

ヒートポンプ冷暖房除湿による ハウスミカンの浮皮軽減と着色向上効果

荒牧 貞幸

キーワード：ハウスミカン，ヒートポンプ，冷暖房除湿，浮皮，着色

Effect of dehumidification and air-conditioning by heat pump on rind puffing
and fruit coloring of satsuma mandarin in plastic greenhouse

Sadayuki ARAMAKI

目次

1. 緒言	86
2. 材料および方法	
1) 収穫前の冷暖房除湿運転が果実品質に及ぼす影響	86
2) 収穫前の冷暖房除湿運転の経済性	87
3. 結果	
1) 収穫前の冷暖房除湿運転が果実品質に及ぼす影響	88
2) 収穫前の冷暖房除湿運転の経済性	90
4. 考察	92
5. 摘要	93
6. 引用文献	93
Summary	94

1. 緒 言

長崎県におけるウンシュウミカンの加温施設栽培は、収益性が高かったことから年々増加し、平成6年産では栽培面積128ha、生産量5,480tに達した。その後、販売価格の低迷等により、栽培面積、生産量ともに減少⁹⁾し、さらに近年は加温機の燃料であるA重油の価格高騰による生産経費の増大が生産量減少へ拍車を掛けている。そのような中、暖房費節減に有効な新たな暖房システムとして施設園芸用のヒートポンプ（以下、HP）が、県内ハウスミカン産地に導入が進んでいる。HPは熱媒体の気化熱や凝縮熱を用いて、周辺の空気等と熱交換を行い、冷暖房を行う機器であり、冷蔵庫や室内エアコンなど広く利用されている。現在、ハウスミカンでは暖房機器として利用されているが、夏季における冷暖房や除湿機能はほとんど利用されていない。

6月および7月出荷型のハウスミカンは、成熟

期が梅雨期にあたるため、施設内の湿度の上昇により浮皮果が発生し、さらに高温期とも重なるため果肉が十分成熟しても果皮の着色が抑制され、果実の品質低下を生じることがある。

成熟期における浮皮果の発生と湿度との間には高い関連性があり、高湿度条件で浮皮果の発生が多い^{5) 6)}。また、収穫後の20℃予措処理によって着色が向上することが明らかとなっている^{1) 2)}。

そこで、夏季の成熟期におけるHPの冷暖房除湿機能を利用したハウスミカンの高品質果実生産方法と併せ、冷暖房除湿運転の経済性について調査したので、その結果を報告する。

調査にあたり現地圃場をお貸しいただいた南島原市西有家町の小関泰祐氏、松川忠則氏および調査に協力してくださった島原振興局、農産園芸課の担当者各位に心から謝意を表します。

2. 材料および方法

1) 収穫前の冷暖房除湿運転が果実品質に及ぼす影響

(1) 2009年

長崎県南島原市西有家町の6月下旬出荷タイプ加温体系ハウスAの‘宮川早生’10年生を供試した(表1)。試験はHPを6aのハウスに1台設置し(写真1)、冷暖房除湿運転を行い、隣接したハウスBを無処理とした。HPは収穫約1か月前の6月1日から6月30日までの期間の降雨時にサイド、谷ビニールを閉め、夜間に湿度90%、温度18℃に設定した。

HPの冷暖房除湿運転は、除湿機能が優先され、冷房と暖房と組み合わせて設定湿度まで下がったらその時点の温度で維持される方式となっており、夏季は冷房を主体とした除湿運転となっている(図1)。

6月1日から6月30日にかけて温湿度ロガー(日置電気製3641)をハウス中央部の高さ約150cmに1か所設定し、1時間毎に温度および相対湿度を測定した。

処理前の6月1日にM級(果実横径62~67mm)の果実にラベルし、満開から約180日後の6月30日に採取し、果実形質および品質を調査¹⁾した。試験規

模は、各区3樹で1樹当たり10果を供試した。果皮色a値は、色彩色差計(コニカミノルタ製CR-400)を用い、赤道部の最大着色部と最小着色部の2か所を測定した。カラーチャート(農林水産省果樹試験場作成)は、オレンジ系を用い、赤道部の最大着色部と最小着色部の2か所を調査した。着色歩合は、果実表面に対する着色部分の面積比率により0~10の11段階に分けて調査した。浮皮果は、0:無、1:軽、2:中、3:甚の4段階に区分して調査し、発生指数および発生率を算出した。

