ハウスミカン温度管理の最適化に向けた現地実証

田邉秀和・佐藤裕一*・竹田雅博**・飯田尚暉***・矢野拓

Effects of Moderate-temperature Management on Fruit Growth, Quality and Yield in Farmer's Satsuma Mandarin Trees Grown in a Greenhouse

HIDEKAZU TANABE, YUICHI SATOU, MASAHIRO TAKEDA, NAOKI HANDA and TAKU YANO

大分県農林水産研究指導センター農業研究部果樹グループ
Oita Prefectural Agriculture, Forestry and Fisheries Research Center, Agricultural Research Division Fruit Tree Group

キーワード：ハウスミカン、省エネルギー、温度管理、重油使用量、水ストレス

目　次

Ⅰ　緒　言
Ⅱ　材料および方法
　1　園地の概要
　2　調査の概要
Ⅲ　結　果
　1　ハウス内外の栽培環境と重油使用量
　2　果実の果径と品質の概要
Ⅳ　考　察
Ⅴ　摘　要
　謝　辞
　引用文献
　Summary

Ⅰ　緒　言

大分県のハウスミカンは、県北から県南の沿岸部で栽培され、栽培面積および出荷量では全国 3 位[1)] と本県を代表する園芸品目に位置づけられている。県内ハウスミカン産地は、超早期加温作型で 10 月から、産地の中心的な作型で 11 月下旬～12 月中旬から加温を開始し、4 月～5 月頃まで加温を必要としている。

そのような中、ハウスミカンは年間重油使用量が約 18kL/10a と多品目と比較して著しく多く、昨今の燃油価格高騰の影響で生産者の経営は圧迫されている。ハウスミカンが重油を多く使用する要因の 1 つに、生理落果終了後の温度管理があげられ、慣行のハウスミカンでは、満開後 50～60 日以降の設定温度を 28～30℃/23～24℃（昼/夜）としている（本美[2)]）。既往の報告では、果実肥大初期（満開後 50～100 日）に慣行の温度管理を行うことで、湿度低下、土壌乾燥を促し、速やかに樹体の水分ストレスを高め、糖度上昇、着色を早めることが明らかにされている（加美ら[3)]、川村ら[4)]）。一方、高品質果実生産は、満開後 60-120 日の期間に 25℃/17～20℃（昼/夜）で可能とする報告があり（矢野ら[5)]、Yano *et al.*[6)]、Yano *et al.*[7)]、矢野[8)]）、慣行の温度管理が最適とは言い難い。

本研究では、既往の報告を基にハウスミカンの果実肥大・成熟期にあたる満開後 60-150 日の温度を慣行よりも低く設定した実証区を現地に設け、実証栽培の有効性を明らかにするとともに、栽培環境（気温、湿度、飽差、水ストレス程度）と果実生育・品質、収量性の観点から、ハウミカンにおける最適かつ合理的温度管理を検討したので報告する。

Ⅱ　材料および方法

1　園地の概要

大分県杵築市の 2023 年、2024 年産の夏芽母枝型ハウスミカン（宮川早生 10～35 年生）10 園地を用いた。調査園地は、2 か年とも実証区 5 棟、慣行区 5 棟とし比較調査を行った。調査園地の概要を表 1 に示す。調査対象期間は満開後 60 日～収穫期とし、満開後 60～150 日において換気扇の設定温度は実証区で 25℃、慣行区で 28～30℃、加温機の設定温度は実証区で 17～

*大分県東部振興局
**大分県農業協同組合ハウスミカン部会
***大分県農業協同組合きつき選果場

20℃、慣行区で23～24℃を基本とした。2023年産における調査園地の加温日の平均は、実証区:2022年12月10日、慣行区：2022年12月9日、満開日の平均は実証区：2023年1月16日、慣行区：2023年1月14日であった（表１）。2024年産は、加温日の平均が実証区：2023年12月8日、慣行区：2023年12月10日、満開日の平均は実証区：2024年1月15日、慣行区：2024年1月13日であった（表１）。2024年産の調査園地では、10棟のうち1棟（慣行区）のみヒートポンプ（EHP61、ネポン製。以下、HP）2台（親機・子機）導入ハウスであった。他はいずれも重油加温機のみであった。また、天井の被覆方法は3重被覆のハウスが2023年産で4園地、2024年産で3園地あり、他はいずれも2重被覆であった。なお、いずれのハウスもCO_2施用は行っていない。

２　調査の概要

各ハウスの環境計測には気温と湿度は「はかる蔵」（リバティポートジャパン製）もしくは「ウルトラエース」（渡辺パイプ製）を用い、これらが導入されていないハウスでは、「サーモクロンG」（Analog Devices製）を用いて気温のみ計測した。飽差（Vapor Pressure Deficit(VPD、hPa)）は、測定したハウス内気温t（℃）と相対湿度$RH_{(t)}$(%)から既往の報告（岩崎9)）の記載に従い以下の式で算出した。

