

ハウスミカンにおける燃油消費量削減 を目的とした温度管理技術の開発

鈴木寛之¹⁾・杉浦兼之²⁾・長坂省造³⁾・黒田貴信¹⁾

摘要：ウンシュウミカン「宮川早生」のハウス栽培において、重油暖房機の設定温度とハウス内温度が低下したとき実際に暖房機が作動するまでの温度差(以下「動作隙間」とする)を慣行よりも拡大した場合の燃油消費量削減効果と果実品質及び収量に対する影響について調査した。

- 1 動作隙間を4℃に拡大した変温区における加温期間中の重油暖房機稼働時間は、動作隙間0.8℃の慣行区と比較して3年間の平均で10.8%削減された。
- 2 変温区の果実品質は慣行区と比較して一果重及び果肉率の劣る年があったが、他の品質については低下することはなかった。
- 3 1樹当たり及び樹容積当たりの収量に差は認められなかった。

キーワード：ハウスミカン、省エネ、燃油消費量、温度管理

緒言

愛知県では1969年に全国に先駆けてハウスミカン栽培が開始された。その後、生産量全国第2位の産地に発展し¹⁾、カンキツ経営の重要な柱となっている。県内ハウスミカン産地における中心的な作型では11月中旬から12月上旬に加温を開始し、加温開始後35日から40日で満開となる。その後、徐々に夜間最低気温を高め、2月中旬から3月上旬に最も高い24℃に設定し、約1か月間これを継続する。そのため多くの重油が消費され、重油価格を2008年9月価格の112円とした場合の経営費に占める暖房費の割合は約50%となり、トマトの約25%、イチゴの約15%と比較して高い²⁾。さらに、2004年から高騰している農業用A重油価格は2016年3月においても1L当たり61.5円と高騰前の約3割増しであり³⁾、なおハウスミカン農家の経営を圧迫している。

これまでの研究では、三重被覆ハウスにおいて空気熱源式ヒートポンプ冷暖房機を既設の重油暖房機と併用した場合、収量、品質に影響なく重油使用量が67.5%削減される結果が得られている⁴⁾。しかし、ヒートポンプ冷暖房機を導入するためには10a当たり約300万円の初期投資が必要であり、農家の負担が大きい。

そこで、本研究では2万円程度の温度制御機を用いて重油暖房機の設定温度とハウス内温度が低下したとき実際に暖房機が作動するまでの温度差を慣行よりも拡大し、燃油消費量削減効果と果実品質及び収量に対する影

響について検討した。

材料及び方法

試験は愛知県農業総合試験場園芸研究部常緑果樹研究室内の屋根型鉄骨ハウス(間口10m×奥行15m×軒高4.3m、表面積302m²、容積510m³、0.15mm農POフィルム被覆、東西棟)2棟を用いて2012年から2015年の4年間行った。2棟とも通年被覆とし、加温開始から終了までは天井面と側面を0.05mm農ビフィルムで内張被覆した。また、加温は重油暖房機(ネボン、HK1527)によって行い、1棟は動作隙間を暖房機付属温度制御機の初期値である0.8℃とする慣行区とし、1棟は動作隙間を外付けの温度制御機(ニッポー、DGK121)を用いて4℃に設定した変温区とした(図1)。加温期間中のハウス内温度はJA蒲郡市のハウスミカン栽培要項に従い設定

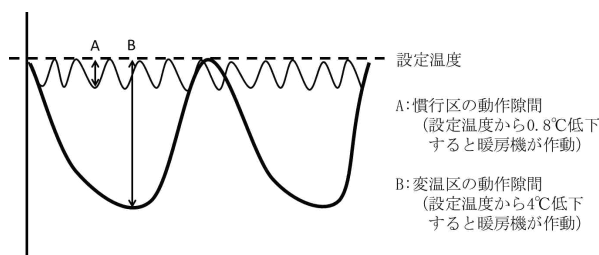


図1 動作隙間拡大のイメージ図

¹⁾園芸研究部 ²⁾園芸研究部(現農業大学校) ³⁾園芸研究部(現西三河農林水産事務所)

表1 加温開始日と動作隙間拡大処理期間

年度	加温開始日	動作隙間拡大処理期間	
		開始日	終了日
2012	2011/11/28	2/17 (果実肥大期)	5/31 (加温停止日)
2013	2012/11/29	11/29 (加温開始日)	5/27 (加温停止日)
2014	2013/12/2	1/9 (満開期)	5/23 (加温停止日)
2015	2014/12/1	1/14 (満開期)	5/27 (加温停止日)

