

BULLETIN
OF THE
KOCHI AGRICULTURAL RESEARCH CENTER
No.33
March 2024

高知県農業技術センター研究報告

第 33 号

令和 6 年 3 月

高知県農業技術センター

高知県南国市甘枝1100

KOCHI AGRICULTURAL RESEARCH CENTER

Hataeda 1100, Nankoku Kochi 783-0023, Japan

高知県農業技術センター研究報告

第 33 号
令和 6 年 3 月

目 次

高知県産特産カンキツの機能性 山中知紗・青木こずえ・野村朋江・宮崎清宏	1
耐低温性濃果色系統「ピーマン高育交 15 号」の育成 中村美里・日置優実・細美祐子・横田 真・石井敬子	13
養液栽培におけるハウスキュウリの作期前進化多収生産技術 穂崎健昌・山崎浩実・山本正志・下藤優子	25
自家不和合性遺伝子型を用いた‘水晶文旦’および「90T9」の由来の推定 谷本 佑	39
葉面積指数(LAI)を用いたユズのせん定の定量化 谷本 佑・廣瀬拓也・西森 空・中野和彦・北沢知明	44
スマートフォンを用いたユズの葉面積指数(LAI)推定技術 西森 空・中野和彦・谷本 佑・北沢知明	51

BULLETIN
OF THE
KOCHI AGRICULTURAL RESEARCH CENTER
No. 33
March 2024

CONTENTS

Analysis of functionality of citrus fruits cultivar in Kochi Prefecture Chisa YAMANAKA, Kozue AOKI, Tomoe NOMURA and Kiyohiro MIYAZAKI	1
Development of Dark Color ‘Sweet Pepper Koikuko No. 15’ Suitable for forcing cultivation at low temperature Misato NAKAMURA, Yumi HIOKI, Yuko HOSOMI, Makoto YOKOTA	13
and Yukiko ISHII	
Advancement cropping season and high-yield production methods for greenhouse cucumbers (<i>Cucumis sativus L.</i>) in hydroponic cultivation Takemasa HOSAKI, Hiromi YAMASAKI, Masashi YAMAMOTO and Yuuko SHIMOFUJI	25
Estimating of the Origins of ‘Suisho-buntan’ (<i>Citrus grandis</i> Osbeck) and Pummelo Hybrid ‘90T9’ Based on Self-incompatibility Genotype Yuu TANIMOTO	39
Quantifying the Pruning of Yuzu (<i>Citrus junos</i> Sieb. ex Tanaka) using Leaf Area Index Yuu TANIMOTO, Takuya HIROSE, Sora NISHIMORI, Kazuhiko NAKANO and Tomoaki KITAZAWA	44
Method for Estimating Leaf Area Index (LAI) of Yuzu (<i>Citrus junos</i> Sieb. ex Tanaka) using Smartphone Application Sora NISHIMORI, Kazuhiko NAKANO, Yuu TANIMOTO and Tomoaki KITAZAWA	51

高知県産特産カンキツの機能性

山中知紗*・青木こずえ・野村朋江**・宮崎清宏***

Analysis of functionality of citrus fruits cultivard in Kochi Prefecture

Chisa YAMANAKA*, Kozue AOKI, Tomoe NOMURA** and Kiyohiro MIYAZAKI***

要 約

県内の主要なカンキツ7品目(ぶしゅかん, 直七, ユズ, 水晶文旦, 土佐文旦, ポンカン, 小夏)について, 果実の果皮または果肉の部位別や栽培法別, 収穫時期別, 貯蔵期間別に機能性成分含量および抗酸化性を明らかにした。

1. ビタミンC含量は, いずれの品目も果肉より果皮で多い傾向があり, 特に, 秋季から冬季に収穫する露地黄ユズ, ハウスおよび露地土佐文旦, ポンカン, 温州ミカンで多かった。
2. 特産カンキツのぶしゅかんや直七, 青ユズのように青玉の香酸カンキツの果皮や果肉には, フラボノイド類のナリルチン, ナリンジン, ヘスペリジン, ネオヘスペリジンが比較的多く含まれていた。
3. 青玉の香酸カンキツ(ぶしゅかん, 直七, 青ユズ)の果皮におけるカロテノイド類の β -カロテン含量は, 他のカンキツよりも著しく多かった。
4. ぶしゅかんおよび直七の果肉には, フラボノイド類のノビレチンやタンゲレチンが約 30~80 μ g/100gFW 含まれ, 青ユズの果皮および果肉には他の品目よりもオーラプテンが多かった。
5. 抗酸化性は温州ミカンやポンカン, 青玉の香酸カンキツ, 文旦で高く, 機能性成分のヘスペリジンやネオヘスペリジンが抗酸化性への影響が強いと推察された。
6. ハウス栽培または露地栽培がある品目のうち, 青ユズはフラボノイド類が露地栽培で多い傾向であった。土佐文旦はフラボノイド類とクマリン類のオーラプテンがハウス栽培で多い傾向であった。小夏はフラボノイド類がハウス栽培で, カロテノイド類が露地栽培で多い傾向であった。
7. ユズの収穫時期別に機能性成分を比較すると, 成熟果(黄ユズ)と比べて未熟果(青ユズ)で, フラボノイド類や β -カロテン, オーラプテンが多い傾向があった。
8. 一般的に貯蔵して食する品目の露地黄ユズ, ポンカンおよび露地土佐文旦は, 貯蔵による機能性成分含量は品目や部位によって異なる変動が認められ, フラボノイド類は果皮で増加しやすい傾向があった。ポンカンの果皮(β -カロテン)を除いて, カロテノイド類も果皮や果肉で増加しやすかった。オーラプテンは, 露地黄ユズの果皮を除いて, 果皮や果肉で増加しやすかった。抗酸化性については果皮で増加しやすいことが明らかとなった。

キーワード: ぶしゅかん, 直七, ユズ, 水晶文旦, 土佐文旦, ポンカン, 小夏, ビタミンC, フラボノイド類, カロテノイド類, クマリン類, 抗酸化性

はじめに

高知県では, 一年を通して多様なカンキツが栽培されている。中でもユズは生産量日本一⁸⁾であり, 果汁だけでなく近年は青果玉が輸出され, 香りが良いことから引き合いが強い。また, 県内では, ぶしゅかんや直七は酢ミカンとして親しまれているが, 加工品も生産され需要拡大を図るとともに県外への青果玉の用途提案の取組が始まっている。

2015年からスタートした機能性表示食品制度では,

「三ヶ日みかん」が生鮮としての登録第1号となった。三ヶ日みかんの産地においては, 果肉中の β -クリプトキサンチンと糖度の関係に相関²⁾があることに着目して, 光センサーの非破壊選果機により, 一定糖度以上の果実に β -クリプトキサンチン含有量が保証される¹³⁾とした機能性表示による販売を行っている。こうした β -クリプトキサンチンによる機能性表示は他の温州ミカン産地にも広がりを見せている。また, 生鮮では機能性関与成分としてリコ

*現高知県農業振興部農産物マーケティング戦略課

**現高知県中央西農業振興センター高知農業改良普及所

***現高知県農業技術センター茶業試験場

ペンや大豆イソフラボンなどで申請が進み、約200件が申請されている(2023年3月末時点)¹²⁾。

県内では、「高知なす」が機能性関与成分アセチルコリンで、2020年に機能性表示食品として登録され、量販店の一般消費者向けの販売のほか、医療系や栄養士向けなどに紹介され、健康宅配冷凍食に採用されるなど需要開拓につながっている。

そこで、県産カンキツについても、機能性成分が明らかとなれば販売戦略への活用が期待できることから、本研究は、カンキツ7品目において機能性成分含量および抗酸化性を調査した。

機能性成分について、小川¹¹⁾によると、動物実験レベルで研究が進んでいる成分の例として、ノビレチン、β-クリプトキサンチン、オーラプテンについて紹介している。例えば、ノビレチンは発がん抑制や抗認知症の予防改善の研究が進んでおり、代表例として、沖縄県特産のシークワシャーは果皮にノビレチンを含むが果実が小さいため、果実全体を搾汁することにより果汁からもノビレチンが摂取できるとある。β-クリプトキサンチンについては、温州ミカンが代表的だが、糖尿病やがんのリスク低下との関連性が示唆されている。オーラプテンは、発がん抑制作用を中心に研究がされ、文旦類の果皮だけでなく果肉にも含まれる成分であるが、果肉にオーラプテンを高濃度に含む‘オーラスター’が開発されていることを紹介している。このような事例により、本研究についてもこれら3種の成分を含む10成分の機能性成分を対象とし、フラボノイド類はナリルチン(アレルギー症状を抑えるなど)、ナリンジン

(食欲抑制など)、ヘスペリジン(血流改善など)、ネオヘスペリジン(血流改善など)、ノビレチン(発がん抑制作用など)、タンゲレチン(抗がん作用など)を、カロテノイド類はβ-クリプトキサンチン(骨粗しょう症予防効果など)、β-カロテン(皮膚や粘膜の健康保持など)を、クマリン類はオーラプテン(認知機能の維持など)、6,7-ジヒドロキシベルガモチン(薬物との相互作用があると報告されている成分)を取り上げ、果皮および果肉の部位別、栽培法別、収穫時期別、貯蔵期間別に分析した。

なお、本研究は、内閣府地方大学・地域産業創生交付金「“IoP(Internet of Plants)”が導く「Next次世代型施設園芸農業」への進化」の助成を受けて実施した。

材料および方法

2020年5月から2021年5月に、高知県内の主要な産地において栽培される7品目(ぶしゅかん、直七、ユズ、水晶文旦、土佐文旦、ポンカン、小夏)と参考品目として露地温州ミカンを採取した。なお、一部の品目名については、高知県内で一般的に用いられている名称を採用し、餅柚をぶしゅかん、田熊スタチを直七、ヒュウガナツを小夏と表記した。

1. 供試材料

試験は、圃場で樹成りの果実をシーズン中に1~4回採取し、調査に供した。各品目の産地と採取月日は表1のとおりである。なお、一般的に貯蔵して食する果実は農家慣行で貯蔵したものを適宜採取した。

表1 供試材料

品目	作型	産地	採取月日	
			2020年	2021年
ぶしゅかん	露地	四万十市	8月17日, 10月19日	
直七	露地	宿毛市	10月2日, 10月13日	
ユズ	青ユズ	ハウス	香美市	5月20日, 6月19日
		露地	香美市	9月1日, 9月15日
水晶文旦	ハウス	土佐市	11月6日, 12月7日 ^{z)}	1月22日 ^{z)} , 2月22日 ^{z)}
		土佐市	10月7日, 10月19日	
土佐文旦	ハウス	土佐市	11月17日	
		露地	土佐市	12月22日
ポンカン	露地	東洋町	11月26日, 12月21日 ^{z)}	1月7日 ^{z)}
		土佐市		3月24日
小夏	ハウス	土佐市		4月21日, 5月10日
		露地	土佐市	
温州ミカン(南柑20号)	露地	香美市	12月10日 ^{z)}	

z) 黄ユズ, 露地土佐文旦, ポンカンおよび温州ミカンは農家慣行で貯蔵した果実を採取。

露地黄ユズは11月6日から9日まで30℃、それ以降4℃の予冷庫で貯蔵した果実を、ポンカンは11月26日に70~80%着色で収穫した後に平均約13℃の冷暗所で貯蔵した果実を、露地土佐文旦は12月22日以降に収穫して野囲いで貯蔵した果実を、温州ミカンは冷暗所で約1か月貯蔵した果実を用いた。

2. 調製方法

採取後1~6日間5℃の冷蔵庫で保管後、果実は果皮(フラベド(外果皮)とアルベド(内果皮)を混合。ただし、小夏はフラベドとアルベドに分けてフラベドを分析)と果肉(じょうのう膜を含む。ただし、文旦はじょうのう膜を除く)に分けて刻み分析に供した。分析1回あたり文旦等大玉は1果を、露地青ユズのような小玉は10果を混合して1サンプルとし、各品目5サンプルを分析して平均値を求め、さらにシーズン中に複数回採取した品目はシーズン中の平均値を求めた。

3. 分析方法

1) ビタミンC含量

ビタミンCは、果皮または果肉サンプル5gを5%メタリン酸で抽出し、PDA検出器(島津社製SPD-M30A)を用いて超高速液体クロマトグラフで測定し、アスコルビン酸相当量で示した。

分析条件は、カラム; Wakopak Ultra C18-2 2 μ m 2.1 \times 100mm, カラム温度; 40℃, 測定波長; 254nm, 流量; 0.4ml/min, 移動相: 0.2%メタリン酸溶液とした。

2) フラボノイド含量およびクマリン含量

機能性成分のフラボノイド類6成分およびクマリン類2成分は、小川¹⁰⁾の分析手法を参考に、果皮は凍結乾燥した粉末試料100mgをメタノール(MtOH):ジメチルスルホキシド(DMSO)=1:1で抽出し、果肉はミキサーで懸濁した液体試料5gを酢酸エチルで抽出し、フラボノイド類のナリルチン, ナリンジン, ヘスペリジン, ネオヘスペリジン, ノビレチン, ダンゲレチン, クマリン類のオーラプテン, 6,7-ジヒドロキシベルガモチンについて、UV検出器(島津社製SPD-20A)を用いて高速液体クロマトグラフ(以下, HPLC)で測定した。

分析条件は、カラム; TOSOH TSKgel ODS-80Ts 5 μ m

4.6 \times 250mm, カラム温度; 40℃, 流量; 0.8ml/min, 測定波長; ナリルチン, ナリンジン, ヘスペリジン, ネオヘスペリジンは285nm, ノビレチン, タンゲレチン, オーラプテン, 6,7-ヒドロキシベルガモチンは330nm, 移動相A液; 0.5%リン酸水, 移動相B液; アセトニトリル(0.5%リン酸含), グラジエントB液; 0分30%, 15分100%, 24分100%, 24分10秒30%, 30分停止とした。

3) カロテノイド含量

機能性成分のカロテノイド類2成分は、生駒ら⁷⁾の分析方法を参考に、果皮は凍結乾燥した粉末試料500mgを、果肉はミキサーで懸濁した液体試料8gをジエチルエーテル:メタノール(MtOH)=7:3(0.1%BHT(ジブチルヒドロキシトルエン(Butylated Hydroxytoluene))含)およびジエチルエーテルで抽出して、10%水酸化カリウム・メタノール混液でけん化した後、塩化ナトリウム(NaCl)およびジエチルエーテルで抽出し、 β -クリプトキサンチンおよび β -カロテンについて、UV検出器(島津社製SPD-20A)を用いてHPLCで測定した。

分析条件は、カラム; 野村化学 Develosil C30-UG 3 μ m 4.6 \times 150mm, カラム温度; 20℃, 測定波長; 452nm, 流量; 0.4ml/min, 移動相A液; メタノール:t-ブチルメチルエーテル(MTBE):1.5%酢酸アンモニウム=85:12:3, 移動相B液; メタノール:MTBE:1%酢酸アンモニウム=8:90:2, グラジエントB液; 0分0%, 21分55%, 22分55%, 30分95%, 35分95%, 36分0%, 52分停止とした。

4) 抗酸化性測定方法

抗酸化性の指標の一つであるDPPHは、サンプル5gを80%エタノールで抽出後、DPPHラジカル消去活性測定法によりマイクロプレートリーダー(TECAN社製Infinite F200)で測定し、生鮮重100g中のTrolox相当量で示した。もう一つの抗酸化性の指標であるH-ORACは、凍結乾燥後にミキサーで粉碎して粉末1gをMWA(メタノール:超純水:酢酸=90:9.5:0.5)混合溶液で抽出し、H-ORAC法に従いプレートリーダー(TECAN社製Infinite F200)によりフルオレセイン(Fluorescein sodium salt)蛍光強度の経時変化を2分間隔で45回測定し、生鮮重100g中のTrolox相当量で示した。

結 果

試験1. カンキツの品目別および部位別(果皮と果肉の違い)の機能性成分および抗酸化性

品目ごとに果皮または果肉に含まれる成分と抗酸化性を調査し、品目間の違いおよび部位別の違いを調査した。ビタミンC含量は、いずれの品目も果肉より果皮で多い傾向があった。特に、秋季から冬季に収穫する露地黄ユズ、ハウスおよび露地土佐文旦、ポンカン、温州ミカンが多かった(表2)。

フラボノイド類のナリルチンは、ぶしゅかんと温州ミカンの果皮で多く、果肉ではぶしゅかん、直七、青ユズが多かった。ナリンジンは文旦類の果皮で著しく多く、次いでぶしゅかん、直七、青ユズでも比較的多く含まれた。果肉ではぶしゅかん、直七、青ユズと文旦類が多かった。ヘスペリジンはポンカンと温州ミカンの果皮で著しく多く、果肉ではぶしゅかん、直七、青ユズが多かった。ネオヘスペリジンは果皮、果肉共に香酸カンキツ(ぶしゅかん、直七、青ユズ、黄ユズ)が多かった。ノビレチンおよびタンゲレチンはポンカンの果皮で著しく多く、果肉で

は果皮と比べて極めて少ないが、ポンカンが最も多く、ぶしゅかん、直七および小夏で一定量含まれた(表3)。

カロテノイド類のβ-クリプトキサンチンは温州ミカン、ポンカンの果皮および果肉で著しく多かった。β-カロテンは、果皮では青ユズ、ぶしゅかん、直七が、果肉では温州ミカン、ポンカンが多かった(表4)。

クマリン類のオーラプテンは、果皮および果肉共に、青ユズ、黄ユズ、文旦類の順で多かった。6,7-ジヒドロベルガモチンは文旦類の果皮および果肉と、直七の果肉で多かった(表5)。

抗酸化性の指標の一つであるDPPHラジカル消去活性は、果肉より果皮で高く、ポンカン、温州ミカンで高かった。また、もう一つの指標であるH-ORAC値は、果肉より果皮で高く、果皮では温州ミカンが最も高く、次いでぶしゅかん、水晶文旦、ポンカン、直七が高かった。果肉ではぶしゅかんが最も高く、次いで露地青ユズ、直七、ハウス青ユズが高かった(表6)。

表2 高知県産カンキツのビタミンC含量^{z)}

		ぶしゅかん	直七	ハウス青ユズ	露地青ユズ	露地黄ユズ	水晶文旦	ハウス土佐文旦	露地土佐文旦	ポンカン	ハウス小夏	露地小夏	温州ミカン(南柑20号)
ビタミンC (mg/100gFW)	果皮	51.7	85.5	49.3	59.5	111.4	88.3	137.6	148.5	124.7	99.7	85.9	143.9
	果肉	35.6	36.9	38.3	40.2	54.9	46.7	56.0	47.3	41.2	23.3	18.9	36.7

z) 果皮はフラベドとアルベドの合計。ただし、小夏はフラベドのみを示す。果肉は、文旦を除く他の品目はじょうのう膜を含む。n=5。

表3 高知県産カンキツのフラボノイド類含量^{z)}

		ぶしゅかん	直七	ハウス青ユズ	露地青ユズ	露地黄ユズ	水晶文旦	ハウス土佐文旦	露地土佐文旦	ポンカン	ハウス小夏	露地小夏	温州ミカン(南柑20号)
ナリルチン		542.8	319.6	196.0	333.3	126.9	—	—	44.3	91.6	83.8	133.9	570.0
ナリンジン		279.1	157.8	133.2	219.8	86.0	1258.2	1439.2	1136.7	—	—	—	—
ヘスペリジン	果皮	495.2	593.7	267.7	399.7	165.0	—	—	—	1910.5	143.0	128.4	2365.4
ネオヘスペリジン	(mg/100gFW)	233.2	209.4	114.1	156.3	65.3	1.6	2.6	0.9	—	—	—	—
ノビレチン		10.5	5.7	— ^{y)}	—	—	0.0	0.6	0.4	139.6	29.3	22.0	21.6
タンゲレチン		9.8	9.1	—	0.2	—	0.1	3.5	0.7	86.4	23.3	18.8	8.4
ナリルチン		50.0	56.7	36.3	46.7	20.4	0.5	2.3	1.8	7.8	13.8	14.8	16.0
ナリンジン	果肉	39.3	26.7	22.3	33.2	12.2	34.2	27.5	18.2	—	—	—	—
ヘスペリジン	(mg/100gFW)	20.4	37.0	22.4	28.5	9.8	—	—	—	4.2	4.5	4.4	3.9
ネオヘスペリジン		10.8	7.9	11.9	12.4	3.7	0.2	0.2	0.1	—	—	—	—
ノビレチン	果肉	82.0	33.0	—	—	—	—	1.5	0.0	106.5	42.3	28.6	8.7
タンゲレチン	(μg/100gFW)	69.7	39.1	—	—	0.2	—	—	—	47.9	19.1	14.5	1.8

z) 表2の注釈を参照

y) —は、未検出を示す。

表4 高知県産カンキツのカロテノイド類含量^{z)}

		ぶしゅかん	直七	ハウス青ユズ	露地青ユズ	露地黄ユズ	水晶文旦	ハウス土佐文旦	露地土佐文旦	ポンカン	ハウス小夏	露地小夏	温州ミカン(南柑20号)
β-クリプトキサンチン	果皮	30.6	16.7	22.6	21.0	145.5	9.9	12.4	12.1	2,088.4	40.4	49.0	4591.2
β-カロテン	(μg/100gFW)	616.8	401.4	946.4	984.6	23.1	90.6	8.4	10.0	75.2	28.4	47.8	360.7
β-クリプトキサンチン	果肉	14.4	2.4	2.4	2.6	7.3	2.2	2.2	3.8	457.6	13.9	14.4	1039.6
β-カロテン	(μg/100gFW)	14.6	1.4	2.0	2.2	1.7	2.0	1.2	2.8	86.9	2.3	3.3	186.0

z) 表2の注釈を参照

表5 高知県産カンキツのクマリン類含量^{z)}

		ぶしゅ かん	直七	ハウス 青ユズ	露地 青ユズ	露地 黄ユズ	水晶文旦	ハウス 土佐文旦	露地 土佐文旦	ポンカン	ハウス 小夏	露地 小夏	温州ミカン (南柑20号)
オーラプテン	果皮	0.2	4.1	16.8	19.9	10.0	5.5	7.6	4.1	—	—	—	0.6
6,7-ジヒドロキシベルガモチン	(mg/100gFW)	0.2	3.1	— ^{y)}	—	—	27.2	28.3	17.0	—	2.4	1.0	—
オーラプテン	果肉	7.3	17.3	480.2	420.6	269.1	41.6	251.2	63.9	—	—	—	10.9
6,7-ジヒドロキシベルガモチン	(μg/100gFW)	—	205.2	—	—	—	641.8	83.4	35.9	—	—	—	—

z) 表2の注釈を参照
y) —は、未検出を示す。

表6 高知県産カンキツの抗酸化性^{z)}

		ぶしゅ かん	直七	ハウス 青ユズ	露地 青ユズ	露地 黄ユズ	水晶文旦	ハウス 土佐文旦	露地 土佐文旦	ポンカン	ハウス 小夏	露地 小夏	温州ミカン (南柑20号)
DPPHラジカル消去活性	果皮	599	695	510	667	721	444	655	688	995	764	664	963
(μmol TE/100gFW)	果肉	277	256	281	349	330	310	347	356	308	192	171	305
H-ORAC値	果皮	16,519	14,070	9,118	13,022	6,965	15,836	12,154	13,931	15,108	6,701	5,126	23,436
(μmol TE/100gFW)	果肉	5,749	3,687	3,661	5,402	2,010	1,696	1,568	1,264	2,875	1,531	1,866	2,898

z) 表2の注釈を参照

試験2 栽培法別(青ユズ, 土佐文旦および小夏のハウス栽培および露地栽培)の機能性成分および抗酸化性

1つの品目で、ハウス栽培と露地栽培があるユズ、土佐文旦、小夏について、栽培法別に比較検討した。

ビタミンCは、果皮では青ユズおよび土佐文旦の露地栽培の方が、果肉では土佐文旦および小夏のハウス栽培の方がやや多かった(表2)。

フラボノイド類は、青ユズでは、果皮および果肉共に露地栽培の方が多かった。土佐文旦では、果皮のナリルチンは露地栽培で認められたが、ナリンジンは果皮および果肉共にハウス栽培の方が多かった。小夏においても果皮および果肉のナリルチンは露地栽培で多かったが、他の成分はハウス栽培で多い傾向であった(表3)。

カロテノイド類のβ-クリプトキサンチンは、小夏の果皮が露地栽培で多かった。β-カロテンは、青ユズおよび小夏の果皮が露地栽培で多かった(表4)。

クマリン類のオーラプテンは、果皮では青ユズの露地栽培、土佐文旦のハウス栽培で多く、果肉では両品目ともにハウス栽培で多かった。6,7-ジヒドロキシベルガモチンは、土佐文旦のハウス栽培が多かった(表5)。

抗酸化性のDPPHラジカル消去活性は、青ユズおよび土佐文旦は露地栽培で、小夏はハウス栽培でやや高かった。H-ORAC値は、青ユズの果皮および果肉、土佐文旦の果皮では露地栽培が、小夏の果皮はハウス栽培が高かった(表6)。

試験3 収穫時期別(露地ユズの未熟果(青ユズ)と成熟果(黄ユズ))の機能性成分および抗酸化性

ユズの熟度による機能性成分の違いを調べるため、未熟果(青ユズ)と成熟果(黄ユズ)の違いを比較検討した。

ビタミンCは、果皮および果肉共に黄ユズで多かった(表2)。

フラボノイド類のナリルチン、ナリンジン、ヘスペリジン、ネオヘスペリジンはいずれも果皮および果肉ともに青ユズで多かった(表3)。

カロテノイド類のβ-クリプトキサンチンは、黄ユズで多かった。β-カロテンは青ユズの果皮で著しく多かった(表4)。

クマリン類のオーラプテンは青ユズで多かった(表5)。

抗酸化性のDPPHラジカル消去活性は、果皮は黄ユズでやや高かった。H-ORAC値は、果皮および果肉共に青ユズで高かった(表6)。

試験4 貯蔵期間別(露地黄ユズ, ポンカンおよび露地土佐文旦)の機能性成分および抗酸化性

一般的に貯蔵して食する品目である黄ユズ、ポンカンおよび露地土佐文旦について、収穫時と貯蔵後の経時変化を調査した。なお、ポンカンは70~80%着色で収穫するため、収穫時の果皮には緑色が残っているが、貯蔵後は橙色に完全着色した状態の果実を供試した。

ビタミンCは、貯蔵によって、ポンカンおよび露地土佐文旦の果皮でやや減少した。また、いずれの品目も果肉での変動は小さかった(図1)。

フラボノイド類は、貯蔵により、露地黄ユズの果皮でナリルチンがやや増加し、ネオヘスペリジンがやや減少したのに対し、果肉では、ナリルチン、ナリンジン、ヘスペリジン、ネオヘスペリジンが減少した。ポンカンにはナリルチンが果皮および果肉共にやや増加し、ヘスペリジンが果肉でやや増加した(図2~5)。ノビレチンおよびタンゲレチンは果皮で増加し、果肉で大きく減少した(図6, 7)。露地土佐文旦は、ナリンジンが果皮でやや増加し、果肉で減少した(図3)。

カロテノイド類は、貯蔵により、 β -クリプトキサンチンが露地黄ユズおよびポンカンの果皮および果肉

共に増加した(図8)。 β -カロテンは、露地黄ユズの果皮、果肉およびポンカンの果肉で増加した。一方、ポンカンの果皮では著しく減少した(図9)。

クマリン類は、貯蔵により、オーラプテンは露地黄ユズの果皮で減少、果肉で増加したが、露地土佐文旦では果皮、果肉共にやや増加した(図10)。6,7-ジヒドロキシベルガモチンは露地土佐文旦の果肉でやや減少した(図11)。

抗酸化性のDPPHラジカル消去活性は、露地黄ユズおよびポンカンの果皮で増加した(図12)。H-ORAC値は、露地黄ユズおよびポンカンの果皮で増加した(図13)。

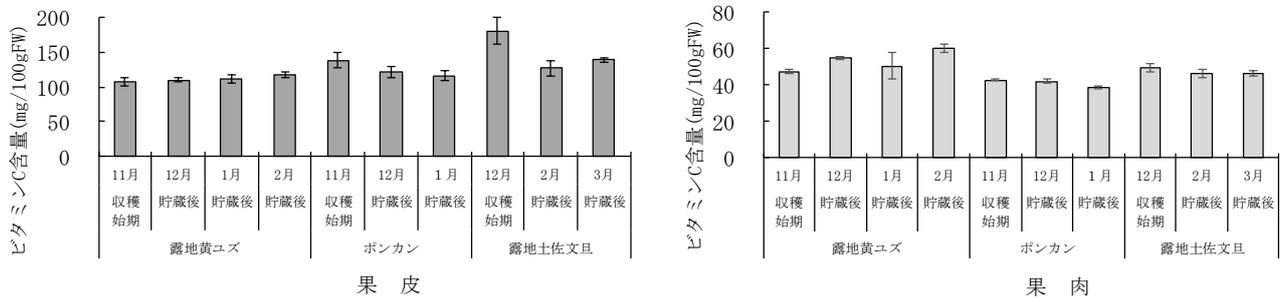


図1 露地黄ユズ、ポンカンおよび露地土佐文旦の貯蔵期間別ビタミンC含量

- 注1) 果皮はフラベドとアルベドの合計。果肉は、文旦除く他の品目はじょうのう膜を含む。
 2) 図中の月はサンプル採取月を示す。
 3) 図中のエラーバーは分析値の誤差(標準誤差)範囲を示す。n=5。