$$e_{s(t)}=6.11\times e^{(17.27\times t/(t+237.3))} \quad (1)$$

$$e_{(t)}=e_{s(t)}\times RH_{(t)}/100 \quad (2)$$

$$VPD_{(t,RH)}=e_{s(t)}-e_{(t)} \quad (3)$$

ここで、$e_{s(t)}$は温度tにおける飽和水蒸気圧（hPa)、$VPD_{(t、RH)}$は温度t、相対湿度$RH_{(t)}$の空気の飽差を示す。

表１　調査園地の概要

実証年	園地名	試験区	加温日	満開日	天井内張枚数	重油使用量	葉のポテンシャル(MPa)		荷受け量[z]	青果率
					(枚)	(kL/10a)	満開後90日	満開後120日	(t)	(%)
2023	A	実証区	2022-11-26	2022-12-31	3	15.1	-	-	4.7	79.0
	B		2022-12-01	2023-01-13	2	9.6	-	-	5.1	100.0
	C		2022-12-13	2023-01-20	2	16.0	-	-	4.3	71.4
	D		2022-12-19	2023-01-23	3	12.3	-	-	6.0	66.5
	E		2022-12-22	2023-01-26	3	13.0	-	-	4.7	44.7
	F	慣行区	2022-11-26	2022-12-29	3	15.2	-	-	5.1	73.8
	G		2022-12-04	2023-01-13	2	17.7	-	-	4.9	80.2
	H		2022-12-12	2023-01-15	2	19.2	-	-	6.6	70.9
	I		2022-12-15	2023-01-19	2	20.2	-	-	2.3	63.1
	J		2022-12-20	2023-01-25	2	15.2	-	-	3.9	38.9
2024	A	実証区	2023-11-25	2024-01-01	3	16.1	-0.8	-0.7	5.0	92.0
	B		2023-12-01	2024-01-08	3	12.3	-1.0	-0.8	5.5	71.9
	C		2023-12-04	2024-01-09	3	12.9	-0.8	-0.8	8.6	75.3
	D		2023-12-05	2024-01-10	2	12.9	-0.9	-0.8	4.0	90.9
	E		2023-12-20	2024-01-26	2	16.4	-1.6	-0.9	1.5	24.3
	F	慣行区	2023-12-01	2024-01-10	2	19.6	-0.9	-0.7	6.2	64.6
	G		2023-12-07	2024-01-11	2	19.6	-0.8	-0.7	4.1	72.4
	H		2023-12-10	2024-01-10	2	13.8	-	-0.8	5.3	64.6
	I[x]		2023-12-15	2024-01-15	2	-	-0.7	-0.8	5.0	70.2
	J		2023-12-17	2024-01-22	2	15.0	-0.9	-0.6	5.3	72.4
2023	平均	実証区	2022-12-10	2023-01-16		13.2	-	-	5.0	72.3
		慣行区	2022-12-09	2023-01-14		17.5	-	-	4.6	65.4
	有意差					*			n.s.	n.s.
2024	平均	実証区	2023-12-08	2024-01-15		14.1	-1.0	-0.8	4.9	70.9
		慣行区	2023-12-10	2024-01-13		17.0	-0.8	-0.7	5.2	68.8
	有意差					n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

[z]大分県農業協同組合きつき共販選果場の荷受け量。

[y]青果率は、大分県農業協同組合きつき共販選果場の基準により算出されたもの。

[x]ヒートポンプ稼働園。

[w]t検定で、*は5%水準で有意であることを示す。n.s.は、有意差なし。

気温、湿度、飽差の昼夜の区切りは、国立天文台の暦計算室のデータに基づいた大分市における月ごとの平均的な日の出・日の入り時刻に従った。

重油使用量は、調査を行った生産者に聞き取りを行い 10a 当たりに換算した。水ストレス程度は、夜明け前の葉の水ポテンシャル（MPa）で求め、プレッシャーチャンバー（DKT-7000、大起理化社製）を用いて計測した。果実の果径・品質は、2 か年とも各ハウスで代表的な 5 樹を選定し、30 日おきに赤道部から果実を 1 樹当たり 5 果採取して調査した。果径は、デジタルノギス（Mitutoyo 社製）を用いて計測した。また、糖度と酸度は日園連糖酸度分析装置（NH-2000、HORIBA 社製）、果皮色は測色色差計(ZE6000、日本電色工業社製）を用いて測定した。また、果皮色については、果頂部と赤道部の平均値を求めた。統計解析には、R Version4.3.1（R Core Team）と Microsoft® Excel® for Microsoft 365 MSO(Microsoft 社製)を使用した。

Ⅲ　結　果

1　ハウス内外の栽培環境と重油使用量

表２に実証期間におけるハウス外環境として杵築市 2 か年の気象状況（気温：アメダス、日射量：モデル結合型作物気象データベース（農研機構））を示す。平均気温は、2023 年と比較して 2024 年は 2 月と 4 月が 1.5～1.6℃高く、3 月は 1.8℃低かった。また、日射量は 2023 年と比較して 2024 年は 4 月が 26%少なかった（表２）。

表３に 2 ヵ年のハウス内環境の概要を示す。ハウス内気温は、両年とも満開後 60-119 日の試験区間の気温差において、夜温が昼温よりも大きい傾向が見られた（表３および図１、図２）。また、満開後 60-119 日については、ハウス内気温は昼夜とも実証区が慣行区よりも低く推移した（表３および図１、図２）。ハウス内の昼温と夜温の差（以下、昼夜の気温差）は、2023 年産で実証区と慣行区を比較して実証区が慣行区よりも昼夜の気温差が 2.1～0.5℃大きく、2024 年産は実証区と慣行区で同等であった（表３）。

ハウス内の湿度は、満開後 60-119 日の昼夜において 2023 年産で実証区が慣行区よりも低く、2024 年産は実証区が慣行区よりも高かった（表３）。また、ハウス内の飽差は 2023 年産で実証区が慣行区よりも高く、2024 年産は実証区が慣行区よりも低かった（表３）。水ストレス程度は、実証区が慣行区よりも強い水ストレスが付与されていた（表１）。重油使用量は、2023 年産で実証区が慣行区と比較して平均 4.3kL/10a の削減、2024 年産は平均 2.9kL/10a の削減となった（表１）。

表２　月別にみた調査期間中の杵築市の気象状況（2 か年）

[z]気温：アメダス（気象庁）。

月	気温[x]（℃）		日射量[y]（Wm^{-2}）	
	2023 年	2024 年	2023 年	2024 年
2 月	6.9	8.4	121	107
3 月	11.3	9.5	171	169
4 月	14.6	16.2	201	149
5 月	18.4	18.3	220	218
6 月	22.3	22.3	176	183

[y]日射量：モデル結合型作物気象データベース（農研機構）。

2　果実の果径と品質の概要

満開後 90-150 日の横径の推移を図３に示す。2023 年産は調査期間を通して、横径は試験区間で同等で有意差はなかった（図３）。2024 年産の横径は、満開後 90、120 日で実証区が慣行区と比較すると有意（$P<0.05$）に小さかった（図３）。

満開後 90-150 日の果形指数を表４に示す。2023 年産の果形指数は、いずれの調査日においても実証区が慣行区よりも大きい傾向を示し、満開後 120 日は 5%水準で有意に実証区が慣行区よりも大きかった(表４)。2024 年産の果形指数は、満開後 90 日は実証区で慣行区よりも値がやや小さかったが、満開後 120 日以降は実証区と慣行区で同等の値を示した（表４）。

