四国電力, 四国電力送配電, 四国総合研究所
研究期報120（2024年6月）27－34

収穫後のメロンの品質に及ぼす近赤外光照射の影響

㈱四国総合研究所 化学バイオ技術部　秦　亜矢子
㈱四国総合研究所 化学バイオ技術部　垣渕　和正

キーワード：　青果物
鮮度保持
近赤外光
照射
メロン
カビ

Key Words：　Fruits and vegetables
Freshness retention
Near infrared light
Irradiation
Melon
Mold

Effect of near infrared light exposure after harvest on appearance in Melon

Shikoku Research Institute, Inc., Chemical Technology and Biotechnology Department
Ayako Hada, Kazumasa Kakibuchi

Abstract

The freshness preservation effect of irradiating and transporting two varieties of melons, "Yuka" and "Takami," produced in Aomori Prefecture, after harvest, was verified. The results showed that near-infrared light irradiation was effective in reducing damage during transportation by maintaining high fruit hardness at the time of arrival and inhibiting the progression of waterlogging and mold in both varieties, as well as inhibiting aging and yellowing of the rind during storage. The use of this technology is expected to be effective in the future, as there are concerns about delays and stagnation in transportation due to the “2024 logistics problem”.

1. はじめに

これまでの研究で、850nm を中心波長とする近赤外光は収穫後の青果物に短時間照射することで、その後のしおれや腐敗、変色を防ぐことが分っており[1)2)3)4)]、この技術を「iR フレッシュ®」と名付けた。主に全国のミカンの選果場での導入が進んでおり[5)6)7)]、トマト[8)9)]、イチゴ[10)]、ブドウ[11)]、ナス[12)]、ショウガ、キュウリなど様々な青果物において収穫後の青果物の鮮度を維持する効果があることを確認し、選果場や集出荷場、植物工場など栽培施設での導入が進んでいる。近赤外光照射の効果の１つに輸送中の衝撃による果実の傷みを軽減するものがある。「物流の 2024 年度問題[注 1)]」では、物流業界が大きく変わることで輸送の遅れが生じるため、冷蔵やフィルム包装などの既存の技術に加え鮮度をより長く維持できる技術の導入が望まれる。特に大消費地から遠いところで収穫される青果物は輸送に時間がかかる。高級果実では輸送中の傷みがクレームとなると同時にブランド価値を著しく低下させる。

「メロン」は高級果実として知られており、静岡県の「クラウンメロン」や茨城県の「アールスメロン」がトップブランドを誇っている。青森県つがる市および五所川原市では、メロンの特産化に力を入れており、地元の農業関係者からのブランド力強化のために iR フレッシュ®の効果を評価したいとのニーズが、四国電力㈱再生可能エネルギー部様を通して寄せられた。そこで、青森県産のメロン「優香」と「タカミ」について近赤外光照射し、輸送後の果実品質へ及ぼす影響について調査した。

注 1) トラックドライバーの時間外労働時間の上限が年間 960 時間に制限されることにより「ものが運べなくなる」「物が作れなくなる」といった諸問題が発生すること。

2. 材料および方法

青森県内で栽培された「優香」と「タカミ」の 2 品種を使用した。「優香」は、熟すと表皮が緑色から黄色に変わり芳醇で優しい香りが魅力的な品種であり、糖度など一定の基準を満たしたものは「アムさんメロン」と呼ばれ高値で取引されている。一方、「タカミ」は甘みの強い果汁を多く含み黄緑色のきれいな果肉と香りも良い品種として知られている。特に青森県産のタカミメロンは出荷が 6 月～8 月と流通期間が長く、静岡県や茨城県等の主力産地のメロンが品薄となる 8 月の盆需要に重宝されている。前者は完熟状態で後者は完熟前に収穫される。近赤外光照射は、「優香」は 6 月 7 日に「タカミ」は 7 月 24 日に行った。「優香」は選別作業場で、「タカミ」は JA の選果ラインで糖度および熟度を測定した後に、ハンディタイプの小型照射装置（照射面のサイズ：縦 8.5cm、横 13.2cm）を用いて果実の上部に 300W/m^2 で 1 秒間照射した。照射後、段ボール箱で梱包し、「優香」は宅配便で㈱四国総合研究所（高松市）まで冷蔵輸送した。「タカミ」は専用便で大阪中央卸売市場へ常温輸送し、その後は自家用車で㈱四国総合研究所（高松市）まで搬送した（写真 1）。保管は 25℃に温度調節した室内にて行った。調査項目は、「優香」は糖度、酸度、果実硬度、果皮の変色、へた周りの水浸状化を調査し、「タカミ」は糖度、酸度、果実硬度、へたの変色、へたの白カビ、電解質漏出割合、果皮の黄化およびカビを調査し、着荷日と数日ごとに照射 2 週間後まで行った。