(2) 2010年

2009年と同じ現地圃場において試験を実施した(表1)。HPは収穫約1か月前の5月10日から6月21日までの期間の降雨時にサイド、谷ビニールを閉め、夜間に湿度90%、温度18℃に設定し稼働させた。ハウス内の温湿度は、2009年と同様に測定した。

処理前の5月10日にM級の果実をラベルし、満開から約180日後の6月22日に採取し、果実形質および果実品質を調査した。試験規模と調査方法は2009年と同様である。

2) 収穫前の冷暖房除湿運転の経済性

(1) 運転コストの試算

HPを設置しているハウスAと隣接するハウスBのHPの配電盤にクランプロガー（日置電気製3636）を設置し、2011年6月7日から6月20日まで1分毎に電流量を測定し、冷暖房除湿運転による1時間毎の電力量を算出した。さらに、算出した電力量を九州電力（株）の低圧季時別電力契約に基づいた料金にあてはめ、冷暖房除湿運転による電気料金を算出した。

(2) 販売向上額の試算

販売向上額は、表1のAおよびBハウスの3か年

(2009～2011年)のHPの冷暖房除湿処理と無処理との浮皮果の程度別発生および着色歩合進度の差をもとに算出した。算出に当たっては、2009～2011年のハウスミカン等級別単価（全国農業協同組合連合会長崎県本部取り扱い）、2009～2011年のハウスミカン四大市場旬別単価販売単価（日本園芸農業協同組合連合会取り扱い、長崎県産）、および2009年～2011年のハウスミカン10a当たりの平均収量（農林水産省統計部、長崎県）を用いた。なお、2011年はA、Bハウスともに冷暖房除湿運転を実施したため、隣接するハウスCで無処理の浮皮果および着色歩合を調査した（表1）。

表1 ヒートポンプを設置した現地圃場のハウスミカン栽培の概要

年	ハウス	区分	加温日	満開日	果実採取日	面積
2009	A	冷暖房除湿	2008年11月21日	2009年1月2日	2009年6月30日	6a
	B	無処理	2008年11月21日	2008年12月30日		6a
2010	A	冷暖房除湿	2009年11月17日	2009年12月22日	2010年6月22日	6a
	B	無処理	2009年11月17日	2009年12月20日		6a
2011	A	冷暖房除湿	2010年11月15日	2010年12月20日	2011年6月20日	6a
	B	冷暖房除湿	2010年11月15日	2010年12月25日		6a
	C	無処理	2010年11月10日	2010年12月20日		10a



