

1 テーマ名

沿岸地域における水田転換レモン園展開の可能性探索

2 目的

- (1) 沿岸地域水田（跡地）における冬期の気温条件を把握し、過去の低温（ -3°C 以下）発生回数や連続時間等から地域別のレモン植栽の可否を把握する。
- (2) 沿岸部水田転換レモン植栽園において、防寒対策を講じることで冬期の一時的な低温を低減し、栽培が可能となるか検証する。リスク低減効果と経済性を判断し、栽培において導入可能な技術か評価する。

3 調査研究の内容

(1) レモン栽培可能地域の選定

無電源で気象観測の可能な機器（簡易施設向け ICT 環境計測システム作成マニュアル（2020 年 3 月 農研機構）を参照）を候補地に設置し、気温データを記録する。農地環境推定システムにより観測地周辺の気象データを分析する。

○現地気温測定

- ・期間（データ解析分）：令和 2 年 11 月 27 日～令和 3 年 2 月 3 日
- ・測定間隔：1 分間隔
- ・測定高さ：地面から 1.1～1.5m
- ・測定地点：沿岸部水田（跡地）・13 地点，島しょ部・9 地点，合計 22 地点

(2) 水田転換レモン栽培実証（東広島市安芸津町木谷）

1) 実証日及び試験区の概要

- ・防霜ファン稼働条件：気温 1°C 以下（地上 1.5m）かつ上空（地上 6m）との気温差 2°C 以上
- ・防霜ヒーター稼働条件：気温 0°C 以下（地上 1.5m）

験日	回数	試験区の概要	ほ場の様子
12/16～17 12/17～18 12/20～21 12/30～31 12/31～1/1 1/2～3	6 回	<u>防霜ファン+防霜ヒーター</u> ※上記の条件下で、15 分間隔運転 ※ヒーターのダクトは通路へ配置 ※サニーセブン（防寒資材）による被覆なし ※調査樹は 2 樹	

			令和2年12月16日撮影
1/7～8 1/8～9 1/9～10 1/10～11 1/19～20 1/20～21	6回	<u>防霜ファン+防霜ヒーター+サニーセブン</u> ※上記の条件下で、15分間隔運転 ※ヒーターのダクトは通路へ配置 ※これより調査樹は3樹	
			令和3年1月15日撮影
1/28～29 1/29～30 2/8～9 2/17～18 2/18～19	5回	<u>防霜ファン+防霜ヒーター+サニーセブン</u> ※上記の条件下で、連続運転 ※ヒーターのダクトは通路及びサニーセブン被覆内へ配置（温度計もサニーセブン内へ移設） ※燃料ホース径を2/3にし、燃料を制限	
2/23～24 3/4～5	2回	<u>防霜ファン+防霜ヒーター+サニーセブン</u> ※上記の条件からヒーター稼働条件を1℃以下へ設定変更し、連続運転	令和3年2月5日撮影

2) 実証内容

ア 防霜ファン等による昇温効果およびレモンへの影響

熱電対温度計（被覆熱電対T型素線，TG-T-G-0.65mm）を2～3樹の各2葉の葉裏及び樹体付近（地上1.5m）に設置して1分間隔で測定（株式会社ティアンドデイ製データロガー，MCR-4）し，防霜ファン（フルタ電機（株）製：DFC-1025）および防霜ヒーター（フルタ電機（株）製：FD-150）による昇温効果を確認した。

なお，実証当初は昇温効果を確認する目的で，防霜ファンおよび防霜ヒーターは，15分間隔にON-OFF稼働させた。1月28日からの試験では，防霜ヒーターによる昇温効果の継続性と燃費向上を目的に，ダクトをサニーセブン内にも設置し，燃料ホースの径をこれまでの2/3に小さくし，連続稼働させた。

その際，サニーセブン内にダクトを設置したことによるレモンへの影響を確認するため，2月24日の午前中（試験実施直後）に葉を採取（試験区および対象区で各5葉）し，生体重，乾燥重，葉色を調査した。