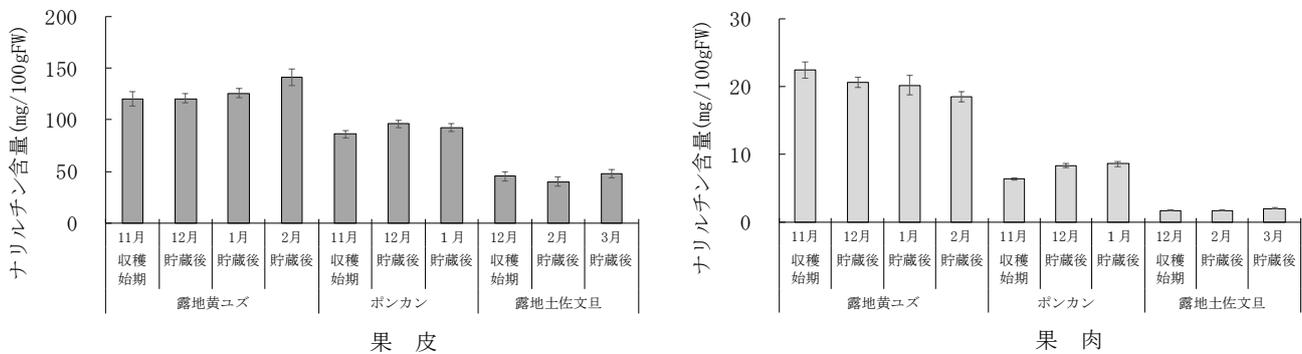


図2 露地黄ユズ、ポンカンおよび露地土佐文旦の貯蔵期間別ナリルチン含量

注) 図1の注釈を参照

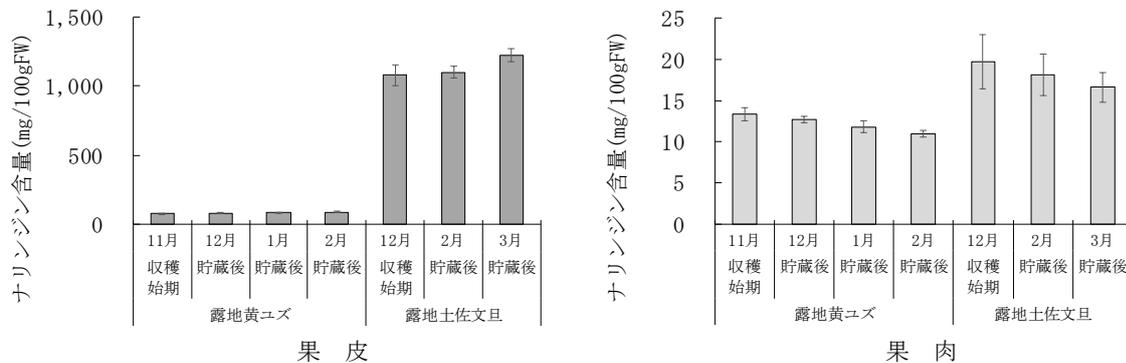


図3 露地黄ユズおよび露地土佐文旦の貯蔵期間別ナリンジン含量

注) 図1の注釈を参照

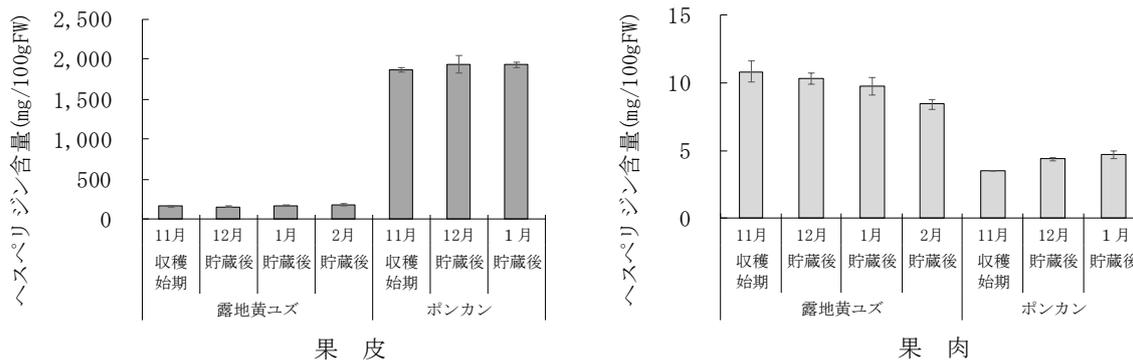


図4 露地黄ユズおよびボンカンの貯蔵期間別ヘスペリジン含量
注) 図1の注釈を参照

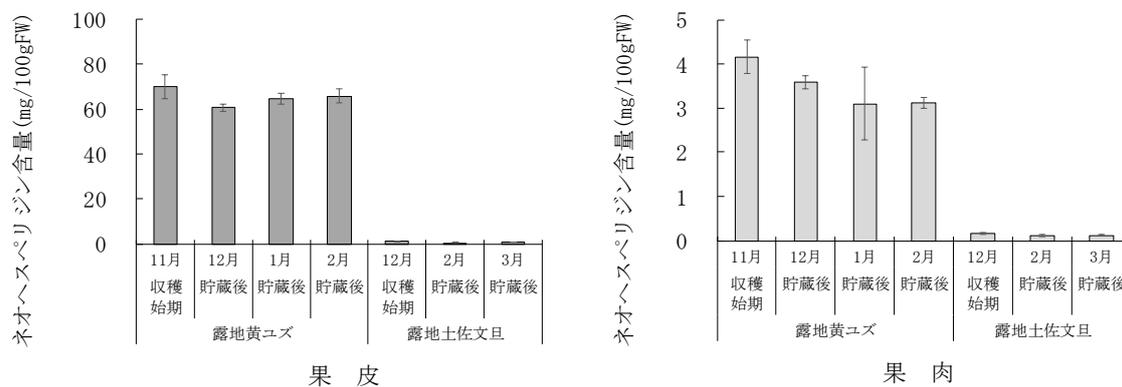


図5 露地黄ユズおよび土佐文旦の貯蔵期間別ネオヘスペリジン含量
注) 図1の注釈を参照

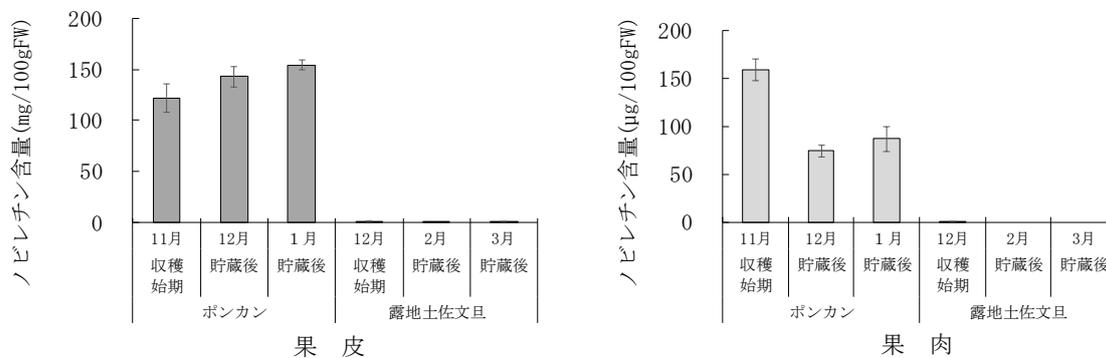


図6 ボンカンおよび露地黄ユズの貯蔵期間別ノビレチン含量
注) 図1の注釈を参照

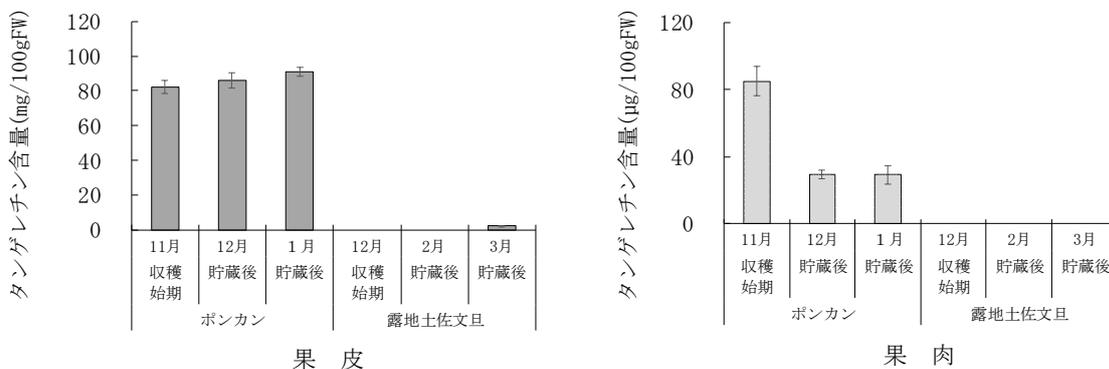


図7 ボンカンおよび露地黄ユズの貯蔵期間別タンゲレチン含量
注) 図1の注釈を参照

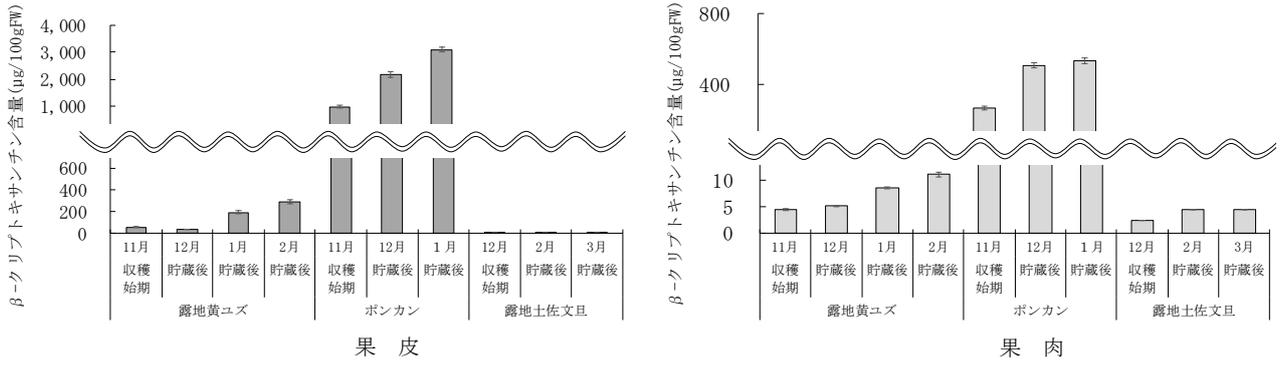


図8 露地黄ユズ、ボンカンおよび露地土佐文旦の貯蔵期間別β-クリプトキサニン含量
注) 図1の注釈を参照

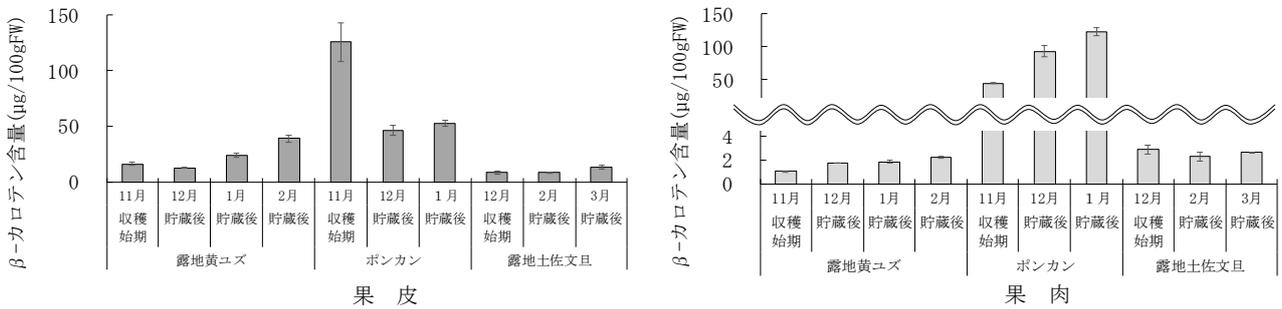


図9 露地黄ユズ、ボンカンおよび露地土佐文旦の貯蔵期間別β-カロテン含量
注) 図1の注釈を参照

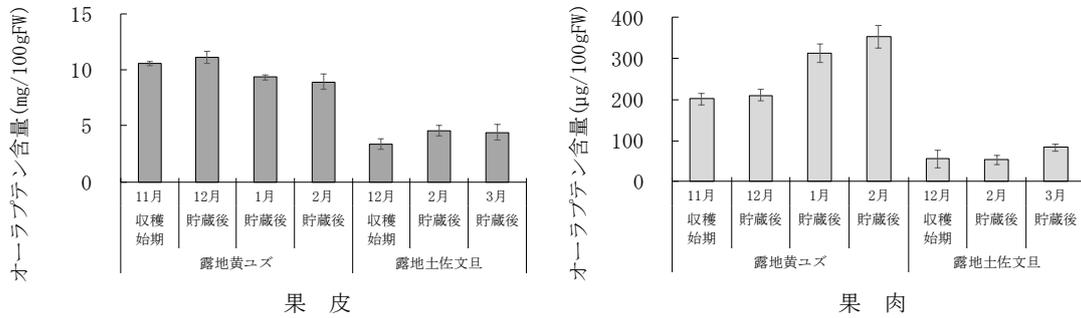


図10 露地黄ユズおよび露地土佐文旦の貯蔵期間別オーラプテン含量
注) 図1の注釈を参照

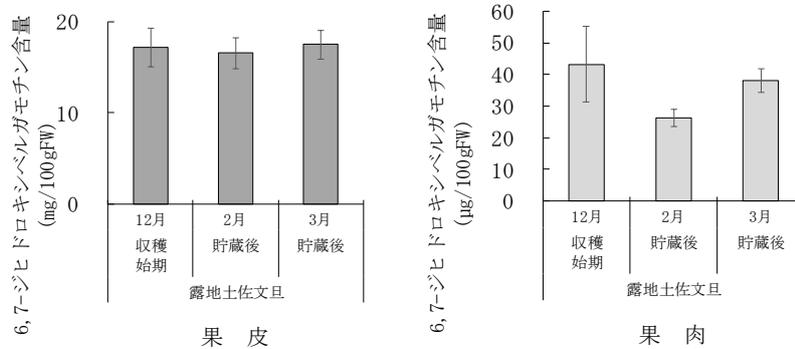


図11 露地土佐文旦の貯蔵期間別6,7-ジヒドロキシベンシルガラクトシチン含量
注) 図1の注釈を参照

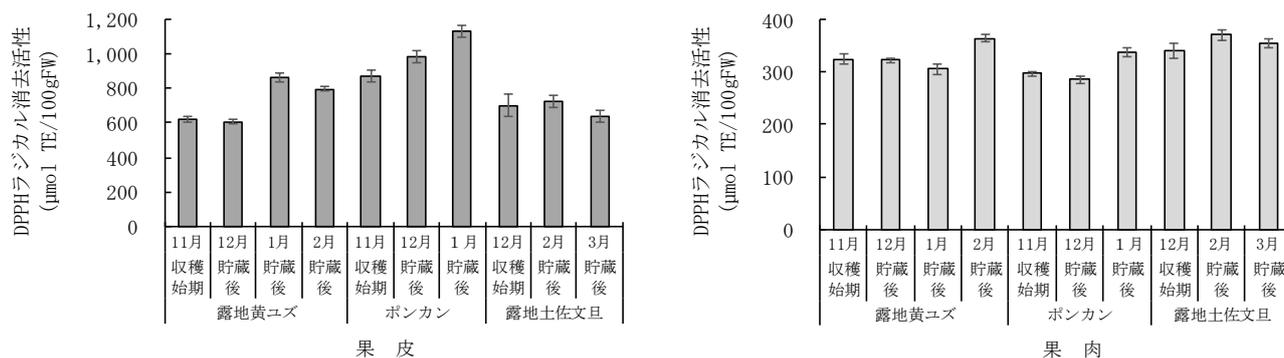


図12 露地黄ユズ、ポンカンおよび露地土佐文旦の貯蔵期間別抗酸化性(DPPH)

注) 図1の注釈を参照

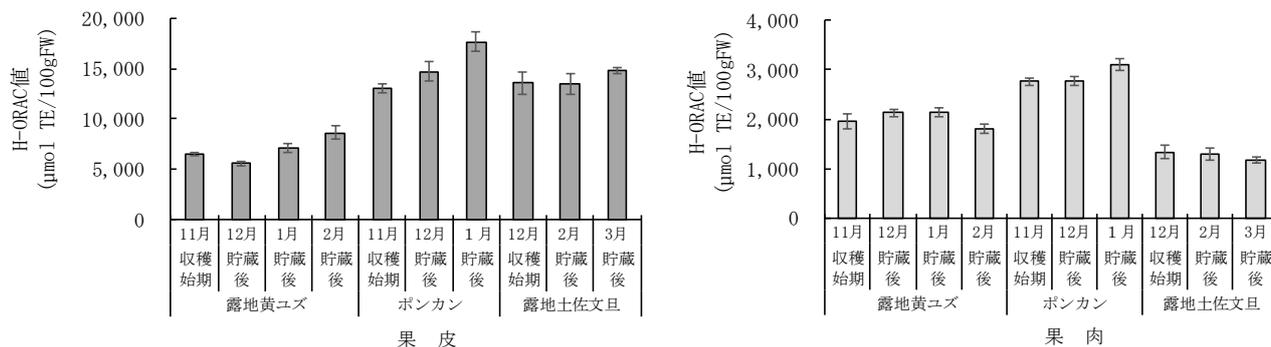


図13 露地黄ユズ、ポンカンおよび露地土佐文旦の貯蔵期間別抗酸化性(H-ORAC)

注) 図1の注釈を参照

考 察

本研究は、品目や作型も多様な高知県産カンキツの機能性成分と抗酸化性について調査し、販売戦略として有望な品目や機能性成分を見出すため、基礎的な知見を得ることを目的に実施した。

品目別および部位別に調査した結果、一般的に温州ミカンの果皮に多いヘスペリジンや果肉に多いβ-クリプトキサンチン、文旦類の果皮に多いナリンジン、果肉に多いオーラプテン、ポンカンの果皮に多いノビレチンは今回の試験でも多く含まれていることが確かめられた。

一方、本研究では、香酸カンキツの中でも青玉のマイナー品目であるぶしゅかん、直七、青ユズについては、果皮や果肉に、フラボノイド類のナリルチン、ナリンジン、ヘスペリジン、ネオヘスペリジンが比較的多く含まれることが認められた。また、果皮のβ-カロテン含量が他のカンキツよりも著しく多く特徴的だった。ぶしゅかんおよび直七の果肉にはノビレチンやタンゲレチンが一定量含まれ、青ユズの果皮および果肉にはオーラプテンが他の品目よ

りも最も多く含まれた。このように、青玉の香酸カンキツの有用性が明らかとなった。

本研究で使用した抗酸化性の分析手法は、主にビタミンやポリフェノールなどの水溶性成分の抗酸化性を測定する一般的な手法であり、比較的簡便な手法であるDPPH法と生体内で発生する活性酸素種に類似したラジカルを用いるため生体適合性が高い評価法であるORAC法¹⁴⁾の2種で評価した。なお、いずれも脂溶性のカロテノイド類の評価は十分できないとされている。

温州ミカンやポンカン、青玉の香酸カンキツ、文旦のDPPH法やH-ORAC法の値が高いことから、機能性成分との関係が示唆された。三宅⁹⁾は、ユズ等の国内10種類の香酸カンキツの全果の10種のフラボノイド総量と抗酸化活性(DPPHラジカル補足活性)は正の相関関係(R=0.772)があると報告している。さらに、エリオシトリン、ネオエリオシトリン、ヘスペリジン、ネオヘスペリジンの合計量と各香酸カンキツの抗酸化活性には高い相関(R=0.899)がみられることを報告しており、今回の試験で認められたヘス

ペリジンやネオヘスペリジンは抗酸化性への影響が高いと推察された。

ハウス栽培または露地栽培がある青ユズ、土佐文旦および小夏について栽培法の違いによる機能性成分および抗酸化性の違いを比較した。青ユズはフラボノイド類が露地栽培で多い傾向だった。小夏や土佐文旦は、ナリルチンを除いたフラボノイド類が、総じてハウス栽培で多い傾向だった。カロテノイド類は、小夏の露地栽培の方がやや多かった。オーラプテンは、土佐文旦がハウス栽培で多い傾向があった。

また、抗酸化性についても、青ユズは露地栽培で高いことが認められ、土佐文旦と小夏は一部異なる結果も認められたが、土佐文旦は露地栽培で、小夏はハウス栽培で高い傾向があることが認められた。

ハウス栽培は水管理や温度管理がコントロールでき、高品質な果実が生産されることから、機能性成分にも影響があると推察されるが、こうした栽培法別の機能性成分への影響の知見はこれまであまりなく、今後の機能性成分の有効活用の参考となると考える。

ユズの収穫時期別の機能性成分は、黄ユズと比べて青ユズで、フラボノイド類やβ-カロテン、オーラプテンが多い傾向があった。ただし、β-クリプトキサンチンは黄ユズで多かった。

廣田⁵⁾は、トマトの成熟過程を7段階に分けてクロロフィルの減少とカロテノイドの生成を報告している。トマトの成熟過程においては、クロロフィル a, bとも見かけ上その減少は緩やかで、消滅するのに20日間以上かかるのに対し、リコペンの生成は数日間で急激に増加。リコペンと前駆物質のフィトエン、フィトフルエンも成熟期までに増加を続けていると、成熟のステージによって成分は変動することを報告している。

このような成熟過程での変動はカンキツについてもみられ、例えば、福田ら¹⁾は、青ユズについて、9月より7月摘果の方が、フラバノン類(ナリルチン、ナリンギン、ヘスペリジン)で2倍強、オーラプテンで1.3倍高かったことを報告している。また、堀江ら⁶⁾は、ぶしゅかんのフラボノイド(ナリルチン、ナリンギン、ヘスペリジン、ノビレチン、タンゲレチン)について8月から12月に経時的に減少することを報告している。なお、フラバノン(ナリルチ

ン、ナリンギン、ヘスペリジン)はアルベドにやや多く含まれ、ポリメトキシフラボン(ノビレチン、タンゲレチン)はフラベドに多いことが認められている。山家¹⁵⁾らも、‘太田ポンカン’とタチバナのフラベドにおいて、成熟に従いノビレチン、タンゲレチン、ヘスペリジンが減少し、‘太田ポンカン’のフラベド中のノビレチンについては7月から12月にかけて年によって40~74%減少することを報告している。本研究においても、例えば、ユズの未熟果である青ユズと成熟果の黄ユズについて、熟期のステージの違いにより内容成分の増減が起こり、未熟の青ユズの方がフラボノイド類などの成分が多く含まれていたと考えられる。ユズ以外の品目でも摘果作業などから得られる若い果実から豊富に含んだ機能性成分を摂取でき、有効活用することも期待できる。

露地黄ユズ、ポンカンおよび露地土佐文旦の貯蔵による機能性成分の経時変化は、品目や部位によって異なる変動がみられた。

フラボノイド類については、果皮では、ナリルチンが露地黄ユズおよびポンカンで、ナリンギンが露地土佐文旦で、ノビレチンおよびタンゲレチンがポンカンでやや増加したように、果皮でやや増加しやすかった。果肉ではポンカンでナリルチン、ヘスペリジンがやや増加したものの、露地黄ユズや、土佐文旦のナリンギンで減少し、果肉では品目や成分によって異なる変動だった。

カロテノイド類については、ポンカンの果皮を除いて、果皮や果肉で増加しやすい傾向があった。

オーラプテンは、露地黄ユズの果皮を除いて、果皮や果肉で増加しやすい傾向だった。

抗酸化性については、貯蔵によって露地黄ユズおよびポンカンの果皮で増加しやすいことが明らかとなった。

なお、ポンカンの機能性成分のうち、貯蔵により果肉のノビレチンやタンゲレチン、果皮のβ-カロテンで変動が大きいのは、ポンカンで70~80%着色で収穫した後に貯蔵中に完全着色させることから他の品目と比べても果色の変化が大きいことが一定関係しているものと推察された。各機能性成分の挙動が果実内でどのように合成されているのか興味深い。

以上のことから、温州ミカンに代表されるβ-ク

リプトキサンチン以外にも、高知県産カンキツの中では、ぶしゅかん、直七、青ユズのような青玉の香酸カンキツは、果皮にナリルチン、ナリンジン、ヘスペリジン、ネオヘスペリジン、 β -カロテンを比較的多く含み、ぶしゅかん、直七については果肉にノビレチン、タンゲレチンを、青ユズについては果肉にオーラプテンも多く含むことが認められた。

これらの青玉の香酸カンキツのうち、ぶしゅかんや直七は、産地では酢ミカンとしての利用の他、搾汁して加工品が作られているが、ベルトプレス法による搾汁が行われ、果皮の成分も果汁に抽出していることが考えられる。広瀬ら⁴⁾は、シークワシャーにおいて、搾汁残渣の有効活用法として、果皮に多く含まれるノビレチンなどポリメトキシフラボン類(PMFs)を果汁に含有する抽出酢製造条件を開発しており、ぶしゅかんや直七においても、このような搾汁法を取り入れられれば、機能性成分を豊富に含むさらなる用途提案が可能となると思われる。

露地栽培よりもマルチ栽培やコンテナ栽培が β -クリプトキサンチン含量が高い²⁾ことや、マルチ栽培にさらに貯蔵前処理として一定期間一定温度下で赤色LED光照射するとフラベドの β -クリプトキサンチン含量が高くなる³⁾と報告されている。

有用な機能性成分が認められた品目について、さらに栽培法などにより成分含量を高め、非破壊で果実の機能性成分が一定量含まれると保証できる取り組みが進むと、青果としての消費拡大が期待される。また、搾汁過程でも効率よく機能性成分が抽出されれば、加工品としてさらに用途が広がる。本研究で新たにぶしゅかんや直七、青ユズの有用性が見いだされたので、機能性を切り口に特産カンキツのさらなる需要拡大が進むことを期待する。

謝 辞

本研究の実施に当たって、農業・食品産業技術総合研究機構 西日本農業研究センター 四国研究拠点(仙遊地区)作物開発利用研究領域 特産作物利用研究グループの野方洋一グループリーダーおよび阿部大吾主任研究員に分析手法をご教示いただいた。

また、品質管理担当、各農業振興センターの諸氏、関係機関には調査等にご尽力いただいた。あわせてここに深く感謝の意を表す。

利益相反の有無

すべての著書は開示すべき利益相反はない。

引用文献

- 1) 福田直大・玉井敬久・宮岡俊輔・大野一仁(2017). 愛媛県産柑橘を用いた機能性評価. 愛媛県産業技術研究所研究報告. No. 55. 39-4.
- 2) 濱崎櫻・大城晃(2003). ウンシュウミカンの果肉に含まれる β -クリプトキサンチン量に対する栽培方法や貯蔵の影響. 静岡県柑橘試験場研究報告. 第32号. 1-6.
- 3) 濱崎櫻・山家一哲(2021). マルチ栽培と貯蔵前処理の組み合わせが長期貯蔵後のウンシュウミカン果実の β -クリプトキサンチン含量に及ぼす影響. 園学研. 20(2): 157-167.
- 4) 広瀬直人, 前田剛希, 恩田聡, 正田守幸, 宮城一菜, 和田浩二, 太田英. 明(2017). シークワシャー搾汁残渣を原料とした抽出酢の開発. 日本食品科学工学会誌. 第64巻. 第2号. 81-89.
- 5) 廣田才之(1977). トマトstrainsにおけるカロテノイドに関する研究(第2報)Beta orange strainとRed strainの交配に伴う各分離系におけるカロチノイド生成量について. 日本食品工業学会誌. 第24巻. 第4号. 151-158.
- 6) 堀江祐範・多田敦美・奈良一寛(2019). 高知県産香酸柑橘‘ぶしゅかん’のフラボノイドおよびモノテルペンの評価. 美味技術学会誌. 18(1):10-17.
- 7) 生駒吉織・松本光(2009). カンキツのカロテノイド分析. 社団法人日本食品科学工学会. 平成21年度農林水産省補助事業(食料産業クラスター展開事業)食品機能性評価マニュアル集 第I集. 22-30.
- 8) 高知県農業振興部(2023). 高知県の園芸. P45.
- 9) 三宅義明(2015). 国内地域特産の香酸カンキツ果実に含まれるフラボノイドの特徴. 日本食生活学会誌. 第26巻. 第2号. 71-78.
- 10) 小川一紀(2008). カンキツのクマリン・ポリメトキシフラボノイド分析. 社団法人日本食

- 品科学工学会. 平成20年度農林水産省補助事業(食料産業クラスター展開事業)食品機能性評価マニュアル集第Ⅲ集. 8-13.
- 11) 小川一紀(2013). カンキツの加工・機能性. 日本食品科学工学会誌. 第60巻. 第10号. 603-608.
- 12) 消費者庁(2023). 機能性表示食品の届出情報検索.
- 13) 杉浦実(2017). 国産カンキツ類に多い β -クリプトキサンチンと機能性食品の開発-生鮮物で初めての機能性表示食品. 化学と生物. Vol. 55. No. 8. 566-572.
- 14) 渡辺純・沖直之・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. 生物と化学. Vol. 47. No. 4. 237-243.
- 15) 山家一哲・濱崎櫻・中嶋輝子(2020). ‘太田ポンカン’ とタチバナにおけるフラベド中フラボノイド含量の経時変化. 園芸研. 19(2) : 183-188.

Summary

This study determined the functional component contents and antioxidant properties of seven major citrus, which are Bushukan(Mochiyu), Naoshichi(Takuma-sudachi), Yuzu, Suisho-buntan, Tosa-buntan, Ponkan, and Konatsu(Hyuga-natsu), in Kochi prefecture by part(rind and pulp), cultivation method, harvest time, and storage period.

1. Vitamin C content tends to be higher in the rind than in the pulp, especially in open-field cultivated yellow Yuzu, greenhouse, and open-field cultivated Tosa-buntan, Ponkan, and Satsuma mandarin harvested in the fall and winter.
2. The flavonoids narirutin, naringin, hesperidin, and neohesperidin are relatively abundant in the rind and pulp of green citrus, such as the specialty citrus Bushukan, Naoshichi, and green Yuzu.
3. The carotenoids β -carotene content in the rind of green acid citrus, which are Bushukan, Naoshichi, and green Yuzu, is significantly higher than that of other citrus.
4. The fruit pulp of Bushukan and Naoshichi contains 30-80 $\mu\text{g}/100 \text{ g FW}$ of the flavonoids nobiletin and tangeretin, while the rind and pulp of green Yuzu contain more auraptene than the other citrus species.
5. Antioxidant properties are higher in Satsuma mandarin, Ponkan, green acid citrus, and Buntan, suggesting that functional components, which are hesperidin and neohesperidin, have a strong influence on antioxidant properties.
6. Among the cultivars grown both in greenhouses and in the open field, flavonoids tend to be higher in green Yuzu grown in the open field. Tosa-buntan shows higher levels of flavonoids and auraptens (coumarins) in greenhouse cultivation. In Konatsu, flavonoids tend to be higher in greenhouse cultivation, while carotenoids tended to be higher in open-field cultivation.
7. Comparing the functional components of Yuzu by harvest time, the unripe Yuzu (green Yuzu) tends to contain more flavonoids, β -carotene, and auraptene than the mature Yuzu (yellow Yuzu).
8. In the case of open-field cultivated yellow Yuzu, Ponkan, and Tosa-buntan, which are generally stored before eaten, the functional component content varies by storage, depending on the variety and part of the fruit. and flavonoids tend to increase in the rind. Except for β -carotene in the Ponkan rind, carotenoids also tend to increase in the rind and pulp. Auraptene tend to increase in the rind and pulp, except in the rind of open-field cultivated yellow Yuzu. Antioxidant properties tend to increase in the rind.

