



あたらしい 農業技術

No.668

青色 LED 光を利用した晩生ウン
シュウミカンの長期貯蔵技術

令和 2 年度

—静岡県経済産業部—

要 旨

1 技術、情報の内容及び特徴

- (1) 「青島温州」、「寿太郎温州」果実の長期貯蔵において、青色 LED を貯蔵庫内壁に付設し、冷風を循環させることで、従来の冷風貯蔵と比較して果実腐敗を約 2～5 割低く抑えることができます。
- (2) テープ型青色 LED を付設したカートラック（実用新案登録第 3223547 号）による貯蔵では、従来の冷風貯蔵と比較して果実腐敗を 5 割以下に抑えることができます。
- (3) 青色 LED 光貯蔵による果実品質への影響は少ないと考えられました。
- (4) 上記の青色 LED 光貯蔵に加えて GP 剤を使用することで、果実の浮皮を抑制し、更なる貯蔵性向上が見込まれます。新しい貯蔵技術により浮皮果、腐敗果を増加させることなく、出荷期間を 3 月下旬～4 月上旬まで延長できると考えられます。

2 技術、情報の適用効果

青色 LED 光にはミカンの腐敗原因となる青かび病菌、緑かび病菌等を不活化させる作用があるため、貯蔵中の腐敗果を減少させることができます。

冷風貯蔵庫は、冷却器および循環ファンから吹き出された空気が吸気側の負圧領域に向かって吸引されることで空気の循環路が形成される仕組みとなっているため、チューブ型青色 LED を庫内壁面に配置すれば空気の循環により、菌生育阻害の効果が庫内に行き渡ります。

3 適用範囲

県内全域のカンキツ生産が用いている貯蔵庫に適応できます。

4 普及上の留意点

- (1) GP 剤を活用する場合は、9 月中旬（栽培期間中）にプロヒドロジャスモン加用ジベレリンを果実へ散布（散布濃度①ジベレリン：1～2 ppm、②プロヒドロジャスモン 25 ppm）します。
- (2) 青色 LED は冷風貯蔵庫への設置を基本とし、冷風を循環させている時に照射を行います。庫内温度 6－8℃、相対湿度 85%を目安とします。
- (3) 常温貯蔵庫でも青色 LED は導入可能ですが、場所や時期によって庫内温度が高くなる場合があるため、設置場所ごとに照射時間や照射時期等を検討する必要があります。

目 次

はじめに	1
1 青色 LED 光による青かび病菌の生育阻害	1
2 青かび病接種果実を用いた青色 LED 光による病斑部抑制	1
3 GP 剤と青色 LED 光照射による貯蔵中の果実腐敗軽減	2
4 現地冷風貯蔵庫における実証事例	3
5 まとめ	5
おわりに	5
参考文献	5

はじめに

静岡県では、貯蔵ミカンの主要品種である‘青島温州’や‘寿太郎温州’が栽培されています。しかしながら、近年では地球温暖化の影響によって、生育ステージの前進や果実の浮皮助長などの現象が起これ、ミカンの長期貯蔵が困難な環境になってきています。12～3月までの貯蔵期間中の果実腐敗などによる損失量は、生産量のおよそ10%と推定されています。貯蔵や腐敗軽減の技術に関しては、貯蔵環境やカンキツの生理学的観点から、これまでに様々な研究が行われ、予措処理の改善などにより成果を挙げてきました。また、静岡県ではミカンの長期貯蔵のため、冷風貯蔵庫（庫内に冷たい風を循環させる方法）の導入が現在も進められています。

こうした中、静岡県農林技術研究所果樹研究センターではミカンの更なる貯蔵性向上を目指して、青色LED光を活用した果実腐敗抑制のための技術開発を行ってきました。ここでは、当センターで検証してきた青色LED光照射によるミカン果実の青かび病軽減効果や、青色LEDを現地の冷風貯蔵庫に導入した際の貯蔵性向上効果などについて紹介します。

