

# LEDによる夜間電照がブドウの果粒肥大に及ぼす影響(第3報)

齊藤典義<sup>1</sup>, 宇土幸伸<sup>1</sup>, 里吉友貴<sup>1</sup>, 阿部治<sup>2</sup>, 河野裕<sup>3</sup>, 平川寛之<sup>3</sup>

(<sup>1</sup>山梨県果樹試験場, <sup>2</sup>山梨県富士工業技術センター, <sup>3</sup>山梨県工業技術センター)

**要約** 早期加温栽培のブドウ‘ピオーネ’の果粒肥大を促進するため、夜間電照光源として赤色LED(波長660nm)の利用方法を検討した。平行整枝において、帯状の支持体に5cm間隔でLEDを固定した光源を主枝と主枝の中央部の棚下30cmに設置し、棚面の新梢に向けて照射したところ、照射が葉1枚に限定されても果粒肥大効果が得られた。一方、自然形整枝樹において、サーチライト型光源を用いて棚面に赤色光を照射したが、十分な果粒肥大効果が得られる範囲は狭かった。

## The Influence of LED Irradiation on the Berry Weight of Grape(3rd report).

Noriyoshi SAITO<sup>1</sup>, Yukinobu UDO<sup>1</sup>, Yuki SATOYOSHI<sup>1</sup>, Osamu ABE<sup>2</sup>, Hiroshi KONO<sup>3</sup>, Hiroyuki HIRAKAWA<sup>3</sup> (<sup>1</sup>Yamanashi Fruit Tree Experiment Station, <sup>2</sup>Yamanashi Fuji Industrial Technology Center, <sup>3</sup>Yamanashi Industrial Technology Center).

**Abstract** We examined whether the red LED (660nm) was useful as a light source of light-culture greenhouse for dilation of berry of grape ‘Pione’. The source of light that installed LED in the belt-type foamed plastic at intervals of 5cm was used on parallel training method. The light was set up in center part of the branch and the branch in 30cm under the grapevine trellis and irradiated aiming at a shoot. The berry weight of grape increased even if light was irradiated (50days, 23:00~2:00) on one leaf. And on "X-shaped training method" the searchlight-type LED source was irradiated to the grapevine trellis. However, the range where berry was able to increase was narrow.

### 1. 緒言

12月~1月の早期に加温を始める施設栽培ブドウの中でも‘巨峰’や‘ピオーネ’といった巨峰系4倍体の品種は、果粒肥大が不足しやすい。この原因としては、温度不足になりやすい、日射量が少ないなどの影響に加え、果粒肥大期にあたる1~2月が短日条件であることも影響している。これまでに、果粒肥大を促進する目的で、夜間の電照により短日条件を解消する電照技術が実用化されている。落花期から40日間程度、暗期中断を目的に深夜(23:00~2:00)に蛍光灯やメタルハイドランプ、ナトリウムランプなどの光源で電照を行うと果粒肥大が促進される<sup>1, 2)</sup>。

筆者らは、この電照において波長660nm付近に発光のピークを有する発光ダイオード(Light Emitting Diode, 以下LED)を光源として、ブドウ棚の棚面において1.0~1.5  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 程度の光量子束密度を確保することで、果粒肥大に効果があることを明らかにした<sup>3, 4)</sup>。また、電照時間帯に果房を遮光しても効果があり、電照において果房への光の照射は必須ではないことも明らかになった<sup>5)</sup>。さらに、ブドウの平行整枝樹を用い、平行する主枝間で新梢が交差する部位に部分的に照射を行うことでも十分な果粒肥大効果が得られる可能性が高いことを明らかにした<sup>5)</sup>。

そこで、平行整枝樹での部分照射に適する電照装置として、帯状の発泡プラスチックに砲弾型LED光源を一定間隔で埋設し、棚下から上方の棚面に向けて光を照射するこ

とが可能な電照装置を試作した<sup>6)</sup>。本研究では、この電照装置による夜間電照処理が果粒肥大に及ぼす影響、装置の設置位置や照射時間帯に点灯と消灯を繰り返す間断照射の影響を明らかにすることを目的にした。

