光強度の異なる長日処理がカキ‘西条’果実の成熟抑制と品質に及ぼす影響

倉橋孝夫^{1*}・持田圭介¹・小島正至²

¹ 島根県農業試験場 693-0035 島根県出雲市芦渡町

² 中国電力技術研究センター 739-8527 広島県東広島市鏡山

Effects of Long-day Treatment at Different Light Intensities on Maturation and Fruit Quality
in Japanese Persimmon ‘Saijo’

Takao Kurahashi^{1*}, Keisuke Mochida¹ and Masashi Kobatake²

¹ Shimane Agricultural Experiment Station, Izumo, Shimane 693-0035

² The Chugoku Electric Power Co., Inc. Technical Research Center, Higashi-Hiroshima 739-0046

Summary

To delay harvest of Japanese persimmon ‘Saijo’ (*Diospyros kaki* Thumb.) grown under a greenhouse, the effects of a long-day photoperiod at different light intensities on tree growth and fruit quality were tested.

Exposure of ‘Saijo’ trees to intensive light from August 27 to December 8 under 17 ± 1 hr photoperiod with white fluorescent lamps increased leaf color (SPAD value), secondary shoot growth, and the flesh firmness of the fruit while delaying leaf abscission, fruit color development and decreasing soluble solids content (Brix).

These results indicate that the long-day treatment somehow caused delay in fruit maturation and enhances vegetative growth in ‘Saijo’. The optimum value of photon flux density (PFD) on the canopy surface was estimated to be $1.5 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$ to delay harvest of ‘Saijo’ by approximately 25 days.

Key Words: fruit quality, Japanese persimmon, light intensity, long-day treatment, maturation control.

緒 言

島根県のカキ‘西条’の栽培面積は1998年に約600 haであり、そのほとんどが露地栽培である。収穫時期は10月上旬から11月中旬で、特に10月中旬から11月上旬に出荷が集中し、単価の低下が著しい。また、良品質多収や成熟促進を目的として施設栽培が増加しているが、促成栽培では着色時期が夏の高温時期に当たるため、収穫期はわずかしこ促進することができない。そこで、出荷時期を分散するために成熟時期を遅くする抑制栽培の技術を確立することが求められている。

カキの抑制栽培については、板村(1985)が‘平核無’の樹にビニル被覆することにより、松村ら(1995)は赤い不織布で‘富有’の果実を覆うことによって、樹上で収穫時期を遅くすることができると報告しているが、露地栽培よりわずかしこ遅くできないのが現状である。一方、野

菜や花の生産現場では、植物を効率的に生産するために、人工光源によって、不足する太陽光線を補って光合成を促進することや植物の茎の伸長、花芽形成などの光形態形成を制御することが行われている。特に、光形態形成は、光が刺激として葉中のフィトクロームなどに作用するため、弱い光で効果があるとされ(北宅, 1995)、果樹栽培では山本(1992)や久保田・上原(2000)が、ブドウの新梢伸長などの栄養生長を促進するために利用している。

このような長日処理による栄養生長促進効果を利用すれば、抑制栽培でさらに成熟時期が遅くなると考えられるが、今までカキ樹に長日処理を行った報告はみあたらない。本報告ではカキ‘西条’の果実をより遅くまで樹上で健全に保つ抑制栽培の技術を確立するために、蛍光灯の設置密度を変えて長日処理の効果を生育や果実品質の面から検討した。

材料および方法

実験には、島根県農業試験場圃場の大型ハウス(間口20m, 奥行40m, 棟高5m)で栽培している平棚栽培の10

2001年3月9日 受付. 2001年8月15日 受理.

*Corresponding author.

