ブラックライト蛍光ランプの照射がイチゴ果実の着色および果実硬度に及ぼす影響

東尾久雄^{1*}・廣野久子²・佐藤文生¹・徳田進一¹・浦上敦子¹

¹ 農業・食品産業技術総合研究機構野菜茶業研究所 305-8666 つくば市観音台 3-1-1

² 農業・食品産業技術総合研究機構野菜茶業研究所 428-8501 島田市金谷 2769

Effect of Irradiation with Black Light Fluorescent Lamp on Coloration and Hardness of Strawberry Fruits

Hisao Higashio^{1*}, Hisako Hirono², Fumio Sato¹, Shinichi Tokuda¹ and Atsuko Uragami¹

¹National Institute of Vegetables and Tea Science, 3-1-1 Kannondai, Tsukuba, Ibaraki 305-8666

²National Institute of Vegetables and Tea Science, 2769 Kanaya, Shimada, Shizuoka 428-8501

Abstract

The effect of irradiation by black light fluorescent lamp on the coloration and hardness of detached strawberry fruits was studied. Only the coloring of fruits (var. Toyonoka) that had started to pigment was accelerated by lamp irradiation. Maintaining the irradiation distance and ambient temperature after treatment was very important to obtain the maximum effect, and the action of lamps was restricted to the irradiated parts. The accelerating effect of a lamp on coloration was observed in all 3 of other varieties examined, and in some varieties, the level of anthocyanin concentration in fruits was greater than that in ripening stage. However, the lamp did not affect the hardness of fruits.

Key Words : anthocyanin, postharvest, UV

キーワード : アントシアニン, 紫外線, 収穫後

緒 言

イチゴ果実は成熟とともに、果実の先端より着色し始める。果実糖度とともに着色は重要なイチゴの品質構成要素となっており、イチゴ果実の着色と生育環境要因との関係を明らかにする研究が行われている（伏原・高尾, 1989, 1991）。特に、冬季の低温・寡日照は果実の着色不良を引き起こすことから、その改善のための様々な生産技術の開発が進められた。その中で、生育温度がイチゴ果実の着色において最も重要な環境要因であること、さらに光環境条件、特に自然光に含まれる紫外線が促進的に作用していることが明らかにされている（前川, 1992a, b; 吉村, 1995）。著者らも収穫後のイチゴ‘女峰’果実に市販のブラックライト蛍光ランプで照射すると、①果実の着色が促進されること、②着色促進には24時間程度の照射時間が必要であること、③着色促進効果はブラックライト蛍光ランプから放射される352 nm付近の紫外線の作用によること、を明らかにした（Higashio ら, 2005）。しかし、このブラックライト蛍光ランプの照射によるイチゴ果実の着色促進作用を生産・流通の現場で利用するに当たっては、さらに詳細な照射条件、紫外線の生理作用を明らかにする必要がある。

一方、イチゴ果実は風味や食味の関係から、ある程度着色が進んだ状態で収穫・出荷されている。しかし、果実の着色が進行すると果実が柔らかくなり、物理的損傷を受けやすくなる。このため、イチゴ果実の消費拡大に向け、着色がある程度進んでいても硬い果実供給に対する強い要望がある。

そこで、本研究においては、先の報告（Higashio ら, 2005）で顕著な着色促進効果が認められたブラックライト蛍光ランプの照射による高品質イチゴ果実の生産・流通技術の開発に寄与する知見を得るため、さらに果実の着色促進と照射条件（熟度、照射距離、処理温度）、品種間差異および果実硬度に及ぼす照射の影響を検討した。

材料および方法

1. 供試材料

供試したいずれのイチゴ果実も、2005年1～3月に野菜茶業研究所内（茨城県つくば市）のハウス（夜温8℃以上に加温）で栽培し、試験当日の朝に収穫し直ちに実験に供した。果実は着色程度の異なる果実を一斉収穫し、目視により果実表面の着色程度を基に4段階（熟度1：着色開始、熟度2：1/3着色、熟度3：1/2着色、熟度4：ほぼ全面着色）に分類した。1処理当たり各熟度の果実を4個体、計16個体を供試した。なお、1日の処理能力が最大2処理程度であることから同一目的の試験期間は数週間となり、そ