写真 1　小型照射装置

2.1 糖度、酸度、果実硬度

メロン果実は果頂部から花痕部までを縦に 4 等分し対角線上の果肉を搾汁したものを使用した。糖度はデジタル糖度計（PR101α、㈱アタゴ）を使用して可溶性固形分（Brix）を測定し、酸度はクエン酸濃度として求めた。果実硬度はへた部より縦に輪切りにしたメロンの赤道部の果皮と種子部

の中心部を直径 1cm の円錐形のプランジャーを用いて果実硬度計（KM-1、㈱藤原製作所）を使用して 1 個体当たり 2 カ所を測定した。

2.2 外観調査

「優香」の果皮の変色、へた周りの水浸状化は、程度に応じて点数評価（0：なし、1：少程度、2：中程度、3：顕著）した。「タカミ」のへたの変色、へたの白カビ、果皮のカビ発生は程度に応じて点数評価（0:なし、1:1/3 未満、2:1/3 以上 1/2 未満、3:1/2 以上全体未満、4:全体）した。

2.3 電解質漏出割合

メロン果実の電解質漏出割合[注 2)]の測定は前澤・秋元の方法[13)]に準じて行った。すなわち、果実の赤道部の果肉を 15mm の厚さに輪切りにし中心部の果肉組織を 10mmφのコルクボーラーでくり抜き、蒸留水 20ml 中に浸漬した。20℃で 3 時間静置後、果実片の入った溶液の電気伝導度を簡易型 EC メーター（EC-33B、㈱堀場製作所）を用いて測定し、A 値とした。次に,ブレンダーで 1 分間粉砕してその溶液の電気伝導度を B 値とし、(A/B)×100 を電解質漏出割合とした。実験には 5 果実供試し平均値を算出した。

注 2) 細胞壁や細胞膜から漏れ出した細胞内部の電解質の割合。老化や傷害を受けると電解質の漏出が多くなる。イチゴの損傷程度やキュウリの低温障害による損傷程度を示す値として用いられている[13)]

2.4 果皮の黄化率の測定

メロン果皮の黄化は画像解析により行った。熟度は低いほど果皮の黄化が進むため、初期熟度[注 3)]は 34～35 程度の熟度の低い個体を使用し、画像解析ソフト「Image J」を使用して黄色を抽出した。

注 3) 数値が小さいほど未熟な果実を示す。

3. 結果及び考察

3.1 優香

着荷時のメロン果実の様子を写真 2 に示した。青果物輸送中の振動や衝撃による損傷はイチゴやモモ、リンゴなどについて調べられている[14)]。これまでの調査で、イチゴを四国地域から関東方面に輸送した場合、平均 15G の衝撃が 8 回程度かかることが分っている[10)]。着荷時の果実硬度および内部品質を調査した結果、照射した果実は無照射と比べて果実硬度を維持しており花痕部の果肉のつぶれや果肉の水浸状化を抑制していることが分った（写真 3)。「優香」は完熟収穫されるため果肉が柔らかく、追熟して食べごろを迎えるメロンと比べて黄化が進みやすい。また、過熟になると果皮の変色が進行する他、へた落ちしてその部分が黒く変色し、その後へた部の周辺が水浸状化しカビが発生する。照射は着荷直後の果実硬度を高く維持した（図 1)。果実が柔らかく傷みやすいイチゴやモモの試験でも同様に輸送前に近赤外光照射することで果実硬度を維持でき、その後の傷みを軽減する効果があることが分っている[15)]ことから完熟メロンでも同様の効果があると考えられた。照射 8 日後における外観調査ではへた部のカビの発生には差はなかったものの、近赤外光照射は果皮の変色をやや抑制し、へた部周辺の水浸状化を顕著に抑制した（表 1、写真 4)。へた部分の水浸状化は放置するとカビが発生する。なお、近赤外光照射は、温州ミカンを対象とした遺伝子解析においてフェニルアラニンアンモニアリアーゼ(PAL)やキチナーゼ 感染特異的タンパク質（PR タンパク質）遺伝子などの病害抵抗性遺伝子の発現量が増加し果皮のカビ発生が抑制されることが分かっており[16)17)]、病原菌を使用した接種試験による共腐れの試験では、接種部の水浸状化の進行は無照射と比較して遅く、カビの胞子の発生も遅れることが確認されている。これらのことから、メロンにおいても同様の現象が起こっている可能性が高いと考えられた。一方、近赤外光照射は、果汁の糖度およびクエン酸濃度には影響を及ぼさなかった。

