

# LEDによる夜間電照がブドウの果粒肥大に及ぼす影響

山梨県果樹試験場・山梨県工業技術センター<sup>1</sup>

齊藤 典義・宇土 幸伸・三森 真里子・阿部 治<sup>1</sup>・河野 裕<sup>1</sup>・平川 寛之<sup>1</sup>・萩原 茂<sup>1</sup>

## The Influence of Irradiation of LED on Berry Weight of the Grape

Yamanashi Fruit Tree Experiment Station

Yamanashi Industrial Technology Center Organization<sup>1</sup>

Noriyoshi SAITO, Yukinobu UDO, Mariko MITSUMORI,

Osamu ABE<sup>1</sup>, Hiroshi KONO<sup>1</sup>, Hiroyuki HIRAKAWA<sup>1</sup>, Shigeru HAGIHARA<sup>1</sup>

### 要 約

施設ブドウの夜間電照光源としてのLED利用の可能性を検討した。‘ピオーネ’を対象に、暗期中断を目的とした夜間3時間（23：00～2：00）の電照に赤色LEDを利用すると、十分な果粒肥大効果が得られた。肥大に必要な光子束密度は $1.0\sim 1.5\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ であり、さらに強光を照射しても効果の増大はなかった。また、電照時間帯に15秒間隔で点灯と消灯を繰り返す照射方法でも十分な果粒肥大効果が認められた。

### Abstract

We examined whether the LED was useful as a light source for light-culture greenhouse grape. Irradiation of red LED for 3 hours, 23:00-2:00, significantly increased berry weight of grape cultivar 'Pione. Quantum photon flux density (PPFD) of the light necessary to increase the berry weight was  $1.0\sim 1.5\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , and light strength greater than this PPFD level did not cause further increase in the berry weight. Repeating irradiation by 15 min-light and 15 min-dark cycle for 3 hours, 23:00-2:00 also increased berry weight significantly.

### 1. 緒 言

施設ブドウは、露地ブドウとの労力分散、早期出荷による収益向上の面から山梨県において重要な作目となっている。中でも12月に加温を始め、4～5月に収穫を行う超早期加温栽培と呼ばれる作型は、収益性がきわめて高いことから、これまで‘デラウェア’を中心に栽培が行われてきた。しかし、早期に加温する作型では生育期間が冬～早春にあたり、温度を十分に確保した条件下でも、日照や日長の不足が原因と考えられる生育や果粒肥大の不良が問題となる。近年‘巨峰’‘ピオーネ’といった大粒系ブドウでも超早期加温栽培が行われているが、これらの品種は果粒の大きさが商品価値を大きく左右することから、肥大の促進が重要な課題となっている。

ブドウの生育と日長について小林<sup>1)</sup>は、欧州種 (*Vitis vinifera*.L) では11時間、米国種 (*Vitis labrusca*.L) や欧米雑種 (*Vitis labruscana*) では14時間が限界日長としている。そのため、‘巨峰’‘ピオーネ’など欧米雑種で、日没後の補光による長日処理で生育を促進する方法

が検討されてきた<sup>2)</sup>。最近では、二期作栽培技術の開発過程において、電照による短日期の新梢生育や果粒肥大の促進、次作の花穂着生数の増加などの検討がなされている<sup>3)</sup>。また、小野<sup>4)</sup>は‘ピオーネ’の二期作栽培の1作目（秋冬期に加温開始）において、果実品質や収量性向上のため、電照を用いた暗期中断による長日処理が必須であるとしている。

施設栽培ブドウにおける電照の効果については、メタルハイドランプやナトリウムランプ、蛍光灯など、各種の光源で新梢生育の促進、果粒肥大の効果が認められているが、有効な波長域については未解明な部分が多い。そのため、栽培技術が体系化された‘ピオーネ’の超早期加温栽培では、果粒肥大を主目的に、広範な波長を含む植物育成ランプによる電照栽培が提案されている<sup>5)</sup>。しかし、植物育成ランプのような蛍光管の光源は、光源からの距離によって光量に大きな差があり、光源から離れた部分では効果が劣る欠点がある。