Key words: Bushukan(Mochiyu), Naoshichi(Takuma-sudachi), Yuzu, Suisho-buntan, Tosa-buntan, Ponkan, Hyuganatsu, satsuma mandarin, Vitamin C, flavonoids, carotenoids, coumarins, antioxidant properties

耐低温性濃果色系統「ピーマン高育交 15 号」の育成

中村美里・日置優実・細美祐子・横田真*・石井敬子**

Development of Dark Color 'Sweet Pepper Koikuko No. 15' Suitable for forcing cultivation at low temperature

Misato NAKAMURA, Yumi HIOKI, Yuko HOSOMI, Makoto YOKOTA* and Yukiko ISHII**

要 約

最低夜温 16°C 条件下の促成栽培に適した耐低温性濃果色 F₁ 系統「ピーマン高育交 15 号」を育成した。3 か年の生産力検定試験および現地実証試験において、有望と判断された。その特性の概要は以下のとおりである。

- 最低夜温 16°C 条件下において、対照品種「みおぎ」と比べて、A 品率は高く、A 品収量および可販果収量は同等以上で果皮色は濃緑色である。
- Pepper mild mottle virus* (P_{1,2}) (PMMoV (P_{1,2})) に抵抗性をもつ。

キーワード：濃果色ピーマン、耐低温性、F₁ 系統、PMMoV (P_{1,2}) 抵抗性

はじめに

ピーマンおよびシントウは高知県の主要園芸品目であり、その作付面積は 117ha、出荷量は 12,300t で、国内の出荷量の 9.3% を占める (2021 年産)⁷⁾。現在、ピーマン促成栽培の平均最低夜温は 18°C であるが、原油価格の高騰が施設園芸農家の経営を圧迫しており、燃料費削減の対策として耐低温性品種の育成が求められている。最低夜温を 18°C から 16°C に下げることにより、燃料使用量を 2,024L/10a 削減でき (高知県農業経営・指標モデルに基づく施設園芸経営総合支援システム (GMSS) により、場所：高知県高知市、ハウス：通常型、被覆資材：PO フィルム 1 層、作型：促成ピーマン、使用期間：10~4 月の条件で試算)、燃料費の削減につながる。しかし、慣行ピーマン品種では管理温度を下げることによって収量・品質の低下が懸念される。また、高知県がこれまでに育成したピーマン品種「トサミドリ」は整枝の遅れや受光不足等により果色が薄くなることが報告されており²⁾、生産者からも同様の指

摘が少なくなく、濃果色の品種開発が望まれていた。さらに、ピーマンをはじめとする *Capsicum* 属植物では防除が困難なウイルス性病害が安定生産の阻害要因の一つとなっている。PMMoV および *Tabacco mild green mosaic virus* (TMGMV) を含むトバモウイルスの発生は広範囲に認められ、その被害も甚大である。本県では P₀ 型、P_{1,2} 型、および P_{1,2,3} 型の発生が確認されており、特に P_{1,2} 型が最も広く蔓延していると考えられている¹²⁾。トバモウイルスは種子伝染や土壌伝染によって一次伝染し、発病株の汁液によって二次感染するため、対策として種子消毒および耕種的防除、発病株の抜き取りが有効とされている⁶⁾。なかでも耕種的防除は特別な防除作業や資材を必要としない、省力的で経済的な技術である。こういった対策が一般的に浸透し、2021 年の JA 高知県購買事業本部の品種別実績によると、ピーマンでは、トバモウイルス抵抗性 L³ 遺伝子を持つ品種が 97.5% を占めている。

そこで、耐低温性ピーマン品種育成の素材とするため、

*現高知県中央西農業振興センター

**現高知県環境農業推進課

現行の最低夜温より 2℃低い 16℃でも高い収量特性および果実品質を示し、トバモウイルス抵抗性 L^3 遺伝子を持つ固定系統を選抜する。さらに、選抜固定系統間での交配により、現行ピーマン品種と同等の生育、果実および収量特性を持ち、濃緑果色の F_1 品種を育成することとした。今回、耐低温性濃果色 F_1 系統「ピーマン高育交 15 号」を育成したので報告する。

本研究を実施するにあたっては、当センター園芸育種担当の各位に多大な協力をいただいた。また、現地実証試験に際しては、生産者並びに安芸農業振興センター、中央東農業振興センター、中央西農業振興センターおよび幡多農業振興センターの普及指導員にご協力いただいた。ここに記して、これらの方々に感謝の意を表す。なお、本研究の一部は、内閣府地方大学・地域産業創生交付金「IoP (Internet of Plants)」が導く「Next 次世代型施設園芸農業」への進化」の助成を受けたものである。

育成過程

2016 年度に、「トサミドリ」(高知県育成)の花粉親である「99B2-11-7-4」にパプリカ市販品種「クブラ」(ENZA ZADEN 社)を交配した後代から作出した薬培養系統のうち、低温下での収量性に優れ、トバモウイルス抵抗性遺伝子型 L^3 であると推定された「(99B2-11-7-4×クブラ)-9ac2」を選抜した。2017 年度に、果色が濃くトバモウイルス抵抗性遺伝子型 L^3 の市販品種「京まつり」(タキイ種苗(株))の薬培養系統「京まつり ac2014-9」を選抜した。2018 年度に、「京まつり ac2014-9」を種子親、「(99B2-11-7-4×クブラ)-9ac2」を花粉親とする、 F_1 系統「2018 試交 13」を育成した(図 1)。

2018 年度に所内にて生産力検定を行い、「2018 試交 13」は対照品種「みおぎ」((公財)園芸植物育種研究所)と同等以上の収量で果実品質が優れていたため、「ピーマン高育交 15 号」と付番した。

材料および方法

1. 「ピーマン高育交 15 号」の生産力検定

試験は当センター内のビニルハウスで 2018 年度、2020

年度および 2022 年度の 3 か年実施した。2022 年度はビニルハウスに加えてフェンロー型プラスチックハウスでも試験を行い、ハイワイヤー養液栽培における生産力についても評価した。検定系統として「ピーマン高育交 15 号」、対照品種として「みおぎ」、参考品種として「トサミドリ」を供試した。

2018 年度には、2018 年 8 月 6 日に播種し、9 月 12 日に定植した。試験規模は 1 区 4 株、無反復とした。2020 年度は 2020 年 8 月 5 日に播種し、9 月 9 日に定植した。試験規模は 1 区 5 株、2 反復とした。栽植様式は、両年度ともうね幅 165cm、株間 55cm、1 条植え、主枝 4 本仕立てとした。ハウス管理温度は、2018 年度は、最低夜温度 16℃、強制換気開始温度を 28℃、2020 年度には、最低夜温度 16℃、強制換気開始温度を 27~28℃とした。基肥には、両年度とも配合肥料(商品名:レオボン 6 号、スミカエース 10)を用い、N、 P_2O_5 、 K_2O をそれぞれ 3.2、3.5、2.4kg/a、ケイントップ 120kg/a、アルカリ資材 19.6kg/a(商品名:マグライト 9.6kg/a、ハイグリーン 10kg/a)とともに施用した。ほ場の土壌消毒は蒸気消毒機により行った。

2022 年度は 2022 年 8 月 3 日に播種し、9 月 13 日に定植した。試験は土耕栽培およびハイワイヤー養液栽培で行い、試験規模はいずれも各 5 株、反復なしとした。栽植様式は、土耕栽培はうね幅 165cm、株間 50cm、2 条植え、主枝 2 本仕立てとした。ハウス管理温度は、最低夜温度を 16℃、強制換気開始温度を 27~28℃とした。基肥は 2019 年度および 2020 年度と同じとした。ほ場の土壌消毒は低濃度エタノールによる土壌還元処理により行った(商品名:エコロジアル、液肥混入器を用いて 1%濃度エタノールで処理)。ハイワイヤー養液栽培はうね幅 180cm、条間 40cm、株間 33cm、2 条植え、主枝 2 本仕立てとした。ハウス管理温度は、最低夜温を 16℃、強制換気開始温度を 27~28℃とした。養液組成は大塚ハウス肥料 B 処方(園試処方準拠)に基づき、EC1.4~1.6mS/m で給液した。養液の給液方法はかけ流し方式とし、給液量は排液率 30~40%に調節した。

収量特性として、2018 年度は 2019 年 5 月 31 日まで、2020 年度は 2021 年 6 月 30 日まで、2022 年度は 2023 年



図1 「ピーマン高育交 15号」の育成経過

5月29日まで、収穫果の果実重を等級別に計量した。収穫果実の目安は30gとし、等級判別はJA高知県出荷規格に基いた。

果実特性として、2018年度は2019年1月21日にそれぞれ10果、2020年度は2021年1月20日～1月25日にそれぞれ20果、2022年度は2023年3月6日にそれぞれ5果、6月6日にそれぞれ5果について調査した。調査項目は果色、しわ、光沢、果揃い、こうあ部の深さ、果頂部の形状、果重、果長、果幅、果皮硬度、心室数、果肉厚とした。また、2020年度、2022年度には果皮の明度—L*—および色度—a*、b*—調査も併せて行った。なお、果皮の明度および色度調査は、2020年度には色差計（株）日本電色工業NF333）、2022年度には分光測色計（コニカミノルタ（株）CM-700d）により行った。

栽培初期の成育特性として、2018年度は2018年10月1日にそれぞれ4株、2020年度は2020年10月1日にそれぞれ10株、2022年度は2022年10月12日にそれぞれ5株について調査した。調査項目は草勢、第一分枝下側枝の吹き、主茎径、主茎長、第一花開花日とした。また、2018年度および2020年度は葉長、葉幅、葉柄長、草丈についても調査した。2022年度は主枝長、主枝節数、節間長についても調査した。摘心時期の生育特性として、2018年度は2018年11月28日にそれぞれ4株、2020年度は2020年11月10日にそれぞれ10株、2022年度は土耕栽培では2022年12月27日にそれぞれ5株、ハイワイヤー養液栽培では2023年4月17日にそれぞれ5株調査した。調査項目は草勢、葉の大きさ、主枝長、主枝節数、節間長とした。2018年度および2020年度は主茎径、主枝径についても調査した。

2. 「ピーマン高育交15号」および親系統のトバモウウイルス抵抗性検定

供試系統として「ピーマン高育交15号」、「(99B2-11-7-4×クブラ)-9ac2」および「京まつり ac2014-9」、対照品種・系統として「昌介」（同抵抗性L⁺遺伝子型品種系統）、「チャガマラン」（同L⁺遺伝子型、高知県育成）³⁾、「台パワー」（同抵抗性L⁺遺伝子型品種、農研機構育成）¹⁰⁾、「L4台パワー」（トバモウウイルス抵抗性L⁺遺伝子型品種、農研機構育成）⁸⁾を用いた。2020年5月20日に50穴セルトレイに各品種・系統を10粒播種し、ガラス温室で育苗した。TMGMV (P₀)を50ng/mL、PMoV (P_{1,2})を10ng/mLに調整し、検定植物の本葉にカーボランダム法で6月11日に接種した。接種後は23℃恒温、16時間日長のインキュベーター内で管理した。6月17日に目視によるえそ斑の確認およびDot immunobinding assay (以下、DIBA法)^{1,11)}によるウイルス検出を行った。

3. 「ピーマン高育交15号」の現地実証試験

2020年度および2022年度に、「ピーマン高育交15号」の現地実証試験を安芸市で2戸、土佐市で1戸、四万十市で1戸、香南市で1戸、南国市で1戸の計6戸で実施した。耕種概要は表9に示した。

収量特性として、生産者が計量したA品、A品以外の重量について聞き取り調査した。調査期間は、安芸市1では2020年10月～2021年3月、四万十市では2020年12月～2021年3月、香南市では2022年10月～2023年6月、南国市では2022年10月～2023年4月とした。

果実特性として、安芸市1および安芸市2では2021年1月5日、土佐市では同年1月18日、四万十市では同年1月28日に、それぞれ5果について、果色、こうあ部の深さ、果頂部の形状、果長、果幅、果重、果肉厚、果皮硬度を調査した。

生育特性調査は、摘心期に行った。調査日は安芸市1では2020年11月2日、安芸市2では2020年9月30日、土佐市では2020年10月19日、四万十市では2020年10月29日とし、調査項目は、それぞれ5株の主茎長、主茎径、主枝長、主枝節数とした。

結 果

1. 「ピーマン高育交15号」の生産力検定

1) 収量特性

供試系統・品種の収量特性を表1に示した。「ピーマン高育交15号」の収量特性は対照品種、参考品種と比べ次のとおりであった。2018年度における全期間の可販果収量は16.8kg/m²、A品収量は12.1kg/m²、A品率は65.7%で、「みおぎ」と比べ可販果収量は同程度であるが、A品収量は多く、A品率は高かった。また、厳寒期の可販果収量は5.6kg/m²、A品収量は3.7kg/m²、A品率は64.0%で、「みおぎ」および「トサミドリ」と比べ収量は多く、A品率は高かった。2020年度における全期間の可販果収量は19.7kg/m²、A品収量は17.6kg/m²、A品率は85.6%で、「みおぎ」と比べ収量は多く、A品率は高かった。また、厳寒期の可販果収量は5.9kg/m²、A品収量は5.0kg/m²、A品率は83.3%で、「みおぎ」および「トサミドリ」と比べ収量は多く、A品率は高かった。2022年度土耕栽培における全期間の可販果収量は15.1kg/m²、A品収量は14.8kg/m²、A品率は96.4%で、「みおぎ」および「トサミドリ」と可販果収量は同程度であるが、A品収量は多く、A品率は高かった。また、厳寒期の可販果収量は5.6kg/m²、A品収量は5.6kg/m²、A品率は98.2%で、「みおぎ」と収量は同程度であるが、A品率は高かった。2022年ハイワイヤー養液栽培における全期間の可販果収量は12.8kg/m²、A品収量は12.1kg/m²、A品率は91.1%で、「みおぎ」および「トサミ

ドリ' に比べ、可販果収量およびA品収量は多く、A品率は高かった。厳寒期の可販果収量は6.0kg/m²、A品収量は6.0kg/m²、A品率は97.4%で、可販果収量およびA品収

量、A品率は'みおぎ' および'トサミドリ' と比べ高かった。

表1 収量特性

試験年度	栽培様式	系統・品種	収穫期間 ^{z)}	可販果収量 ^{y)} (kg/m ²)	A品収量 (kg/m ²)	A品率 (%)
2018	土耕栽培 1条4本仕立て	ピーマン高育交15号	全期	16.8	12.1	65.7
			厳寒期	5.6	3.7	64.0
		みおぎ(対照)	全期	16.7	8.3	40.4
			厳寒期	5.0	2.3	39.9
		トサミドリ(参考)	全期	17.3	12.3	59.7
			厳寒期	4.9	3.3	57.0
2020	土耕栽培 1条4本仕立て	ピーマン高育交15号	全期	19.7	17.6	85.6
			厳寒期	5.9	5.0	83.3
		みおぎ(対照)	全期	18.4	10.8	51.3
			厳寒期	5.3	2.8	46.2
		トサミドリ(参考)	全期	19.9	16.3	74.1
			厳寒期	5.4	4.2	71.3
2022	土耕栽培 2条2本仕立て	ピーマン高育交15号	全期	15.1	14.8	96.4
			厳寒期	5.6	5.6	98.2
		みおぎ(対照)	全期	14.9	11.9	77.0
			厳寒期	6.0	5.4	88.0
		トサミドリ(参考)	全期	15.5	14.2	89.8
			厳寒期	6.4	6.2	95.3
	ハイワイヤー 養液栽培 2条2本仕立て	ピーマン高育交15号	全期	12.8	12.1	91.1
			厳寒期	6.0	6.0	97.4
		みおぎ(対照)	全期	12.1	9.1	69.7
			厳寒期	5.5	4.8	84.8
		トサミドリ(参考)	全期	11.2	10.4	88.4
			厳寒期	4.7	4.5	95.2

z) 調査日(全期)：2018：2018年10月12日～2019年5月31日。2020：2020年10月12日～2021年6月30日。
2022：2022年10月24日～2023年5月29日。

調査日(厳寒期)：各年度の12月～2月。

y) 収穫果の等級区分はJA高知県出荷規格により、可販果はA及びマルAとした。

2) 果実特性

供試系統・品種の果実特性を表2に示した。「ピーマン高育交15号」の果実特性は対照品種、参考品種と比べて次のとおりであった。「みおぎ」と比べ果重はやや重く、果皮硬度はやや高く、果肉はやや厚かった。しわは、「トサミドリ」に比べ少ないか同程度で、「みおぎ」に比べ少なかった。光沢、心室数は同程度で、果揃いは中～やや良で「みおぎ」と比べ同程度か良い傾向だった。こうあ部の深さ、果頂部の形状は年度により違いがみられた。果長、果幅は年度によって異なり「みおぎ」および「トサミドリ」と比べ、2018年度および2020年度は縦横比1.8～2.0で同程度、2022年度は縦横比1.5と小さかった。

供試系統・品種の果実の写真を図2、果皮の明度および彩度を表3、図3、図4に示した。「ピーマン高育交15号」の果色は、いずれの調査年度および調査時期においても、「みおぎ」および「トサミドリ」に比べ明度および彩度の値が小さく、濃緑色であった。色相角度—h—は90度が黄

色、180度が緑色を示すため、「ピーマン高育交15号」は「みおぎ」および「トサミドリ」に比べ黄みが少なく緑に近い色相であった。

栽培様式および収穫時期における果皮の明度および彩度を比べると次のとおりであった。「ピーマン高育交15号」はいずれの栽培様式、収穫時期においても明度は同程度であった。

土耕栽培ではハイワイヤー養液栽培と比べ、彩度は大きく、色相角度はやや小さくなった。収穫時期による各値の変化および標準偏差は小さかった。「みおぎ」はいずれの栽培様式、収穫時期においても明度および彩度は同程度であった。土耕栽培ではハイワイヤー養液栽培に比べて色相角度が小さかった。「トサミドリ」では土耕栽培に比べハイワイヤー養液栽培で彩度および色相角度が大きかった。また、土耕栽培における2023年3月と6月の測定結果を比較すると明度および彩度が大きくなった。

表2 果実特性²⁾

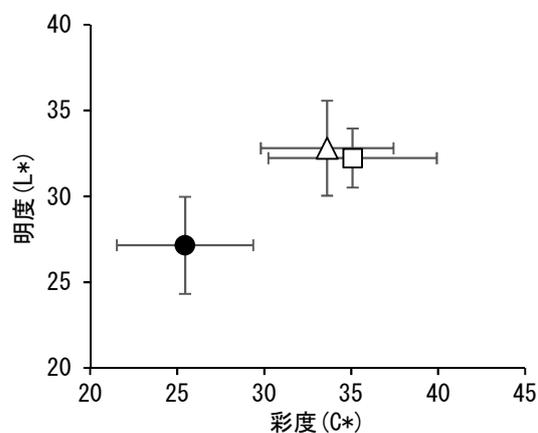
試験年度	系統・品種	果色 ^{y)}	しわ ^{y)}	光沢 ^{y)}	果揃い	こうあ部の深さ ^{y)}	果頂部の形状 ^{y)}	果重 (g)	果長 (cm)	果幅 (cm)	縦横比	果皮硬度 (g/3mmφ)	心室数 ^{y)}	果肉厚 (mm)
2018	ピーマン高育交15号	濃緑	中	中	中	やや凹	平	36	8.5	4.3	2.0	0.9	3	2.3
	みおぎ(対照)	緑	やや多	中	やや不良	平	平	34	8.4	4.5	1.8	0.8	3	2.2
	トサミドリ(参考)	緑	中	中	中	やや凹	平	31	7.8	4.1	1.9	0.9	3	2.4
2020	ピーマン高育交15号	やや濃緑	中	中	やや良	浅	やや凹	34	7.6	4.2	1.8	0.9	3	2.5
	みおぎ(対照)	緑	多	中	やや不良	浅	やや凹	32	8.3	4.2	2.0	0.7	3	2.3
	トサミドリ(参考)	緑	中	中	やや不良	中	やや凹	32	8.0	4.2	1.9	0.8	3	2.4
2022 土耕栽培	ピーマン高育交15号	濃緑	少	やや多	中	やや凹	やや凹	36	6.9	4.4	1.5	0.5	3	2.9
	みおぎ(対照)	緑	中	中	中	やや凹	やや凹	30	7.6	4.3	1.7	0.4	3	2.1
	トサミドリ(参考)	緑	中	中	中	やや凹	やや凹	32	7.6	4.3	1.8	0.4	3	2.3
2022 ハイワイヤー 養液栽培	ピーマン高育交15号	濃緑	少	中	やや良	平	平	37	6.9	4.5	1.5	0.5	4	2.8
	みおぎ(対照)	緑	中	中	中	やや凹	やや凹	28	7.5	4.2	1.8	0.5	3	2.2
	トサミドリ(参考)	緑	中	中	中	やや凹	やや凹	27	7.1	4.1	1.7	0.4	3	2.3

2) 調査日：2018；2019年1月21日に10果、2020；2021年1月20日～1月25日に20果、2022；2023年3月6日に5果、同年6月6日に5果。

y) 最頻値。



図2 「ピーマン高育交15号」の果実
(2020年12月2日撮影)



●ピーマン高育交15号 □みおぎ △トサミドリ

図3 果皮の明度および彩度(2020年度)²⁾

z) 2021年1月20日から1月25日に20果調査。

色差計は(株)日本電色工業NF333を使用。

$$\text{彩度}(C^*) = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$$

表3 果色²⁾

試験年度	系統・品種	調査日：2023年3月6日			調査日：2023年6月6日			平均		
		L*	c* ^{y)}	h ^{x)}	L*	c* ^{y)}	h ^{x)}	L*	c* ^{y)}	h ^{x)}
2020	ピーマン高育交15号	—	—	—	—	—	—	26.8	25.4	128.1
	みおぎ(対照)	—	—	—	—	—	—	32.2	35.0	125.3
	トサミドリ(参考)	—	—	—	—	—	—	32.8	33.5	123.1
2022 土耕栽培	ピーマン高育交15号	28.5	12.6	121.8	28.3	13.0	122.8	28.4	12.8	122.2
	みおぎ(対照)	35.7	20.5	114.2	34.9	22.4	114.1	35.3	21.4	113.7
	トサミドリ(参考)	33.2	21.3	114.7	37.3	25.3	112.3	35.2	23.3	113.2
2022 ハイワイヤー 養液栽培	ピーマン高育交15号	28.5	9.7	126.8	28.1	11.1	125.4	28.3	10.4	125.7
	みおぎ(対照)	34.1	20.4	117.1	35.9	21.9	115.9	35.0	21.1	116.3
	トサミドリ(参考)	34.7	21.7	115.6	35.5	22.1	116.1	35.1	21.9	115.7

z) 調査日：2020；2021年1月20日～1月25日に20果調査。色差計は(株)日本電色工業NF333を使用。

2022；2023年3月6日に5果、同年6月6日に5果調査。分光測色計(コニカミノルタ(株)CM-700d)を使用。

y) 彩度(C*) = $\sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$

x) 色相角度(h) = $\tan^{-1}(b^*/a^*)$

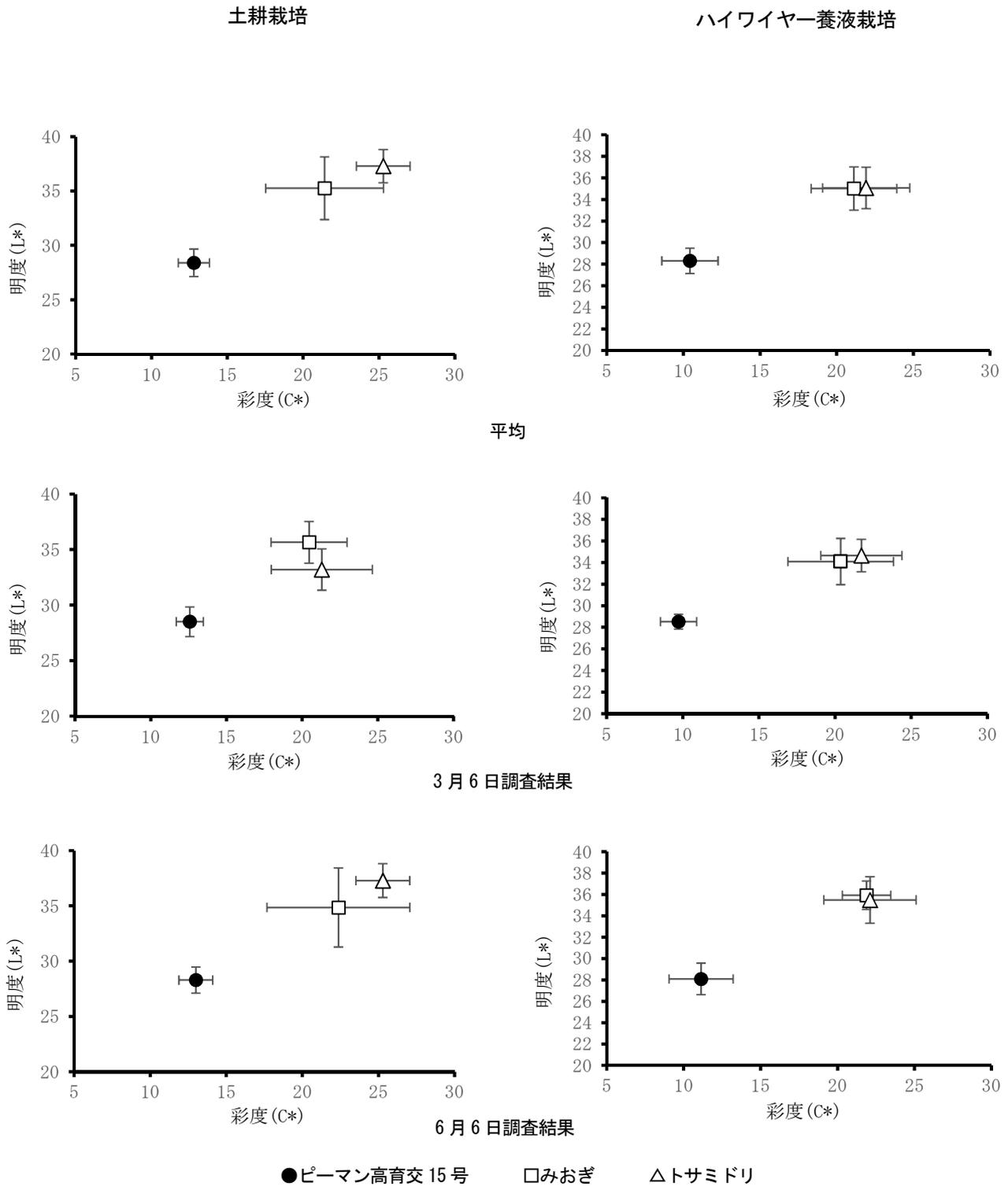


図4 果皮の明度および彩度(2022年度)²⁾

2) 2023年3月6日に5果、同年6月6日に5果について調査。
 分光測色計(コニカミノルタ(株)CM-700d)を使用。
 $彩度(C*) = \sqrt{(a*)^2 + (b*)^2}$
 エラーバーは標準偏差を示す。

3) 生育特性

2018年度および2020年度の供試系統・品種の栽培初期の生育特性を表4に示した。「ピーマン高育交15号」の草勢は「みおぎ」、「トサミドリ」と同程度かやや弱く、第1分枝下の側枝の吹きは同程度かやや弱かった。主茎長は同程度かやや長く、主茎径は同程度で、主茎節数はやや少ないか同程度であった。葉身長および葉幅はやや長かった。また、第1花開花日はやや遅かった。

供試系統・品種の摘心期の生育特性を表5に示した。

「ピーマン高育交15号」の草勢は「みおぎ」と同程度か強く、葉の大きさは同程度かやや大きかった。主茎径および主枝径はやや太かった。主枝節数は「みおぎ」より1節程度少なかった。

2022年度栽培初期の生育特性を表6に示した。「ピーマン高育交15号」の草勢は「みおぎ」および「トサミドリ」と同等で、第一分枝下の側枝の吹きは同程度かやや強かった。主茎径は同程度だった。主茎長は土耕栽培では「みおぎ」および「トサミドリ」に比べて長く、ハイワイヤー

養液栽培では「トサミドリ」に比べて長く「みおぎ」に比べて短かった。主枝長は土耕栽培では「みおぎ」および「トサミドリ」に比べて長く、ハイワイヤー養液栽培では「みおぎ」および「トサミドリ」に比べて短かった。また、節数はいずれの栽培においても「みおぎ」、「トサミドリ」に比べて少なかった。節間長は土耕栽培では最も長く、養液栽培では同等だった。第1花開花日はやや遅かった。

2022年度摘心期の生育特性を表7に示した。「ピーマン高育交15号」の草勢はやや強く、葉の大きさは土耕栽培では同等だが、ハイワイヤー養液栽培ではやや大きかった。節間長はいずれの栽培においても長く、「みおぎ」および「トサミドリ」に比べ3~4節程度節数が少なかった。

2. 「ピーマン高育交15号」および親系統のタバモウイルス抵抗性検定供試系統・品種のタバモウイルス抵抗性検定の結果を表8に示した。対照系統・品種の「昌介」、「チャガマラン」、「台パワー」、「L4台パワー」はTMGMVおよびPMMoV(P_{L2})に対し、それぞれ既報と同じL遺伝子型の

表4 栽培初期の生育特性(1)²⁾

試験年度	系統・品種	草勢	第1分枝下側枝の吹き	主茎径 ^{y)} (mm)	主茎長(cm)	主枝節数	葉長 ^{x)} (cm)	葉幅 ^{x)} (cm)	葉柄長 ^{x)} (cm)	草丈(cm)	第1花開花日
2018	ピーマン高育交15号	やや弱	中	8.3	30.9	8.3	22.8	10.7	9.8	48.5	9月24日
	みおぎ(対照)	中	中	8.6	28.4	8.8	19.9	8.5	10.4	56.6	9月21日
	トサミドリ(参考)	中	やや強	8.8	30.9	10.3	23.1	10.0	9.5	54.3	9月22日
2020	ピーマン高育交15号	中	中	10.4	34.0	12.1	21.0	9.7	8.7	58.0	9月22日
	みおぎ(対照)	中	やや強	10.4	31.1	12.0	21.1	8.4	9.3	65.6	9月19日
	トサミドリ(参考)	中	やや強	9.3	28.1	13.4	19.4	8.3	7.9	53.9	9月19日

z) 調査日：2018：2018年10月1日に4株。2020：2020年10月1日に10株。

y) 2018は地際から第1分枝までの中間部を測定。2020は分枝下3~4節目の中央部を測定。

x) 第1分枝の葉を測定。

表5 摘心時期の生育特性(1)²⁾

試験年度	系統・品種	草勢	葉の大きさ	主茎径 ^{y)} (mm)	主枝径 ^{x)} (mm)	主枝長(cm)	主枝節数(節)	節間長
2018	ピーマン高育交15号	中	中	14.9	8.5	122	18.8	-
	みおぎ(対照)	中	中	14.5	8.0	114	19.6	-
	トサミドリ(参考)	中	中	14.3	8.1	103	19.1	-
2020	ピーマン高育交15号	やや強	やや大	15.9	6.6	91	14.9	中
	みおぎ(対照)	中	中	15.4	6.2	95	15.9	中
	トサミドリ(参考)	やや弱	中	14.1	5.9	76	15.1	やや短

z) 調査日：2018：2018年11月28日に4株。2020：2020年11月10日に10株。

y) 2018：地際から第1分枝までの中央部を測定。2020：第1分枝下3から4節目の中央部を測定。

x) 2018：第一分枝から4~5節目の中央部を測定。2020：第一分枝から5~6節目の中央部を測定。

表6 栽培初期の生育特性(2)²⁾

試験年度	系統・品種	草勢	第1分枝下側枝の吹き	主茎径 ^{y)} (mm)	主茎長(cm)	主枝長(cm)	主枝節数(節)	節間長 ^{x)} (cm)	第1花開花日
2022 土耕栽培	ピーマン高育交15号	中	やや強	9.6	34.8	43	4.9	8.7	9月24日
	みおぎ(対照)	中	中	9.9	27.6	39	5.4	7.2	9月21日
	トサミドリ(参考)	中	やや強	9.6	26.4	38	5.6	6.8	9月21日
2022 ハイワイヤー 養液栽培	ピーマン高育交15号	中	やや強	10.0	37.8	50	5.8	8.6	9月24日
	みおぎ(対照)	中	中	9.9	40.4	64	7.2	8.9	9月22日
	トサミドリ(参考)	中	やや強	9.9	34.6	58	6.6	8.8	9月23日

z) 調査日：2022年10月12日に各系統5株ずつ調査。

y) 地際から第1分枝までの中間部を測定。

x) 節間長=主枝長÷節数

表7 摘心時期の生育特性(2)

試験年度	系統・品種	草勢	葉の 大きさ	主枝長 (cm)	主枝節数 (節)	節間長 ^{x)}
2022 土耕栽培 ^{z)}	ピーマン高育交15号	やや強	中	111	12.3	9.1
	みおぎ(対照)	中	中	112	16.0	7.0
	トサミドリ(参考)	やや弱	中	108	16.8	6.4
2022 ハイワイヤー ^{y)} 養液栽培	ピーマン高育交15号	やや強	やや大	219	22.3	9.8
	みおぎ(対照)	中	中	222	24.9	8.9
	トサミドリ(参考)	中	中	226	26.2	8.6

z) 調査日：2022年12月27日に各系統5株ずつ調査。

y) 調査日：2023年4月17日に各系統5株ずつ調査。

x) 節間長＝主枝長÷節数

表8 トバモウイルス抵抗性検定^{z)}

品種・系統	TMGMV (P ₀) 接種後の症状										PMMoV (P _{1,2}) 接種後の症状										推定される トバモウ イルス抵抗性 遺伝子型	
	接種葉					上位葉					接種葉					上位葉						
	供試 株数	個体数	検出の 有無		個体数	検出の有無		判別 不能	供試 株数	個体数	検出の 有無		個体数	検出の有無								
ピーマン高育交15号	5	5	0	4	1	0	5	0	5	0	5	5	0	5	0	0	5	0	5	0	5	L ³
(99B2-11-7-4×クブラ)-9ac2	5	5	0	4	1	0	5	0	3	2	5	5	0	5	0	0	5	0	5	0	5	L ³
京まつり ac2014-9	4	4	0	4	0	0	4	0	4	0	5	5	0	5	0	0	5	0	5	0	5	L ³
昌介(L ¹ 遺伝子型)	5	0	5	5	0	0	5	5	0	0	5	0	5	5	0	0	5	5	0	0	0	-
チャガマラン(L ^{1g} 遺伝子型)	5	5	0	4	1	0	5	0	5	0	5	0	5	5	0	0	5	4	1	0	0	-
台パワー(L ³ 遺伝子型)	4	4	0	4	0	0	4	0	4	0	5	5	0	5	0	0	5	1	4	0	0	-
L4台パワー(L ⁴ 遺伝子型)	4	2	2	2	2	0	4	0	4	0	4	4	0	4	0	0	4	0	4	0	4	-

z) 2020年6月11日にカーボランダム法による接種(TMGMV:50ng/10mL, PMMoV (P_{1,2}):10ng/10mL)、同年6月17日に目視によるえそ斑の確認およびDIBA法によるウイルス検出。

LL:局部えそ, SN:全身えそ, SL:無病徴, +:ウイルス検出(DIBA法), -:ウイルス非検出(DIBA法)

反応を示した。「ピーマン高育交15号」および親系統である「(99B2-11-7-4×クブラ)-9ac2」,「京まつり ac2014-9」は, TMGMV 接種では, 接種葉にえそ症状がみられ, DIBA 法によるウイルス検定では TMGMV が検出されたが, 上位葉は無病徴であり, DIBA 法では TMGMV は検出されなかった。PMMoV (P_{1,2}) 接種では, 接種葉にえそ症状がみられ, DIBA 法では PMMoV (P_{1,2}) が検出されたが, 上位葉は無病徴であり, DIBA 法では PMMoV (P_{1,2}) は検出されなかった。