れぞれの処理果実の収穫日は異なった。

2. ブラックライト蛍光ランプによる照射と処理後における果実の保管方法

通常、果実へのブラックライト蛍光ランプ FL20S・BLB（ピーク波長 352 nm）の照射は、20℃ に設定したインキュベーター（サンヨー、MIR-553、容量：約 406 L）内において、果実表面より 22 cm の高さに蛍光ランプ 4 本を設置し、黒布を敷いたステンレストレイ上に並べた果実に行った。イチゴ果実では日光の当たる果実面（日表面）と当たらない果実面（日裏面）で着色程度が大きく異なるため、常に日裏面に対して照射した。また、イチゴ果実の乾燥を避けるため、処理終了後直ちに果実を並べたトレイを厚さ 0.03 mm のポリエチレン袋に包み、20℃ 暗黒で保管した。なお、対照は蛍光ランプ照射時間と同時間、無包装で 20℃ 暗黒にイチゴ果実を保管した。

3. アントシアニン含量および果実硬度の測定

イチゴ果実のアントシアニンは果実を日表面側と日裏面側（蛍光ランプ照射面）に果実中央より 2 分割し、通常は蛍光ランプを照射した照射面側部をカッターナイフで裁断し、室温にて 5% ギ酸溶液中に一晩浸漬して抽出した。その後、ろ紙（No. 2、アドバンテック）でろ過して得たろ液の 530 nm における吸光度を分光光度計（島津、GDU-30C）で計測し、シアニジン 3- グルコシドのモル吸光係数より濃度を算出し、生重 100 g に換算して含量を表示した（日本食品科学工学会 新・食品分析法編集委員会、1996）。

果実硬度はアントシアニン分析抽出前の果実照射面側部を供試した。測定は硬度計（島津、TZTest-20N）を使って、径 3 mm のプランジャーを速度 50 mm・min⁻¹ で果実表面側より種子を避けて果実中央部に貫入させた時の最大応力（N）を計測した。

4. 試験の構成

本研究では、下記の 6 種類の試験を行った。

1) ブラックライト蛍光ランプの照射が異なる熟度の‘とよのか’果実の着色に及ぼす影響（試験 1）

一斉収穫し、着色程度により 4 種類に分類した‘とよのか’果実を収穫直後に 20℃ 下に置き、ブラックライト蛍光ランプを 24 時間照射した。その後、20℃ 暗黒に 24 時間保管し、それら果実に含まれるアントシアニン含量を測定した。

2) ブラックライト蛍光ランプの照射距離が‘とよのか’果実の着色に及ぼす影響（試験 2）

着色し始めた‘とよのか’果実を 20℃ 下に置き、ブラックライト蛍光ランプによる照射距離を 11, 22, 33, 44 cm と変えて 24 時間照射した。その後、20℃ 暗黒に 24 時間保管し、それら果実に含まれるアントシアニン含量を測定した。

3) ブラックライト蛍光ランプの処理時および処理後の温度条件が‘とよのか’果実の着色に及ぼす影響（試験 3）

予冷時における同時照射処理を想定し、着色し始めた‘とよのか’果実を 5 および 10℃ 下に置き、ブラックライト

蛍光ランプを 24 時間照射した。その後、20℃ に一定期間（5℃ 処理は 48 時間、10℃ 処理は 24 時間）暗黒条件で置いた果実、また、10℃ で処理した後も引き続き 10℃ で 24 時間暗黒に保管した果実に含まれるアントシアニン含量を測定した。

4) ブラックライト蛍光ランプの照射が非照射側面側の‘とよのか’果実の着色に及ぼす影響（試験 4）

一斉収穫し、着色程度により 4 種類に分類した果実に 20℃ にてブラックライト蛍光ランプを 24 時間照射した。その後、20℃ で 24 時間暗黒保管した果実の非照射面側部に含まれるアントシアニン含量を測定した。

