

# 夜間光照時程對水稻生長、發育及產量之影響<sup>1</sup>

李裕娟<sup>2</sup> 楊純明<sup>2,3</sup> 蕭巧玲<sup>2</sup>

## 摘 要

李裕娟、楊純明、蕭巧玲。2011。夜間光照時程對水稻生長、發育及生產之影響。台灣農業研究 60:21-38。

本研究於臺中市霧峰區之行政院農業委員會農業試驗所農場進行田間試驗，選用較低感光性稻種臺梗 2 號 (TK 2) 及較高感光性稻種臺梗 11 號 (TK 11) 為參試材料，利用高壓鈉燈 (HPSL)、水銀燈 (ML) 及不照光 (CK) 等 3 種光源進行兩種夜間光照 (暗期光中斷) 時程之處理 (時程 I：23：30 至 01：30，光照 2 小時；時程 II：23：30 至 24：30，光照 1 小時)，據以探討夜間光照對不同感光性稻種生長、發育及產量之影響。經由位於不等光源距離稻株植被 (冠) 上方之光子流密度 (PPFD) 測值分佈曲線，發現概以 HPSL 之光輻射測值大於 ML 者，且均符合以距離平方倒數之遞減比例衰降，在兩參試稻種所測得之趨勢亦類似。由試驗結果發現，兩稻種植株高度對夜間額外光照反應之差異不大，單株葉片數和葉面積則因此而受到明顯促進，並增加葉片與莖桿之鮮、乾重。此一生長促進效果愈接近光源愈明顯，而 2 小時程之處理效應略多大於 1 小時時程，HPSL 光源又高於 ML 光源。稻株生育之進展將因為夜間光照而延後 (緩)，無論自插秧至 50% 抽穗或由 50% 抽穗至收穫等兩期間皆然，且愈近光源之稻株延後效應愈明顯。雖然夜間額外光照促進了稻株之生長性狀，但光敏感性較高之 TK 11 稻種的穗鮮、乾重卻因此而出現顯著下降現象，經分析原因主要係稻株有效分蘗百分比及稔實率減少之故，且 2 小時光照時程減少幅度略大於 1 小時，HPSL 處理又高於 ML 處理。穗重的降低導致收穫指數顯著下降，接近光源距離 2 m 內的 TK 11 稻株甚至減為對照組的 15-55% 或無法抽穗。光敏感性較低之 TK 2 稻種受到夜間光照影響相對小於 TK 11，雖然有效分蘗百分比無明顯差異，惟稔實率及千粒重的降低也造成 TK 2 收穫指數的下降。

**關鍵詞：**夜間光照、暗期光中斷、光照處理時程、水稻、生育、產量。

## 前 言

光照對於農作物生產之影響係全面性的，

日間光照通常提供作物生育所需之能源及相關基本物質，帶動各種生理生化機制之進行，同時影響作物自營養生長相轉化為生殖生長相之

- 
1. 行政院農業委員會農業試驗所研究報告第 2447 號。接受日期：100 年 3 月 3 日。
  2. 本所作物組助理研究員、研究員、助理研究員。台灣 台中市。
  3. 通訊作者，電子郵件：cmyang@tari.gov.tw；傳真機：(04)23317118。

期程及向性 (tropism)。前者以光合作用為主體，後者牽涉植物色素、光週性 (期) (photo-periodism) 及植物荷爾蒙。從光週性觀點分析植物開花對白晝明期光照時數 (或更正確的說是夜間暗期長短) 的需求，可將植物概分為短日型植物 (short-day plant; SDP)、中性植物 (day-neutral plant; DNP)、長日型植物 (long-day plant; LDP) 及中間性植物 (intermediate plant) 四種類型 (Garner & Allard 1923; Kao & Tang 1978; Nelson 2005)。水稻係臺灣最主要的穀類/糧食作物，常被歸屬於短日型，亦即在水稻的營養生長期間 (稻種發芽至幼穗形成期)，其生長環境的暗期長度必須高於臨界暗期才會促進幼穗及花芽的形成，甚至於抽穗開花。

一般而言，水稻穗始原體 (panicle primordium) 發生在短日 (長夜) 條件下，在長日 (短夜) 條件下穗始原體會有延遲發生或正常發生但不發育之結果 (Chang 1988)。Bertero *et al.* (1999) 亦指出水稻之小穗花形成 (floral initiation) 會受到光週期之影響，其次會影響到小穗花發育。因此，抽穗時期受光週期之影響很大，且不同水稻品種對光週期之敏感性可能不同，此種對感光性差異之範圍，即為作物適應於不同光照環境條件之一 (Best 1959; Evans *et al.* 1984; Fukai 1999; Tang *et al.* 1978)。大多數之水稻品種最適光週期 (optimum photoperiod) 介於 9–10 小時之間，較長或較短之日長都將延遲抽穗，至於延遲抽穗時間之長短則隨著品種對光週期的敏感性而異 (Chang 1988; Best 1959; Yin & Kropff 1996)。大致上，不同水稻品種對光週期之反應可區分為不感光性 (較為鈍感)、部分感光性及敏銳感光性等三類 (Vergara & Chang 1985)。有研究以長日或短日處理不同稻種，發現其抽穗日數差異不大 (Yin & Kropff 1996, 1998)，然而另有研究指出以 9–12.5 小時為最適光週期之稻種，經短日處理 (4–12 小時) 可加速抽穗，若以長日處理下 (13–

24 小時) 則會延長營養生長期並且延遲幼穗形成 (Best 1959)。通常對光週期較為敏感之品種，以長日處理會明顯地延長其抽穗所需天數，而對光週期較為不敏感之品種，以長日或短日處理之抽穗所需天數差異不大 (Yin & Kropff 1996, 1998; Yin *et al.* 1997)。

事實上，目前已知不同水稻品種之間確實存在極大的光週期感應差異 (Coolhaas & Wormer 1953; Chandraratna 1954; Best 1959; Tang *et al.* 1978; Evans *et al.* 1984; Vergara & Chang 1985)，一般秈稻、糯性稻及早熟硬稻品種受到光強度的影響較為敏感。臺灣現行育成之栽培種水稻，由於採用連續育種方式，稻種選育常跨越一、二期作，因此對光週期較為敏感之基因型多被淘汰，使得育成品種多留下對光週期較不敏感之基因型。固然如此，接受額外夜間光照的植株，仍可能因為長期夜間光照改變其光週性而致生育延緩，進而造成異常抽穗開花，尤其是感光性品種反應較為敏銳。無論短日型或長日型植物，當在日間利用光輻射能生產的簡單光合產物，未能順利的在夜間進行正常的生理反應，以進一步轉化成生長發育所需的各種化合物時，可預見必然干擾既定的生理生化代謝及生育進展。以屬於長日型果樹普遍栽培於高屏地區的印度棗為例，夜間光照使其提前開花、增加開花數及提早產期 (Chiou 1992; Chiou & Huang 1994; Chiou *et al.* 1998; Chiou & Weng 2003)，經整夜連續照光者其產期將較不照光者提早 40 天 (Chiou & Weng 1996)；反之，屬於短日型的水稻在夜間光照處理下則延後抽穗開花 (Huang 2006; Lee *et al.* 2010)。

依照現行對植物光週性的認知，此特性調控植體內生長素之形成與含量，進而改變其生理代謝功能和運轉。並認為係由一微量的藍綠色色素「光敏素 (phytochrome)」作為接受光週期訊息的接受者，透過吸收紅光的 Pr 型態色素

及另一吸收遠紅光的 Pfr 型態色素之間的轉換誘引許多光形態相關活動的發生，終於於生育期進展 (Walker & Bailey 1968; Thomas & Vince-Prue 1996; Devlin 2002; Nagy & Schaefer 2002; Kevei & Nagy 2003; Thomas 2006)。人工光源一如太陽光輻射，被發現亦會影響農作物之生產，如前述人工光源對印度棗之作用 (Chiou & Weng 1996; Chiou *et al.* 1998)，或短期夜間光照對稻株生長發育 (Lee *et al.* 2010) 與抽穗開花 (Izawa *et al.* 2002) 之干擾等，最後均可能改變生產表現。Lee *et al.* (2010) 之研究即指出道路照明常用之水銀燈 (mercury lamp; ML) 及高壓鈉燈 (high pressure sodium lamp; HPSL) 對水稻生育具有明顯影響，其中水銀燈主要光輻射包括紫光 (400–425 nm)、藍光 (425–490 nm)、綠光 (490–560 nm) 及黃光 (560–585 nm) 等可見光波段，另有少量近紅外光波段 (740–1200 nm)，而高壓鈉燈之主要光輻射則涵蓋綠光至紅光波段 (490–740 nm)，亦有相當近紅外光波段輻射量。這些光波段之光輻射乃影響作物生長與開花的光質，且通常光強度愈強其影響愈顯著。

雖然影響稻株生育及產量之氣象因素頗多，其交感作用亦十分複雜，單一光照因子仍可對稻株生長、發育及產量造成深遠影響。本研究藉由選用不等光敏感性稻種來探討夜間光照對稻株生長、發育及生產之影響，又由夜間光照之時程長短來瞭解光輻射強度之劑量效應，以進一步釐清與解釋額外夜間光源照射對水稻乃至於其他類似農作物生產的影響機制。

## 材料與方法

### 參試稻種及夜間光照處理

本項田間試驗設於臺中市霧峰區之行政院農業委員會農業試驗所農場，2007 年二期稻作及 2008 年一稻期作之夜間光照時程為 2 小時 (午夜 23:30–01:30)，2008 年二期作及 2009