3. 「ピーマン高育交15号」の現地実証試験

1) 収量特性

「ピーマン高育交15号」と対照品種の収量特性を表10に示した。安芸市1および四万十市においては「ピーマン高育交15号」のA品収量は対照品種より多かった。香南市および南国市では対照品種よりもA品収量が少なかった。総収量は試験場所により異なる傾向を示した。「ピーマン高育交15号」のA品率は香南市を除いて対照品種に比べて高かった。

表9 現地実証試験における耕種概要

試験場所	品種・系統 ^{z)}	備考
安芸市1	試験区: 「ピーマン高育交15号」(11株/実生) 対照区: 「みおぎ」(実生)	播種日: 2020年8月10日 定植日: 2020年9月4日 栽培方法: 土耕栽培 栽植様式: うね幅170cm, 株間35cm, 1条植え, 主枝2本仕立て 最低夜温: 18~20℃
安芸市2	試験区: 「ピーマン高育交15号」(20株/実生) 対照区: 「みおぎ」(実生)	播種日: 2020年7月5日 定植日: 2020年7月30日 栽培方法: 養液栽培(ロックウール) 栽植様式: うね幅135cm, 株間30cm, 1条植え, 主枝2本仕立て 最低夜温: 18℃
土佐市	試験区: 「ピーマン高育交15号」(13株/実生) 対照区: 「みおぎ」(実生)	播種日: 2020年7月28日 定植日: 2020年8月25日 栽培方法: 養液土耕栽培 栽植様式: 畝幅180cm, 株間60cm, 2条植え, 主枝2本仕立て 最低夜温: 18~19℃, 着果数や時期によりプレナイトドロップ(16℃)を実施
四万十市	試験区: 「ピーマン高育交15号」(10株/「台助」) 対照区: 「みはた2号」(「台助」)	定植日: 2020年8月19日 栽培方法: 養液土耕栽培 栽植様式: うね幅140cm, 株間70cm, 1条植え, 主枝4本仕立て 最低夜温: 16℃
香南市	試験区: 「ピーマン高育交15号」(350株/「台助」) 対照区: 「みおぎ」(台木「台助」)	定植日: 2022年9月17日 栽培方法: 土耕栽培 栽植様式: うね幅160cm, 株間60cm, 1条植え, 主枝4本仕立て 最低夜温: 20℃
南国市	試験区: 「ピーマン高育交15号」(150株/「みやざき台木5号」) 対照区: 「みおぎ」(「みやざき台木5号」)	定植日: 2022年9月4日 栽培方法: 土耕栽培 栽植様式: うね幅150cm, 株間60cm, 2条植え, 主枝2本仕立て 最低夜温: 20℃

z) ()内は試験区の定植株数および台木品種を示す

2) 果実特性

「ピーマン高育交15号」と対照品種の果実特性を表11に示した。「ピーマン高育交15号」の果実特性は対照品種と比べいずれの試験場所でも次のとおりの傾向であった。すなわち、果色は濃く、やや濃緑から濃緑、こうあ部の深さ、果長、果幅、縦横比は対照品種と同程度、果重はやや重く、果肉は厚く、果皮硬度は高かった。

3) 生育特性

「ピーマン高育交15号」と対照品種の生育特性を表12に示した。「ピーマン高育交15号」の主茎長は、対照品種と比べやや長〜長く、主茎径はやや太い傾向がみられ、主枝長は同程度であった。主枝節数は同程度か2節程度の差であった。

表10 現地実証試験における収量特性

試験場所	系統・品種	A品 (kg/m ²)	A品以外 (kg/m ²)	総収量 (kg/m ²)	A品率 (%)
安芸市 ^{z)}	ピーマン高育交15号	11.3	1.2	12.5	90.3
	みおぎ(対照)	7.3	3.7	11.0	66.1
四万十市 ^{y)}	ピーマン高育交15号	9.0	0.4	9.4	95.6
	みはた2号(対照)	8.2	1.5	9.7	84.7
香南市 ^{x)}	ピーマン高育交15号	6.9	1.6	8.5	79.9
	みおぎ(対照)	15.9	2.9	18.8	83.4
南国市 ^{w)}	ピーマン高育交15号	18.2	0.3	18.5	98.2
	みおぎ(対照)	19.8	2.6	22.4	89.7

z) 調査期間：2020年10月～2021年3月。各系統10株調査し、面積当たり重量(kg/m²)に換算した。

y) 調査期間：2020年12月～2021年3月。「ピーマン高育交15号」は10株、「みはた2号」は48株調査し、面積当たり重量(kg/m²)に換算した。

x) 調査期間：2022年10月～2023年6月。各系統5株調査し、面積当たり重量(kg/m²)に換算した。

w) 調査期間：2022年10月～2023年4月。各系統5株調査し、面積当たり重量(kg/m²)に換算した。

表11 現地実証試験における果実特性

検定場所	品種・系統	果色	こうあ部の深さ	果頂部の形状	果長 (cm)	果幅 (cm)	縦横比	果重 (g)	果肉厚 (mm)	果皮硬度 (g/3mmφ)
安芸市 ^{z)}	ピーマン高育交15号	やや濃緑	浅	平	8.0	3.9	2.0	33	2.2	1.0
	みおぎ(対照)	緑	浅	やや凸	7.9	4.2	1.9	31	1.7	0.8
安芸市 ^{z)}	ピーマン高育交15号	やや濃緑	浅	やや凹	7.7	4.3	1.8	40	2.4	1.1
	みおぎ(対照)	緑	浅	やや凹	7.9	4.1	1.9	31	1.9	0.9
土佐市 ^{y)}	ピーマン高育交15号	濃緑	浅	平	7.3	4.0	1.8	33	2.7	1.0
	みおぎ(対照)	緑	浅	やや凹	7.7	4.2	1.8	31	2.3	0.9
四万十市 ^{x)}	ピーマン高育交15号	やや濃緑	浅	やや凹	7.3	4.1	1.8	32	2.5	0.9
	みはた2号(対照)	緑	浅	やや凸	7.6	4.2	1.8	30	2.2	0.9

z) 2021年1月5日にAM品5果を調査。

y) 2021年1月18日にAM品5果を調査。

x) 2021年1月28日にAM品5果を調査。

表12 現地実証試験における摘心期の生育特性

検定場所	系統・品種	主茎長 (cm)	主茎径 ^{u)} (mm)	主枝長 (cm)	主枝 節数
安芸市 ^{z)}	ピーマン高育交15号	36.8	12.7	87	12
	みおぎ(対照)	34.2	11.1	79	12
安芸市 ^{y)}	ピーマン高育交15号	29.4	18.3	105	12
	みおぎ(対照)	26.0	17.2	109	10
土佐市 ^{x)}	ピーマン高育交15号	39.2	12.7	97	11
	みおぎ(対照)	31.6	12.8	104	12
四万十市 ^{w)}	ピーマン高育交15号	37.0	15.6	107	13
	みはた2号(対照)	32.0	15.4	103	11
香南市 ^{v)}	ピーマン高育交15号	47.0	15.7	106	12
	みおぎ(対照)	26.0	14.3	107	15
南国市 ^{v)}	ピーマン高育交15号	-	14.4	73	9
	みおぎ(対照)	-	14.5	79	9

z) 2020年11月2日に5株調査.

y) 2020年9月30日に5株調査.

x) 2020年10月19日に5株調査.

w) 2020年10月29日に5株調査.

v) 2022年12月に5株調査.

u) 主茎径は分枝下から3~4節目の中央部を測定.

考 察

ピーマンと同じ *Capsicum* 属のトウガラシは、15°C以下になると生育が不良になり、落花や着果不良などにより収量が著しく減少するとされている⁹⁾。しかし、「ピーマン高育交15号」の可販果収量およびA品収量は、いずれの試験年度でも最低夜温16°Cの条件で対照品種「みおぎ」を上回った。また、ピーマンの低温栽培では特に夜間の低温によって、花粉の発芽が不良となるために石果が発生しやすく、花器の発育が異常となり小型で不整形な果実となるために⁹⁾、果実品質が低下しやすいと考えられる。しかし、本試験において、「ピーマン高育交15号」のA品率は栽培全期通して高く、厳寒期においても高く維持されていることから、夜間の低温による果実品質への影響は小さかったと推察される。これらのことから、「ピーマン高育交15号」は低温への耐性を有することが示唆された。今後は、「ピーマン高育交15号」を有望な耐低温性濃果色系統として現場導入を図るとともに、低温下でも収量性、花粉稔性が高い品種を育成するための育種素材として活用する。

「ピーマン高育交15号」は、「みおぎ」、「トサミドリ」に比べて明度および彩度の値が小さく濃い果色であった。これは、果皮の明度が小さいほど黒に近い果色、彩度が小さいほど灰色に近い果色となり、目視では暗く濃い色に見えるためである。また、色差計で測定した明度および彩度について、「ピーマン高育交15号」は個体による色のばらつきが小さかった。2023年3月と6月の測定結果を比較すると「トサミドリ」は6月の調査で明度および彩度が高くなり、淡い色になっているのに対して、「ピーマン高

育交15号」は収穫時期による果色の変化が少ないことが示唆された。そのため春先の着果負担、肥切れ等による淡色化や白果、厳寒期のアントシアン果といった着色不良が起りにくく、こういった点もA品率の高さに寄与していると考えられた。

「ピーマン高育交15号」は、果長、果重、果肉厚について、「みおぎ」と異なる特性を示した。「みおぎ」と比べて果長が小さい傾向がある一方で、果重は2~9g程度重い。これは、果肉厚が厚いためであると推察される。

「ピーマン高育交15号」の初期の生育特性として、「みおぎ」および「トサミドリ」と比べ草勢は同等かやや強いが、主枝長の伸長速度や第一花の開花日がやや遅い傾向がある。摘心時期の生育特性においては、主茎径および主枝径が太く、草勢がやや強い。また、主茎長および節間長が長いと、摘心位置が同じ場合主枝長が短く、主枝の節数が少なくなる。節間長を抑制し側枝の発生を盛んにするには主枝を開帳気味に誘引し、側枝を捻枝等でやや水平にし、適宜整枝や摘葉を行うことが有効である⁴⁾。「ピーマン高育交15号」は主枝が強く誘引できる時期が限られるため、作業適期を逃さないよう管理する必要がある。限られた栽培空間の中で、収穫できる側枝数が少なくなることは収量低下につながるため、主茎長および節間長の短縮についても今後改良の必要がある。また、主茎長および節間長が長く葉が大きい「ピーマン高育交15号」の特性は、葉で受光が制約されやすく側枝を1~2節で切り戻すハイワイヤー養液栽培には適さないと考えられる。

現地実証試験の結果および生産者からの意見は次のとおりである。収量特性について、収穫開始時期が「みおぎ」

に比べ約2~3週間遅れたために初期収量が少なく、3月中旬以降は対照品種の収量を超える日が多くなり総収量は大きな差はなかった。果実特性については、果色の濃さは厳寒期および春先でもほぼ変わることがなかった、低温によるアントシアニン着色や果形の変形、春先の尻腐れ果や白果はほとんど発生しなかった。また、外観の大きさより果重が重く、JA高知県出荷規格に基づき30gを目安に収穫すると、見た目が小ぶりの果実になりやすい。見た目の収穫適期より早く収穫してしまっても規格に合っているため収穫しやすいという声もあるが、出荷場で規格外とされてしまう可能性がある。見た目の重量感や果色の濃さについて「みおぎ」等の他の品種との差異が大きいため、生産者には収穫適期の見直し、JAや出荷場には果実特性、出荷時や袋詰め時の扱いについて理解してもらう必要がある。生育特性については、初期の草勢が強くと主枝径がやや太く枝も曲がり難いため、誘引ができる期間が短く、側枝を長く寝かせる仕立て方法には向かない、主茎長や節間長が長くなりやすく主枝の節数が少ない、「みおぎ」と同様の管理をしていると肥切れの症状が出るため灌水量および追肥量をより多く管理すべき、といった意見があった。

現在栽培されているピーマン品種は、トバモウイルス抵抗性 L^3 遺伝子を持つものが多く、本県の産地からも同遺伝子を持つ品種の育成が求められている。トバモウイルス抵抗性検定では、「ピーマン高育交15号」およびその親系統は、TMGMV、PMMoV(P_1)で接種葉にえそ症状を示し、上位葉へのウイルスの移行はみられなかったことから、えそ症状は抵抗性による過敏感反応であり、いずれの系統も両ウイルスに対し抵抗性を持ち、「ピーマン高育交15号」はトバモウイルス抵抗性 L^3 遺伝子をホモに持つと推測された。

以上より、慣行温度より2℃低い最低夜温16℃条件下でA品収量が多く、A品率が高く、果色が濃く、トバモウイルス抵抗性 L^3 遺伝子をホモに持つ「ピーマン高育交15号」は、本県のピーマン生産における燃料費の削減、収入の増加、トバモウイルスに対する抵抗性の安定化および抵抗性打破ウイルスの発生抑制に寄与できる。また、みどりの食料システム戦略にも掲げられている「地球にやさしいスーパー品種等の開発・普及」および「気候変動に適應する生産安定技術・品種の開発・普及」に貢献できると考えられる。

利益相反の有無

すべての著者は開示すべき利益相反はない。

引用文献

- 1) Hibi, T. and Y. SAITO (1985). A Dot Immunobinding Assay for the Detection of Tobacco Mosaic Virus in Infected Tissues. J. gen. Virol. 66:1191-1194.
- 2) 細美祐子・澤田博正・新田益男・松本満夫(2007). ピーマン新品種「トサミドリ」および「トサミドリ2号」の育成. 高知農技セ研報. 16:45-52.
- 3) 細美祐子・山田美保江・澤田博正・岡田昌久・松本満夫(2014). トウガラシ台木品種「チャガマラン」の育成. 高知農技セ研報. 23:39-47.
- 4) 加藤徹(1983). ピーマン=植物としての特性. 農業技術体系野菜編5. P.17.
- 5) 加藤徹(1983). 生育のステージと生理, 生態. 農業技術体系野菜編5. PP.54-55.
- 6) 古谷眞二(1991). 土壌病害. こうち21世紀をひらくくらしと農業《別冊》. 2:31-33.
- 7) 高知県農業振興部(2023). 高知県の園芸. PP20-22
- 8) 松永啓・齋藤猛雄・斎藤新・吉田建実・佐藤隆徳・坂田好輝・門馬信二(2015). 青枯病および疫病抵抗性を有する台木用トウガラシ品種「L4 台パワー」および「台ちから」の育成経過とその特性. 野茶研報. 14:39-56.
- 9) 三浦周行. 低温によるピーマンの花および果実の発育異常(2012). 農業および園芸. 87:326
- 10) 齋藤新・松永啓・斎藤猛雄・吉田建実・山田朋宏・佐藤隆徳(2011). 疫病・青枯病およびモザイク病(PMMoV)抵抗性のピーマン・トウガラシ類台木用品種「台パワー」の育成とその特性. 野茶研報. 10:39-50.
- 11) Suzuki, N., Shirako, Y. and Ehara, Y. (1990). A Simple method for elimination of non-specific reactions in non-precoated indirect and electroblot enzyme-linked immunosorbent assay procedures used for detection of zucchini yellow mosaic virus. Ann. Phytopathol. Soc. Jpn. 56:337-341.
- 12) 竹内繁治(2000). *Capsicum*属におけるトバモウイルス病の発生生態とその防除に関する研究. 高知農技セ特報. 3:1-52.

Summary

We have bred a new variety of sweet pepper, 'Sweet Pepper Koikuko No. 15', suitable for forcing cultivation at minimum night temperature of 16°C. 'Sweet Pepper Koikuko No. 15' was judged to be promising because it showed high yield and quality fruit to the standard cultivars in three years of productivity tests and field test. The characteristics of this variety are summarized as follows.

1. Under the minimum night temperature of 16°C, it showed the following characteristics compared to the standard variety 'Miogi': high A-product ratio, equal to or high yield. The skin color was dark.
2. It is resistant to pepper mild mottle virus pathotype 1, 2 (PMMoV(P_{1,2})).

key words:dark green sweet pepper ,low temperature resistance,F₁ hybrid,PMMoV(P_{1,2})-resistance

養液栽培におけるハウスキュウリの 作期前進化多収生産技術

穂崎健昌・山崎浩実・山本正志*・下藤優子**

Advancement cropping season and high-yield production methods for greenhouse cucumbers (*Cucumis sativus* L.) in hydroponic cultivation

Takemasa HOSAKI, Hiromi YAMASAKI, Masashi YAMAMOTO* and Yuuko SHIMOFUJI**

要 約

キュウリ‘常翔661’を用いた養液栽培において、定植時期を通常の9月下旬～10月上旬よりも早め、多収生産となる技術を検討し、以下の結果を得た。

- 促成型の長期栽培において8月および9月定植は10月定植に比べて、年内収量は著しく多いものの、1月以降は萎凋症状により枯死する枝が多くなり4月以降の栽培が困難となったことから、6月末まで栽培した10月定植に比べて総収量は8月定植で60%、9月定植で52%と著しく少なかった。
- 8月および9月定植の抑制栽培と1月および2月定植の半促成栽培の年2作体系とすることで後半の萎凋症状による減収を少なくすることができた。また、誘引枝の整枝方法を検討したところ、誘引枝を10節毎に更新摘心を行う方法(10節更新栽培)、誘引枝が10節以上展開かつ開花節位が6節以上の場合に更新摘心を行う方法(10-6更新栽培)のいずれかを行うことで、更新摘心を行わない慣行つる下げ栽培に比べ著しい増収となった。
- 10節更新栽培および10-6更新栽培は慣行つる下げ栽培に比べて、つる下ろしや摘葉の作業回数を減らすことができ、作業時間については1枝当たりのつる下ろし時間が多くかかるが、1枚当たりの摘葉時間がやや少なく、1果実当たりの収穫時間が著しく少なかった。つる下ろし、摘葉、摘心、収穫に要する総作業時間は著しく短かった。
- 収量性および作業性の面から、抑制栽培においては10節更新栽培が、半促成栽培においては10-6更新栽培が適すると考えられ、8月定植の10節更新栽培と1月定植の10-6更新栽培、9月定植の10節更新栽培と2月定植の10-6更新栽培を年2作体系として組み合わせた総作業時間を10月定植の長期1作慣行つる下げ栽培と比較したところ、同等～やや短くなると計算された。

キーワード：キュウリ、養液栽培、作期前進、多収生産、年2作体系、更新摘心

はじめに

高知県内の冬春キュウリは、9月下旬～10月上旬に定植し、翌年5月末～6月末まで栽培する作型が一般的である。近年、販売単価の高い年内⁹⁾の増収を目指して、従来から定植時期を早めた栽培が取り組まれ始めたが、年内の低日照期を中心に着果が不安定となることが多く、作期前進化栽培における安定生産技術の

開発が求められている。また、高齢化などにより、農家戸数や栽培面積は減少傾向で、出荷量、販売額の維持・拡大のため、さらなる増収技術や作期延長技術の開発、これらに対応できる省力化技術の開発が望まれている。そこで、土作りや土壌消毒が不要なため、作期の延長が可能な養液栽培において、着果が安定して多収生産となり、また省力化となる栽培技術の開発に

* 現高知県農業振興部農業イノベーション推進課

** 現高知県中央西農業振興センター高知農業改良普及所
2023年8月16日受理

取り組んだ。

本研究は内閣府地方大学・地域産業創生交付金「I o P (Internet of Plants)」が導く「Next 次世代型施設園芸農業」への進化」の助成を受けて実施した。

材料および方法

試験はPOフィルム展張の軒高3.5m, 間口7.5m, 奥行き20mの単棟フェンロー型ハウスを用い, 養液栽培で栽培ベッドの高さは地上0.2m, 地面から株の地際までの高さは0.3mとした。品種「常翔661」(台木:「RK-3」)を使用し, 72穴プラグ苗(株)ベルグアース製)をヤシガラキューブ(商品名:ココディスク, 10×10×2.5cm(吸水前))に移植して育成した苗を, ベッド幅1.5m, 株間0.4m(1.67株/m²)で定植した。なお, 培地はヤシガラスラブ(商品名:グローバッグ, 100×20×2.5cm)とし, 培養液を十分に吸水させて復元したものをを用いた。

培養液は単肥配合で山崎キュウリ処方に基づいた高知方式湛液型ロックウールシステムにおける培養液組成⁷⁾(1.0単位, EC2.0dS/m, NO₃-N13.0me/L, NH₄-N1.0me/L, P5.8me/L, K6.9me/L, Ca7.04me/L, Mg3.0me/L, Fe1.4ppm, B0.5ppm, Zn0.4ppm, Mn0.2ppm, Cu0.02ppm, Mo0.01ppm)とし, 給液ECはらくらく肥料管理機4(株)セムコーポレーション)を用いて2.0dS/mに管理した。給液制御にはアクアマイスター((株)丸昇農材)を使用した。給液は日の出～日の出30分後を目安に開始し, 20分毎に7回タイマー給液(約150mL/株/回)を行った後, 排液率30~50%を目標に1回当たり375mL/株を日射比例制御にて給液した。

ハウス内の温度管理は日中が25~28℃を目標に換気し, 夜間は日の入から3~4時間後までを12℃, 以降日の出2時間前までを14℃, 日の出2時間前から日の出までを17℃, 日の出以降は20℃を下回らないようにハウスカオンキ27(株)ネポン)を使用して加温した。また, ハウス内の飽差値が7.0g/m³を超えた場合は細霧装置Cool BIM(株)いけうち製, 粒径10~30μm)により加温した。

CO₂施用には灯油燃焼式炭酸ガス施用機(株)ネポン製CG-254S1)を用いた。濃度制御として, 時期によって設定を違え, 400ppm~800ppmの設定値を下回った場合に, 株元に設置したダクトから施用した。施用時間帯は日の出30分~1時間後から日の入30分~1時間前までとした。

試験1. 定植時期の検討

2019年8月5日に定植(7月31日移植)した8月定植(以下, 8月定植区), 9月5日に定植(8月31日移植)した9月定植(以下, 9月定植区), 10月4日に定植(9月30日移植)した10月定植(以下, 10月定植区)において, 生育および収量への影響を比較した。

主枝は15節で摘心し, 主枝の上位4節の側枝を誘引枝

とする4本仕立てとした。誘引枝以外の側枝(以下側枝とする)は1節で摘心し, 収穫後主枝まで切り戻した。誘引枝はつる下げ栽培とし, 地上1.5mの高さのエスター線に設置した誘引クリップ(商品名:フラワーピンチFL-3)に誘引した誘引枝の成長点が, 地上2.1mの誘引線を0.1~0.2m程度越えたと0.4~0.5m程度つる下ろしを行った。誘引枝の摘葉は, つる下ろし時に直ちに誘引できない位置の葉を摘除した。

調査は各区とも全体27株(誘引枝108枝)のうち, 主枝では連続した8株, 誘引枝では生育が標準的な枝を無作為に選んだ8枝(反復なし)を対象とした。生育, 開花, 収穫調査として誘引枝で7日ごとに誘引枝長, 誘引枝節数, 開花節位を調査し, 開花日, 収穫日, 果重および品質は毎日調査し, 流れ果率を求めた。品質はJA高知県出荷規格に準じて評価した。なお, 生育中に萎凋症状により枯死する枝が発生したため, 誘引枝収量については, 調査枝の収量に, 月毎に調べた試験区全誘引枝のうち枯死していない枝の割合である残存誘引枝率を乗じた値に, 栽植本数(6,667枝/10a)を乗じて10aあたりに換算した。これに誘引枝以外の主枝および側枝の収量を合わせて10aあたりの収量とした。試験は2020年6月30日までとしたが, 8月定植および9月定植区においては, 誘引枝の枯死が多く, 試験継続が困難となったことから, 生育および収量調査は3月31日までとした。

試験2. 抑制栽培および半促成栽培における整枝方法の検討

試験1で作期前進化栽培においては長期栽培が難しいと考えられたことから, 抑制栽培と半促成栽培に分けた栽培方法の検討として, 2021~2022年に抑制栽培である8月定植(2021年8月2日移植, 8月6日定植)-12月栽培終了および9月定植(2021年9月1日移植, 9月7日定植)-1月栽培終了の作型と, 半促成栽培である1月定植(2022年1月7日移植, 1月14日定植)-6月栽培終了と2月定植(2022年2月14日移植, 2月22日定植)-7月栽培終了の作型において, 誘引枝の整枝方法の違いが, 生育および収量におよぼす影響を調査した。

整枝方法は誘引枝を10節展開毎に摘心し, 摘心部直下から発生するわき芽を新たな誘引枝とする10節更新区(図1), 誘引枝が10節以上のびかつ開花節位(展開第1葉を1節とした時の最上位開花節までの節数)が6節以上となった場合のみ摘心を行う10-6更新区, 誘引枝の摘心を行わない慣行つる下げ区とした。なお, 10節更新区および10-6更新区における1回目の摘心のタイミングは, 全ての誘引枝が地上1.5mのエスター線に届いて, 誘引クリップで誘引できるようになったタイミングとした。なお, 更新の基準を10節としたのは, つる下ろし時に直ちに誘

引できる節数が概ね10節であったためである。

主枝は9節で摘心し、主枝の2～5節目および6～9節目から発生した側枝それぞれ2本を誘引枝とし、4本仕立てとした。慣行つる下げ区における管理方法は試験1と同様とし、10節更新区および10-6更新区においても基本的に慣行つる下げ区と同じ方法で誘引を行ったが、摘葉については直立に誘引できる位置の葉であっても、老化して黄化した葉や巻いた葉は週に1回程度摘葉した。

8月定植については、11月30日に全区で誘引枝の最終摘心を行い、12月24日に栽培を終了した。9月定植においては2022年1月6日に全区で誘引枝の最終摘心を行い、1月31日に栽培を終了した。1月定植においては6月9日に全区で誘引枝の最終摘心を行い、6月30日に栽培を終了し、2月定植においては7月11日に全区で誘引枝の最終摘心を行い、7月31日に栽培を終了した。

調査は試験1と同様としたが、収量については調査枝の収量に、旬毎に調べた試験区全誘引枝のうち枯死していない枝の割合である残存誘引枝率を乗じて計算した。

試験3. 作業性回数および作業時間の評価

試験2の各区において、つる下ろし、摘葉、収穫、摘心について作業回数を調査した。また、10節更新区と慣行つる下げ区において、各作業に要する時間を調査した。

作業回数については各区とも作業時に毎回記録し、つる下ろし作業時間については2021年9月～11月に10節更新区で4回、慣行つる下げ区で7回調査し、1枝当たりの平均作業時間を求めた。摘葉作業については、2021年9月～11月に10節更新区と慣行つる下げ区において各区8回、1枝につき3枚ずつ摘葉する時間を計測し、1枚の摘葉に要する時間を算出した。摘心時間については、2022年3～5月に10節更新区で3回調査を行い、1枝当たりの摘心時間を計算した。収穫時間は2021年10月～2022年6月に10節更新区、慣行つる下げ区で各区14回調査し、1果実当たりの収穫時間を求めた。調査は各作業とも各区1ベッド（ベッド長11m、27株）を使用して行った。

さらに、つる下ろしについては作業回数と1枝当たりの作業時間から、摘葉については試験2の節数と1枚当たりの摘葉時間から、摘心については試験2の摘心回数と1枝当たりの摘心時間から、収穫については試験2の収穫果数と1果実当たりの収穫時間より、10aあたりの作業時間を計算した。なお、10-6更新区は、つる下ろしおよび摘心の1枝当たり、摘葉1枚当たり、収穫1果あたりの作業時間は10節更新区と同じとして計算した。

結 果

試験1. 定植時期の検討

8月定植区および9月定植区、10月定植区は、以下の生育、収量特性を示した。

伸長量および増加節数は、各区とも定植から2月上旬頃までは小さくなっていく傾向であるが、定植時期にかかわらずほぼ同じ傾向を示し、同一時期の誘引枝長、節数は定植が早い8月定植区が最も多く、次いで9月定植区が多かった(図2, 3)。

誘引枝の流れ果率は変動が大きかったが、12月までは各区とも50%以上で推移する時期が多く、2月以降は概ね20%以下で推移した。1月中旬～2月下旬の流れ果率は8月定植区が最も低く、次いで9月定植区が低い傾向であった(図4)。

8月定植区においては12月から、9月定植区においては1月から萎凋症状により枯死する枝が見られ始め、残存誘引枝率は1月から3月にかけて急激に低下した。10月定植区は2月より残存誘引枝率が低下し始めたが、8月および9月定植区ほど急激に低下することなく、6月時点でも60%は維持できていた(図5)。

可販果収量は、10月定植区に比べて、年内収量で8月定植区は193%増、9月定植区では107%増と著しく多かった。1月以降は8月、9月定植区で残存誘引枝率が少なくなったことから、両区とも著しく少なくなり、3月末で調査を終了したことから、最終の収量は8月定植で60%、9月定植で52%と著しく少なかった(図6)。



図1 10節更新栽培の模式図

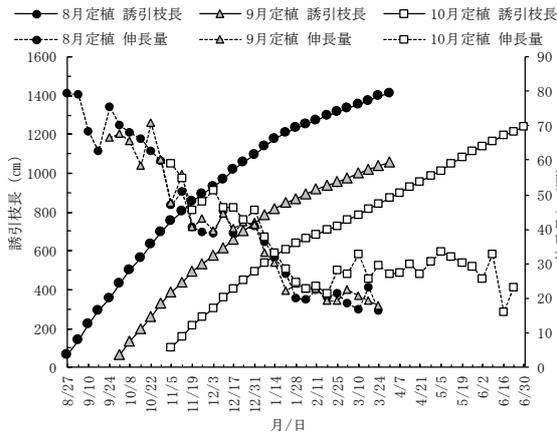


図2 定植時期の違いが誘引枝長および伸長量に及ぼす影響

注) 伸長量は表示日から7日間の伸長量

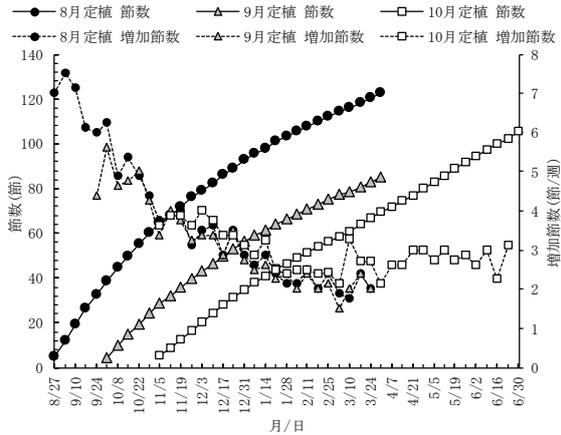


図3 定植時期の違いが節数および増加節数に及ぼす影響

注) 増加節数は表示日から7日間の増加節数

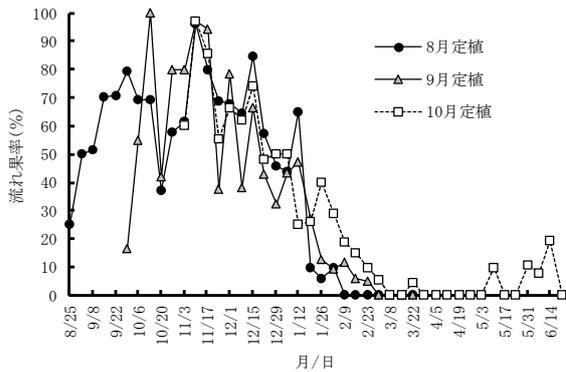


図4 定植時期の違いが流れ果率に及ぼす影響

注) 表示日から7日間に開花した各節の1番花の雌花のうち、収穫に至らなかったものの割合

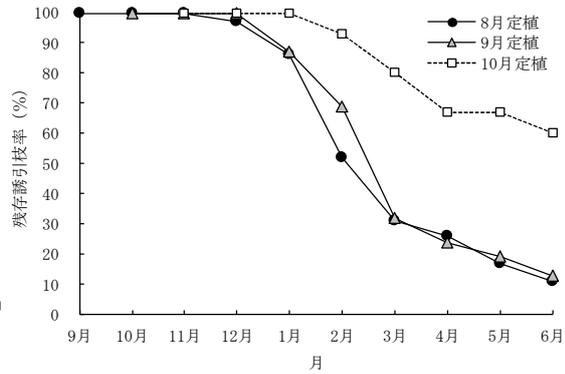


図5 定植時期の違いが残存誘引枝率に及ぼす影響

注) 各区とも試験区全誘引枝(108枝)のうち、萎凋症状により枯死しなかった枝の割合

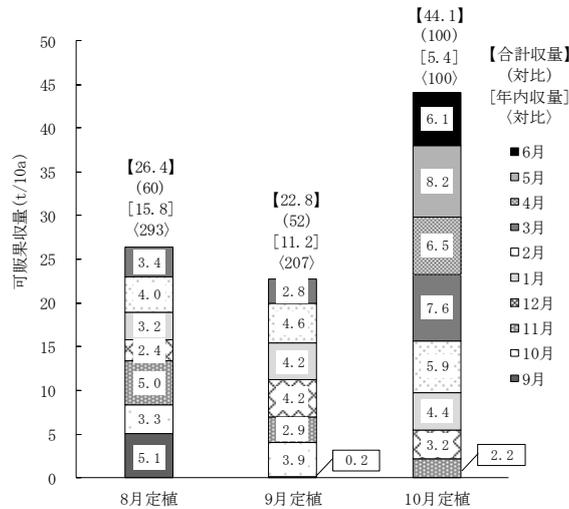


図6 定植時期の違いが可販果収量に及ぼす影響

注) 調査枝の収量に月別の残存誘引枝率を乗じて計算した、JA高知県出荷規格のA品及びB品の合計収量

試験2. 抑制栽培および半促成栽培における整枝方法の検討

1) 8月定植-12月栽培終了の場合

8月定植において、整枝方法を違えた場合、以下の生育、収量特性を示した。

10-6更新区において、前回更新位置より10節以上展開時点で、開花節位は常に6節以上であったため、摘心日および回数は10-6更新区および10節更新区の両区とも同じで4回であった(表1)。誘引枝長および節数は10節更新区および10-6更新区とも慣行つる下げ区に比べ、著しく少なく推移した(図7, 8)。開花節位は10節更新区および10-6更新区とも概ね同様に推移し、慣行つる下げ区に比べ、著しく高く推移した(図9)。流れ果率は10節更新区および10-6更新区とも慣行つる下げ区に比べ、著しく低く推移した(図10)。