した。

供試樹は41年生(2012年時点)「宮川早生」を用いた。各試験年の加温開始日と動作隙間拡大処理期間は表1に示したとおりである。

1 ハウス内温度と重油暖房機稼働時間

ハウス内温度はハウス中央部と中央部から西寄りの樹の樹冠内高さ約1.7mに自記温度計TR21(株式会社T&D、長野)を設置して1分毎に計測した。外気の日最低気温は場内に設置されているアメダスのデータを用いた。また、各ハウスの暖房機にロガー付き電圧計3645(日置電気株式会社、長野)を取り付け、燃料供給経路にある電磁弁の電圧変異を1分毎に計測し、電圧がかかっている時間を稼働時間とした。

2 果実品質及び収量

果実品質は満開後約170日の時期(2012年6月27日、2013年7月3日、2014年6月26日、2015年7月3日)に各ハウスの着果量が平均的な3樹から大きさ及び着色が平均的な20果を採取し、果実重、果形指数、着色歩合、果皮色、果肉率、果汁の糖度およびクエン酸含量を調査した。果形指数は果実の横径値を縦径値で除し100を乗した値で、値が大きいほど扁平な果実となる。着色歩合は橙色に着色している部分がないものを0、完全に着色したものを10とし、果実表面における橙色の着色部の面積割合に応じて遠観で評価した。果皮色は果頂部の平均的な着色部分でカラーチャート値は「農林水産省果樹試験場基準果実カラーチャートオレンジ色系」を用い、a値は色差計CR-200(コニカミノルタ株式会社、東京)を用いて測定した。果汁の糖度は糖度計PAL-1(株式会社アタゴ、東京)で、クエン酸含量は水酸化ナトリウムを用いた中和滴定で測定した。

収量は品質調査を行った3樹の全果実を満開後約180日の時期(2012年7月9日、2013年7月17日、2014年7月22日、2015年7月13日)に収穫して重量を計測した。樹容積は収穫後に樹冠の高さ、東西径、南北径を計測し、各値と0.7を乗じる7かけ法(農水省果樹試験場支場1987)により算出した。

結果及び考察

1 ハウス内温度の推移と重油暖房機稼働時間の削減率

2015年4月14日の16時30分から15日の6時30分までの慣行区及び変温区のハウス内温度の推移を図2に

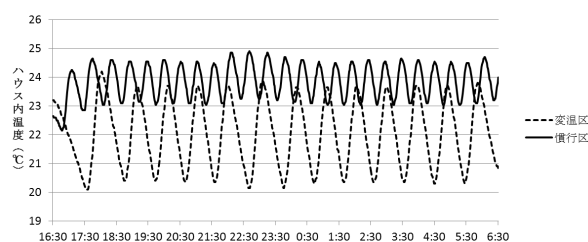


図2 加温中のハウス内温度の推移

表2 動作隙間拡大前の稼働時間

年度	動作隙間拡大前の稼働時間		補正係数 (A/B)
	慣行区(A) (分)	変温区(B) (分)	
2012	25723	26919	0.95557
2014	13500	14220	0.94937
2015	15024	16882	0.88994

示した。変温区のハウス内温度は約20°Cから約24°Cで変動し、変動幅は動作隙間の設定どおり約4°Cであった。平均温度は21.8°Cであった。慣行区のハウス内温度は約23°Cから約25°Cで変動し、変動幅は約2°Cと動作隙間の設定値0.8°Cよりも大きくなった。平均温度は24.1°Cであった。

燃油消費量の削減効果を評価するにあたり、重油暖房機の設計上の時間当たり燃油消費量は作動温度に関わらず一定であることから本試験では重油暖房機の稼働時間を用いた。変温区の動作隙間を慣行区と同じ0.8°Cとした期間(2013年は全加温期間で動作隙間を拡大したため除外)の重油暖房機稼働時間を表2に示した。本期間中は両区とも同じ温度管理を行っており、本来であれば稼働時間に差は生じないはずであるが、いずれの年も変温区の稼働時間が長かった。そのため、同期間の変温区稼働時間を慣行区稼働時間で除した値を補正係数として用い、変温区の稼働時間を補正した。このように変温区で稼働時間が長くなった要因としては、変温区では重油タンクと重油暖房機との距離が約24mと慣行区の約9mと比べて長い配管内での抵抗がかかり、時間当たりの重油供給量が減少していたことが考えられた。