また，逆転層の有無を確認するため，防霜ファン近く（地上6m）とその直下（地上1.5m）にも熱電対温度計を設置して1分間隔で測定した。

レモンに影響を及ぼすとされる -3°C 以下が連続で出現（1月7日～11日）した約10日後（1月20日）と約2か月後（3月17日）に被害状況

を確認した。

イ ランニングコスト等の試算

防霜ファン及び防霜ヒーターの稼働時間及び使用燃料を記録し、ランニングコストを試算した。なお、無電源ほ場であったため、電源として発電機（25KVA）を使用した。

4 成果

(1) レモン栽培可能地域の選定

レモン栽培可能地域の選定は、農研機構西日本農研センターが開発した農地環境推定システムにより、領域モデル WRF で作成の 1991 年～2020 年 1～3 月、12 月までの気温データ並びに 2020 年 12 月～2021 年 1 月の現地気温測定（22 地点）により行った。寒害危険度は、4 区分し（表 1）、さらにこれらを適地判断区分として「栽培適地」、「準適地」、「不適地」とする指標を作成した。

また、この指標について人為的に昇温可能な場合を想定し、+1℃及び+2℃での適地評価を行った。これを①昇温なし、②昇温 1℃、③昇温 2℃として図示化（マッピング）した（データ略）。

この結果、①昇温なしでは、島しょ部及び地点 14 を除き、不適地と想定された。②昇温 1℃の場合は、①に加えて地点 11 及び地点 13 が適地と想定された。同様に③昇温 2℃は、地点 2, 3, 6, 7 が不適地、地点 10 が準適地と想定された。

・レモン寒害危険度区分

表 1 レモン寒害警報基準（農研機構西日本農研センター）

危険度	気温状況	樹体の状況
レベル1	-2℃以下の低温が4時間以下	
レベル2	-2℃の発生が5時間以上	樹上の果実に凍害の危機
レベル3	-3℃以下の低温が2時間以上	樹の一部枯死
レベル4	-6℃以下の低温が発生	樹の全体枯死

・適地判断区分

適地判断は、表 1 を基に次の 3 区分とした。

「適地」：樹が枯死にいたる寒害が発生しなかった地点

「準適地」：レベル 3 の発生が 10 日未満の地点

「不適地」：レベル 3 に 10 日以上遭遇またはレベル 4 に 1 度でも遭遇した地点

(2) 水田転換レモン栽培実証

1) 防霜ファンの低温被害回避の可能性

2020 年 12 月 17 日午後 12 時から 2021 年 2 月 21 日午後 12 時までにおいて、

最低気温が1℃以上の日は32日出現し、そのうち上空との温度差が1℃以上で6時間以上継続する日が14日あった（表2）。同様に最低気温-1.5～0.9℃の日は20日出現し、そのうち上空との温度差が1℃以上で6時間以上継続する日が14日あった。

また、12月17～18日および1月20～21日においては、15分間隔で0.5～1℃程度、葉温が上昇している（データ略）ことから、防霜ファン・ヒーターによる昇温効果があったと考えられる。

一方で、レモンに被害が現れると想定される日（最低気温が-3℃以下）では、上空との温度差が出現することが少なかった（表2）。したがって、防霜ファンによるレモンの低温被害回避の効果は期待できないと考えられる。

2) 防霜ヒーターの低温被害回避の可能性

ヒーター等稼働させず、冷え込んだ日（1月17～18日：最低気温-3.3℃、2月3～4日：最低気温-1.8℃）（図1）では、平均葉温は気温（1.5m地点）より1.5～2℃程度低かったのに対し、ヒーター稼働日（図2）では、概ね同程度の温度であったことから（図2上）、ヒーターによる昇温効果として1.5～2℃程度あると推測される。

なお、樹別に葉温の推移をみると、ヒーターからの距離が遠いほど（ヒーターからの距離は樹1<2<3）昇温幅は少ない結果となった（図2下）。

3) 寒害対策方法の違いが園地内気温に及ぼす影響

表1及びレモンにおける果実及び樹体に影響が現れ始める-2℃以下の低温発生の有無及び継続時間を地上から6m（防霜ファンの高さ）、1.5m（防霜ファン直下及び樹体付近）の高さ別に調査した。