近年、新たな照明光源として発光ダイオード (Light Emitting Diode, 以下LED) の利用が増加し、農業分野

においても植物工場などの植物育成用光源として、その活用場面が増加しつつある<sup>6)</sup>。LEDは、消費電力が少ない、寿命が長いなど、物理的に優れた特性を有するだけでなく、単一波長を選択的に照射できる特性があり、植物生産においては、生育に有効な光を選択的に照射できる利点がある。また、LEDは小型の光源であり、照明装置を製作する上で多様な加工が可能なことから、ブドウ園内で均質な光を照射できる電照装置の開発が期待できる。

本研究は、既存の蛍光灯光源による夜間電照の代替光源としてLEDを活用する可能性について明らかにし、低コストで効果の高い光源を開発するための基礎知見を得ようとするものである。また、LED光源は単色光が得られることから、光質と生育の関係、また人工光を照射することによって光合成などの物質生産に積極的に寄与する可能性についても検討する。

## 2. 実験方法

### 2-1 試験圃場の耕種概要

2006年12月および2007年12月加温のいずれの試験も山梨県果樹試験場内の加温ハウスで実施した。品種は‘ピオーネ (*Vitis labruscana*)’ (2006年12月加温時、11年生) を供試し、慣行のジベレリン処理により無核栽培とした。試験ハウスの管理概況と‘ピオーネ’の生育ステージを図1に示した。



図1 ハウスの管理概況と‘ピオーネ’の生育ステージ

### 2-2 供試光源の分光特性および発光特性

LED光源は、赤色660nm、青色470nmに特異的に波長のピークを持つ光源である。蛍光灯光源は、植物育成ランプ (FL40SBR) が波長400~700nmに幅広くピークを持ち、特に400~500nm、600~700nm付近の光量が多い。赤色ランプ (FL40SR) は、600~700nm付近の光量が多く、赤色LEDと同様に660nm付近に発光のピークを有する光源である (図2)。

供試光源による電照の有効範囲を光量子束密度で比較すると、蛍光灯で光量子束密度が高い範囲が広い傾向にあった。LED光源は、光源の中心部では光量子束密度が高いものの、水平方向の光量が極端に小さかった (表1)。そのため、LEDを用いた電照実験における調査果房の採取地点は、肉眼観察により、棚面に照射された光が確認できる範囲とし、おおむね直線型光源では直線状

の発光部と平行する水平方向に30~50cm以内、長方形光源では、光源中心から半径約50cm内に着生した果房とした。

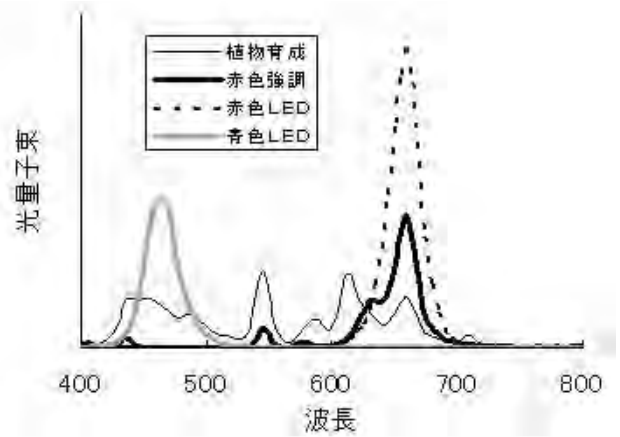


図2 各光源の分光特性

表1 照射部位の光量子束密度<sup>Z)</sup>の分布

光 源	照射中心部 <sup>Y)</sup> からの距離 (cm)				
	中心	30	50	100	150
植物育成ランプ	6.93	—	4.23	2.42	1.48
赤色ランプ	3.77	—	2.60	1.50	0.78
直線型LED <sup>X)</sup>					
赤 色	10.82	0.45	0.21	0.045	—
青 色	1.89	0.07	0.03	0.005	—
長方形型LED <sup>W)</sup>					
赤 色	5.26	0.50	0.06	0.005	—
青 色	2.33	0.84	0.09	0.011	—