無照射　　近赤外光照射

写真 2　着荷時のメロンの様子（優香）

無照射

近赤外光照射

写真 3　水浸状化に及ぼす近赤外光照射の影響
（青色の円は水浸状化の様子、優香）

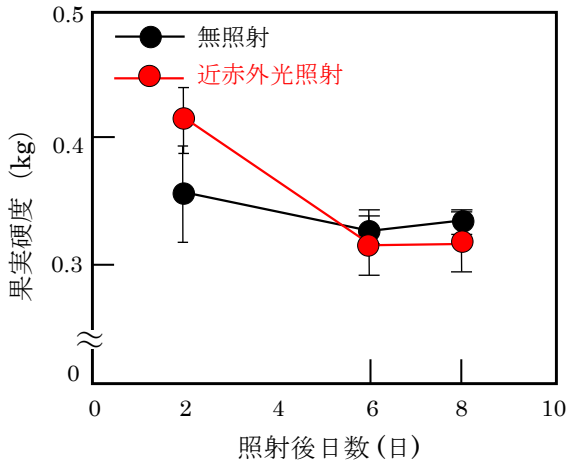


図 1　果実硬度に及ぼす近赤外光照射の影響
赤道部を果実硬度計で 2 か所測定した。
縦棒は標準誤差（n=3～4）

表 1　外観に及ぼす近赤外光照射の影響

照射 8 日後	果皮の変色	へた周りの水浸状化
無照射	2.3	2.3
照射	1.3	0.8*

*は、無照射と比較して 5%水準で有意差あり（t 検定、n=3～4）

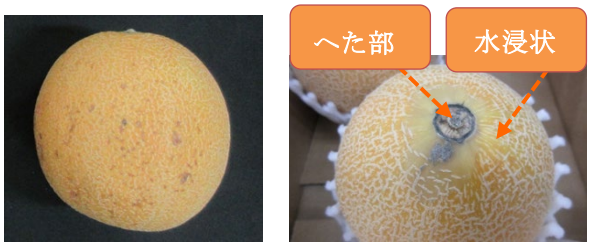


写真 4　果皮が変色した個体（左）およびへた周りが水浸状化した個体（右）

3.2 タカミ

着荷時の果実の様子を写真 5 に示した。着荷時の状態から「優香」と同様に輸送中の振動によりメロンが回転したことが窺えた。果実硬度は、近赤外光を照射した果実で高く、着荷時から照射 15 日後まで硬度を高く維持した（図 2）。「タカミ」は果実に貼付してある識別番号から選果時の糖度や熟度が追跡できるため、個体ごとの糖度差を算出した。その結果、無照射の果実は糖度が急激に低下したのに対して、近赤外光を照射した果実は照射 8 日後においても糖度を高く維持していた（図 3）。酸度には照射の有無による差はみられなかった。近赤外光照射による収穫後の糖度の維持はモモやミカンでも確認されている[15]。へた部の変色およびカビの点数評価では、照射したメロン果実は無照射と比較してへた部の変色が少なく、白カビの発生も抑制された（図 4、図 5、写真 6）。果肉の電解質漏出量を測定した結果、照射したメロンは漏出割合が少なく無照射と比較して傷みや老化が少ないことが分った（図 6）。照射 8 日後の果実の上面と下面の黄化割合を画像解析した結果、無照射では上面が 10.7%であり下面が 42.8%と下面の黄化の進行が速いことが分った。これに対し、近赤外光を照射した果実は、上面が 0.6%と下面が 5.0%であり、全体では無照射のメロンに対し果皮の黄化を 18.6%抑制した（写真 7、図 7）。選果時に熟度が高かった果実について照射 15 日後の様子を写真 8 に示した。無照射のメロンは照射 8 日後より果実全体に白カビが発生し始め、15 日後には顕著に表れたが、照射したメロンは白カビの発生はほとんどなかった（図 8）。

