

【研究報告】

LED補光を用いた高品質ブドウ栽培技術の探索

中里一貴¹・森 直哉²・渡邊博之³

要 約

ブドウの品質は「重さ」「着色」「糖度」の3つの要因に大きく影響される。これらをよりよくするための夜間補光栽培の方法を明らかにすることを目的に、ピオーネを用いて実験を行った。本研究では夜間18時から24時まで野外圃場にて赤・青・赤青光の3種類のLED光源を、それぞれ葉の裏側、果実のみに時期を分けて補光し、さらに収穫後の果実に対し24時間のLED照射を行った。その結果、18時から24時までの夜間補光において、ブドウ果粒の生長第Ⅰ期からベレーゾン期にかけて、赤青光による葉の裏側からの補光で果粒の肥大効果が認められた。ベレーゾン期から収穫まで果房に対し赤色補光をすることで、果皮アントシアニン含量や果粒糖度の増加に期待できることが明らかとなった。

キーワード：アントシアニン、ピオーネ、圃場栽培、ポストハーベスト、夜間補光

緒言

現在、日本で栽培されている主要な果樹の1つにブドウがあり、特に山梨県や長野県などが産地として有名である。ブドウはフルーツとしてそのまま食されるだけでなく、ジュースやワインなどとして飲まれるなど私達の食生活に幅広く浸透している。ワインにおいては近年日本産のブドウだけで作られた日本ワインが注目され、2016年に世界最大規模のコンクールでプラチナ賞を受賞するなど海外から高い評価を受けるまでになった。また、ブドウの樹液を化粧水の原料として使用するなど食分野以外にも美容分野で活用されている。

ブドウの品質は主に「重さ」「着色」「糖度」の3つの要素によって決定される。品質を安定化するには、ブドウの生育環境を毎年同じように保つ必要がある。着果過多で糖度の上昇に抑制がかかる条件下になると着色の進行は著しく阻害され着色不良となる。また、着果過多は着色への影響が大きく、適時摘粒を行い管理する必要がある。

ブドウは栄養生長と生殖生長の2つのバランスが重要となる。ブドウの果粒成長には大きく分けて4つのステージがあり、第Ⅰ期、第Ⅱ期、ベレーゾン期、第Ⅲ期

と分けることができる。第Ⅰ期は、果粒内の細胞分裂と肥大が盛んな時期を指す。この時期の摘粒によって果粒数を適切に制限する事で果粒あたりの細胞数が増加し、果粒肥大が促進される。第Ⅱ期は硬核期とも呼ばれ、一時的に種子の形成に養分が供給され、果粒の肥大が停滞する時期を指す。種子を形成しない無核栽培においても不明瞭ながらこの停滞期が存在する。ベレーゾン期は第Ⅱ期から第Ⅲ期に入る期間を指し、果粒の「軟化」・「糖含量の増加」・「酸含量の減少」・「アントシアニンの合成」など、果粒に大きな生理的変化が起こる(中川昌一, 1996)。また、栽培現場ではベレーゾン期は主に着色の開始と同じ意味合いを持つ。果粒の軟化は果肉の細胞膜を構成するペクチン質の変化によるもので、プロトペクチンが可溶性ペクチンへ変化し、ペクチン酸塩が消失することで果粒の軟化が起こる。第Ⅲ期は果粒に養水分が急激に蓄積し、果皮の着色や果汁中の酸含量の低下、糖含量の増加などが起こる時期を指す。

ブドウ果粒に含まれる糖は、多くがブドウ糖と果糖であり、ショ糖はほとんど含まれていないことが知られている。また、有機酸としてはリンゴ酸や酒石酸が多く含まれている。リンゴ酸の蓄積は第Ⅲ期の始めに最大となり、以降急激に減少し、酒石酸はⅠ期の後半から増加し、

¹ 玉川大学農学部生命化学科 東京都町田市玉川学園6-1-1

² 玉川大学学術研究所生物機能開発研究センター 東京都町田市玉川学園6-1-1

³ 玉川大学農学部先端食農学科 東京都町田市玉川学園6-1-1

責任著者：渡邊博之 watahiro@agr.tamagawa.ac.jp

第Ⅲ期に入るとリンゴ酸同様に急減することが判明している。また、ブドウの果粒において糖度と着色には関係性があり、一定の糖度以上にならないと着色が進行しないとされている。そのため、着色始めから糖の供給が十分にできる状態にすることが着色にとって重要な条件であり、特に巨峰のように着色しにくい品種はこの傾向が強い。

ブドウ栽培において光条件と温度条件は重要である。特に環境条件の中でも日照時間や気温などは年によって違うため、光条件と温度条件を毎年同じように保つことは難しい。特にこの2つの条件はブドウの着色に大きく影響を与える事が知られており、近年の地球温暖化による夜間温度の上昇や異常気象による日照不足などによって着色不良の問題が深刻になっている。

一般的にブドウの着色は昼夜間の温度差が激しくなるほど着色が促進され、昼夜間の温度差があまりないと着色が遅れる傾向にある。また、光が果房に当たらないと着色が進まない品種と果房に当たらなくても着色が進む品種がある。

