

1 テーマ名

ハウスレモンで露地端境期の収穫量 6 t /10a を目指す多収技術の検討（令和 4～5 年度）

2 目的

広島県では、「レモン 1 万 t 産地計画」により、供給拡大を目指している。需要者ニーズとしては、露地レモンの端境期の供給増が求められている。産地では、6～9 月は、期間前半を貯蔵で、その後はハウス栽培で供給が行われている。

ハウス栽培における課題は、7～8 月に出荷のピークとするための収穫の前進化と収量増である。R2 年度からは、経営力向上支援事業でハウスの環境制御機器を導入し、技術の検討を行っている。昨年までの取組で、収穫の前進化と 5 t /10a 以上が見込めるようになった。一方で、目標収量には至っておらず、気生藻の付着による光環境の悪化がみられ、養水分管理も技術が確立されていないなどの課題が残されている。また、近年の化石燃料の高騰も加わり、暖房など環境制御に係るコストの低減が産地から求められている。

本調査研究では、光反射シートと養液土耕栽培の効果を把握する。また、温度管理、二酸化炭素施与について、コストも加味して、設定を調整する。更に、ハウス環境制御の残された課題を整理する。

3 調査研究の内容

1) 光反射シートと養液土耕栽培の影響調査

- ・果実肥大、着果量
- ・日射量、土壤水分

2) ハウス内環境のモニタリング

- ・ハウス内環境を数値化し、栽培暦との比較を行い、適切な温度管理、炭酸ガス施用方法を検討する。

3) 栽培管理体系の改善

- ・モニタリング結果及び生育（開花・結実状況）、収穫状況による栽培暦の改善検討

4 成果

1) ハウスレモンの光環境に関する課題

(1) 光環境の実測（参考データ）

ハウス内の日射強度／同時刻の近接露地の日射強度の値は、A 産地および B 産地は、平均が 50% 程度で、果樹研究部の 60% に比べて低い傾向が見られる（図 1）。

このことから、県内のレモン産地は、ハウス内の光強度が不足していることが考えられる。

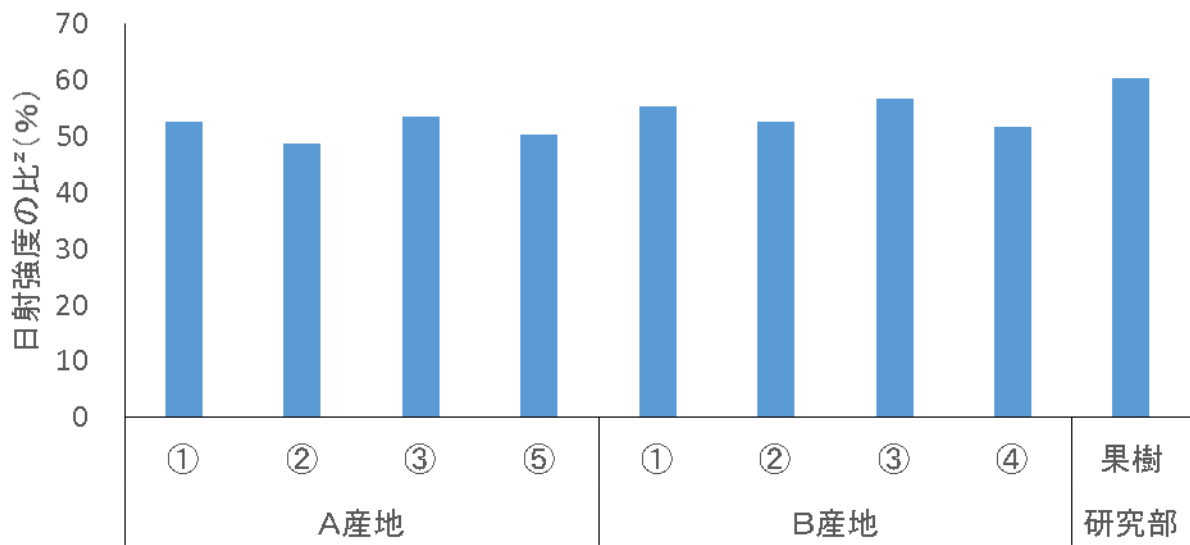


図1 レモンのハウス加温栽培におけるハウス内外の日射強度の比
^z 2021年2月に日射強度(W/m²、ML-02、英弘精機)を計測し、ハウス内日射強度/同時刻の近接露地の日射強度で算出、ハウスフィルムはいずれもPOフィルムで外張、内張の2重。