写真1 ミカンハウスの施設園芸用ヒートポンプの室内機

ネポン（株）社製（型式 NGP104T:2008年製）
能力：冷房22kW、暖房28kW

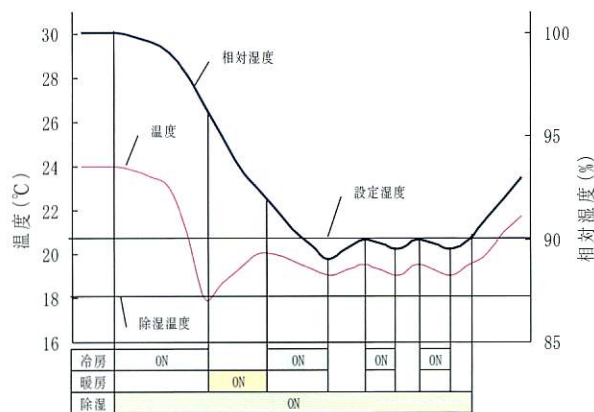


図1 夏季時におけるヒートポンプの冷暖房除湿運転のイメージ

（ネポン（株）施設園芸用ヒートポンプ
グリーンパッケージカタログ）

3. 結 果

1) 収穫前の冷暖房除湿運転が果実品質に及ぼす影響

(1) 2009年

試験期間中に冷暖房除湿運転は延べ5日間稼働した(表2)。温度は、HPが稼働した6月21日19時から6月22日7時までの12時間は冷暖房除湿区が無処理区より約2℃低い22℃程度で推移した(図2)。また、相対湿度は、HPが稼働した6月21日19時から6月22日7時までの12時間は冷暖房除湿区が無処理区より12~14%低い85~87%で推移した(図3)。

果皮の赤みを示すa値は、冷暖房除湿区が無処理区より有意に高かった。また、浮皮果の発生指数は、冷暖房除湿区が無処理区より有意に低かった。糖度および果実形質は、処理区間に差が見られなかったが、酸含量は、冷暖房除湿区が有意に高かった(表3)。

(2) 2010年

試験期間中に冷暖房除湿運転は延べ7日間稼働した(表4)。温度は、HPが稼働した6月17日19時から6月18日7時までの12時間および6月18日19時から6月19日7時までの12時間に冷暖房除湿区が無処理区より2~3℃低い20℃程度で推移した(図4)。また、上記の同期間の相対湿度は、冷暖房除湿区が無処理区より10~13%低い86~88%で推移した(図5)。

果皮の赤みを示すa値、カラーチャート値および着色歩合は、冷暖房除湿区が無処理区より有意に高かった(表5)。また、浮皮果の発生指数および発生率は、冷暖房除湿区が無処理区より有意に低かった。糖度、酸含量および他の果実形質に、処理区間の差は見られなかった。

表2 ハウスミカンにおけるヒートポンプの冷暖房除湿運転の稼働日(2009年)

日付	6月																													
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	27	28	29	30					
稼働日 ²⁾		○									○	○								○	○									

²⁾稼働日は冷暖房除湿区と無処理区の相対湿度の推移差から確認

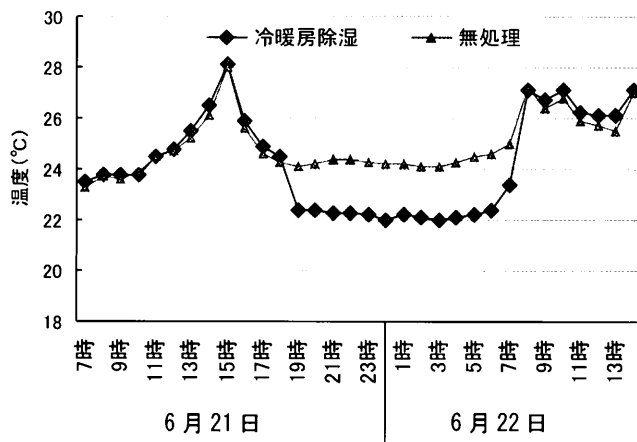


図2 成熟期のヒートポンプの冷暖房除湿運転の有無と温度の推移(2009年)

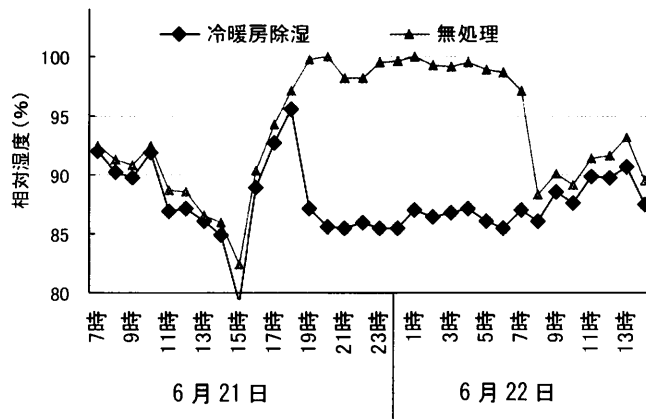


図3 成熟期のヒートポンプの冷暖房除湿運転の有無と相対湿度の推移 (2009年)

