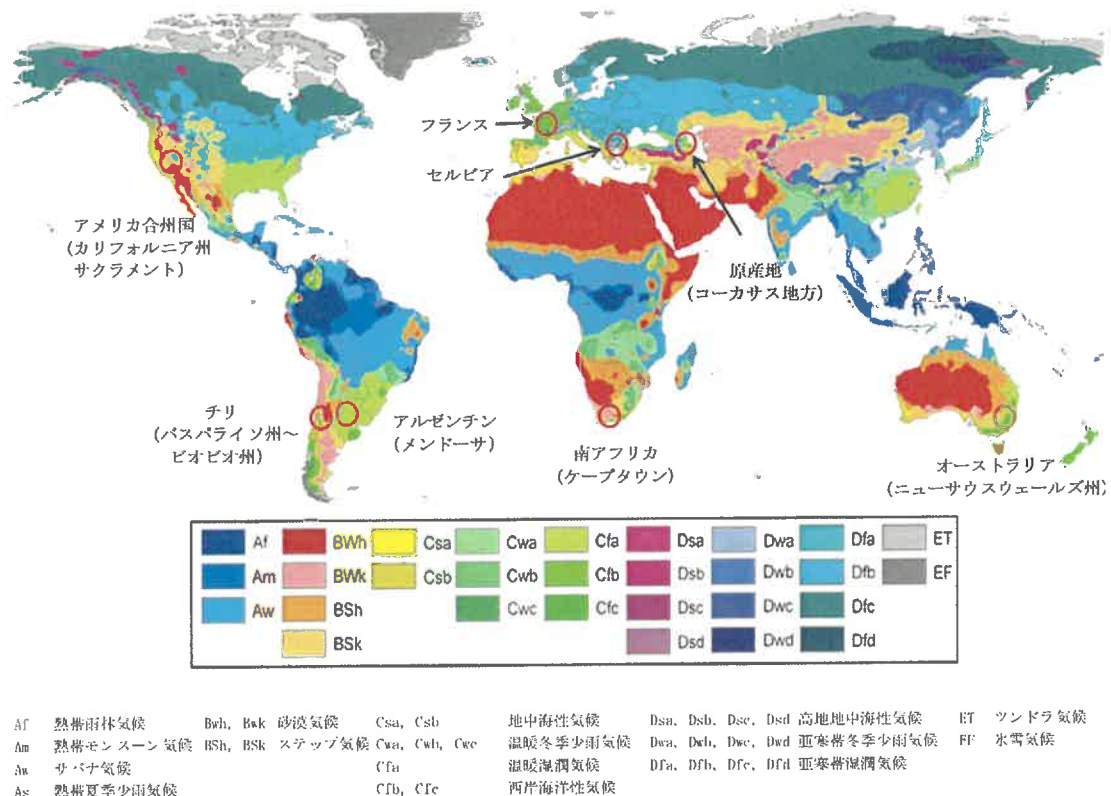


図1 プルーンの原因地および主産地(乾果)とケッペンの気候区分(Peelら, 2007)

島根県農業技術センター研究報告第 52 号(2025)

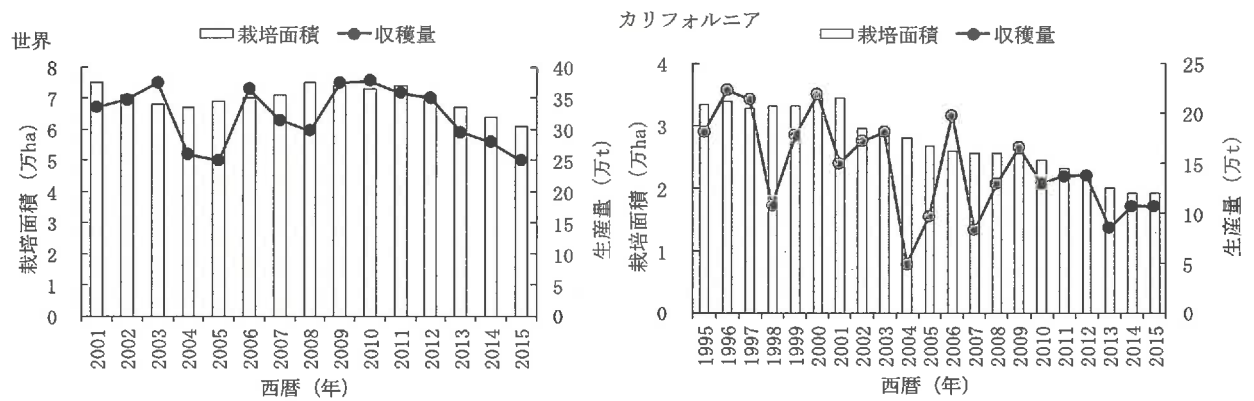


図2 世界およびカリフォルニアにおけるブルーネ栽培面積と収穫量の推移 (International Prune Association (IPA), 2015 ; California Department of Food and Agriculture (CDFA), 2016)

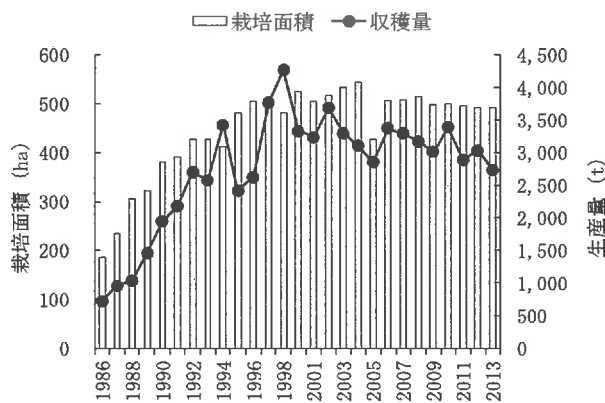


図3 日本におけるプルーン栽培面積と収穫量の推移（農林水産省，2013）

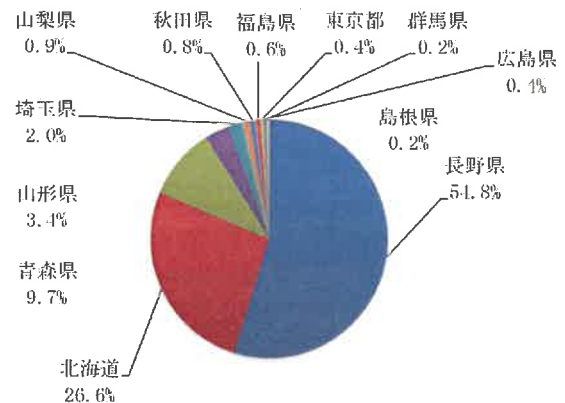


図4 都道府県別のブルーベリー栽培面積割合（農林水産省，2013）

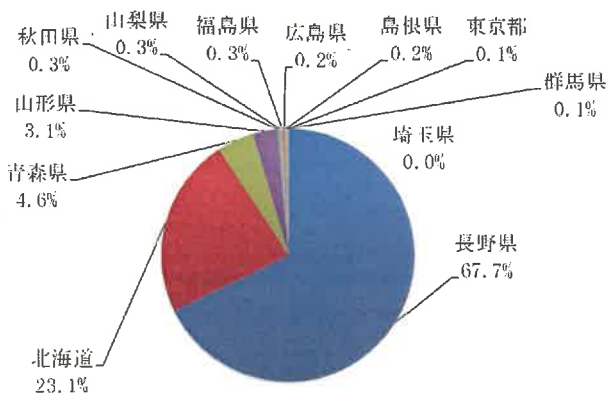


図5 都道府県別のプルーン収穫量割合
(農林水産省, 2013)

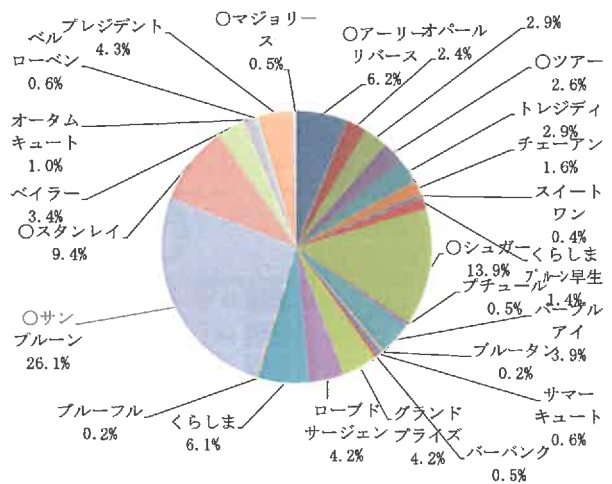


図6 日本におけるプルーン栽培品種別栽培面積割合（農林水産省，2013）
○は自家和合性品種

大畑：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

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; Božekova, 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 (図 6: 農林水産省, 2013). また、主要品種の育成地および来歴等は表 1 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、従来の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・Golias (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润気候地域でのプルーン栽培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

表 1 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	国名	育成地等		来歴	
		機関名	育成者名	公表年	交配等
プチュール	不明				
パープルアイ	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 ¹ 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)	ウエルントン	1926	‘エージェン’ × ‘グラントデューク’
ベイラー	カナダ	オンタリオ州立園芸研究所バイランラング試験場	テラニ	1967	‘インペリアルエビネウス’ × ‘グラントデューク’
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ー ヱッジワース)	リバース	1901	不明
マジョリース・シードリン	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ー ヱッジワース)	リバース	1834	‘プレコウスドツール’ の交雑実生
オパール	スウェーデン	アンアルナルナール園芸試験場			‘オーリンズゲージ’ × ‘アーリーフェボリット’
サンタス	ベルギー		スワーツ	1966	‘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ー ヱッジワース)	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 ‘デューエインブルー’ の混植園の偶発実生
チェーアン	不明				
スイトワシ	不明				
くらしま早生	日本		倉島貞子		‘ローブドサージェン’ × ‘プレジデント’
シュガー	アメリカ		バーバング	1889	‘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	‘ベイラー’ × ‘シュガー’
バーバング	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	シェバード	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	‘ベイラー’ × ‘プレジデント’
ベルローベン	ベルギー			1800年代	

¹ 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, ベイラー, 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了品種

大畑：東アジアの温帯モンスーン気候におけるブルーベリー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

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, ブルーベリー主要品種の成熟型を明らかにした. さらに, ブルーベリー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; Slimstad 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.

1 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’, ‘マジヨリース’; 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 6m, 高さ 4m のアーチ型連棟ハウス (10a) であり, 各品種 2~14 樹を列間 6m, 株間 3m 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 ‘マジヨリース’ は自然交配とした. なお, 各品種における交雑和合性は表 1-1 のとおりであった. 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 10a あたり N:16, P₂O₅:10, K₂O:11.6, CaO:18.3, MgO:5kg であった. 栽培管理は島根県におけるブルー栽培の慣行管理 (島根県・JA 全農島根県本部, 2001) に従って行った (図 1-1).

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, 亜主枝先端部 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.