Z) 光量子束密度:  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$

Y) 光源と照射中心部との距離は1 m

X) 岩崎電気(株)製、LED: 高輝度反射型 (岩崎電気)

W) やまと興業(株)製、LED: 赤L-53 SRC-E (KingBright)、青NSPB510S (日亜化学)

### 2-3 LED照射がブドウの果粒肥大に及ぼす影響

#### 1) 蛍光源とLED光源の比較

試験は2006年12月加温、2007年4月収穫の作型で実施した。電照には、岩崎電気(株)が製作した直線型LED光源<sup>7)</sup>の赤色 (660nm) および青色 (470nm) を使用し、対照として市販の植物育成ランプ (FL40SBR)、赤色ランプ (FL40SR) を使用した。試験区として、赤色および青色の光源を1本照射する区、赤色光源を2本照射する区、赤色と青色を同時に照射する区を設けた。電照期間は、2007年2月5日 (第1回目ジベレリン処理中心日) ~ 3月16日 (着色始期) の40日間とし、夜間3時間 (23:00~2:00)、棚下1 mの距離から、棚面に向けて照射した。

電照開始以降、各区および無照射区の新梢長、登熟長を経時的に調査した。収穫期に各区から果房を採取し、果実品質の調査を行った。

2) 赤色LEDと青色LEDの混合比の比較

試験は2007年12月加温, 2008年4月収穫の作型で実施した。電照には, やまと興業(株)製の赤色(660nm), 青色(470nm)の混合比が異なる長方形型LED光源<sup>7)</sup>を使用した。電照期間は, 2008年2月13日(第1回目ジベレリン処理後期)~3月23日(着色始期)の40日間とし, 夜間の3時間(23:00~2:00), 棚下1mの距離から, 棚面に向けて照射した。

生育, 果実品質調査は1)の方法に準じて行った。

2-4 赤色光の光量が果粒肥大に及ぼす影響

試験は2007年12月加温, 2008年4月収穫の作型で実施した。電照光源には, 赤色ランプ(FL40SR)を使用し, 電照期間は, 2008年2月8日(第1回目ジベレリン処理中心日)~3月17日(着色始期)の39日間とした。照射方法は2-3-1)に準じた。果房付近の光量子束密度は, 分光放射計(MS-720, 英弘精機, 開口角90°)で果房側部から光源方向に測光部を向けて測定した。

収穫期に光源からの距離別に果実を採取し, 果実品質調査を行った。

2-5 赤色LEDの照射方法が果粒肥大に及ぼす影響

試験は2007年12月加温, 2008年4月収穫の作型で実施した。光源は2-3-1)で使用した直線型赤色LED(660nm)を用い, 照射方法は2-3-1)に準じた。試験区として, 電照時間帯に連続して照射を行う連続照射区と15秒間隔で点灯と消灯を繰り返す間断照射区を設けた。

2-6 人工光がブドウ葉の光合成速度に及ぼす影響

光源は2-3-2)で使用した赤と青の混合比が異なる長方形型LED光源を使用した。2008年12月22日に加温を開始したハウスで生育させた‘巨峰(Vitis labruscana)’の成葉(新梢の3~5節に着生した葉)を採取し, 光合成の測定に供試した。測定は暗室内に光合成蒸散測定装置(LI-6400, ライカ社製)を設置し, 測定チャンバー内の光量子束密度が $100 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ となるように, LED光源とチャンバー受光部の距離を調整した。測定条件は, チャンバー内温度 $25^\circ\text{C}$ , 流量 $400 \mu\text{mol} \cdot \text{s}^{-1}$ , 炭酸ガス濃度350ppmとし, 葉の表裏でそれぞれ測定した。測定後, 葉緑素計(SPAD-502, コニカミノルタ製)で葉色(SPAD値)を測定した。また, 同様の測定条件で, 寒冷紗により光条件を変えた自然光下での光合成速度を測定した。