このような問題に対し、現在様々な対策がされている。温度は温室栽培を用いることで制御することが可能である。しかし、温室栽培は施設整備や維持管理などにコストがかかり、初期投資分を何年かけて返済しなければならず、利益を出すには長い期間を要する。また、夏季には室温の上昇が問題となり露地栽培と比べ温度管理が必要となる。光条件については日中に補光し光強度を上げる方法と夜間に補光し、日照時間を多くする方法がある。近年、補光で使用される光源に発光ダイオード（以後LEDと記す）を使用する試みがされている。LEDは特定波長のみを照射することで、従来の補光機材に比べ消費電力が少なく、放熱が少ないのが利点である。そのため、ブドウの成長に適した波長をダイレクトに照射でき、従来の光源に比べ消費電量が少ないことからLEDを用いた補光栽培についての研究が進められている。

本研究では、実験1から実験3までの3つの実験を行い、各実験で目的を設定し研究を行った。実験1は開花後から日没後6時間、葉の裏側からの補光によって果粒肥大効果が得られるか検証を行った。実験2はベレーズン期から日没後6時間果房のみに補光を行い着色促進効果が得られるか検証を行った。実験3は、実験1、実験2と同じ個体から収穫した補光していない果実にLED光照射を行い、追熟効果が得られるか検証を行った。

材料および方法

1. 供試植物

本研究では、神奈川県相模原市の中里ぶどう園の圃場にある樹齢約20年のピオーネ (*Vitis vinifera* L. × *Vitis labrusca* L.) を用いた (図1)。



図1 圃場内樹齢約20年のピオーネ (左上) とピオーネ果実 (右下)

2. 使用光源

本研究では、株式会社大友製作所の太陽光補光シリーズ「小型樹脂LED」の赤色光、青色光、赤青混合光を用いた (以後ライン状LEDと記す)。図2に製品の写真、図3にピーク波長を示した。

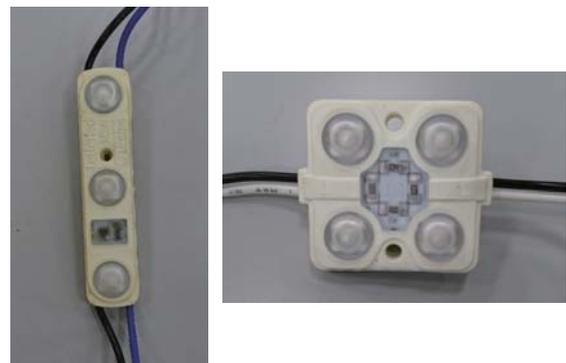


図2 赤色および青色光源 (左) 赤青混合光源 (右)

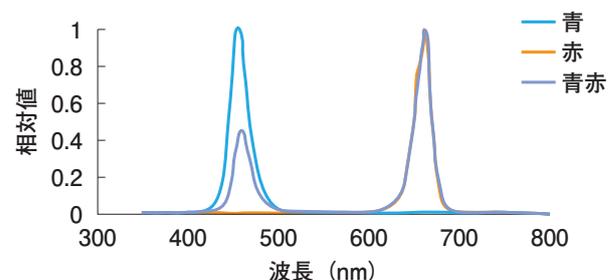


図3 ライン状LEDの出力スペクトル

ピーク波長は、それぞれ赤色光が660nm、青色光が460nmであった。赤青混合光は赤色光が660nm、青色光が460nmの混合光で、赤色光と青色光の混合比率は約3:1であった。

3. 実験1 果粒肥大化効果の検証

実験1は、先に述べた果粒成長の第1期（開花）に各ライン状LEDを試験樹の結果母枝と平行になるように15cm間隔で設置し、LED光が葉の裏側に照射されるようにブドウ棚に結束バンドを用いて固定した。図4から図6に各補光処理区の様子を示した。