表3 成熟期のヒートポンプの冷暖房除湿運転の有無と果実品質 (2009年)

処理	果実重 (g)	果肉歩合 (%)	果径 指数	果皮色		着色 歩合	浮皮果		糖度 (Brix)	酸含量 (g/100ml)
				a値	カラー チャート		発生 指数 ^z	発生率 (%)		
冷暖房除湿	113.8	80.0	141.9	18.5	6.7	9.6	33.3	60.0	13.3	0.81
無処理	112.7	79.0	139.5	16.1	6.5	9.4	48.9	73.3	13.2	0.72
有意性 ^y	ns	ns	ns	*	ns	ns	*	ns	ns	*

^z 浮皮果発生指数 = (Σ(発生程度別果数 × 発生程度)) / (3 × 調査果数) × 100

^y t検定により*は5%の水準で有意差あり、nsは有意差なし

表4 ハウスミカンにおけるヒートポンプの冷暖房除湿運転の稼働日 (2010年)

日付	6月																																					
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	27	28	29	30													
稼働日 ^z									○	○					○	○	○	○	○																			

^z 稼働日は冷暖房除湿区と無処理区の相対湿度の推移差から確認

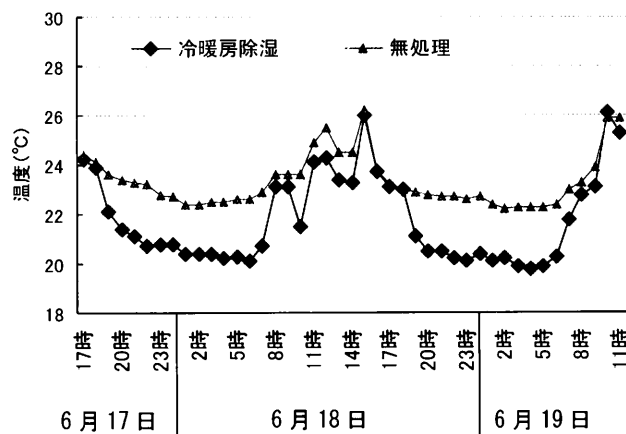


図4 成熟期のヒートポンプの冷暖房除湿運転の有無と温度の推移 (2010年)

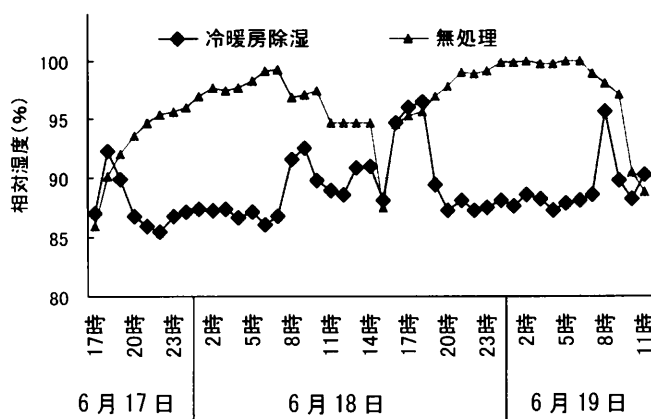


図5 成熟期のヒートポンプの冷暖房除湿運転の有無と相対湿度の推移 (2010年)

表5 成熟期のヒートポンプの冷暖房除湿運転の有無と果実品質 (2010年)

処理	果実重 (g)	果肉歩合 (%)	果径 指数	果皮色		着色 歩合	浮皮果		糖度 (Brix)	酸含量 (g/100ml)
				a値	カラー チャート		発生 指数 ^z	発生率 (%)		
冷暖房除湿	85.2	81.4	136.6	19.1	6.6	9.4	5.6	16.7	13.1	0.89
無処理	95.9	82.6	134.9	16.7	6.0	8.9	26.7	43.3	12.9	0.86
有意性 ^y	ns	ns	ns	*	*	*	*	*	ns	ns