写真５　着荷時のメロンの様子（タカミ）

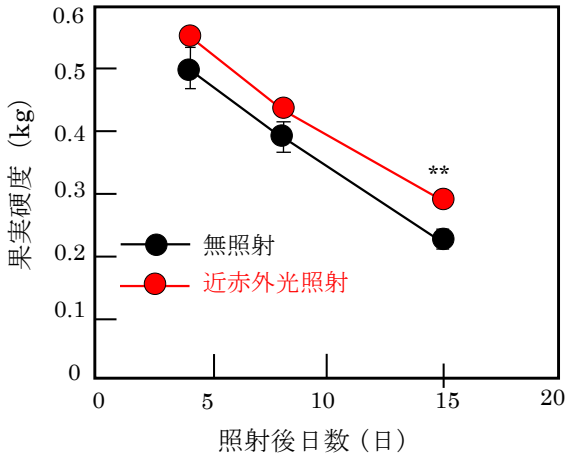


図２　果実硬度に及ぼす近赤外光照射の影響
**は、無照射に対し 1%水準で有意差あり。縦棒は標準誤差（n=10～20）

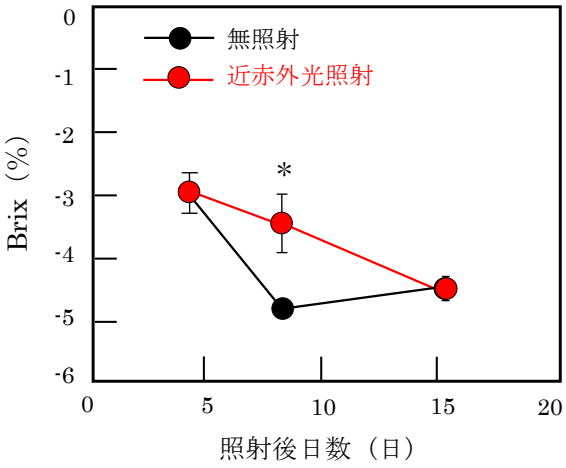


図３　果実糖度に及ぼす近赤外光照射の影響
*は、無照射に対し 5%水準で有意差あり。縦棒は標準誤差（n=4～9）

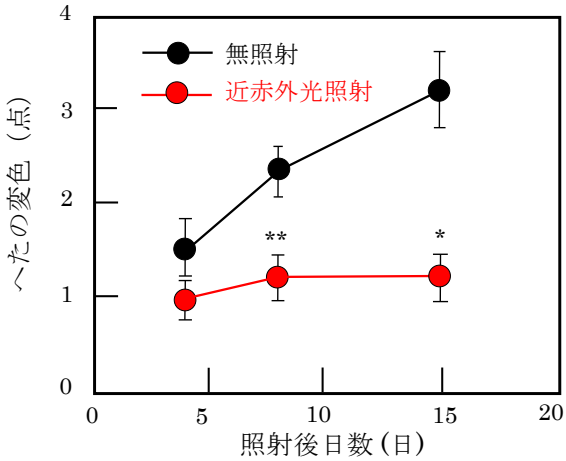


図４　へたの変色に及ぼす近赤外光照射の影響
**、*は、無照射に対し 1%と 5%水準で有意差あり。縦棒は標準誤差（n=10～20）

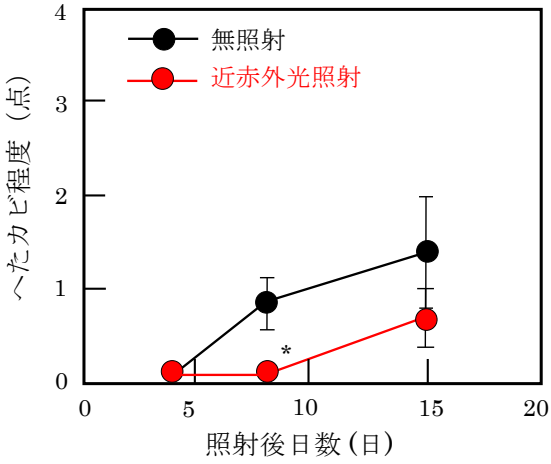


図５　へたの白カビに及ぼす近赤外光照射の影響
*は、無照射に対し 5%水準で有意差あり。縦棒は標準誤差（n=10～20）

写真６　へたが変色した個体（左）およびへた部に白カビがはえた個体（右）

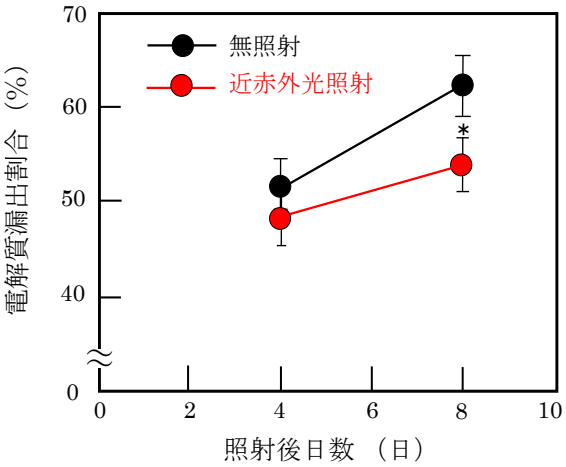


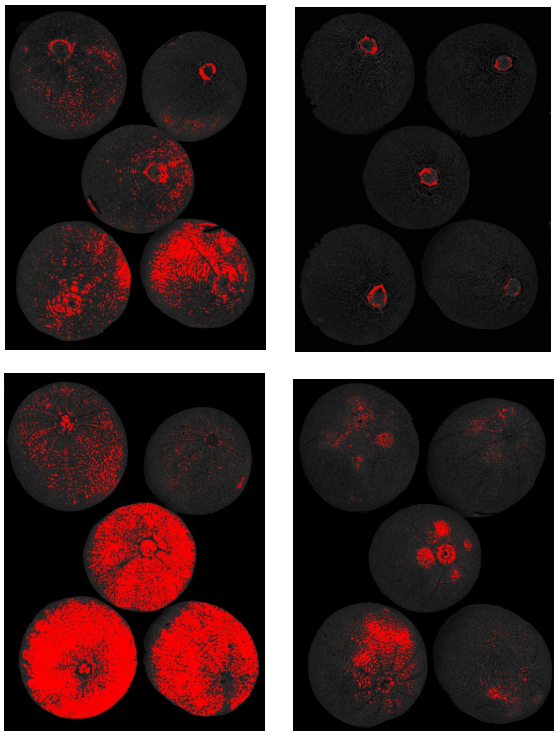
図 6　電解質漏出割合に及ぼす近赤外光照射の影響

*は、無照射に対し 5%水準で有意差あり。縦棒は標準誤差（n=5）

無照射　　近赤外光照射

写真 7　果皮の黄化に及ぼす近赤外光照射の影響

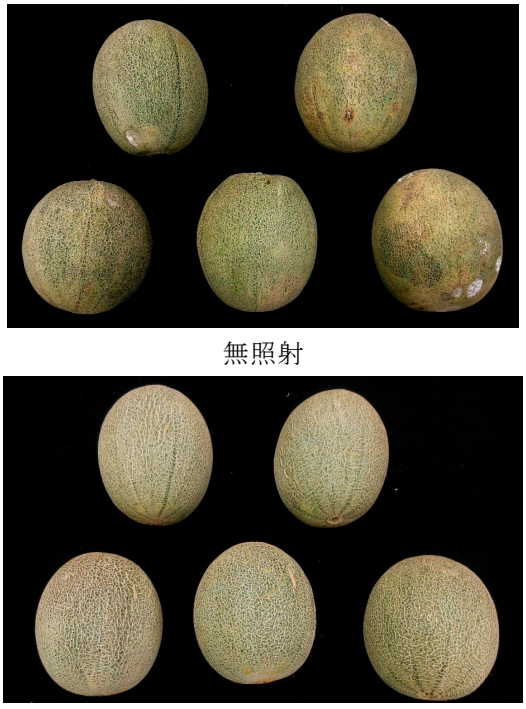
（初期熟度：無照射：34.4、照射、：35.1）



無照射　　近赤外光照射

図 7　果皮の黄化に及ぼす近赤外光照射の影響

画像解析ソフト「imageJ」により黄色を抽出した。



無照射

近赤外光照射

写真 8　果皮のカビの発生に及ぼす近赤外光照射の影響

（照射 15 日後、初期熟度：50 台のメロンを使用）

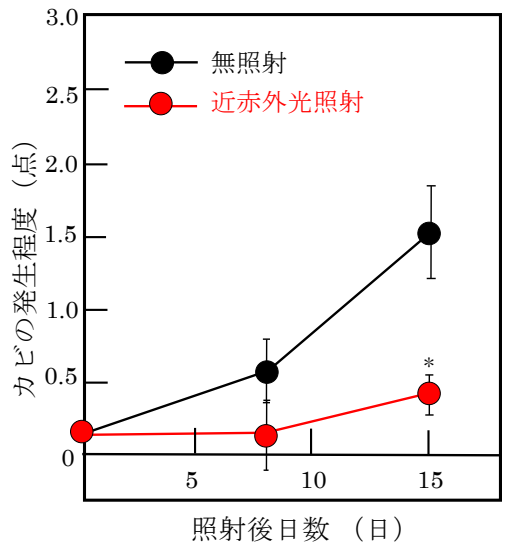


図 8　果皮のカビ発生に及ぼす近赤外光照射の影響

*は、無照射に対し 5%水準で有意差あり。縦棒は標準誤差（n=10～15）