各処理区の照射時間は18時から24時までの6時間行



図4 葉の裏側からの補光の様子（赤色光）

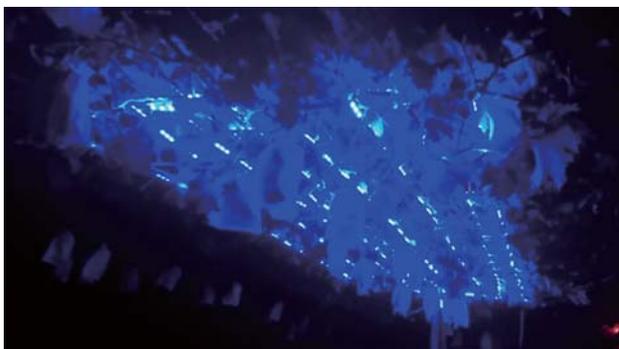


図5 葉の裏側からの補光の様子（青色光）



図6 葉の裏側からの補光の様子（赤青色光）

い、光強度は $50 \pm 10 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ の間になるように調整した。照射期間はブドウの果粒成長の第I期からベレーズン期までの50日間補光を行い、ベレーズン期以降から収穫までは全処理区太陽光のみで栽培した。また、ジベレリン処理は25ppmの濃度で2回行い、35粒から40粒の間になるように摘粒を行った。また、各処理区の果房10房を評価対象とし、補光開始後30日、58日、86日に各処理区の果房ごとに10粒の果直径をノギスを用いて測定した。収穫後、各処理区の果房ごとに15粒の果粒重量測定し、同時に糖度計を用いて糖度測定も行った。測定後、果皮のアントシアニン含量を測定するため果実と果皮に分け果皮を冷凍保存した。その後、果皮を液体窒素を用いて凍結粉碎し、0.1gをはかり取り、秤量した。秤量した果皮試料に1%塩酸メタノール9.9mlを加え攪拌した後、冷蔵庫で一晩抽出した。抽出後2500rpmで10分間遠心分離し、上澄みを検液に用いた。その後、分光光度計を用い530nmにおける吸光度を測定した。検量線の作成には標品としてmalvidin-3-glucoside chloride (oenin chloride)を用いて作成した。検量線の結果を図7に示した。測定で得られた吸光度から果皮1gあたりのアントシアニン含有量を算出した。

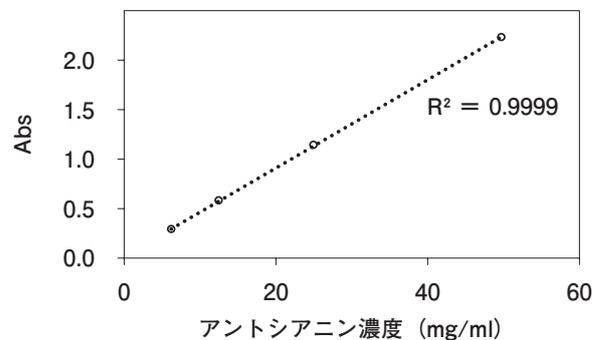


図7 アントシアニン定量用の検量線 (malvidin-3-glucoside chloride 当量)

4. 実験2 着色促進効果の検証

実験2では、開花期からベレーズン期までの60日間は全処理区太陽光のみで栽培し、ジベレリン処理や摘粒および摘果などの作業も実験1同様に行った。ベレーズン期になったのを確認した後、果房だけに夜間補光を行い、収穫までの40日間栽培を行った。図8から図10に各光処理区の様子を示した。

使用光源は、実験1と同様にライン状LEDを用い、果房袋の内側に、横側2つと下側1つのライン状LEDを装着し、袋の中から果実に対し補光を行った。補光時間は

実験1と同様に18時から24時までの6時間行い、光強度は $50 \pm 10 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ の間になるように調整した。測定は、果皮のアントシアニン含有量と果肉糖度について、実験1と同様の方法で行った。



図8 果房に対する補光の様子（赤色光）



図9 果房に対する補光の様子（青色光）



図10 果房に対する補光の様子（赤青色光）

5. 実験3 収穫後の追熟効果の検証

実験3は、玉川大学学術研究所 Future Sci Tech Lab (FSTラボ) の保冷庫で行った。同じブドウ樹から収穫した果房のうち、実験1および実験2で使用していない果房をFSTラボに運搬し、8℃の保冷庫内に1週間置いた後、1週間のLED光照射を行った。光源は実験1および実験2で用いたライン状LEDを用いた。光照射の様子

を図11に示した。

保冷庫内のメタルラックの棚板下に、ライン状LEDを結束バンドを用いて固定し、プラスチック段ボールで各段を遮光した。棚前面に暗幕を垂らして、棚前方からも下の段に光が漏れないように工夫した。そこに圃場で栽培されたピオーネを各光処理区に3房ずつ置き、光処理前と光処理後の果皮アントシアニン含有量および果肉糖度の変化を評価した。光照射時間は1週間毎日24時間行い、光強度は $50 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ に設定した。

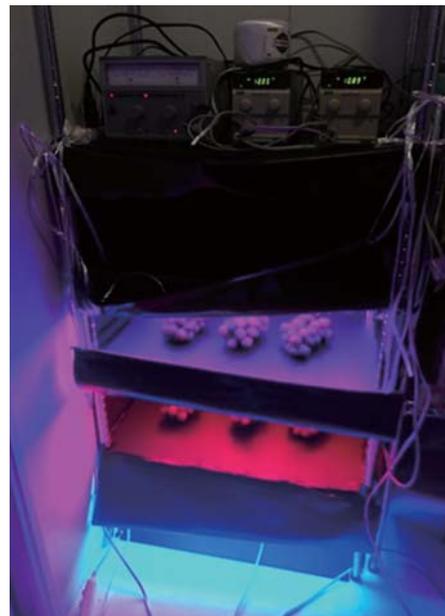


図11 収穫後の果房に対する光照射の様子
(最下段) 青色光処理区、(2段目) 赤色光処理区、(3段目) 赤青色光処理区 (最上段) 対照区；暗黒条件

結果

1. 実験1 果粒肥大効果の検証

1-1. 果粒径

図12から図14に、補光開始から30、58、86日後の果粒径を示した。Rは赤色光処理区、Bは青色光処理区、RBは赤青色光処理区、NTは無処理区 (not-treated) を示す。TukeyのHSD検定を行い、異なる英小文字間では5%水準で有意差があることを示した。