満開後 90-180 日の糖度の推移を図５に示す。2023 年産の糖度は、満開後 90 日において実証区が慣行区よりも有意（$P<0.05$）に低かったが、生育ステージが進むにつれ慣行区との差が小さくなり、満開後 150 日時点では同等であった（図４）。2024 年産の糖度は、調査期間を通して実証区が慣行区よりも高かった（図４）。また、飽差と糖度増加量の関係を解析すると、2023 年産の満開後 120-149 日の昼の飽差と満開後 120-150 日の糖度増加量との関係において、有意な相関は認められなかったが、両者の関係は上に凸の 2 次曲線で回帰でき、糖度増加量を最大にする飽差の存在が示唆された（図５）。一方、2024 年産の満開後 120-149 日の昼の飽差と満開後 120-150 日の糖度増加量を比較すると、2023 年産のような明確な関係は見いだせなかった（図５）。

満開後 90-180 日の滴定酸の推移を図６に示す。滴定酸は、両年とも調査期間を通して、実証区と慣行区で

表３　ハウス内環境の概要

試験区	園地名	満開後日数	2023年産 気温(℃) 昼温	夜温	昼夜の気温差	相対湿度(%) 昼間	夜間	飽差(hPa) 昼間	夜間	2024年産 気温(℃) 昼温	夜温	昼夜の気温差	相対湿度(%) 昼間	夜間	飽差(hPa) 昼間	夜間
実証区	A	60-89	22.2	20.0	2.2	−	−	−	−	22.8	20.8	2.0	64.6	83.6	5.3	4.2
		90-119	23.5	20.1	3.4	−	−	−	−	23.9	21.2	2.8	67.2	89.7	13.0	4.7
		120-149	25.4	20.4	5.0	−	−	−	−	25.5	21.0	4.5	59.6	89.3	13.9	5.0
	B	60-89	25.3	18.5	6.8	59.6	71.5	14.0	6.1	24.1	20.3	3.8	66.5	76.4	10.7	5.6
		90-119	27.0	19.0	8.0	57.8	71.0	16.2	6.4	24.8	20.5	4.3	69.1	79.5	10.8	5.1
		120-149	27.8	20.3	7.5	60.5	70.9	16.0	7.0	26.8	19.7	7.1	60.0	72.6	17.2	6.7
	C	60-89	26.0	20.3	5.7	55.1	60.7	15.8	9.3	26.2	21.5	4.7	73.1	90.1	10.1	2.6
		90-119	25.7	20.5	5.2	52.5	60.8	16.6	9.5	25.8	20.4	5.4	76.1	94.2	8.9	1.4
		120-149	27.2	20.4	6.8	59.7	67.0	16.2	8.0	20.9	16.9	4.0	58.4	82.2	15.1	3.5
	D	60-89	25.3	20.3	5.0	44.5	47.6	18.8	12.5	25.9	23.0	2.9	60.0	64.4	15.5	9.9
		90-119	26.1	20.1	6.0	45.9	51.3	18.5	11.2	26.7	22.1	4.6	67.0	73.2	19.5	11.9
		120-149	25.7	20.1	5.6	57.6	63.9	15.2	8.6	26.8	18.8	8.0	61.8	71.2	8.5	10.0
	E	60-89	25.1	20.4	4.7	63.0	77.5	10.3	4.6	23.7	19.2	4.5	51.0	67.8	15.3	7.1
		90-119	26.2	20.5	5.7	64.1	78.3	11.0	4.4	24.9	19.3	5.6	56.4	75.0	15.7	5.6
		120-149	26.1	20.3	5.8	69.5	74.5	9.2	5.2	26.6	19.7	6.9	54.3	71.1	18.4	6.7
慣行区	F	60-89	27.0	24.2	2.8	50.4	58.7	19.0	13.4	29.0	25.7	3.2	46.0	53.1	23.2	15.5
		90-119	26.0	22.1	3.9	49.4	55.9	18.3	11.5	28.8	25.2	3.6	54.5	61.7	26.8	17.1
		120-149	24.7	17.9	6.8	27.0	23.9	16.4	9.1	28.3	22.7	5.6	49.8	58.9	14.9	14.6
	G	60-89	25.7	23.8	1.9	68.9	78.6	9.7	5.3	27.2	24.0	3.3	54.3	61.5	22.1	12.8
		90-119	26.3	23.1	3.2	70.5	87.3	8.8	3.1	27.2	23.0	4.2	59.4	67.1	11.9	12.4
		120-149	24.6	19.7	4.9	75.7	93.7	7.5	1.4	27.6	20.9	6.7	52.4	63.1	23.7	12.8
	H	60-89	27.9	23.8	4.1	63.6	68.7	14.7	10.0	28.2	24.1	4.1	61.9	68.3	15.8	10.0
		90-119	27.4	21.9	5.5	68.4	74.7	11.9	7.0	27.4	22.3	5.1	64.3	72.0	19.2	11.1
		120-149	28.0	21.5	6.5	68.3	70.3	12.7	7.7	28.8	20.7	8.1	59.0	67.1	9.0	9.5
	I	60-89	25.2	23.2	2.0	76.8	90.2	7.0	2.4	27.5	24.5	3.1	84.9	99.1	2.7	0.5
		90-119	27.1	23.5	3.6	75.3	92.9	8.1	1.8	27.2	23.5	3.6	86.0	99.9	0.2	0.4
		120-149	24.5	20.3	4.2	83.9	98.0	4.7	0.4	27.2	21.8	5.3	77.8	99.4	7.0	0.2
	J	60-89	24.6	21.5	3.1	−	−	−	−	24.8	21.1	3.7	52.7	54.9	16.5	11.6
		90-119	26.3	21.7	4.6	−	−	−	−	25.7	20.5	5.2	35.8	39.0	20.1	11.8
		120-149	25.9	20.1	5.8	−	−	−	−	26.0	19.8	6.2	66.1	69.2	18.7	13.9
平均	実証区	60-89	24.8	19.9	4.9	55.6	64.3	14.7	8.1	24.5	20.9	3.6	63.0	76.5	11.4	5.9
		90-119	25.7	20.0	5.7	55.1	65.4	15.6	7.9	25.2	20.7	4.5	67.1	82.3	13.6	5.8
		120-149	26.4	20.3	6.1	61.8	69.1	14.2	7.2	25.3	19.2	6.1	58.8	77.3	14.6	6.4
	慣行区	60-89	26.1	23.3	2.8	64.9	74.1	12.6	7.8	27.4	23.9	3.5	60.0	67.4	16.1	10.1
		90-119	26.6	22.5	4.2	65.9	77.7	11.8	5.8	27.2	22.9	4.4	60.0	67.9	15.6	10.6
		120-149	25.5	19.9	5.6	63.7	71.5	10.3	4.6	27.6	21.2	6.4	61.0	71.5	14.7	10.2