3) 結果

(1) ブルーン主産地の気候

世界のブルー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 (表 1-2). また, 年間降水量は 712mm 以下, 生育期の降水量は 482mm 以下であり, 特に地中海性気候の地域ではブルー収穫期における降水量は少なかった (図 1-2). さらに, 成熟期における昼夜温の差は 10~20℃と大きい. 一方, 日本におけるブルー主産地である長野県佐久市の年間降水量は 961mm であり, 世界の産地と比較して多いのが特徴である. 長野県に続いてブルー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 1,183mm および 1,353mm 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 1,685mm 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 418mm であり, 佐久市, 弘前市および余市町と同程度であるが, 世界のブルー産地と比較して多かった (図 1-2). 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 (図 1-3). 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. そして国内のブルー産地である佐久市, 弘前市および余市町では最低気温が低く, 特にブルーの成熟期である 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 1m・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 m・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図 1-4 に示した. 島根県におけるブルーの開花期は 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

大畑：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

表1-1 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	オ パ ー ル	サ ン タ ス	シ ユ ガ ー	ト レ ジ デ イ	フ レ ン チ	サ ー ジ エ ン	ロ ー プ ド
プチュール	× ²	—	—	—	—	○	○	—	○	○	○	—	—	—	—	—	○
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	—	—	—	—	○	—	—	○	—	—	—	○	—	—	—	—	—

² 結実率は×:5%未満，△:5～30%，○:30～50%，◎:50%以上，—:データなし

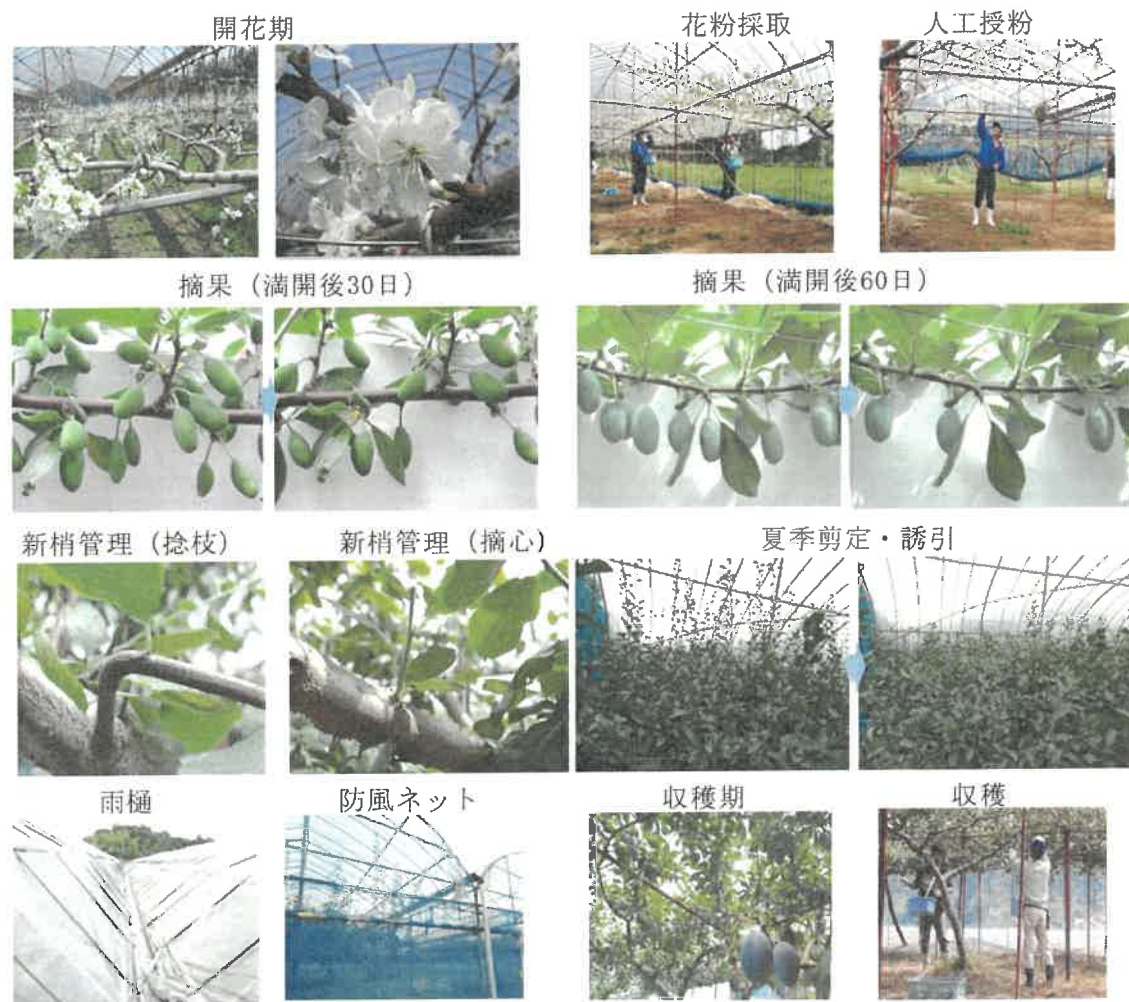


図1-1 プルーン栽培管理の状況

島根県農業技術センター研究報告第 52 号(2025)

表1-2 世界と日本のブルーベリー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) (Csa: 地中海性気候)	チリ (サンチアゴ) (Csb: 地中海性気候)	フランス (アジャン) (Cfb: 西岸海洋性気候)	セルビア (ベオグラード) (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)

項目	時期	日本			
		(出雲市) (Cfa: 温暖湿潤気候)	(佐久市) (Dfa: 亜寒帯湿潤気候)	(弘前市) (Dfa: 亜寒帯湿潤気候)	(余市町) (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

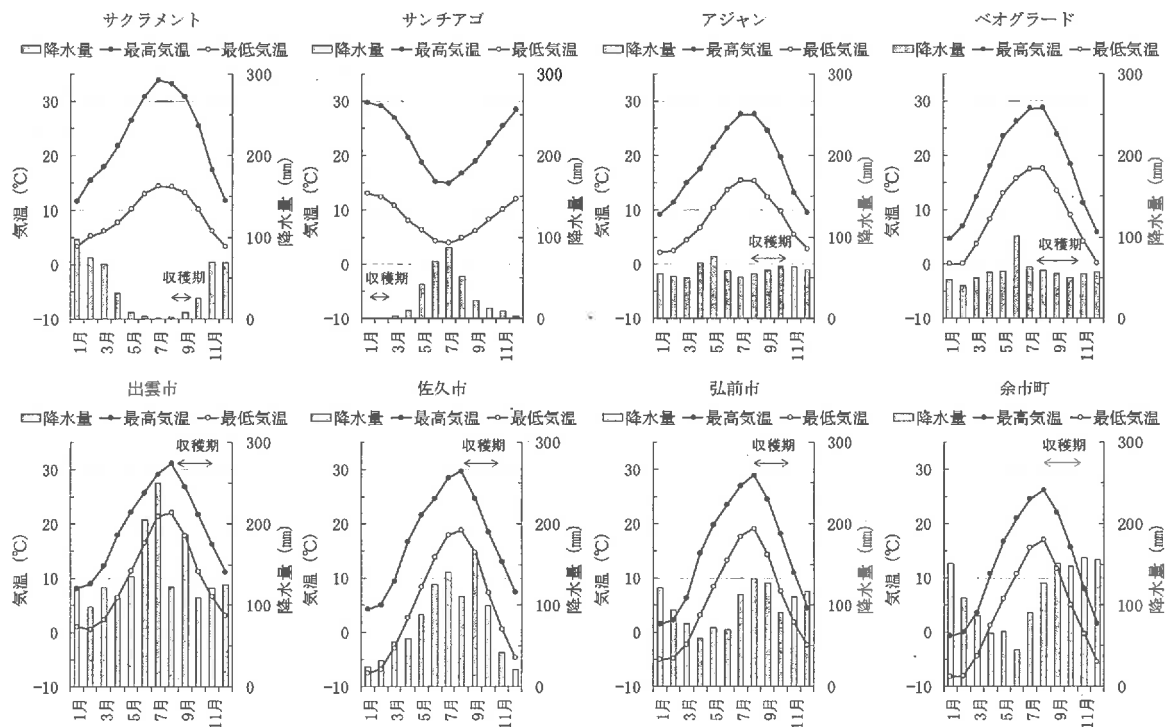


図1-2 世界と日本のブルーベリー栽培地域における月別最高気温、最低気温および降水量の変化²

² 1981年から2010年までの平年値

大畑：東アジアの温帯モンスーン気候におけるブルー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

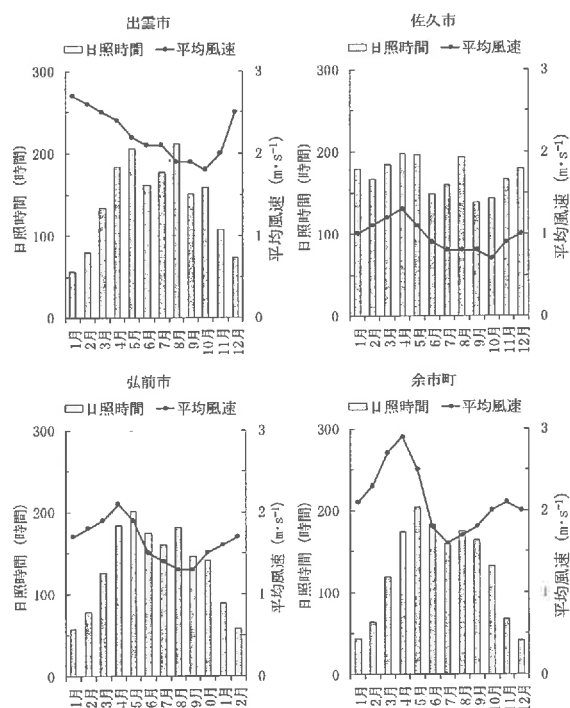


図1-3 出雲市と日本のブルー栽培地域における月別日照時間および平均風速の変化^{*}

^{*} 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

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、 $1,000\text{kg}\cdot 10\text{a}^{-1}$ 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、 $1,800\text{kg}\cdot 10\text{a}^{-1}$ 以上と収量性が高かった(表1-3)。^{*} ‘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表1-4および図1-5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2節 果実品質および果実成熟特性の品種比較

ブルー栽培では、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。

1 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2cm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

島根県農業技術センター研究報告第 52 号(2025)

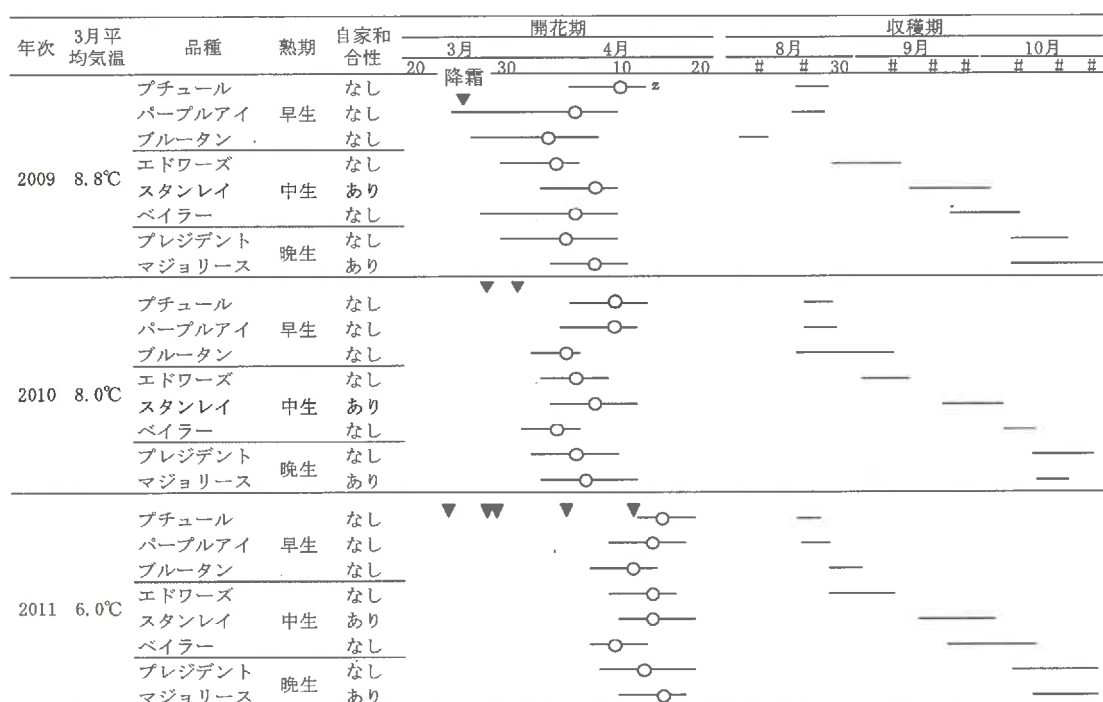


図1-4 島根県におけるブルーベリーの開花期と収穫期

横線は開花期間または収穫期間を示し、○は満開期を示す

表1-3 ブルーベリーにおける収穫量の比較

品種	収穫量 ² (kg・10a ⁻¹)		
	2009年 ¹	2010年	2011年
ブルーベリー	337.6 b [*]	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

