

収穫後の近赤外光照射による青果物の品質保持技術体系

試験研究計画名：近赤外光照射等を利用した高知県産ユズの輸出拡大および主要園芸野菜の革新的品質向上体系の開発

地域戦略名：高知県産農産物の品質向上によるユズの輸出および主要野菜の販売額の拡大

研究代表機関名：高知県農業技術センター

地域の競争力強化に向けた技術体系開発のねらい：

高知県の農業算出額の80%は園芸品目（野菜、果実、花き）ですが、大消費地から遠く、輸送中にカビや腐敗等が発生して問題になっています。また、青果ユズの輸出においても腐敗が多発する事例があり、鮮度保持や市場病害の抑制技術が求められています。しかし、収穫後の青果物に対しては、食品衛生法で化学物質や農薬を使用することが禁じられており、有効な対策が少ないのが現状です。

近年、収穫後の青果物に波長850nmの近赤外光を短時間照射すると、鮮度低下や病害発生を抑制する効果が発表されています（写真1）。そこで、輸出ユズ、国内流通のナス、シシトウ、ミョウガに最適な近赤外光照射装置やそれを活用した技術開発に取り組み、現地実証を行いました。これにより市場病害の発生を抑制して、高単価での販売を維持するとともに産地のブランド力の確立を目指しました。



写真1 近赤外光照射によるホウレンソウの萎凋抑制とミニトマトのカビ抑制効果

技術体系の紹介：

1. 近赤外光照射のメカニズムと最適照射条件

近赤外光は目には見えませんが、リモコンなどに使われる安全性の高い光です。収穫した柑橘類や果菜類、根菜類、葉菜類など多様な青果物に照射する試験では、蒸散やカビ、腐敗を抑制するなどの効果が認められました。そのメカニズムは、近赤外光の照射を青果物がストレスの一種として認識して、消耗の抑制や病害抵抗性の向上などの防御反応を引き起こすと考えられます。

最適な照射条件を見つけるため、リーフレタスを用いて光強度と照射時間を変えた試験を繰り返し、それぞれの試験で最も大きな蒸散抑制効果を示した光強度（x）と照射時間の（y）組み合わせをプロットした結果、「 $y=42471x^{-1.852}$ 」の近似式で表すことができました（図1）。

さらに、他の青果物でのカビ抑制効果を指標として光強度と照射時間の関係を検討したところ、以下のことが明らかになりました。

選果ライン上で想定できる照射時間として0.1秒から30秒の範囲で照射装置の最も標準的な光強度

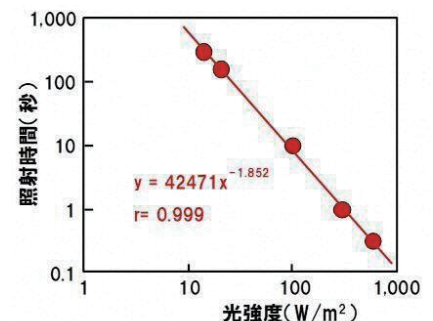


図1 近赤外光の照射時間と光強度の最適条件

である $300\text{W}/\text{m}^2$ に固定した場合、最適照射時間は約 1 秒となります。照射時間が短いとストレス刺激が不足して十分な鮮度保持効果が得られず、長いと老化促進などの悪影響が出る恐れがあり、最適照射時間の $1/3 \sim 3$ 倍までが許容範囲と考えられます（表 1）。最適条件より光強度を上げたり、照射時間を延ばしても効果は上がりません。また、青果物の全面に照射しなくても防御反応は全体に波及しますが、照射面積が少ないと効果が低下するので、なるべく重ならない状態で照射する必要があります（表 2）。

表 1 ユズの水浸症状やカビ発生に及ぼす近赤外光照射の影響

試験区	3日後の水浸状直径(cm) ²⁾		7日後のカビの発生程度 ³⁾
	青カビ	白カビ	
無照射	2.33±0.21	2.23±0.23	4.00±0.52
300W/m ² ・0.1秒	1.88±0.24	1.78±0.24	3.17±0.75
300W/m ² ・0.3秒	2.07±0.81	1.99±0.95	3.17±1.60
300W/m ² ・1秒	1.75±0.29**	1.59±0.36**	2.50±1.05
300W/m ² ・3秒	1.73±0.23**	1.65±0.35*	3.00±0.63
300W/m ² ・10秒	2.12±0.30	2.22±0.31	3.67±0.00
300W/m ² ・30秒	2.03±0.18	1.96±0.30	4.00±0.00

注) ユズの果皮に深さ 5mm の刺し傷を付け、ここにカビが生えたユズから分離した青カビと白カビ(いずれも *Penicillium digitatum* と同定)の分生子を 5,000 個ずつ接種した後、プラスチック容器内で 20℃ 保管。平均±標準偏差 (n=12)。