補光開始30日後の時点の果粒径は、赤青処理区で2.31cmと青色光処理区や無処理区と比べて有意に果粒径が高かった。一方、赤色光処理区と赤青色光処理区の間で有意な差は認められなかった。

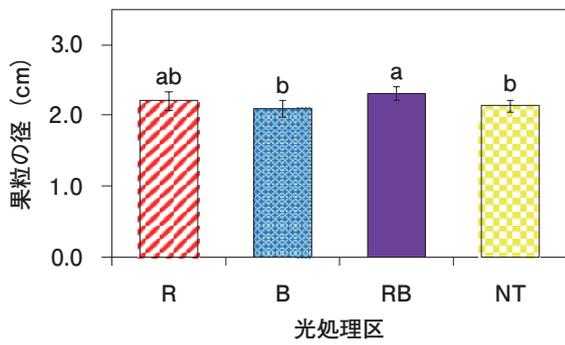


図12 補光開始30日後の果粒径 (n=10)

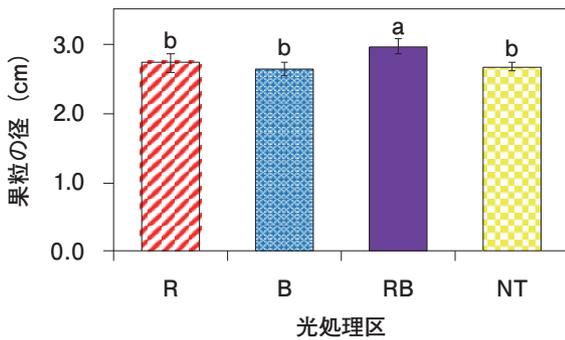


図13 補光開始58日後の果粒径 (n=10)

補光開始58日後の時点の果粒径は、赤青色光処理区で2.97cmとなり、他の処理区に比べ有意に果粒径が高かった。

補光開始86日後の果粒径は、赤青色光処理区で3.07cmと他の処理区に比べ有意に果粒径が高かった。他の処理区においては、赤色光処理区2.80cm、青色光処理区2.79cm、無処理区2.73cmであり、有意な差は見られなかった。この結果より、果粒径は赤青色光の補光で最も大きくなり、補光開始してからおよそ1か月から2か月で赤青色光処理による効果が表れ、他の処理区は無処理区とあまり変わらないことが明らかとなった。

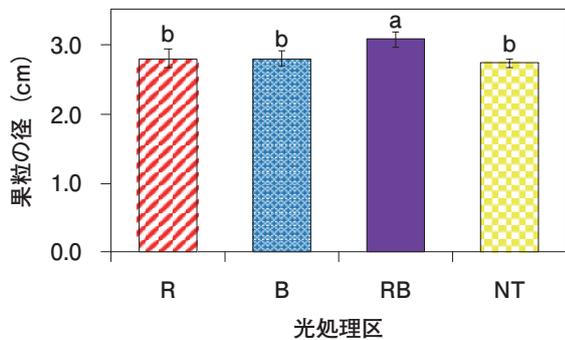


図14 補光開始86日後の果粒径 (n=10)

次に、補光開始から30日後の時点からベレーズン期まで2週間間隔で果房の写真撮影を行い、赤色光処理区、赤青光処理区、無処理区の各試験区の果房1房の様子を図15から図17に示した。

補光開始30日後の時点では、全処理区で着色は見られず、45日後の時点から赤色光処理区と無処理区で着色が観察され始めた。さらに、60日後の時点では赤色光処理区が最も着色が進み、赤青光処理が最も着色が遅れる結果となった。



図15 補光開始30日後の果房

(左) 赤色光処理区、(中) 赤青光処理区、(右) 無処理区。



図16 補光開始45日後の果房

(左) 赤色光処理区、(中) 赤青光処理区、(右) 無処理区。



図17 補光開始60日後の果房

(左) 赤色光処理区、(中) 赤青光処理区、(右) 無処理区。

1-2. 果粒重量

図18に収穫後の果粒重量を示した。Rは赤色光処理区、Bは青色光処理区、RBは赤青色光処理区、NTは無

処理区を示す。TukeyのHSD検定を行い、異なる英小文字間では5%水準で有意差があることを示した。

収穫後の果実重量は、赤青光処理区で16.7gとなり、他の処理区と比べ有意に高かった。他の処理区においては赤色光処理区で13.1g、青色光処理区で12.1g、無処理区で12.2gとなり、有意な差は見られなかった。また、果粒糖度は全処理区でほぼ同じ数値を示し、有意な差は認められなかった（データ省略）。

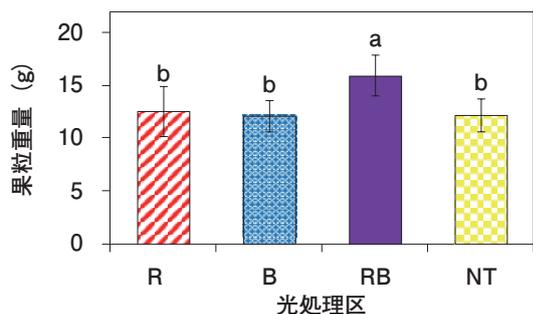


図18 実験1の収穫後の果粒重量 (n = 15 ~ 53)