1 青色LED光による青カビ病菌の生育阻害

まず、青色LED光がカンキツの主要な貯蔵病害である青かび病菌、緑かび病菌の生育阻害にどの程度効果があるのかを見極めるため、シャーレでの検証を行いました。カンキツ生産ほ場（静岡市清水区）の果実より採取した青かび病菌を培養し、そのコロニー（2.25 mm²）を新しいPDA培地上に移し、照度の異なる2種類（高照度・低照度）の青色LED光（465nm）照射下に置き、恒温環境で48時間培養しました。その結果、高照度・低照度ともに青色LED光が菌糸の伸長および胞子の形成を阻害することが確認されました（図1）。また、緑かび病菌でも同様の効果が認められました。

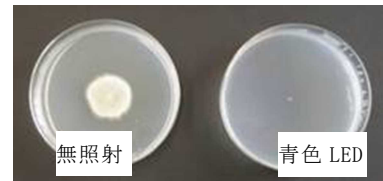


図1 青色LED光を照射すると青かび病菌の菌糸伸長が阻害される

2 青かび病接種果実を用いた青色LED光による病斑部抑制

次に、収穫後の‘青島温州’果実（果樹研究センター内で栽培）を用いて、青色LED光の青かび病抑制効果を検証しました。果実の赤道部と果こう部（へたが付いている面）の間1か所に針で深さ2mmの傷を付け、青かび病菌の胞子懸濁液を傷に接種した後、恒温器内（25℃、相対湿度85%以上）にて、30cmの距離からピーク波長465nmの青色LED光（放射照度：80 μmol・m⁻²・s⁻¹）を照射しました。LED連続照射区は青色LED光を6日間連続照射し、LED断続照射区は照射時間を1日12時間（9時～21時）として6日間照射を行いました。接種6日後に軟化部（水浸状で柔らかくなった部分）、菌糸部（菌糸を伸ばしている部分）、胞子形成部（胞子を形成している部分）の有無とその直径を調査した結果、青色LED光を照射した区の各病斑発生率は、無照射区と比較して低くなり（表1）、病斑直径も小さくなりました（図2、図3）。病斑の発生しない健全果の割合は、無照射

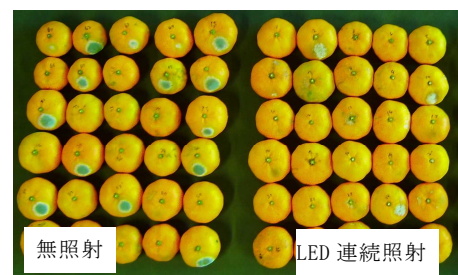


図2 青色LED光を照射した果実は病斑発生が少なく、病斑直径が小さい。

区 27%に対して、LED 連続照射区 60%、LED 断続照射区 63%でした。このことから、LED 光の照射時間を半分にした処理でも連続照射と同様の青かび病抑制効果があることがわかりました。また、事前に青色 LED 光を果実に照射した後、果実を付傷させて同様の調査を行った場合でも、病斑形成率が低くなったために青色 LED 光には直接の菌生育阻害の他、果実への抵抗性付与も示唆されました（データ省略）。

表 1 青色 LED 光照射による菌接種果実の病斑発生抑制

処理区	発生率 (%)		
	軟化部	菌糸部	胞子形成部
無照射	73.3a	63.3a	46.7a
LED 連続照射	40.0b	16.7b	3.3b
LED 断続照射	36.7b	16.7b	10.0b
有意性 ^z	*	*	**