² 雨よけ平棚栽培における樹冠占有面積あたりの収穫量

¹ ブルーベリー、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

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

表1-4 ブルーベリー各品種の樹体特性

品種	樹勢	枝の発生密度 ²	短果枝の着生 ¹	花芽	
				着生 ¹	着生部位
ブルーベリー	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

² 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

¹ 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

¹ 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

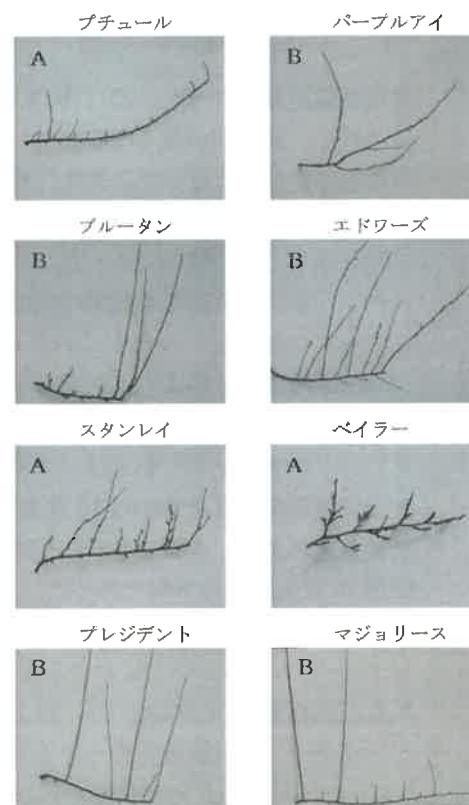


図1-5 ブルーベリーにおける短果枝着生の特徴

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

大畑：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

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0.1N 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 $Y = 3.305X + 2.366$ （ $R^2 = 0.790$ ，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。

2 結果

1) 果実品質

表1-5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100gの大果となり‘プチュール’と‘スタンレイ’は約55g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0.70kg以上と高く、‘プチュール’では0.56kgと低かった。果肉硬度は、‘スタンレイ’で0.53kgと最も高く、‘プレジデント’、‘ブルータン’、‘マジョリース’が続く。‘パープルアイ’では0.34kg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図1-6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色などが見られた。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図1-7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

表1-5 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 _z	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
ベイラー	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

^x 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

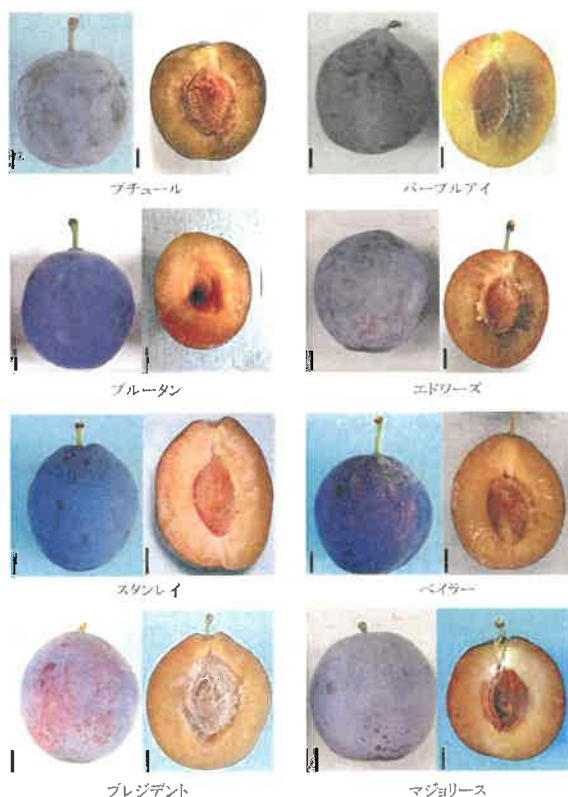


図1-6 島根県において栽培したプルーン
果実の外観および縦断面の様子

^z 縦バーは1cmを示す

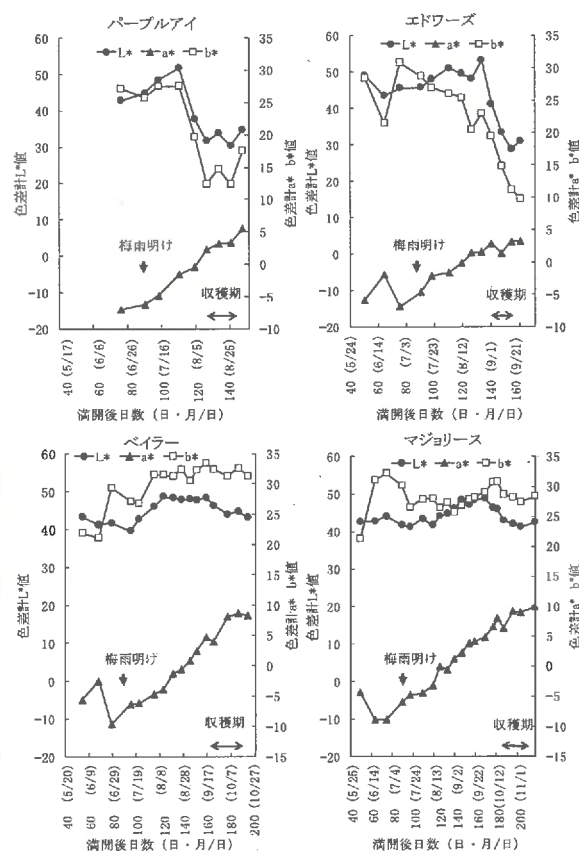


図1-7 プルーン各品種における果肉色
色差計値の時期別変化 (2011年)

大畑：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

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図 1-8 に示した。いずれの品種においても L^* 値は収穫前まで 1~2 ではぼ一定であったが、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 の推移を図 1-9 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図 1-10 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 3 節 果実における抗酸化能の比較

プ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、プルーンの抗酸化能を評価した。

1 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, pH 7.4) 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 μL 、Fluorescein working solution 115 μL 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

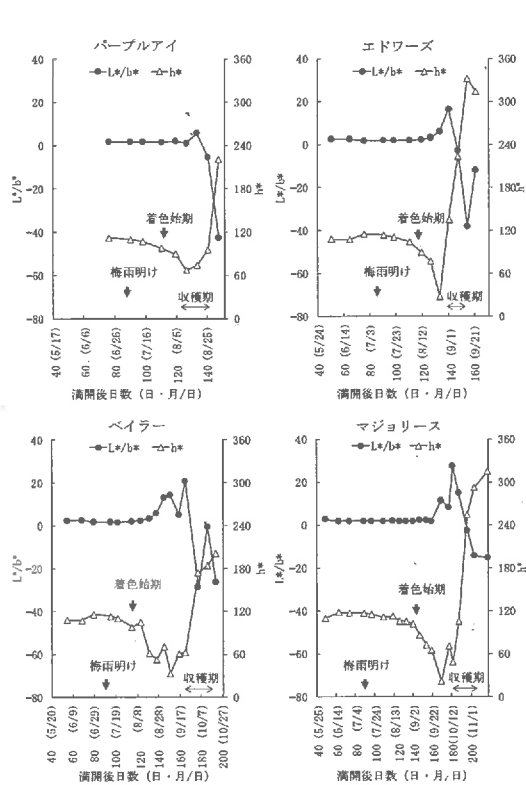


図1-8 プルーン各品種における果皮色
色差計値の時期別変化 (2011年)

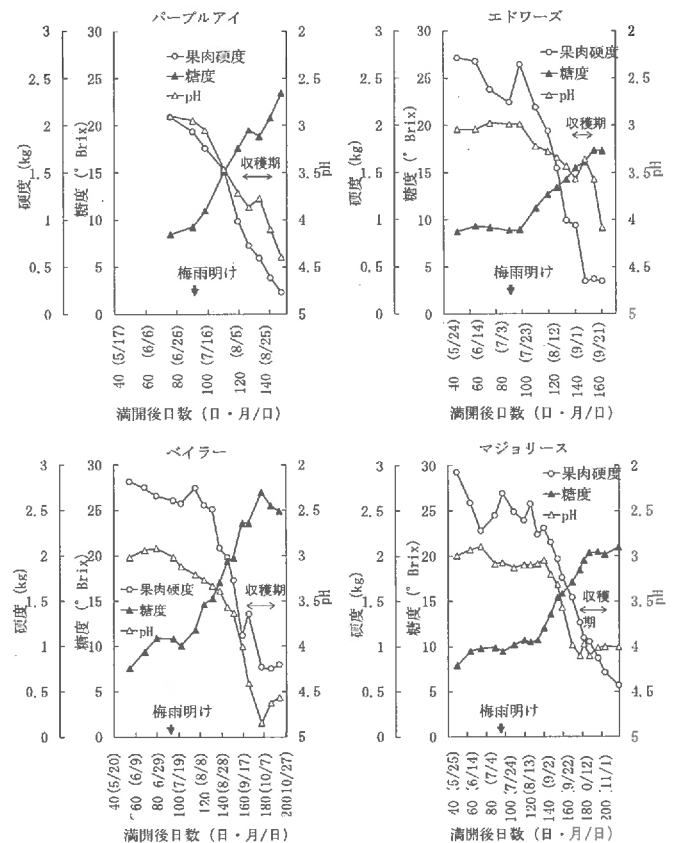


図1-9 プルーン各品種における果肉硬度、
糖度および酸度の時期別変化 (2011年)