3. 結果

3-1 LED照射がブドウの果粒肥大に及ぼす影響

1) 蛍光灯光源とLED光源の比較

満開期から40日間, 各種光源を用いて夜間の電照を行い, 蛍光灯とLED照射が生育, 果粒肥大に及ぼす影響を比較した。その結果, LED光源による照射によって, 蛍光灯光源の植物育成ランプ, 赤色ランプ照射区と同様に果粒肥大が促進された(図3)。LEDの種類では, 赤色の効果が高く, 青色では果粒肥大の効果は認められなかった。また, 赤色LEDを2本照射した区(赤+赤),

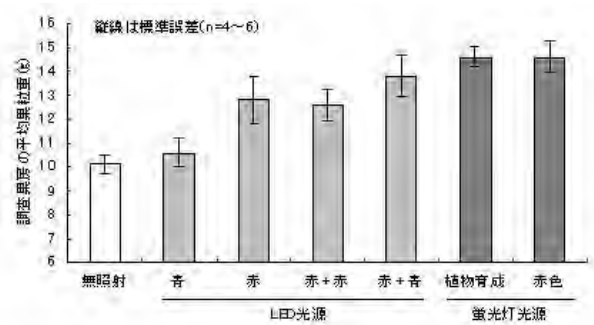


図3 夜間電照に用いた電照光源の違いが‘ピオーネ’の果粒重に及ぼす影響 (2007. 5. 7)

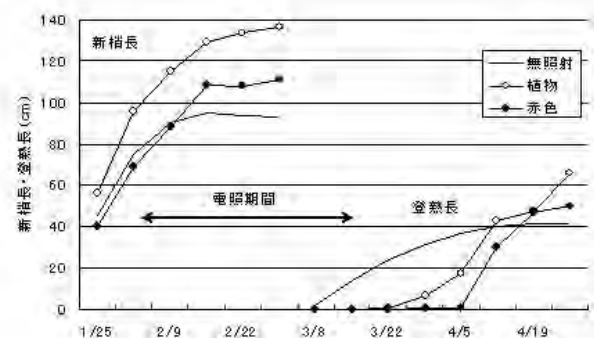


図4 夜間電照に用いた蛍光灯光源の違いが‘ピオーネ’の新梢長および登熟長に及ぼす影響 (2007)

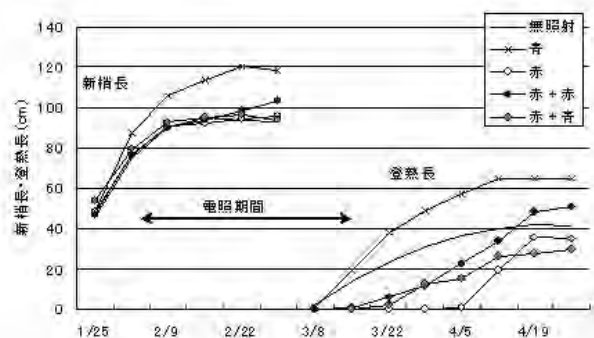


図5 夜間電照に用いたLED光源の違いが‘ピオーネ’の新梢長および登熟長に及ぼす影響 (2007)

赤色と青色を同時に照射した区（赤+青）の効果は、赤色LEDを1本照射した区と大きな差はなかった。照射期間中の新梢長と登熟（木質化）の長さの推移を見ると、蛍光灯では、植物育成ランプで新梢生育が旺盛になる傾向にあり、登熟の進行は植物育成ランプ、赤色ランプともに無照射より遅れる傾向が顕著であった（図4）。LED光源では、青色を照射した区で新梢の生育が旺盛であった。登熟の進行は赤色および赤色と青色を混合照射した区で遅れる傾向であった。青色光の単独照射は、無照射区と同様に登熟の進行が早かった（図5）。

2) 赤色LEDと青色LEDの混合比の比較

赤色、青色の混合比を変えて夜間電照を行った結果、最も果粒肥大が優れた光源は、赤色光の単独照射であり、赤色光に対して青色光の混合割合が大きくなるほど、果粒肥大の促進効果は小さくなる傾向が見られた（図6）。また、青色光の単独照射では、果粒肥大効果は認められなかった。新梢の登熟の進行は、赤色光単独、赤色：青色＝4：1～1：1と赤色光の混合割合が高い光源で遅れ、青色単独、赤色：青色＝1：4の青色光の混合割合が高い光源で進行が早かった（図7）。