残存誘引枝率は各区とも11月下旬から低下し始め、最終の残存誘引枝率は88~91%でほぼ同等であった(図11)。各月の可販果収量は10節更新区、10-6更新区はほぼ同じで、慣行つる下げ区と比較して9~11月は著しく多く、12月は少なかったものの、両区とも合計では50%以上多かった(図12)。

表1 8月定植における摘心日と摘心間隔

	10節更新区		10-6更新区	
	摘心日	摘心間隔	摘心日	摘心間隔
1回目	8/28	-	8/28	-
2回目	9/13	16	9/13	16
3回目	10/1	18	10/1	18
4回目	10/24	23	10/24	23

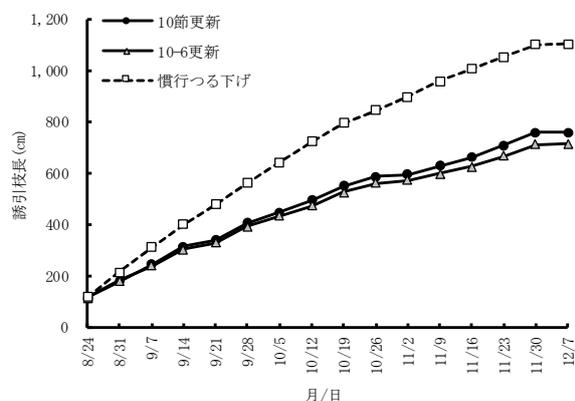


図7 整枝方法の違いが誘引枝長に及ぼす影響 (8月定植)

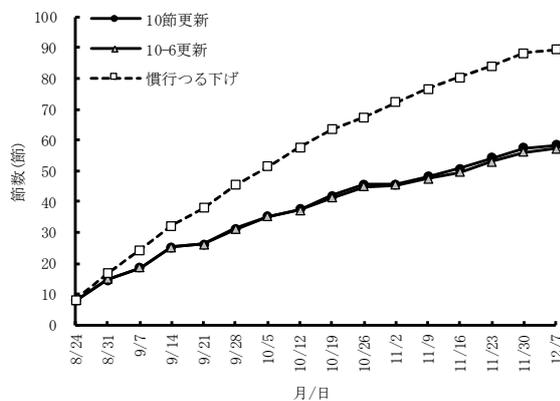


図8 整枝方法の違いが節数に及ぼす影響 (8月定植)

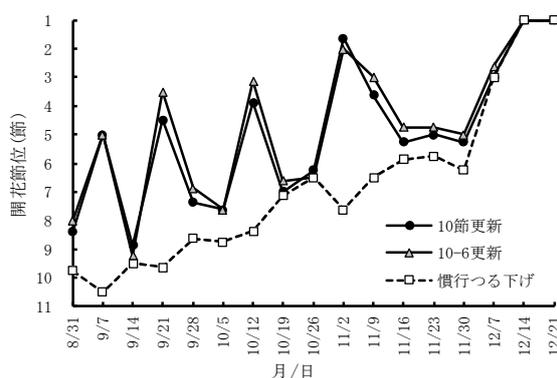


図9 整枝方法の違いが開花節位に及ぼす影響 (8月定植)

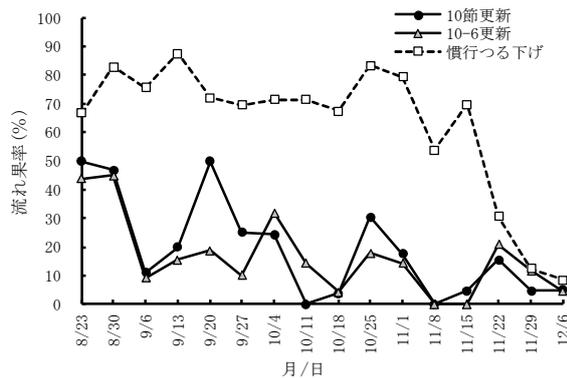


図10 整枝方法の違いが流れ果率に及ぼす影響 (8月定植)

注1) 展開第1葉を1節として、最上位開花節までの節数
 2) 調査枝の内、開花3日以内の節を対象に調査した。

注) 表示日から7日間に開花した各節の1番花の雌花のうち、収穫に至らなかったものの割合。

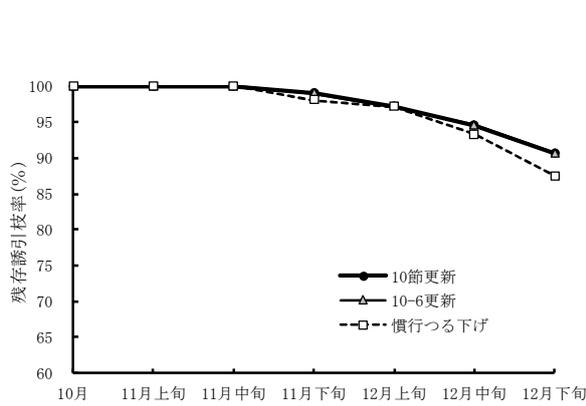


図11 整枝方法の違いが残存誘引枝率に及ぼす影響 (8月定植)

注) 各区とも試験区全誘引枝(108枝)のうち、萎凋症状により枯死しなかった枝の割合。

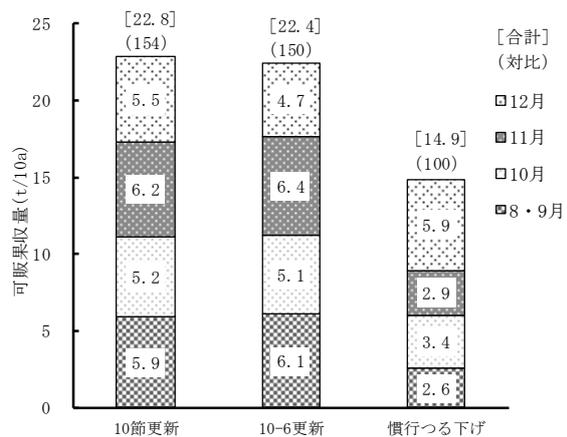


図12 整枝方法の違いが可販果収量に及ぼす影響 (8月定植)

注) 調査枝の収量に旬別の残存誘引枝率を乗じて計算した、JA高知県出荷規格のA品及びB品の合計収量。

2) 9月定植-1月栽培終了の場合

9月定植において、10節更新区および10-6更新区は慣行つる下げ区に比べ、以下の生育、収量特性を示した。

摘心回数は10節更新区で4回、10-6更新区で3回であった(表2)。誘引枝長および節数は両区とも著しく少なく推移し、10節更新区では4回目の摘心後、10-6更新区より少なく推移した。最終の節数は10節更新区で30節、10-6更新区で23節少なかった(図13, 14)。開花節位は両区ともに摘心により高くなった(図15)。流れ果率は両区とも11月までは著しく低く、12月に摘心を行った10節更新区は12月も著しく低く推移した(図16)。

残存誘引枝率は両区とも1月上旬以降やや高く〜

著しく高く推移した(図17)。各月の可販果収量は両区とも12月までは著しく多く、1月は10-6更新区で著しく多かった。総収量では10節更新区が75%、10-6更新区が81%多かった(図18)。

表2 9月定植における摘心日と摘心間隔

	10節更新区		10-6更新区	
	摘心日	摘心間隔	摘心日	摘心間隔
1回目	9/30	-	9/30	-
2回目	10/18	18	10/18	18
3回目	11/16	29	11/16	29
4回目	12/16	30	-	-

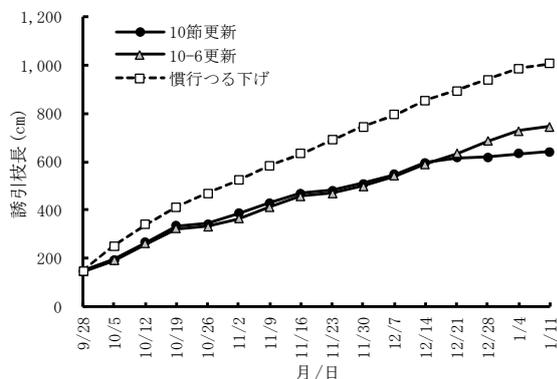


図13 整枝方法の違いが誘引枝長に及ぼす影響 (9月定植)

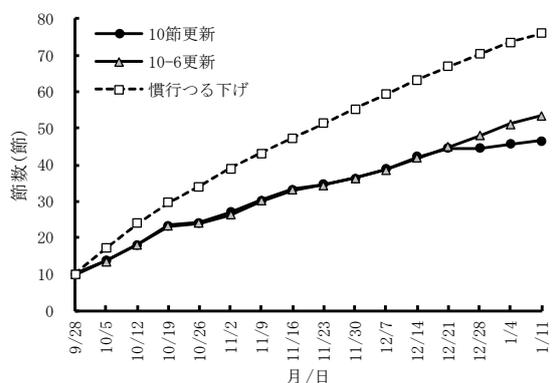


図14 整枝方法の違いが節数に及ぼす影響 (9月定植)

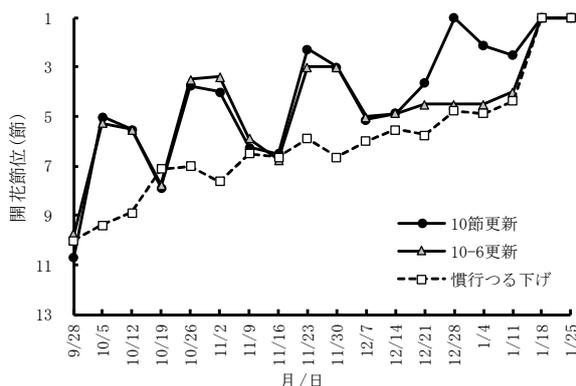


図15 整枝方法の違いが開花節位に及ぼす影響 (9月定植)

注1) 展開第1葉を1節として、最上位開花節までの節数。
2) 調査枝の内、開花3日以内の節を対象に調査した。

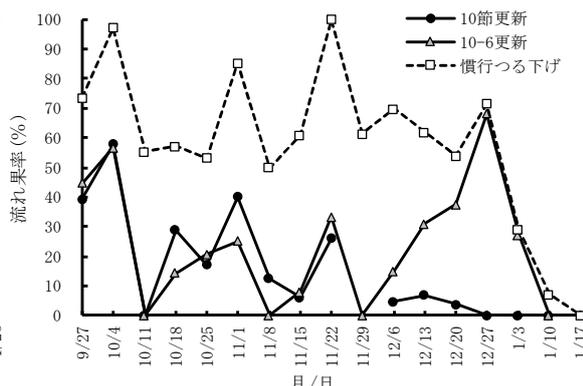


図16 整枝方法の違いが流れ果率に及ぼす影響 (9月定植)

注) 表示日から7日間に開花した各節の1番花の雌花のうち、収穫に至らなかったものの割合。

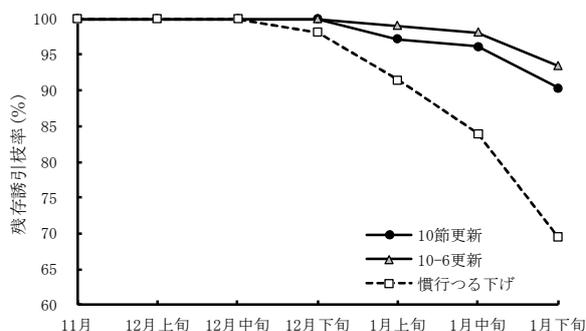


図17 整枝方法の違いが残存誘引枝率に及ぼす影響 (9月定植)

注) 各区とも試験区全誘引枝(108枝)のうち、萎凋症状により枯死しなかった枝の割合。

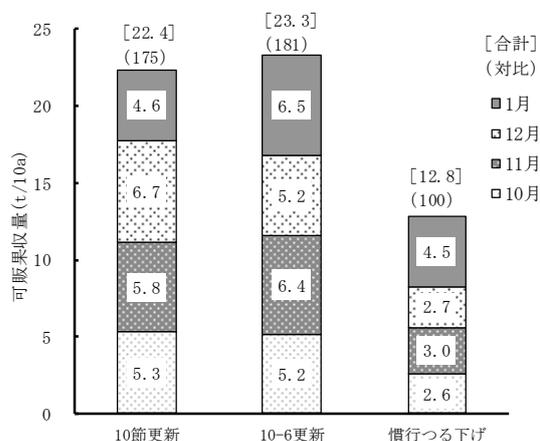


図18 整枝方法の違いが可販果収量に及ぼす影響 (9月定植)

注) 調査枝の収量に旬別の残存誘引枝率を乗じて計算した、JA高知県出荷規格のA品及びB品の合計収量。

3) 1月定植-6月栽培終了の場合

1月定植において、整枝方法を違えた場合、10節更新区および10-6更新区は慣行つる下げ区に比べ以下の生育、収量特性を示した。

摘心回数は10節更新区で3回、10-6更新区で2回であった(表3)。誘引枝長および節数は1回目の摘心後、両区とも著しく少なく推移し、最終では慣行つる下げ区に比べ、10節更新区では誘引枝長で377cm、節数で34節、10-6更新区では誘引枝長で316cm、節数で25節少なかった(図19, 20)。開花節位は両区ともに摘心により高くなった(図21)。流れ果率は両区とも1回目の摘心後から著しく低くなり、特に10節更新区ではほとんどの時期で10%以下であった(図22)。

各区とも萎凋症状より枯死する枝はなく、残存誘引枝

率は100%であった(データ省略)。

各月の可販果収量は10節更新区の5月を除いてやや多く~著しく多く、特に4月まで著しく多かった。総収量は10節更新区で11%、10-6更新区で17%多かった。さらに10-6更新区は10節更新区に比べて、2~3月および6月の可販果収量がやや多く~多く、総収量もやや多かった(図23)。

表3 1月定植における摘心日と摘心間隔

	10節更新区		10-6更新区	
	摘心日	摘心間隔	摘心日	摘心間隔
1回目	3/4	-	3/15	-
2回目	4/7	34	5/3	49
3回目	5/6	29	-	-

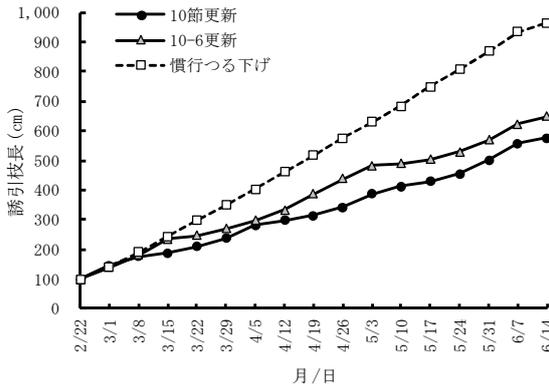


図19 整枝方法の違いが誘引枝長に及ぼす影響 (1月定植)

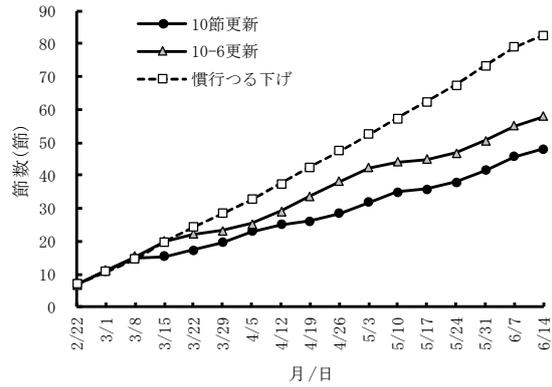


図20 整枝方法の違いが節数に及ぼす影響 (1月定植)

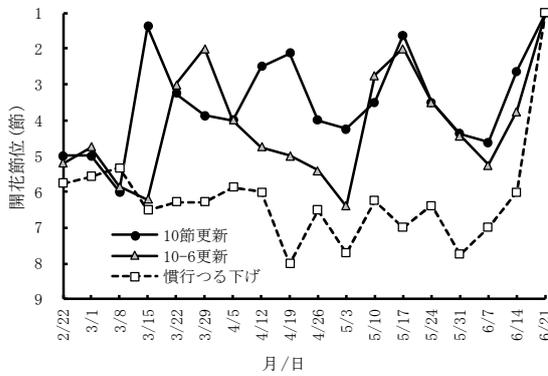


図21 整枝方法の違いが開花節位に及ぼす影響 (1月定植)

注1) 展開第1葉を1節として、最上位開花節までの節数
2) 調査枝の内、開花3日以内の節を対象に調査した。

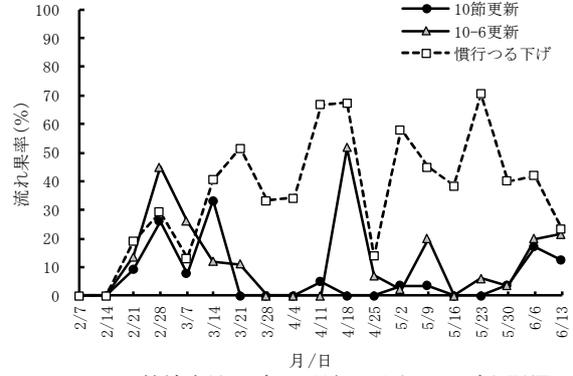


図22 整枝方法の違いが流れ果率に及ぼす影響 (1月定植)

注) 表示日から7日間に開花した各節の1番花の雌花のうち、収穫に至らなかったものの割合。

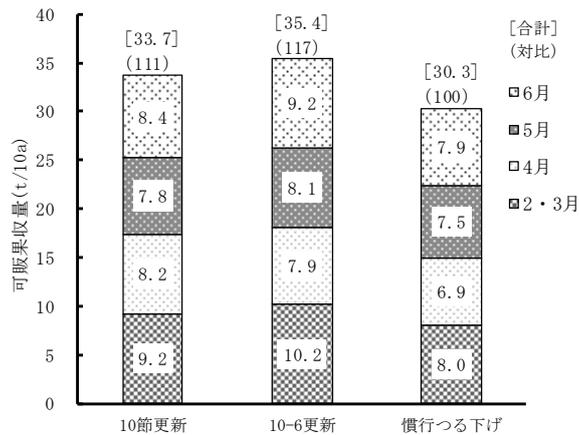


図23 整枝方法の違いが可販果収量に及ぼす影響 (1月定植)

注) 調査枝の収量に旬別の残存誘引枝率を乗じて計算した、JA高知県出荷規格のA品及びB品の合計収量。

4) 2月定植-7月栽培終了の場合

2月定植において、整枝方法を違えた場合、10節更新区および10-6更新区は慣行つる下げ区に比べ以下の生育、収量特性を示した。

2回目以降の摘心日は違うものの、摘心回数は10節更新区、10-6更新区ともに4回であった(表4)。誘引枝長および節数は1回目の摘心後、両区とも著しく少なく推移し、最終では慣行つる下げ区に比べ、10節更新区では誘引枝長で371cm、節数で40節、10-6更新区では誘引枝長で350cm、節数で37節少なかった(図24, 25)。開花節位は両区とも1回目の摘心後からほとんどの時期で著しく高く推移した(図26)。流れ果率は両区とも1回目の摘心後から著しく低く推移し、10節更新区の6月上旬までは特に低かった(図27)。

萎凋症状より枯死する枝は慣行つる下げ区において7月下旬に2%発生したが、それ以外はなかった(データ省略)。

各月の可販果収量は10節更新区の7月を除いてやや多く~著しく多く、特に10-6更新区の4月と両区の5月、6月で著しく多かった。総収量は10節更新区で22%、10-6更新区で28%多かった。さらに10-6更新区は10節更新区に比べて、4月および7月の可販果収量が多く、総収量もやや多かった(図28)。

表4 2月定植における摘心日と摘心間隔

	10節更新区		10-6更新区	
	摘心日	摘心間隔	摘心日	摘心間隔
1回目	3/30	-	3/30	-
2回目	4/25	26	5/3	34
3回目	5/22	27	5/31	28
4回目	6/15	24	6/22	22

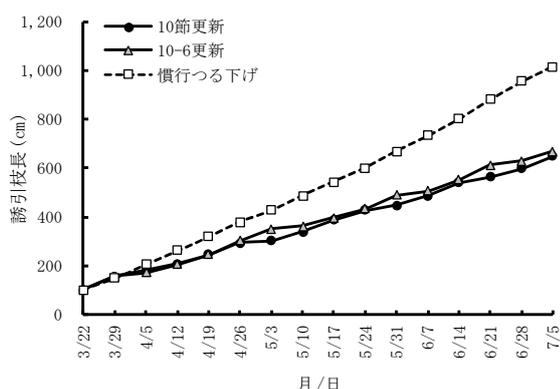


図24 整枝方法の違いが誘引枝長に及ぼす影響 (2月定植)

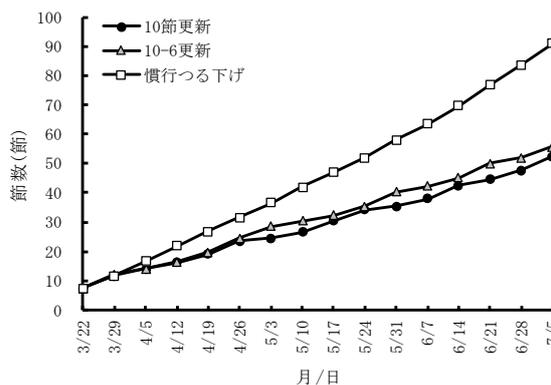


図25 整枝方法の違いが節数に及ぼす影響 (2月定植)

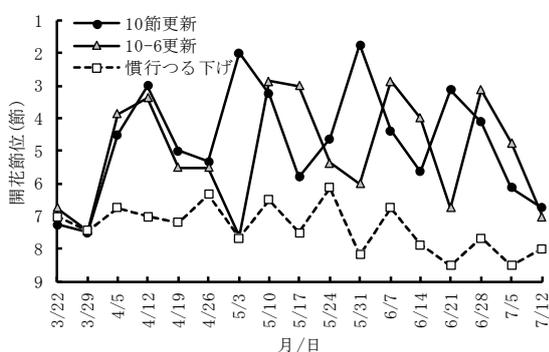


図26 整枝方法の違いが開花節位に及ぼす影響 (2月定植)

注1) 展開第1葉を1節として、最上位開花節までの節数
注2) 調査枝の内、開花3日以内の節を対象に調査した。

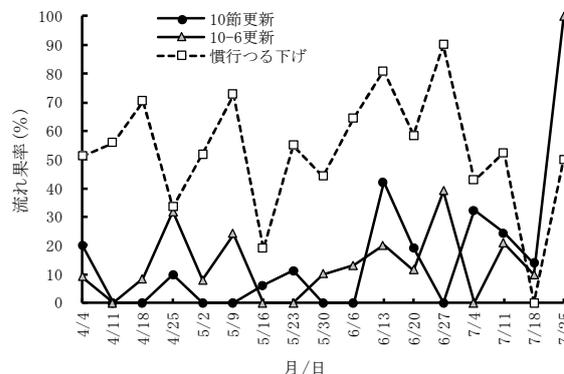


図27 整枝方法の違いが流れ果率に及ぼす影響 (2月定植)

注) 表示日から7日間に開花した各節の1番花の雌花のうち、収穫に至らなかったものの割合。

試験3. 作業性回数および作業時間の評価

10 節更新区および10-6 更新区は慣行つる下げ区に比べて、以下の作業特性を示した。

作業回数は抑制栽培である8月, 9月定植において、つる下ろし, 摘葉の両作業とも著しく少なかった. 半促成栽培の1月, 2月定植では、両区ともつる下ろし作業は2~3回少なく、摘葉作業回数も少なかった(表5)。

作業時間について、10 節更新区は慣行つる下げ区に比べて、1 枝当たりのつる下ろし時間が多く、1 枚当たりの摘葉時間はやや少なく、1 果実当たりの収穫時間は著しく少なかった(表6)。

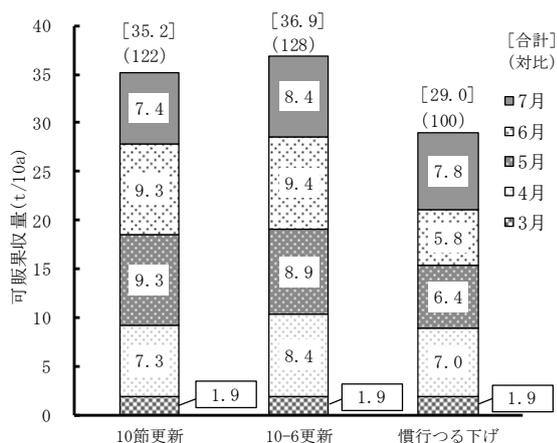


図28 整枝方法の違いが可販果収量に及ぼす影響 (2月定植)

注) 調査枝の収量に旬別の残存誘引枝率を乗じて計算した、JA 高知県出荷規格のA品及びB品の合計収量。

これらのデータおよび試験2の生育, 収穫データから10aあたりの作業時間を計算すると、つる下ろし, 摘葉, 摘心, 収穫の総作業時間は両区とも慣行つる下げ区に比べ少なく~著しく少なかった(表7)。

さらに、試験2で収量面から有望な整枝方法であると考えられた8月定植の10 節更新栽培と1月定植の10-6 更新栽培, 9月定植の10 節更新栽培と2月定植の10-6 更新栽培を年2作体系として組みあわせて、生産現場で一般的な10月定植, 6月栽培終了の長期1作慣行つる下げ栽培である試験1の10月定植と総作業時間を比較した場合、総作業時間は8月・1月定植でほぼ同等, 9月・2月定植でやや少なかった(表8)。

表5 整枝方法の違いが作業回数に及ぼす影響

		つる下ろし	摘葉
8月定植	10節更新	12	12
	10-6更新	12	12
	慣行つる下げ	18	19
9月定植	10節更新	10	11
	10-6更新	10	11
	慣行つる下げ	16	17
1月定植	10節更新	12	12
	10-6更新	13	13
	慣行つる下げ	15	14
2月定植	10節更新	13	13
	10-6更新	12	12
	慣行つる下げ	15	18

表6 整枝方法の違いが作業時間に及ぼす影響

	つる下ろし		摘葉		収穫		摘心	
	時間(秒/枝)	対比(%)	時間(秒/枚)	対比(%)	時間(秒/果)	対比(%)	時間(秒/枝)	対比(%)
10節更新	11.15	110	1.86	95	5.78	66	2.00	-
慣行つる下げ	10.15	100	1.96	100	8.02	100	-	-

表7 整枝方法の違いによる10aあたりの作業時間(時間)

		つる下ろし	摘葉	摘心	収穫	合計
8月定植	10節更新	248	167	19	374	807
	10-6更新	248	162	19	367	796
	慣行つる下げ	339	288	4	300	930
9月定植	10節更新	207	126	19	369	720
	10-6更新	207	149	15	387	758
	慣行つる下げ	301	240	4	324	869
1月定植	10節更新	248	131	15	514	908
	10-6更新	269	165	11	544	989
	慣行つる下げ	282	263	4	660	1,209
2月定植	10節更新	269	168	19	533	988
	10-6更新	248	180	19	559	1,005
	慣行つる下げ	282	322	4	615	1,223

注1) 摘葉時間は試験2における節数-10枚を摘葉するとして、表6の1枚あたりの摘葉作業時間を乗じて計算した。

2) 収穫時間以外の計算については残存誘引枝率は考慮しなかった。

表8 作型の違いによる作業時間(時間/10a)

	つる下ろし	摘葉	摘心	収穫	合計
8月・1月定植組み合わせ	516	332	30	918	1,796
9月・2月定植組み合わせ	454	306	37	928	1,725
10月定植長期1作慣行つる下げ	583	345	4	893	1,825

注1) 8月・1月定植組み合わせは表7の8月定植の10節更新栽培と1月定植の10-6更新栽培の合計作業時間。

2) 9月・2月定植組み合わせは表7の9月定植の10節更新栽培と2月定植の10-6更新栽培の合計作業時間。

3) 10月定植長期1作慣行つる下げ栽培のデータは試験1の10月定植のデータを使用して計算。ただし、つる下ろし作業回数を記録していなかったため、11月中旬～6月中旬まで週1回、計31回つる下ろしをすることで計算した。各作業の時間については表6の慣行つる下げ区のデータを用いて計算した。

考 察

試験1では作期前進技術の検討として、定植時期の違いが生育、収量に及ぼす影響を調査した。一般的な10月定植より定植時期を早めた8月および9月定植では、年内収量は著しく多くなるものの、1月頃から生理的な萎凋症状により枯死する枝が増え始め、10月定植に比べて残存誘引枝率が著しく低くなり長期栽培が困難であることが考えられた。萎凋症状については急性萎凋症⁹⁾が考えられるが、要因は判然としなかった。また、キュウリの養液栽培では根から生育抑制物質が出て、これが培養液中に蓄積すること^{1,2)}や、長期の草勢維持が難しく、生産性を高く維持できないこと¹³⁾など、長期栽培が難しいという報告もあり、試験1の結果からも長期栽培が困難であると考えられたことから、試験2では抑制栽培と半促成栽培に分けた栽培としたところ、萎凋症状による枝の枯死を試験1に比べ少なくすることができた。さらに、試験2では適切な誘引枝の整枝方法を検討した。キュウリのつる下ろし栽培の1枝あたりの収量は、雌花開花数(=節数×雌花開花節率)、収穫果率、果重によって決まるが、本試験において慣行つる下げ区に比べて10節更新区と10-6更新区では1果重には差がなく(データ省略)、節数が著しく少ないことで雌花開花数も著しく少なくなる(データ省略)ものの、流れ果率が低いことで収穫果率が高く増収につながり、有望な整枝技術であると考えられた。鶴生川ら¹⁴⁾は抑制栽培において誘引枝を伸ばし続けるストレートつる下ろしでは更新型つる下ろしに比べて、節数は多いものの、開花しても収穫に至らない果実が多かったことを報告しており、本試験の結果と一致する。東出ら³⁾はキュウリの短期栽培においてつる下ろし法および摘心法が乾物生産や収量に及ぼす影響を収量構成要素から解析した報告において、果実生体収量が多かった摘心栽培はつる下ろし栽培に比べて、果実への乾物分配率と総乾物生産量が大きく、総乾物生産量の違いは光利用効率の違いによるとみられるとしている。その要因として、摘心栽培は生産した乾物を新葉の展開に分配する必要がないため、果実への乾物分配率が高いこと、つる下ろし栽培は