また、山梨県内の施設ブドウで一般的な整枝方法である自然形整枝樹で、帯状の光源を用いる場合、相当密に光源を設置しなければ、効果が不安定になると考えられた<sup>5)</sup>。少ない光源で広範囲に照射を行う方法としては、棚面にサーチライト状に光を照射する方法が考えられることから、高輝度の反射型LEDを装着した回転式の照射装置<sup>7)</sup>を製作し、その実用性についても検討した。

### 2. 実験方法

#### 2-1 試験圃場の耕種概要

試験は2009年12月加温の山梨県果樹試験場加温ハウスで実施した。品種はハウス内に地植えした‘ピオーネ’(*Vitis labruscana*) (2009年12月加温時、14年生)を供試し、栽培管理は山梨県果樹試験場で作成した超早期加温栽培マニュアル<sup>8)</sup>に準じた。試験ハウスの管理と生育ステージの概況を図1に示した。

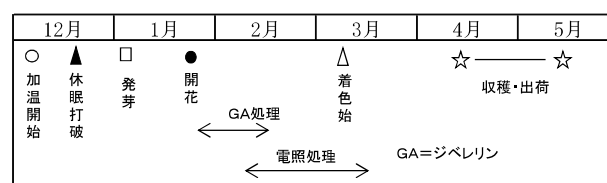


図1 ハウスの管理概況と‘ピオーネ’の生育ステージ

## 2-2 短梢剪定樹における帯状光源の実用性評価

光源は幅約4cmの帯状の発泡プラスチック材に、砲弾型赤色LED素子（波長660nm, L-53 SRC-E : KingBright製）を5cm間隔で固定し、一定方向に照射可能な帯状光源装置（試作品<sup>6)</sup>）を使用した。この装置を平行整枝樹の主枝と主枝の中間部の棚下30cmまたは50cmに固定し、発光部を棚面に向けて照射した（図2）。また、棚下30cmからの照射試験では、15秒間隔で点灯と消灯を繰り返す間断照射区を設けた。照射期間は2月5日～3月26日まで50日間とし、照射時間帯は23:00～2:00とした。

## 2-3 LEDの照射部位が果粒肥大に及ぼす影響

LED光源（波長660nm, L-53 SRC-E : KingBright製）を葉裏から約10cmの距離で新梢の第5～7葉の1枚または3枚に1素子ずつ照射する区を設けた。照射期間は2月18日

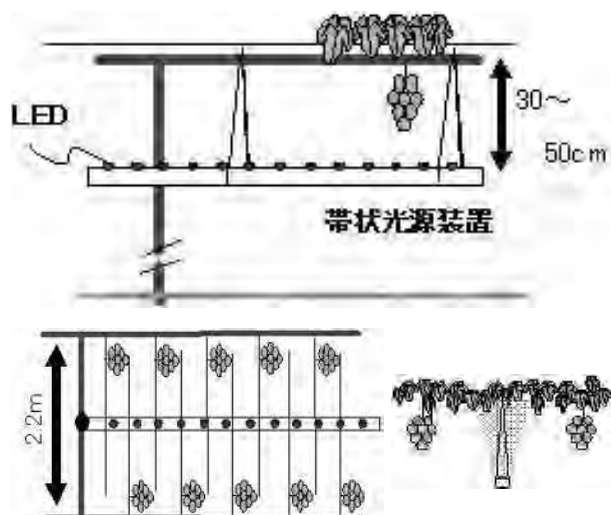


図2 試作した帯状光源の設置方法（模式図）



図3 ハウス内に設置したサーチライト型光源

～4月8日までの49日間とし、電照時間帯は23:00～2:00とした。対照区は無照射とした。

## 2-4 自然形整枝樹におけるサーチライト光源の実用性評価

サーチライト型の電照光源は電照光源を保持できる回転式の架台<sup>7)</sup>を利用し、ホルダ部に棒状LED光源（波長660nm, 高輝度反射型LED, 岩崎電気製）を取り付けた。このサーチライト型光源をハウス内に設置し、光源部を約80°の角度で上方に向け、水平方向に360°回転させた（図3）。回転数は10秒間に1回転とした。照射期間は2月13日～4月1日までの47日間とし、電照時間帯は23:00～2:00とした。