年生カキ‘西条’42樹のうち20樹用いた。ハウス栽培管理は、天井のビニル被覆時期を生育が早くならないように開花前の5月13日に行い、ハウスの側面は開放状態にした。ハウス側面のビニル被覆は10月1日に行い、同時に最低気温が12℃以下にならないように加温を行った。

電照ランプ密度の試験区は、蛍光ランプ(アイライン・白色FL40SW, 岩崎電気製)を用いて、地上からの高さが2.5 m, 樹冠表面からの高さが約0.5 mの位置に、10 a当たりの設置密度を500灯, 250灯, 125灯および無処理区を設定し、1999年8月27日から12月8日まで長日処理を行った。処理時間は8月27日~10月14日が18:00~20:00と23:00~2:00, 10月15日~12月8日は17:00~20:00と23:00~2:00で日長時間が 17 ± 1 時間になるように設定した。各試験区には5樹用いた。

光強度は光子センサー(LI-1000, LI-COR)を用いて、調査樹の中の代表的な1樹を用いて、樹冠表面を主幹を中心として1 m × 1 m四方の16区画に分けて、1区画について10ヶ所を測定して求めた。

葉色は、各樹10枚の葉について葉緑素計(SPAD-502, ミノルタ製)で、8月23日~12月8日まで約10日間隔で測定した。

また、落葉率は11月22日~12月26日に約10日間隔で垂主枝単位で落葉枚数を測定して求めた。

新梢長および二次生長枝長は落葉後に測定し、二次生長枝率は全新梢数に対する二次生長枝数の割合で表した。

収量の調査は全樹について行った。収穫は島根県の出荷基準の果頂部からへた部の2/3程度の果皮色が3~3.5以上になったときに行った。果実品質は11月25日および12月8日収穫果について、ドライアイス(果実重量の1.2%)を封入して4日後の脱渋が完了した時点で、各樹から代表的な10果について調査した。果肉硬度はユニバーサル硬度計(富士平製)を用いて、切断した赤道部を測定し、屈折計示度は赤道部の果汁を屈折糖度計で測定した。果皮色は各樹10果をラベルし、赤道部を農林水産省果樹試験場基準カラーチャート(山崎ら, 1981)を用いて10

月12日~12月8日まで約10日間隔で測定した。

結 果

1. 電照ランプ密度と光強度

長日処理の電照ランプ密度の試験区における樹冠表面の光子束密度(PFD)の分布は第1図に示した。500灯区の樹冠表面のPFDは $5.9 \sim 19.3 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$ の範囲にあり、平均で $9.1 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$ 、照度では671 lxであった。250灯区の樹冠表面のPFDは $0.6 \sim 17.3 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$ の範囲にあり、平均で $4.7 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$ 、照度で390 lxであった。125灯区のPFDは $0.1 \sim 6.4 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$ の範囲で平均 $1.5 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$ 、照度は113 lxであった。各区ともランプに近い場所ほどPFDが高かった。

2. 長日処理の電照ランプ密度が生育に及ぼす影響

電照ランプ密度が葉色に及ぼす影響をみたのが第2図である。各区の葉色は8月27日に長日処理を始めてから9月中旬までは差が認められなかったが、9月下旬頃から

Fig. 2. Effect of 17-hr photoperiod at different light intensities on chlorophyll concentrations in Japanese persimmon ‘Saijo’ leaf. Vertical bars show the standard errors. Values show the data from Minolta chlorophyll meter, SPAD-502.

Fig. 1. Photon flux density (PFD) on ‘Saijo’ canopy surface under a 17-hr photoperiod at different light intensities.

電照区は無処理区に比べて高くなった。また、12月には電照ランプ密度による各区の差が顕著であり、光強度の強い区ほど葉色が濃かった。特に、12月1日では500灯区が無処理区の2倍程度であった。

電照ランプ密度が累積落葉率に及ぼす影響をみたのが第3図である。累積落葉率が100%に達したのは無処理区が12月8日で最も早く、次いで125灯区が12月17日と無処理区より9日遅く、250灯区と500灯区は12月26日と無処理区より18日遅かった。

Fig. 3. Effect of 17-hr photoperiod at different light intensities on the accumulated defoliation rate in Japanese persimmon 'Saijo'.

Fig. 4. Effect of 17-hr photoperiod at different light intensities on secondary growth shoot in Japanese persimmon 'Saijo'. Vertical bars show the standard error.