年一期作之夜間光照時程為 1 小時 (23:30–00:30)，參試稻種由預備試驗結果選用相對感光性較高之臺梗 11 號 (TK 11) 及較低之臺梗 2 號 (TK 2)。夜間光照處理係於接近暗期中間之午夜時分進行人工光源照射，自插秧後 1 個月開始夜間照明直至收穫為止，而光源計有高壓鈉燈 (HPSL; 70 W/220 V, E27, Philips Electronics N.V., Holland)、水銀燈 (ML; 80 W/220 V, China Electronic MFG Corp., Taipei, Taiwan, ROC) 及不照光 (no light treatment; CK) 等 3 種。由輻射光譜儀 (model GER-2600, Geophysical & Environmental Research Corp., New York, USA) 量測 HPSL 及 ML 兩種光源之放射光譜 (圖 1)，光源架設高度距離地面 3 m，設置於各處理長方形田區 (長 25 m × 寬 10 m) 之一頂角，一如 Lee *et al.* (2010) 設計。光源之光合作用光子流密度 (photosynthetic photon flux density; PPFD) 係以光量子測計 (quantum sensor; LI-189, Li-Cor Crop., Nebraska, USA) 為之，分別在距離光源 0.5、1、2、4、6、8 及 10 m 之水稻植被 (冠) 表面垂直上方測定，以獲得光源中心不等距離同心圓之光輻射測值，而偵測之光輻射波長範圍為 400–700 nm、單位為  $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 。

### 水稻栽培及取樣調查

當秧苗至 3–4 葉齡期，以南北向多本植方式機插於試驗田區，土壤質地為壤土，酸鹼值 pH 5.36，有機質含量 2.21%。栽植期間之肥料施用，係於插秧後 1 週內施用硫銨 200 kg ha<sup>-1</sup> 為基肥，插秧後 3–4 週施用臺肥 39 號複合肥料 200 kg ha<sup>-1</sup> 為第 1 次追肥，插秧後 5–6 週施用尿素 100 kg ha<sup>-1</sup> 為第 2 次追肥，最後於抽穗前 2–3 週再施用硫銨 160 kg ha<sup>-1</sup> 為穗肥。在雜草防除上，插秧後施用 8% 丁拉殺丹粒劑 30 kg ha<sup>-1</sup>，又於第一次追肥前以人工除草 1 次。栽植期間若發生病蟲害，則參考行政院農業委員會出版之「植物保護手冊 (2004)」農藥

推薦方法與使用量來施用，二化螟蟲防治係施用 6%培丹粒劑  $30 \text{ kg ha}^{-1}$ ，瘤野螟防治藥劑為 40.6%加保扶水懸劑  $1.2 \text{ L ha}^{-1}$  (1000× 稀釋液)，50%歐殺松可濕性粉劑  $1.2 \text{ kg ha}^{-1}$  (1000× 稀釋液) 使用於防治褐飛蟲，50%維利黴素  $1 \text{ L ha}^{-1}$  (1000× 稀釋液) 則防治紋枯病及其他病害。

為釐清夜間光照時程對參試水稻生長、發育與產量之影響，乃於稻苗移植、50%抽穗及收穫等 3 時間點在距離光源不同同心圓位置進行取樣，調查包括株高 (PH)、葉片數 (LN)、葉面積 (LA) 及植株各部位 [葉片 (L)、稈 (C)、穗 (P)] 之鮮重 (FW) 與乾重 (DW;  $80^\circ\text{C}$  烘乾 72

小時) 等稻株生長性狀，以及包括有效分蘗百分比 (percent effective tillers; PET)、稔實率 (percent filled grains; PFG) 及千粒重 (1000-grain weight; 1000-GW) 等收穫產量性狀。其中，PET = (穗數/分蘗數)  $\times 100\%$ ，PFG = [稔實粒數/(稔實粒數 + 未稔實粒數)]  $\times 100\%$ ，1000-GW 則為一千粒稔實穀粒重。另計算收穫指數 (harvest index, HI)，公式為  $\text{HI} = [\text{穗乾重}/(\text{葉乾重} + \text{稈乾重} + \text{穗乾重})] \times 100\%$ ，以瞭解穗重占地上部植體重之比例。試驗資料以 SAS 軟體 (Version 8.1, SAS Institute 1998) 統計分析，又以 SigmaPlot (Version 8.0) 統計繪圖軟體繪製圖形。

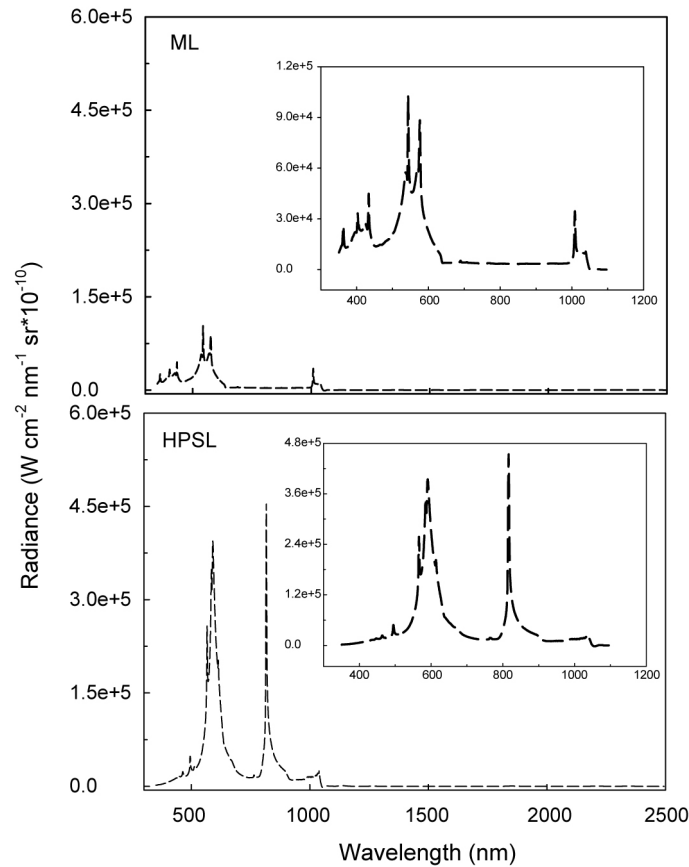


圖 1. 水銀燈 (ML) 及高壓鈉燈 (HPSL) 之輻射光譜。

Fig. 1. The radiance spectra of mercury lamp (ML) and high pressure sodium lamp (HPSL).

### 結 果

本項試驗採用兩種常見路燈光源-水銀燈 (ML) 和高壓鈉燈 (HPSL)，分別將之架設於田間，由此兩光源之放射光譜可知其質與量之間均有明顯差別 (圖 1)。另由位於光源不等距離同心圓量測之光輻射強度曲線分佈圖，顯示光強度隨著光源距離的增加而下降 (圖 2)。惟原設定之架設高度 (3 m) 因水田軟質土壤而略有高低浮沉，使得在 2007 年二期作和 2008 年一期作架設於 TK 2 之光源高度略低於 TK 11 者，因此量測之 ML 和 HPSL 的光強度較高於 TK 11；反之，在 2008 年二期作和 2009 年一期作架設於 TK 11 之光源高度略低於 TK 2

者，因此量測之 ML 和 HPSL 的光強度較高於 TK 2。

稻株經過夜間光照 (暗期光中斷) 處理將改變其發育節奏，使得生育進展異於常態表現，包括由插秧至 50%抽穗及由 50%抽穗至收穫等兩時期 (表 1A 及 1B)。由表中資料，稻株距離光源愈近則各時期延長之天數有增加的趨勢，而且較高感光性稻種 TK 11 延長之生育天數普遍大於較低感光性稻種 TK 2，相同光源之 2 小時處理時程之延長效果又高於 1 小時處理時程。另雖然 HPSL 光源對延長稻株生育天數的效果大多高於 ML 光源，但是不同生育階段之延長效應不一。

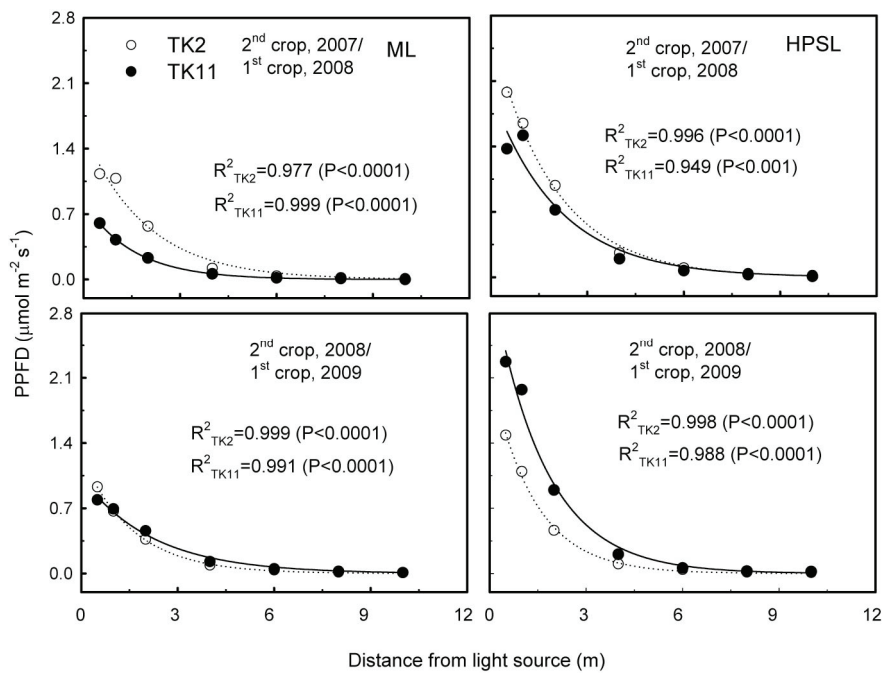


圖 2. 位於不同光源 (ML 及 HPSL) 之不等距離同心圓水稻 (TK 2 及 TK 11) 植被垂直上方量測之光子流密度曲線分佈圖。

Fig. 2. The photosynthetic photon flux density (PPFD) measured above canopies of rice cultivars TK 2 and TK 11 at various distances from mercury lamp (ML; left figures) and high pressure sodium lamp (HPSL; right figures). Top figures are second crop of 2007 and first crop of 2008 and bottom figures are second crop of 2008 and first crop of 2009.