z:分散分析により**は 1%、*は 5%水準で有意差あり

Tukey 法により異符号間に 5%水準で有意差あり

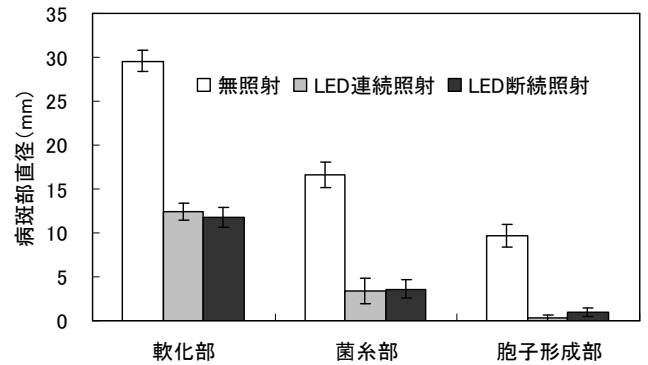


図 3 青色 LED 光照射による菌接種果実の病斑拡大抑制

(連続：6日間連続照射、断続：12時間/日×6日間照射)

3 GP 剤と青色 LED 光照射による貯蔵中の果実腐敗軽減

栽培技術に目を向けると、ジベレリン（以下、GA）とジャスモン的一种であるプロヒドロジャスモン（以下、PDJ）の混用散布による浮皮軽減技術が開発され、農薬登録（2010年）されました（あたらしい農業技術 No. 545）。GA と PDJ の混用剤（以下、GP）は従来の浮皮軽減剤であるカルシウム剤と異なり、1回の散布（収穫3か月前）で、確実な浮皮軽減効果が得られることから生産現場で徐々に導入され始めており、今後は長期貯蔵用果実の確保に向けて、必須の技術となる可能性があります。GP 剤散布果実では果皮の老化が抑制されるため、青色 LED 光の貯蔵性向上効果も高められるのではないかと考えました。そこで、栽培中の GP 剤散布と貯蔵中の青色 LED 光照射の組み合わせ効果を青色 LED 光単独効果と併せて検証しました。‘青島温州’に対して 2014 年 9 月に GP 剤（ジベレリン 3.3 ppm、プロヒドロジャスモン 25 ppm）を散布し、12月上旬に果実を収穫後、予措を行ってから貯蔵を開始しました（8℃設定）。浅型木箱（L43 cm×W93 cm×H8 cm）に果実の果梗部を上にして並べ、2本の直管型青色 LED 光を設置し（光源距離 20cm）、照射時間 12 時間/日として 2015 年 1 月 5 日から 92 日間照射を行いました（図 4 左）。その結果、青色 LED 光照射の単独による効果として、青かび病・緑かび病（果皮の傷口から感染）だけでなく、軸腐病（栽培中に黒点病菌等が軸を通して侵入し、貯蔵後期に発病）などの発生についても軽減することが示されるとともに、GP 剤と LED を組み合わせることで腐敗軽減効果が高くなる可能性も示唆されました（図 4 右）。

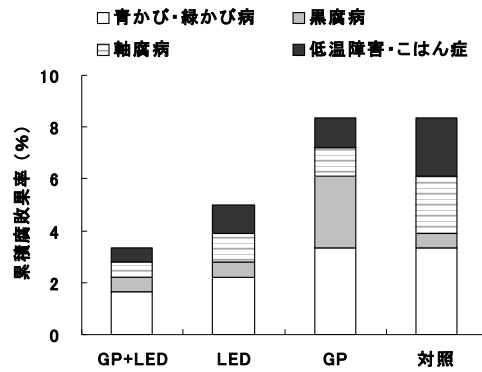


図4 浅型木箱での青色LED光照射試験の様子(左)と腐敗軽減効果(右)

4 現地冷風貯蔵庫における実証事例

2016～2018年(H28～30)にかけて、静岡県カンキツ生産者(三ヶ日・西浦)の冷風貯蔵庫にLEDを導入し、腐敗軽減効果の実証を行いました。最初の現地実証では、テープ型青色LEDをコンテナや木箱に直接差し込みましたが、貯蔵庫全体へ光照射を行いにくいことや生産者の手間が増えることなどから、より放射強度の強い蛍光管型青色LEDを壁面に設置する方法を採用するとともに、テープ型青色LEDを設置したコンテナカートを開発することで照射方法を改善しました。