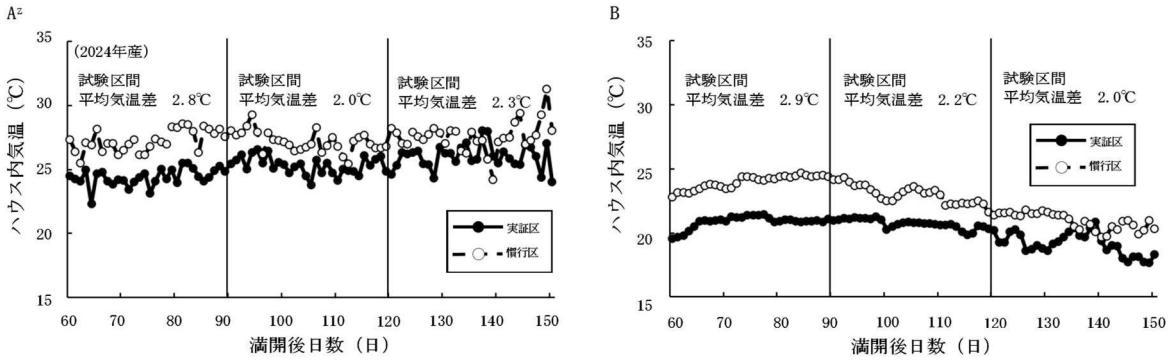


図１　ハウス内気温の推移（2023年産）

[z]Aは、ハウス内の昼温の平均、Bはハウス内の夜温の平均を示す。

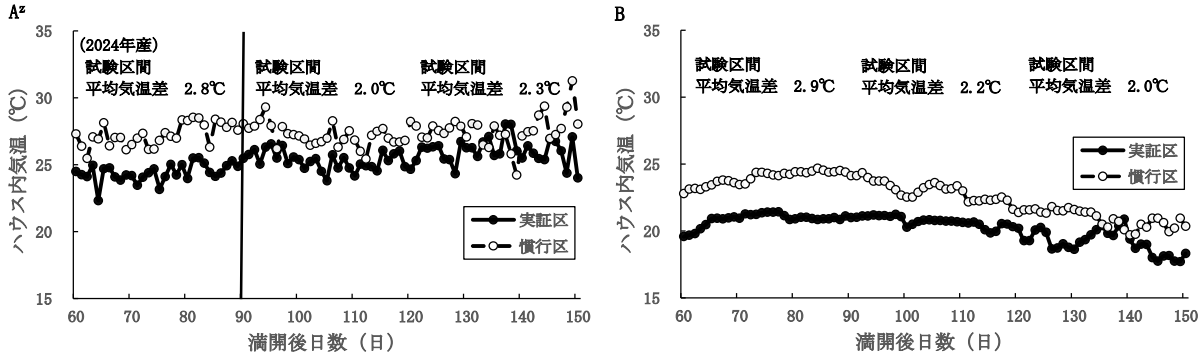


図２　ハウス内気温の推移（2024 年産）

[z]A は、ハウス内の昼温の平均、B はハウス内の夜温の平均を示す。

同等であった（図６）。

満開後 150 日の果皮色を表４に示す。満開後 150 日の果皮色は、両年とも試験区間で有意な差は認められなかった（表４）。

出荷された果実の階級比率を図７に示す。2023 年産の階級比率では、試験区間でいずれの階級も有意差が認められなかったが、実証区は慣行区と比較してやや大玉の傾向であった（図７）。一方で 2024 年産は、実証区において大玉の階級比率（L 以上）が有意（$P<0.05$）に低く、その他の階級は有意差が認められなかったが、実証区は慣行区と比較してやや小玉の傾向であった（図７）。共販出荷された荷受け量、青果率を表１に示す。荷受け量と青果率は、両年とも試験区内にばらつきはあるが、試験区間で平均すると差は認められなかった（表１）。

Ⅳ　考　察

ハウスミカン果実の成長や糖度、酸度、着色等果実品質の向上について適温が存在するという既往の報告があるにも関わらず、現地において高温管理からの脱却が進展しない背景の一つに、高温と水ストレスの両要因がいずれも必要条件として把握されている点が指摘できる。現地における指導現場では、一般的にハウスミカンに必要な水ストレス要因として「温度・水・着果」の３つが重要とされ、樹体への水ストレス付与には、これら３つのうちどれか１つでも欠けることはできないとする考えが主流と推察される。本報告では、満開後 60-150 日の期間に温度を慣行よりも低く設定した実証区を設け、実証栽培の有効性を明らかにするとともに、栽培環境、果実生育・品質、収量性の観点からハウミカンにおける最適かつ合理的な温度管理を検討した。

温度が果実の生育・品質や物質生産に及ぼす影響について考察する。多くの植物で光合成の適温が明らかにされ、高温ではみかけ上の光合成速度は上昇しても、呼吸速度も増大するため、正味の物質生産は低下する。ウンシュウミカンにおいても、既往の報告では 30℃以上の高温になると果実肥大や糖度上昇が抑制され、果皮の着色が劣ることが報告されている（栗原[10]、新居ら[11]、井上・銭[12]、加美ら[3]）。また、10℃といった低温では高温同様果実肥大が抑制される旨の報告が多い（新居ら[11]、宇都宮ら[13]、井上・銭[12]）。また、ハウスミカンにおいては、果実の成長期に日中 30℃以上とすると、十分な結実があっても新梢が発生することが報告され（Yano *et al.*[6]）、高温による栄養成長の助長は生理落果のリスクが増大するなど、果実生産には不利な条件であると考えられる。これらの知見を物質生産の観点から支持するには、ウンシュウミカンにおける光合成の適温を明らかにする必要があるが、知見が十分でなく不明な点が多い。よって今後は光合成の適温から果実生産の最適化が図られることが期待される。