(2) 気生藻の同定

ア. 調査経緯および同定の進め方

- ① 県内のハウスレモンは、光の透過量が不足している実態が確認された。その原因の一つとして、フィルムや葉に付着している付着生物が考えられた(図2、3)。
- ② 果樹研究部の調査では、付着生物により、フィルムの光透過率が32%、個葉の光合成速度が6%減少するとされた。そのことから、付着生物により、光条件の相当のロスが生じていると考えられた。
- ③ 県環境保健協会に種類の特定について、意見を求めたところ、「気生藻」の一種であるとされた(図4)。
- ④ 更なる種の特定には正式な調査依頼が必要であったため、手続きを行い、気生藻類の権威者である半田信司氏が所属する県環境保健協会に、同定を依頼した。



図2 現地で多発する付着生物によるフィルムの汚れの状況
 左：外観、右：布でこすり落とした状態



図3 樹体上の付着生物の状況
 左：葉への付着、中：布でふき取った後の状況、右：幹や枝への付着状況

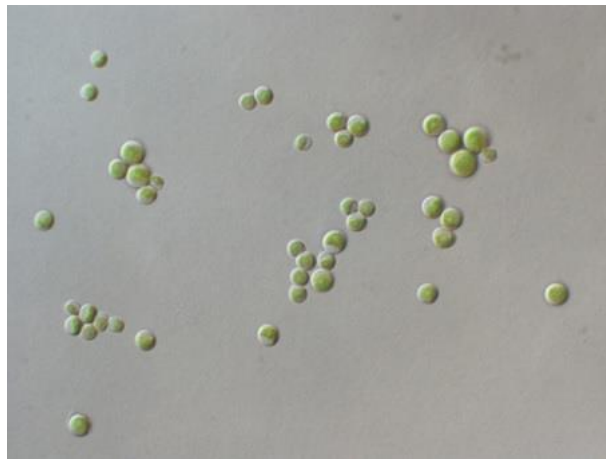


図4 付着生物（気生藻類）の実体顕微鏡写真 広島県環境保健協会半田信司氏 原図

イ. 同定結果

県環境保健協会 半田信司氏による同定の結果、当該気生藻は、レボウクシア藻綱の *Jaagichlorella hainangensis* (ヤアギクロレラ ハイナンゲンシス、SAG2360株) 等と99.6%の相同性を持ち、ほぼ上記の種と特定された(図6)。

分析・試験結果報告書

B 2 1 8 0 8 9 5 0 1 号
2 0 2 2 年 2 月 1 0 日

広島県西部農業技術指導所長 様

一般財団法人 広島県環境保健協会
〒730-8631 広島市中区広瀬北町9番1号
TEL.082)293-1511(代)

理事長 佐藤 氏

調査結果を、次のとおり報告します。

1 業務の名称	DNA解析	
2 調査項目及び検体数	DNA解析	1検体
3 調査結果	次のとおり	

DNA解析結果

18S rRNA 遺伝子の塩基配列を解析した結果、トレボウクシア藻綱の *Jaagichlorella hainangensis* (SAG 2360株) 等と、99.6%の相同性を示した。

解析内容

・方法
レモン葉上に発生した付着藻類のコロニーから分離された菌株 (H4183-d 株) について、18S rRNA 遺伝子の塩基配列を、ユニバーサルプライマー (E21F, E1778R) により解析した。得られた配列から、ブラスト検索により相同性の高い配列を探索し、近縁種を特定した。