この結果、-2℃以下は1月7～10日、17日19日、29日、2月3～4日、9日、17～18日にみられた。さらに、樹体の一部が枯死する危険度レベル3以上の条件は、1月7～9日、17日、19日、2月3日にみられた（表3）。

4) 防霜ヒーターのランニングコスト試算

発電機稼働記録より（表4）、ヒーターの燃費は、当初（通路のみダクトを配置し、温度計は野外に設置（12/16～1/21））で最大200/h、改良後（ダクト及び温度計をサニーセブン被覆内へ設置（1/28～3/5））で最大11.40/hだった。改良後であっても燃料費を110円/ℓとして、一晚（12時間）稼働させた場合、費用は15,048円と高額となり、今後波及していくには、燃費向上させる必要がある。

5) 低温がレモンに与えた影響

-3℃以下が連続して出現した1月7日～11日では、①発電機及びヒーターの燃料切れ（特に1/10）、②15分間隔で稼働していたこともあり、サニーセブンに接触していた秋枝を中心に一部枯死した（図4）。

また、ヒーター加温が樹体に影響があるかどうかをみるために、乾物率を求めたところ対照区とほぼ同一であったためこの影響はないものとする（表5）。

5 普及指導活動における活用方法

今回の結果のうちレモン適地評価結果から、沿岸部地域の水田地帯におけるレモン栽培は、2℃以上の昇温条件が確保できない場合は、枯死などの危険性が伴うことが明らかとなった。

一方で、2℃以上昇温できれば栽培可能であるが、今回の結果から費用対効果は得られにくいため、このことが確保できる昇温対策を検討する必要がある。

6 留意事項

防霜ヒーターにより2℃程度は昇温できるが、ランニングコストや設備投資費（今回使用の防霜ヒーターは概ね100万円）を考慮すると、費用対効果が得られない。

また、1月7～11日の実測値から県島しょ部の適地とされる地域及び県沿岸部間を比較すると3～5℃低いことから、更なる対策の検討が必要である。

そこで、次年度も継続して実証を行う場合は、以下のことを検討する。

- ①ヒーターを小型化して、設備投資費を抑え、ダクトはサニーセブン被覆内だけに配置して効率よく暖房
- ②ダクトをサニーセブン被覆内に設置することによる過乾燥等レモンへの影響確認
- ③サニーセブンと樹体が接触しない、安価で簡易な囲い方法
- ④立木散布剤の霜ガードの効果検討

(具体的データ)

表 2 逆転層の発生状況

全体期間(65日間)	最低気温ごとの 出現日数(日) (1.5m地点)		上空との温度差が 出現した日数(日)と その継続時間		
				1℃以上	2℃以上
令和2年12月17日～ 令和3年2月20日	1℃以上	32	1時間未満	10	24
			1時間以上3時間未満	6	5
			3時間以上6時間未満	2	1
			6時間以上	14	1
	-1.5～0.9℃	20	1時間未満	3	7
			1時間以上3時間未満	0	8
			3時間以上6時間未満	3	6
			6時間以上	14	0
	-3～-1.6℃	7	1時間未満	1	6
			1時間以上3時間未満	3	1
			3時間以上6時間未満	2	0
			6時間以上	1	0
	-3. 1℃以下	6	1時間未満	2	5
			1時間以上3時間未満	1	0
			3時間以上6時間未満	2	1
			6時間以上	1	0