Z) Dunnett の多重比較により、**は 1%水準で、*は 5%水準で有意差があることを示す。

Y) カビ発生程度は、0: なし、1: わずか、2: 顕著、3: 広範囲、4: 果実全体、とし各果実の点数を合計し果実数で割った値を示した。

表 2 シトウのへたカビに及ぼす近赤外光照射範囲の影響

項目	無照射	近赤外光照射範囲 ²⁾				
		両面	片面	片面の 1/2	片面の 1/3	片面の 1/4
へたカビ発生程度 ³⁾	1.53±1.51	0.00±0.00**	0.33±1.00*	0.22±0.67**	0.67±1.32	1.22±1.30

注) シトウへた腐病菌を接種した後プラスチック容器内にて 20℃ で 5 日間保管。平均±標準偏差 (n=9)。

Z) t 検定により、無照射と比較して、**は 1%水準で、*は 5%水準で有意差があることを示す。

Y) へたカビ発生程度とへた褐変程度は、0: 変化なし、1: 一部、2: 中程度、3: 顕著、とし、各果実の点数を合計し果実数で割った値を示した。

2. 近赤外光照射装置

照射は荷造り作業時に行うことが想定され、品目や設置場所に合わせて開発する必要があります。ユズの試作事例では、独立した搬送部と組み合わせて、箱詰め後に照射する仕様とし（写真 2）、ナスは既存の選果機のライン上に設置して、搬送部を 1 果ずつ通過するナスに上から自動照射する仕様としました（写真 3）。照射後の荷造り、出荷は従来通りです。

装置の基本となる照射部は、LED の照射パネルと電源部で構成され、この基本モジュールを組み合わせることで多様な品目の装置に対応でき、量産可能でコストも引き下げることができました（写真 4）。さらに、ナスの装置は、18 ヶ月（約 4,300 時間）使用しても、LED の輝度低下や故障は発生せず、長期間安定して使用できることが確認できました。



写真 2 ユズ用照射装置



写真 3 ナス用照射装置



写真 4 LED 照射部 (モジュール 4 基)

3. 近赤外光照射による青果物の市場病害抑制効果

実証地から東京市場への輸送試験では、ナスは照射により6回のうち3回でカビの発生が少なく、発生率は無照射に比べて平均で10%低下しました。シシトウでは9回のうち4回でへた腐病の発生が少なく、発病が平均2.4%低下しました。ミョウガでは6回のうち有意に腐敗が減少したのは1回でしたが、発生は平均5.2%低下しました(表3)。このようにナス、シシトウ、ミョウガでは一定の市場病害抑制効果が確認できました。一方、ユズの輸出および国内出荷では、腐敗が平均0.3%低下しました(表4)。

表3 ナス、シシトウ、ミョウガの輸送試験における市場病害発生率への近赤外光照射の影響

		平成30年					平成31年					平均
		4月	6月	7月	8月	9月	1月	4月	5月	6月	7月	
ナス	照射	4.2	22.0	—	—	—	28.0	7.4	30.0	10.0	—	16.9
	無照射	28.0	21.2	—	—	—	50.8	21.6	26.7	13.3	—	26.9
	有意差	**	NS				**	**	NS	NS		
シシトウ	照射	0.7	1.0	1.4	3.7	10.8	—	2.3	3.8	0.2	2.4	2.9
	無照射	4.9	1.8	3.4	9.0	18.3	—	3.8	2.9	0.7	2.8	5.3
	有意差	**	NS	**	**	**		NS	NS	NS	NS	
ミョウガ	照射	—	—	16.2	65.8	45.6	—	—	15.0	12.5	62.5	36.3
	無照射	—	—	25.6	72.6	56.7	—	—	20.8	15.8	57.5	41.5
	有意差			**	NS	NS			NS	NS	NS	

- 注1) ナスは無接種で各10kg無反復、シシトウはへた腐病菌を接種して試験により各15~30パック無反復で、ミョウガは10パックで2~4反復で供試した。腐敗の発生率(%)で示した。
 注2) 東京市場で、ナス、シシトウは照射3日後に回収して調査した。ミョウガは市場で回収した後、高知に返送して15°Cで貯蔵し、照射6または7日後に調査した。
 注3) t検定により、**は1%水準で有意差があり、NSは有意差がないことを示す。

表4 ユズの輸出、国内実証における市場病害発生への近赤外光照射の影響

処 理	出荷先	フランス輸出				国内実証	H28~30 の平均
		出荷年	27	28	29		
照 射	数量(kg)	—	4,000	8,016	3,082	500	
	腐敗果率	—	0.0	0.0	2.6	0.1	0.7
無照射	数量(kg)	4,152	3	—	12	40	
	腐敗果率	8.7	0.1	—	0.0	3.0	1.0