5) ブラックライト蛍光ランプの照射による果実の着色促進効果と品種間差（試験 5）

イチゴの代表的な品種として‘さちのか’、‘女峰’、‘とちおとめ’の着色程度が異なる 4 種類の果実を 20℃ 下に置き、ブラックライト蛍光ランプを 24 時間照射した。その後、20℃ 暗黒下に 24 時間保管した果実に含まれるアントシアニン含量を測定した。

6) ブラックライト蛍光ランプの照射が‘とよのか’果実の果実硬度に及ぼす影響（試験 6）

着色程度が異なる 4 種類の‘とよのか’果実を用いて、20℃ 下に置き、ブラックライト蛍光ランプを 24 時間照射した。その後、20℃ 暗黒下に 24 時間保管した果実の硬度を測定した。

結 果

1. ブラックライト蛍光ランプの照射が異なる熟度の‘とよのか’果実の着色に及ぼす影響

第 1 図は着色程度の異なる‘とよのか’果実にブラックライト蛍光ランプを 24 時間照射し、照射終了 24 時間後に照射側の果実半分に含まれるアントシアニン含量を測定した結果である。ブラックライト蛍光ランプを照射した場合には、熟度 1 の果実においてアントシアニン含量が対照よりも多くなり、照射による果実着色の促進効果が認められた。しかし、それよりも着色が進んだ熟度 2, 3 および 4 の果実についてはアントシアニン含量に対照と有意な差はなく、照射効果が認められなかった。なお、ブラックライト蛍光ランプの照射で果実の一部に果実表面が一部白くなるヤケと思われる障害が発生した。また、蛍光ランプを照射した時のアントシアニン含量は着色が進んだ熟度 4 の対照の水準を超えることはなかった。

2. ブラックライト蛍光ランプの照射距離が‘とよのか’果実の着色に及ぼす影響

果実へのブラックライト蛍光ランプ照射の着色促進効果を解析するため、照射距離を変えて蛍光ランプを照射した。その結果を第 2 図に示した。照射距離は 22 cm でアントシアニン含量が有意に多くなった。それよりも距離を長くしても着色促進効果はあまり変わらなかった。一方、照射による果実表面のヤケ症発生は距離 11 cm 処理で最も多く発生し、蛍

第1図 ブラックライト蛍光ランプの照射が異なる熟度の‘とよのか’果実着色に及ぼす影響

^z 蛍光ランプによる照射は果実から 22 cm の高さより 24 時間照射し、アントシアニンの抽出は照射処理後暗黒に 24 時間保管後に実施

^y 果実熟度は目視により果実表面の着色程度を基に 4 段階（熟度 1：着色開始，熟度 2：1/3 着色，熟度 3：1/2 着色，熟度 4：ほぼ全面着色）に分類する

^x **およびNSはt検定によりそれぞれの熟度の対照と比較して 1%水準で有意差ありおよび有意差なしを示す

^w nsはt検定により熟度 4 の対照と比較して有意差なしを示す

第2図 ブラックライト蛍光ランプの照射距離が‘とよのか’の果実着色に及ぼす影響

^z 蛍光ランプは熟度 1 の果実に 24 時間照射し、アントシアニンの抽出は照射終了後暗黒に 24 時間保管後に実施

^y 果実熟度に関しては第 1 図を参照

^x 異なる英小文字間には Tukey の多重検定により 5%水準で有意差ありを示す

光ランプから 33 cm 離れると障害は見られなくなった（データ略）。

3. ブラックライト蛍光ランプの処理時および処理後の温度条件が‘とよのか’果実の着色に及ぼす影響

第 3 図は照射時および照射後における温度環境の影響を調べた結果である。5℃で照射後に 20℃へ昇温させると、対照に比べて蛍光ランプを照射した果実でアントシアニン含量が多くなった。5℃で照射した果実のアントシアニン含量は 20℃での保管期間が 10℃の場合よりも 24 時間長くなるが、本試験における着色の進んだ熟度 4 の‘とよのか’果実に含まれるアントシアニン含量水準（第 1 図）より