昼夜の気温差がハウスミカン果実に及ぼす影響について考察する。一部の園芸品目では、昼夜の気温差（DIF）が植物の成長や形質に及ぼす影響を応用している例がある。例えば花きでは、昼夜の気温差を利用して草丈を調整する技術がある（清水ら[14]）。ウンシュウミカンにおいては、昼夜の気温差が果形、品質に及ぼす影響が多く報告されており（新居ら[11]、栗原[15]、重里[16]）、これらの知見に基づいてハウスミカンの栽培管理体系が構築されてきた。今回の調査では、両年とも昼夜の

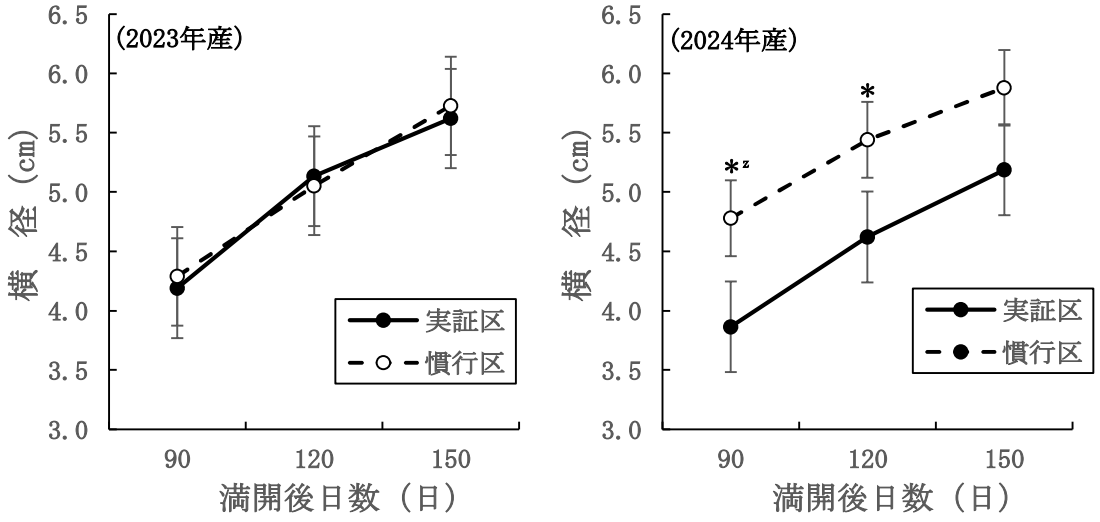


図３　満開後 60-150 日における横径の推移（2 ヵ年）

z t 検定で、*は 5%水準で有意であることを示す。エラーバーは、標準誤差を示す（n=10）。

表４　果形指数、果皮色の概要

実証年	試験区	果形指数			果皮色 z
		満開後 90 日	満開後 120 日	満開後 150 日	満開後 150 日
2023	実証区	121	132	136	0.018
	慣行区	117	127	133	0.053
	有意差 y	n.s.	*	n.s.	n.s.
2024	実証区	118	129	130	0.013
	慣行区	123	128	129	-0.036
	有意差	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

z 色差計による測色の a/b。

y t 検定で、*は 5%水準で有意であることを示す。n.s.は、有意差なし（n=10）。

気温差が実証区と慣行区で約 3～6℃の範囲であった（表３）。既往の報告では、昼夜の気温差が大きいほど肥大が抑制され腰高果が多くなること、果皮の着色遅延、低糖高酸になるとされている（重里[16]）。しかし、昼夜の気温差が 5℃程度であれば、気温差が果実肥大と品質に及ぼす影響は少ないとされており（栗原[15]）、今回の調査結果もその範囲内にあった。実際に果形と品質は、両年の実証区と慣行区で扁平な傾向を示し、既往の報告（重里[16]）のような着色遅延や低糖高酸も見られず（表４および図４、図６）、昼夜の気温差による影響は少なかったと推測される。

今回の現地実証においては、温度条件について概ね設計どおり、昼 25℃/夜 20～17℃の実証区と、実証区よりも高温の慣行区を設定できたが（表３および図１、図２）、かん水管理を生産者に一任したため、ハウス間で水ストレス程度を揃えることができなかった。したがって、特に 2024 年産の実証区における幼果期の肥大抑制、糖度の推移は（図３および図４）、原因が水ストレスの影響なのか、温度の違いによるものか判然としなかった。既往の報告では、実証区で設定した温度内である 20～25℃がウンシュウミカン果実の果実肥大、糖度上昇、減酸、着色向上に優れ（栗原[10]、新居ら[11]、宇都宮ら[13]、井上・銭[12]）、ハウスミカンでも同様の報告がされている（矢野ら[5]）。したがって、仮に今回の調査期間において、実証区と慣行区の水ストレス程度や結実が揃った条件であれば、実証区の果実肥大、品質、収量性は慣行区より優れるか同等の結果が得られる可能性が考えられる。

イチゴでは、飽差と水ストレスの密接な関係が報告されているが（山中[17]）、カンキツでは水ストレスや果実生産に及ぼす飽差の影響については不明な点が多い。本研究において、2023 年産の飽差では、実証区が慣行区よりも高く推移しており、調査期間を通して試験区間の差が大きくなる傾向を示した（表３）。したがって、実証区では調査期間を通して慣行区よりも乾燥状態が強くなり、蒸散が促進され水ストレスが付与されたと考えられる。その結果、実証区で慣行区よりも糖度が上昇し、調査期間を通して糖度が慣行区に追いついたと推測される（図４）。さらに 2023 年産の飽差については、満開後 120-150 日の糖度増加量と満開後 120-149 日の昼の飽差との間に糖度上昇に最適な飽差が推測された（図５）。近似曲線のピーク値を適切な値