## 2-5 赤色LED光源の波長の違いが果粒肥大に及ぼす影響

電照光源は、2-2で使用した波長660nmの帯状光源装置および装飾用に市販されている波長635nmのLED（Rattan 100b, やまと興業製）を同様に帯状に加工した光源を使用した。これらの電照装置を試験2-2と同様に、平行整枝樹の主枝と主枝の中間部の棚下30cmに固定し、棚面に向けて照射した。なお、635nmのLED素子は1素子あたりの光子束密度が小さいため、660nmの4倍の素子数で照射した。照射期間は2月16日～4月6日までの49日間とし、照射時間帯は23:00～2:00とした。

## 3. 結果

### 3-1 短梢剪定樹における帯状光源の実用性評価

電照装置の設置位置と棚面での光子束密度の測定結果を表1に示した。電照装置を棚下30cmに設置した場合、光源直上の棚面での光子束密度は約 $1.5 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ であり、これまでの試験から、果粒肥大に有効であった $1.0 \sim 1.5 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ を確保していた。棚下50cmに設置した場合は、光源直上で約 $0.7 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ と棚下30cmに設置したときの50%以下であった。また、装置直上から水平方向に30cm, 50cm離れた棚面の光子束密度は、いずれの距離から照射しても $0.1 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 程度であり、帯状光源において、比較的強い光が照射される部分は、光源直上のきわめて限定された範囲であった。

短日条件が解消されると、新梢の登熟が遅れることから、新梢の登熟割合を継時的に調査した結果を図4に示した。無照射区では電照停止（3月26日）前から新梢の登熟

表1 帯状光源照射時の棚面の光子束密度

設置位置	棚面の光子束密度 ( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )		
	光源直上	横30cm	横31cm
棚下30cm	1.46	0.12	0.08
棚下50cm	0.71	0.11	0.08