第3図 ブラックライト蛍光ランプ照射時および照射後の温度が‘とよのか’の果実着色に及ぼす影響

^z 蛍光ランプは熟度 1 の果実に 22 cm の高さより 24 時間照射し、アントシアニンの抽出は各温度に所定の日数保管した後に実施する

^y 果実熟度に関しては第 1 図を参照

^x 「5℃→20℃ 48 時間」は 5℃で 24 時間処理し、その後 20℃暗黒に 48 時間保管し、「10℃→20℃ 24 時間」は 10℃で 24 時間処理し、その後 20℃暗黒に 24 時間保管し、「10℃→10℃ 24 時間」は 10℃で 24 時間処理し、その後 10℃暗黒に 24 時間保管したことを示す

^w 異なる英小文字間には Tukey の多重検定により 1%水準で有意差ありを示す

も高かった。また、照射後も引き続き低温に置かれた場合（10℃→10℃ 24 時間）には、蛍光ランプの照射による着色促進効果は認められなかった。

4. ブラックライト蛍光ランプの照射が非照射側面側の‘とよのか’果実の着色に及ぼす影響

ブラックライト蛍光ランプを照射した時の果実着色への影響が直接光線の当たる照射面だけに限定されるのか、あるいは果実全体の着色に影響及ぼすかどうかは興味のあるところである。第 4 図は着色程度の異なる果実に蛍光ランプを照射した時の非照射面側の着色への影響を調べた結果である。いずれの熟度の果実においても、暗黒に置いた対照の果実に含まれるアントシアニン含量との間に統計的に有意な差はなかった。

5. ブラックライト蛍光ランプの照射による果実の着色促進効果と品種間差

イチゴ果実のアントシアニン組成および含量は品種間で相違がある。そこで、‘さちのか’、‘女峰’、‘とちおとめ’の異なる熟度の果実を用いて、ブラックライト蛍光ランプの照射による果実の着色への影響を調べた。その結果を第 5 図に示した。‘女峰’では熟度 1, 2 および 3 果実における照射で、‘とちおとめ’では熟度 1 および 2 果実における照射で、‘さちのか’では熟度 2 果実における照射で、対照よりもアントシアニン含量が多くなり、着色促進効果が認められた。しかし、その他の熟度に対する照射ではアントシアニン含量が対照と変わらず、有意な着色促進効果はみられなかった。なお、‘さちのか’は蛍光ランプを照射して着色が促進された場合でも、ほぼ全面着色した熟度 4 の果

第4図 ブラックライト蛍光ランプによる照射が異なる熟度の‘とよのか’果実の非照射側面（日表面）側の着色に及ぼす影響

^z 蛍光ランプは熟度1の果実に24時間照射し、非照射面部分からのアントシアニンの抽出は照射終了後暗黒に24時間保管後に実施

^y 果実熟度に関しては第1図を参照

^x NSはt検定によりそれぞれの熟度の対照と比較して有意差なしを示す

第6図 ブラックライト蛍光ランプ照射が‘とよのか’果実の果実硬度に及ぼす影響

^z 蛍光ランプによる照射は果実から22 cmの高さより24時間照射し、アントシアニンの抽出は照射処理後暗黒に24時間保管後に実施

^y 果実熟度に関しては第1図を参照

^x NSはt検定によりそれぞれの熟度の対照と比較して有意差なしを示す

第5図 ブラックライト蛍光ランプの照射が‘さちのか’、‘とちおとめ’および‘女峰’の果実着色に及ぼす影響

^z 蛍光ランプによる照射は果実から22 cmの高さより24時間照射し、アントシアニンの抽出は照射処理後暗黒に24時間保管後に実施

^y 果実熟度に関しては第1図を参照

^x **, * および NS は t 検定によりそれぞれの熟度の対照と比較して1%水準で有意差あり, 5%水準で有意差ありおよび有意差なしを示す

^w †, ‡ および ns は t 検定により熟度4の対照と比較して1%水準で有意差あり, 5%水準で有意差ありおよび有意差なしを示す

実に含まれるアントシアニン含量の水準を有意に超えることはなく、第1図に示した‘とよのか’と同様の結果が得られた。しかし、‘女峰’（熟度2および3）および‘とちおとめ’（熟度2）果実の場合に、蛍光ランプを照射すると熟度4の果実アントシアニン含量の水準よりも有意に高くなった。