・結果
それぞれのプライマーによって得られた配列から、インサージョン等を除いた部分配列 (本藻が含まれる *Watanabeales* ワタナベア目が共通して持つ) は、下記のとおりである。プライマーE21Fにより得られた前半の部分配列

```
AAGAAATTATGCTAATACGTGGGTAATCCCGACTCTCGGAAGGCGATTTATTAG
ATAAAGACCCGACCGGGTTGCCGATCCGGGTGAATCATGATAAATCCAGAAATCGT
ACGGCTCGAGCCGACGATGTTTCATCAAAATCTCCCTCACTTCGATGGTAGG
ATAGAGCCCTACCATGTTTGGACGGGTGACGGAGGATAGGGTTTCATTCGAGAGG
GAGCCTGAGAAACGGCTACCAATCAAGGAGGACGACGGCGGCAATACCAACT
CCGACACGGGAGGATGACAGAAATACAATACCGGGCTTATCAAGTCTGGTAA
TTGGAATGAGCACAATTAATCTCTCAACGAGGATCAATTTGAGGGCAAGTCTGGTG
```

プライマーE1778Rにより得られた後半の部分配列

```
GCATGGCCGCTCTTAGTGGTGGGTTGCCTGTGTCAGGTTGATTCGGTAACGAAAGAGA
CCTCAGCCGTGTAATAGTCGGATCAGCTCTGCTGTCAGCGTGCTTAAAGAGGA
CTATCGGCGTAGCCGATGAAAGTGGAGCAATAACAGGCTCTGTGATGCCCTTAGAT
GTTCTGGGCGCAGCGCGCTCACTGATGCAATCAAGGCCAGCCGCTTGGTCGAGA
GATCCGGTAATCTTGAACGATCGTGTGGGGCTAGACTCTGCAATATTATGCTCT
TCAACGAGGAATGCTTAGTAAGCGCAAGTCACTGCTGCTGATTAAGCTCCCTGCC
TTTGTACACCGCCCGTGGCTCAACGATGGATGCTGCTGGTGAAGCGTTCCGACTG
GCTGCATGGGTTTCGGCGTGTAGTACCGGGAGGTTCTTAAACCTCCCAATCTA
GAGGAAGGAGAAGT
```

この配列を用い、NCBIのブラスト検索を行った結果、データベース中の相同性の高い配列として下記の配列が確認された。

Heveochlorella hainangensis strain SAG 2360 (KC470085): 99.59%
Jaagichlorella sp. FACHB-2416 (MT006205): 99.59%
Jaagichlorella sp. FACHB-2415 (MT006204): 99.59%
Jaagichlorella hainangensis strain SAG 2360 (MH780943): 99.39%
Heveochlorella hainangensis strain FGG01 (EF595524): 99.39%

(注: *Heveochlorella hainangensis* は、*Jaagichlorella hainangensis* の同種異名である)

・考察
レモン葉上から分離されたH4183-d株について、18S rRNAの塩基配列を解析した結果、*Jaagichlorella hainangensis* とほぼ同様の配列であり、本種と同一か、あるいは極めて近縁性の高い藻類と考えられた。本種は、トレボウクシア藻綱、ワタナベア目の気生藻類で、かつては近縁の多様な種とともに、“*Chlorella luteoviridis*”の種名で扱われてきた気生藻類の代表的な分類群に含まれる。ワタナベア目に属する気生藻類は、樹皮や岩上、ガードレールなどの金属を始め、葉上からも報告されている。なお、ブラスト検索で相同性の高かったSAG 2360株は *J. hainangensis* のタイプ株で、中国海南省のゴムの木の樹皮に付着している気生藻類として分離されたものである。

今回の解析では、配列の中間部が読み切れていないため、18S rRNA 遺伝子の全配列を用いた比較はできなかったが、利用できた配列長(1,000 bp)から得られた結果は、十分に高い信頼性を持つと考えられる。