群落下部の弱光条件に光合成能の高い成熟葉が存在することが、光利用効率の低下につながった可能性があるとしている。このことは本試験における更新摘心と慣行つる下げ栽培の比較においても当てはまると考えられ、10節更新および10-6更新区は摘心を行うことで、果実への乾物分配が高まることで慣行つる下げ区に比べて流れ果が少なくなったこと、摘心後、その直下の側枝が伸長するまでの期間は新たな葉の展開がなく、群落上部に光合成能の高い葉が位置する状態になるため、光利用効率が高まったことが推察される。

また、上で述べたように、摘心を行うと節数が減少し雌花開花数は少なくなるため、流れ果を少なくしかつ節数を確保する適切な更新手法の開発も重要となる。そこで、つる下ろし栽培キュウリにおいて生育状態を判断する指標の1つとなっている開花位置^{5,8)}を更新の判断に用いることを試みた。開花節位が低すぎる(成長点から開花位置までの節が多い)場合は、栄養成長に傾いていること⁸⁾や開花、肥大位置が受光量の少ない群落下部になる。宍戸ら¹¹⁾はメロンにおいて果実への光合成産物の蓄積に対する各葉位葉の役割を見ると、交配後43日では、着果側枝上の葉の転流率および果実への分配率が最も高く、次いでその着果側枝着生節の葉で高くなっており、果実近辺の葉の果実肥大への寄与が高いものと推定されたと述べている。さらに金浜ら⁸⁾はキュウリの葉のsource力は果実と同節位の葉が上下の葉より若干勝っていると述べている。これらのことから果実肥大にはその近くの葉を受光量が多い位置に配置することで光合成量を高めることが重要で、開花節位を低くしすぎないことが重要と考えられたため、10-6更新区は節数を確保するために、開花節位が低くなり、栄養成長に傾き、果実近くの葉の受光量が少ない位置となり、流れ果が発生しやすいと考えられる条件でのみ更新を行う区とした。この結果、8月、9月定植の抑制栽培では10節更新と10-6更新区の間に収量差はほとんど見られなかったものの、1月、2月定植では10-6更新区が10節更新区に比べて、節数が多く可収果収量もやや多くなり、半促成栽培では開花節位も更新の判断

に用いることが適切と考えられた。抑制栽培で両区に差がなかったのは、節の展開が早い高温期での栽培期間が長いことで開花節位が低いまま推移し、11月まで更新回数に差がつけられなかったこと、生育後半は日射量の弱い時期での栽培となるため、更新を行うことによる流れ果抑制効果が高かったことが挙げられる。これらのことから、抑制栽培では10節更新、半促成栽培では10-6更新栽培の年2作体系で栽培を行うことが適切と考えられた。

試験3では作業性について評価した。10節更新区、10-6更新区は慣行つる下げ区に比べて、誘引枝長が短くなることでつる下ろし回数を減らすことができ、節数が少なくなることで摘葉枚数を削減できた。また、作業時間については10節更新区では慣行つる下げ区より1枝あたりのつる下ろし作業時間はかかるが、1枚あたりの摘葉時間はやや少なく、収穫時間は著しく少なくなるという結果であった。つる下ろしについては、10節更新区では摘心を行うことで上位部の葉が大きくなることでつる下ろし時に隣の枝や誘引線へ葉が引っかかりやすくなるなどして、やや作業時間が多くなったと考えられるが、摘葉や収穫では摘心により作業位置が高くなることで慣行つる下げ区よりも腰を曲げずに作業できることなどが、作業時間の短縮につながったと考えられる。摘心の時間を加味しても、総作業時間は慣行つる下げ区よりも著しく少なくなり、10節更新、10-6更新栽培は作業性の面からも有望

な技術であると考えられた。

以上より、本試験の結果から作期前進化多収生産技術として、抑制栽培の8月定植と半促成栽培の1月定植または抑制栽培の9月定植と半促成栽培の2月定植を組み合わせた年2作体系とし、抑制栽培では10節更新、半促成栽培では10-6更新栽培を組み合わせることを提案する。なお、本試験では抑制と半促成の間の片付けおよび準備期間を2週間程度としたが、作業としては前作の植物体の片付けと培地の入れ替えだけでよく、キュウリの養液栽培で栽培終了から次作の栽培開始までを2週間程度で栽培を行った事例も見られる^{10,12)}ことから、本試験のような作型の組み合わせは現場でも可能であると考えられる。さらに、通常の10月定植-6月栽培終了の長期1作の作型に比べて、苗や培地、肥料代、炭酸ガス施用に要する灯油代等の経費が増加することが予想されるが、売上とこれらの経費を試算したところ表9の様に計算され、本試験のような年2作体系としても10月定植の長期1作に比べて所得は増加すると考えられる。一方で本技術の現場への導入に当たっては、更新の基準となる節数はハウスの誘引位置の高さや栽植方法の違いにより調整が必要と考えられることや、高単価となる1~2月⁹⁾の出荷量が少なくなるため複数の作期を組み合わせた栽培を行うこと、8月~9月の高温期の黄化えそ病のリスクなどについて、十分に検討する必要がある。

表9 作期前進化栽培において増加する経費および売上の比較(円/10a)

	8・1月定植 組み合わせ	9・2月定植 組み合わせ	10月定植 長期1作
苗	583,450	583,450	291,725
培地	720,144	720,144	360,072
経費 肥料	449,203	449,203	399,292
灯油	1,400,000	1,200,000	1,133,333
合計	3,152,797	2,952,797	2,184,422
売上	13,500,378	12,906,160	9,989,480
売上-経費	10,347,581	9,953,363	7,805,058

注1) 8月および9月定植は10節更新栽培、1月および2月定植は10-6更新栽培の組み合わせ。10月定植長期1作は試験1の10月定植区を基に計算。

2) 苗代、培地代、肥料代は試験に使用した金額を基に計算した。

3) 灯油代は試験ハウスにおいて実際に給油した量を基に、10aあたりの使用量を計算し、灯油単価を100円/Lとして算出した。

4) 売上は直近7年間の月別平均単価⁹⁾を、収量に乗じて求めた販売金額のうち手取金額を7割として計算した。

謝 辞

本研究の実施に当たり、先端生産システム担当、研究支援担当の諸氏に栽培管理や調査等にご尽力いただいた。ここに深く感謝の意を表す。

利益相反の有無

すべての著者は開示すべき利益相反はない。

引用文献

- 1) 浅尾俊樹・Md. H. R. Pramanik・富田浩平・大場友美子・太田勝巳・細木高志・松井佳久(1999). 水耕栽培キュウリの培養液から分離したフェノール物質が果実収量に及ぼす影響. 園学雑. 68 (4): 847-853.
- 2) 浅尾俊樹・梅山元正・太田勝巳・細木高志・伊藤憲弘・植田尚文(1998). 水耕キュウリの培養液非交換による収量の減少と活性炭添加による回復. 園学雑. 67 (1): 99-105.
- 3) 東出忠桐・後藤一郎・鈴木克己・安場健一郎・塚澤和憲・安東赫・岩崎泰永(2012). 収量構成要素の解析からみたキュウリ短期栽培の摘心およびつる下ろし整枝法の差異. 園学研. 11 (4): 523-529.
- 4) 平沢正・荒木俊光(1993). 農業技術体系. 土壌肥料編. 4巻. 東京. 農村漁村文化協会. 追録第4号. 実際376の2-376の7.
- 5) 稲山光男(1998). キュウリ. 基礎編. 農村漁村文化協会編. 農業技術体系. 野菜編第1巻. 東京. 農村漁村文化協会. 追録23: 基416-417.
- 6) 金浜耕基・斎藤隆(1989). キュウリ果実の曲がりの方向と果実内の¹⁴C-光合成産物転流経路に及ぼす葉の着生位置の影響. 園学会誌 58 (1): 167-171.
- 7) 北村明久・山崎龍一・飯田佳代(2003). 高知方式湛液型ロックウールシステムにおけるキュウリの培養液処方. 高知農技セ研報. 12: 37-47.
- 8) 高知県(2021). 促成キュウリ(つる下ろし栽培)栽培モデル(令和2年度版). P. 31.
- 9) 高知県農業振興部(2023). 高知県の園芸. P. 54.
- 10) 松谷一輝・知識秀裕・吉田征司(2022). ゆめファーム全農SAGAキュウリ実証ハウスの取り組み. ハイドロポニックス 35(2): 14-15.
- 11) 穴戸良洋・湯橋勤・施山紀男・今田成雄(1992). メロン果実への光合成産物の転流・分配に及ぼす葉位および灌水量の影響. 園学雑 60(4): 897-903.
- 12) 須藤裕子(2022). ハイワイヤー誘引とロックウールでのキュウリ栽培の取り組み. ハイドロポニックス 35(2): 8-9.
- 13) 種村竜太(2015). キュウリにおける窒素の吸収・移行特性に基づく環境に配慮した循環型養液栽培技術の確立. 土肥誌. 86(5): 375-376.
- 14) 鶴生川雅己・唐澤智(2021). 誘引枝の更新方法が抑制キュウリの生育と収量および作業量に及ぼす影響. 園学研 20 別(1): 73.

Summary

In hydroponic cultivation using cucumber 'Josh661', we investigated the methods that would allow for high-yield production by moving the planting period earlier than the usual period of late September to early October, and obtained the following results.

1. In long-term forced cultivation, planting in August and September yields significantly higher within the year yields than planting in October, but after January, many branches die due to wilt, making cultivation after April difficult. Therefore, the total yield was significantly lower, with a 60% for August planting and a 52% for September planting compared to October planting, which was cultivated until the end of June.
2. By adopting a two-crop system per year of retarding cultivation of planting August and September and semi-forced cultivation of planting January and February, it was possible to reduce the loss of yield due to wilt symptoms in the latter of the cultivation. In addition, we investigated methods of control the training branches, that training branches are renewed at every 10 nodes (10-node renewal cultivation), or when the training branches are renewed at develop at least 10 nodes and the flowering node is at 6 nodes or more (10-6 renewal cultivation). By using one of these methods, yields increased significantly compared to conventional lowering cultivation without renewal pinching.
3. Compared to conventional lowering cultivation, 10-node renewal cultivation and 10-6 renewal cultivation can reduce the number of times of lowering and defoliation, and although it takes more time to lowering per branch, the time defoliation per leaf was slightly shorter, and the time required to harvest each fruit was significantly shorter. The total working hours required for lowering, defoliation, pinching, and harvesting was significantly

shorter.

4. From the viewpoint of yield and workability, 10-node renewal cultivation is considered suitable for retarding cultivation, and 10-6 renewal cultivation is suitable for semi-forced cultivation. When Combining 10-node renewal cultivation with August planting, and 10-6 renewal cultivation with January planting, or 10-node renewal cultivation with September planting, and 10-6 renewal cultivation with February in a two-crop system per year, the total work time was calculated to be roughly equivalent or slightly shorter compared to the long-term single-crop conventional lowering cultivation with October planting.

Key words: cucumber, hydroponic cultivation, advancement cropping season, high-yield production, two-crop system per year, renewal pinching

自家不和合性遺伝子型を用いた ‘水晶文旦’ および「90T9」の由来の推定

谷本 佑

Estimating the Origins of ‘Suisho-buntan’ (*Citrus grandis* Osbeck) and
Pummelo Hybrid ‘90T9’ Based on Self-incompatibility Genotype

Yuu TANIMOTO

要 約

カンキツ類の自家不和合性遺伝子型を用いて、‘水晶文旦’および「90T9」の由来を推定した。その結果、‘水晶文旦’は最も信ぴょう性が高いとされている‘土佐文旦’（種子親）と‘晚王柑’（花粉親）の交雑実生ではないと考えられた。また、「90T9」は‘土佐文旦’（種子親）と‘水晶文旦’（花粉親）の交雑実生で、‘水晶文旦’と同じ自家不和合性遺伝子型を持つと考えられた。

キーワード: 文旦, 花粉管, 交雑和合性, S 遺伝子型

はじめに

高知県の特産カンキツ類の一つである‘水晶文旦’ (*Citrus grandis* Osbeck) は少核性のため、交雑母本としても広く用いられている。近年では、‘瑞季’（‘水晶文旦’に‘サザンイエロー’を交配²⁾や‘ボナルーナ’（‘土佐文旦’に‘水晶文旦’（染色体倍化処理した花粉を使用）を交配⁶⁾等の育成に用いられ、当県育成の無核性ブンタン系統「90T9」も、花粉親は‘水晶文旦’の可能性¹⁴⁾がある。

しかし、‘水晶文旦’自体の由来は明確となっていない。‘水晶文旦’は、高知県室戸市の民間育種家であった戸梶清氏により1952年頃に育成されたが、育成の経過が明示されておらず、岩政¹⁾、光江（光江修一（1974）, 水晶文旦の栽培, 私費出版）によると、最も信ぴょう性が高いのは‘土佐文旦’（種子親）と‘晚王柑’（花粉親）の交雑実生であるとされている。栽培品種としても有用な特性を持つ‘水晶文旦’および胚珠が極めて少なく減酸が早い「90T9」の由来を明らかにすることは、今後の効率的な育種に大いに役立つと考えられる。

そこで本研究では、ブンタン類の自家不和合性に着目し、自家不和合性遺伝子型（以下、S 遺伝子型）から‘水晶文旦’の由来の推定を試みた。あわせて、「90T9」の花粉親の推定も試みた。さらに、矢野ら¹⁴⁾が報告した‘はやさき’（種子親）と「90T9」（花

粉親）での不親和現象について、新たな知見が得られたので報告する。

なお、試験の実施に当たっては、九州大学大学院農学研究院の酒井かおり准教授および若菜章前准教授に、サンプルの提供および有益な助言を頂いた。また、本報告の執筆に当たっては、山口大学大学院創成科学研究科農学系領域の金貞希准教授から丁寧なご指導を頂いた。ここに記して深く感謝の意を表する。

材料および方法

果樹試験場内（高知市朝倉）の露地ほ場植栽または鉢植えの「90T9」、‘水晶文旦’、‘土佐文旦’、‘晚王柑’、‘はやさき’、‘紅まどか’および‘日向夏’ならびに九州大学農学部附属農場果樹研究室園内ほ場で採取した‘晚白柚’自家交雑実生の「BS6」、 「BS29」（ともにS 遺伝子型が S_1S_1 ）⁴⁾および‘クレメンティン’自家交雑実生の「CS46」（S 遺伝子型は S_2S_2 ）³⁾を供試した。なお、「BS6」および「BS29」は‘晚白柚’、「CS46」は‘クレメンティン’の自家交雑実生で、これらは蕾受粉（開花直前の花蕾長の約半分の長さで自家受粉した場合、自家不和合性反応が起こらず交雑実生が得られる性質を利用¹¹⁾）により作出された系統である。

2011～2015 年の各品種・系統の開花直前に除雄して受粉した後、7 あるいは 10 日後に各 2～8 花の雌ずいを採取し、FAA 液 (70%エタノール:ホルマリン:酢酸=90:5:5) で固定した。0.5N 水酸化ナトリウムに 60 分浸漬した後、水洗いして花柱を上部、中部、基部に 3 等分し、薄く輪切りにして 0.1%アニリンブルー / 0.1N リン酸三カリウム溶液に漬け、3°C の冷蔵庫内に 12 時間以上静置して染色した。染色した花柱切片について、花柱溝内の花粉管を蛍光顕微鏡で数えた。花柱上部で複数の花粉管が見られ、花柱基部の全ての花柱溝内で花粉管が見られない組み合わせを不和合性と判定した (図 1)。

‘水晶文旦’ (種子親) と ‘はやさき’ (花粉親) の交配 (以下、交配組み合わせを、種子親 × 花粉親で表記) については、2012 年 12 月に果実を収穫し、完全種子数および不完全種子数を調査した。

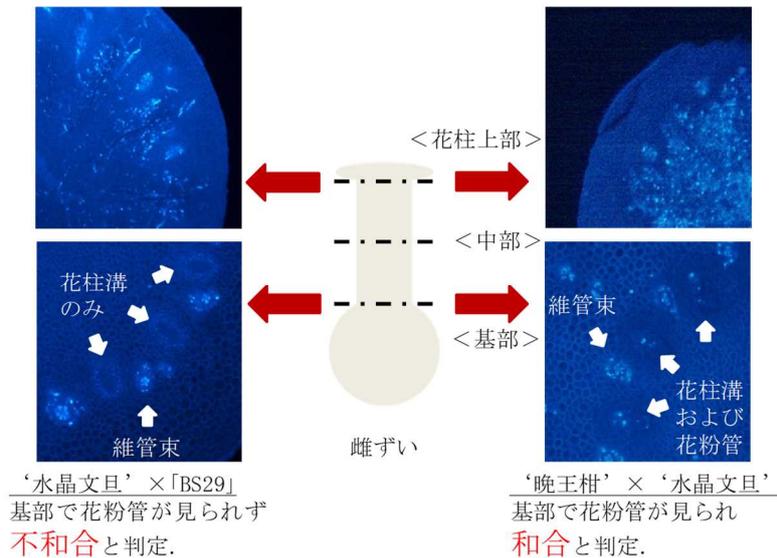


図 1 交雑(不)和合性の判定方法

考 察

カンキツ類は配偶体型自家不和合性で、共顕性 (共優性) である 1 組の対立遺伝子座により支配されている¹⁰⁾。配偶体型自家不和合性では、花粉は自身が持つ S 対立遺伝子により表現型が支配され、雌ずいは 2 つの S 対立遺伝子の両方の性質を示す¹²⁾。例えば、S 遺伝子型が S_1S_2 である花粉親個体からは、 S_1 または S_2 対立遺伝子を持つ花粉が生成される。S 遺伝子型が S_1S_3 である種子親個体の雌ずいにこれらの花粉が付着したとき、 S_1 対立遺伝子を持つ花粉の花粉管伸長は花柱内で停止するが、 S_2 対立遺伝子を持つ花粉の花粉管伸長は停止せず、胚のう内まで侵入し受精が成立する。これまでに、いくつかの品種・系統の S 遺伝子型が明らかになっており^{3-5, 7, 15)}、本県の基幹果樹品目の一つである ‘土佐文旦’ の S 遺伝子型は S_1S_3 ⁷⁾、本県で発見・品種登録された ‘晩王柑’ の S 対立遺伝子の 1 つは S_4 ¹⁵⁾

結 果

花柱基部で花粉管が見られず不和合性と判定された組み合わせは、「90T9」×「90T9」、「90T9」×「水晶文旦」、「水晶文旦」×「90T9」、「水晶文旦」×「BS6」、「水晶文旦」×「BS29」、「土佐文旦」×「BS6」、「晩王柑」×「BS6」および「晩王柑」×「BS29」であった。花柱基部で花粉管が複数見られ和合性と判定された組み合わせは、「90T9」×「土佐文旦」、「水晶文旦」×「CS46」、「水晶文旦」×「はやさき」、「水晶文旦」×「日向夏」、「土佐文旦」×「90T9」、「土佐文旦」×「水晶文旦」、「晩王柑」×「90T9」、「晩王柑」×「水晶文旦」、「晩王柑」×「日向夏」、「はやさき」×「90T9」、「はやさき」×「水晶文旦」および「紅まどか」×「90T9」であった (表 1)。

‘はやさき’ を受粉した ‘水晶文旦’ 果実の完全種子数は、10 個以上であった (表 2)。

だが、‘水晶文旦’ の S 遺伝子型は明らかでない。

‘水晶文旦’ は ‘土佐文旦’ × ‘晩王柑’ の交雑実生との推察もあり¹⁾、これらを中心に、交雑和合性の関係を調査することが ‘水晶文旦’ の由来を明確にする手がかりになると考え、本研究を実施した。まず、‘水晶文旦’ × 「BS6 (または BS29)」 (S_1S_1) および ‘晩王柑’ × 「BS6 (または BS29)」 (S_1S_1) の組み合わせが不和合性を示したことから、‘水晶文旦’ および ‘晩王柑’ は S_1 対立遺伝子を持つ (それぞれ S_1S_3 , S_1S_4 は S 対立遺伝子が不明) と考えられた。また、‘水晶文旦’ × 「CS46」 (S_3S_3)、‘土佐文旦’ (S_1S_3) × ‘水晶文旦’ の組み合わせがいずれも和合性を示したことから、‘水晶文旦’ は S_3 対立遺伝子を持たない ($S_4 \neq S_3$) と考えられた。さらに、‘晩王柑’ × ‘水晶文旦’ の組み合わせが和合性を示したことから、‘水晶文旦’ は S_1 対立遺伝子を持たない ($S_4 \neq S_1$) と考えられた。

表1 プンタン類の品種・系統における交雑和合性

種子親	花粉親	調査 花数	受粉後 日数	花粉管数 ¹⁾			交雑 和合性	調査年
				上部	中部	基部		
90T9 ($S_{11}S_{11}$) ²⁾	90T9 ($S_{11}S_{11}$)	3	10	5	0	0	不和合	2011
	水晶文旦 ($S_{11}S_{11}$) ²⁾	3	7	> 83	4	0	不和合	2012
	土佐文旦 ($S_{11}S_{11}$)	3	7	>100	> 86	17	和合	2012
水晶文旦 ($S_{11}S_{11}$) ²⁾	90T9 ($S_{11}S_{11}$)	3	10	>100	1	0	不和合	2011
	BS6 ($S_{11}S_{11}$)	3	7	>100	22	0	不和合	2015
	BS29 ($S_{11}S_{11}$)	8	7	> 89	9	0	不和合	2014
	CS46 ($S_{11}S_{11}$)	2	7	> 77	19	9	和合	2014
	はやさき	3	7	>100	11	9	和合	2012
	日向夏 ($S_{11}S_{11}$) ³⁾	8	7	>100	36	9	和合	2014, 2015
土佐文旦 ($S_{11}S_{11}$)	90T9 ($S_{11}S_{11}$)	3	10	>100	66	30	和合	2011
	BS6 ($S_{11}S_{11}$)	3	7	55	2	0	不和合	2012
	水晶文旦 ($S_{11}S_{11}$)	3	7	>100	37	11	和合	2014
晩王柑 ($S_{11}S_{11}$) ²⁾	90T9 ($S_{11}S_{11}$)	3	10	>100	77	17	和合	2011
	BS6 ($S_{11}S_{11}$)	2	7	83	0	0	不和合	2014
	BS29 ($S_{11}S_{11}$)	5	7	>100	17	0	不和合	2013
	水晶文旦 ($S_{11}S_{11}$)	3	7	>100	39	15	和合	2014
	日向夏 ($S_{11}S_{11}$)	4	7	> 94	52	34	和合	2013, 2014
はやさき ²⁾	90T9 ($S_{11}S_{11}$)	3	7	>100	>100	36	和合	2012
	水晶文旦 ($S_{11}S_{11}$)	3	7	>100	>100	30	和合	2012
紅まどか ²⁾	90T9 ($S_{11}S_{11}$)	3	10	>100	99	24	和合	2011

2) S_{11} , S_{11} はS対立遺伝子が不明。
 3) 下線は、本研究で明らかとなったS遺伝子。
 4) $S_{11}S_{11}$, $S_{11}S_{11}$, $S_{11}S_{11}$ および $S_{11}S_{11}$ のいずれかのS遺伝子型を持つ。
 5) 数値は平均値で、>はその数値以上の花粉管が観察されたことを示す。

表2 「はやさき」を受粉した「水晶文旦」の果実

果実 No.	果実重 (g)	横径 (cm)	じょう のう数	完全 種子数	不完全種子数	
					5mm以上	5mm未満
No. 1	192.3	8.3	12	13	1	3
No. 2	161.9	8.1	11	14	0	2

「水晶文旦」($S_{11}S_{11}$)が「土佐文旦」($S_{11}S_{11}$)×「晩王柑」($S_{11}S_{11}$)の交雑実生であることが正しいと仮定した場合、「水晶文旦」のS遺伝子型は $S_{11}S_{11}$ または $S_{11}S_{11}$ のいずれかとなる。しかし、「水晶文旦」は S_{11} 対立遺伝子を持ち、かつ S_{11} および S_{11} 対立遺伝子を持たないため矛盾する。したがって、S遺伝子型からみて「水晶文旦」の由来は、「土佐文旦」×「晩王柑」の交雑実生ではないと考えられた。

「90T9」の花粉親について、矢野ら¹⁴⁾は育成当時の施設栽培の状況から、花粉親は「水晶文旦」あるいは「日向夏」のいずれかとしている。そこで、これについても交雑和合性の関係を調査した。「90T9」×「水晶文旦」および「水晶文旦」×「90T9」の組み合わせが不和合性を示したことから、「水晶文旦」と「90T9」は同じS遺伝子型である($S_{11}S_{11}$)と考えられた。一方、「水晶文旦」×「日向夏」($S_{11}S_{11}$, S_{11} はS対立遺伝子が不明)の組み合わせが和合性を示したことから、「水晶文旦」と「日向夏」は S_{11} 対立遺伝子以外に同じS対立遺伝子を持たない($S_{11} \neq S_{11} \neq S_{11}$)と考えられた。

「90T9」($S_{11}S_{11}$)の由来が「土佐文旦」($S_{11}S_{11}$)×「日向夏」($S_{11}S_{11}$)の交雑実生であることが正しいと仮定した場合、「90T9」のS遺伝子型は $S_{11}S_{11}$ または $S_{11}S_{11}$ のいずれかとなる。しかし、 $S_{11} \neq S_{11}$ かつ $S_{11} \neq S_{11} \neq S_{11}$ であることから、どちらのS遺伝子型も矛盾する。一方で、「土佐文旦」($S_{11}S_{11}$)×「水晶文旦」($S_{11}S_{11}$)の交雑実生であることが正しいと仮定した場合、「90T9」のS遺伝子型は $S_{11}S_{11}$ または $S_{11}S_{11}$ のいずれかとなり矛盾しない。したがって、S遺伝子型からみて「90T9」の由来は、「土佐文旦」×「水晶文旦」の交雑実生であると考えられた。

最後に、矢野ら¹⁴⁾が報告した「はやさき」×「90T9」の不親和現象について、S遺伝子型の観点から検討した。「はやさき」は兄弟品種である「紅まどか」と同時に、1962年に旧果樹試験場興津支場(現国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構果樹茶業研究部門)で、「麻豆文旦」に「平戸文旦」を交配して育成された品種である^{8,13)}。矢野ら¹⁴⁾は、「紅まどか」×「90T9」の組み合わせでは結実良好で完全種子が多数得られたのに対し、「はやさき」×「90T9」の組み合わせでは結実率が低

く、完全種子および不完全種子のない単為結果した果実しか獲得できなかったと報告している。また、‘はやさき’×‘水晶文旦’の組み合わせでも同様であったと報告している(未発表)。

本報告では、‘はやさき’×「90T9」、‘はやさき’×‘水晶文旦’および‘紅まどか’×「90T9」の組み合わせともに和合性を示した。また、果実数は少ないものの、‘水晶文旦’×‘はやさき’の果実において完全種子が多数認められた。したがって、‘はやさき’×「90T9」、‘水晶文旦’で観察された交配不親和は、S遺伝子によるものではない作用機構で発生したと考えられた。この交配不親和は、無核性ブンタン品種の更なる育成に有用であると考えられ、今後は受精胚の観察等を行い、原因を明らかにする必要がある。

以上より、‘水晶文旦’および「90T9」の由来に関する従来の説を検証した。ブンタン類の品種・系統は極めて多く、また自然交雑の可能性もある。近年は、DNA マーカーを用いてカンキツ類の類縁関係を明らかにする研究も進んでおり⁹⁾、これらの知見も含め、研究が進展することに期待したい。

利益相反の有無

著者は開示すべき利益相反はない。

引用文献

- 1) 岩政正男 (1976). 柑橘の品種. 静岡. 静岡県柑橘農業協同組合連合会. P208.
- 2) 金好純子・北島宣・竹岡賢二・中野龍平・中崎鉄也 (2021). 種子が少なくカットフルーツに適する晩生カンキツ新品種 ‘瑞季’. 京大農場報告. 30:7-10.
- 3) Kim, J-H., E. Handayani, A. Wakana, M. Sato, M. Miyamoto, R. Miyazaki, X. Zhou, K. Sakai, Y. Mizunoe, M. Shigyo and J. Masuda (2020). Distribution and Evolution of *Citrus* Accessions with S_3 and/or S_{11} Alleles for Self-incompatibility with an Emphasis on Sweet Orange [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck; S_7S_3 or S_7S_{3m}]. Genet. Resour. Crop. Evol. 67:2101-2117.
- 4) Kim, J-H., T. Mori, A. Wakana, B. X. Ngo, K. Sakai and K. Kajiwara (2011). Determination of Self-incompatible *Citrus* Cultivars with S_1 and/or S_2 Alleles by Pollination with Homozygous S_1 Seedlings (S_1S_1 or S_2S_2) of ‘Banpeiyu’ Pummelo. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 80(4):404-413.
- 5) Kim, J-H., M. Sato, A. Wakana, F. Takamatsu, K. Sakai, M. Sigyo and J. Masuda (2021). Genotyping of *Citrus* Accessions with S_9 and/or S_{10} Alleles for Self-incompatibility and Their Allelic Distribution. Hort. Sci. Technol. 39(6):807-822.
- 6) 北島宣・及部真夕・柳本裕子・山崎安津・西森空・戸梶裕太・小原敬弘・中野龍平・中崎鉄也・舟附秀行・佐藤隆徳 (2023). 三倍体無核性ブンタン新品種 ‘ポナルーナ’ と ‘汐里’ における自家和合性の程度と結実および種子形成. 園学研. 22(別1):243.
- 7) Ngo, B. X., J-H. Kim, A. Wakana, S. Isshiki and T. Mori (2011). Estimation of Self-incompatibility Genotypes of *Citrus* Cultivars with Got-3 Allozyme Markers. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 80(3):284-294.
- 8) 奥代直巳・七條寅之助・生山巖・松本亮司・石内伝治・高原利雄・村田広野 (1991). カンキツ新品種 ‘はやさき’. 果樹試報. 20:63-69.
- 9) Shimizu, T., A. Kitajima, K. Nonaka, T. Yoshioka, S. Ohta, S. Goto, A. Toyoda, A. Fujiyama, T. Mochizuki, H. Nagasaki, E. Kaminuma and Y. Nakamura (2016). Hybrid Origins of Citrus Varieties Inferred from DNA Marker Analysis of Nuclear and Organelle Genomes. PLOS ONE. DOI:10.1371/journal.pone.0166969.
- 10) Soot, R. K. (1969). The incompatibility gene system in citrus. Proc. First Int. Citrus Symp. vol. 1:189-190.
- 11) Wakana, A., B. X. Ngo, I. Fukudome and K. Kajiwara (2004). Estimation of the Degree of Self-incompatibility Reaction during Flower Bud Development and Production of Self-fertilized Seeds by Bud Pollination in Self-incompatible Citrus Cultivars. J. Fac. Agr., Kyushu Univ. 49(2):307-320.
- 12) 渡辺正夫・日向康吉 (1994). 自家不和合性研究の最近の動向—分子遺伝学的研究を中心にして—(I). 花粉誌. 40(1):43-53.
- 13) 山田彬雄・奥代直巳・生山巖・七條寅之助・松本亮司・高原利雄・石内傳治・山本雅史・浅田謙介・村田広野・池宮秀和・岩政正男・西浦昌男 (1993). ブンタン新品種 ‘紅まどか’. 果樹試報. 24:13-22.
- 14) 矢野臣祐・田中満稔・小原敬弘・谷岡英明 (2011). ‘土佐文旦’ 実生「90T9」の特性. 高知農技七研報. 20:63-71.
- 15) Zhou, X. H., J-H. Kim, A. Wakana, K. Sakai, K. Kajiwara and Y. Mizunoe (2018). Distribution and Evolution of Citrus with S_4 and/or S_5 Gene Alleles for Self-incompatibility with Special Focus on the Origin of Satsuma Mandarin (*Citrus unshiu* Marc. : S_5S_4).

Genet. Resour. Crop. Evol. 65:1013-1033.

Summary

'Suisho-buntan' (*Citrus grandis* Osbeck) is a pummelo cultivar with few seeds, whereas '90T9' is a seedless pummelo hybrid. Although both cultivars are useful as breeding parents, their origins are unclear. Therefore, I estimated the origins of these cultivars based on the self-incompatibility exhibited by the genus *Citrus*. My findings suggest that 'Suisho-buntan' is not a hybrid seedling of 'Tosa-buntan' (seed parent) and 'Bankan' (pollen parent), which is considered to be the most reliable; but that '90T9' is a hybrid seedling of 'Tosa-buntan' (seed parent) and 'Suisho-buntan' (pollen parent), which had the same self-incompatibility genotype of 'Shisho-buntan'.