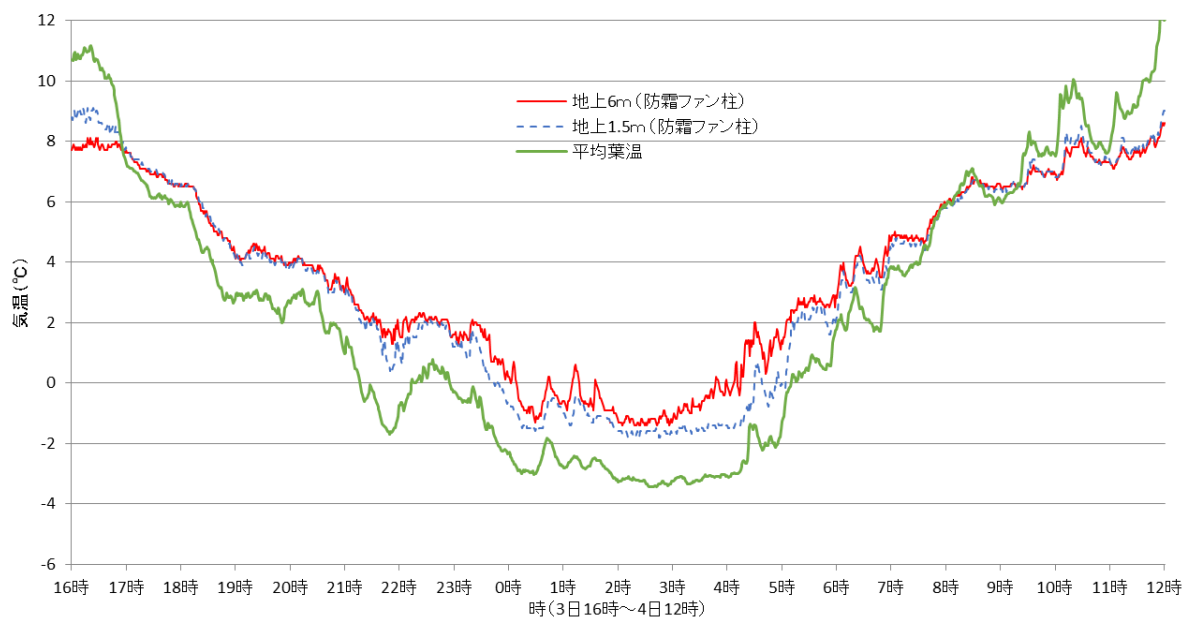
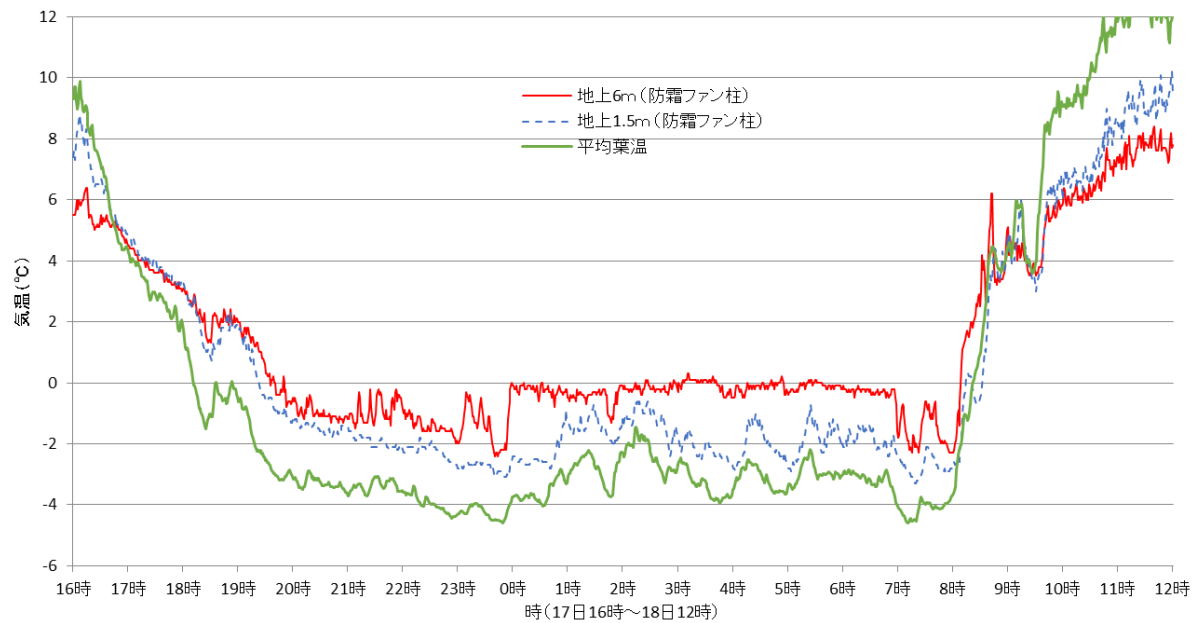