図5 気生藻の分析・試験結果報告書 広島県環境保健協会

ウ. 軽減対策の考え方

特定のルートで侵入する種でない

- ① 空気中などどこにでも存在するため、侵入ルートの遮断は困難
- ② 増殖条件がそろえば増殖
- ③ ガードレールでも、川、池や水たまりが近いと発生
- ④ 水たまりをなくす、湿度を下げるなどは抑制策
- ⑤ 結露すると増加
- ⑥ 抑制剤になりうる剤として。塩素系、次亜塩素酸ナトリウム、銅剤、防藻剤
- ⑦ 鍾乳洞など対策を講じる事例あり

エ. 当面の対策

- ① ハウスフィルムの洗浄による光透過率の復元
- ② 光反射シート、養液土耕栽培の効果確認

(3) 光反射シートと養液土耕栽培の影響調査

ア. 現地実証の実施状況

養液土耕システム（図6）と光反射シート（図7）を設置し、B産地の実証は2022年1月19日から、A産地の実証は1月22日から稼働した。

養液の組成は、OKF-9：10kg、尿素：8kgを300Lの水に溶き、窒素成分で86ppmとし、点滴かん水同時施肥で毎日、年間窒素成分量32kg/10aの換算で施与した。



B産地



B産地



図6 養液土耕の設置状況
A産地



図7 光反射シートの設置状況
A産地

イ. 実証結果の概要

- ① 土壌水分は、pF 値（土壌水分吸引圧）は、実証区が-5~-7kPa で、対照区の-7~-19kPa に比べて変化が少なく、高い値であった（図 8）。
- ② 日射強度は、実証区が対照区に比べて、日中に高い傾向が見られた（図 9）。
- ③ 10a 当り収量は、平均値で実証区 4.3t/10a が対照区 4.0t/10a に比べ、7%高かったが、前年の収量より低かった（図 10）。
- ④ 果実品質は、8月10日の調査で、最大果皮厚は、実証区 5.5mm が対照区 6.8mm に比べて薄く、果汁割合は、実証区 37% が対照区 31% に比べて高かった（表 1）。

ウ. 実証の考察

- ① 土壌水分は、養液土耕栽培により、湿潤で、変化が少なく管理することができる。
- ② 日射強度は、光反射シートを用いることで、比較的日射強度の高い日中に高める効果が認められる。一方で、日射強度自体が低い朝方や夕方、曇天時は効果が低いと考えられる。
- ③ 増収効果は、光反射シート+養液土耕栽培により見込めるが、その効果が十分ではない。
- ④ 果実品質は、光反射シート+養液土耕栽培により、果汁割合を早期に増加させることができ、品質向上が見込まれる。
- ⑤ 光反射シート+養液土耕栽培は、損益分岐点分析を行うと、実証区の増収効果と大きな差がなく、投資効果は十分とは言えない。