6. ブラックライト蛍光ランプの照射が‘とよのか’果実の果実硬度に及ぼす影響

第6図はブラックライト蛍光ランプの照射が果実硬度に及ぼす影響を‘とよのか’果実に調べた結果である。果実の着色とともに果実硬度の低下する傾向がみられた。しかし、いずれの熟度の果実でもブラックライト蛍光ランプの照射区と対照との間に果実硬度の有意な差はみられなかった。

考 察

イチゴ果実の着色はアントシアニンの合成によるものである。紫外線が促進的に作用することは前川（1992b）および吉村（1995）の研究を通じて明らかにされている。当時の彼らの関心事は冬季の低温・寡日照において問題となっていた‘とよのか’果実の着色不良を改善する栽培技術の開発にあり、栽培中のイチゴ果実の着色に360 nm 付近の紫外線が関与していることを明らかにする成果を得ている。著者らは、イチゴ果実の着色に影響を及ぼす紫外線の作用特性解明をめざすとともに、紫外線が持つアントシアニン合成促進効果をイチゴ生産・流通における利用場面を明らかにすることを目的として本研究に取り組んだ。そして、今までにブラックライト蛍光ランプから放射される紫外線がイチゴ‘女峰’果実の着色を促進することを明らかにした（Higashio ら, 2005）。そこで、このブラックライト蛍光ランプによる着色促進作用を高品質イチゴの生産・流通へ導入するため、ブラックライト蛍光ランプの照射条件と着色促進効果の関係をさらに詳細に調査した。また、イチゴ果実の品質として重要な果実硬度への影響についても併せて調べた。

イチゴ果実のブラックライト蛍光ランプの照射による着色促進作用に関しては、目視により着色程度が明らかに異なる果実にランプを照射することで、着色し始めた熟度の果実にのみ処理が有効であることを確認した。また、照射後には

保管温度を 20°C とする必要があることが明らかとなった。前報 (Higashio ら, 2005) で著者らは着色促進に必要な照射時間が 24 時間程度必要であることも明らかにしている。

今回得られた試験結果と併せて考えると、ヤグルマソウの培養細胞およびリンゴ果皮のアントシアニン生合成に関する知見 (Dong ら, 1995; Kakegawa ら, 1991) と同様に、イチゴ果実においても照射した紫外線がアントシアニン生合成系に関わる酵素の発現促進を通じて果実の着色に影響を及ぼしていることが示唆された。また、その促進作用を及ぼす上で必要な紫外線量はそれほど多くないことが照射距離の試験結果から推察された。さらに、これまでに明らかにされている紫外線の植物組織への進入深度に関する知見 (Day ら, 1993) に加えて、紫外線ランプの照射を受けなかったイチゴ果実部分の着色が促進されなかったことから、紫外線が果実の着色に影響を及ぼす作用範囲はイチゴ果実の紫外線照射面に限定されると考えられた。他方、イチゴ果実のアントシアニン組成が品種で異なることが明らかにされている (Yoshida・Tamura, 2005)。そこで、紫外線による着色促進効果と品種との関係について調査した。その結果、‘とよのか’ や ‘さちのか’ の場合と異なり、‘女峰’ および ‘とちおとめ’ 果実の場合には、紫外線処理で熟度が進んだ時のアントシアニン含量の水準を超えることが認められた。このため、今回の試験においてはアントシアニン組成の解析を行っていないが、特定の種類のアントシアニン生合成系誘導に紫外線が関わっている可能性が高いと思われた。一方、果実硬度はブラックライト蛍光ランプの照射で影響を受けなかった。また、今回の試験ではイチゴ果実の品質で重要な糖や酸含量への影響を調べていないが、食味した範囲においては、着色が始まった果実にブラックライト蛍光ランプを照射した場合には着色程度の進み程度と異なり酸味が残るように思われた。これらのことを踏まえると、ブラックライト蛍光ランプ照射がイチゴ果実に及ぼす影響はアントシアニン発現のみに限定されると考えられた。