図1 防霜ファン・ヒーターを稼働しなかった場合の
上空6mと1.5mの気温及びレモン葉温の推移
(図上：令和3年1月17~18日，図下：令和3年2月3~4日)

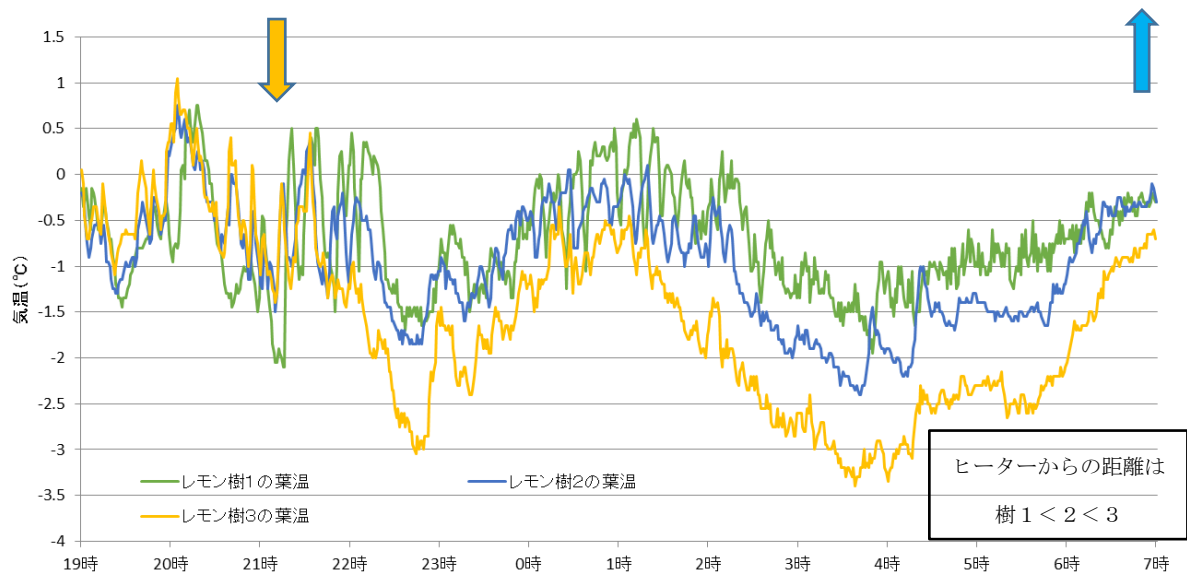
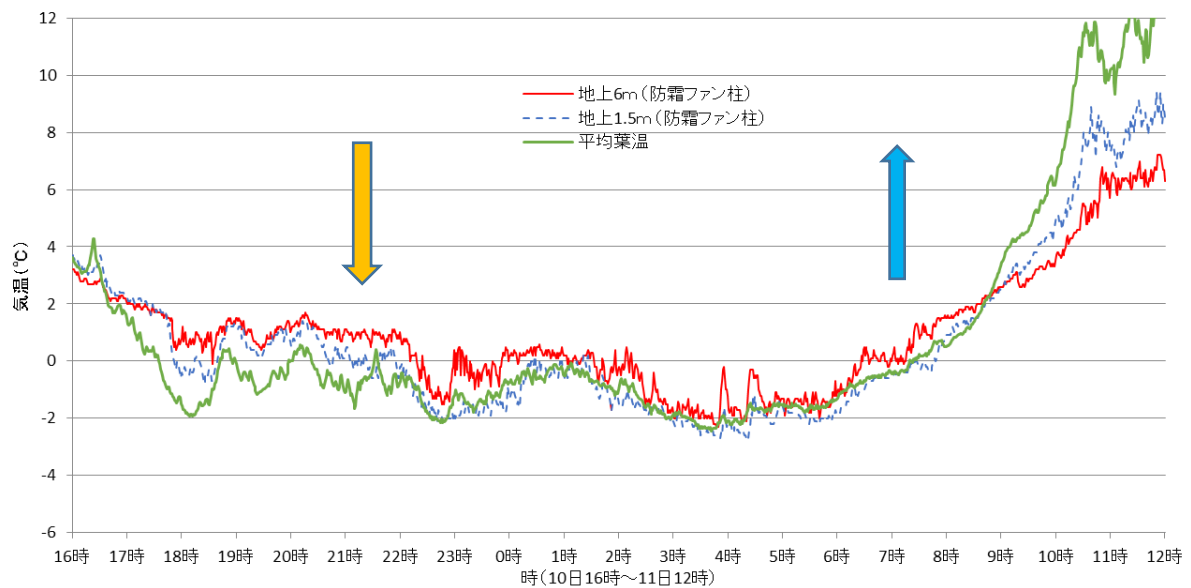


