

暗期光中斷對水稻生長、發育及生產之影響¹

李裕娟² 楊純明^{2,3} 蕭巧玲²

摘 要

李裕娟、楊純明、蕭巧玲。2010。暗期光中斷對水稻生長、發育及生產之影響。台灣農業研究 59:1-18。

本研究於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台梗 2 號 (TK 2) 及較高感光性稻種台梗 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) 等三種光源進行夜間暗期光中斷處理 (時程介於 23:30 至 01:30，光照 2 小時)，據以探討短期夜間暗期光中斷對不同感光性稻種生長、發育及產量之影響。由位於不等光源距離稻株植被表面上方之光合作用光子流密度 (PPFD) 及光度測值分佈曲線，發現概以 HPSL 之光輻射測值大於 ML 者，並皆符合以距離平方倒數遞減比例衰降，在兩參試稻種所測得之趨勢類似。由於自插秧起至 50%抽穗所需天數及 50%抽穗至收穫所需天數均可能因為夜間光中斷而延長，顯示暗期光中斷將可能改變稻株發育進展及生育天數，而此一效應愈接近光源愈加明顯。暗期光中斷處理對參試稻種生長之影響，由收穫時調查之株高、葉片數、葉面積及植株各部位 (葉片、稈、穗) 鮮重與乾重等生長性狀顯示，ML 光照對株高的伸長效應低於 HPSL 光照，兩光源處理尚且僅有一期稻作近光源 (分別為 ≤ 2 m 及 ≤ 4 m) 稻株有輕微促進，二期稻作則幾無作用。此兩種光源處理在兩期稻作均可提高近光源 (≤ 4 m) 稻株之葉片數及葉面積，且 TK 11 表現大於 TK 2。另無論期作別，距離光源 4 m 以內兩稻種植體之葉重及稈重均增加，HPSL 之促進效果又高於 ML。穗重則呈現相反結果，夜間光照將明顯降低 TK 11 收穫之稻穗重量，特別是距離光源 4 m 以內稻株具有較大差異，HPSL 之抑制效果高於 ML；TK 2 亦有類似現象，而以 HPSL 光照差異較明顯。由產量性狀之分析，顯示暗期光中斷將會減少 TK 11 之有效分蘗百分比、稔實率及千粒重，且以距離光源小於 4 m 稻株受到的影響最大，然對千粒重的影響較小。TK 2 受到夜間光中斷的影響相對低於 TK 11，僅以距離 HPSL 光源 2 m 以內稻株受到較大影響。由收穫指數之變化，可知 TK 11 及 TK 2 均因暗期光中斷造成收穫指數降低，尤以小於 4 m 光源距離之稻株較為明顯。

關鍵詞：暗期光中斷、感光性、水稻、生長、生產。

-
1. 行政院農業委員會農業試驗所研究報告第 2383 號。接受日期：98 年 12 月 3 日。
 2. 本所作物組助理研究員、研究員、助理研究員。台灣 台中縣 霧峰鄉。
 3. 通訊作者，電子郵件：cmyang@tari.gov.tw；傳真機：(04)23317118。

前 言

作物之生長受到遺傳組成及周遭環境影響，而氣象、栽培管理與土壤條件則為三項最主要之環境因素。作物生育期間的環境變異是大自然的正常現象，惟因文明的進展與社會的都市化結果，使得作物的周遭環境開始遭受非自然的人為干擾 (Cotton & Pielke 1996)。諸如都市熱島效應帶來的異常高溫 (Chang & Liou 2005)，樓房街道夜間照明造成的光污染 (radiation pollution) (Mizon 2002; Normani 2004)，以及溫室效應引發的全球溫暖化 (global warming) 與氣候快速變遷等 (IPCC 2001)，這些都是由人類活動直接或間接引起的環境不正常變化，這些現象均會衝擊及影響農作物的生產。其中，對於包括水稻在內的光敏感性作物而言，夜間暗期光中斷或夜間照明等光害將因為破壞作物原來 (有) 光週期節奏，而可能導致如營養生長期延長、花期失調、花不結果、果不結實等生育失序情事 (Tesar 1984; Vergara & Chang 1985; Yin & Kropff 1996; Yin & Kropff 1998)，進而帶給農民和政府部門許多困擾和糾紛。

植物係地球上目前已知能夠將‘輻射光能’轉化為‘質量’的重要生物，可藉由光合作用生成初級醣類後再逐步轉換成各種次級碳水化合物 (如澱粉) 與生質量 (biomass)，作為多數動物的糧食源頭和生命基礎。光合作用有效的光輻射波長以 400–700 nm 可見光範圍為主，但是光對植物的效應除了光合作用之外，尚包括光週期 (photoperiod) 的調節、光質 (如紅光與藍光比例、紅光與遠紅外光比例等) 的光形態作用 (photo-morphogenesis) 以及對光線的正向與負向趨光性 (phototaxis) 等多種功能。根據文獻資料 (Gutterman & Porath 1975; Angrish 1998; Diplock *et al.* 1998; Mattson *et al.* 2005; Thomas 2006; Madigan *et al.* 2008)，太陽光輻射