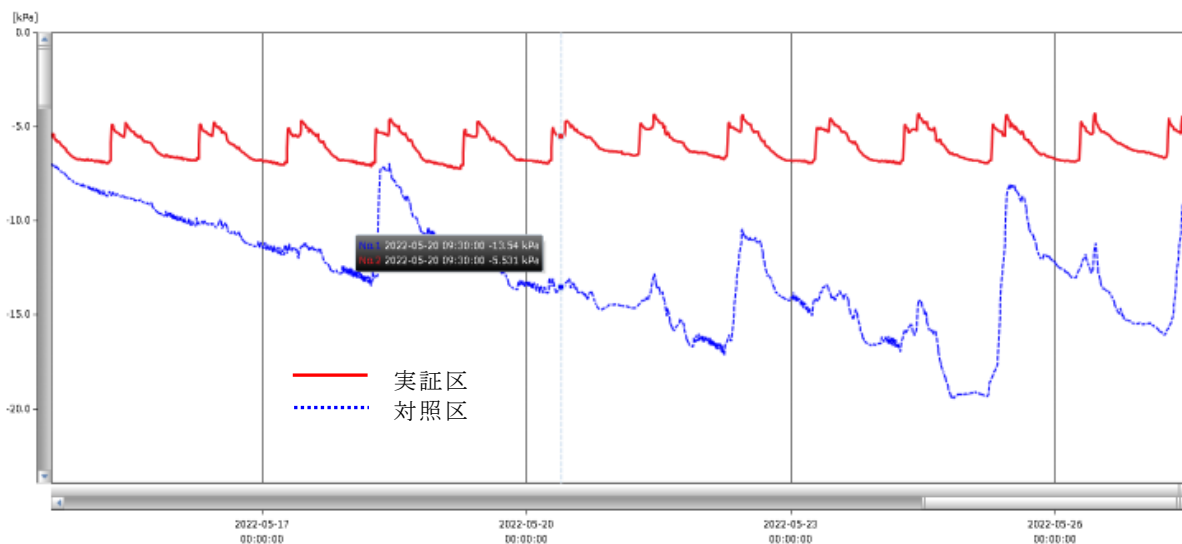


図 8 ハウスレモンの光反射シート+養液土耕栽培の pF 値（土壌水分吸引圧）の推移

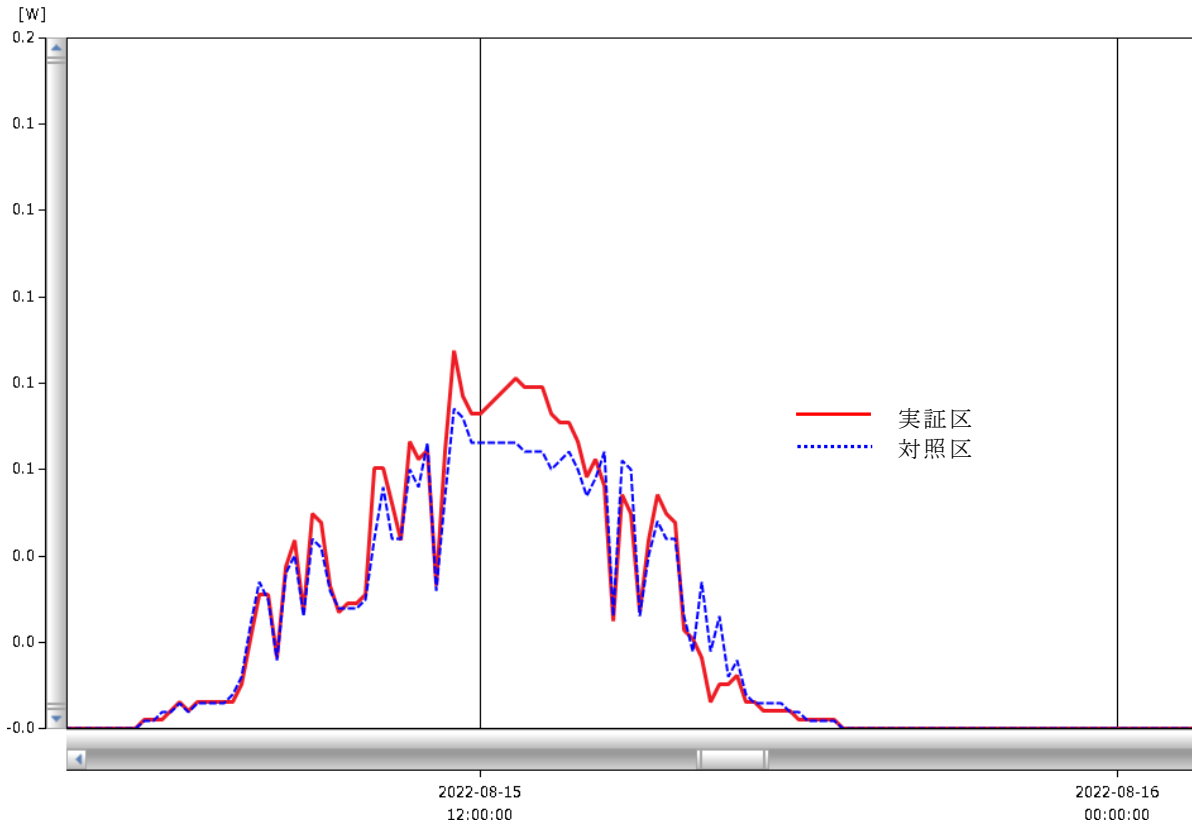


図9 ハウスレモンの光反射シート+養液土耕栽培の光強度の推移

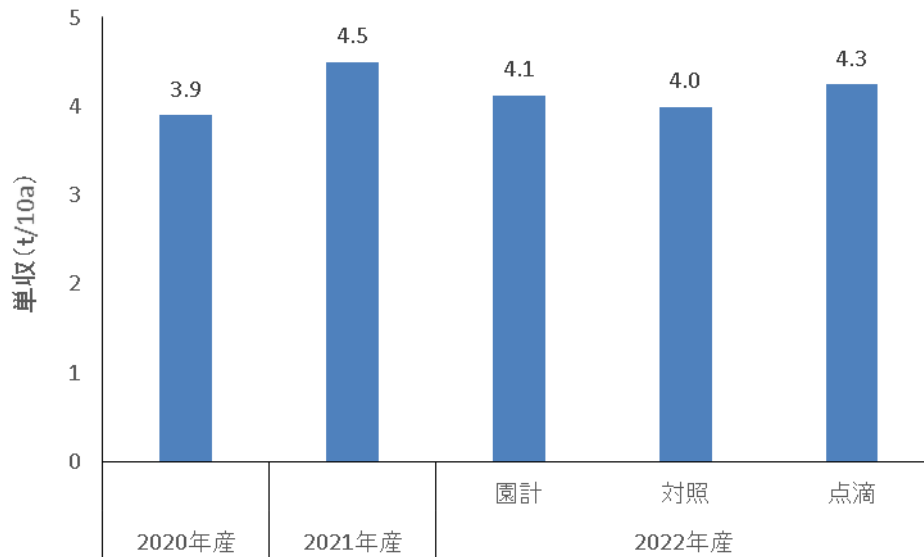


図10 ハウスレモンの光反射シート+養液土耕栽培の収量の影響
※ 実証実施は2022年産のみ

表1 ハウスレモンの光反射シート+養液土耕栽培の果実品質

区	横径 (mm)	縦径 (mm)	果実重 (g)	果皮厚		2ヶ所平均		糖度 (° Brix)	酸度 (%)	果汁重 (g)	果汁割合 (%)
				最大 (mm)	最小 (mm)	果皮厚 (mm)					
対照	59	81	128	6.8	6.1	6.4		7.1	6.04	39.5	31
養液土耕+マルチ	57	71	106	5.5	4.5	5.0		7.9	6.19	38.8	37
t検定	0.093	0.070	0.063	0.048	0.055	0.051		0.092	0.349	0.795	0.039
有意性	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.		n.s.	n.s.	n.s.	*

注1) 2022/8/10 時点で果実横径55mm以上の果実で解析

注2) 有意性判定, n.s.:有意差なし, *:5%水準で有意差あり

2) ハウス内モニタリングデータおよび果樹研究部研究結果に基づいた加温体系の改善 ア. 現地の実証状況

- ① 令和3年度調査研究において、従来のハウスレモン栽培（満開まで最低気温10℃、満開後15℃）で栽培していた温度体系（従来加温）から、全体的に最低気温を上げて設定した温度体系（図11、積極加温）と見直しを行った。その結果単収及び6～8月出荷の果実が増加し、収穫前進化が図れた（A産地9割、B産地5割）が、重油使用量が増加した（A産地1.5倍、B産地1.1倍）ため、生産者から重油使用量の削減が求められた。
- ② 果樹研究部によるレモンの光合成特性やハウス環境（温度等）の違いによるハウスレモンの生育への影響の調査が進み、その結果をもとに加温体系の見直しを実施した。