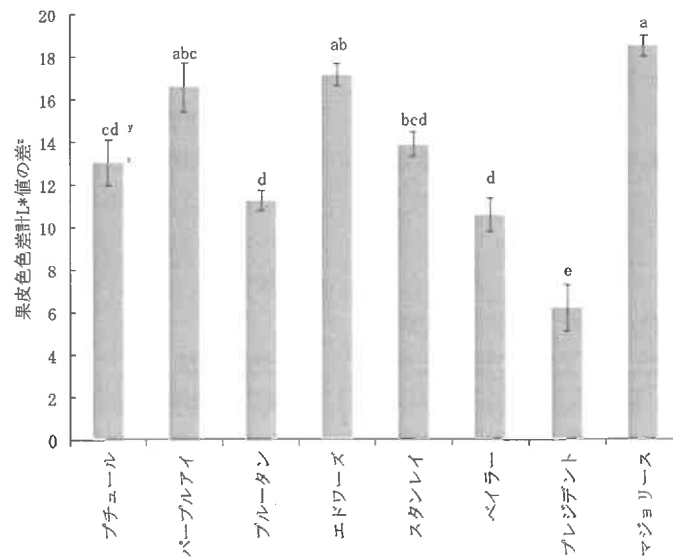


図1-10 プルーン成熟果実における果粉除去
前後の果皮色色差計L*値の差 (2011年)

^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)

大畑：東アジアの温帯モンスーン気候におけるブルーネ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

強度（励起波長 485nm, 検出波長 530nm）を測定した。AAPH 溶液（2,2'-Azobis（2-amidinopropane）Dihydrochloride）（31.7mM, 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、100g 新鮮重あたりの ORAC 値（ μ mol TE/100g FW）とした。

2 結果

1) ブルーネにおける部位別 ORAC 値

ブルーネの果肉および全果における ORAC 値を図 1-11 に示した。果肉の ORAC 値は「スタンレイ」において最も高く 3,857 μ mol TE/100gFW であり、「ブルータン」、「エドワーズ」、「ペイラー」、「プレジデント」および「マジョリース」では 3,000 μ mol TE/100gFW 以上であった。ORAC 値が最も低いのは「プチュール」であり、2,101 μ mol TE/100gFW であった。

全果の ORAC 値は「マジョリース」において最も高く 9,496 μ mol TE/100 gFW であり、「ブルータン」、「エドワーズ」、「ペイラー」、「プレジデント」および「マジョリース」では 6,000 μ mol TE/100gFW 以上であった。ORAC 値が最も低いのは「プチュール」であり、3,577 μ mol TE/100gFW 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 値の関係を図 1-12 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。

考察

1 開花期の気象と結実の関係

世界最大のブルーネ産地であるカリフォルニア州におけるブルーネの開花期は 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ブルーネの開花期は 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、出雲市におけるブルーネの開花期は 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 年間に於いて、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（図 1-2）。また、日本の主産地である長野県佐久市におけるブルーネの開花期は 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、現在のブルーネ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（図 1-1）。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

ブルーネ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、授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表 1-1 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）。ブルーネ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

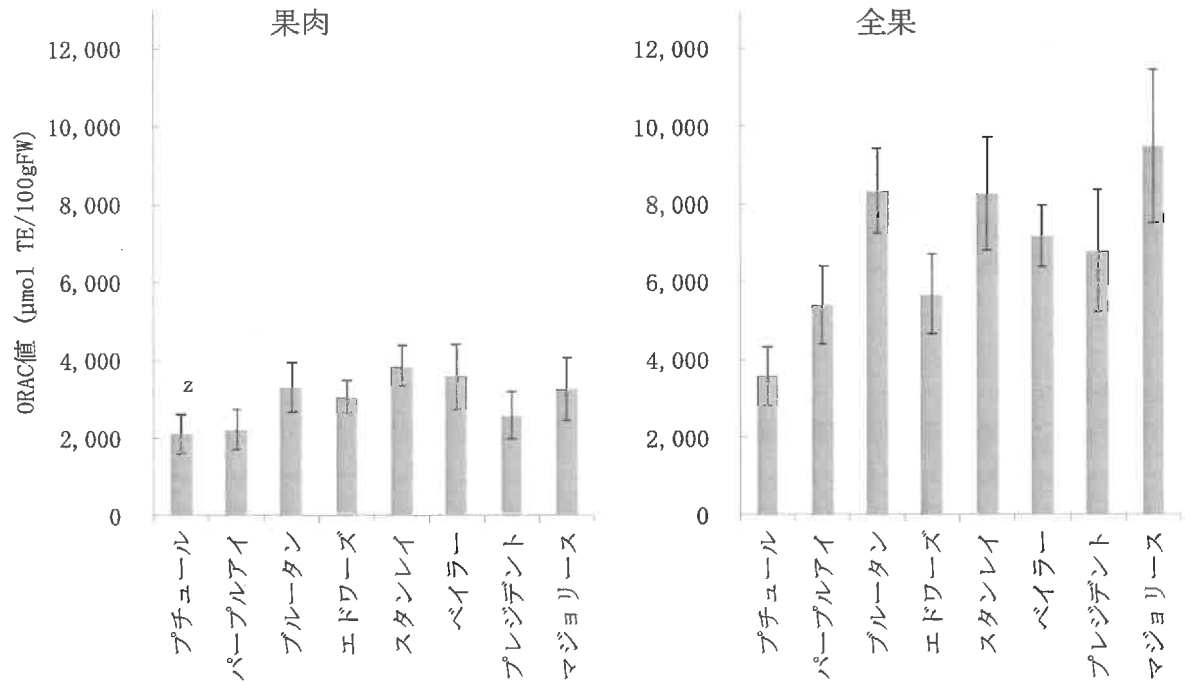


図1-11 プルーン果実の部位別H-ORAC値 (2012年)

^z 縦棒は標準誤差を示す (n=5)

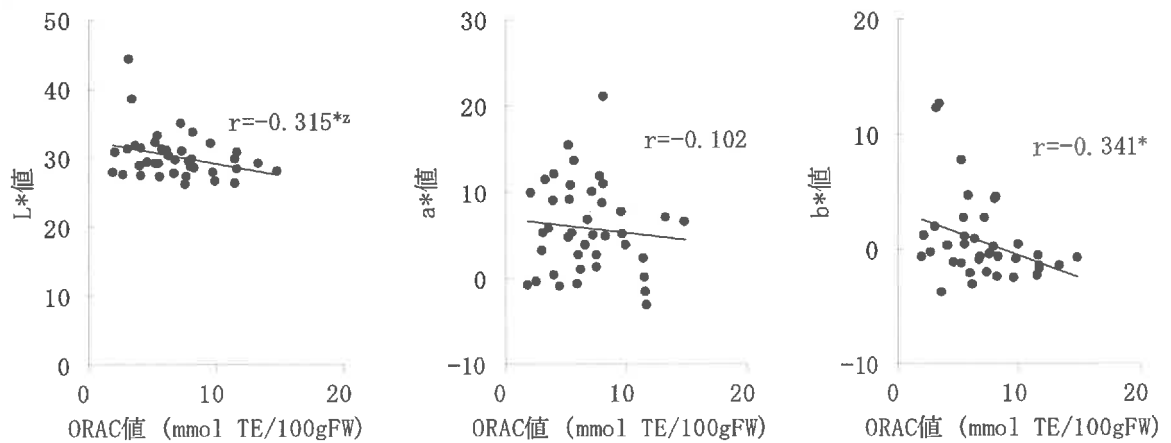


図1-12 プルーン果実の果皮色色差計値とH-ORAC値の関係 (2012年)

^z *は5%水準で相関関係あり (n=40)

大畑：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

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、交雑不和合性とともに関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と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(図1-4)。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)、自家不和合性であるが、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域に適した品種

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(表1-4, 図1-5)。「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159~775kg・10a⁻¹、中生の「エドワーズ」において469~1,181kg・10a⁻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、1,092~1,979kg・10a⁻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1,000kg・10a⁻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1,440kg・10a⁻¹および1,680kg・10a⁻¹であり早生および中生品種の収量(580~1,380kg・10a⁻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2,900kg・10a⁻¹および1,700kg・10a⁻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1,200~1,800kg・10a⁻¹および1,100kg・10a⁻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1,333~5,300kg・10a⁻¹であり(Rakičevićら, 2008)、スピンドルブッシュ仕立てでは1,300~2,100kg・10a⁻¹であり、早生の「オパール」の収量(400~1,700kg・10a⁻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3,000~3,750kg・10a⁻¹であり(Norton・Kruger, 2007)、産地全体のプルーン乾果の収量は500kg/10aであることから(California Department of Food and Agriculture (CDFA), 2016)、生果に換算すると1,400~1,750kg・10a⁻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 $4,600\text{kg}\cdot 10\text{a}^{-1}$ 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ブルーンの収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ブ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 (図 1-2) 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 (図 1-13)。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°C 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°C を超える日が増加する (図 1-9)。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 (図 1-9)。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 (図 1-7)。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 (図 1-8), 硬度と酸度が高く, 糖度が十分に上昇しておらず (図 1-9), 食味が劣っていることから, 生食用として収穫することはできないと考えられた。

ブ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

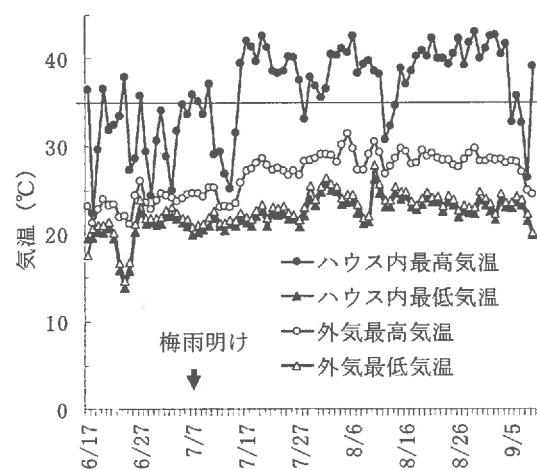


図1-13 ブルーン施設内温度および外気温の変化 (2010)

大畑：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

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 (図1-2)。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, 南アフ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3,577~9,496 μ mol TE/100gFWとなり、品種によるバラツキが大きくなった (図1-11)。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 (図1-12)、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 (図1-11)、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1,000 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。

大畑：東アジアの温帯モンスーン気候におけるブルーベリー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

第2章 ブルーベリー果実の成熟に伴う呼吸量とエチレン生成量の比較

ブルーベリーを生産、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。これまでブルーベリー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; Kožická・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、本章ではブルーベリー主要品種の成熟型を明らかにするため、第1章と同じブルーベリー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

本節ではブルーベリー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。

1 材料および方法

1) 供試品種

第1章と同じ8品種を各2～3樹用い、調査は2012～2013年に行った。

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、‘ブチュール’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 (図2-1 A)。



図2-1 樹上のブルーベリー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)

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(‘プチュール’: 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(図 2-1 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 (4.9m×5.5m×2.5m) 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 0.5mL 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 1mL 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。

2 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図 2-2 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ベリー果実内部エチレン濃度の時期別変化を図 2-3 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 0.2ppm 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 0.2ppm 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 0.2ppm 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ベリー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図 2-4 および図 2-5 に示した。

a 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、

大畑：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

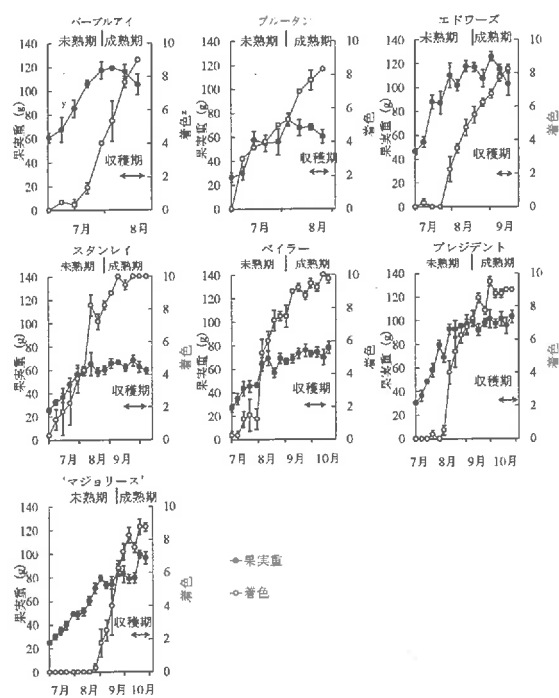


図2-2 プルーンにおける成熟に伴う果実重
および着色の変化 (2012年)