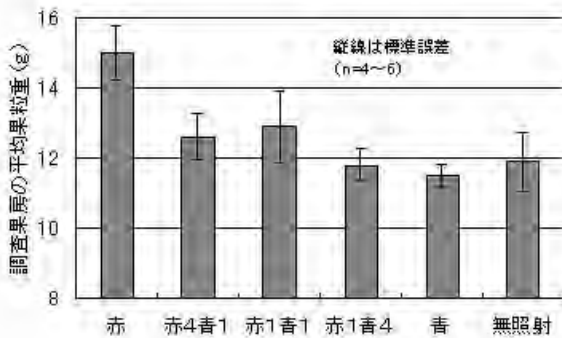


図6 LEDの赤色および青色の混合光源が‘ピオーネ’の果粒重に及ぼす影響 (2008. 5. 7)

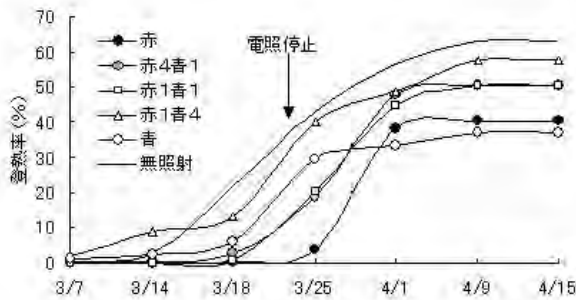


図7 LEDの赤色および青色の混合光源が‘ピオーネ’の新梢の登熟割合に及ぼす影響 (2008)

3-2 赤色光の光量が果粒肥大に及ぼす影響

赤色ランプを用い、光源から距離が異なる果房を採

取し、果房付近の光量と果粒肥大について調査した（図8）。なお、赤色ランプは、660nm付近に波長のピークがあり、赤色LEDと類似した分光特性を有している（図2）。果粒の肥大は果房付近での光量子束密度が高くなるほど良好になる傾向が見られ、1.0～1.5 μmol・m<sup>-2</sup>・s<sup>-1</sup>までは、ほぼ直線的に果粒重が増加した。しかし、光量子束密度が1.5 μmol・m<sup>-2</sup>・s<sup>-1</sup>以上になると果粒重の増加は頭打ちになった。

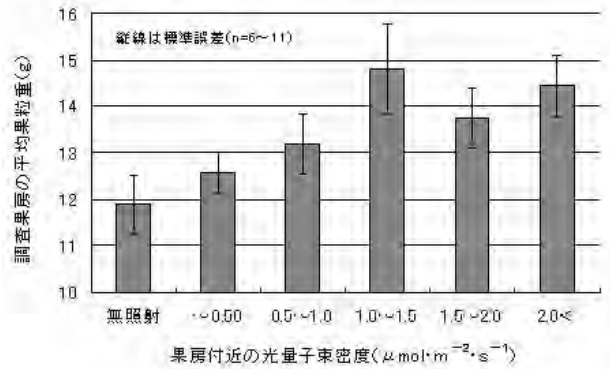


図8 赤色ランプの照射による果房付近の光量子束密度と‘ピオーネ’の果粒重の関係 (2008. 5. 7)

3-3 赤色LEDの照射方法が果粒肥大に及ぼす影響

夜間3時間（23：00～2：00）の電照期間中に、連続して赤色LEDを照射する区と、その間に15秒間隔で点灯と消灯を繰り返す間断照射を行った区で果粒肥大効果を比較した。果房重は連続照射区が優れたが、果粒重は無照射区と比較して連続照射、間断照射ともに優れた（表2）。着色には差は認められなかった。

表2 赤色LEDの照射方法の違いが‘ピオーネ’の果実品質肥大に及ぼす影響

照射方法	果房重 (g)	果粒重 (g)	着色 (C.C.) <sup>Z</sup>
連続照射 <sup>Z</sup>	487.9a	14.7a	10.1ns
間断照射 <sup>Y</sup>	425.9b	14.1a	11.0ns
対照（無照射）	366.1b	10.9b	10.2ns