表 1A. 不同光源與距離之夜間光照 (暗期光中斷) 處理對 2007 年二期稻作及 2008 年一期稻作期間之水稻臺稈 11 號及臺稈 2 號發育天數之影響

Table 1A. Effect of source and distance of night illumination on development and growth of rice cultivars TK 11 and TK 2 in the fields (second crop of 2007 and first crop of 2008)<sup>z</sup>

| Light source               | Growth duration            | Distance from light source (m) |     |     |     |     |     |                |                |     |     |     |     |     |     |  |
|----------------------------|----------------------------|--------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|----------------|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|
|                            |                            | Cultivar TK 2                  |     |     |     |     |     | Cultivar TK 11 |                |     |     |     |     |     |     |  |
|                            |                            | 0.5                            | 1   | 2   | 4   | 6   | 8   | 10             | 0.5            | 1   | 2   | 4   | 6   | 8   | 10  |  |
| HPSL <sup>y</sup> , 2 h    | 2 <sup>nd</sup> crop, 2007 |                                |     |     |     |     |     |                |                |     |     |     |     |     |     |  |
|                            | T-FH <sup>x</sup>          | 77                             | 77  | 76  | 72  | 72  | 72  | 72             | N <sup>w</sup> | N   | N   | 74  | 72  | 72  | 72  |  |
|                            | FH-H                       | 49                             | 49  | 44  | 38  | 38  | 38  | 38             | N              | N   | N   | 52  | 51  | 42  | 42  |  |
|                            | Total                      | 126                            | 126 | 120 | 110 | 110 | 110 | 110            | N              | N   | N   | 126 | 123 | 114 | 114 |  |
|                            | 1 <sup>st</sup> crop, 2008 |                                |     |     |     |     |     |                |                |     |     |     |     |     |     |  |
|                            | T-FH                       | 96                             | 96  | 95  | 91  | 88  | 87  | 86             | 102            | 102 | 102 | 93  | 88  | 84  | 84  |  |
|                            | FH-H                       | 38                             | 38  | 37  | 37  | 37  | 37  | 37             | 45             | 45  | 45  | 41  | 38  | 37  | 37  |  |
|                            | Total                      | 134                            | 134 | 132 | 128 | 125 | 124 | 123            | 147            | 147 | 147 | 134 | 126 | 121 | 121 |  |
|                            | ML, 2 h                    | 2 <sup>nd</sup> crop, 2007     |     |     |     |     |     |                |                |     |     |     |     |     |     |  |
| T-FH                       |                            | 68                             | 68  | 67  | 66  | 65  | 65  | 65             | 72             | 72  | 70  | 70  | 65  | 65  | 65  |  |
| FH-H                       |                            | 54                             | 54  | 53  | 47  | 49  | 49  | 49             | 54             | 54  | 50  | 44  | 44  | 44  | 44  |  |
| Total                      |                            | 122                            | 122 | 120 | 113 | 114 | 114 | 114            | 126            | 126 | 120 | 114 | 109 | 109 | 109 |  |
| 1 <sup>st</sup> crop, 2008 |                            |                                |     |     |     |     |     |                |                |     |     |     |     |     |     |  |
| T-FH                       |                            | 91                             | 91  | 91  | 91  | 88  | 87  | 87             | 85             | 85  | 85  | 85  | 81  | 81  | 81  |  |
| FH-H                       |                            | 41                             | 41  | 39  | 39  | 36  | 36  | 36             | 62             | 62  | 62  | 47  | 43  | 41  | 41  |  |
| Total                      |                            | 132                            | 132 | 130 | 130 | 124 | 123 | 123            | 147            | 147 | 147 | 132 | 124 | 122 | 122 |  |
| CK                         |                            | 2 <sup>nd</sup> crop, 2007     |     |     |     |     |     |                |                |     |     |     |     |     |     |  |
|                            | T-FH                       | 65                             |     |     |     |     |     |                | 62             |     |     |     |     |     |     |  |
|                            | FH-H                       | 49                             |     |     |     |     |     |                | 43             |     |     |     |     |     |     |  |
|                            | Total                      | 114                            |     |     |     |     |     |                | 109            |     |     |     |     |     |     |  |
|                            | 1 <sup>st</sup> crop, 2008 |                                |     |     |     |     |     |                |                |     |     |     |     |     |     |  |
|                            | T-FH                       | 86                             |     |     |     |     |     |                | 81             |     |     |     |     |     |     |  |
|                            | FH-H                       | 36                             |     |     |     |     |     |                | 40             |     |     |     |     |     |     |  |
|                            | Total                      | 122                            |     |     |     |     |     |                | 121            |     |     |     |     |     |     |  |

<sup>z</sup> There is difference in sensitivity to night illumination between TK 11 and TK 2. Data are 2-h night illumination for these two field tests.

<sup>y</sup> Light sources, HPSL: high pressure sodium lamp; ML: mercury lamp; CK: Control (no light treatment). Data are mean values averaging from different distances.

<sup>x</sup> T-FH: days from transplanting to 50% heading; FH-H: days from 50% heading to harvest; Total: days from transplanting to harvest.

<sup>w</sup> N: no heading of rice plants.

有關夜間光照對於參試水稻生長之影響，對於相對較低感光性稻種 TK 2 而言，試驗結果顯示株高之間差異不大 (圖 3)。但是，額外

的夜間光照具有促進葉片數與葉面積之趨勢，相同光源之 2 小時處理時程效果大於 1 小時處理時程，HPSL 光源之促進效果又高於 ML 光

源，而葉面積的生長促進效應類似於葉片數之表現。對於相對較高感光性稻種 TK 11，處理間之株高差異參差不齊，然而葉片數和葉面積

兩生長性狀亦呈現促進效果，且 2 小時處理時程大於 1 小時、HPSL 光源處理高於 ML 光源處理 (圖 4)。

**表 1B.** 不同光源與距離之夜間光照 (暗期光中斷) 處理對 2008 年二期稻作及 2009 年一期稻作期間之水稻臺稈 11 號及臺稈 2 號發育天數之影響

**Table 1B.** Effect of source and distance of night illumination on development and growth of rice cultivars TK 11 and TK 2 in the fields (second crop of 2008 and first crop of 2009)<sup>z</sup>

| Light source              | Growth duration           | Distance from light source (m) |     |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |
|---------------------------|---------------------------|--------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|
|                           |                           | Cultivar TK 2                  |     |     |     |     |     |     |     | Cultivar TK 11 |     |     |     |     |     |
|                           |                           | 0.5                            | 1   | 2   | 4   | 6   | 8   | 10  | 0.5 | 1              | 2   | 4   | 6   | 8   | 10  |
| HPSL <sup>y</sup> , 1 h   | 2 <sup>nd</sup> crop,2008 |                                |     |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |
|                           | T-FH <sup>x</sup>         | 73                             | 72  | 68  | 68  | 68  | 68  | 68  | 74  | 72             | 69  | 68  | 68  | 68  | 61  |
|                           | FH-H                      | 48                             | 46  | 50  | 50  | 48  | 48  | 48  | 54  | 53             | 52  | 39  | 39  | 39  | 46  |
|                           | Total                     | 121                            | 118 | 118 | 118 | 116 | 116 | 116 | 128 | 125            | 121 | 107 | 107 | 107 | 107 |
|                           | 1 <sup>st</sup> crop,2009 |                                |     |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |
|                           | T-FH                      | 94                             | 93  | 93  | 87  | 86  | 85  | 85  | 92  | 92             | 92  | 86  | 85  | 81  | 79  |
|                           | FH-H                      | 36                             | 34  | 34  | 36  | 35  | 36  | 36  | 51  | 51             | 51  | 44  | 37  | 33  | 34  |
|                           | Total                     | 130                            | 127 | 127 | 123 | 121 | 121 | 121 | 143 | 143            | 143 | 130 | 122 | 114 | 113 |
|                           | ML, 1 h                   | 2 <sup>nd</sup> crop,2008      |     |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |
| T-FH                      |                           | 72                             | 71  | 71  | 71  | 68  | 68  | 68  | 70  | 69             | 69  | 69  | 63  | 63  | 61  |
| FH-H                      |                           | 48                             | 47  | 47  | 47  | 48  | 48  | 48  | 57  | 56             | 49  | 38  | 44  | 44  | 46  |
| Total                     |                           | 120                            | 118 | 118 | 118 | 116 | 116 | 116 | 127 | 125            | 118 | 107 | 107 | 107 | 107 |
| 1 <sup>st</sup> crop,2009 |                           |                                |     |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |
| T-FH                      |                           | 88                             | 88  | 86  | 85  | 85  | 85  | 85  | 87  | 87             | 87  | 85  | 81  | 80  | 79  |
| FH-H                      |                           | 41                             | 41  | 39  | 35  | 35  | 35  | 35  | 51  | 49             | 49  | 36  | 34  | 34  | 35  |
| Total                     |                           | 129                            | 129 | 125 | 120 | 120 | 120 | 120 | 138 | 136            | 136 | 121 | 115 | 114 | 114 |
| CK                        |                           | 2 <sup>nd</sup> crop,2008      |     |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |
|                           | T-FH                      | 69                             |     |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |
|                           | FH-H                      | 49                             |     |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |
|                           | Total                     | 118                            |     |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |
|                           | 1 <sup>st</sup> crop,2009 |                                |     |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |
|                           | T-FH                      | 83                             |     |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |
|                           | FH-H                      | 34                             |     |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |
|                           | Total                     | 117                            |     |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |

<sup>z</sup> There is difference in sensitivity to night illumination between TK 11 and TK 2. Data are 1-h night illumination for these two field tests.