第4図は電照ランプ密度が二次生長に及ぼす影響をみたものである。1樹当たりの二次生長枝の割合は電照区が無処理区に比べてやや高かったが、電照ランプ密度による差は認められなかった。一方、平均二次生長枝長は500灯区と250灯区が19 cm程度と最も長く、次いで125灯区であり、無処理区は10.5 cmと最も短かった。

3. 長日処理の電照ランプ密度が収量と果実品質に及ぼす影響

第5図に電照ランプ密度と果皮色の推移の関係を示した。電照区の果皮色は無処理区に比べて着色始期の10月上旬から0.5程度低く、その後、成熟期の12月上旬まで常に1~1.5低かった。また、電照区では光強度の強い区ほど果皮色の進行が遅かった。成熟の目安である果皮色が3以上になるのは、無処理区が11月上旬であったが、電照区は11月下旬であった。

電照ランプ密度が収量と果実品質に及ぼす影響をみたのが第1表である。1樹当たりの収量は各区とも44.7~49.2 kgで差は認められなかった。11月25日の収穫果実の品質をみると、1果重は250灯区が219 gとやや大

Fig. 5. Effect of 17-hr photoperiod at different light intensities on fruit color index in Japanese Persimmon 'Saijo'. Vertical bars show the standard error.

Table 1. Effects of 17-photoperiod at different light intensities on yield and fruit quality in Japanese persimmon 'Saijo'.

Light intensities (lamp/10a)	Yield (kg/tree)	25-Nov			8-Dec		
		Fruit weight (g)	Firmness (kg)	Brix (%)	Fruit weight (g)	Firmness (kg)	Brix (%)
500	49.2	186.7a ^z	3.22a	17.67a	194.5ab	1.45ac	18.64a
250	48.2	219.0b	2.61b	17.86a	209.2a	1.68ac	18.58a
125	44.7	190.3a	2.70b	19.34b	180.8b	2.16b	19.79b
control	49.0	193.2a	2.10c	19.40b	211.2a	1.88ab	19.10ab

^z Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

きかったが、他の区には差が認められなかった。果肉硬度は500灯区が3.22 kgと硬く、次いで125灯、250灯区であり、無処理区が最も柔らかく、長日処理の光強度が強いほど果肉が硬い傾向にあった。屈折計示度は500灯区と250灯区が17%台と低く、125灯区と無処理区が19%台と高かった。12月8日収穫果実の品質は、11月25日より1果重がやや重くなり、果肉硬度はやや柔らかく、屈折計示度は高くなった。12月8日では各処理区ともやや過熟となったため、果肉硬度には差が認められなかったが、果実糖度は125灯区が500灯区と250灯区に比べてやや高かった。

考 察

カキ‘西条’の収穫時期を露地栽培が終わった後の11月中旬以降にする抑制栽培の技術が確立できれば、収穫作業が分散される上に高単価が期待できる。カキの抑制栽培についての報告は、板村(1985)や松村ら(1995)がカキの果実を保温することによって遅くまで果実品質を保つことができるとしている。本報告の無処理区においても、ビニル被覆して最低気温を12℃以上に保つことによって収穫開始時期が11月25日になり、露地栽培に比べて20日程度遅くすることができた。このように、‘西条’は‘平核無’や‘富有’と同様に保温することによって収穫時期を遅くすることが可能であった。本研究では、さらに成熟時期を遅くするために長日処理について検討した。

一般に、電照による植物の光形態形成は、光の持っている情報が信号となって葉の生長や茎の節間伸長、花芽形成などを制御する作用であるとされている(洞口ら, 1997)。葉に及ぼす長日処理の影響についてみると、葉色(SPAD値)は電照区が無処理区より常に高く、長期間にわたって高い値で維持されていた。さらに、落葉時期は無処理区に比べて20日程度遅くなった。植物の葉緑素合成には、光の存在が重要な働きをしており、生育時の光強度が大きいほど葉緑素の絶対量が増加するとされている(Fitter・Hay, 1985)。また、レタス、チンゲンサイ、ツケナでは、長日処理の光強度が強いほどSPAD値が高いと報告(福田ら, 2000)されている。さらに落葉時期については、前田(1992)らが、ブドウの二期作で補光処理を行うと遅くなると報告している。カキ‘西条’でもレタス、チンゲンサイ、ブドウなどと同様に、長日処理を行うことにより葉緑素の低下が抑えられ、葉色が遅くまで高い値で維持され、落葉時期も遅くなるものと考えられる。