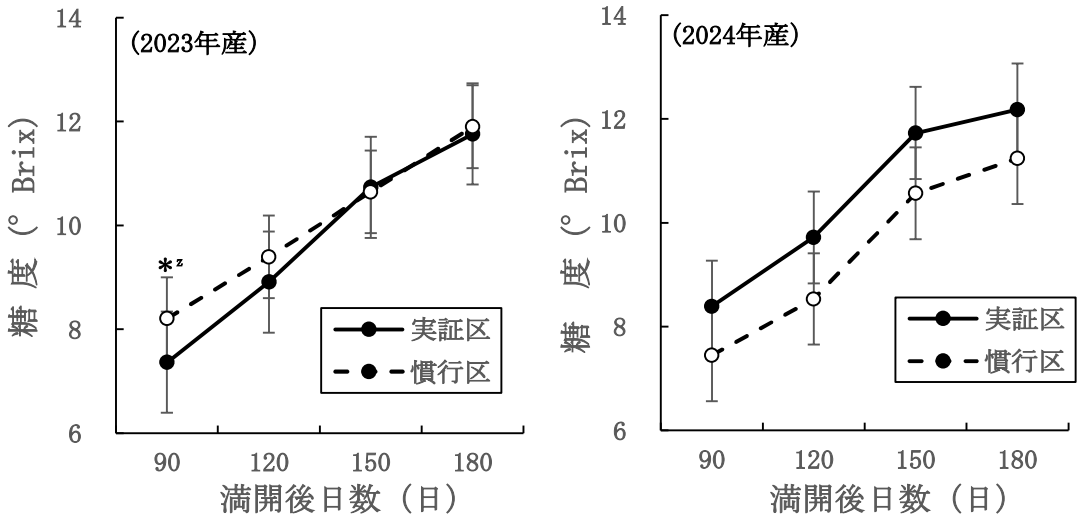


図４　満開後 60-180 日における糖度の推移（2 ヵ年）

z t 検定で、*は 5%水準で有意であることを示す。エラーバーは標準誤差を示す（n=10）。

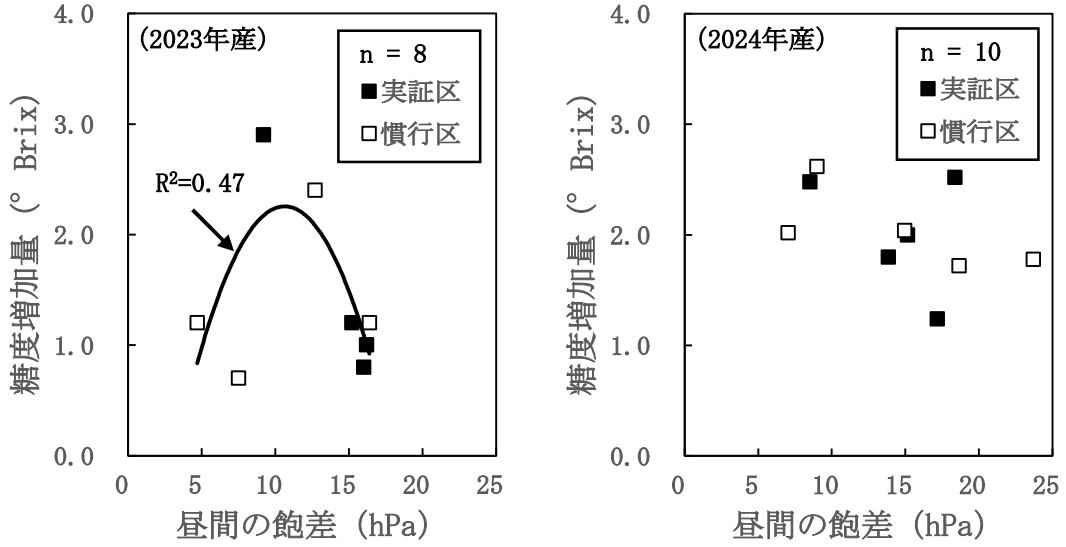


図５　満開後 120-149 日の昼間の飽差と満開後 120-150 日の糖度増加量の関係（2 ヵ年）

と仮定した場合に昼間の飽差は約 10hPa となった（図５）。また、2024 年産についても 2023 年産のような明確な関係は見いだせなかったが、1 部園地を除いて 10hPa 付近で糖度増加量が大きい傾向が見られた（図５）。促成栽培トマトの例では、飽差 5～10hPa の範囲において一定の収量と品質が達成される旨の報告があり（稲田ら[18]）、今回推定された最適値と類似した（図５）。また、トマトでは温度と相対湿度帯別に、適切な光合成が促進される飽差の範囲が示されていることから（吉田[19]）、前述の約 10hPa の飽差がハウスミカン栽培に最適であるか、今後光合成に着目した調査を行う必要がある。