Key words: pummelo, pollen tube, cross compatibility, S genotype

葉面積指数(LAI)を用いたユズのせん定の定量化

谷本 佑*・廣瀬拓也**・西森 空・中野和彦***・北沢知明****

Quantifying the Pruning of Yuzu (*Citrus junos* Sieb. ex Tanaka) using Leaf Area Index

Yuu TANIMOTO*, Takuya HIROSE**, Sora NISHIMORI, Kazuhiko NAKANO*** and Tomoaki KITAZAWA****

要 約

ユズにおけるせん定の定量化の指標として葉面積指数(以下, LAI)に着目し, LAI を非破壊かつ迅速に推定するためのプラントキャノピーアナライザー(以下, PCA)の測定方法を明らかにした。さらに, 隔年結果性および収量性の観点から, 適正なせん定量を指標化した。

- PCA を用いて測定した LAI (以下, PCA-LAI) は, 主幹中心から距離 80cm の 4 方位(東西南北)の位置より 90° のビューキャップを装着して測定し, 天頂角 4 つ(7, 23, 38, 53°)で解析した時に, 最も実際の LAI (以下, 実測 LAI) に近似した。
- 県内生産者園地の実態調査から, 樹容積あたりの収量が 2.1kg/m³ 以上の高い収量(高収量性)かつ隔年結果指数が 0.30 未満の毎年安定した収量(低隔年結果性)が得られている園地を抽出した。この高収量性かつ低隔年結果性の園地のせん定後 LAI は 3.7, LAI 減少量は 1.7, LAI 減少率は 30.6%で, これらがせん定量の目安となると考えられた。

キーワード: 隔年結果性, プラントキャノピーアナライザー, せん定量, 天頂角

はじめに

高知県内のユズ(*Citrus junos* Sieb. ex Tanaka)産地では, 生産者の高齢化が進むなか, 新規参入, 親元就農および定年帰農等の多様な新規就農者の受入体制が整備されている。しかし, ユズは隔年結果性が強く, せん定に代表される栽培管理に熟練を要し, これらが新規就農を阻害する要因となっている。

カンキツ類のせん定について, せん定の方法に着目した研究^{2,4,5)}や資料³⁾は多いものの, せん定量に着目した研究は少なく⁹⁾, ユズにおいてもせん定量を客観的に示す方法およびその目安は明らかとなっていない。またユズでは, 加工用果実が他のカンキツ類と比較して高単価で取引されるため, 摘果はほとんど行われず, 熟練生産者はせん定量を調節することで着果量をコントロールしている。着果量の変動は収入の不安定化につながるため, 隔年結果抑制の観点からも, せん定量の定量化は極めて重要である。

そこで本報告では, せん定の定量化の指標として LAI に着目した。せん定量の指標としてせん定葉枝重を用いる場合もあ

るが⁴⁾, せん定後の樹体の葉枝重は, 解体して調査しなければならない。LAI は非破壊での調査が可能である。しかし, 実測 LAI の算出には, 多大な時間と労力が必要なため, LAI を迅速に推定するための PCA の測定方法を検討した。さらに, 隔年結果性および収量性の観点から, ユズにおける適正なせん定量を指標化したので報告する。

なお本研究は, 内閣府地方大学・地域産業創生交付金「「IoP (Internet of Plants)」が導く「Next 次世代型施設園芸農業」への進化」の助成を受けて実施した。また, 実施に当たっては, 安芸市および香美市の現地生産者, 高知県農業協同組合, 安芸農業振興センター, 中央東農業振興センターおよび果樹試験場の職員から多大な協力を賜った。ここに記して深く感謝の意を表す。

材料および方法

1. 着果樹を用いた PCA によるユズの LAI 測定方法の検討

まず最初に, PCA によるユズの LAI 測定に最適な測定位置お

* 農業技術センター果樹試験場兼高知工科大学

** 現農業大学校

*** 現中央西農業振興センター

**** 現中央西農業振興センター高知農業改良普及所

よびPCA-LAI算出に用いる天頂角数について、着果樹を用い検討した。果樹試験場内露地ほ場(高知市朝倉, 以下, 場内)に植栽間隔3.0×4.0mで植えられた20~24年生の開心自然形のユズ「公文系」10樹を供試し, 2019年8月下旬~9月に全葉数, 個葉面積および樹幅(長径幅, 短径幅)を測定した後, 実測LAI=全葉面積(=全葉数×個葉面積)/樹冠占有面積(=(長径幅+短径幅)/2)²×π)を算出した。なお個葉面積は, 樹内で中庸な葉を20枚/樹ずつ採取し, スキャナーでスキャンして, フリーソフトウェアのLIA for Win32を用いて算出した。PCA-LAIは,

曇天日の9月30日日中に90°のビューキャップを装着したPCA(LAI-2200C, LI-COR社製)を用い, 山本ら¹⁰⁾の方法を参考に, 主幹中心から30, 40, 50, 60, 70, 80, 90cm離れた4方位(東西南北)の位置より測定した。付属の解析ソフト(FV2200, LI-COR社製)を用い, 天頂角5つ(7, 23, 38, 53, 68°, 以下, 5天頂角), 天頂角4つ(7, 23, 38, 53°, 以下, 4天頂角)および天頂角3つ(7, 23, 38°, 以下, 3天頂角)により, 光路長をHorizontal(default)として解析した(図1)。

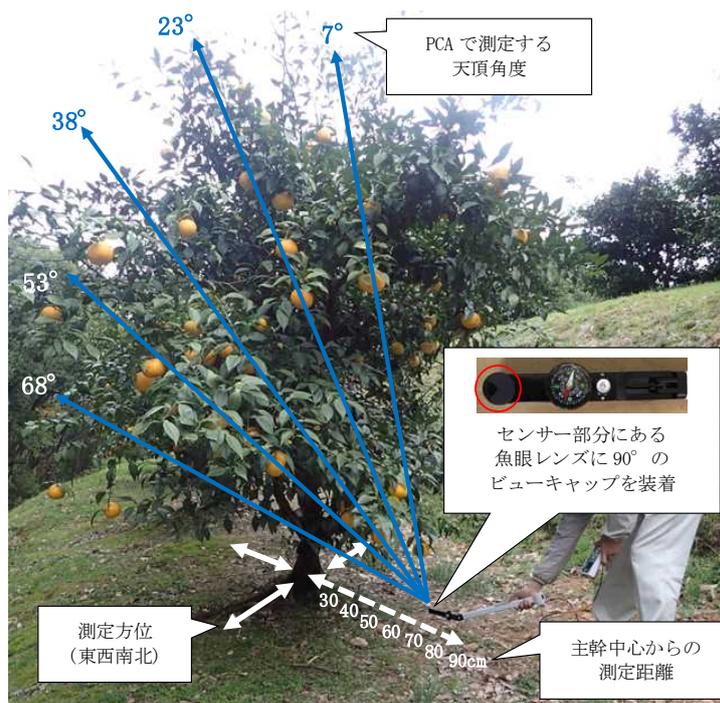


図1 PCAによる測定の様子

2. 未着果樹を用いたPCAによるユズのLAI測定方法の検証

次に, 着果樹を用い検討したPCA-LAIの測定方法について, 未着果樹を用いて検証した。場内に植栽間隔3.0×4.0mで植えられた19~26年生の開心自然形のユズ「公文系」11樹, 計20データを用いた。実測LAIは, 2019年2月下旬(せん定前), 3月中旬(せん定後)および2022年2月下旬(せん定前), 3月下旬(せん定後)に, 試験1と同様の方法で算出した。PCA-LAIは, 90°のビューキャップを装着したPCAを用い主幹中心から80cm離れた4方位の位置より, 曇天日の2019年2月27日(せん定前), 3月25日(せん定後), 2022年2月9日(せん定前)および3月25日(せん定後)の日中に測定した。試験1と同様に付属の解析ソフトを用い, 5天頂角, 4天頂角および3天頂角で解析した。

3. PCA-LAIによるユズのせん定の指標化

最後に, 県内生産者園地の実態調査から生産性の高い園地

を抽出し, 収量とPCA-LAI等との関係を解析して, 適正なせん定量を検討した。安芸市および香美市の平坦地に植栽されている計8園地(表1)から, 平均的な樹を4樹ずつ選び調査対象とした。施肥や防除等は生産者慣行とし, 全園とも完全着色後に収穫した。樹冠占有面積および樹容積は, 2018年11月, 2019年11月, 2021年1月および2022年1月に箱尺で樹幅(長径幅, 短径幅)および高さを測定し, 楕円および半楕円体に近似として算出した。収量は, 2018~2021年の11月に収穫重量を調査した。本研究では, 旧高知県山間農業試験場の調査結果(表2)から, 開心自然形における樹容積あたりの基準収量を $2.1\text{kg}/\text{m}^3$ とし, $2.1\text{kg}/\text{m}^3$ 以上を高収量性園, $2.1\text{kg}/\text{m}^3$ 未満を低収量性園とした。隔年結果指数はHoblynら¹⁾の計算式(|当年収量-前年収量|/(当年収量+前年収量))より算出した。安定生産上許容できる値を0.30と設定し, 0.30未満を低隔年結果性園, 0.30以上を高隔年結果性園とした。収量性および隔年結果性の組み合わせにより調査園地を4つに分類し, 高収量性がつ

低隔年結果性と分類された園地の PCA-LAI を推定した。PCA-LAI は、2018年11月、2019年3~4月、11月、2020年4月、2021年1月および3~4月の曇天日日中に、主幹中心から80cm離れた4方位の位置で測定し、4天頂角から算出した。2018年11月、2019年11月および2021年1月に測定した PCA-LAI をせ

ん定前LAI、2019年3~4月、2020年4月および2021年3~4月に測定した PCA-LAI をせん定後LAI、せん定前LAI-せん定後LAI をLAI減少量、LAI減少量/せん定前LAI×100をLAI減少率(%)とした。

表1 調査ほ場の概要

園地	品種、系統	樹齢(年) ^{z)}	植栽間隔(m)	樹形	樹高(m) ^{y)}	樹容積(m ³) ^{x)}	10aあたりの樹冠占有面積率(%) ^{w)}
安芸A	海川	14	4.0 × 4.0	開心自然形	2.4	16.7	64.1
安芸B	海川	14	4.0 × 2.5	開心自然形	3.2	20.8	97.8
安芸C	海川	14	4.0 × 3.0	開心自然形	3.1	18.2	72.6
安芸D	海川	15	3.5 × 3.0	開心自然形	3.1	18.4	83.7
香美A	公文2号	不明	3.5 × 3.0	開心形	2.6	11.3	61.5
香美B	公文	24	3.0 × 3.5	開心形	2.2	9.7	62.9
香美C	公文	26	4.0 × 3.5	開心形	2.5	13.2	56.8
香美D	公文	10	3.0 × 2.7	開心形	2.3	8.3	68.1

z) 2018年時点の樹齢。

y) 2018~2021年の各年11月の平均値。

x) 半楕円体=π×長径幅/2×短径幅/2×樹高×4/3/2に近似として算出。2018~2021年の各年11月の平均値。

w) 楕円=π×長径幅/2×短径幅/2に近似とした1樹あたりの樹冠占有面積と、植栽間隔から算出した10aあたり植栽本数より算出。

表2 ユズの基準収量の算出方法

調査年	樹齢	1樹当たり収量		平均果実重(g)	樹冠m ³ 当たり個数	樹容積(m ³)	収量(kg/m ³)
		個数	重量(kg)				
1978	8	165.8	21.4	132.0	14.9	11.1	2.0
1979	9	360.0	37.6	109.0	22.1	16.3	2.4
1980	10	199.1	20.1	121.0	14.5	13.7	1.8
1981	11	381.0	37.8	104.0	22.3	17.1	2.3
平均		276.5	29.2	116.5	18.5	14.6	2.1

注1) 昭和56年度高知県山間農業試験場試験研究実績報告書より抜粋。

注2) 物部村、8年生、開心自然形、階段畑で段幅が2.3~3.9m、株間が3.4~5mの1列植、13本を調査。

結 果

1. 着果樹を用いたPCAによるユズのLAI測定方法の検討

着果樹における PCA-LAI は、いずれの距離の測定でも、5天頂角での算出時に実測LAIより低くなり、4天頂角の算出では同等で、3天頂角の算出では高くなる傾向であった。また、4天頂角での算出時の主幹中心からの距離は、80cmとした場合に相関係数0.82と最も強い正の相関がみられた。無相関の検定において有意差が認められたいずれの回帰式においても、切片は-1.35~4.19とマイナスであった(図2)。

2. 未着果樹を用いたPCAによるユズのLAI測定方法の検証

せん定によりLAIを変化させた未着果樹においてPCA-LAIと実測LAIの関係を調査したところ、決定係数は天頂角数による差がみられなかった。一方、回帰直線の傾きは、5天頂角での算出時に1.22とPCA-LAIが実測LAIより過小評価され、3天頂角での算出時に0.64とPCA-LAIが実測LAIより過大評価さ

れる傾向だったのに対し、4天頂角での算出では0.88、切片は+0.21とPCA-LAIの値が最も実測LAIに近かった(図3、表3)。

3. PCA-LAIによるユズのせん定量の指標化

樹容積あたりの収量(kg/m³)は、安芸A、C、D園および香美B、C園が基準収量より多かった(図4)。隔年結果指数は、安芸C園および香美A、B、C園が0.30未満と小さかった(図5)。せん定後LAIは、安芸A園および香美A園でそれぞれ2.7および3.1と低く、安芸D園で4.5と高かった(図6)。LAI減少量は、安芸C、D園および香美B、D園で2.0以下と小さかった(図7)。LAI減少率(%)は、香美B園および安芸D園でそれぞれ24.7%および23.5%と低く、安芸A園では49.2%と高かった(図8)。高収量性かつ低隔年結果性と分類された安芸C園および香美B、C園におけるせん定後LAIの平均値は3.7(図6)、LAI減少量の平均値は1.7(図7)、LAI減少率(%)の平均値は30.6%であった(図8)。

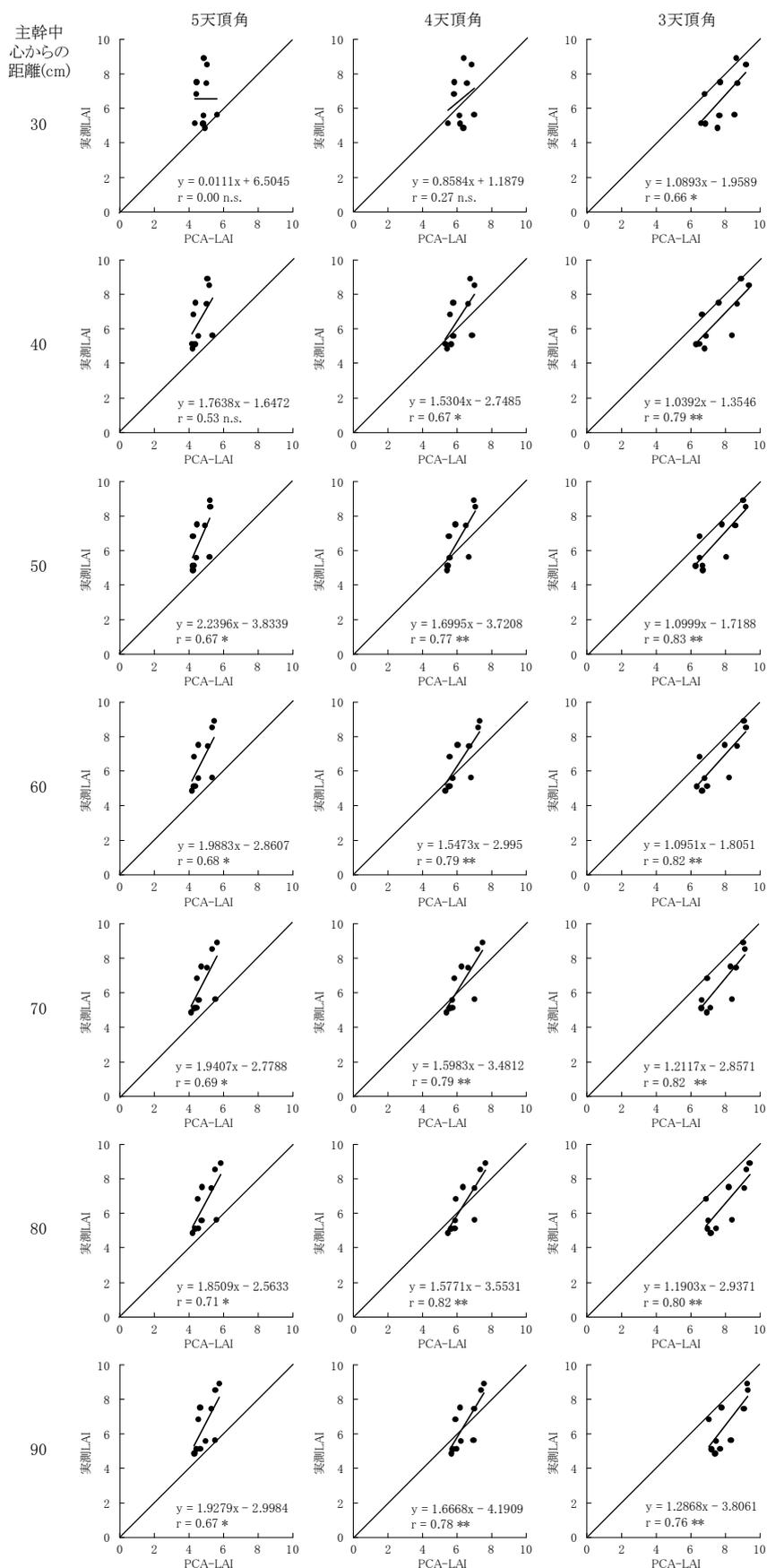


図2 着果したユズ樹体における PCA-LAI と実測 LAI の関係

注) 無相関の検定により, **は1%水準で, *は5%水準で有意差あり, n. s. は有意差なし。

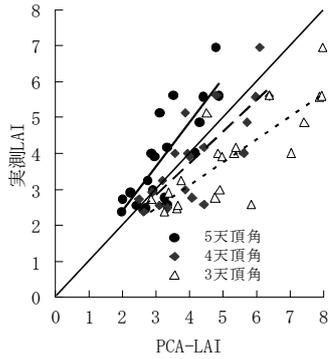


図3 未着果のユズ樹体における PCA-LAI と実測 LAI の関係

表3 未着果のユズ樹体における PCA-LAI と実測 LAI の関係

天頂角数	回帰式	相関係数 ^{z)}	決定係数
5天頂角	$y=1.2215x-0.0264$	0.80 **	0.65
4天頂角	$y=0.8801x+0.2073$	0.79 **	0.63
3天頂角	$y=0.6376x+0.5544$	0.80 **	0.65

z) 無相関の検定により,**は1%水準で有意差あり.

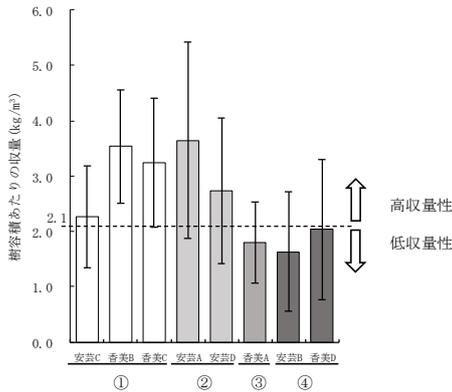


図4 現地生産者ほ場の収量性

注1) 各園4樹調査, 2018~2021年の平均値.
 注2) エラーバーは標準偏差を示す.
 注3) ①は高収量性×低隔年結果性園, ②は高収量性×高隔年結果性園, ③は低収量性×低隔年結果性園, ④は低収量性×高隔年結果性園を示す.

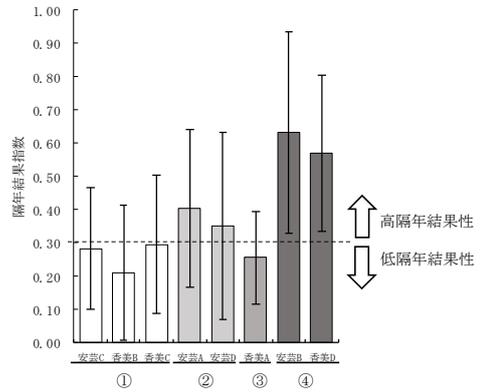


図5 現地生産者ほ場の隔年結果性

注1) 各園4樹調査, 2018~2021年の平均値.
 注2) エラーバーは標準偏差を示す.
 注3) ①は高収量性×低隔年結果性園, ②は高収量性×高隔年結果性園, ③は低収量性×低隔年結果性園, ④は低収量性×高隔年結果性園を示す.

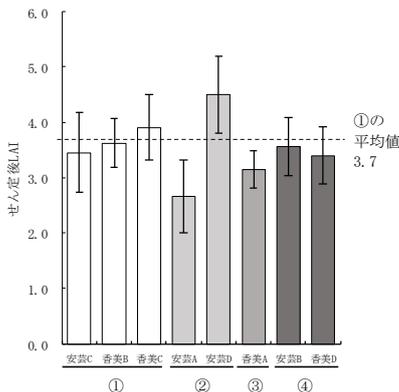


図6 現地生産者ほ場のせん定後 LAI

注1) 各園4樹を PCA により調査, 2019~2021年の平均値.
 注2) エラーバーは標準偏差を示す.
 注3) ①は高収量性×低隔年結果性園, ②は高収量性×高隔年結果性園, ③は低収量性×低隔年結果性園, ④は低収量性×高隔年結果性園を示す.

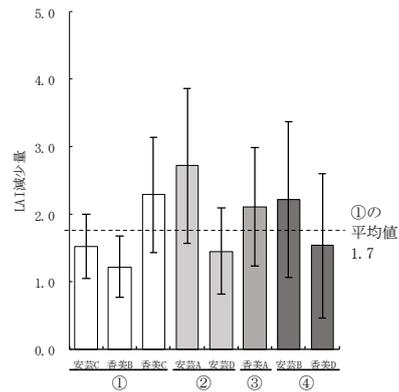


図7 現地生産者ほ場の LAI 減少量

注1) 各園4樹を PCA により調査, 2019~2021年の平均値.
 注2) エラーバーは標準偏差を示す.
 注3) ①は高収量性×低隔年結果性園, ②は高収量性×高隔年結果性園, ③は低収量性×低隔年結果性園, ④は低収量性×高隔年結果性園を示す.

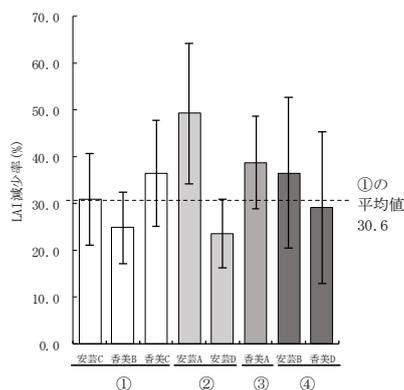


図8 現地生産者ほ場のLAI減少率

注1) 各園4樹をPCAにより調査。

2019~2021年の平均値。

注2) エラーバーは標準偏差を示す。

注3) ①は高収量性×低隔年結果性園、
②は高収量性×高隔年結果性園、③は低
収量性×低隔年結果性園、④は低収量性
×高隔年結果性園を示す。

考 察

ユズの新規就農者にとって、せん定は習得の難しい管理作業の一つである。特にせん定量は、前年の着果量や収穫時期、結果母枝の量や質、葉色、落葉量および幹腐病の罹患の有無等によって樹毎に決定する必要がある。せん定量が少ないと、枝葉が混み合いすぎて防除や収穫作業等に時間を要する³⁾。一方、せん定量が多すぎる場合、樹形が乱れ、収量および品質が不安定となる²⁾。熟練生産者は前述の樹の状態を基に経験的に判断しせん定量を調節しているが、ユズにおいて適正なせん定量の目安は明確となっていないため、栽培初心者は樹毎にせん定量を決定することに苦慮している。

そこで本報告では、せん定量の指標としてLAIに着目した。いくつかの果樹で、収量はLAIに強く影響を受けることが明らかとなっている^{7,8)}が、カンキツ類においてもLAIの増加にしたがって収量は増加し、一定以上のLAIとなると、密植の弊害として収量が減少し始めることが認められている⁹⁾。これらのことから、ユズにおいても、単位面積あるいは1樹あたりの収量を最大にする最適LAIが存在し、それを連年として維持できるようなせん定後のLAIを明らかにすることで、LAIをせん定量の目安として利用できると考えた。

しかし、実測LAIを算出するためには、樹体の総葉数に個葉面積を乗ずる必要があり、多大な時間と労力が必要で実際的ではない。そこで本研究では、非破壊かつ迅速にLAIを推定できるPCAに着目し、PCAによるLAIの測定方法について検討した。PCAは、センサー部分にある魚眼レンズで5つの天頂角別に490nm以上の入射光を測定することにより、その比率から放射伝達モデルを用いてLAIを推定する。1回の測定時間は30秒程度と極めて短い。品目や栽培環境により測定方法が異なるが、露地ウンシュウミカンにおいては、90°のビューキャッ

プを装着したPCAを用い、主幹中心から60cm離れた4方位(北東、南東、南西、北西)の位置より測定し、7, 23, 38, 53°の4つの天頂角を用いて算出することで実測LAIの近似値を推定できることを明らかにしている¹⁰⁾。本研究の露地ユズにおいても、露地ウンシュウミカンとほぼ同様の設定で推定できる可能性が示唆されたが、測定に最適な主幹からの距離は80cmと、ウンシュウミカンの60cmとやや異なった。また、いずれの天頂角数の回帰式においても切片がマイナスとなった。これは8~9月の果実肥大期に測定したため、センサーが果実を葉とみなして評価した可能性や、果実の重みによる枝葉の下垂が影響した可能性が考えられた。そのため、せん定前後の未着果の樹体を用いてPCAの精度を検証した。その結果、4天頂角を用いた場合のPCA-LAIが最も実測LAIに近く、回帰直線もほぼ原点を通った。よって、90°のビューキャップを装着したPCAを用い、主幹中心から距離80cmで測定し、かつ4天頂角を用いて解析することで、未着果のユズではLAIを比較的正确に推定できると考えられた。なお今回は、植栽間隔が4.0×3.0mと樹間の比較的広い園地での検討であったため、樹と樹が交差するような密植園の測定では、天頂角数を少なくすることや、ビューキャップを変更すること等を検討する必要があると考えられた。

次に、県内生産者園地の実態調査から生産性の高い園地を抽出し、収量とPCA-LAI等との関係を解析して、適正なせん定量を検討した。4年間の調査から、隔年結果指数が0.30未満の毎年安定した収量(低隔年結果性)かつ2.1kg/m³以上の高い収量(高収量性)である3園地(安芸C園、香美B園および香美C園)を抽出した。この3園地は樹形、樹高および樹容積が異なるものの、10aあたりの樹冠占有面積率が80%以下と低く、せん定後LAI、LAI減少量およびLAI減少率(%)は比較的近い値であった。一方で、低収量性かつ高隔年結果性の2園地について、安芸B園は10aあたりの樹冠占有面積率が97.8%と高く、香美D園は10aあたりの樹冠占有面積率が80%以下と低いものの、植栽間隔が狭く樹容積が小さかった。また、高隔年結果性の安芸A園および低収量性の香美A園は、10aあたりの樹冠占有面積率が80%以下と低いものの、せん定後LAIがそれぞれ2.7および3.1と他園より低かった。さらに、高隔年結果性の安芸D園は、10aあたりの樹冠占有面積率が80%以上かつせん定後LAIが4.5と他園より高かった。このことから、ユズにおける適正なせん定量の目安は、10aあたりの樹冠占有面積率が80%以下かつ植栽間隔が概ね3.0×4.0mの場合、せん定後LAIは3.7、LAI減少量は1.7、LAI減少率は30.6%とするのが妥当と考えられた。ただし、隔年結果性および収量性は、せん定量のみならず、土質、施肥量、気象条件および収穫時期等にも左右されることに留意する必要がある。

以上のとおり、ユズにおけるPCAによるLAIの測定方法を明

らかにし、適正なせん定量を指標化した。なお、PCA は高額であるために、生産者が購入するのは現実的ではない。そこで、西森ら⁶⁾はスマートフォン搭載カメラに魚眼レンズを装着することでLAIを測定できるアプリ(以下、LAIアプリ)を、NECソリューションイノベータ株式会社と共同で開発した。このLAIアプリと本報告が、ユズの新規就農者のせん定技術の早期習得に役立つことを期待する。

利益相反の有無

すべての著者は開示すべき利益相反はない。

引用文献

- Hoblyn, T. N., N. H. Grubb, A. C. Painter and B. L. Wates (1936). Studies in Biennial Bearing-1. J. Pom. Hort. Sci. 14:39-76.
- 菊池毅洋・高木信雄・喜多景治・三堂博昭・崎本孝江(2009). カンキツの剪定方法の違いによる樹のエイジング調節. 愛媛農水研果樹研報. 1:17-23.
- 高知県ゆず振興対策協議会 (2014). ゆず栽培マニュアル. P.28-32.
- 森岡節夫・八幡茂木 (1981). 温州ミカンにおける整枝せん定方法が樹の発育, 収量, 果実の品質などに及ぼす影響 (第1報) 樹の発育と葉の分布状態. 千葉暖地園試研報. 12:1-8.
- 森岡節夫・八幡茂木 (1985). 温州ミカンにおける整枝せん定方法が樹の発育, 収量, 果実の品質などに及ぼす影響 (第2報) 収量と果実の品質. 千葉暖地園試研報. 13:1-9.
- 西森空・中野和彦・谷本佑・北沢知明 (2024). ユズにおける簡易な葉面積指数(LAI)推定技術. 高知農技研報. 33:★★
- 塩崎雄之輔・菊池卓郎 (1992). 葉面積指数および樹勢が開心形リンゴ樹の収量に及ぼす影響. 園学雑. 60(4):827-832.
- 末澤克彦・土居新一 (1985). キウイフルーツの収量構成要因の定量化(第1報)最適葉面積指数の推定. 香川農試研報. 37:48-54.
- 橋温・中井滋郎 (1989). 異なった栽植密度及び栽培条件におけるワセウシユウの収量と葉面積指数との関係. 園学雑. 57(4):561-567.
- 山本晴彦・岩谷潔 (2022). デジタルカメラを利用したカンキツ樹の総葉面積の計測. 農業技術大系果樹編. 第1-I巻. 東京. 農山漁村文化協会. 技22の20-22の22.

Summary

To establish an index to quantify the optimal amount of pruning for yuzu (*Citrus junos* Sieb. ex Tanaka), we used the Leaf Area Index (LAI). Plant Canopy Analyzer (PCA) measurement method for non-destructive and rapid estimation of LAI was determined to conduct this study. The appropriate amount of pruning was then indexed in terms of biennial bearing and yield. We found the following:

1. LAI measured using PCA (PCA-LAI) was closest to the actual LAI when it was measured with a 90° view cap at a distance of 80 cm from the center of the trunk in four directions (i.e., east, west, south, and north) and analyzed at four zenith angles (7, 23, 38 and 53°).

2. Based on a survey of yuzu farmers' orchards in Kochi prefecture, we selected orchards with high yields of 2.1 kg/m³ or more per tree volume (high-yielding) and stable yields every year with a biennial bearing index of less than 0.30 (low-biennial bearing). The orchards' LAI, LAI reduction and LAI reduction rates with high-yielding and low-biennial bearing were 3.7, 1.7, and 30.6%, respectively. These indices are indicative of the optimal amount of pruning necessary for yuzu.