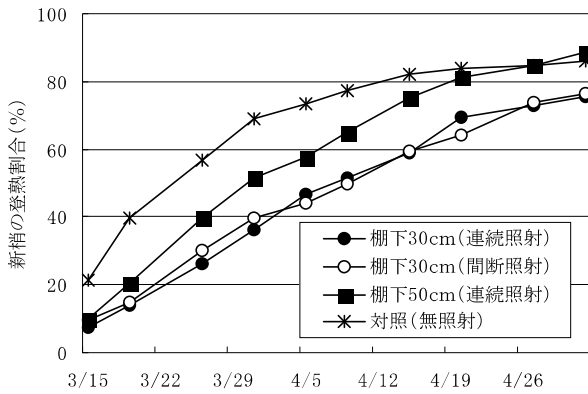


図4 帯状光源の照射方法の違いと新梢の登熟割合

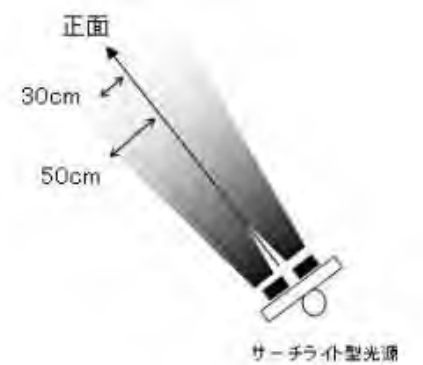


図6 サーチライト型光源の光量子束密度の測定部位

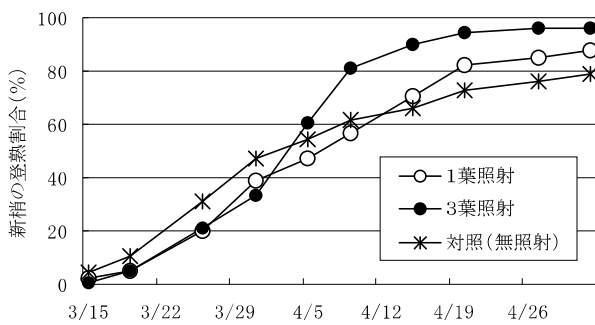


図5 電照の照射部分の限定が新梢の登熟に及ぼす影響

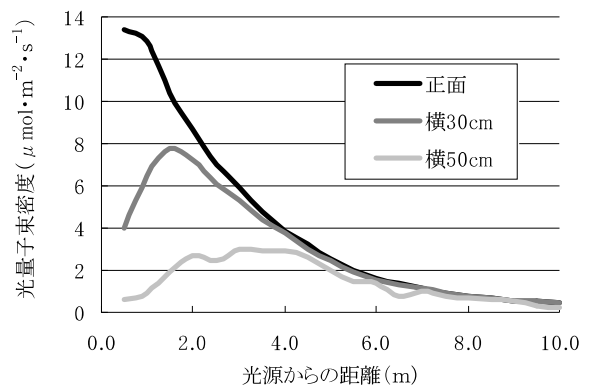


図7 サーチライト型光源からの距離と光量子束密度

が進んだが、電照区では登熟が遅れた。棚下30cmから照射した区では、電照時間帯に連続して照射した区、15秒間隔の間断照射とした区とも登熟は遅れ、棚下50cmに設置した場合は、やや登熟が早かった。

果粒肥大は電照区で優れた。電照装置の棚面からの距離、照射方法による差は明確ではなかった(表2)。

### 3-2 LEDの照射部位が果粒肥大に及ぼす影響

新梢の登熟は、1枚または3枚照射でやや遅れて進んだが、電照停止直前の4月上中旬以降は、無照射より登熟が進んだ(図5)。果粒重は、1枚または3枚のみ照射でも無照射より優れ、照射部位を葉1枚に限定しても果粒肥大効果が認められた(表3)。

### 3-3 自然形整枝樹におけるサーチライト光源の実用性評価

サーチライト型光源照射時の距離別の光量子束密度の

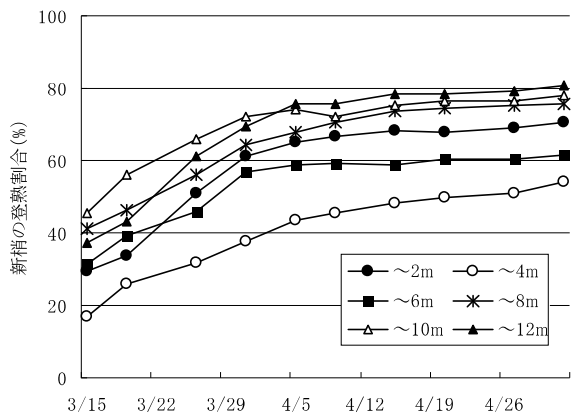


図8. サーチライト型光源からの距離別の新梢の登熟割合

表2 帯状光源の照射方法の違いが果実品質に及ぼす影響

電照設置位置と照射方法	果房長 cm	果房重 g	着粒数 粒/房	果粒重 g	糖度 Brix	酸度 g/100ml	着色 c.c.
棚下30cm(連続照射)	13.2 a	301.8 a	31.9 a	10.3 a	21.7 a	0.57 a	11.9 a
棚下30cm(間断照射)	13.0 a	256.4 ab	29.9 a	9.3 a	21.2 a	0.61 a	11.9 a
棚下50cm(連続照射)	13.5 a	258.9 ab	28.3 a	9.6 a	21.6 a	0.64 a	11.9 a
対照区(無照射)	11.8 b	197.7 b	29.7 b	7.3 b	23.2 b	0.63 a	12.0 a

表中の異なる英小文字間にはTukeyの多重検定で異符号間に有意水準5%で有意差あり

表3. 電照の照射部分の限定が果実品質に及ぼす影響

処理区	果房長 cm	果房重 g	着粒数 粒	果粒重 g	糖度 Brix	酸度 g/100ml	着色 c.c.
1枚照射	12.9 a	255.7 a	30.2 a	8.2 a	20.8 a	0.68 a	12.0 a
3枚照射	13.0 a	262.0 a	30.8 a	8.3 a	21.3 a	0.64 a	12.0 a
無照射	12.9 a	196.2 a	30.8 a	6.1 b	21.1 a	0.79 a	11.9 a