4. まとめ

近赤外光照射を利用した鮮度保持技術「iR フレッシュ®」は、これまでに様々な青果物においてしおれやカビ・腐敗などの抑制効果があることが分っている他、輸送中の衝撃による傷みの軽減効果があることが分っている。本研究では、収穫後の青森県産メロン「優香」「タカミ」の 2 品種について照射後輸送し鮮度保持効果について検証した。その結果、輸送中の傷みを軽減する効果があることが分った他、貯蔵中の老化や果皮の黄化を抑制できることが明らかになった。「物流の 2024 年度問題」による輸送の遅れや停滞が懸念される中、今後この技術の活用は有効であると考えられる。なお、青森県の JA ごしょつがる様ではこの試験結果を受け、2024 年 7 月に選果ラインに鮮度保持用近赤外光照射装置（商品名「Fkeep®」三井金属計測機工㈱製）を導入する予定である。

［謝辞］

本研究は、四国電力㈱新規事業部様より委託を受け実施した。また、青森県での農業関係者との調整および照射や輸送試験では四国電力㈱再生可能エネルギー部様にご尽力頂いた。ご協力いただいた関係各位に深く感謝いたします。

［参考文献］

1）Hada-Kozuki, A.et.al.「Effect of postharvest short-term radiation of near infrared light on transpiration of lettuce leaf」Postharvest Biol. Technol.108:78-85 (2015)
2）高附（秦）亜矢子ら：「近赤外光照射が収穫後のレタスの蒸散に及ぼす影響」, 園学研,11（別 2），305（2012）
3）高附（秦）亜矢子ら：「収穫後の近赤外光照射が数種野菜の蒸散、気孔開閉および活性酸素生成に及ぼす影響」, 園学研,15（別 2），305（2016）
4）Hada A. “iR Fresh TM”, a technology for maintaining freshness of fruits and vegetables after harvest by irradiating with Near-Infrared Light. OPTICS & PHOTONICS International Congress(OPIC).Invited.(2024)