<sup>y</sup> Light sources, HPSL: high pressure sodium lamp; ML: mercury lamp; CK: Control (no light treatment). Data are mean values averaging from different distances.

<sup>x</sup> T-FH: days from transplanting to 50% heading; FH-H: days from 50% heading to harvest; Total: days from transplanting to harvest.

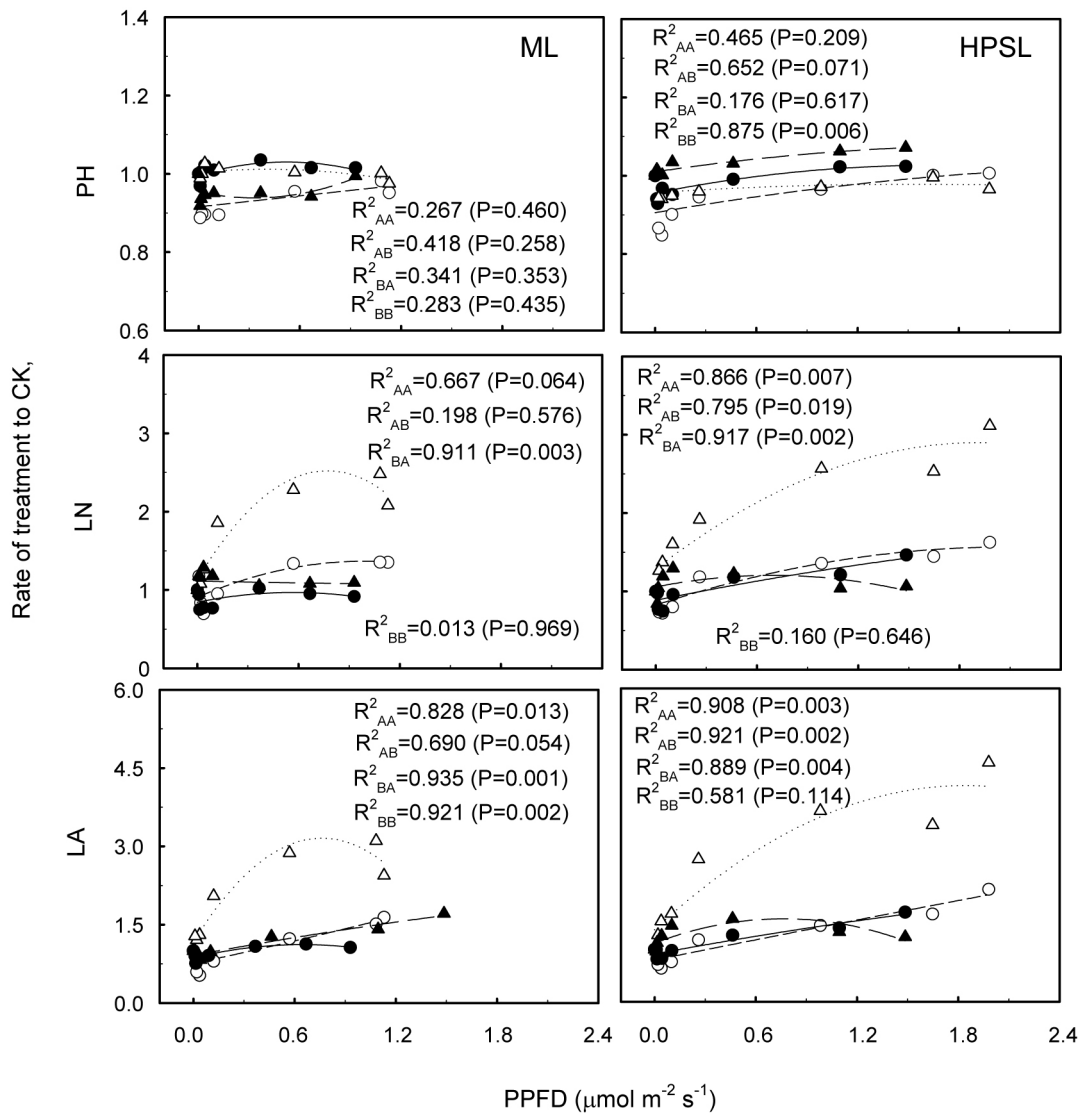


圖 3. 栽植於 2007 年二期至 2009 年一期之水稻品種臺硬 2 號 (TK 2) 經不等光子流密度 (PPFD) 夜間光照處理植株之株高 (PH)、葉片數 (LN) 及葉面積 (LA) 相對於不光照對照植株之比率變化分佈圖。

**Fig. 3.** Effect of photosynthetic photon flux density (PPFD) from night illumination (ML or HPSL) treatment for 2 h or 1 h on plant height (PH), leaf number (LN) and leaf area (LA) of rice cultivar TK 2 grown in 2007–2009. Data are calculated by ratio of light treatment and dark control. Symbols in this figure are: ○: 1<sup>st</sup> crop, 2008 (2h)-AA; ●: 1<sup>st</sup> crop, 2009 (1h)-AB; △: 2<sup>nd</sup> crop, 2007 (2h)-BA; and ▲: 2<sup>nd</sup> crop, 2008 (1h)-BB.

比較葉片鮮、乾重和莖桿鮮、乾重之調查結果，較低感光性 TK 2 水稻經過夜間光照處理後，也出現重量隨著光強度上升而增加的趨

勢 (圖 5)。不分栽植年份和期作，2 小時處理時程大於 1 小時處理時程，HPSL 光源處理高於 ML 光源處理。較高感光性 TK 11 水稻有類

似結果 (圖 6)，在各栽植年份和各期作皆以 2 小時處理時程大於 1 小時處理時程、HPSL 光源處理高於 ML 光源處理。惟此兩品種之葉片鮮、乾重的促進比例均大於莖桿鮮、乾重者，而且兩品種皆以 2007 年二期作 2 小時之夜間光照增加幅度最為顯著。

夜間光照對參試水稻產量上之影響，則視品種感光性而有差別。對於較低感光性水稻品

種 TK 2，夜間光照處理未有顯著降低穗重之效果 (圖 7)；對於較高感光性水稻品種 TK 11，無論栽植年份、期作與光源類別，稻穗的鮮、乾重均因夜間光照而大幅減少，除了一期作之 HPSL 光源處理，2 小時處理時程下降幅度概大於 1 小時處理時程，HPSL 光源處理又高於 ML 光源處理 (圖 8)。

分析參試水稻之產量構成要素，較低感光

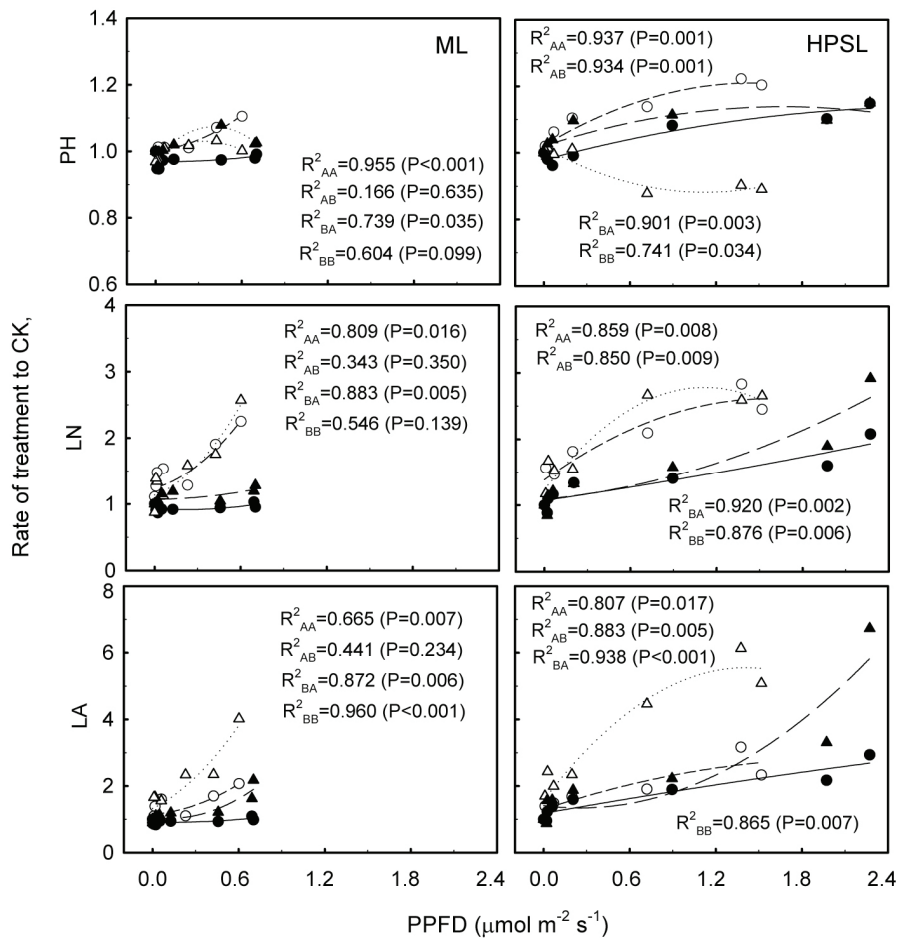


圖 4. 栽植於 2007 年二期至 2009 年一期之水稻品種臺梗 11 號 (TK 11) 經不等光子流密度 (PPFD) 夜間光照處理植株之株高 (PH)、葉片數 (LN) 及葉面積 (LA) 相對於不光照對照植株之比率變化分佈圖。

Fig. 4. Effect of photosynthetic photon flux density (PPFD) from night illumination (ML or HPSL) treatment for 2 h or 1 h on plant height (PH), leaf number (LN) and leaf area (LA) of rice cultivar TK 11 grown in 2007–2009. Data are calculated by ratio of light treatment and dark control. Symbols in this figure are: ○: 1<sup>st</sup> crop, 2008 (2h)-AA; ●: 1<sup>st</sup> crop, 2009 (1h)-AB; △: 2<sup>nd</sup> crop, 2007 (2h)-BA; and ▲: 2<sup>nd</sup> crop, 2008 (1h)-BB.