表中の異なる英小文字間にはTukeyの多重検定で異符号間に有意水準5%で有意差あり

表4 サーチライト型光源からの距離と果実品質

光源からの距離	果房長 cm	果房重 g	着粒数 粒/房	果粒重 g	糖度 Brix	酸度 g/100ml	着色 c.c.
~2m	14.2 a	341.7 a	34.5 a	10.2 a	19.6 c	0.64 a	10.9 a
~4m	13.0 ab	260.5 ab	28.6 b	10.1 a	21.3 b	0.66 a	11.7 a
~6m	11.5 b	171.6 b	26.8 b	7.5 b	23.8 a	0.65 a	11.9 a
~8m	11.8 b	182.4 b	28.2 b	7.8 b	22.7 ab	0.63 a	12.0 a
~10m	11.7 b	183.0 b	26.7 b	7.7 b	23.6 a	0.64 a	12.0 a
~12m	12.7 b	217.6 b	28.8 b	8.1 b	23.0 a	0.59 a	12.0 a

表中の異なる英小文字間にはTukeyの多重検定で異符号間に有意水準5%で有意差あり

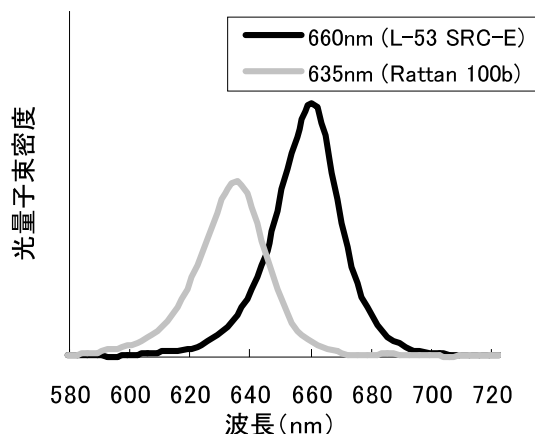


図9 異なる赤色LEDの発光特性

表5 異なる赤色LEDの棚面の光量子束密度

設置位置	棚面の光量子束密度 ( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )	
	光源直上	横30cm
660nm	0.94	0.11
635nm	0.49	0.28

棚下30cmに設置した時の棚面で測定

測定位置を図6, 測定結果を図7に示した. 光源正面の延長上の光量子束密度は, 光源からの距離が近いほど高かったが, 正面から30cm横の部分では約2m, 50cm横の部分では2~4m付近で光量子束密度が最大であった. 7~8mまでの距離では, 実用的な果粒肥大効果が得られる $1.0 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 程度の光量子束密度が得られた. 光源からの距離と新梢の登熟割合を図3に示した. 登熟が遅れ, 日長反応がはっきりと変化していると考えられる範囲は光源から4~6mの範囲であった. また, 果粒肥大効果が得られる範囲は, 光源から2~4mまでであり, 登熟の遅れが観察される6mまでの範囲よりも限定された(表

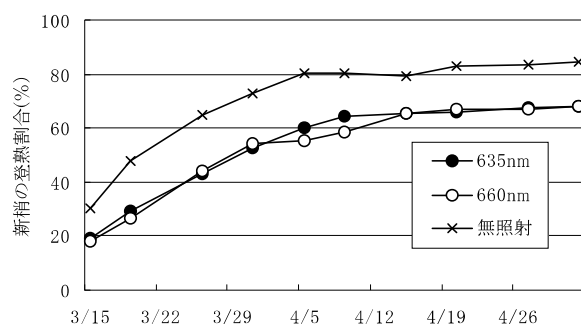


図10 赤色LEDの波長の違いが新梢の登熟に及ぼす影響

4) .

### 3-4 赤色LED光源の波長の違いが果粒肥大に及ぼす影響

図9に供試した2種のLED素子の発光分布, 表5に棚面でのそれぞれの光源の光量子束密度を示した. 660nmの素子は, 砲弾型で照射角が小さいことから, 光源直上での光量子束密度は高く, 635nmの素子は出力が小さく, 4倍の素子数で照射を行っても, 棚面直上での光量子束密度は小さかった. しかし, 拡散型の素子であることから, 光源正面から横30cmでは660nmの素子よりも光量子束密度は大きかった.

新梢の登熟は, いずれの素子を利用しても無照射より明らかに遅く, 635nmのLED素子を用いた場合でも, 660nmの素子と同様であった(図10). 果粒肥大は, 無照射に比べ, 635nm, 660nmのいずれの素子でも良好になり, 果粒肥大効果が認められ, その効果は635nmの方が大きい傾向が認められた(表6).