1-3. アントシアニン含量

図19に実験1の収穫後の果皮のアントシアニン含量を示した。アントシアニンの測定は、各光処理区の果房ごとに測定し、1処理区あたり10房の平均として表した。収穫後の果皮アントシアニン含量は、赤色光処理区で27.4mg/gとなり最も高く、赤青色光処理区で13.5mg/gとなり最も低かった。また、赤色光処理区と青色光処理区の2処理区が他の処理区よりも有意に果皮アントシアニン含量が多いことが判明した。

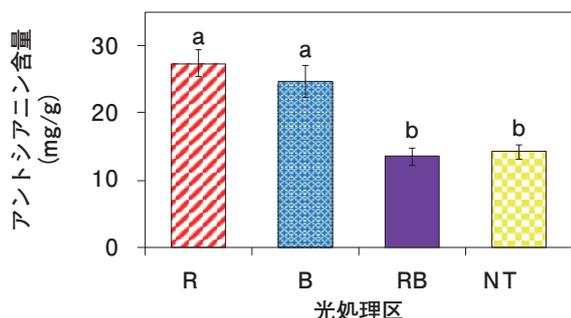


図19 実験1の収穫後の果皮アントシアニン含量 (n = 10)

2. 実験2 着色促進効果の検証

2-1. 果粒糖度

図20に実験2の収穫後の果粒糖度をBrix値で示した。

Rは赤色光処理区、Bは青色光処理区、RBは赤青色光処理区、NTは無処理区を示す。TukeyのHSD検定を行い、異なる英小文字間では5%水準で有意差があることを示した。

実験2の収穫後の果粒糖度は赤色光処理区で20.0度と最も高く、赤青色光処理区で17.8度と最も低く、その間で有意差が認められた。また、青色光処理区と無処理区は、赤色光処理区と赤青色光処理区の間の中間的な値を示した。

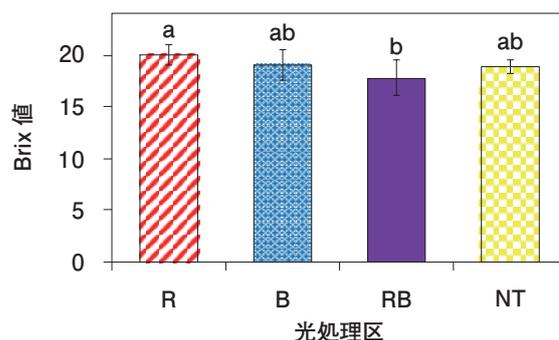


図20 実験2の収穫後の果粒糖度 (n = 9 ~ 10)

2-2. アントシアニン含量

図21に実験2の収穫後の果皮アントシアニン含量を示した。光処理区ごとにサンプリングした果粒10粒を混合し、10粒の平均値としてアントシアニンの含量を光処理区ごとに比較した。

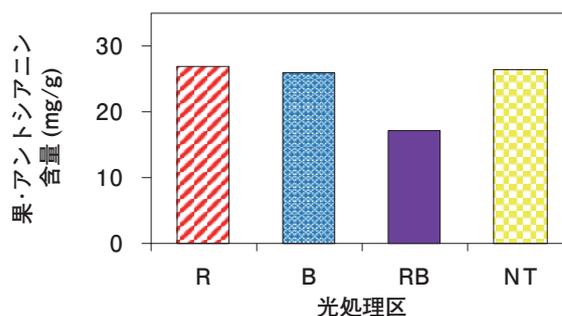


図21 実験2の収穫後の果皮アントシアニン含量

上記で述べたように測定サンプル数n=1となってしまうため、有意差検定はできなかったが、図21に示したように赤青色光処理区でアントシアニン含量が減少する傾向が示された。

3. 実験3 追熟効果の検証

3-1. 果粒糖度

図22に光処理前と後の果粒糖度をBrix値で示した。Rは赤色処理区、Bは青色処理区、RBは赤青処理区、NTは無処理区を示す。

粒糖度は赤色光処理区で21.2度、青色光処理区で20.4度、赤青色光処理区で21.8度、無処理区で20.8度まで増加し、全光処理区とも1~2度の糖度増加が認められた。しかし、光処理区間で有意な差は認められなかった。

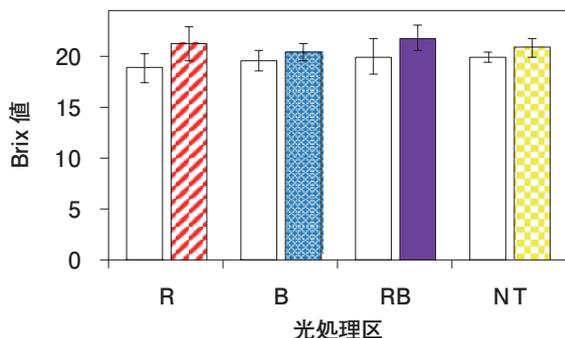


図22 光照射前と照射後の果粒糖度 (n=10)