2017年度の現地実証では、その2つの方法を県内生産者の冷風貯蔵庫に導入し、果実貯蔵性や品質に及ぼす影響を調査しました。LEDコンテナカートを導入した貯蔵庫(西浦)において①対照区、②GP剤散布区(以下、GP区)、③GP+LED区を設けました。貯蔵後の腐敗果率はGP+LED区が最も低く(0.31%)、次いでGP区(1.76%)、最も高かったのが対照区(4.24%)でした(図5左)。また、貯蔵後の果実品質はGP区とGP+LED区において、浮皮度が低く果実比重が高くなりました(表2)。糖度とクエン酸含量は処理区間で差が認められませんでした。一方、壁面LEDを導入した貯蔵庫(三ヶ日)ではGP剤散布果実のみ入庫し、①GP区(無照射)と②LED区を設けました。貯蔵後におけるLED区の腐敗果率は0.77%となり、無照射(2.35%)と比較して低くなりました(図5右)。また、それぞれの貯蔵庫において温度・湿度を計測したところLED区と無照射区では、ほぼ同程度で推移していました(図6:LEDカートラックのみ抜粋)。

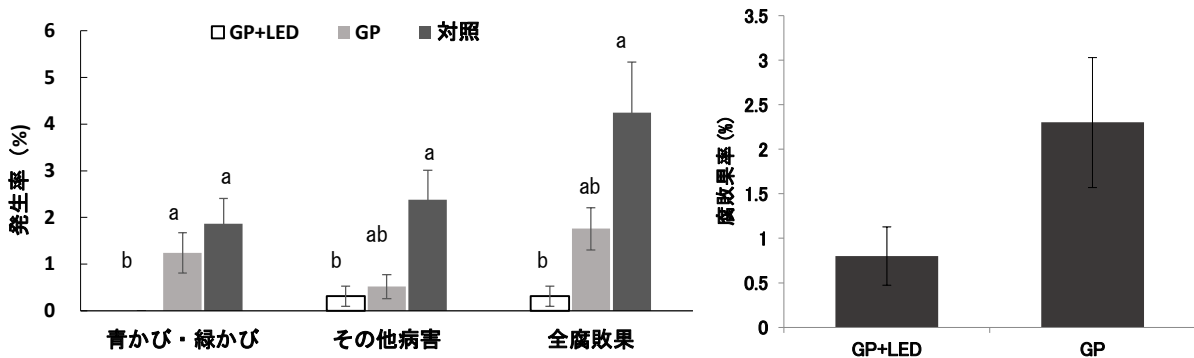


図5 GP剤と貯蔵中の青色LED光照射果実の腐敗軽減効果

(左: カートラック型、沼津市西浦、右: 壁面設置型、浜松市北区三ヶ日町)

(左) 異符号間に有意差あり(5%)、(右) **は無照射(GP)とのt検定により1%水準で有意差あり

以上の結果から、GP 剤ならびに冷風貯蔵庫における青色 LED 光照射により浮皮度と累積腐敗果率を従来手法の半分以下に減少させることが可能となりました。この新しい貯蔵技術により浮皮果や腐敗果の発生を抑制し、出荷期間を3月下旬～4月上旬まで延長できると考えられました。また技術導入のための費用を検証したところ、導入コスト、使用可能年数、ランニングコストなどを考慮した場合、LED 壁面設置型で年間3万円程度/10a(10a=2,500kg)と試算されます。