図2 防霜ファン・ヒーターを稼働した場合の上空6mと1.5mの気温
及びレモン葉温の推移(令和3年1月10~11日)

(図上: 16時~12時, 図下: 防霜ヒーター等稼働時間中の各レモン葉温の推移)

↓: 発電機電源ON

↑: 発電機電源OFF

(地上1.5m地点の気温が1°C以下かつ上空が2°C以上高い時;防霜ファン稼働)

(地上1.5m地点の気温が0°C以下の時:防霜ヒーター稼働)

表3 沿岸部水田転換レモン園における寒害対策方法の違いが園地内気温に及ぼす影響（安芸津町）

月日	位置	被覆資材	防霜ファン	ヒーター		最低気温 ℃	継続時間 ^z			
				園内	局所		-2℃以下	-3℃以下	-4℃以下	-5℃以下
				(0:なし、1:あり)						
1月7日	地上6m	1	1	1	0	-3.9	15	2+2		
	地上1.5m	1	1	1	0	-3.9	15	3		
	樹体1.5m	1	1	1	0	-4.5	15	3+4		
1月8日	地上6m	1	1	1	0	-4.7	13	8		
	地上1.5m	1	1	1	0	-5.5	13	8	3	
	樹体1.5m	1	1	1	0	-6.3	14	9	1+3	
1月9日	地上6m	1	1	1	0	-4	10			
	地上1.5m	1	1	1	0	-5.1	10	9	2	
	樹体1.5m	1	1	1	0	-6	12	9	1+3	
1月10日	地上6m	1	1	1	0	-2.3				
	地上1.5m	1	1	1	0	-2.7	2			
	樹体1.5m	1	1	1	0	-3.2	4			
1月17日	地上6m	0	0	0	0	-2.4				
	地上1.5m	0	0	0	0	-3.3	3+2+1			
	樹体1.5m	0	0	0	0	-5	7+5	5+1	2+1	
1月19日	地上6m	1	1	1	0	-2.8	1+1			
	地上1.5m	1	1	1	0	-3.6	6			
	樹体1.5m	1	1	1	0	-3.9	8	6		
1月29日	地上6m	1	1	0	1	-2.1				
	地上1.5m	1	1	0	1	-2.9	3			
	樹体1.5m	1	1	0	1	-3.4	3			
2月3日	地上6m	0	0	0	0	-1.4				
	地上1.5m	0	0	0	0	-1.8				
	樹体1.5m	0	0	0	0	-3.4	7	2		
2月4日	地上6m	0	0	0	0	-0.5				
	地上1.5m	0	0	0	0	-1.6				
	樹体1.5m	0	0	0	0	-3.1	7			
2月9日	地上6m	0	0	0	0	-0.9				
	地上1.5m	0	0	0	0	-1.1				
	樹体1.5m	0	0	0	0	-2.2	5			
2月17日	地上6m	1	1	0	1	-2.9	3			
	地上1.5m	1	1	0	1	-3.1	2			
	樹体1.5m	1	1	0	1	-3.4	2			
2月18日	地上6m	1	1	0	1	-1.2				
	地上1.5m	1	1	0	1	-1.5				
	樹体1.5m	1	1	0	1	-2.8				