白色カラムは光処理前を示し、光処理後を色付きカラムで示した

3-2. アントシアニン含量

図23に光照射前と光照射前後の果皮アントシアニン含量を示した。Rは赤色光処理区、Bは青色光処理区、RBは赤青色光処理区、NTは無処理区を示す。光処理区ごとに9粒を混合し、アントシアニン含量を測定した。各光試験区ごとにBrix糖度計を用いて、各光試験区ごとに10回の測定を行った。

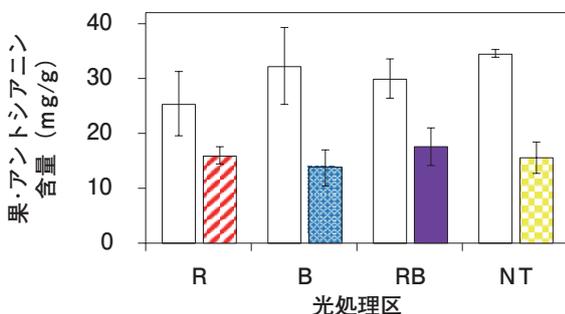


図23 光照射前と光照射後の果皮アントシアニン含量 (n=10)

白色カラムは光処理前を示し、光処理後を色付きカラムで示した

全ての光処理区において光処理後に果皮アントシアニン

ン含量が減少していることが判明した。また、減少率については赤色処理区で37.2%と最も低く、青色処理区で57.5%と最も高かった。赤青色光処理区は41.4%、無処理区は55.1%であり、赤色光処理区と青色光処理区の減少率の中間的な値を示した。この結果より、ブドウ果皮のアントシアニンは、周波数が高く、エネルギーレベルの高い青色光照射で分解が進み、逆に周波数が低く、エネルギーレベルが低い赤色光の照射ではあまり分解が進まないことが示唆された。

考察

1. 実験1 果粒肥大効果の検証

1-1. 果粒径および果粒重量

葉の裏側の夜間補光の結果について、最初に果粒径および果粒重量について考察した。補光開始から30日の時点での果粒径については、赤青色光処理区が青色光処理区および無処理区と比較して有意に大きくなっていた。また、補光開始から86日後の果粒径においても赤青色光処理区のもは他の光処理区と比べ、果粒径が大きかった。1985年に松井らが‘デラウェア’の葉に¹⁴C₂を施用し、6、24、72時間後、¹⁴C-物質が各器官にどのような割合で分配されているか、さらに、¹⁴C₂施用6時間後にそれが糖、有機酸、アミノ酸にどのような割合で分配されているのか調査した(松井弘之ら、1985)。彼らの報告では果肉中に転流、分配された可溶性¹⁴C-物質の量は果粒生長の盛んな第I期と糖の蓄積期である第III期で増加し、不溶性物質中の¹⁴Cは第I期に比較的多く認められたと報告している。

本研究における実験Iの補光期間はブドウの果粒生長の第I期からベレーゾン期にあたり、彼らの報告にある果粒に多くの光合成産物が果粒に転流する第I期も含まれている。そのため、今回の実験では光合成産物が多く果粒に転流する時期である第I期に夜間補光をしたことで、光合成産物が多く果粒に転流し、果粒径の肥大が起こったことが示唆された。また、光質においては赤や青の単色光では無処理区と比べ果粒の肥大に差が見られず、赤青混合光による照射で果粒の有意な肥大が起こっていたことから、赤青混合光による夜間補光は効果的に光合成産物を果粒に転流させる、あるいは光合成産物の生産を増加させている可能性が示された。

1-2. アントシアニン含量

葉の裏側からの補光による果皮のアントシアニン含量

については、図15から図17と図19に示したように、外見上も赤色光処理区のもの着色が良く、写真は示していないが青色光処理区のものも有意に果皮のアントシアニン含量が高かった。

2017年にLiらは日中のブドウの葉の裏側からのLED補光効果について研究し、青色光と赤青混合光がブドウの葉による光の使用を促進し得ることを示した。また、赤青複合光と赤色光を補光したブドウは対照区よりも高い果実重量を有し、青色光と赤青複合光を当てたブドウは果実の糖酸比やアントシアニン濃度が改善されたと報告している (C. X. Li *et al.*, 2017)。

また、Rodyoungらは2016年に異なる栽培期間のブドウにおけるアブシジン酸代謝およびアントシアニン合成に対する夜間補光のLED照射の影響について‘巨峰’を用いて日の出3時間と日没後3時間の補光を行い、アントシアニン濃度は青色LED処理のものが最も高く、次いで赤色LED処理のものが高かったと報告している (Rodyoung, A., *et al.*, 2016)。両者の報告から日中補光では青色光と赤青混合光、夜間では赤色光および青色光でアントシアニンの含量や濃度が増加すると推測される。

本研究の補光時間は18時から24時まで夜間6時間であり、Rodyoungらの日没後3時間補光と時間帯が一致する部分があり、Rodyoungらの補光は本研究同様に明期延長が図られている。また、Liらは葉の表側と裏側により光の利用方法が異なり、葉の表側からの青色補光は光合成速度を促進し、葉の裏側では、特に赤色光補光によって葉の光合成速度がより明確に改善され、赤青混合光の影響は中程度であったとも報告している。