## 3. 考察

LEDは消費電力が少なく, 寿命が長いなど, 低コス

表6 異なる波長の赤色LEDの照射が果実品質に及ぼす影響

素子の波長	果房長 cm	果房重 g	着粒数 粒/房	果粒重 g	糖度 Brix	酸度 g/100ml	着色 c.c.
635nm	14.0 b	338.0 b	32.1 ab	11.0 b	20.5 a	0.65 a	11.7 a
660nm	14.0 b	305.9 b	33.0 b	9.7 ab	21.6 b	0.64 a	12.0 b
無照射	12.5 a	217.0 a	29.0 a	8.2 a	23.0 c	0.68 a	12.0 b

表中の異なる英小文字間にはTukeyの多重検定で異符号間に有意水準5%で有意差あり

トな光源として農業場面でも植物工場などを中心に利用が拡大しつつある。また、特定の波長のみを照射することが可能で、生育に有効な波長域を選択すること等で、さらに電力消費量を抑制できるだけでなく、光質によっては成長の制御も可能である。また、LED素子はさまざまな形状に加工できることから、照射対象物にあわせて光源装置を製作できるなどの利点もある<sup>9)</sup>。

筆者らは、優れた特性を持つLEDを活用する方法として、ブドウの果粒肥大を目的とした夜間電照への応用を検討してきた。これまでに、長日条件を誘導する暗期中断電照には、波長660nmの赤色LEDに効果があり、ブドウ棚面において $1.0 \sim 1.5 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 程度の光量子束密度が必要なことを明らかにした<sup>3, 4)</sup>。しかし、LED素子は小型で、個々の素子は照射範囲が狭く、光量も小さいことから、広範囲のブドウ棚全体に光を照射する光源としては適していない。そのため、果粒肥大に必要な光量が微量であっても、棚面に均一に照射するには、多数の光源を密に設置する必要があると、実用的ではないと考えられた。そこで、照射時に果房を遮光する電照実験を行い、果房への照射の必要性を検討したところ、夜間電照において、果房への光の照射は必須でなく、果房以外のブドウ樹の部位に光を照射することでも果粒肥大効果が得られることを明らかにした<sup>5)</sup>。

本試験ではこれらの成果をもとに、新梢の配置が規則的で、棚面全体に照射することなく、ほぼすべての新梢に光を照射できる平行整枝樹での照射方法を中心に検討した。

帯状の支持体に赤色LEDを5cm間隔で固定し、棚面方向に照射できる装置の実用性を検討したところ、棚下約30cmに装置を設置し、落花期から夜間(23:00~2:00)、50日の照射によって、果粒肥大効果が認められた。夜間電照において長日効果の目安となる新梢の登熟の遅れは、装置の直上で光量子束密度が約 $1.5 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ となる棚下30cmで顕著で、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同様の効果が得られた。光量子束密度が約50%となる棚下50cmに設置した場合の新梢の登熟は、棚下30cm区より進んだが、無照射よりは遅れ、一定の長日効果が得られたと考えられる。いずれの照射方法においても、無照射に比べ、果粒は肥大したが、棚下30cmに設置し、電照時間帯に連続照射した区が最も果粒肥大が優れた。

帯状の電照光源は、照射範囲がきわめて限定されるこ

とから、新梢の葉1枚あるいは3枚に赤色LEDを照射して、肥大効果を確認した。その結果、いずれの場合も無照射区に対して有意に果粒重が増加し、新梢あたり葉1枚のみの照射でも十分な肥大効果が得られることが明らかになった。

一方、山梨県内において一般的な仕立て方法である自然形整枝・長梢剪定は、新梢の配置が不規則であり、帯状光源では均一な果粒肥大効果が期待できない。そこで、高輝度のLED光源を用いて、棚面をサーチライト状に照射する方法について検討した。試作装置では光源部から7~8mまでの範囲で、実用的な肥大効果が期待できる光量子束密度 $1.0 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ が確保されたが、明確な肥大効果は、光源から2~4mの範囲であり、実用性は低いと判断される。これまでに電照時間帯に15秒間隔で点灯と消灯を繰り返す間断照射によっても効果が得られることを明らかにしたが、点灯と消灯の間隔を5秒-10秒、5秒-15秒とし、照射時間が短くなると肥大効果が小さくなった<sup>4, 5)</sup>。本試験における電照では、光源部を10秒に1回転させたことから、棚面では10秒に1回しか光が照射されない条件であった。そのため、電照時間帯における実質的な照射時間も1/10程度と考えられ、十分な照射時間が確保できないことが原因と考えられる。