【栽培暦見直しの内容】

- ・果実の肥大曲線は時期に関係なく概ね一定であることが判明したため、開花期を早めることで収穫時期を早める方向性で見直しを行った。
 - ・研究結果をもとに、従来加温に対して早めにハウスのサイドを閉めて保温等温度体系を変更することとなった。（この温度体系を見直し後加温とする）
- ③ ②の見直し結果の評価として、果実収量や収穫時期の変化、重油使用量の変化についてデータ収集と分析を実施した。



図11 ハウスレモン加温体系（見直し前（積極加温））

※実績報告会資料より引用

イ. 実証結果の概要（図12）

- ① 果実収量は積極加温と見直し後加温で変化はなく、環境制御前の従来加温を行っていた令和2年の収量と比較して増加する結果となった。
- ② 収穫時期は加温体系の見直しにより従来加温に対し7月出荷割合が増加した（20%→

30%)。8月までの出荷割合については積極加温していた令和3年産(98%)より劣る結果となった。

- ③ 重油使用量については加温体系の見直しにより削減された(155240→127460)。

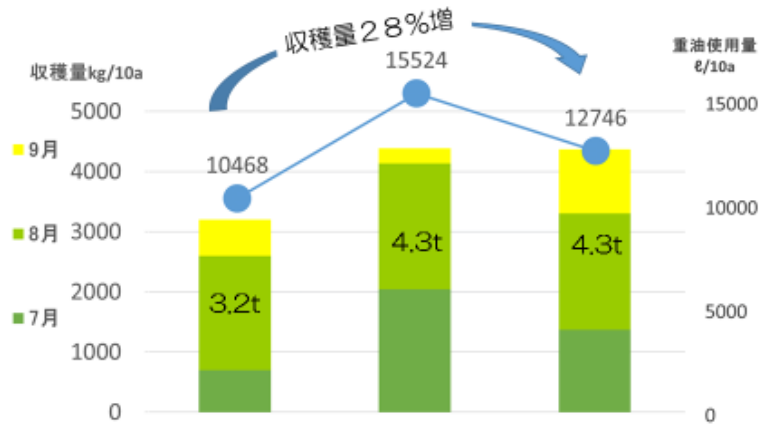


図 12 加温体系の見直しによる累積収穫量の変化と重油使用量の関係
※実績報告会資料より引用

ウ. 実証結果の考察

- ① 加温体系の見直しにより、重油使用量を抑えた上で収穫前進化を可能とする管理ができる。
- ② 今回は生産者の意向により果樹研究部の研究結果と同じ加温体系での実証とはならず、従来の加温体系を少し研究結果に寄せた体系での実証となったため、重油使用量の削減や更なる収穫前進化に向けさらに栽培体系に見直せる可能性がある。

3) 収量 6 t/10a の実現に向けた着果量の見直し

ア. 現地の実証状況

A産地では、ハウスメモンの肥大促進のため摘果を実施している。令和5年度産ハウスメモンにおいて、生産者の感覚で摘果した樹(慣行摘果)と、それより摘果を抑えた樹(軽摘果)3樹ずつの果実肥大量を比較することで、摘果による肥大前進効果を検証した。

イ. 実証結果の概要(表2)

- ① 葉果比は慣行摘果で22、軽摘果で18となった。
- ② 9月に収穫した果実品質を比較したところ、横径および果汁割合に差は認められなかった。

表2 摘果程度の違いによる葉果比の違いと果実品質の関係 ※実績報告会資料より引用
各区3樹ずつ調査、表の数値は3樹平均

処理区	横径 (mm)	果実重 (g)	果汁割合 (%)	葉数 (葉/樹)	果数 (果/樹)	葉果比 (葉/果)	着果量 (kg/樹)
軽摘果	57	116	36	7076	401	18	47
慣行摘果	58	127	35	6052	281	22	36