※ 着色は0: 緑色~10: 完全着色で判定した

※ 縦バーは標準誤差を示す (n=3~4)

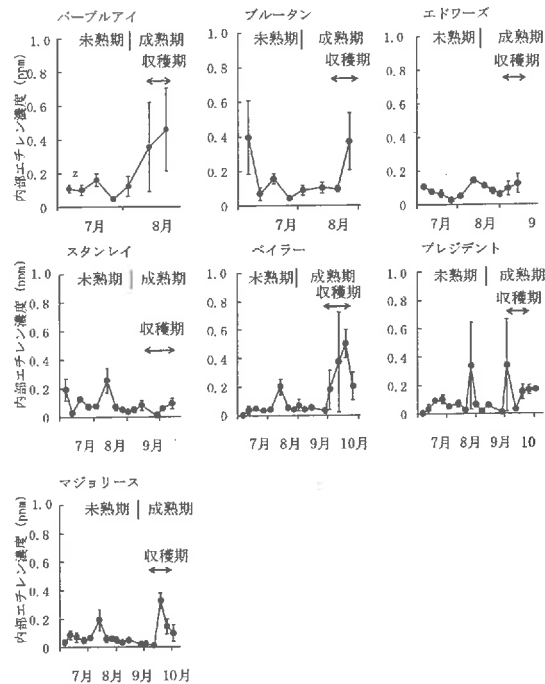


図2-3 プルーン果実における内部エチレン濃度
の変化 (2012年)

※ 縦バーは標準誤差を示す (n=3~4)

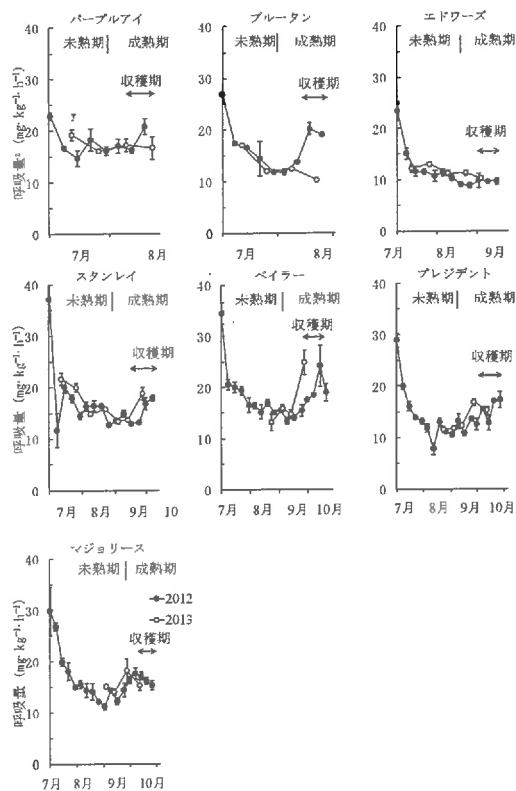


図2-4 プルーン果実における樹上の推定される
呼吸量の推移 (2012, 2013年)

※ 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

※ 縦バーは標準誤差を示す (n=3~4)

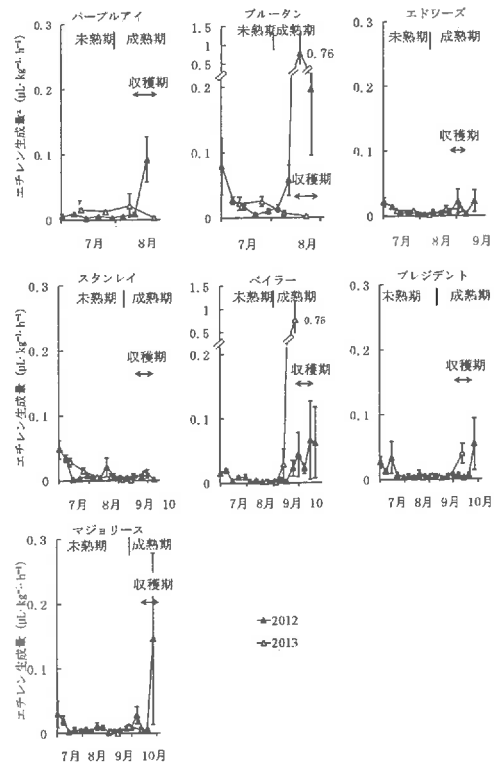


図2-5 プルーン果実における樹上の推定される
エチレン生成量の推移 (2012, 2013年)

※ 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

※ 縦バーは標準誤差を示す (n=3~4)

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増加した。‘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。

b 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

プ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 $1.8\sim 1.9\mu\text{L}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ 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。

1 材料および方法

1) 供試品種

供試品種は第1節と同じであった。

2) 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°C 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。

2 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°C 貯蔵中の呼吸量およびエチレン生成量の変化を調査し、それぞれ図2-6および図2-7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増加した。‘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

大畑：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

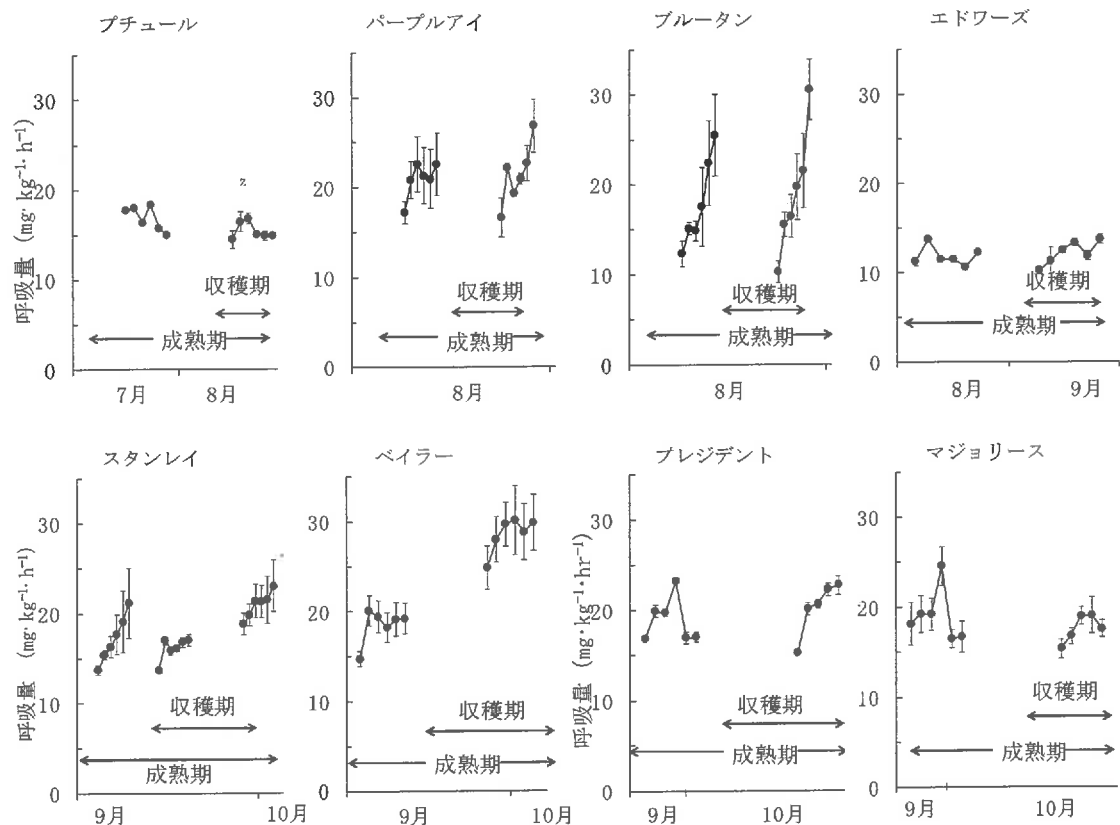


図2-6 成熟期のプルーン果実における採取後貯蔵中 (20℃) の呼吸量の推移 (2013年)

^z 縦バーは標準誤差を示す (n=3~5)

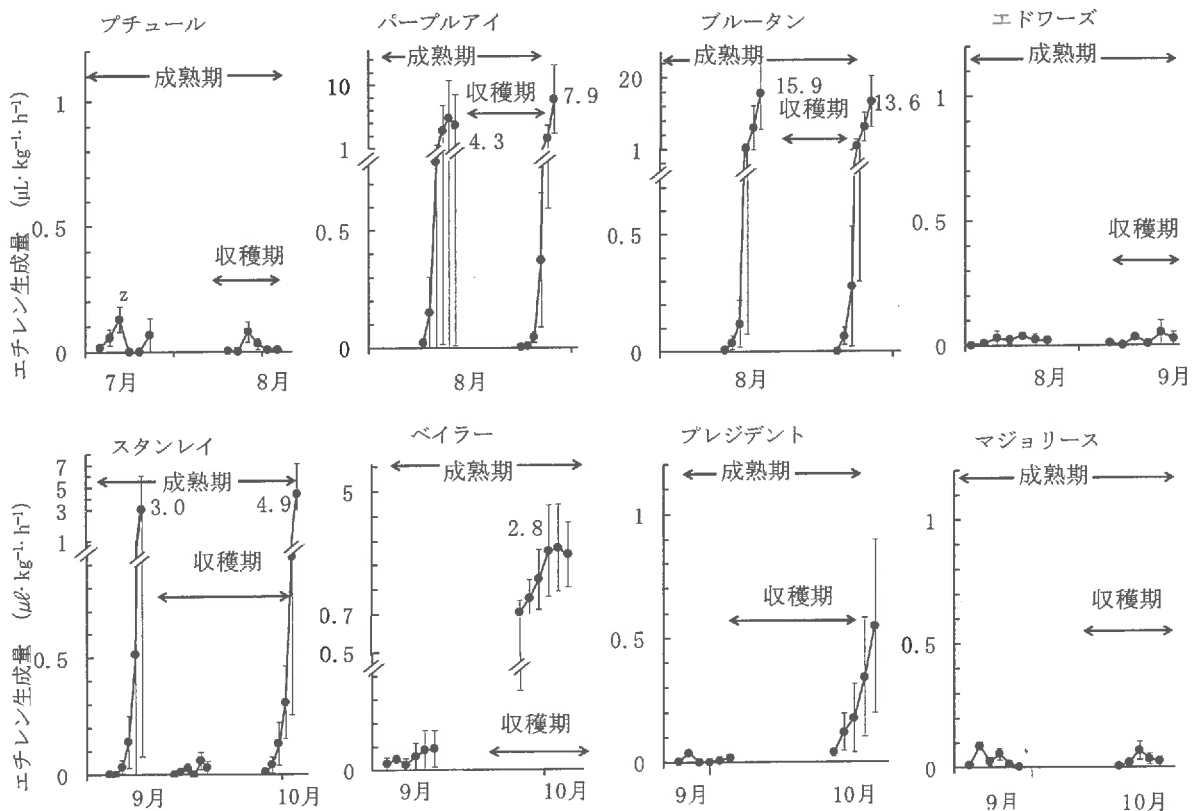


図2-7 成熟期のプルーン果実における採取後貯蔵中 (20℃) のエチレン生成量の推移 (2013年)