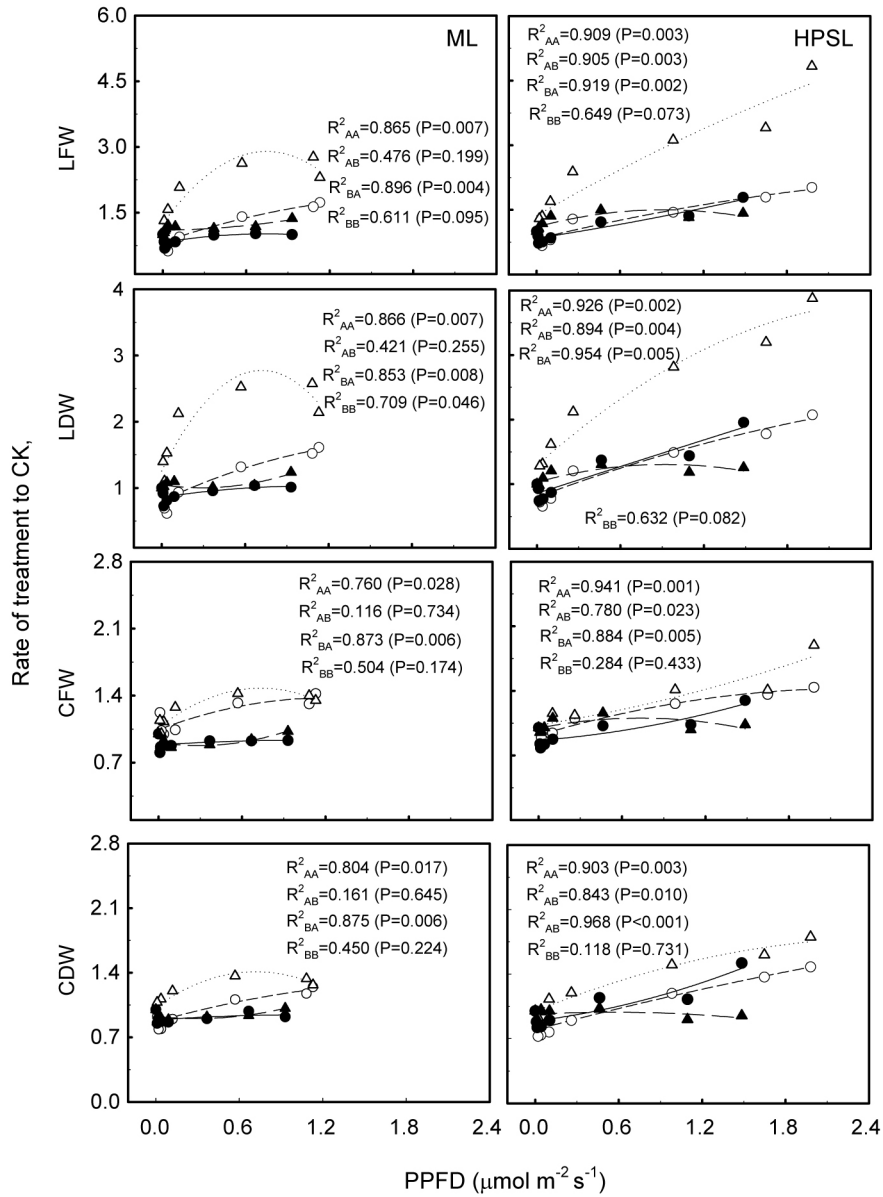


圖 5. 栽植於 2007 年二期至 2009 年一期之水稻品種臺梗 2 號 (TK 2) 經不等光子流密度 (PPFD) 夜間光照處理植株之葉片鮮重 (LFW)、葉片乾重 (LDW)、桿鮮重 (CFW) 及桿乾重 (CDW) 相對於不照光對照植株之比率變化分佈圖。

Fig. 5. Effect of photosynthetic photon flux density (PPFD) from night illumination (ML or HPSL) treatment for 2 h or 1 h on leaf fresh weight (LFW), leaf dry weight (LDW), culm fresh weight (CFW) and culm dry weight (CDW) of rice cultivar TK 2 grown in 2007–2009. Data are calculated by ratio of light treatment and dark control. Symbols in this figure are: ○: 1<sup>st</sup> crop, 2008 (2h)-AA; ●: 1<sup>st</sup> crop, 2009 (1h)-AB; △: 2<sup>nd</sup> crop, 2007 (2h)-BA; and ▲: 2<sup>nd</sup> crop, 2008 (1h)-BB.

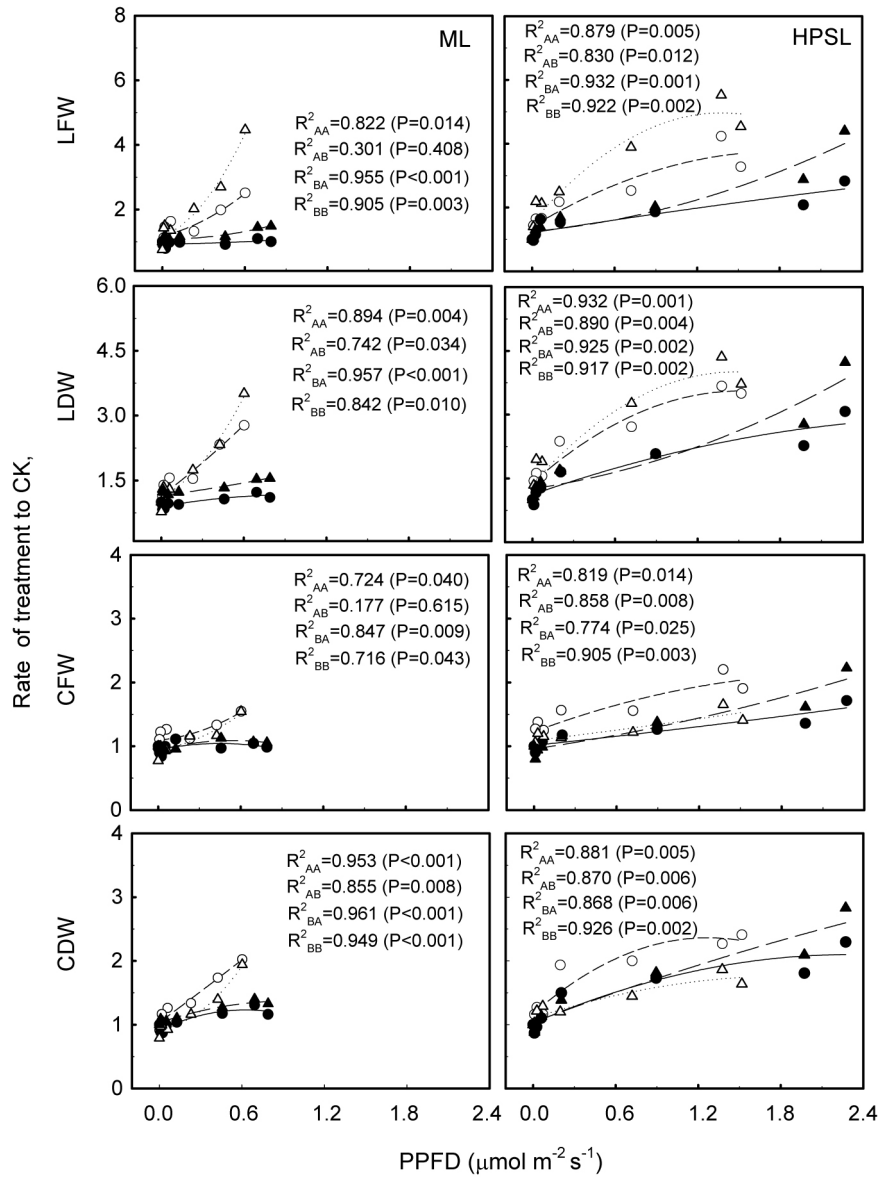


圖 6. 栽植於 2007 年二期至 2009 年一期之水稻品種臺稈 11 號 (TK 11) 經不等光子流密度 (PPFD) 夜間光照處理植株之葉片鮮重 (LFW)、葉片乾重 (LDW)、稈鮮重 (CFW) 及稈乾重 (CDW) 相對於不照光對照植株之比率變化分佈圖。

Fig. 6. Effect of photosynthetic photon flux density (PPFD) from night illumination (ML or HPSL) treatment for 2 h or 1 h on leaf fresh weight (LFW), leaf dry weight (LDW), culm fresh weight (CFW) and culm dry weight (CDW) of rice cultivar TK 11 grown in 2007–2009. Data are calculated by ratio of light treatment and dark control. Symbols in this figure are: ○: 1<sup>st</sup> crop, 2008 (2h)-AA; ●: 1<sup>st</sup> crop, 2009 (1h)-AB; △: 2<sup>nd</sup> crop, 2007 (2h)-BA; and ▲: 2<sup>nd</sup> crop, 2008 (1h)-BB.