^z浮皮果発生指数=(Σ(発生程度別果数×発生程度))/(3×調査果数)×100

^yt検定により*は5%の水準で有意差あり、nsは有意差なし

2) 収穫前の冷暖房除湿運転の経済性

(1) 運転コストの試算

冷暖房除湿運転による10a当たりの電力量は、昼間が約6500W/hr、夜間が約6000W/hrであった(表6)。冷暖房除湿運転による1か月、10a当たりの電力量料金は、2009年が5日間の34時間稼働で約2000円、2010年が7日間の57時間稼働で約3300円であった。また、6月の基本料金を加えた電気料金は2009

年が約25000円/月、2010年が約26000円/月であった。(表7)。

(2) 販売向上額の試算

冷暖房除湿運転による浮皮果軽減および着色歩合向上効果はそれぞれ10%以上であった。このことから、冷暖房除湿運転による10aあたりの販売向上額は、浮皮果軽減で約84000円、着色歩合向上で約33000円であった(表8)。

表6 成熟期のヒートポンプの冷暖房除湿運転時の電力量

区分	電力量 ^z (W/hr/10a)		
	昼間 ^y	夜間 ^x	平均
ハウスA	7018	6686	6873
ハウスB	6115	5363	5736
平均	6567	6024	6304

^z10a当たりの電力量は、実面積6aから試算

^y昼間は8時から18時まで

^x夜間は18時から8時まで

表7 成熟期のヒートポンプの冷暖房除湿運転の電力量と電気料金の試算

年/月	時間帯 ²	電気使用時間 (hr)							電力量 ³ (W/10a)	電気料金 (円/月/10a) ⁴		
		4日	12日	13日	21日	22日	合計			電力量料金	基本料金	合計
2009年6月	昼	7						7	45969	516		
	夜-昼		3		4			7	42168	473		
	夜		2	8	2	8		20	120480	970		
	合計	7	5	8	6	8		34	208617	1959	22680	24639
2010年6月	昼							7	45969	516		
	夜-昼			4	9	2	4	19	114456	1284		
	夜	2	6	2	10	8	2	31	186744	1503		
	合計	2	6	6	19	10	13	57	347169	3303	22680	25983

²時間帯の昼は8時から18時まで、夜-昼は18時から22時まで、夜は22時から8時までの時間

³電力量および電気料金は2009年、2010年の電気使用時間からの試算

⁴電気料金は九州電力(株)の低圧季時別電力で、電力量料金が昼間(8~22時)11.22円/kW、夜間(22~8時)8.05円/kW、基本料金が1260.00円/kWで試算。基本料金はHP式加温機最大電気消費量9kW/台の2台/10aで試算

表8 成熟期のヒートポンプの冷暖房除湿処理による浮皮果軽減および着色歩合向上による販売向上額の試算

内容	区分	発生率 (%) ²					発生収量 ³ (kg/10a)	販売向上額 ⁴ (円/10a)
		2009年	2010年	2011年	平均	差		
浮皮果 軽減	冷暖房除湿	10.0	0.0	2.9	4.3	11.9	602	84219
	無処理	20.0	16.7	12.0	16.2			
着色歩合 向上	冷暖房除湿	96.7	96.7	96.4	96.6	10.3	521	33448
	無処理	90.0	73.3	95.6	86.3			

²発生率は、浮皮果軽減が浮皮程度「甚」、着色歩合向上が着色歩合9分以上とした

³発生収量は、2009年~2011年の長崎県のハウスミカン10a当たりの平均収量(5063kg, 農水省統計部)と冷暖房除湿区と無処理区の発生率の差を乗じ算出した

⁴販売向上額は、浮皮果軽減が2009~2011年ハウスミカン等級別単価(全農長崎)の等級毎の平均単価差(139.9円/kg)に「甚」の発生収量を乗じ算出、着色歩合向上が2009~2011年の長崎県産ハウスミカン四大市場旬別単価(日園連)の6月中旬~7月中旬の1旬毎の平均単価差(64.2円/kg)に9分以上の発生収量を乗じ算出した