Key words: biennial bearing, Plant Canopy Analyzer, amount of pruning, zenith angle

スマートフォンを用いたユズの葉面積指数(LAI)推定技術

西森空・中野和彦*・谷本佑**・北沢知明***

Method for Estimating Leaf Area Index (LAI) of Yuzu (*Citrus junos* Sieb. ex Tanaka) using Smartphone Application

Sora NISHIMORI, Kazuhiko NAKANO*, Yuu TANIMOTO** and Tomoaki KITAZAWA***

要 約

葉面積指数(以下, LAI)をユズのせん定量の指標として活用するために, LAI 簡易推定スマートフォンアプリケーション(以下, LAI 推定アプリ)を NEC ソリューションイノベータ株式会社と共同で開発し, 測定・設定方法の検討および精度の検証を行った。

LAI 推定アプリを用いた測定は次のとおり行う。スマートフォンのインカメラに魚眼レンズを装着し, 樹冠半径の 1/2 の位置よりスマートフォンの本体上部を樹体中心に向け, 水平を保ったまま, 地表面近くからインカメラを上に向けて撮影することで推定結果が画面上に表示される。測定方向は, 畝に直交する 2 方向からとする。

LAI 推定アプリを用いて測定した LAI は, 実測 LAI と強い正の相関がみられ, プラントキャノピーアナライザー(以下, PCA)から得られた LAI と実測 LAI との相関と同程度の精度が確認された。また, 空隙率検出閾値(二値化閾値)を機種毎に適した値に設定することで, 実測 LAI により近い LAI 値が得られた。

キーワード: 魚眼レンズ, スマートフォンアプリケーション, せん定, 二値化, PCA

はじめに

ユズ(*Citrus junos* Sieb. ex Tanaka)は高知県を代表する果樹で, 県内の栽培面積は 885ha, 生産量は 9,654t¹⁾といずれも全国一の産地である。産地では生産者の高齢化に伴う担い手不足により新規就農者の継続的な確保が求められている。しかし, ユズは隔年結果性が強く, せん定に代表される栽培管理に熟練の技術を要するため, これらが新規就農を阻害する要因のひとつとなっている。

ユズは他のカンキツ類と比較して加工用果実も高単価で取引されるため, 摘果がほとんど行われず, せん定により着果量が調節されているが, これまでせん定量が隔年結果に及ぼす影響に関する研究は行われていなかった。そこで谷本らはユズのせん定量の指標として LAI に着目し, LAI を非破壊かつ迅速に推定できる PCA の測定方法を確立し, あわせて隔

年結果を防ぐせん定量を PCA から得られた LAI により指標化した³⁾。PCA は, ユズ³⁾の他にブドウ⁵⁾やイチネ⁶⁾における LAI の測定に用いられているが, 高価であり生産現場において日常的に用いることは現実的ではない。

そこで, 当センター果樹試験場では 2022 年に, スマートフォンで使用できる LAI 推定アプリを NEC ソリューションイノベータ株式会社と共同で開発した(図 1)。このアプリは, インカメラに市販の魚眼レンズを装着したスマートフォン(Android 端末)で対象樹を撮影し, 撮影画像を二値化して LAI を推定する。また, 測定園地の栽植密度に応じて推定に用いる天頂角の選択, 対象樹に応じた樹高比の設定および撮影後の画像から推定対象範囲を自由に選択することが可能である。なお, LAI 推定アプリにおける天頂角は, PCA の天頂角(7, 23, 38, 53, 68°)に対応する撮影

* 現高知県中央西農業振興センター

** 高知県農業技術センター果樹試験場兼高知工科大学

*** 現高知県中央西農業振興センター高知農業改良普及所

画像内の範囲を指す(図2)。

本研究では、この LAI 推定アプリについて、ユズにおける最適測定・設定方法の検討および精度の検証を行ったので、報告する。

なお、本研究は、内閣府地方大学・地域産業創生交付金「IoP(Internet of Plants)」が導く「Next 次世代型施設園芸農業」への進化の助成を受けて実施した。

材料および方法

当場内露地ほ場(高知市朝倉)で栽培しているユズ「公文系」、開心自然形、22~26年生、栽植間隔3.0×4.0mの9樹を供試した。同樹について、LAI推定アプリをインストールしたスマートフォン3機種(スマホ1:Galaxy S20 SC-51A, スマホ2:AQUOS sense6, スマホ3:Xperia 5 II)およびPCAを用いてせん定前後にLAIを推定し、実測LAIとの相関を算出した。なお、せん定時以外に葉の減少はないものとした。また、空隙率検出閾値とはLAI推定アプリ内での二値化閾値を指す。

試験に用いた機種を選定はIDC Japan株式会社が報告した2020年第4四半期および2020年通年国内携帯電話/スマートフォン市場実績値をもとに行い、Android端末の上位製造元が2022年1月末時点で販売していた機種とした。各機種のカメラ性能情報を表1に示した。

試験1 LAI推定アプリの測定方向の検討

LAI推定アプリを用いて推定したLAI(以下、スマホLAI)は、せん定前の2022年3月22日(16:30~17:30,曇り)に5樹、せん定後の同年3月28日(9:00~10:00,曇り)に9樹で測定した。スマートフォンのインカメラに魚眼レンズ(リアルプロクリップレンズ魚眼180°,Kenko Tokina社製)を装着し、樹冠半径の1/2の位置からスマートフォンの本体上部を樹体中心に向け、地表面近くからインカメラを上に向けて測定した(図3,4)。測定は1方向,2方向,4方向からとし、それぞれの測定位置は図5のとおりとした。なお、測定位置は実用面を考慮して畝に合わせ、4方向から測定する場合は畝に対して直交および平行,2方向から測定する場合は畝に対して直交または平行に撮影した。設定について、天頂角を4つ(1~4天頂角)採用する独立樹モード、樹高比(樹高/樹幅)は1.0,空隙率検出閾値は254(初期設定値)



図1 LAI推定アプリの画面
(左:アプリトップ画面,中央:測定結果画面,右:測定履歴画面)

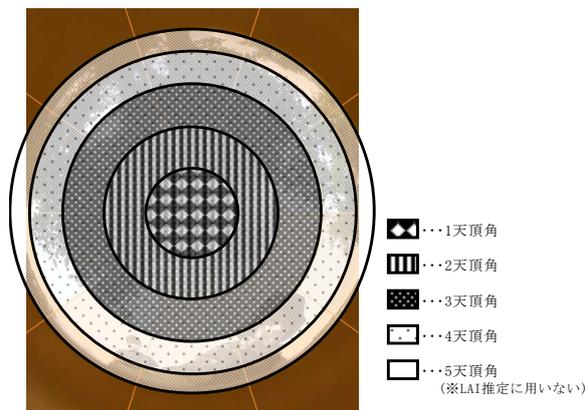


図2 LAI推定アプリにおける天頂角



図3 LAI推定アプリを用いた測定の様子

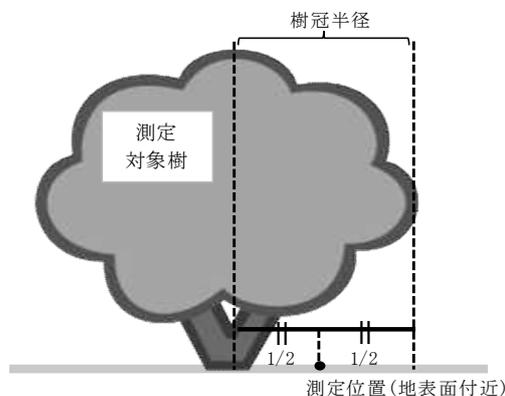


図4 スマホLAIの測定位置

とし、撮影画像から対象樹が写っている範囲を自動(二値化後の白部分(空等)が75%以上の範囲を自動的に除外)および手動(対象樹が写っている面積が25%以下の範囲を目視で除外)で指定した。

PCA(LAI-2200C, LI-COR社製)を用いたLAI(以下、PCA-LAI)の測定は、せん定前の2022年2月10日に5樹、せん定後の同年3月28日に9樹で実施した。谷本ら³⁾の方法に準じて90°のビューキャップを装着したPCAを用いて主幹中心から80cmの東西南北の位置より樹体中心に向かって測定した後(図5)、付属の解析ソフト(FV2200, LI-COR社製)を用いて光路長をHorizontal(default)、天頂角を4つ(7, 23, 38, 53°)としてLAIを算出した。

実測LAIは、全葉面積(=全葉数×個葉面積)/樹冠占有面積で求めた。全葉数は2022年3月24~28日にせん定後の全葉数およびせん定除去葉数を計測し、せん定前の全葉数はせん定後の全葉数+せん定除去葉数で求めた。なお、せん定後の全葉数は9樹、せん定除去葉数は5樹で計測した。個葉面積は2022年3月24日に中庸な葉をサンプリング(20枚/樹)してスキャナー(GT-X830, EPSON社製)でスキャンした後、フリーソフトウェアのLIA for Win32⁸⁾により算出した。樹冠占有面積は樹幅を2022年2月9日、3月25日に測定し、樹冠占有面積=長径幅/2×短径幅/2× π で算出した。

試験2 LAI推定アプリの空隙率検出閾値の検討

スマホLAIは、せん定前の2022年3月22日(16:30~17:30, 曇り)に5樹、せん定後の同年3月28日(9:00~10:00, 曇り)に9樹で試験1と同様の方法で測定した。測定方向は畝に対して直交する2方向からとした。機種毎の空隙率検出閾値について、初期設定値が最適か確認するために、以下の方法で空隙率検出閾値を調整したスマホLAIと比較した。撮影したカラー画像と二値化画像を比較しながら空隙率検出閾値を調整し、葉とその他の部分との境界が一致する値(スマホ1は閾値140または150, スマホ2

は閾値110または120, スマホ3は閾値130または140)とした。

PCA-LAIはせん定前の2022年2月10日に5樹、せん定後の同年3月28日に9樹で試験1と同様の方法で測定した。

実測LAIは試験1と同様の方法で測定した。

結 果

試験1 LAI推定アプリの測定方向の検討

スマホLAIは、実測LAIとの相関係数は0.8041から0.9347となり、いずれの機種も強い相関がみられ、PCA-LAIと実測LAIとの相関係数0.8093と同等以上であった(図6~10)。また、1方向より2方向の測定で実測LAIとの相関が強くなったが、4方向では2方向と同等であった。2方向から測定する場合、畝に対して直交する位置からの測定は、畝に対して平行する位置からの測定に比べ、実測LAIとの相関が強かった。なお、スマホLAIは実測LAIより高くなる傾向であった。

試験2 LAI推定アプリの空隙率検出閾値の検討

空隙率検出閾値を調整することにより、スマホ1のLAIは実測LAIに近づいたが、空隙率検出閾値140, 150の実測LAIとの相関係数は、それぞれ0.666, 0.7641となり、初期設定値(254)の0.8853より低い値を示した(図11)。スマホ2のLAIも同様に実測LAIに近づいた(図12)。空隙率検出閾値110, 120の実測LAIとの相関係数は、それぞれ0.9268, 0.9312となり、初期設定値(254)の0.9347と同程度となった。スマホ3のLAIは、他の2機種と同様に実測LAIに近づいた(図13)。空隙率検出閾値130, 140の実測LAIとの相関係数は、それぞれ0.9127, 0.9196となり、初期設定値(254)の0.929と同程度となった。なお、PCA-LAIと実測LAIとの相関係数0.8093と同程度で、実測LAIに近い値を示す空隙率検出閾値は、スマホ1では150, スマホ2では120, スマホ3では140であった。

表1 各機種のカメラ性能情報

機種名	有効素数	インカメラ対角画角 (°)	F値	
スマホ1	Galaxy S20 SC-51A	約1000万画素	68.450	2.2
スマホ2	AQUOS sense6	約800万画素	78.832	2.0
スマホ3	Xperia 5 II	約800万画素	85.539	2.0

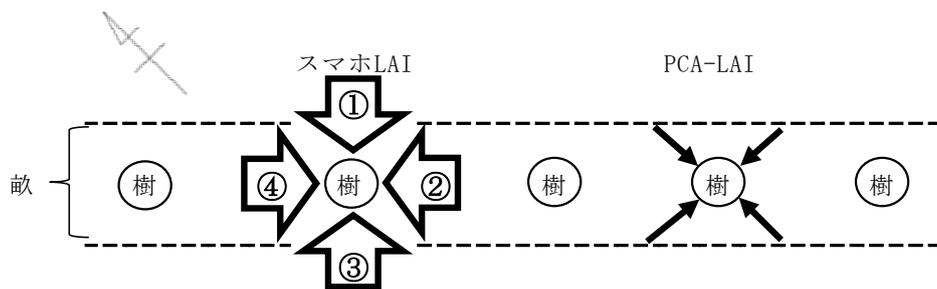


図5 測定方向およびLAI算出方法

注1) 矢印の向きは撮影方向を示す。

2) スマホLAIの1方向の場合は①～④それぞれを、2方向は①および③(畝に直交)または②および④(畝に平行)の平均値、4方向は①～④の平均値を対象樹のLAIとした。

3) PCA-LAIは畝に直交する4方向から測定した。

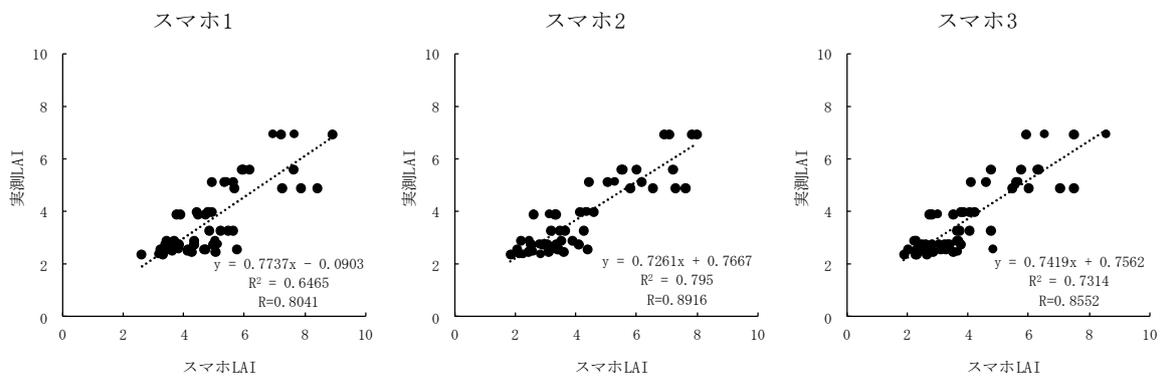


図6 1方向から測定したスマホLAIと実測LAIとの関係

注1) 供試樹数は9樹とし、同樹についてせん定前5樹、せん定後9樹を調査した。

2) 空隙率検出閾値(LAI推定アプリ内での二値化閾値を指す)は、いずれの機種も254とした。

3) スマホLAIは畝に直交および平行の4方向から測定し、それぞれの方向から得られた値を対象樹のLAIとした。

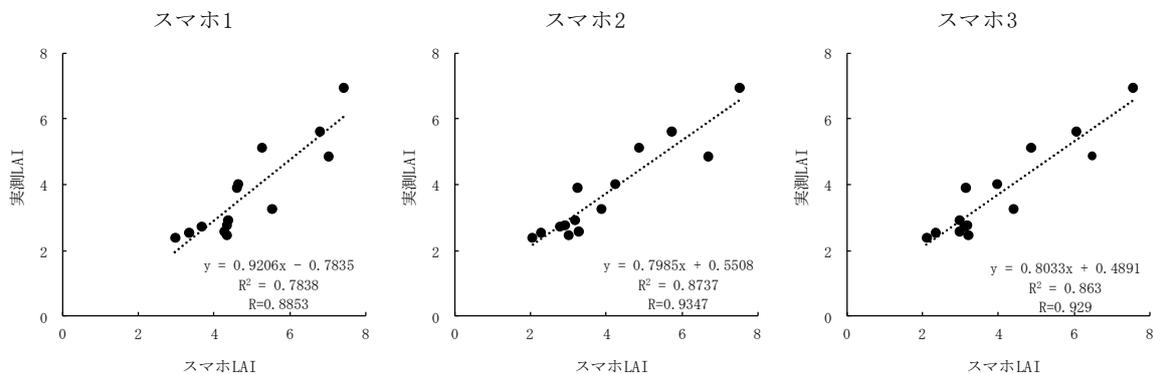


図7 畝に直交する2方向から測定したスマホLAIと実測LAIとの関係

注1) 供試樹数は9樹とし、同樹についてせん定前5樹、せん定後9樹を調査した。

2) 空隙率検出閾値(LAI推定アプリ内での二値化閾値を指す)は、いずれの機種も254とした。

3) スマホLAIは畝に直交する2方向から測定し、その平均値を対象樹のLAIとした。

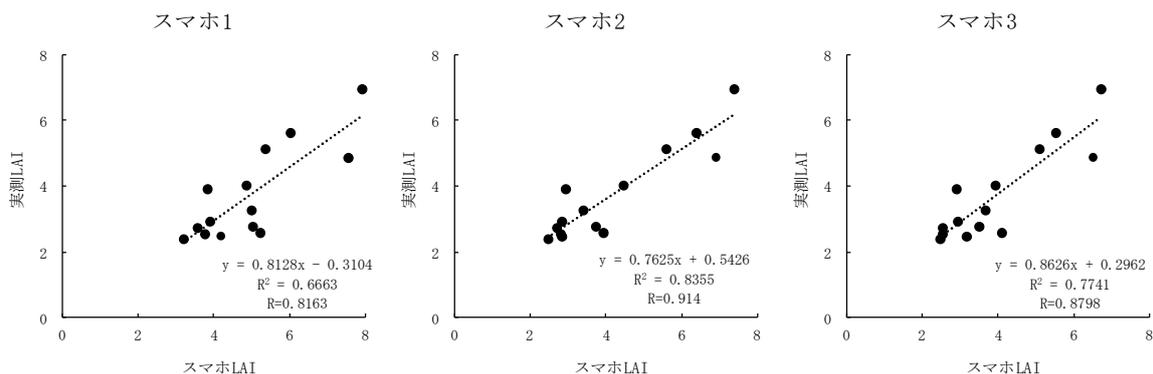


図8 畝に平行の2方向から測定したスマホLAIと実測LAIとの関係

- 注1) 供試樹数は9樹とし、同樹についてせん定前5樹、せん定後9樹を調査した。
- 2) 空隙率検出閾値(LAI推定アプリ内での二値化閾値を指す)は、いずれの機種も254とした。
- 3) スマホLAIは畝に平行の2方向から測定し、その平均値を対象樹のLAIとした。

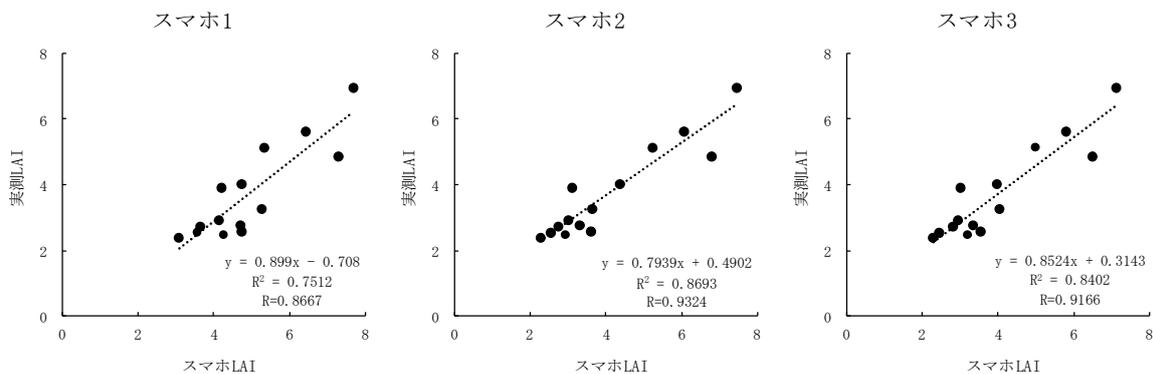


図9 4方向から測定したスマホLAIと実測LAIとの関係

- 注1) 供試樹数は9樹とし、同樹についてせん定前5樹、せん定後9樹を調査した。
- 2) 空隙率検出閾値(LAI推定アプリ内での二値化閾値を指す)は、いずれの機種も254とした。
- 3) スマホLAIは畝に直交および平行の4方向から測定し、その平均値を対象樹のLAIとした。

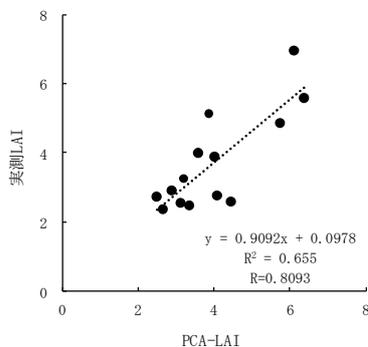


図10 4方向から測定したPCA-LAIと実測LAIとの関係

- 注1) 供試樹数は9樹とし、同樹についてせん定前5樹、せん定後9樹を調査した。
- 2) PCA-LAIは東西南北の4方向から測定した。

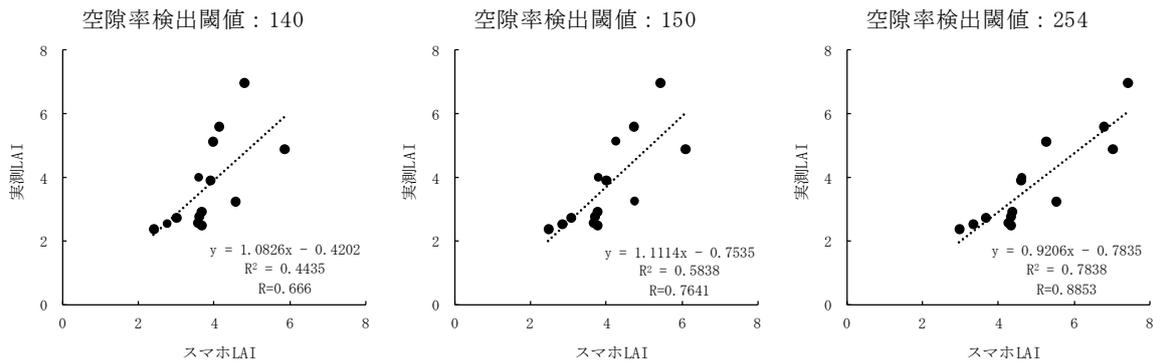


図 11 空隙率検出閾値を調整したスマホ 1 の LAI と実測 LAI との関係

注 1) 供試樹数は 9 樹とし、同樹についてせん定前 5 樹、せん定後 9 樹を調査した。

2) スマホ LAI は畝に直交する 2 方向から測定し、その平均値を対象樹の LAI とした。

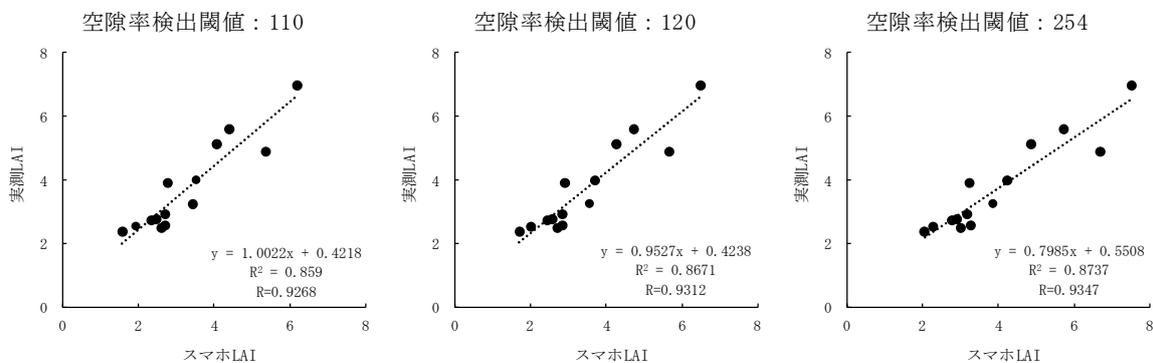


図 12 空隙率検出閾値を調整したスマホ 2 の LAI と実測 LAI との関係

注 1) 供試樹数は 9 樹とし、同樹についてせん定前 5 樹、せん定後 9 樹を調査した。

2) スマホ LAI は畝に直交する 2 方向から測定し、その平均値を対象樹の LAI とした。

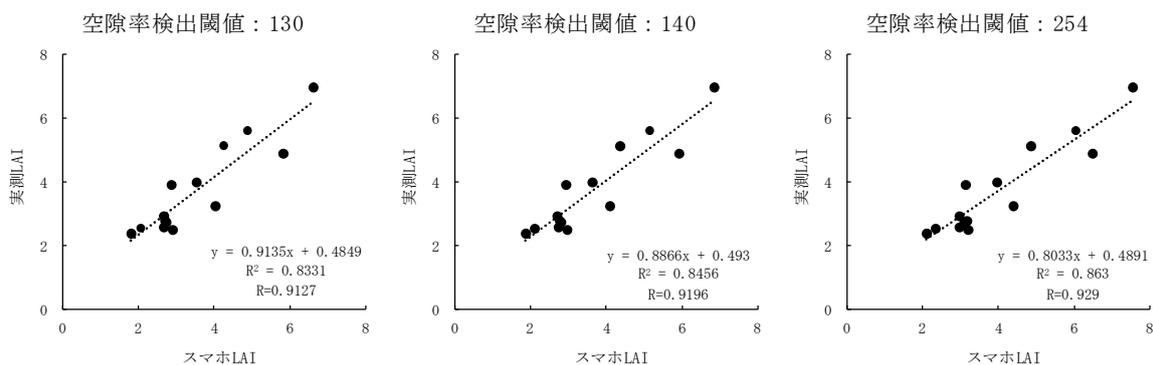


図 13 空隙率検出閾値を調整したスマホ 3 の LAI と実測 LAI との関係

注 1) 供試樹数は 9 樹とし、同樹についてせん定前 5 樹、せん定後 9 樹を調査した。

2) スマホ LAI は畝に直交する 2 方向から測定し、その平均値を対象樹の LAI とした。

考 察

これまでも、安価なデジタル機器を用いた LAI 推定に関する研究が行われており、カンキツ樹体⁷⁾や針葉樹林および広葉樹林²⁾において魚眼レンズを

装着したデジタルカメラを用いた LAI の推定方法や、ハウス栽培‘デラウェア’においてデジタルカメラを用いた LAI の推定⁴⁾が報告されている。本研究では、LAI 測定機器として、広範に普及しているスマー

トフォンと魚眼レンズに着目した。

まず、LAI 推定アプリの測定方向を検討したところ、測定方向にかかわらずPCAと同等以上の精度で実測LAIを推定でき、1方向より2方向または4方向から測定して平均した場合に実測LAIとの相関が強くなった。1方向から測定した場合には、樹冠内の葉の分布が均一でないため、測定方向を増やすことで相関が強くなったと考えられた。2方向から測定する場合の位置は、畝に直交する2方向とすることで、より正確にLAIを推定できた。畝に平行に測定した場合、測定位置前後方に隣接する樹が重なった状態で写り込みやすく、対象樹以外の樹の影響を受け、精度がやや劣ったと考えられた。一方、4方向から測定した場合には畝に直交する位置から測定した場合と平行する位置から測定した場合の中間の値を示し、相関は強くならなかったと考えられた。

一方、LAI 推定アプリでは撮影した画像を二値化してLAIを推定しているため、空隙率検出閾値を変更することでLAI推定値も変動する。試験1のようにスマホLAIの空隙率検出閾値を、初期設定値の254とした場合、実測LAIより高い値を示す傾向であった。これは、空隙率検出閾値が高すぎ、葉の隙間部分や影も葉として認識されたために、高い値を示したと考えられた。そこで、空隙率検出閾値を機種毎に調整した結果、スマホLAIは実測LAIの値に近づいた。ただし、3機種のうち、Galaxy S20 SC-51Aを用いた推定では空隙率検出閾値の調整によって、実測LAIとの相関が弱くなった。この要因としてアプリからスマートフォンのカメラ機能を制御することができないため、機種によっては撮影画像の明るさやコントラストが影響して、空隙率検出閾値の調整が十分に機能しない可能性が考えられた。

また、機種毎にスマホLAIと実測LAIの回帰式を用いて補正することで、より実測LAIに近い値を出力可能であると想定された。しかし、今後アプリの普及により、本試験で用いた機種以外で推定する場合、新たな機種で推定したスマホLAIおよび実測LAIを比較し、補正式を得る必要がある。生産者による実測LAIの測定は困難であるため、本試験では機種毎の補正についての検討は行わなかった。

以上より、ユズにおけるLAI推定アプリの測定および設定方法を確立した。なお、本研究結果は場内の開心自然形のユズにおける調査によって得られたものであり、樹形が未完成の場合や、園地条件(日当

たり、傾斜、周辺環境等)および測定条件(時間帯、天候等)によっては推定結果が不安定になる可能性がある。今後は、安定して推定できる条件を検討する必要がある。また、本研究で用いていない機種にLAI推定アプリをインストールしてLAIを推定する場合、機種毎に最適な空隙率検出閾値を検討する必要がある。

利益相反の有無

NEC ソリューションイノベーション株式会社と高知県農業技術センター果樹試験場は「植物評価装置、植物評価方法、及びプログラム」に関する特許(特開2022-136365)を出願している。西森、中野はこの特許の発明者である。他の著者に開示すべき利益相反はない。

引用文献

- 1) 高知県農業振興部(2023). 高知県の園芸. PP. 40-41.
- 2) 松山洋・藤原靖・島村雄一・泉岳樹・中山大地(2003). 全天写真から得られる葉面積指数とプラント・キャノピー・アナライザーによる実測値との比較. 地学雑誌 112(3): 411-415.
- 3) 谷本佑・廣瀬拓也・中野和彦・西森空・北沢知明(2024). 葉面積指数(LAI)を用いたユズのせん定量の指標化. 高知農技セ研報. ○:○-○.
- 4) 立石欣也・山本晴彦・岩谷潔・土谷安司・倉橋孝夫・門脇稔・金子奈々恵(2012). ハウス栽培におけるブドウ‘デラウェア’のデジタルカメラを利用した葉面積指数の推定. 園学研. 11(2):251-255.
- 5) Watanabe, J., M.P. Robert and K. Watanabe. (1997). The Evaluation of an Optical Method to Estimate Leaf Area of Grapevines. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 66(2):235-244.
- 6) 山本晴彦・岩谷潔(2022). デジタルカメラを利用したカンキツ樹の総葉面積の計測. 農業技術大系果樹編 第1-I巻. 技22の20-22の22.
- 7) 山本晴彦・鈴木義則・早川誠而(1995). プラントキャノピーアナライザーを用いた作物個体群の葉面積指数の推定. 日作紀. 64(2):333-335.
- 8) 山本一清(2003). LIA for Win32 (LIA32). フリーウェア <https://www.agr.nagoyau.ac.jp/~shinkan/LIA32/>.

Summary

In order to utilize the leaf area index (LAI) as an indicator of pruning amount of yuzu (*Citrus junos* Sieb. ex Tanaka), we have jointly developed a smartphone application for LAI simple estimation (LAI estimation app) in collaboration with NEC Solution Innovators, Ltd.. We then examined the measurement and setting methods and verified their accuracy.

Measurements using the LAI estimation app are carried out as follows: Attach a fisheye lens to the front camera of your smartphone and point the top of your smartphone at the center of the tree from a position 1/2 the radius of the canopy. The estimated results will be displayed on the screen when you hold smartphone horizontally on the ground and take a picture from near the ground with the front camera facing upwards.

The measurements is taken from two directions perpendicular to the ridges.

The LAI measured using the LAI estimation app had a strong positive correlation with the actually measured LAI, and the accuracy was confirmed to be on the same level as the correlation between the LAI obtained from a plant canopy analyzer (PCA) and the actually measured LAI. In addition, by setting the binarization threshold to an appropriate value for each smartphone model, an LAI value closer to the actually measured LAI was obtained.

Key words: binarization, fisheye lens, PCA, pruning, smartphone application

編集委員長 高橋 昭彦 (所長)

副委員長 細川 卓也 (企画監兼作物園芸課長)
中石 一英 (技術次長兼専門企画員)
朝比奈泰史 (研究企画課長)
下元 満喜 (農業情報研究室長)
古味 一洋 (生産環境課長)

委員 澁谷 和子 田村 悠 飯田 佳代
島本 文子 尾崎 耕 坂田 雅正
溝渕 啓介 平石 真紀 小原 敬弘
澤田 定広

事務局 三島 尚子

高知県農業技術センター

〒783-0023 高知県南国市廿枝 1100 番地
TEL 088-863-4912

高知県農業技術センター 果樹試験場

〒780-8064 高知県高知市朝倉丁 268 番地
TEL 088-844-1120

高知県農業技術センター 茶業試験場

〒781-1801 高知県吾川郡仁淀川町森 2792 番地
TEL 0889-32-1024

令和 6 年 3 月 29 日 発行

編集発行者

高知県農業技術センター

〒783-0023 高知県南国市廿枝 1100 番地
TEL 088-863-4912