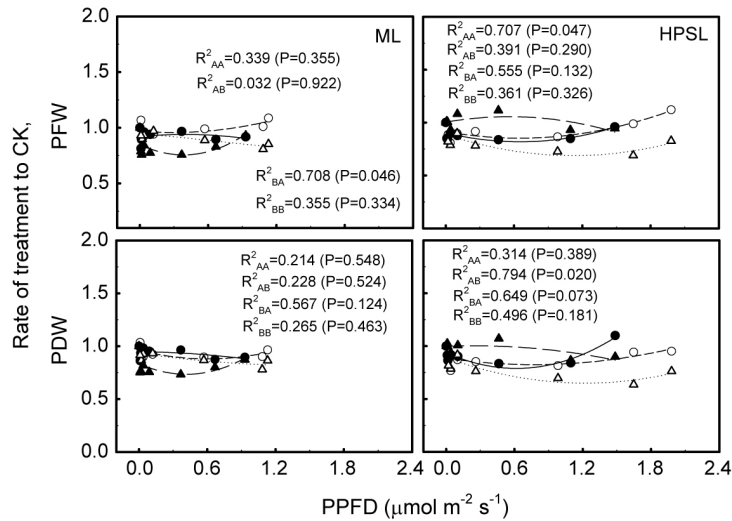


圖 7. 栽植於 2007 年二期至 2009 年一期之水稻品種臺梗 2 號 (TK 2) 經不等光子流密度 (PPFD) 夜間光照處理植株之穗鮮重 (PFW) 及穗乾重 (PDW) 相對於不照光對照植株之比率變化分佈圖。

**Fig. 7.** Effect of photosynthetic photon flux density (PPFD) from night illumination (ML or HPSL) treatment for 2 h or 1 h on panicle fresh weight (PFW) and panicle dry weight (PDW) of rice cultivar TK 2 grown in 2007–2009. Data are calculated by ratio of light treatment and dark control. Symbols in this figure are:  $\circ$ : 1<sup>st</sup> crop, 2008 (2h)-AA;  $\bullet$ : 1<sup>st</sup> crop, 2009 (1h)-AB;  $\triangle$ : 2<sup>nd</sup> crop, 2007 (2h)-BA; and  $\blacktriangle$ : 2<sup>nd</sup> crop, 2008 (1h)-BB.

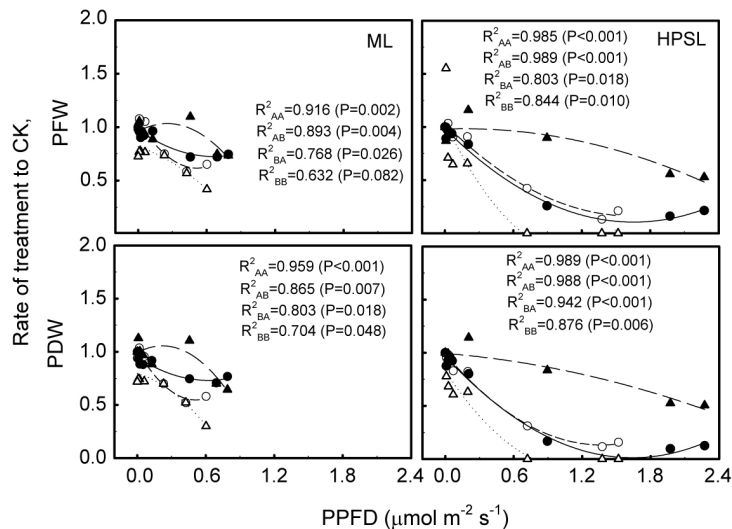


圖 8. 栽植於 2007 年二期至 2009 年一期之水稻品種臺梗 11 號 (TK 11) 經不等光子流密度 (PPFD) 夜間光照處理植株之穗鮮重 (PFW) 及穗乾重 (PDW) 相對於不照光對照植株之比率變化分佈圖。

**Fig. 8.** Effect of photosynthetic photon flux density (PPFD) from night illumination (ML or HPSL) treatment for 2 h or 1 h on panicle fresh weight (PFW) and panicle dry weight (PDW) of rice cultivar TK 11 grown in 2007–2009. Data are calculated by ratio of light treatment and dark control. Symbols in this figure are:  $\circ$ : 1<sup>st</sup> crop, 2008 (2h)-AA;  $\bullet$ : 1<sup>st</sup> crop, 2009 (1h)-AB;  $\triangle$ : 2<sup>nd</sup> crop, 2007 (2h)-BA; and  $\blacktriangle$ : 2<sup>nd</sup> crop, 2008 (1h)-BB.

性稻種 TK 2 之有效分蘗百分比 (PAT)之變化不顯著，稔實率 (PFG) 及千粒重 (1000-GW) 在 HPSL 光源處理隨光強度升高而下降 (圖

9)。此外，無論 ML 或 HPSL 光源，光強度愈高則收穫指數 (harvest index) 降低愈大。對於較高感光性稻種 TK 11，以 ML 及 HPSL 光源

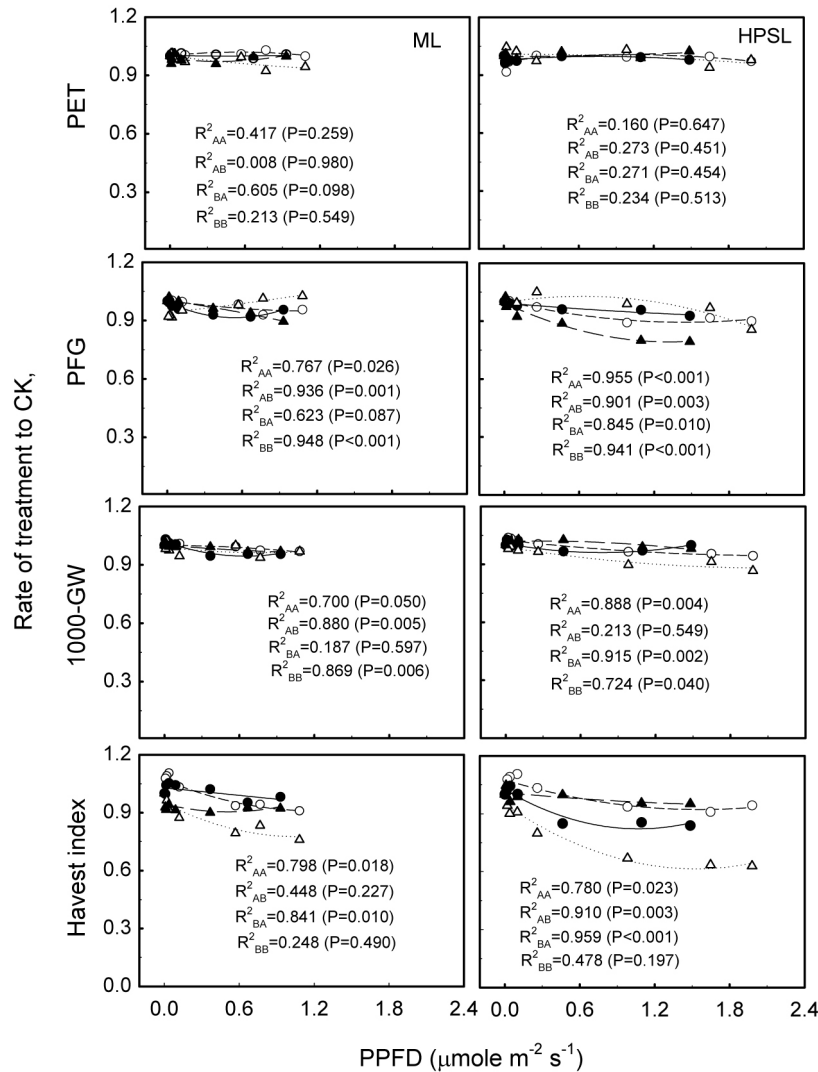


圖 9. 栽植於 2007 年二期至 2009 年一期之水稻品種臺梗 2 號 (TK 2) 經不等光子流密度 (PPFD) 夜間光照處理植株之有效分蘗百分比 (PET)、稔實率 (PFG)、千粒重 (1000-GW) 及收穫指數 (HI) 相對於不光照對照植株之比率變化分佈圖。

Fig. 9. Effect of photosynthetic photon flux density (PPFD) from night illumination (ML or HPSL) treatment for 2 h or 1 h on percent effective tillers (PET), percent filled grains (PFG), 1000-grain weight (1000-GW) and harvest index (HI) of rice cultivar TK 2 grown in 2007–2009. Data are calculated by ratio of light treatment and dark control. Symbols in this figure are: ○: 1<sup>st</sup> crop, 2008 (2h)-AA; ●: 1<sup>st</sup> crop, 2009 (1h)-AB; △: 2<sup>nd</sup> crop, 2007 (2h)-BA; and ▲: 2<sup>nd</sup> crop, 2008 (1h)-BB.

進行夜間光照處理將造成 PAT 及 PFG 等產量性狀明顯下降，且 2 小時處理時程多大於 1 小時處理時程，尤其是 HPSL 光源之 2 小時時程造成最大的下降幅度 (圖 10)。然 1000-GW 之變