新梢の生長に及ぼす影響をみると、新梢の二次生長は長日処理区が無処理区に比べ、枝数割合、枝長とも増加し、二次生長は光強度が強いほど旺盛であった。ブドウでは山本ら(1996)、前田ら(1992)が長日処理によって新梢伸長が促進され、野菜や花卉でも草丈や葉数の変化が報告されている(矢島, 1995)。このように、カキ‘西条’はブドウなどと同様に、長日処理を行うことにより葉色

だけでなく、新梢の二次生長が増大するなど栄養生長促進への影響がみられた。

果実品質に及ぼす影響についてみると、長日処理により、果皮色、糖度の向上、果肉硬度の低下が無処理区に比べて遅れた。島根県の出荷基準に基づく収穫適期は、果頂部からへた部の2/3程度の果皮色が3~3.5以上になったときである。この基準に達して収穫適期になるのは、無処理区が11月上旬であるのに対し、長日処理区は11月下旬から12月上旬であり、果皮色の進行が20~30日遅くなった。また、果実糖度は長日処理区がやや遅れて上昇する傾向にあり、11月25日では、500灯区と250灯区が無処理区より2%低くなった。

一般に、植物体に光が当たることによって生育が促進されるだけでなく、生育にブレーキがかかる場合も多い。このような現象は内生の生長抑制物質の発現や増量によって引き起こされる(長谷川・迫田, 1988)と報告されている。また、葉の老化抑制には、サイトカイニンが重要な役割を持っている(副島, 2000)が、カボチャの子葉に光を照射するとサイトカイニンの量が増加することが明らかとなっている(Kuraishiら, 1991)。これらのことから、カキ‘西条’に長日処理を行うことによって、サイトカイニンなどの内生ホルモンの量が増加したり、何らかの生長抑制物質が発現して、果実の成熟が遅れた可能性が推察される。さらに、栄養生長が旺盛になり、光合成産物が新梢の二次生長に多く分配され、果実への転流量が少なくなり、果実の糖度上昇や着色の進行が遅れるものと推察される。

長日処理の光強度について検討すると、一般に、光合成には光補償点以上の強い光が必要であるが、植物の形態形成には、光が刺激として葉中のフィトクロームなどに作用するため、弱い光でも形態形成を調節できるとされている(北宅, 1995)。本実験では蛍光灯を用いて、125灯~500灯/10aの範囲で設置密度を変えて検討した結果、樹冠表面のPFDが $9.1\sim 1.5\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sec}^{-1}$ の間では、PFDが強いほど光形態形成に及ぼす影響は大きかったが、 $1.5\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sec}^{-1}$ 程度の弱い光でも十分な効果が認められた。上記のように $9\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sec}^{-1}$ 程度の強い光では、成熟遅延作用が大きい上に新梢の二次生長も盛んになり、果皮色の進行や糖の蓄積が遅れた。しかし、PFDが $1.5\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sec}^{-1}$ 程度の電照、つまり125灯/10aでは、成熟遅延にはやや効果が低かったが、果実糖度の低下がなかった。このことから、カキ‘西条’の抑制栽培には、果実糖度の低下が少なく成熟が遅延する125灯/10a程度の電照ランプ密度が適当と考えられた。山本(1992)によればブドウ‘巨峰’での光形態形成に及ぼす光強度は $0.15\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sec}^{-1}$ 程度で十分であるとしており、カキ‘西条’でもさらに弱い光でも効果があるかもしれない。

また、植物の茎の伸長は赤色光と遠赤外光の光子束

密度比 (R:FR 比) の低下によって促進され (Morgan・Smith, 1976), FR 付加照射により植物の形態形成が制御され植物生育が促進される (村上ら, 1992) と報告されている。本報告では取り扱いが簡便で低価格である白色の蛍光ランプを用いたが, FR の波長を加味したランプ (洞口ら, 1997) を用いれば, さらにカキの光形態形成を効率良く促進して, 成熟遅延効果が高まるかもしれない。また, 本報告では, 1 日の太陽光の照射時間と電照時間を合わせた日長時間を日長延長と夜間中断を併用して 17 時間程度としたが, 今後は適正な電照時間帯や日長時間についても検討したい。

摘 要

カキ '西条' の抑制栽培の技術確立するために, 蛍光ランプを用いて, 10 a 当たりの設置密度を 500 灯, 250 灯, 125 灯と無処理区を設定し, 8 月 27 日 ~12 月 8 日まで日長時間が 17 時間 ± 1 時間になるようにして長日処理の効果と適正な電照ランプ密度について調べた。