4. 考 察

1) 収穫前の冷暖房除湿運転が果実品質に及ぼす影響

今回試験を実施した現地圃場のハウスミカンには6月出荷タイプであり、ミカンの成熟期が九州北部地域の梅雨時期と重なり、雨天時は平均湿度95%（長崎県雲仙岳アメダスデータ）を超え高湿度条件となっている。また、雨天、夜間時の外気温が25℃（長崎県口之津アメダスデータ）を越える日もあり、浮皮果発生や着色遅延の要因になっていると考えられる。HPの冷暖房除湿運転時のハウス内の環境は、無処理と比べ相対湿度10%程度、温度2℃程度低下したことで、浮皮果の発生軽減や果皮の着色促進に影響したと考えられる。

河瀬ら^{5) 6)}はウンシュウミカンの浮皮発現は、果実周辺が高湿度ほど浮皮果になりやすく、また、採取果を10℃の恒温で湿度条件を変えると相対湿度91.9~93.0%では浮皮は見られず、98.5~100%で果実容積が増大すると報告している。さらに、邨田⁸⁾は収穫後直ちに湿度99.5~100%、温度3.5~10℃で貯蔵した場合（高湿区）と収穫、予措後70~85%、3.5~10℃で貯蔵した場合（乾燥予措・低湿区）では、高湿区がほとんど浮皮果になったと報告している。本試験では、降雨によって100%に近くなったハウス内相対湿度が、HPの冷暖房除湿運転によって85~88%に低下したことにより浮皮果の発生が軽減できたと考えられ、上記報告と一致する結果となった。

一方、ウンシュウミカンの成熟期における温度条件と果実着色の関係について栗原⁷⁾、新居ら¹⁰⁾の報告があり、15~30℃の温度範囲で果皮のクロロフィル含量が低温区ほど早く減少し、特に15℃、20℃区の含量が25℃、30℃区と比べ少ないと報告¹⁰⁾している。また、ハウスミカン栽培におけるHPの夜間冷房処理では池田ら⁴⁾が17~19℃で、佐金ら¹²⁾高瀬ら¹³⁾が15℃で果実の着色が促進されることを明らかにしている。本試験は、設定した

温度より湿度を優先した除湿運転で、設定湿度を維持するように必要以上の冷房運転しなかった。そのため、温度が20~22℃で既報告に比べるとやや高めであったが、着色に最適とされる15~20℃に近づいたため同様の結果になったと考えられる。

2) 収穫前の冷暖房除湿運転の経済性

果実の着色促進を目的として佐金ら¹²⁾は、7.5kwのHP（1985年製）を使い収穫前40日間（8月中旬~10月中旬もしくは7月上旬~9月上旬）に温度15℃に設定し、1日当たり12時間運転した場合、HPの夜間冷房運転の10aあたり電気料金は約170万円を要することから、実現性は乏しいと考察している。また、池田³⁾は収穫前51日間（6月下旬~8月中旬）に温度18.5℃に設定し夜間冷房運転した場合、HPの10aあたり基本料金を含めた電気料金は168千円と試算している。本試験は、降雨時の5~7日間の冷暖房除湿であること、6月の温度が比較的低い時期の運転であること、さらに、設定温度が高いことなどから既報告と単純には比較できないが、本試験は、基本料金も含めた料金で25千円程度と低コストであり、実際のハウスミカン経営にも受け入れやすいものとなった。

また、池田³⁾は夜間冷房運転の10aあたり増収益額は約30万円と試算している。HPの運転や試算方法などの違いがあり、本試験はこれほどの大きな販売向上額の試算は得られなかったが、果実品質の向上によって運転コスト以上の収益が得られることが明らかとなった。