化除了 HPSL 光源之 2 小時時程處理之外，其餘並無顯著差異。而收穫指數則呈現大幅下降，PSL 光源之 2 小時時程處理甚至造成不抽穗或穀粒不充實。

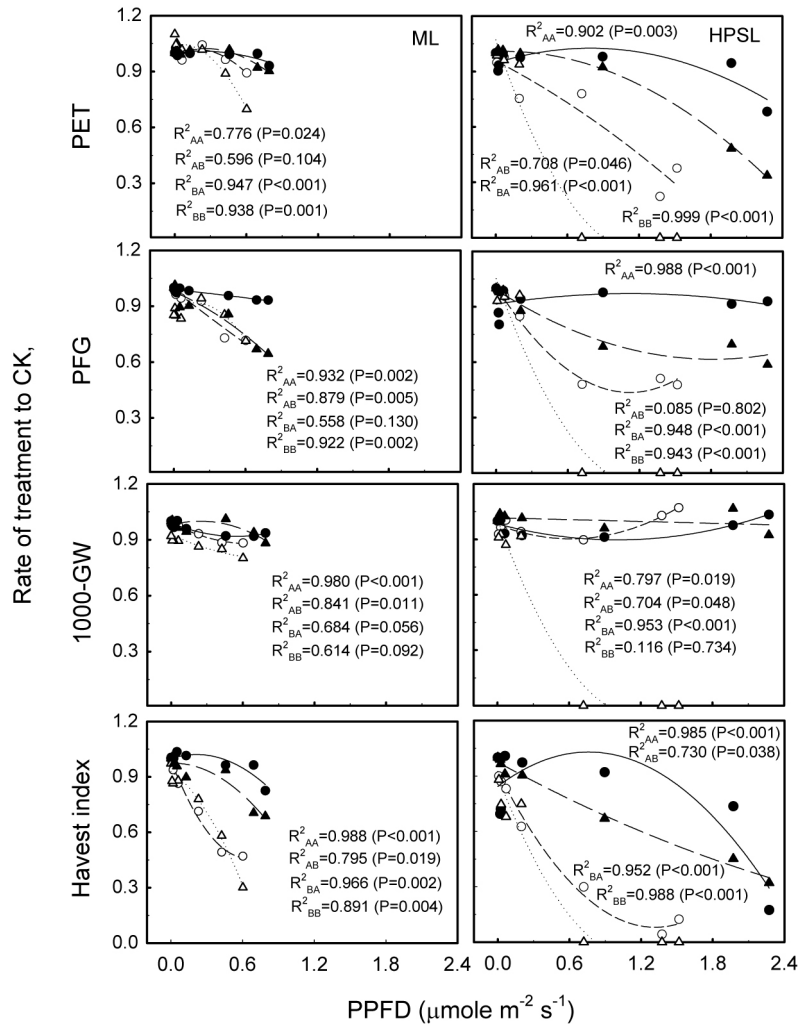


圖 10. 栽植於 2007 年二期至 2009 年一期之水稻品種臺梗 11 號 (TK 11) 經不等光子流密度 (PPFD) 夜間光照處理植株之有效分蘗百分比 (PET)、稔實率 (PFG)、千粒重 (1000-GW) 及收穫指數 (HI) 相對於不光照對照植株之比率變化分佈圖。

**Fig. 10.** Effect of photosynthetic photon flux density (PPFD) from night illumination (ML or HPSL) treatment for 2 h or 1 h on percent effective tillers (PET), percent filled grains (PFG), 1000-grain weight (1000-GW) and harvest index (HI) of rice cultivar TK 11 grown in 2007–2009. Data are calculated by ratio of light treatment and dark control. Symbols in this figure are: ○: 1<sup>st</sup> crop, 2008 (2h)-AA; ●: 1<sup>st</sup> crop, 2009 (1h)-AB; △: 2<sup>nd</sup> crop, 2007 (2h)-BA; and ▲: 2<sup>nd</sup> crop, 2008 (1h)-BB.

## 討 論

本試驗藉由 ML 及 HPSL 兩種人工光源於午夜照明來探討夜間光照 (暗期光中斷) 時程 (即時間長短) 對水稻生長、發育與產量之影響, 並以不照光 (CK) 作為對照和比較之基準。首先, 由兩種光源之放射光譜 (圖 1) 及光源不等距離同心圓量測之光強度曲線分佈 (圖 2), 驗證了光輻射測值會隨著距離平方倒數之遞減趨勢, 因此距離光源愈遠則光照強度將快速的減少。因為架設高度在水田的浮沉而些微改變預設 3 m 之高度, 因此 ML 光輻射強度在稻種 TK 2 之 2007 年二期稻作和 2008 年一期稻作, 距離光柱 0.5 m 處植被上方之測值為  $1.2 \mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , 高於 TK 11 植被上方測值  $0.65 \mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , 在 2008 年二期稻作和 2009 年一期稻作則兩稻種之間光強度差異不大。大致上在相同光源距離之 HPSL 光強度大多高於 ML 者, 最近光源距離之 HPSL 光強度最大值約  $2.1 \mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , ML 光強度最大值約  $1.5 \mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (圖 2)。除了光質差異之外, 由於在相同位置 HPSL 光源之輻射強度較高於 ML 光源, 可以預期有較大的夜間光照處理效應。

經由生育天數的調查, 可發現稻株經過夜間光照處理後將會改變其發育節奏, 於是由插秧至 50% 抽穗及由 50% 抽穗至收穫等兩時期之天數在處理間存在差異 (表 1A 及 1B)。換言之, 夜間額外的照明不僅將可能延長短日照型稻株之營養生長期, 也可能同時延遲稻穗的形成及穀粒的充實, 但是各生育期有不等之反應, 類似於 Chen *et al.* (2005) 研究發現。此外, 試驗結果也顯示出距離光源愈近則延長天數愈長之趨勢, 而且較高感光性稻種 TK 11 之延長效果普遍大於較低感光性稻種 TK 2, HPSL 光源增加的天數大多高於 ML 光源。由此可知, 雖然夜間光照同時影響營養及生殖生長相, 然而

各生育階段可能對夜間光照具有不同的反應機制, 尚且各光源之不同光質及光強度亦可能形成差異, 仍待進一步試驗究明其原因。相關研究如 Best (1959) 曾指出水稻的最適光週期介於 9–12.5 小時, 在此範圍內可快速誘導幼穗形成, 若以短日處理 (4–12 小時) 將會使抽穗提前, 若以長日處理 (13–24 小時) 則會延長營養生長期並延遲幼穗形成。Yin & Kropff (1996, 1998) 亦指出長日處理會增加對光週期較為敏感品種之抽穗所需天數, 而無論以長日或短日處理對光週期較不敏感品種, 其抽穗所需天數幾無差別。本研究參試稻種將會因為夜間光照而延後抽穗與收穫日期, 此一現象蘊涵夜間光照對於花序 (穗) 及花器官 (小穗花) 分化的影響效應, 不僅帶給農民管理上的不方便, 也不利於收割日期與機具安排, 而其影響機制未來值得再進一步探討。

近似於 Huang (2006) 和 Chen *et al.* (2005) 之試驗結果, 參試稻種株高未受到夜間光照而有明顯促進, 然而葉片數、葉面積、葉鮮重與乾重及莖桿鮮重與乾重等性狀則有明顯增加趨勢, 高感光性稻種 (TK 11) 反應較低感光性稻種 (TK 2) 強烈 (圖 3–6)。又由於 HPSL 光源處理效果高於 ML 光源, 2 小時處理時程大於 1 小時處理時程, 以及愈近光源之增加幅度愈明顯, 顯示光輻射處理對生長的促進存在劑量效應, 夜間額外照明強度與時間將會影響營養器官 (莖桿與葉片) 生長的促進結果。合併前述對生育進展的延遲作用, 顯見夜間光照可能破壞了遺傳與環境之間的穩定關係, 也改變了原來光週性, 因而造成生長與發育的異常。其次, 在所調查的生長性狀當中, 以葉部形態 (如葉面積) 及植體生質量 (如莖、葉重量) 受到光環境的影響較大。

夜間光照對參試水稻生殖生長之影響, 除了抽穗期的延後, 亦降低穗重, 對高感光性稻種尤然 (圖 7、圖 8)。本研究選用之較高感光

性稻種 TK 11 穗重，即因為夜間光照處理而明顯降低，僅 1 小時 HPSL 處理時程即可能使得穗重減少至不照光對照組的 15–55%，而 2 小時處理更可能造成稻株不抽穗、穀粒不充實。在位於光源相同距離上，HPSL 處理效果大於 ML 處理，因此未來光強度與光質之各別效應仍需要予以釐清。再者，吾人可以單一波長或組合波長之發光二極體 (light-emitting diode; LED) 作為人工光源，利用於減少或降低夜間光照的負面作用。深入分析產量構成要素後發現，不等感光性稻種受到之影響程度不一，較低感光性稻種 TK 2 以 PFG 及 1000-GW 的降低較明顯，較高感光性稻種 TK 11 則 PET、PFG 及 1000-GW 等性狀均呈下降結果 (圖 9、圖 10)。又因 2 小時處理時程效果大於 1 小時處理時程、HPSL 光源高於 ML 光源，再次顯示持續探究光強度與光質之間差別效應的必要。Sato (1974) 在水稻光照處理試驗發現，長日處理將增加分蘗數，Mitchell (1953) 及 Templeton *et al.* (1961) 在黑麥草與高狐草之短日處理試驗指出將會造成分蘗數的減少。本試驗進一步發現夜間光照將降低稻株 PET，原因在於穗數的減少 (不抽穗或延遲抽穗)，再加上 PFG 及 1000-GW 的下降導致穗重減少，進而促使 HI 降低，尤以高感光性稻種 (TK 11) 最為明顯。

Chang *et al.* (2006) 認為早熟稻種對日長變化較敏感，在長日照條件下稻株之總葉數、穗數與產量都可能增加，中晚熟稻種則對於日長較為鈍感，而秈稻品種受日長影響多大於粳稻品種 (Collinson *et al.* 1992)。Ganashan & Whittington (1976) 試驗結果指出，在長日條件下水稻每穗穎花數將會減少。本項試驗則顯示，對於光敏感性之水稻品種，產量降低的主要因素可能包括有效分蘗多寡、稔實率高低及穀粒充實情形，端視夜間光照條件而異。本文綜合試驗結果後據此建議，避免在有夜間光害顧慮之田區種植高光敏感性水稻品種，尤其是

具有早熟特性之粳稻 (如 TK 11) 或秈稻。若必須選用稻種栽植，可以考慮中晚熟低感光水稻品種 (如 TK 2)，以減少延遲抽穗及產量損失之夜間光照危害。此外，亦可考慮以人為方式 (如採用定向 LED 光源、遮光板、濾光網) 降低光輻射強度或減少光照時程，以減輕光害之負面作用。