Z：農水省カラーチャート  
 Y：夜間（23：00～2：00）に連続して照射  
 X：夜間（23：00～2：00）に15秒間隔で入切照射  
 異符号間にはTukey検定で有意差あり（p<0.01）

3-4 人工光がブドウ葉の光合成速度に及ぼす影響

光源の種類別の光合成速度と葉色の関係を図9に示した。測定に供試した葉の葉色は光源ごとに差がみられたが、青色光ではSPAD値が高いにもかかわらず、光合成速度が低い傾向であり、赤色光単独、赤色光の混合比が高い光源で光合成速度が大きい傾向にあった。また、いずれの光源を使用しても、葉の表に光を照射した場合に、わずかに光合成速度が大きい傾向がみられた。

自然光下での光合成速度は、曇天時とほぼ同じ光量と考えられる光量子束密度 $200\sim 300\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ の光条件下で $5\sim 10\mu\text{mol}(\text{CO}_2)\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ であった。一方、自然条件下で薄曇り程度の $700\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ の光量での光合成速度は $20\mu\text{mol}(\text{CO}_2)\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 程度であり(図10)、LEDの $100\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ の照射に比べて大きかった。

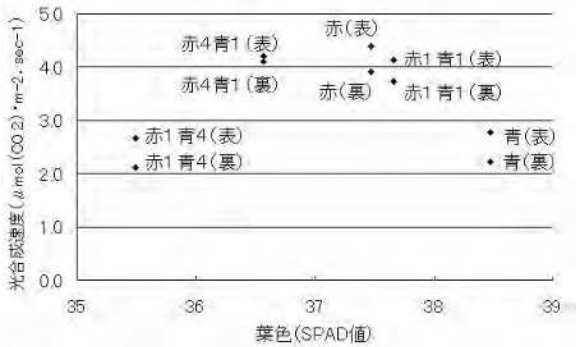


図9 LED光源の違いが‘巨峰’の光合成速度に及ぼす影響 (2008. 4. 22~23)

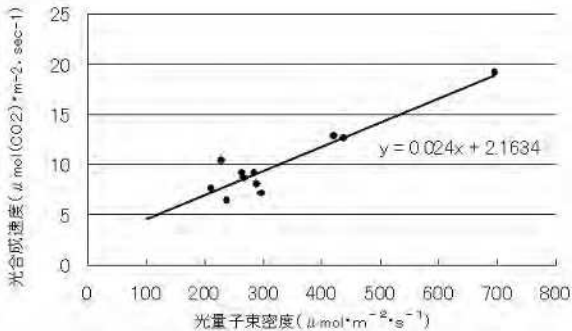


図10 自然光下での‘巨峰’の光合成速度と光量子束密度の関係 (2008. 4. 23)

#### 4. 考察

これまで夜間電照 (23:00~2:00) による果粒肥大を目的に使用されてきた蛍光灯 (植物育成ランプ, 赤色ランプ) の代替光源として, LED利用の可能性を検討した。

3-1でLEDの赤色, 青色および両者の混合照射が果粒肥大に及ぼす影響を検討したところ, 赤色LEDの照射で蛍光灯と比較して十分な効果が得られた。一方, 赤色+青色, 赤色光の2倍量を照射しても効果の増大はなかった。同時に肥大に効果が認められる赤色LED光源では, 従来の植物育成ランプ, 赤色ランプで観察される新梢の登熟 (木質化) の遅れが同様に認められ, 暗期中断により長日条件が誘導された結果, 肥大が促進されたと考えられる。果粒肥大に効果のない青色LED光

源では, 無照射区とほぼ同時期から登熟が進行し, ブドウ樹の日長反応への影響はないものと推察された。また, 赤色光と青色光の混合比の異なる光源で照射を行ったところ, 赤色単独および赤色光の混合比が大きい光源で果粒肥大が優れる傾向にあり, 新梢の登熟の遅れも観察された。これらのことは, ブドウ樹において, 暗期中断により長日条件を誘導するには, 赤色光がきわめて重要であることを示している。一般に, 葉菜類など栄養生長を主体とする作物を人工光源下で生育させる場合, 赤色光に青色光を加えることが重要とされているが, 本試験のように日長のみの制御を目的とした場合には, 青色光が必ずしも必要がなく, 赤色光の受容体であるフィトクロムが, ブドウ樹の日長反応に大きく影響しているものと推察できる。