ウ. 実証結果の考察

- ① 摘果による果実品質の差は葉果比の違いにより確認できなかったため、樹当たりの着果量を増加させ、より増収を狙うことができる可能性がある（6樹平均の葉数6、500枚の樹で葉果比22→18にすると1樹当たり7.2kgの増収、10aあたり75本で0.5t増収）。
- ② 令和5年度産は摘果により果実を落とすすぎってしまった（生産者談）。過去の葉果比調査の結果と比較しても葉果比が大きくなっているため（9→18、データ掲載なし）、令和6年度産果実については、ほ場内の樹数本に対して果実数の計測に基づいて摘果を実施し、摘果量の日合わせを行う。

4) 令和3～5年度の実証結果に基づいたハウスレモン環境制御技術導入効果の検証

ア. これまでの取組及び今回の検証状況について

- ① 環境制御機器（CO2発生機、日射センサー等モニタリング機器、ダクト、自動谷換気、遮光カーテン、細霧冷房）を導入し、導入効果を検証した。
- ② 収量向上のための課題を検討し、実証を行った（光環境の改善、加温体系の見直し、適正着果量の検討）結果、ハウスレモン栽培における増収効果が見込める取り組みは以下の通りである。
 - ・加温体系の見直しによる重油使用量の削減及び収穫時期前進化の実現
 - ・適正着果量の見直しによる単収の向上（見込み）
- ③ 上記の機器の導入及び取組の結果を考慮して従来加温と積極加温、今回の見直し後加温で技術導入効果を検証した。前提条件は以下の通りである。
 - ・単収 従来加温 3t 積極加温及び見直し後加温 4.3t 着果量見直し 4.8t
 - ・減価償却費 従来加温及び積極加温で導入機器は同じ（ハウス+かん水設備+加温機）
ハウス資材は半額補助がある前提で計算
 - ・重油代 実証結果を反映（慣行加温 104680、積極加温 155240、見直し加温 127460）重油単価は慣行加温 95円、その他は 120円で計算
 - ・その他経費 収量の増減について変動するものは収量を考慮して算出

イ. 検証結果（表3）

- ① 収益性について、従来加温に比べ、積極加温、見直し後加温でより収益が上がる結果となった。
- ② 軽摘果による着果量の見直しを行った場合を推定した試算では、さらに増収が見込める（62万円→107万円）

- ③ これらの結果から、加温体系の改善による収穫期前進化と葉果比の見直しによる収穫量の増加でハウスレモン栽培における収益増加が見込める可能性があると考えられる。

表3 加温体系の違いによる経営収支の検証結果

		R2・従来加温	R3・積極加温	R5・見直し後	見直し+ 軽摘果(推定)
売上	単収 (t/10a)	3.2	4.3	4.3	4.8
	単価 (円/kg)	1,071	1,100	1,100	1,100
	売上高 (千円)	3,426	4,730	4,730	5,280
経費	肥料費	104	104	104	104
	農薬費	43	43	43	43
	諸材料費	472	472	472	472
	動力光熱費(重油代)	994	1,863	1,530	1,530
	動力光熱費(ガソリン代)	4	4	4	4
	修繕費	163	163	163	163
	減価償却費	940	940	940	940
	出荷資材費及び運賃	131	176	176	197
	販売手数料	462	639	639	713
	租税公課	1	1	1	1
	雑費	33	44	41	42
	経費計(千円)	3,349	4,449	4,112	4,208
	収支(千円)	77	281	618	1,072

5 普及指導活動における活用方法

- ① 現在ハウスレモン栽培を実施している生産者に対し、より高収入なハウスレモン栽培が実現できるよう今回の実証結果を報告する。
- ② 今回の実証で残った課題(適正着果量の検討、重油使用量の更なる削減の必要性)については引き続き現地実証を行い、栽培暦の改良を重ねる。

6 留意事項

二酸化炭素施用は、これまでの実証で設定を調整しながら実証を行ってきたが、収量や着果数増に対する効果は判然としなかった。