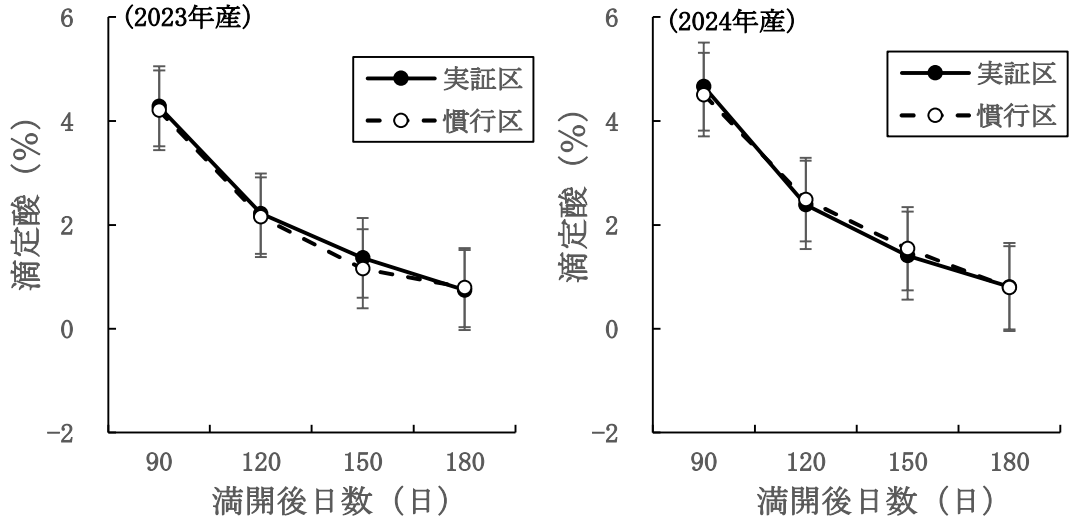


図６　満開後 60-180 日における滴定酸の推移（2 ヵ年）

エラーバーは標準誤差を示す（n=10）。

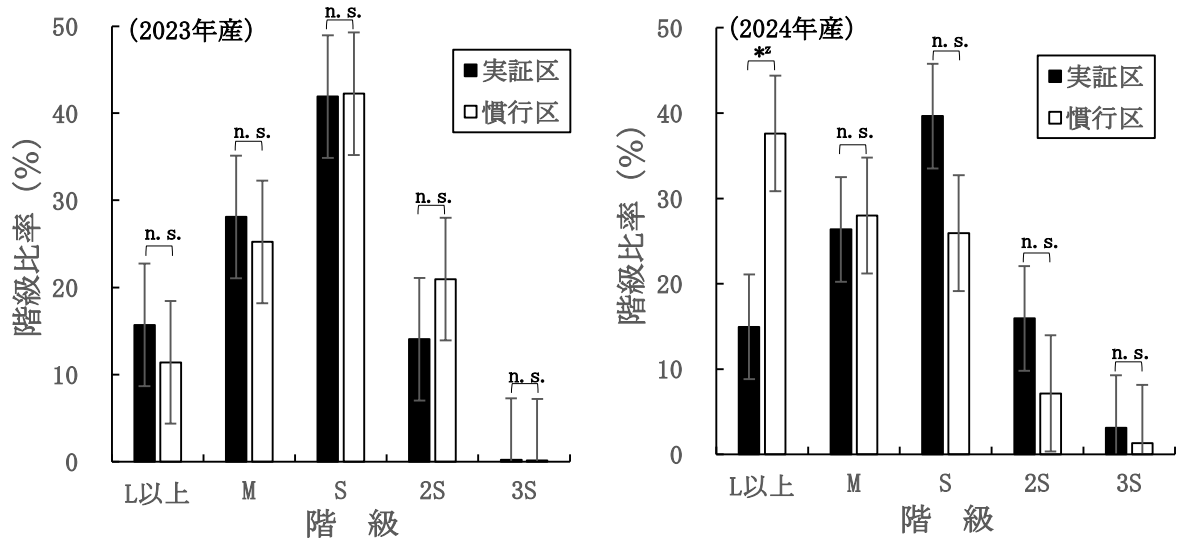


図７　出荷された果実の階級比率（2 ヵ年）

[z]アークサイン変換後 t 検定を実施、*は 5%水準で有意であることを示す。n. s. は、有意差なし。

エラーバーは標準誤差を示す（n=10）。

実証栽培で行った温度管理が経営に及ぼす影響について考察する。重油使用量は、2023 年産で実証区が慣行区と比較して 10a 当たり 25%の削減、2024 年産は 16%の削減となった（表１）。重油費を経済産業省の石油価格調査を参考に単価（11 月～4 月の 2 ヵ年平均単価:99.1 円/L）を設定し算出すると、消費税抜きで 2023 年産が 10a あたり 43 万円、2024 年産が 27 万円の削減となり、経費削減分の所得向上が見込まれた。また、今回の調査ハウスはいずれも荷受け量と収量が概ね一致したハウスであった。荷受け量を収量とみなしたと

き、実証栽培が収量に及ぼす影響は小さいと推測され、慣行栽培と同等の収入を得ることが可能と考えられる（表１）。以上のことから、実証栽培は慣行栽培よりも生産者の所得向上が期待できる結果となった。

以上より、著者らが考えるハウスミカン温度管理の最適化は、水管理の最適化との両立が大きなカギを握っている。ハウスミカンは、ストレス要因として「温度・水・着果」の３つが必要とされてきたが、既往の知見と今回の実証で得た結果を総合的に考えると、従来の高温による水ストレス付与の考え方は、よりきめ細かい水管理に置き換えて考えることが可能である。今後は、蒸発散のモデル化や日射比例制御技術を応用した、生産性の高いハウスミカン環境制御技術が確立されることを期待する。

Ⅴ　摘　要

本報告は、夏芽母枝型ハウスミカン栽培における温度管理の違いが、果実生育・品質・収量に対して及ぼす影響を検討した。試験区は、満開後 60～150 日の期間に実証区（昼温 25℃、夜温 17～20℃）と慣行区（昼温 28～30℃、夜温 23～24℃）を設定し、2023 年産と 2024 年産に調査を行った。

2023 年産は、満開後 60-119 日の昼夜のハウス内気温において、実証区が慣行区よりも低く推移した。重油使用量は、実証区と慣行区を比較して平均4.3kL/10a の削減となった。果形指数は、調査期間を通して実証区が慣行区よりも大きい値となり、糖度では満開後 90 日と 120 日に実証区が慣行区よりも低かった。横径、滴定酸、果皮色、荷受け量は、試験区の差が小さかった。また、満開後 120-149 日の昼間の飽差と満開後 120-150 日の糖度増加量との関係から、約 10hPa が最適な飽差であることが示唆された。

2024 年産は、満開後 60-119 日の昼夜のハウス内気温において、実証区が慣行区よりも低く推移した。重油使用量は、実証区と慣行区を比較して平均2.9kL/10a の削減となった。横径は、調査期間を通して実証区が慣行区よりも小さかった。糖度は、調査期間を通して実証区が慣行区よりも高く推移した。果形指数、滴定酸、果皮色、荷受け量は、調査期間を通して試験区間の差が小さかった。また、2023 年産のような飽差と増糖量との関係は認められなかった。

以上より、実証した温度管理は重油削減効果があり、収量・品質の影響が少なく、生産者の所得向上が期待できる結果となった。したがって、実証栽培の温度管理は有効と考えられる。

謝　辞

本研究にあたり、調査に協力していただいた大分県農業協同組合ハウミカン部会及び大分県農業協同組合きつき選果場の関係者各位に深く感謝申し上げる。また、本研究は「令和５年度東部地区食料・農業・農村振興協議会事業」と「令和５年度補正予算みどりの食料システム戦略緊急対策交付金グリーンな栽培体系への転換サポート（令和６年度に実施）」の支援を受け実施した。

引用文献

１）農林水産省．令和６年産みかんの結果樹面積、収量及び出荷量（2025）.

２）本美善央．ハウス栽培　早生温州．農業技術体系果樹編（2008）；第 1-Ⅰ巻追録第 23 号：383-388.