^z 縦バーは標準誤差を示す (n=3~5)

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°C 貯蔵中の呼吸量およびエチレン生成量の変化を図 2-8 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)。

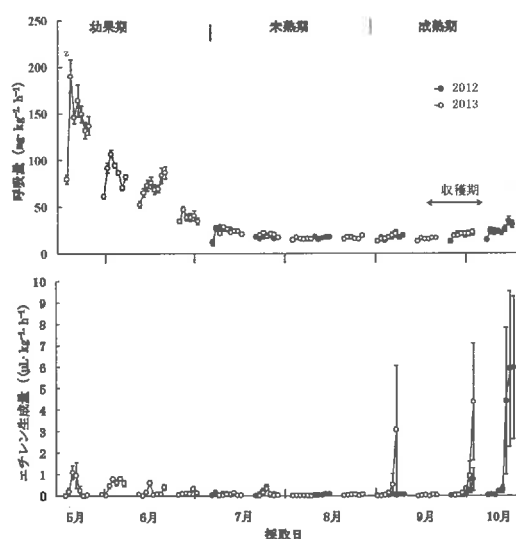


図 2-8 プルーン‘スタンレイ’における採取後貯蔵中 (20°C) の呼吸量およびエチレン生成量の時期別変化 (2012, 2013 年)

縦バーは標準誤差を示す ($n=3\sim5$)

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。

1 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°C の恒温室に入れてしばらく静置し、450mL のポ (採取後 8 日) まで、 20°C 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。

2 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°C 貯蔵中の呼吸量およびエチレン生成量の変化を図 2-9 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。

大畑：東アジアの温帯モンスーン気候におけるブルーベリー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

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(図2-10)。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。

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(図2-2)。

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),

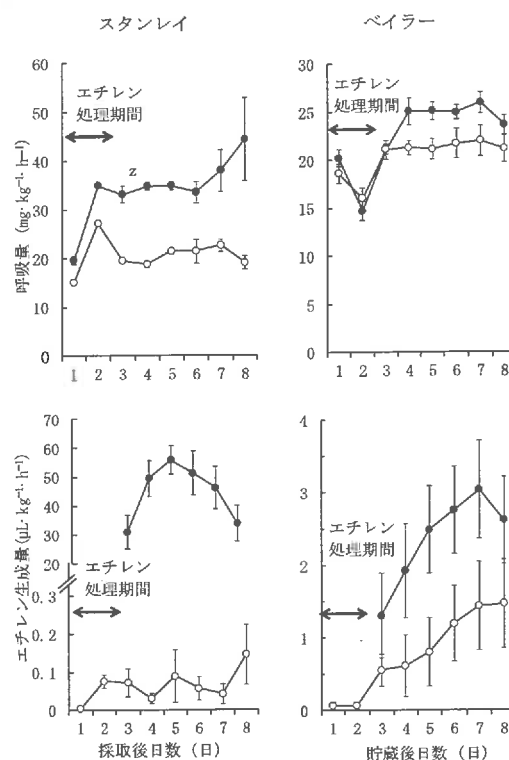


図2-9 エチレン処理を行ったブルーベリー成熟果¹⁾における呼吸量およびエチレン生成量の変化(2014年)

¹⁾ 縦棒は標準誤差を示す(n=3~5)

²⁾ ‘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

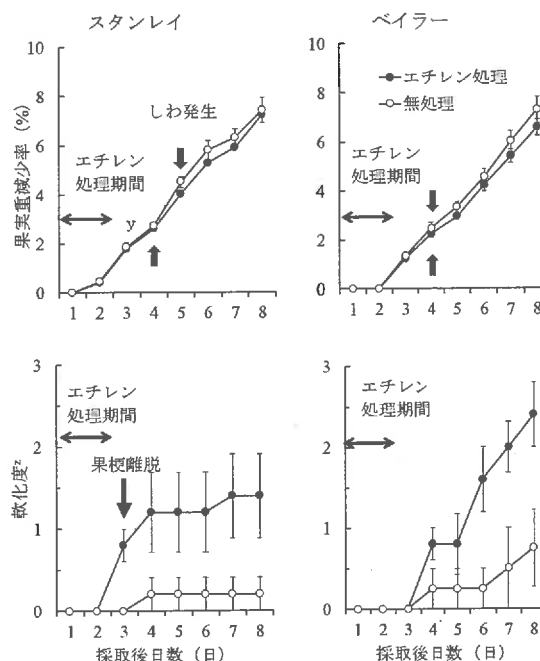


図2-10 エチレン処理を行ったブルーベリー成熟果¹⁾における果実重減少率および軟化程度の変化(2014年)

¹⁾ 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

²⁾ 縦棒は標準誤差を示す(n=3~5)

³⁾ 果実の収穫日およびエチレン処理は図2-9と同じ

リンゴ(加藤ら, 1977; 北村ら, 1980; 中島・田村, 1970), ナシ(北村ら; 1981), ニホンズモモ(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(図2-4)。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), ニホンズモモ(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0.2ppm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(図2-3)。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(図2-5)。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(図2-8)。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‘ペイラー’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

大畑：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

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, ‘ペイラー’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), ‘ペイラー’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

x 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表2-1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‘ペイラー’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‘マジヨリース’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表2-2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‘マジヨリース’, $1\sim5\mu\text{L}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$: ‘スタンレイ’

表2-1 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 ²							推定される成熟型
	1			2		3		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	
プチュール	— ¹	—	—	△	△	—	—	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
ペイラー	○	○	○	○	○	○	○	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
マジヨリース	○	○	○	○	○	—	—	クライマクテリック型

² 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

○: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

表2-2 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 ² ($\mu\text{L}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$)	品種名
>10	ブルータン
5~10	パープルアイ
1~5	スタンレイ, ペイラー
<1	プチュール, エドワーズ プレジデント, マジヨリース

² 20℃における貯蔵中の最大値

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の関係については, 次章で検討する。

実を用いて 500ppm のエチレングスで 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。

要約

プルーン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°C 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°C 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

大畑：東アジアの温帯モンスーン気候におけるブルーベリー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

第3章 ブルーベリー果実の貯蔵特性と日持ち性向上

第1章においてブルーベリー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、生食用ブルーベリーの消費者ニーズに応えるためには、高品質なブルーベリー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、本章ではブルーベリー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、ブルーベリー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。

1 材料および方法

1) 供試材料

第1章と同じ8品種を用いた。調査は2012年および2014年に行った。

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、450mL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(330mm×450mm×70mm)に並べ、厚さ0.06mmのポリエチレン袋に封入した。ポリエチレン袋には直径5mm程度の孔を4ヵ所設け、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ヵ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-101α、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) ブルーベリー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(105mm×156mm×54mm)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(370mm×520mm×140mm)に並べ、ポリエチレン袋(厚さ0.1mm、720×1,300mm)に封入した。ポリエチレン袋には5mm程度の孔を6ヵ所設け、袋の中が過湿とならないようにした(図3-1)。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図3-2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。

2 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図3-3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 0.60kg 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 0.41kg 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、図 3-4 および図 3-5 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。

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)



図3-1 ブルーン完熟果における低温貯蔵の様子 (2014)

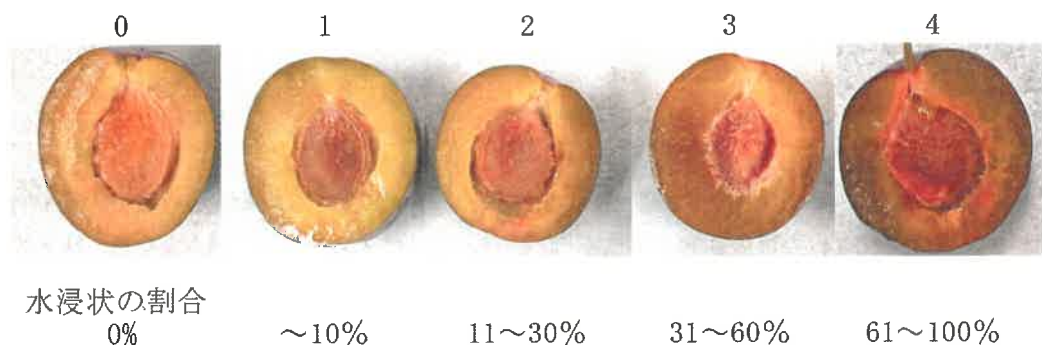


図3-2 ブルーン²における貯蔵中の果肉障害の程度

² 品種はプチュール

大畑：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

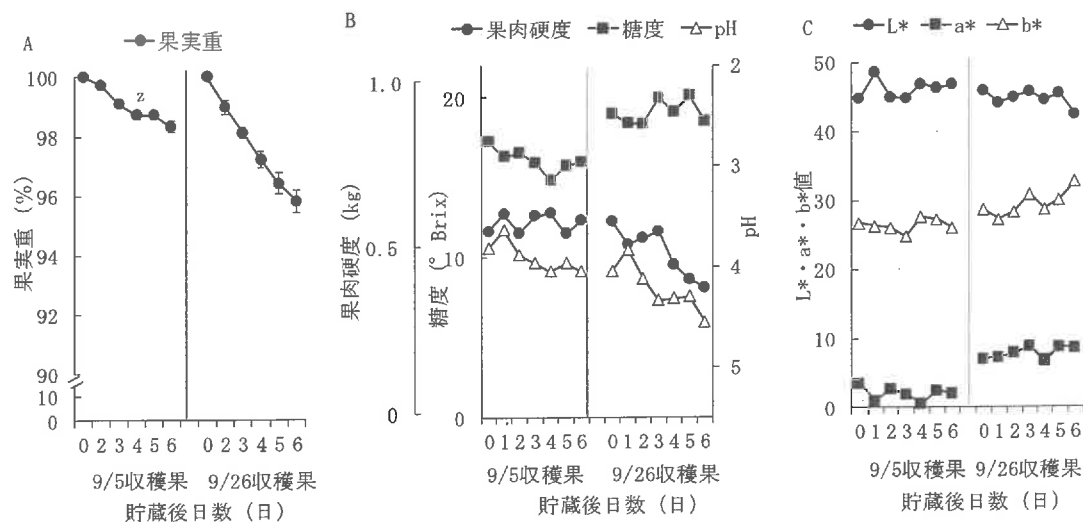


図3-3 プルーン「スタンレイ」未熟果と完熟果^yにおける20℃貯蔵中の果実重 (A)、果実品質 (B) および果肉色 (C) の変化 (2012年)

^z 縦バーは標準誤差 (A: n=4, BおよびC: n=2~3)