本研究の結果では無処理区と比較して赤色光処理区と青色光処理区の2処理区でアントシアニンの増加が認められた。この結果はLiらとRodyoungらの両者の報告と一致している。そのため、夜間の葉の裏側からの赤色光および青色光補光はアントシアニン含量を増加させるのに効果があると判断された。

2. 実験2 着色促進効果の検証

2-1. 果粒糖度

果房に対する夜間補光の結果について、収穫後の果粒糖度は赤色光処理区で20.0度と最も高く、赤青色光処理区で17.8度と最も低かった。

Rodyoungらは果房に対する補光による果粒糖度への影響について報告しており (Rodyoung, A., *et al.*, 2016)、『巨峰』を用いた実験で開花後25日から99日の収穫まで日の出3時間、日没後3時間の補光を行い、開花後99日

の時点で果房のみに照射したLED赤色光またはLED青色光が、無処理区やブドウの葉への光処理に比較して、ブドウの果肉中の糖濃度を増加させる効果があると報告している。

本実験において果房に対する赤色補光は、無処理区との間に有意差は見られなかったものの無処理区より果粒糖度が高い傾向にあった。このことから、果粒糖度の増加を目的とする夜間補光の方法としては、ベレーゾン期から赤色光による補光を開始することが効果的である可能性が示された。

2-2. アントシアニン含量

果実に対する夜間補光による果皮アントシアニン含量への影響については有意差が確認できなかったが、赤色光処理区と青色光処理区のもの無処理区よりもアントシアニン含有量が高くなる傾向が示された。

2014年に菅谷は、巨峰の果実に対する青色補光で着色促進が見込める一方、赤色補光では着色が阻害されると報告している (菅谷純子, 2014)。

また、Rodyoungらは果房に対する青色および赤色LED処理したものの総アントシアニン濃度は未処理区よりも有意に高く、満開後67日では赤色よりも青色LED処理のものが高かったと報告しており、赤色光も着色を促すと報告している (Rodyoung, A., *et al.*, 2016)。

両者の実験において果実への照射方法に大きな差はないにも関わらず結果が異なっていた。両者間の実験条件の差異は、照射時間および時期であったことから、概日リズムが影響している可能性が考えられた。菅谷の実験では5時30分から18時30分までの日中補光だったのに対し、Rodyoungらの実験は日の出前3時間と日没後3時間の夜間補光であった。そのため、日中補光では青色による果房への補光が効果的であり、日が暮れるにつれて赤色光の利用率が上がっているのではないかと考えられた。

また、本実験では18時から24時までの補光を行い日没後からの補光によって赤色光処理区および青色光処理区で無処理区と同等かそれ以上のアントシアニン含有量がある傾向にあった。以上の結果から、日没後からアントシアニン合成に赤色光の要求性が高まるのではないかと推測された。

3. 実験3 追熟効果の検証

3-1. 果粒糖度

収穫後の果房に対し追熟目的で8℃の低温条件下で24時間の光照射を1週間行った結果、光処理前より光処理

後で1～2度の糖度増加が認められた。しかし、処理区間で有意差は認められなかった。

果実の追熟実験の報告として1986年に望月らがブドウ果実4品種（巨峰、ピオーネ、マスカット、ネオマスカット）中に含まれる有機酸と糖が、低温（5±1℃）貯蔵中にどのように変化をするかについて、高速液体クロマトグラフィーにより測定した。その結果、巨峰ピオーネおよびマスカットでは全糖量にはほとんど変化なく、ネオマスカットでは減少の傾向が認められたと報告している（望月てる，代崎敏晴，1986）。

本実験でも各処理区で光処理前より光処理後のものが全処理区で果粒糖度が増加していたことから、望月らが抗告したような追熟による糖度の低下は起きづらいと考えられた。また、無処理条件でも糖度の上昇が観察されたことから、この実験で観察された糖度の上昇は、低温下での貯蔵が影響している可能性が示唆された。

3-2. アントシアニン含量

収穫後の果房に対し追熟目的で24時間補光を1週間行った結果、アントシアニン含量は光処理前より光処理後の方が顕著に減少するという結果となった。

一般的に糖度が高いブドウほど着色が良くなる傾向があり、2015年に宇土らはピオーネについて‘巨峰’と同様に、低糖度の果房において着色がばらつき、高糖度の果房で着色が良好になる傾向が見られたと報告している（宇土幸伸ら，2015）。先に述べたように今回の実験における果粒糖度は、光処理前より光処理後で全処理区1～2度の糖度増加が見られており、宇土らの報告通りであれば着色も良好になったはずである。しかし、本試験においては光処理後にアントシアニン含量が全処理区で減少している。アントシアニンの合成が阻害された、もしくはアントシアニンが分解された可能性が考えられた。果房では収穫後から結果枝からの栄養補給が断たれ、果粒内の物質が光や時間経過などの要因で化学的な変化を起こしていると考えられる。