３）加美　豊・西山富久・三木伸司・矢野　隆・毛利幸喜．早生温州のハウス栽培に関する研究．愛媛果樹試研報（1999）；第 13 号：1-9.

４）川村秀和・東　明弘．加温ハウス栽培極早生温州の果実の生育に及ぼす夜温管理の影響．鹿児島農総セ研報　耕種部門（2011）；第５号：9-16.

５）矢野　拓・祖田嘉教・長尾祥子・山﨑礼一・水内勇．夜温等栽培環境が早期型ハウスミカン果実の生育と品質に及ぼす影響．大分県農林水産研究指導センター研究報告（農業研究部編）(2014)；4 号：1-9.

６）Yano, T., Matsubara, K., Shimooka, M., Tamanoi, A., Narahara, M ., Kawano, M ., Ito , S ., Setoyama., S ., Yasunaga, E., Araki, T ., Kitano, M .Energy -Saving Night Temperature Regime for Satsuma Mandarins (*Citrus unshiu* Marc.) Grown in a Plastic House with Heating. Ⅰ. Effect of Temperature and Water Condition on Fruit Growth and Quality. Environ. Control Biol (2014)；52：161-166.

７）Yano, T., Matsubara, K., Shimooka, M., Tamanoi, A., Narahara, M ., Kawano, M ., Ito , S ., Setoyama., S ., Yasunaga, E., Araki, T ., Kitano, M .Energy -Saving Night Temperature Regime for Satsuma Mandarins (*Citrus unshiu* Marc.) Grown in a Plastic House with Heating. Ⅲ. Application of Different Night Temperature

Patterns. Environ. Control Biol (2014) ; 52 : 175-181.
8）矢野　拓. ハウスミカンにおける果実成長の環境応答と省エネルギー温度管理. 大分県農林産研究指導センター研究報告 (2015) ; 5 号 : 1-63.
9）岩崎泰永. CO_2施用と湿度管理. 農業技術体系野菜編 (2014) ; 第 2 巻追録第 39 号 ; 560 の 18-31.
10) 栗原昭夫. 制御環境下における温州ミカン果実の生長反応Ⅰ　9 月以降の温度が果実の生育ならびに着色・品質に及ぼす影響. 園芸試験場報告 (1969) ; A 第 8 号 : 15-30.
11) 新居直祐・原田公平・門脇邦泰. 温度が温州ミカンの果実の肥大ならびに品質に及ぼす影響. 園学雑 (1970) ; 39 巻 4 号 : 309-317.
12) 井上　宏・銭　長発. 生理落果終了後のウンシュウミカン果実の肥大と品質に及ぼす温度の影響. 香川大学農学部学術報告 (1988) ; 40 巻 1 号 : 31-36.
13) 宇都宮直樹・山田　寿・片岡郁雄・苫名　孝. ウンシュウミカン果実の成熟に及ぼす果実温度の影響. 園学雑 (1982) ; 51 : 135-141.
14) 清水 浩・對馬ゆかり・小松佳菜子. DIF 環境下におけるノースポール (*Chrysanthemum paludosum* 'North Pole') 下胚軸の伸長成長解析. 植物環境工学 (2008) ; 20(1) : 2-7.
15) 栗原昭夫. 制御環境下における温州ミカン果実の生長反応Ⅲ　秋季における昼夜温度日較差が果実の発育ならびに着色・品質に及ぼす影響. 園学雑 (1973) ; 42 : 13-21.
16) 重里　保. 早生ウンシュウの加温時期と生理生態. 広瀬和栄編著. カンキツ類ハウス栽培の新技術　誠文堂新光社 (1984) ; 70-83.
17) 山名良祐. イチゴ促成栽培における植物体の水ストレス予測情報に基づく加湿制御の最適化. 博士論文　大阪公立大学 (2025) ; 1-140.
18) 稲田秀俊・菅谷龍雄・袴塚紀代美・中原正一・植田稔宏. 促成栽培トマトの収量に対する施設内の温度、相対湿度、飽差および二酸化炭素濃度の影響に関する現地調査. 茨城県農業総合センター園芸研究所研究報告 (2011) ; 第 18 号 : 9-15.
19) 吉田　剛. 土耕栽培での環境制御技術. 農業技術体系野菜編 (2015) ; 第 2 巻追録第 40 号 : 560 の 53 の 2-16.

Effects of Moderate-temperature Management on Fruit Growth, Quality and Yield in Farmer's Satsuma Mandarin Trees Grown in a Greenhouse

HIDEKAZU TANABE, YUICHI SATOU, MASAHIRO TAKEDA, NAOKI HANDA and TAKU YANO

Summary

This report investigates the effects of different temperature control on fruit growth, quality, and yield in Satsuma mandarin grown in a greenhouse. The experimental plots were set up with the test treatment (TT) (daytime temperature 25℃, nighttime temperature 17–20℃) and the control treatment (CT) (daytime temperature 28–30℃, nighttime temperature 23–24℃) during the period of 60 to 150 days after full bloom. Investigations were conducted in the 2023 and 2024 fruit crops.

At 2023 crops, during the 60-119 days after full bloom, the measured daytime and nighttime temperatures of TT were lower than those of CT. The heavy oil consumption of TT was below 4.3kL/10a than CT. Generally, the fruit shape index was larger in TT than in CT. Sugar content was lower in TT than in CT at 90 and 120 days after full bloom. Comparing TT and CT, other fruit production indices such as fruit equatorial diameter, titratable acidity, peel color, and yield only showed similar values. During 120 -149 days after full bloom, approximately 10 hPa of vapor pressure deficit (VPD) suggested to optimize sugar accumulation.

Similarly, at 2024 crops, the measured daytime and nighttime temperatures of TT were lower than those of CT. The heavy oil consumption of TT was below 2.9kL/10a than CT. Generally, the equatorial diameter was smaller in TT than in CT. The sugar content changed higher in TT than in CT . Comparing TT and CT, the fruit shape index, titratable acidity, peel color, and yield only showed similar values. Unlike 2023 crops, VPD and sugar accumulation showed no significant relationship at 2024 crops.

Our results showed the effectiveness of TT, because of the fuel reduction, little impact on yield and quality, and farmer's income improvement. Therefore, TT temperature control is considered effective.