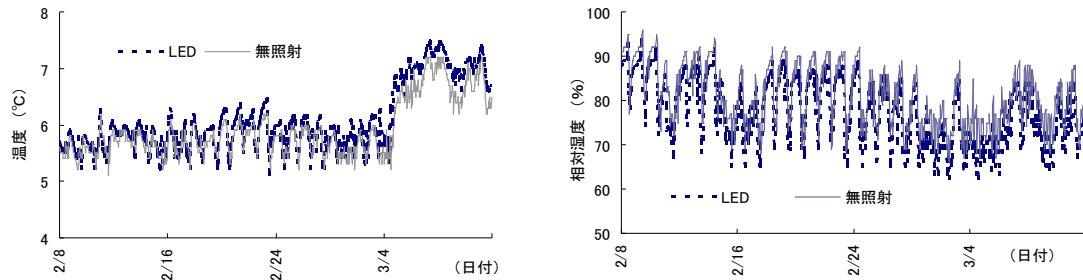


図6 青色LEDカートラックを用いた貯蔵時の温度・相対湿度変化

表2 青色LED光照射が‘寿太郎温州’の果実品質に及ぼす影響(貯蔵後)

処理区	分析果 実重 (g)	果肉 歩合 (%)	果実 比重	浮皮 度 ^y	Brix (%)	酸 (%)	しなび ^y
GP+LED	96	79.3a ^x	0.91a	0.1b	12.5	0.54	0.2
GP	98	77.9ab	0.90b	0.3ab	12.2	0.59	0.4
対照	94	76.0b	0.87c	0.7a	12.6	0.54	0.4
有意性 ^z	-	**	**	**	n. s.	n. s.	n. s.

z: 分散分析により**は1%水準で有意差があり、n. s. は有意差なし。

y: 無(0)、軽(1)、中(2)、甚(3)

x: Tukey法(5%水準)



図7 現地での設置例

(左: LEDカート、中: 蛍光管型LEDの壁面設置、右: テープ型LEDの壁面設置)

5 まとめ

現在、当センターの冷風貯蔵庫や生産現場における貯蔵庫での実証研究を通して本技術の普及を推進しています。カンキツ類の貯蔵庫は、木箱やプラスチックコンテナが主流であり、縦に数段積み上げて貯蔵することが多いと思います。本研究では、既存の貯蔵体系を崩さずにLEDを利用できる方法に取り組んできました。その結果、貯蔵コンテナ内部まですべて照射を行わなくても、庫内全体でみると腐敗軽減効果がみられることがわかってきました。本研究で用いた貯蔵庫は、冷却器および循環ファンから吹き出された空気が吸気側の負圧領域に向かって吸引されるこ

とで空気の循環路が形成される仕組みとなっているため（図8）、LEDを庫内に配置すれば空気の循環により、菌生育阻害の効果は全体に行き渡ると考えられます。この新しい貯蔵技術は、果実の貯蔵期間を従来よりも3～4週間程度長くすることが可能ですが、本技術は冷蔵設備のある貯蔵庫（冷風貯蔵庫）を前提としています。設置するLEDについては、今後、更なるコストダウンが可能と考えられ、普及推進と同時に費用削減の検証も行っていきます。この冷風貯蔵の結果を踏まえ、新たに常温貯蔵庫でもテープ型LEDを壁面に設置し、常温でも長期貯蔵に向けた新技術の導入が始まっています。常温貯蔵では、場所や時期によって庫内温度が高くなる場合があるため、設置場所ごとに照射時間や照射時期等を検討する必要があります

ミカンの腐敗を少しでも減少させ貯蔵性を向上させるには、収穫後の技術だけでなく、貯蔵性の高い果実を生産すること、貯蔵に適した施設の存在が重要です。今回紹介したLED技術を冷風貯蔵技術や栽培中のGP剤散布などの浮皮軽減技術と組み合わせることで優れた貯蔵性向上・鮮度保持効果が得られることもしだいに現場で実証されつつあり、当センターでは今後もより良い貯蔵方法についてさらに研究を進めていく予定です。