### 引用文獻 (Literature cited)

- Bertero, H. D., R. W. King, and A. J. Hall. 1999. Modelling photoperiod and temperature responses of flowering in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Field Crops Res.* 63:19–34.
- Best, R. 1959. Photoperiodism in rice. *Field Crop Abs.* 12:85–93.
- Chandraratna, M. F. 1954. Photoperiod response in rice (*Oryza sativa* L.). I. Effects on inflorescence initiation and emergence. *New Phytol.* 53:397–405.
- Chang, C. H. 1988. *The Essentials of Rice.* p.1–57. National Institute for Compilation and Translation, Taipei.
- Chang, M., J. C. Lo, and C. P. Liu. 2006. Effects of daylength on rice heading date and agronomic characters. *Crop Environ. Bioinform.* 3:147–158.
- Chen, Y. M., H. C. Wu, T. B. Huang, C. P. Liu, and T. M. Shen. 2005. Effects of all night lighting on the growth of rice (*Oryza sativa*), water caltrop (*Trapa natans*) and Indian jujube (*Zizyphus mauritiana* Lam.). *Crop Environ. Bioinform.* 2:182–192. (in Chinese with English abstract)
- Chiou, C. Y. 1992. Effects of days of lighting enhancement during the night on the yielding date and fruit quality of Indian jujube. *Res. Bull. Kaohsiung Dist. Agric. Res. Ext. Stn.* 4:1–9. (in Chinese with English abstract)
- Chiou, C. Y. and M. T. Huang. 1994. Effects of lighting during the night on the flowering and yield date of Indian jujube (*Zizyphus mauritiana* Lam.). *Chinese J. Agromet.* 1:115–120. (in Chinese with English abstract)
- Chiou, C. Y. and J. H. Weng. 1996. Effects of night interruption on flowering and yielding date of Indian jujube (*Zizyphus mauritiana* Lam.). *Chinese J. Agromet.* 3:121–124. (in Chinese with English abstract)
- Chiou, C. Y., M. T. Huang, and J. H. Weng. 1998. Effects of night lighting hours on the flowering and

- yielding date of Indian jujube. *J. Agric. Assoc. China New Ser.* 182:1–11. (in Chinese with English abstract)
- Chiou, C. Y. and J. H. Weng. 2003. Effects of interrupted nocturnal lighting on the growth and development of Indian jujube (*Ziziphus mauritiana* Lam.). *Res. Bullet. Kaohsiung Dist. Agric. Res. Ext. Stn.* 14: 1–9. (in Chinese with English abstract)
- Collinson, S. T., R. H. Ellis, R. J. Summerfield, and E. H. Roberts. 1992. Durations of the photoperiod-sensitive and photoperiod-insensitive phases of development to flowering in four cultivars of rice (*Oryza sativa* L.) *Ann. Bot.* 70:339–346.
- Coolhaas, C. and T. M. Wormer. 1953. Developmental differences in rice plants in relation to photoperiodism. *Neth. J. Agric. Sci.* 1:207–216.
- Devlin, P. F. 2002. Signs of the time: environmental input to the circadian clock. *J. Exp. Bot.* 53:1535–1550.
- Evans, L. T., R. M. Visperas, and B. S. Vergara. 1984. Morphological and physiological changes among rice varieties used in the Philippines over the last seventy years. *Field Crops Res.* 8:105–124.
- Fukai, S. 1999. Phenology in rainfed lowland rice. *Field Crops Res.* 64:51–60.
- Ganashan, P. and W. J. Whittington. 1976. Genetic analysis of the response to day length in rice. *Euphytica* 25:107–115.
- Garner, W. W. and H. A. Allard. 1923. Further studies in photoperiodism, the response of the plant to relative length of day and night. *J. Agric. Res.* 23:871–920.
- Huang, M. C. 2006. Effect of All Night Lighting on the Yield and Quality of Rice. Master thesis. National ChungHsing University. Taichung, Taiwan, ROC. 55 pp. (in Chinese with English abstract)
- Izawa, T., T. Oikawa, N. Sugiyama, T. Tanisaka, M. Yano, and K. Shimamoto. 2002. Phytochrome mediates the external light signal to repress *FT* orthologs in photoperiodic flowering of rice. *Genes Dev.* 16: 2006–2020.
- Kao, C. H. and W. T. Tang. 1978. Plant Growth and Differentiation. p.158–164. *in*: Department of Agronomy. National Taiwan University. Taipei.
- Kevei, E. and F. Nagy. 2003. Phytochrome controlled signaling cascades in higher plants. *Physiol. Plant.* 117:305–313.
- Lee, Y. J., C. M. Yang, and C. L. Hsiao. 2010. Effects of short-term night interruption on the growth, development and yield of rice. *J. Taiwan Agric. Res.* 59:1–18. (in Chinese with English abstract)
- Mitchell, K. J. 1953. Influence of light and temperature on the growth of ryegrass (*Lolium* spp.). I. Pattern of vegetative development. *Physiol. Plant.* 6:21–46.
- Nagy, F. and E. Schaefer. 2002. Phytochromes control photomorphogenesis by differentially regulated, interacting signaling pathways in higher plants. *Annu. Rev. Plant Biol.* 53:329–355.
- Nelson, R. 2005. An Introduction to Behavioral Endocrinology. 3<sup>rd</sup> ed. Sinauer Associates, Inc. Pub. Sunderland, Massachusetts, USA. 822 pp.
- Sato, K. 1974. Growth responses of rice plant to environment conditions III. The effects of photoperiod and temperature on the growth and chemical composition. *Proc. Crop Sci. Soc. Jpn.* 43:402–409. (in Japanese with English abstract)
- Tang, S., P. Ni, P. Tung, and J. Shen. 1978. Flowering response of rice cultivars to different photoperiods and temperatures in phytotron. *Acta Phytophysiol. Sin.* 4:153–168.
- Templeton, W. C., G. O. Mott, and R. J. Bula. 1961. Some effects of temperature and light on growth and flowering of tall fescue, *Festuca arundinacea* Schreb. I. Vegetative development. *Crop Sci.* 1: 216–219.
- Thomas, B. and D. Vince-Prue. 1996. Photoperiodism in Plants. 2<sup>nd</sup> ed. Academic Press. New York. 428 pp.
- Thomas, B. 2006. Phytochrome and photoperiodic induction. *Physiol. Plant.* 81:572–577.
- Vergara, B. S. and T. T. Chang. 1985. The Flowering Response of the Rice Plant to Photoperiod. 4<sup>th</sup> ed. IRRI. Los Banos, Philippines. 61 pp.
- Walker, T. S. and J. L. Bailey. 1968. Two spectrally different forms of the phytochrome chromophore extracted from etiolated oat seedlings. *Biochem. J.* 107:603–605.
- Yin, X. and M. J. Kropff. 1996. Use of the Beta function to quantify effects of photoperiod on flowering and leaf number in rice. *Agric. For. Meteorol.* 81:217–228.
- Yin, X. and M. J. Kropff. 1998. The effect of photoperiod on interval between panicle initiation and flowering in rice. *Field Crops Res.* 57:301–307.
- Yin, X., M. J. Kropff, and M. A. Ynalvez. 1997. Photoperiodically sensitive and insensitive phase of preflowering development in rice. *Crop Sci.* 37: 182–190.

# Effect of Night Illumination on Growth, Development and Yield of Rice<sup>1</sup>

Yuh-Jyuan Lee<sup>2</sup>, Chwen-Ming Yang<sup>2,3</sup>, and Chiao-Ling Hsiao<sup>2</sup>

## Abstract

Lee, Y. J., C. M. Yang, and C. L. Hsiao. 2011. Effect of night illumination on growth, development and yield of rice. J. Taiwan Agric. Res. 60:21–38.

Field experiments were conducted at the experimental farm of Taiwan Agricultural Research Institute, Wufeng, Taichung, Taiwan to determine effects of night illumination on growth, development and yield of rice, using a light-sensitive cultivar TK 11 and a light-insensitive cultivar TK 2. The two lighting treatments were further divided into two subtreatments: (a) lighting for 2-h (from 23 : 30 to 01 : 30) and (b) lighting for 1-h (from 23 : 30 to 00 : 30). Both mercury lamp (ML) and high pressure sodium lamp (HPSL) were chosen as light sources for the treatment. Values of photosynthetic photon flux density (PPFD) measured above rice canopies of TK 2 and TK 11 were in proportion to the reverse law of squares, and the values of light intensity were higher in HPSL than in ML. Compared to the control (no light illumination), plant height was not significantly affected by night illumination of ML and HPSL, but the light treatments significantly increased leaf number and leaf area and thereby, increased the fresh weight and dry weight of rice leaves and culms. The effects of growth promotion were more prominent for plants closer to the light source, plants treated with 2-h night illumination (compared to 1-h night illumination), and light source from ML (compared to light source from HPSL). Night illumination prolonged growth of rice plants for both of transplanting to 50% heading and 50% heading to harvest, and this growth promotion phenomenon was more prominent for plants closer to the light source due to increase in light intensity. For the light sensitive variety TK 11, both fresh weight and dry weight of panicles were greatly reduced due to reduction of productive tillers and increased of empty grains. The reduction of fresh and dry weights of TK 11 in 2-h night illumination was higher than in 1-h night illumination, and it was also higher in HPSL treatment than in ML treatment. Compared to TK 11, the effect of night illumination on panicle weights and harvest index of the light insensitive variety TK 2 was less obvious, and the contributing factors for yield reduction were percentage of filled grains and 1000-grain weight, not percentage of effective tillers.

**Key words:** Night illumination, Dark period light interruption, Period of light treatment, Rice, *Oryza sativa*, Growth and development, Yield.

---

1. Contribution No. 2447 from Taiwan Agricultural Research Institute (TARI), Council of Agriculture. Accepted: March 3, 2011.

2. Respectively, Assistant Research, Researcher, and Assistant Researcher, Crop Science Division, TARI, Taichung, Taiwan, ROC.

3. Corresponding author, e-mail: cmyang@tari.gov.tw; Fax: (04)23317118.