z -2℃以下の連続経過時間数を求めた後（以下、継続時間）、-3℃以下の温度帯は、それぞれの温度帯に属する内数としての継続時間とした。

該当温度帯が連続及び不断が交互となる場合は、+○時間とした。なお、空欄は、該当なしとした。

 危険度: レベル2（樹上の果実に凍害の危険性）

 : レベル3（樹体の一部が枯死）

表 4 発電機及びヒーターの推定燃費

発電機稼働記録								発電機燃費 (ℓ/h)	ヒーター燃費 (ℓ/h)
稼働開始 月/日	発電機ON 時刻	発電機OFF 時刻	稼働時間 (h)	使用燃料					
12/16	20:20	7:20	11.0	発電機:	25	ヒーター:	40	4.5	7.3
12/17	19:20	7:00	11.7	発電機:	25	ヒーター:	40	4.3	6.9
12/20	18:40	7:30	12.8	発電機:	25	ヒーター:	40	3.9	6.2
12/30	19:30	7:30	12.0	発電機:	25	ヒーター:	60	4.2	10.0
12/31	20:00	8:00	12.0	発電機:	20	ヒーター:	80	3.3	13.3
1/2	20:00	7:00	11.0	発電機:	20	ヒーター:	80	3.6	14.5
1/7	19:30	7:30	12.0	発電機:	20	ヒーター:	120	3.3	20.0
1/8	21:00	9:00	12.0	発電機:	20	ヒーター:	120	3.3	20.0
1/9	21:00			発電機:	10	ヒーター:	80		
1/10	21:00	9:00	12.0	発電機:	20	ヒーター:	120	3.3	20.0
1/19	21:00	9:00	12.0	発電機:	20	ヒーター:	120	3.3	20.0
1/20	19:00	7:00	12.0	発電機:	20	ヒーター:	120	3.3	20.0
1/28	19:00	7:30	12.5	発電機:	20	ヒーター:	40	3.2	3.2
1/29	19:00	7:20	12.3	発電機:	20	ヒーター:	120	3.2	9.7
2/8	21:00	7:30	10.5	発電機:	20	ヒーター:	120	3.8	11.4
2/17	21:00	7:30	10.5	発電機:	20	ヒーター:	120	3.8	11.4
2/18	21:00	7:30	10.5	発電機:	20	ヒーター:	120	3.8	11.4
2/23	19:00	7:00	12.0	発電機:	25	ヒーター:	120	4.2	10.0
3/3	19:00	7:00	12.0	発電機:	25	ヒーター:	120	4.2	10.0
合計燃料使用量				軽油	400	灯油	1780		

※発電機稼働記録は、ほ場主が記録。使用燃料は、燃料ゲージを見ながらほ場主が想定。
※日付の色塗日は、発電機停止時、すでにヒーター燃料切れ(停止時間不明)。
※1/9は発電機の燃料切れにより停止。
※12/16から1/20は15分間隔で運転したため、発電機稼働時間÷2＝ヒーター稼働時間とした。

月日	レモン樹 1	レモン樹 2	レモン樹 3
12/16			
1/20			
3/17			

図 4 寒波襲来（令和 3 年 1 月 7～11 日）前後におけるレモンの様子

表 5 ヒーター加温が生体及び乾物重，葉色に及ぼす影響

	生体重(a) ^z (g)	乾物重(b) ^y (g)	b/a × 100 (%)	葉色 (GM値)
対照区	5.3	2.3	43.1	55.0
ヒーター加温区	6.5	2.8	42.9	58.2

z 採取日:2021年2月24日, ヒーター加温:2月23～24日
調査:5葉/樹×4樹, 葉色:2か所/枚(乾燥処理前)の平均値

y 調査日:2021年3月1日
乾燥処理:2月24日～3月1日, 60℃