光強度の異なる長日処理を行うと, 光強度の強い区ほど葉色 (SPAD 値) が濃く, 新梢の二次生長量が多く, 落葉時期が遅れた。さらに, 果皮色の進行は光強度の強い区ほど遅く, 果皮色が 3 以上になるのは, 無処理区が 11 月上旬であったが, 電照区は 11 月下旬であった。また, 果肉硬度は光強度が強い区ほど硬く, 屈折計示度は低かった。

以上より, カキ '西条' に長日処理を行うことによって, 果実の成熟が遅れ, 栄養生長は盛んになると考えられた。また, カキ '西条' の抑制栽培で適正なランプ設置密度は, 成熟遅延効果があり, 果実糖度の低下が少ない 125 灯 /10 a で, 樹冠表面 PFD は $1.5 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$ 程度であると考えられた。

引用文献

- Fitter, A. H. and R. K. M. Hay. 1985. 植物の環境と生理 (大田 安定・森下豊昭・橘 泰憲・岩崎 誠共訳). p.59-61. 学会出版センター. 東京.
- 福田直也・鈴木耕一・池田英男. 2000. 人工光源による深夜補光が数種水耕そ菜の生育に及ぼす影響. 園学雑. 69: 76-83.
- 長谷川宏司・迫田理子. 1988. 光によって誘導される植物生長抑制物質. 植物の化学調節. 23: 76-82.
- 洞口公俊・村上克介・向坂信一. 1997. 植物生産効率化のための光放射利用. 照明学会誌. 81: 581-585.
- 板村裕之. 1985. カキ平核無果実における脱渋後の軟化に関する研究. 京都大学学位論文.
- 北宅義昭. 1995. 光による植物の生長及び形態形成調節の応用. p.44-52. 日本植物工場学会著. SHITA REPORT No. 8. 植物生産における人工照明技術の基礎と応用. 日本植物工場学会. 静岡.
- 久保田尚浩・上原健一. 2000. 分光特性の異なるランプでの日長処理がブドウ 'ピオーネ' の新梢生長に及ぼす影響. 園学雑. 69: 460-465.
- Kuraishi, S., K. Tasaki, N. Sakurai and K. Sadatoku. 1991. Changes in levels of cytokinins in etiolated squash seedlings after illumination. Plant Cell Physiol. 32: 585-591.
- 前田 学・片山友孝・久保田尚浩. 1992. ブドウ 'ピオーネ' の二期作に関する研究. 第 2 報. 作型による新梢生長の違い. 園学雑. 61(別 2): 180-181.
- 松村博行・野口裕史・高橋 弘. 1995. 赤い不織布によるカキ「富有」の抑制栽培. 園学雑. 64(別 2): 14-15.
- Morgan, D. C. and H. Smith. 1976. Linear relationship between phytochrome photoequilibrium and growth in plants under simulated natural radiation. Nature 262: 210-212.
- 村上克介・洞口公俊・森田政明・相賀一郎. 1992. 遠赤色光付加照射によるひまわり幼植物の伸長生長制御. 生物環境調節. 29: 73-79.
- 副島 洋. 2000. 作物生産における葉の老化抑制の重要性とサイトカイニンの役割. 植物の化学調節. 35: 180-193.
- 山本孝司. 1992. 加温栽培における電照栽培と補光栽培. p.286 の 48-286 の 54. 農業技術体系果樹編ブドウ. 農文協. 東京.
- 山本孝司・小豆沢 斉・岡本 敏. 1996. ブドウ数品種における補光処理が新梢の生育と果実品質に及ぼす影響. 園学雑. 65(別 2): 254-255.
- 山崎利彦・鈴木勝征・村瀬昭治・大竹 智. 1981. 果実の成熟度判定のためのカラーチャートの作成とその利用に関する研究 (第 2 報) カキ '平核無' のカラーチャートの色特性. 果樹試報 A. 8: 79-84.
- 矢島 進. 1995. 環境に対する生物の反応. p.102-109. 日本生物環境調節学会著. 生物環境調節ハンドブック. 養賢堂. 東京.