注) 病原菌は無接種とした。腐敗果の発生は出荷先からの報告値。

技術体系の経済性は：

経営改善効果

ナスの実証地での照射装置導入費は25百万円でした。この設備の年当たり減価償却費を償うためには、年間出荷額2,070百万円の0.17%以上に相当する出荷額の増加が見込まれると、経済性を有します(装置は長期間安定的に使用可能で、導入時以降の整備費用は無視できると考えました)。上記のナスの試験(表3)と同率(約10%)で出荷額が増加すると仮定すると、207百万円増加すると推算され、経済性を有すると考えられます(表5)。シシトウ、ミョウガについても同様に経済性があると推察されますが、ユズ(表4)については経済性があるとは判断できませんでした。

表5 近赤外光照射装置の導入経費とその効果および回収期間

照射装置	出荷場	装置単価 (千円)	必要 台数	購入額 (千円)	生産 戸数 ^{z)}	出荷量 (t) ^{z)}	年間出荷額 (千円) ^{z)}	減価償却費 (千円)	ランニング コスト ^{y)} (円/月/台)	腐敗軽減 率(%) ^{x)}	腐敗軽減額 (千円) ^{w)}	出荷額比 (%) ^{v)}	回収期間 (年) ^{u)}
ユズ	北川村	6,300	1	6,300	1	4	15,955	900	800	0.3	48	5.64	131.6
ナス	安芸	12,500	2	25,000	205	4,495	2,070,000	3,571	1,400	10.0	207,000	0.17	0.1
シシトウ	南国中央	15,500	1	15,500	16	121	187,412	2,214	1,600	2.4	4,498	1.18	3.4
ミョウガ	土佐くろしお	3,300	14	46,200	214	3,252	5,775,000	6,600	280	5.2	300,300	0.11	0.2

注) 各装置の耐用年数は7年とした。

z) ユズは国内出荷を含めた試算。ナス、ミョウガ、シシトウは28園芸年度(平成27年9月~28年8月)実績

y) ランニングコスト=消費電力(kw)×稼働時間(h/月)×契約単価(円/kWh)。一律に、1月当たりの稼働日数20日で1日当たり8時間稼働、契約単価を25円/kwhとして計算した。なお、設置場所に合わせてLEDの出力を調整するため、実際の金額とは異なる場合がある。

x) 腐敗軽減率は照射による商品果率の向上割合。ユズは国内実証、ナス、シシトウ、ミョウガは輸送試験における処理3日、6日または7日後の調査

w) 腐敗軽減額=年間出荷額×腐敗軽減率

v) 出荷額比=減価償却費÷年間出荷額×100

u) 償却期間=購入額÷腐敗軽減額、労賃は考慮せず

経済的な波及効果

輸送試験での腐敗軽減率の平均値を基に、高知県全域に導入した場合の腐敗軽減額を試算すると、実証した4品目合計で年間約13.3億円の販売額に相当します(表6)

表6 JA高知県取扱いのユズ、ナス、シシトウ、ミョウガの近赤外光照射による腐敗軽減効果の試算

品目 ^{z)}	A 全体販売額 (千円)	腐敗率 ^{y)} (%)		D 腐敗軽減 率(B-C) (%)	E 腐敗軽減額 ^{x)} (A×D÷100) (千円)
		B 無照射区	C 照射区		
ユズ	997,000	1.0	0.7	0.3	2,991
ナス	7,853,000	26.9	16.9	10.0	785,300
シシトウ	3,427,000	5.3	2.9	2.4	82,248
ミョウガ	8,899,000	41.5	36.3	5.2	462,748
合計	21,176,000	—	—	—	1,333,287

z) JA高知県取扱いのH29園芸年度の販売金額を示した。

y) 商品性が無くなった果実の割合を示した。ユズは輸出及び国内実証値、ナス、シシトウ、ミョウガは輸送試験の6日後または7日後の平均値を示した。

x) 全体販売額に腐敗軽減率を乗じて近赤外光照射による腐敗軽減額を試算した。

こんな経営、こんな地域におすすめ：

青果物が輸送中に品質低下して問題となっている産地での検討をおすすめします。本事業による実証地以外では、ミニトマトの生産法人およびウンシュウミカンや中晩柑類の共同選果場に導入されています。

技術導入にあたっての留意点：

近赤外光照射は、青果物の生理的反応を促すことで萎凋や市場病害を抑制するものであり、常に完全な効果が期待できるものではありません。対象となる青果物の状態や時期により効果が認められない場合や、気温が高い時期には効果が現れにくい傾向があります。また、なるべく重ならない状態で照射する必要があります。照射装置は品目や作業工程に合わせて設計するので、経済性については個々に試算する必要があります。

研究担当機関名：高知県農業技術センター、(株)四国総合研究所、三井金属計測機工(株)

お問い合わせは：高知県農業技術センター生産環境課品質管理担当

電話 088-863-4916 E-mail 160506@ken.pref.kochi.lg.jp

執筆分担(高知県農業技術センター 生産環境課 品質管理担当 宮崎清宏)