時間経過に伴いアントシアニン含量が減少した可能性について、今回用いたピオーネは収穫の時点で完熟状態に近かったため、アントシアニン含量がピークに近い状態にあり、時間経過と共に減少してしまった可能性があると考えられた。さらに周波数が高く、紫外線に近いエネルギーレベルを持つ青色光では、果皮のアントシアニンを積極的に分解する作用を持つことが推測され、青色光照射下でアントシアニンの減少につながったと考えられた。逆に、周波数が低く、エネルギーレベルの低い赤

色光ではアントシアニンの減少率は小さく、ブドウ果皮の退色は抑制された。ブドウ果皮の着色、退色については、多くの生理的な要因が関わっている可能性が高く、さらなる検討が必要である。

要約

実験1から実験3までの結果から、ブドウの「重さ」「着色」「糖度」の3つの要素をよりよくする補光栽培の方法について考察した。

実験1では、ブドウの果粒生長の第I期からベレーズン期までの間に葉の裏側からの赤青色光による補光が、果粒径および果粒重量を他の光処理区と比べ有意に増加させ、赤色光および青色光補光は果皮のアントシアニン含量を増加させた。

実験2では、ベレーズン期から収穫までの間に果房に対して赤色光の夜間補光を行うことで、果粒糖度の増加を促進できる可能性が示唆された。

実験3では、収穫した果実に対し24時間の光照射を行ったところ、果粒糖度は全処理区で光処理前よりも増加傾向が観察されたものの、処理区間で有意差はなく、逆にアントシアニン含量は光処理により減少する結果となった。

これらの結果から、夜間補光栽培を行う際は、ブドウの果粒生長段階に応じて補光場所や光質を変えること有効であると考えられた。果粒生長第I期からベレーズン期までは赤青混合光による葉の裏側からの補光により果粒を肥大化させ、果粒重量を増加させることが可能であることが示された。また、ベレーズン期から収穫までは果房に対し赤色光を照射し、果粒糖度増加や果皮のアントシアニン含量の増加を促し、赤青光補光で生じた着色の遅れを改善するという方法が効果的であると考えられた。

引用文献

- Rodyoung, A., Masuda, Y., Tomiyama, H., Saito, T., Okawa, K., Ohara, H., Kondo, S. (2016) Effects of light emitting diode irradiation at night on abscisic acid metabolism and anthocyanin synthesis in grapes in different growing seasons, *Plant Growth Regulation*. 79: 39-46.
- Li, C. X., Chang, S. X., Khalil-Ur-Rehman, M., Xu, Z. G., Tao, J. M., (2017) Effect of irradiating the leaf abaxial surface with supplemental light-emitting diode lights on grape photosynthesis, *Australian Journal of Grape and Wine Research*. 23: 58-65.

宇土幸伸, 里吉友貴, 小林和司, 齊藤典義, 三森真里子 (2015) 糖蓄積がブドウの着色に及ぼす影響, 山梨果試研報, 14: 11-19.

菅谷純子 (2014) 青色光による果樹の着色制御とそのメカニズム, 科学研究費助成事業 研究成果報告書.

中川昌一『日本ブドウ学』. 養賢堂. 1996

松井弘之, 湯田英二, 中川昌一, 今井克太 (1985) ブドウ‘デラウェア’における光合成産物の転流と分配. 園芸学会雑誌. 54: 184-191.

望月てる, 代崎敏晴 (1986) 数種のブドウ果実の5℃貯蔵中における有機酸および糖含量の変化について. 家政学雑誌. 37: 849-854.

謝辞

本研究を行うにあたり、供試植物の提供および圃場の栽培試験利用にご協力いただいた中里ぶどう園に感謝申し上げます。

Cultivation System for the Production of High-Quality Grapes by Using of LED Supplemental Irradiation

Kazuki Nakazato¹, Naoya Mori², Hiroyuki Watanabe³

Abstract

The quality of the grapes is influenced by the factors of the weight, the coloring and the sugar content. Those experiments were made using Pione of grape for the purpose of making the way of the supplemental lighting at night for grape cultivation. The LED light source of 3 kinds, red, blue and red and blue were applied to the grape trees for the back of the leaf and for the fruits, respectively, in an outer field place from 18:00 to 24:00 for this research. As a result, the enlarged effect of the grape fruits was admitted by supplemental lightening from the back of the leaf by red and blue irradiation. The red supplemental lightening for the grape fruits from Berezon period to harvesting period was able to expect the increase of anthocyanin content and the grape sugar content.

Keywords: anthocyanin, field cultivation, night supplemental lightening, Pione, post-harvest

¹ Department of Life Science, College of Agriculture, Tamagawa University, 6-1-1, Tamagawa-gakuen, Machida, Tokyo 194-8610, Japan

² Biosystems & Biofunctions Research Center, Tamagawa University Research Institute, 6-1-1, Tamagawa-gakuen, Machida, Tokyo 194-8610, Japan

³ Department of Advanced Food Sciences, College of Agriculture, Tamagawa University, 6-1-1, Tamagawa-gakuen, Machida, Tokyo 194-8610, Japan