イチゴ果実は着色が進むと糖含量が増加し、酸含量が減少して、食味や風味が良好となる。このため、イチゴ果実は出来るだけ着色した状態で収穫・出荷されることが望まれる。しかし、その反面、着色の進んだ果実は収穫・調整・輸送時に物理的損傷を受けやすくなる。最近、地域農業振興の視点から各産地においてブランド品種の開発が進められている。これらの品種は消費者嗜好を反映して酸味が少なく、甘いものが多い。また、育成品種の中には、食味は良好であるものの着色程度が不十分であるために普及が進まないものも見受けられる。著者らの試験は促成栽培した既存品種について行って得た成果であるが、ブラックライト蛍光ランプによる着色促進がイチゴ果実の生産・流通上のこれらの問題を解決する有効な収穫後処理技術の一つであることを示唆している。低温での照射処理でも着色促進に有効であり、かつアントシアニン含量が着色の進んだ熟

度以上となること、予冷処理と組み合わせることが出来ること、果実が硬くて取り扱いが容易な着色開始の果実で処理効果があることなどから、本技術の実用化を目指した今後の研究展開が期待される。

摘 要

ブラックライト蛍光ランプによる照射がイチゴ果実の着色および果肉硬度に及ぼす影響を調べた。その結果、着色し始めた熟度の‘とよのか’果実にブラックライト蛍光ランプを照射すると果実の着色が促進された。ブラックライト蛍光ランプを照射し果実を着色促進するためには、一定の照射距離および処理後の保管温度を確保することが重要と思われた。また、照射による着色効果は照射面側部に限られた。品種が異なっても同様な着色促進効果はみられるが、供試品種の中には成熟時以上にアントシアニン含量が多くなるものがあった。一方、照射による果肉硬度への影響はみられなかった。

引用文献

- Day, A. T., G. Martin and T. C. Vogelmann. 1993. Penetration of UV-B radiation in foliage; evidence that the epidermis behaves as a non-uniform filter. *Plant, Cell and Environment* 16: 735–741.
- Dong, Y., D. Mitra and A. Kootstra. 1995. Postharvest stimulation of skin color in Royal Gala apple. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 120: 95–100.
- 伏原 肇・高尾宗昭. 1989. 促成イチゴの着色不良果に関する研究 (第 1 報) 果実の着色に及ぼす収穫後の温度の影響. 福岡農総試研報. B-9: 17–20.
- 伏原 肇・高尾宗昭. 1991. 促成イチゴの着色不良果に関する研究 (第 1 報) 着色不良果の発生に及ぼす環境条件の影響. 福岡農総試研報. B-11: 1–4.
- Higashio, H., H. Hirokane, F. Sato, S. Tokuda and A. Uragami. 2005. Effect of UV irradiation after the harvest on the content of flavonoid in vegetables. *Acta Hort.* 682: 1007–1012.
- Kakegawa, K., E. Hattori, K. Hoike and K. Takeda. 1991. Induction of anthocyanin synthesis and related enzyme activities in cell cultures of *Centaurea cyanus* by UV-light irradiation. *Phytochemistry* 30: 2271–2273.
- 前川寛之. 1992a. イチゴ品種 ‘とよのか’ の着色に関する研究 (第 1 報) 着色特性の品種間差異および ‘とよのか’ の果実成熟に伴う着色様相の変化. 奈良農試研報. 23: 13–20.
- 前川寛之. 1992b. イチゴ品種 ‘とよのか’ の着色に関する研究 (第 2 報) 果実日裏面の受光程度および受光波長分布と着色との関係. 奈良農試研報. 23: 21–26.
- 日本食品科学工学会 新・食品分析法編集委員会. 1996. 5-9-3 アントシアニン. p. 653–656. 新・食品分析法. 光琳. 東京.
- Yoshida, Y. and H. Tamura. 2005. Variation in concentration and composition of anthocyanins among strawberry cultivars. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 74: 36–41.
- 吉村昭信. 1995. イチゴ ‘とよのか’ の着色に及ぼす環境の影響 (第 1 報) 被覆資材の紫外線透過特性と果実の着色との関係. 奈良農試研報. 26: 31–38.