5）農業技術体系，果樹編，370（5）27
6）垣渕和正ら：「数種柑橘類果実の収穫後における腐敗果発生と果皮色に及ぼす近赤外光照射の影響」日本生物環境工学会,40-41（2017）
7）垣渕和正ら：「選果時の近赤外光照射がウンシュウミカンの果実品質に及ぼす影響」園学研,17（別 2），338（2018）
8）印南亨哉．：「近赤外光処理による鮮度保持技術「iR フレッシュ」，ホクレン「アグリポート」vol.28，（2020）
9）Hada A.et.al. The 4th Asian Horticultural Congress(AHC). Effect of near-infrared light irradiation on growth and fruit quality of cherry tomatoes under cultivation. (2023).
10）秦亜矢子ら：「収穫後の近赤外光照射がイチゴの果実品質に及ぼす影響」，園学研,20（別 2），203（2021）
11）山陽新聞．「ピオーネの鮮度保持　JA 晴れの国岡山　新見 2 選果場」．（2023）
12）高知県農業技術センターニュース「収穫後の近赤外光照射がナス果実の品質に及ぼす影響」第 84 号（2016）
13）前澤重禮・秋元浩一：「キュウリ果実の電気伝導度と低温障害の関係」, 農業施設 27 巻 3 号，12，149-154（1996）
14）多々良，泉ら：「輸送過程で発生する振動がイ

チゴの輸送過程で発生する振動がイチゴの呼吸速度および品質に及ぼす影響」日食保存誌, 25，1，15-20（1999）
15）秦亜矢子ら：「近赤外光照射がモモ‘清水白桃’の果実品質およびホモプシス腐敗病に及ぼす影響」，園学研, 23（別 1），210（2024）
16）秦亜矢子ら：「近赤外光照射がレタス幼苗の PAL と抗酸化活性に及ぼす影響」，園学研,18（別 1），192（2018）
17）秦亜矢子ら：「近赤外光照射がウンシュウミカンの PAL と抗酸化活性に及ぼす影響」，園学研,18（別 2），279（2019）