全加温期間中の稼働時間を表3に示した。補正後の稼働時間で算出した削減率は2013年を除く3年の平均で10.8%となった。これまでのハウスミカンの省エネに関する研究では、満開後60日から100日の果実肥大期に0時から8時までの温度を慣行よりも2°Cから4°C低く管理することで、果実品質と収量に影響なく重油使用量が6.3%削減される結果が得られている⁵⁾。また、満開後50日から100日の0時から6時までの温度を1°Cから4°C低く管理することで重油使用量が8.7%削減される結果が得られており⁶⁾、本試験の結果はこれらと同程度の削減率となった。

2015年の動作隙間拡大処理期間中の重油暖房機設定温度、日最低気温、補正後の数値で算出した日毎の重油暖房機稼働時間の慣行区と変温区との差を図3に示した。重油暖房機設定温度は満開時(1月14日)の18℃から約10日間隔で1℃ずつ昇温し、3月16日から5月4日まで24℃を維持した。その後約10日間隔で2℃ずつ下げ、5月27日に加温停止した。日最低気温は2月上旬から中旬に最も低い傾向となり、その後上下に変動しながら上昇した。日ごとの省エネ効果を現す重油暖房機稼働時間の差は最低気温の低い2月上旬から中旬までは小さな値であったが、その後は最低気温の上昇に伴い大きくなる傾向が見られた。一方、5月5日に設定温度を下げてからは最低気温が高くても稼働時間の差が小さくなる傾向であったが、これは設定温度と外気との温度差が小さくなり、両区とも燃焼時間が短くなったためである。このように、動作隙間拡大による重油暖房機稼働時間の削減効果は加温期間中の最低温度や設定温度との関係などによって左右されるものと考えられた。

2 動作隙間拡大処理が果実品質及び収量に及ぼす影響

動作隙間拡大処理が果実品質に及ぼす影響を表4から表7に示した。一果重は2013年に変温区で有意に低かったが、他の年には有意な差は認められなかった。着色歩合は2012年と2013年、果皮色は2012年に変温区において有意に高かった。ウンシュウミカン果実の着色は低温によって促進されることが知られており⁷⁾、変温区では慣行区よりも低い温度に多く遭遇することが要因の一つかもしれない。果肉率は2015年に変温区が有意に低かったがその差はわずかであり、商品性には影響しない程度であった。果汁のクエン酸含量は2014年に変温区が有意に

低く他の年には差は認められなかった。クエン酸含量は夜温が低いと高くなることが知られており⁸⁾、変温区において高くなるものが懸念されたが、影響のない範囲の温度差であったものと思われた。また、2013年は加温開始時から動作隙間拡大処理を開始したため、満開日が慣行区の1月11日に対し、変温区では3日遅い1月14日となった(データ省略)。さらに、完全出らいから満開日までの約25日間は、最低温度を17度と比較低い温度に設定するため、重油暖房機の稼働時間削減効果は小さいものと思われる。そのため、動作隙間拡大処理は満開期以降に開始するのが望ましいと考えられた。

動作隙間拡大処理が収量に及ぼす影響を表8に示した。各試験年において、1樹当たり収量および樹容積当たり収量共に有意な差は認められなかった。

以上の結果から、11月下旬または12月上旬に加温開始するハウスミカン栽培において重油暖房機の動作隙間を4℃に拡大することにより、加温期間中の燃油消費量を約10%削減できる可能性が示された。本技術は2万円程度の比較的少ないコストである程度の節油効果が期待でき、資金等の問題によりヒートポンプが導入されていないハウスへの普及が考えられる。一方、動作隙間拡大による節油効果はハウスの保温能力や加温開始時期によって異なると思われる。本試験では床面積150㎡の小規模なハウスを使用し、県内産地の中心的な作型の中では遅い時期に当たる11月下旬から12月上旬に加温を開始した。また、果実品質に対する影響は様々な栽培条件によって左右される可能性がある。従って、本技術を生産現場に普及させる場合には、これらの違いによる影響を現地実証により確認しながら進める必要があると思われる。

表3 全加温期間の稼働時間

年度	全加温期間中の稼働時間			削減率 (%)
	慣行区 (分)	変温区補正前 (分)	変温区補正後 (分)	
2012	44458	43912	41961	5.6
2014	53760	50340	47791	11.1
2015	52962	50202	44677	15.6
平均				10.8