ミカンの腐敗を少しでも減少させ貯蔵性を向上させるには、収穫後の技術だけでなく、貯蔵性の高い果実を生産すること、貯蔵に適した施設の存在が重要です。今回紹介したLED技術を冷風貯蔵技術や栽培中のGP剤散布などの浮皮軽減技術と組み合わせることで優れた貯蔵性向上・鮮度保持効果が得られることもしだいに現場で実証されつつあり、当センターでは今後もより良い貯蔵方法についてさらに研究を進めていく予定です。

おわりに

本研究の一部は、農研機構生研支援センターが実施する革新的技術開発・緊急展開事業（うち地域戦略プロジェクト）により実施しました。実証試験については、三ヶ日町農業協同組合、南駿農業協同組合、清水農業協同組合の技術員、各管内の生産者の皆様に多大なるご協力を頂きました。また、LED照射装置を作製頂いた企業担当者の方々には大変御世話になりました。謹んで御礼申し上げます。

参考文献

- 1) Alferez, F., H.-L. Liao and J.K. Burns. 2012. Blue light alters infection by *Penicillium digitatum* in tangerines. *Postharvest Biol. Technol.* 63, 11-15.
- 2) Liao, H.-L., F. Alferez and J.K. Burns, 2013. Assessment of blue light treatments on citrus postharvest diseases. *Postharvest Biol. Technol.*, 81, 81-88.

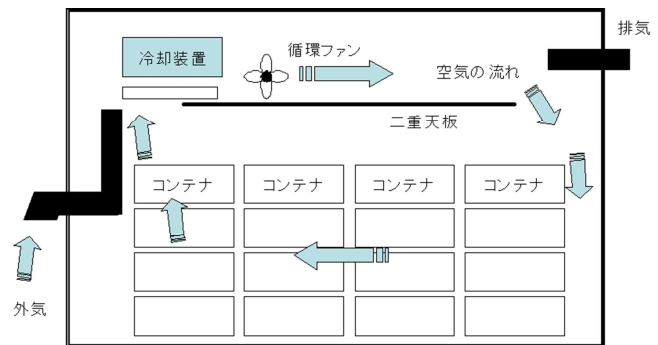


図8 冷蔵機能、給排気ファンを有する二重天井構造の貯蔵庫（横から見た図）

- 3) 杉浦雅男・木村雅之・杉山博茂, 2009. 貯蔵庫. 特許 4584968.
- 4) 杉山博茂, 2012. 冷風貯蔵. 「青島温州のすべて」 静岡県経済農業協同組合連合会. p. 98-106.
- 5) 高橋哲也・澤野郁夫, 2011. 「温州みかんの新しい浮皮軽減剤(あたらしい農業技術 No. 545)」 静岡県経済産業部, p. 1-5.
- 6) 山家一哲・高橋哲也・石井香奈子・加藤光弘・小林康志, 2015. 青色 LED 光照射によるウンシュウミカン果実の青かび病抑制効果. 園学研, 14 : 83-87.
- 7) Yamaga, I., T. Takahashi, K. Ishii, M. Kato and Y. Kobayashi, 2015. Suppression of blue mold symptom development in satsuma mandarin fruits treated by low-intensity blue LED irradiation. *Food Sci. Technol. Res.*, 21, 347-351.
- 8) 山家一哲・古屋雅司, 2017. プロヒドロジャスモン加用ジベレリンの秋季散布と収穫後青色 LED 光照射がウンシュウミカンの腐敗に及ぼす影響. 日本食品科学工学会誌, 64 : 16-22.
- 9) 山家一哲・吉川公規, 2020. カンキツ貯蔵用青色 LED 付設カートラックによる GP 剤散布果実の腐敗軽減効果の実証. 静岡農技研研報, 13, 43-50.

農林技術研究所果樹研究センター果樹生産技術科 上席研究員 山家一哲
(現：農林環境専門職大学短期大学部)