一連の試験から、短日期の施設ブドウ栽培において、長日条件を誘導する夜間電照は、部分的かつ低照度で実用性があることを明らかにした。また、赤色光は長日条件の誘導に効果が高く、単色でも十分な効果があった。単色光が得られる赤色LEDの利用は、これまで電照の光源として利用されてきた蛍光灯やメタルハライドランプ、ナトリウムランプなどと比較すると消費電力が少なく、より効率的な光源として期待される。今後、LED素子の低価格化、高輝度化によって、実用化が進むことを期待したい。

#### 4. 結 言

近年は農作物の安定供給、安心、安全な作物生産を目的に、植物工場が注目されている。とくに完全閉鎖型の植物工場では、赤色光や青色光が積極的に利用されているが、植物の成長に必要な光を人工光のみに依存するため、照射量は相当に多い。そのため、採算性の面から、施設の稼働率が高い葉菜類を対象としたものを中心に、果樹のような永年作物の生産には向かない。しか

し、本研究例のように、永年作物においても単色光を利用した日長制御によって、植物に生理的変化をもたらす、品質や生産性を向上させることが可能である。今後、赤色や青色などの単色光、あるいは混合光の利用は、さまざまな場面で、成長を制御できる可能性が高く、作物の品質、生産性を向上させる効果が期待できる。また、成長制御のメカニズムを明らかにする過程で、植物の光に対する生理学的な新知見が得られる可能性が高く、新たな研究手法としても活用場面が広がると期待される。

### 参考文献

- 1) 齊藤典義：ブドウ超早期加温栽培における生産安定・多収技術の開発，平成17年度落葉果樹研究会資料，P. 69-72 (2005)
- 2) 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)
- 3) 齊藤典義，宇土幸伸，三森真里子，萩原茂，阿部治，平川寛之：LEDによる夜間電照がブドウの果粒肥大に及ぼす影響，山梨県総合理工学研究機構研究報告書，第4号P. 29-34 (2009)
- 4) 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，園芸学雑誌. 8 (別1) P. 89, 2009.
- 5) 齊藤典義，宇土幸伸，里吉友貴，阿部治，河野裕，平川寛之：LEDによる夜間電照がブドウの果粒肥大に及ぼす影響 (第2報)，山梨県総合理工学研究機構研究報告書，第5号P. 21-26 (2010)
- 6) 阿部治，河野裕，平川寛之，齊藤典義，宇土幸伸，里吉友貴：ロープ状電照光源の改良，山梨県総合理工学研究機構研究報告書，第5号P. 31-33 (2010)
- 7) 阿部治，河野裕，平川寛之，萩原茂，齊藤典義，宇土幸伸，三森真里子：ロープ状およびサーチライト電照光源の開発，山梨県総合理工学研究機構研究報告書，第5号P. 27-33 (2010)
- 8) 「種なしピオーネ」の超早期加温栽培マニュアル，山梨県果樹試験場 (未発表)，(2005)
- 9) 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)

### 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，園芸学雑誌. 8 (別1) P. 89, 2009.
- 2) 齊藤典義，宇土幸伸，里吉友貴，阿部治，河野裕，平

川寛之，市川和規：ブドウ「ピオーネ」の果粒肥大を目的とした赤色LEDの夜間電照方法の開発，2010. 園学研. 9 (別2) p. 129.

### 特許出願

ブドウ果房の育成方法及び電照装置 (特願2010-062147)

### その他

- 1) 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，平成20年度やまなし産学官連携研究交流事業研究発表会.
- 2) 施設ブドウの果粒肥大を目的とした赤色LEDの照射方法，平成20年度山梨県試験研究成果情報，20果4.
- 3) 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，平成22年度やまなし産学官連携研究交流事業研究発表会.
- 4) 平行整枝と帯状LED光源を組み合わせた早期加温「ピオーネ」の果粒肥大促進方法の開発，平成22年度山梨県試験研究成果情報，22果6.
- 6) 赤色LED照射によるハウスブドウの果粒肥大，農業電化，農業電化協会，2011年1月.