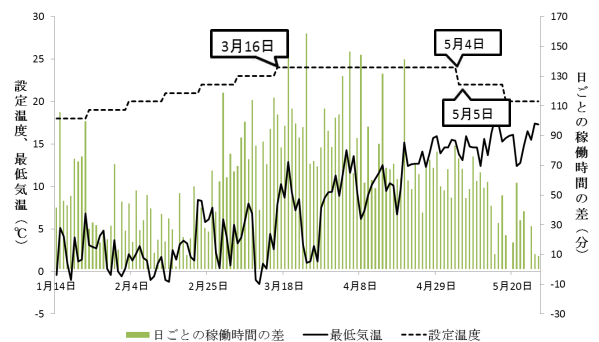


図3 設定温度、最低温度、日ごとの稼働時間の差

表4 果実品質に対する影響(2012年)

区	一果重 (g)	果形指数	着色歩合	果皮色 (果頂部)		果肉率 (%)	糖度 (Brix)	クエン酸 (g 100ml ⁻¹)	糖酸比
				カーチャート値	a値				
変温区	109.2	143.0	8.9	7.2	19.7	79.1	14.1	1.35	10.5
慣行区	107.7	137.4	8.2	6.3	16.8	80.8	14.1	1.51	9.4
有意差 ¹⁾	n. s.	n. s.	**	**	*	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.

1) t-testにより、*は5%水準、**は1%水準で有意差あり。

表5 果実品質に対する影響(2013年)

区	一果重 (g)	果形指数	着色歩合	果皮色(果頂部)		果肉率 (%)	糖度 (Brix)	クエン酸 (g 100ml ⁻¹)	糖酸比
				カラーチャート値	a値				
変温区	72.6	135.8	7.2	5.6	12.5	75.8	13.9	1.51	9.4
慣行区	88.0	140.8	6.2	5.1	10.6	79.6	13.8	1.66	8.6
有意差 ¹⁾	**	n. s.	**	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.

1) t-testにより、*は5%水準、**は1%水準で有意差あり。

表6 果実品質に対する影響(2014年)

区	一果重 (g)	果形指数	着色歩合	果皮色(果頂部)		果肉率 (%)	糖度 (Brix)	クエン酸 (g 100ml ⁻¹)	糖酸比
				カラーチャート値	a値				
変温区	117.2	132.6	6.3	3.9	3.5	78.8	14.9	1.05	14.4
慣行区	116.7	137.5	7.1	4.8	12.6	79.9	15.5	1.12	13.9
有意差 ¹⁾	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	*	n. s.

1) t-testにより、*は5%水準、**は1%水準で有意差あり。

表7 果実品質に対する影響(2015年)

区	一果重 (g)	果形指数	着色歩合	果皮色(果頂部)		果肉率 (%)	糖度 (Brix)	クエン酸 (g 100ml ⁻¹)	糖酸比
				カラーチャート値	a値				
変温区	87.8	142.7	6.5	4.9	11.3	79.6	14.0	1.25	11.4
慣行区	91.5	146.2	5.9	4.1	6.1	81.4	14.1	1.37	10.6
有意差 ¹⁾	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	*	n. s.	n. s.	n. s.

1) t-testにより、*は5%水準、**は1%水準で有意差あり。

表8 1樹当たり収量と樹容積当たり収量に対する影響

区	1樹当たり収量 (kg)				樹容積当たり収量 (kg m ³ ⁻¹)			
	2012年	2013年	2014年	2015年	2012年	2013年	2014年	2015年
変温区	93.8	96.5	58.7	83.0	5.1	5.2	2.7	3.9
慣行区	74.8	76.7	63.2	84.2	4.3	3.7	3.3	4.3
有意差	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.

引用文献

1. 愛知県. 果樹生産流通統計資料. (2013)
2. 愛知県. 平成20年度石油価格等高騰対策技術指針(改訂). (2008)
3. 農林水産省. 農作物価統計資料(2016)
4. 本美善央, 兼子欣也, 原広志, 袴田富治, 市川啓. ハウスミカンにおける空気熱源式ヒートポンプを利用したハイブリッド暖房方法の重油及びコスト削減効果.

- 園芸学研究. 8. 別冊1, 525(2009)
5. 本美善央, 杉原巧祐. 早期加温型ハウスミカンの果実肥大期における変夜温管理が省エネ効果及び果実品質に及ぼす影響. 園芸学研究. 8. 別冊1, 524(2009)
6. 鹿児島県農業開発総合センター. ハウスミカンにおける夜温の変温管理による燃料の削減. 平成19年度九州沖縄農業研究センター研究成果情報. (2007)
7. 角谷一臣. 農業技術体系果樹編カンキツ. 農山漁村文化協会. 基礎編59-60(1982)
8. 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. 園学雑. 42(1), 13-21(1973)