赤色光が長日条件の誘導に有効なことから, 3-2では660nm付近に極大波長を有する赤色蛍光ランプを用い, 必要な光量について検討した。光源からの距離が異なる果房を対象に, 果粒肥大と光量子束密度との関係を調査した結果, 光量子束密度 $1.0\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ までの低照度では, 光量子束密度の増加にともなって, 果粒肥大は良好になり,  $1.0\sim 1.5\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上の光量を照射しても果粒肥大のさらなる増大はなかった。3-1の結果においても赤色光を2倍量で照射しても効果の増大が認められなかったことから, 暗期中断による長日条件への誘導には, 一定程度の光量があれば十分であることが示唆された。

3-3では, 電照時間帯に15秒間隔で点灯と消灯を繰り返す間断照射においても連続照射と同等の肥大効果が得られた。間断照射で樹体に供給される光エネルギーは, 連続照射の半分であるにもかかわらず, 一定の肥大効果が得られることは, 前述の強光を与えても効果が増大しなかった結果を支持するとともに, 日長制御を目的とした照射方法にさらに改良の余地があることを示している。

以上のことから, 果粒肥大を目的とした電照による夜間中断はきわめて低照度で効果があることが明らかになった。また, 強光を与えても果粒肥大効果が増加しないことから, 果粒肥大の主要因は, 光エネルギーの供給による直接的な物質生産の増加によるものではなく, 長日条件への誘導による樹体の生理的変化と考えられる。

一方, 光エネルギーの積極的な供給により, 光合成を増大させる方法についても検討した。3-4で日長制御による果粒肥大効果が認められる $1.0\sim 1.5\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ の7~10倍程度に相当する $100\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ の照射を行った結果, 青色光よりも赤色光の照射で光合成速度が大きかった。しかし, この時の光合成量は自然光条件下での光合成速度と比較するとかなり小さく, 実質的に物質生産を高める光量で照射を行うことは, コスト面を考慮すると実用的ではないと判断できる。

## 5. 結 言

LED赤色光 (660nm) による夜間電照は、比較的低照度で、ブドウ樹に長日条件を与え、生理的な変化の結果、果粒肥大が促進されることが明らかになった。日長制御に必要な光量も明らかになったことから、ブドウ園内で均質な効果が得られる電照装置の設計・製作に向けた基礎資料が得られた。しかし、長日条件が果粒肥大を促進する要因については未解明であり、今後も調査する必要がある。

さらに、電照装置の有効活用なども視野に、品質向上などに向けた有効波長域の探索、照射方法などについても検討を要する。

## 参考文献

- 1) 小林章：ブドウ園芸，養賢堂，P.130 (1970)
- 2) 遠藤久：電照・補光栽培の実用技術，(社)農業電化協会，P.183 (1996)
- 3) 施設有効利用によるブドウ二期作栽培技術の確立，平成7～11年度新技術地域実用化研究促進事業研究成果報告書，山梨県果樹試験場ほか，P.42-52 (2000)
- 4) 小野俊明：日本ブドウ学，養賢堂，P.416 (1996)
- 5) 齊藤典義：すぐに役立つハウス栽培新技術，(社)農業電化協会，P.44 (2008)
- 6) 後藤英司：LEDの農林水産分野への応用，(社)農業電化協会，P.35 (2006)
- 7) 萩原茂，阿部治，平川寛之，齊藤典義，宇土幸伸，三森真里子，中込一憲：人工光利用による施設栽培ブドウの高品質化技術の開発—人工光源の開発—，山梨県工業技術センター報告，22，P.175 (2008)

## 成果発表状況

### 学会発表

- 1) 齊藤典義，宇土幸伸，三森真里子，萩原茂，阿部治，平川寛之：赤色LED光源による夜間電照処理がブドウ‘ピオーネ’の果粒肥大に及ぼす影響，園芸学会，東京，2009