^y 未熟果は2012年9月5日収穫, 完熟果は2012年9月26日収穫

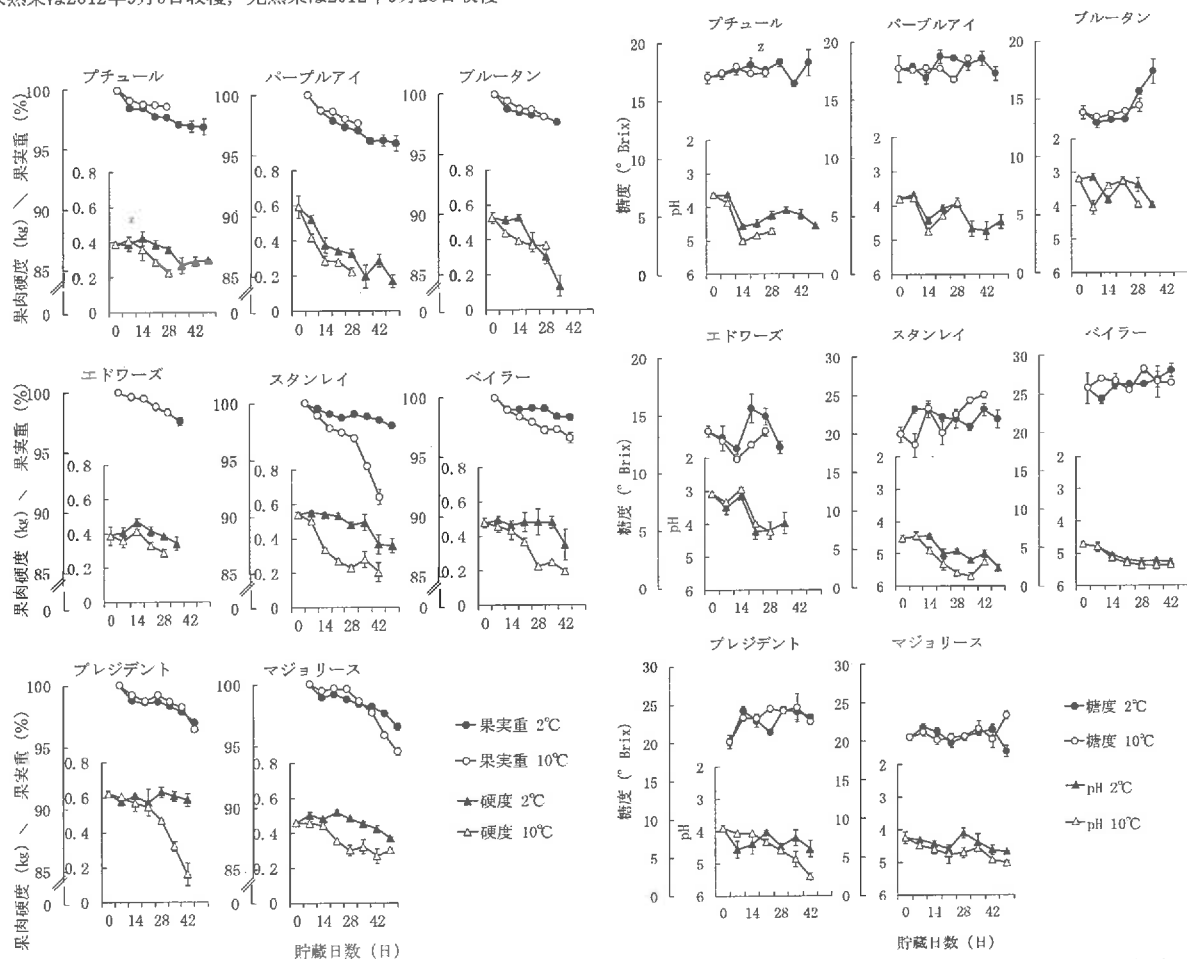


図3-4 プルーン果実における貯蔵温度の違いが果実重および果肉硬度の変化に及ぼす影響 (2014年)

^z 縦バーは標準誤差を示す (n=3~4)

図3-5 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)

(2) 果肉色の変化と果肉障害の発生

プ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図 3-6 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 (図 3-7)。

(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 (図 3-8)。‘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。

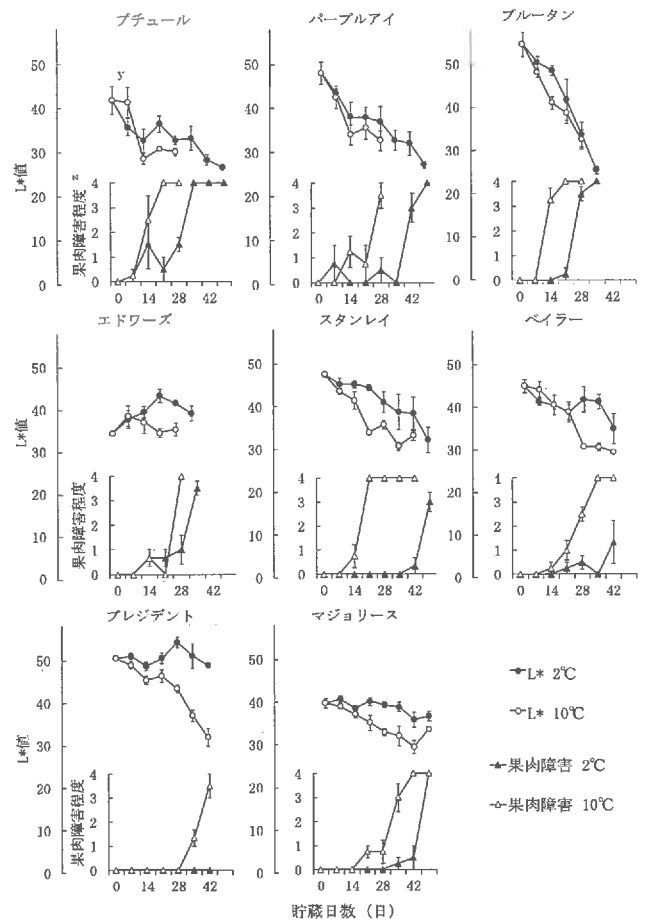


図3-6 プルーン完熟果における貯蔵温度の違いが果肉色L*値および果肉障害発生に及ぼす影響 (2014年)

² 果肉障害程度は図3-2のとおり

³ 縦棒は標準誤差を示す (n=3~4)

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。

1 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。

大畑：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

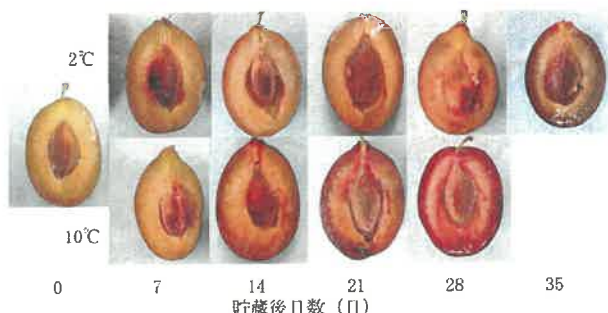


図3-7 プルーン[®]における低温貯蔵中の果実断面の変化
* 品種はブルータン

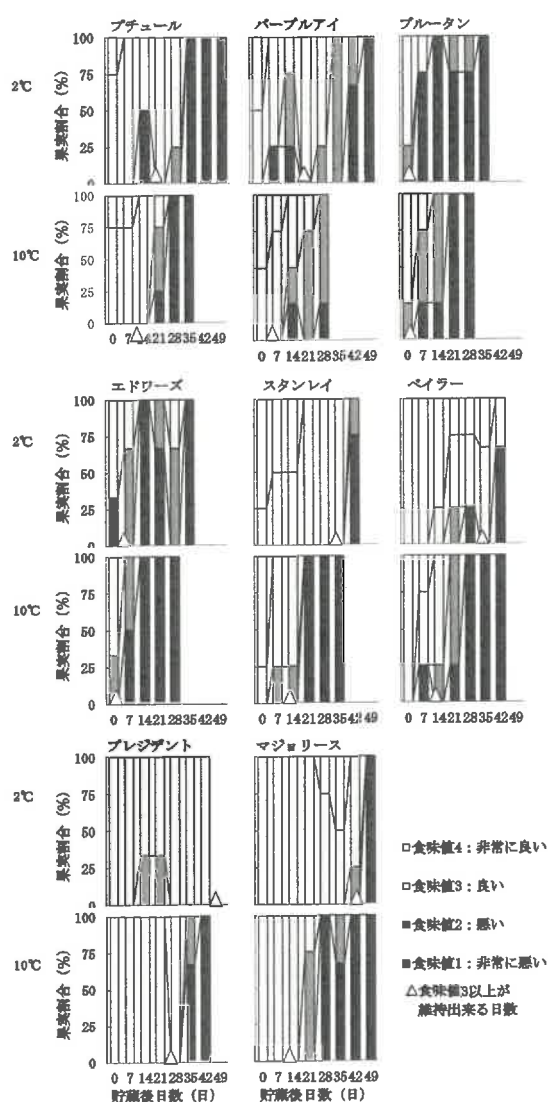


図 3-8 プルーン完熟果における貯蔵温度の違いが食味値の変化に及ぼす影響 (2014 年)

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°C、10°C および 20°C とした。2°C および 10°C では 7 日間隔で、20°C 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 1cm) で抜き取り、1g に調整後、0.4M マンニトール水溶液 20mL を分注した 50mL 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°C、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°C 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°C、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°C 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。

2 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°C、10°C および 20°C 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図 3-9 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°C 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°C 区および 2°C 区におけるイオン漏出量も 20°C 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

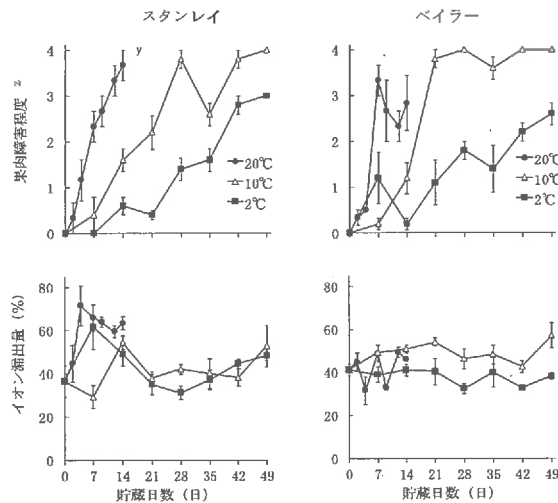


図3-9 プルーン果実における貯蔵温度の違いが果肉障害およびイオン漏出量の変化に及ぼす影響 (2016年)

¹ 果肉障害の程度は図3-2に従って判定した

² 縦棒は標準誤差を示す (n=5)

の後減少した。また、10°C区および2°C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。

‘ペイラー’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°C区および 2°C区におけるイオン漏出量は 10°C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°C区におけるイオン漏出量は、2°C区と 10°C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°C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図 3-10 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。

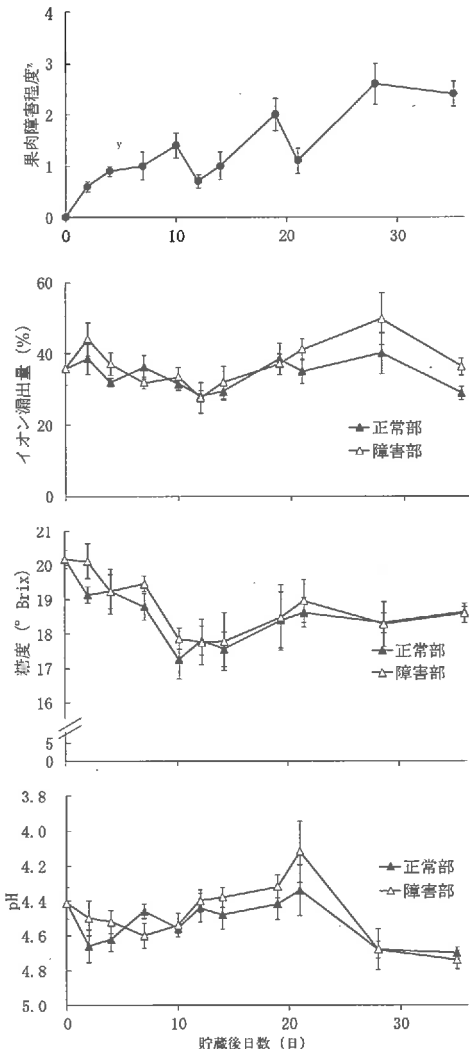


図3-10 プルーン‘マジョリース’における25°C貯蔵中の果肉障害発生と部位別イオン漏出量、糖度および酸度の変化 (2016年)