5. 摘 要

ハウスミカンにおいて、収穫1か月前の6月の降雨時に施設園芸用のヒートポンプを用いた冷暖房除湿運転（設定湿度90%、設定温度18℃）を行い成熟果の果実品質と経済性を調査した。

1) 相対湿度が85～90%に低下することで浮皮果の発生が軽減され、また、夜温が20～22℃に維持され、果皮の着色が向上することが明らかと

なった。

2) 運転に要する電気料金は25千円/月/10a程度の一方、販売向上額が浮皮果の発生軽減で約84千円/10a、着色向上で33千円/10aが見込まれることから、ヒートポンプによる収穫前の冷暖房除湿の経済性が高いことが明らかとなった。

6. 引用文献

- 1) 濱口壽幸, 松永茂治, 山中 昇, 岸野 功: 施設栽培ウンシュウミカン収穫果実の着色促進と鮮度保持技術, 長崎果試研報, 3, 11-30(1996)
- 2) 長谷川美典, 矢野昌充: ハウスミカンの20℃予措による着色促進, 園学要旨, 昭 61 秋, 591(1986)
- 3) 池田繁成: ハウスミカンにおけるヒートポンプを活用した省エネ・低コスト生産技術, 施設と園芸, 159, 24-27(2012)
- 4) 池田繁成, 田中 要, 新堂高広: ハウスミカン栽培におけるヒートポンプ加温技術(第5報)夏季夜間冷房における果実着色効果, 園芸学会九州支部研究集録, 19, 18(2011)
- 5) 河瀬憲次: ウンシュウミカン果実における浮皮発現の要因と防止法に関する研究-2-果実周辺の湿度条件と浮皮発現, 果試報告(D), 6, 41-55(1984)
- 6) 河瀬憲次, 高原利雄, 廣瀬和榮, 小野祐幸, 吉永勝一: ウンシュウミカン果実における浮皮発現の要因と防止法に関する研究-1-九州・東海両地域における浮皮発現と気象要因, 果試報告(D), 6, 27-39(1984)
- 7) 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-2-秋季における夜間温度が果実の発育ならびに着色, 品質に及ぼす影響, 園試報告(A). 10, 29-37(1971)
- 8) 邨田卓夫: 柑橘類果実の生理および貯蔵に関する研究(第2報) 予措乾燥および貯蔵湿度が温州ミカン果実の生理および品質に及ぼす影響, 園学雑, 40(3), 280-286(1971)
- 9) 長崎県農産園芸課: 施設果樹の手引き, 5-44(2004)
- 10) 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, 39(4), 309-317(1970)
- 11) 農林水産省果樹試験場興津支場編: カンキツの調査方法, 4-12(1987)
- 12) 佐金信治, 黒上九三郎, 谷田吉茂, 西森靖徳: ヒートポンプによる成熟期のハウスミカンの夜間冷却処理, 徳島果試研報, 14, 11~20(1986)
- 13) 高瀬輔久, 金子 衛, 榊原正義, 河内 肇, 石田伸治: ハウスミカンの着色と果実品質に及ぼす夜間冷房の影響, 園学雑, 59 別 2, 38-39(1990)

Summary

We have examined the effect of dehumidification and air-conditioning by heat pump to fruit quality and electricity cost in heated plastic house of satsuma mandarin during summer. Set at 90% and 18°C for humidity and air temperature, respectively, heat pump run when rainfall in June (for one month before harvest) for dehumidification and air-conditioning.

1) Fruit puffing was reduced due to decline of humidity to 85-90% by dehumidification and air-conditioning. In addition, dehumidification and air-conditioning improved coloring of fruit because heat pump lowered night air temperature, resulting in maintain of night air temperature 20-22°C, which was optimum temperature for coloring of fruit.

2) Though dehumidification and air-conditioning cost about 25,000 yen per 10a as electricity fee monthly, increase of sales turnover due to reduction of puffing and improvement of coloring estimated about 84,000yen and about 33,000yen, respectively. These result revealed that dehumidification and air-conditioning by heat pump was profitable for heated plastic house culture of satsuma mandarin.