¹ 果肉障害の程度は図3-1に従って判定した

² 縦棒は標準誤差を示す (n=5)

第3節 1-MCPによる果実の日持ち性向上

プルーン‘ペイラー’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。

1 材料および方法

1) 供試材料

島根県農業技術センター植栽の雨よけ栽培‘ペイラー’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。

大畑：東アジアの温帯モンスーン気候におけるブルーネ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

2) 1-MCP 処理と貯蔵中の果実品質、呼吸量

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、500ppb、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。

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。

2 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‘ベイラー’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図 3-11 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%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表 3-1 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図 3-12 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 $1.0\mu\text{L}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ と急激に増加したのに対して、1-MCP 処理区では $0.5\mu\text{L}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ 前後でほとんど変化しなかった。

考察

1 室温におけるブルーネ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、ブルーネ‘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(図 3-3)、ブルーネは完熟果で収穫するのがよいと考えられた。

また、ニホンズ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)、同じズモモ亜属であるブルーネ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 ブルーネ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)。

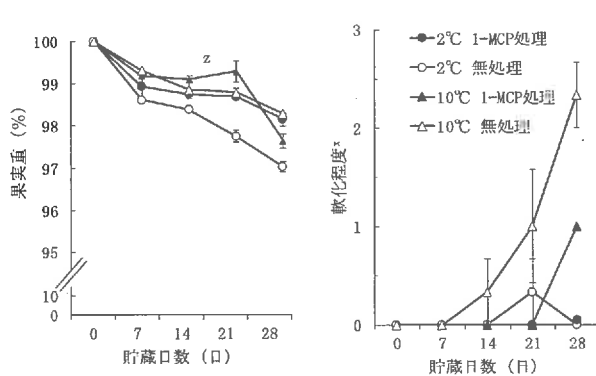


図3-11 プルーン‘ペイラー’に1-MCP処理[†]が貯蔵中の果実重および軟化程度変化に及ぼす影響 (2014年)

[‡] 縦バーは標準誤差を示す (n=3)

[†] 1-MCP処理は500ppb, 24時間, 室温とした

[×] 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。

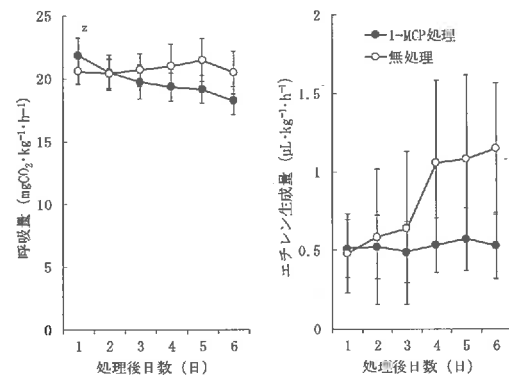


図3-12 プルーン‘ペイラー’に1-MCP処理[†]が20°C貯蔵中の呼吸量およびエチレン生成量の変化に及ぼす影響 (2014年)

^{*} 縦バーは標準誤差を示す (n=3~4)

[†] 1-MCP処理は500 ppb, 24時間, 室温とした

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

試験区		貯蔵日数	果肉硬度	果肉色			糖度	pH
貯蔵温度	1-MCP処理			L*	a*	b*		
(°C)		(日)	(kg)				(° Brix)	
2	有り	0	0.48	44.9	7.4	31.3 ab ^x	25.8	4.7
		7	0.46	43.0	4.0	29.7 ab	25.3	4.9
		14	0.43	39.2	4.5	27.0 ab	26.9	4.9
		21	0.48	42.0	6.3	29.8 ab	24.9	4.8
		28	0.48	40.6	6.8	28.4 ab	24.3	5.2
	無し	0	0.48	44.9	7.4	31.3 ab	25.8	4.7
		7	0.53	45.8	4.4	33.0 a	26	4.7
		14	0.47	42.5	4.9	31.2 ab	25.6	5.1
		21	0.31	36.1	5.6	24.9 b	26.5	5.2
		28	0.52	42.3	5.7	27.8 ab	26.7	4.9
	有意性 [‡]		ns	ns	ns	*	ns	*
10	有り	0	0.48 a	44.6 a	7.4	31.3 a	27.8	4.7 c
		7	0.47 a	42.2 a	4.6	30.7 ab	25.8	5.1 ab
		14	0.40 ab	39.1 abc	7.0	27.9 abc	26.3	5.2 ab
		21	0.38 ab	40.1 abc	6.4	27.5 abc	24.3	5.3 ab
		28	0.29 b	32.0 c	4.0	19.7 c	24.7	5.3 ab
	無し	0	0.48 a	44.9 a	7.4	31.3 a	25.8	4.7 c
		7	0.39 ab	39.5 abc	3.6	24.6 abc	25.9	4.7 bc
		14	0.35 ab	35.7 bc	3.9	23.3 bc	24.6	5.3 a
		21	0.26 c	33.4 bc	5.2	22.4 c	24.6	5.4 a
		28	0.27 b	32.7 bc	6.1	22.7 bc	25.9	5.3 a
	有意性		**	**	ns	**	ns	**

[‡] 1-MCP処理は500ppb, 24時間, 室温とした

[†] 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

大畑：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

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), プルーン完熟果では、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)。プルーンにおいては、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け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(図3-6)。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(図3-7)。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図3-13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

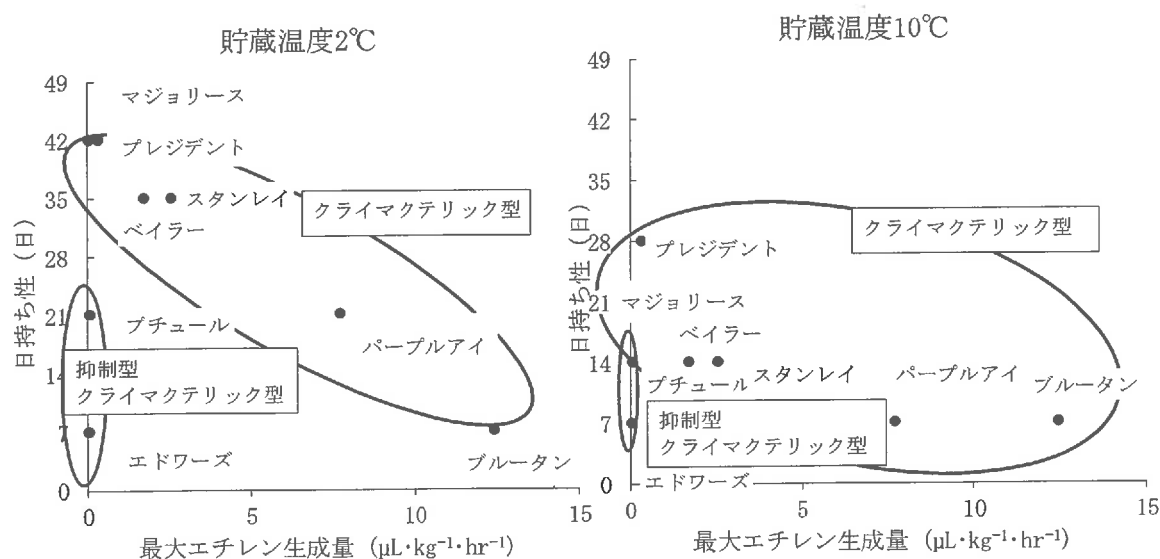


図3-13 プルーンにおける日持ち性と20℃の最大エチレン生成量の関係

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。

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℃、10℃および 20℃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（図 3-9, 図 3-10）、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℃）で貯蔵化した果実からもイオン漏出量は増加する（Uthairutra・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（樫村ら, 2010 ; Tatsuki ら, 2007）、ナシ（島田ら, 2011）、西洋ナシ（Trincherio 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（図 3-12）、‘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

プ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。プルーン 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’、

大畑：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

‘ベイラー’、‘プレジデント’および‘マジヨリース’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。プルーン‘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、生食用プ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、プルーン果実は、1-MCP処理によって日持ち性が長くなることが示された。

Ⅱ 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; Slimstadら, 2009; Thurow・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、クライマクテリック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(櫻村ら, 2010; Trinchero ら, 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 $1,000 \text{ kg} \cdot 10\text{a}^{-1}$ 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

大畑：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

区での栽培に適すると考えられた。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に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。

Ⅲ 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プ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、プルーン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 プルーンの成熟特性と果実品質

プルーンの開花期は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‘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、プルーン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 プルーン果実の成熟に伴う呼吸量とエチレン生成量の変化

プルーン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のエチレングスで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）. *園学雑誌*, 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*

大畑：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

- 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.cdffa.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 Hort. 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. 園学雑誌 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. 長野県のブルーネ. 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. 園学雑誌. 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. 園学雑誌. 49: 601-607.
- International Prune Association (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. 園学雑誌. 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 Hort. 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). 園学雑誌. 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). 園学雑誌. 37: 383-390.
- 梶浦一郎. 1972. モモの低温貯蔵障害に及ぼす

大畑：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

- 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.
- 樫村芳記・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.
- Kožišková, J. and J. Golíáš. 2013. Influence of ripening on the ethylene and carbon dioxide production during storage of plum fruits. Acta Univ. Agric. Silv. 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 (プラムボックスウイルス) 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.
- 畠田卓夫. 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.

大畑：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

- 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.
- 農業生物資源ジェンバンク事業. 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 Agric. 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・榎村芳記. 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. 新品種の特性をつかむ. 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.
- 苫名 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.
- Trinchero, 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

大畑：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

- 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. 山本昭平字編著. 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.

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上げます。

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长山本孝司氏、島根県農業技術センター栽培研究部部长倉橋孝夫博士、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梶野康行氏、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。

(2017 年 3 月)

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. 2017. 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. 86(4), 437-446.

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.

大畑：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

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.

島根県農業技術センター研究報告 第 52 号

〈編集委員長〉 瀬尾光広
〈副編集委員長〉 宮崎弘文
〈編集委員〉 朝木隆行 *
安達康弘 *
石川真治
小川智之
加古哲也
金森健一
澤村信生
福間靖徳
道上伸宏 *
持田圭介
〈査読者〉 荒木卓久
宇山嘉秀
大畑和也
榎野康行
福間貴寿

(* の編集委員は査読者を兼任)

(編集委員、査読者の氏名は五十音順)

島根県農業技術センター研究報告 第 52 号

令和 7 年 3 月 31 日 印刷

令和 7 年 3 月 31 日 発行

島根県農業技術センター

〒693-0035 島根県出雲市芦渡町 2440

TEL 0853-22-6697

FAX 0853-21-8380

E-mail: nougi@pref.shimane.lg.jp