的紫外光 (100–380 nm)、可見光 (380–700 nm) 及近紅外光 (700–1050 nm) 等 3 個波段與植物的生長發育行為密切關聯，植物體內存在針對此三波段的感 (受) 光系統。其一為類胡蘿蔔素 (carotenoids) 系統，可接受 (收) 波長 450 nm 以下的光輻射刺激而引起趨光性及光形態作用。其二為葉綠素 (chlorophylls) 系統，主要吸收可見光 (尤以波長 660 nm 的紅光及 420 nm 的藍光) 進行光合作用並趨使植物向光移動，係植物生長的動力根源。其三為光敏素 (phytochromes) 系統，可感應紅光及近紅外光 (特別是波長 660 nm 及 730 nm 光輻射) 來控制許多和形態有關的反應，促進植物的分化而影響生育的進展。

植物周遭環境每天日長和夜長的週期變化對於植物生長、休眠、開花或結球等生育的影響，被稱為光週期作用 (photoperiodism) (Fosket 1994; Thomas & Vince-Prue 1996; Yin *et al.* 1997)。尤以光週期對被子植物 (angiosperms) 的開花效應最為人所熟悉 (Madigan *et al.* 2008)，即使各植株開始生長的日期未必均一，被子植物普遍有在一年當中的同一段時間同時開花的現象，如此將有利於植株授粉雜交。研究指出光週期作用係由光敏素誘導 (Thomas & Vince-Prue 1996; Thomas 2006)，經由明期 (白天) 與暗期 (夜間) 的交替輪迴形成 P_R (光敏素可吸收紅光的型式) 及 P_{FR} (光敏素可吸收近紅外光的型式)，當滿足了臨界暗期 (critical dark period, CDP) 所形成的足量 P_{FR} ，即可誘引植株釋出開花激素 (florigen) 的生成反應從而啟動花芽分化流程 (Kendrick & Kronenberg 1993; Fosket 1994; Thomas 2006)。惟當植 (作) 物應有的暗期需求因為光害未能獲得滿足時，則可能引發連串異常的生理生化作用，進而改變遺傳控制的生育流程或原有環境觸發的生育步驟，無法適時導引出預定的花芽分化 (Izawa 2002; Thomas 2006)。

水稻品種多屬於短日照型植物 (short-day plant)，在水稻的營養生長期間 (稻種發芽至幼穗形成期) 必須藉助於臨界暗期的滿足來引發生殖生長，即必須暗期天數長於 CDP 以促進幼穗及花芽的形成 (Yin *et al.* 1997; Yin & Kropff 1998)。然而，不同稻種之間對於光週期的感應存在相當差異 (Chandraratna 1954; Best 1959; Evans *et al.* 1984; Collinson *et al.* 1992)，通常感光性較敏銳品種 (即臨界暗期較短者) 之開花期較早，感光性較鈍感品種 (即臨界暗期較長者) 則相對的開花期較晚 (Vergara & Chang 1985)，因此秈型稻、糯型性稻和早熟粳型稻品種可預期具有較強光敏感性。由於植物需要在夜晚將白天合成的簡單光合產物轉化為生長發育所需的各種複雜化合物，倘若接收額外夜間照明干擾正常生理代謝，則不僅會破壞原有光週期反應導致生育延緩，亦可能造成非預期的異常生長。Huang (2006) 之研究顯示，夜間連續照光將降低水稻產量 (一、二期作分別降低 20%、5%)，主要係每叢穗數及稔實率減少，而株高及穗長則明顯升高，生育日數亦因營養生長期的延長而增加。惟夜間暗期光中斷 (夜間短期光照) 對稻株生長、發育及產量的影響，則尚待試驗釐清。另外，在園藝作物也有類似效應，例如國內高屏地區栽植之長日照果樹印度棗，即因夜間光照處理而出現提前開花、增加開花數及提早產期等結果 (Chiou 1992; Chiou & Huang 1994; Chiou & Weng 2003)，且經整夜連續照明後產期可提早達 40 天 (Chiou & Weng 1996)。中部地區廣泛栽培的菊花若予夜間光照，將可促進營養生長而使得植株伸長、花莖加大，又因延遲開花日數而達到調節開花期目的 (Yeh & Huang 1979; Huang & Chu 1984)。

針對光環境的異常，大致可分從調適 (adaptation) 及緩解 (mitigation) 二種人為栽培管理方式予以解決‘光害’問題。在調適作法

上，可以選擇對光照反應較不明顯的作物或品種，因此可在栽植之前篩檢各作物或選定作物各品種之感光性，擇一使用來適應無法改變的光環境。在緩解作法上，可藉由改變或更換光源組成，抑或施以反向作用光源照射來減輕、反饋或避免夜間光照的效應，以滿足或補償作物應有的暗期需求。本項研究利用短期夜間光照處理 (計有高壓鈉燈、水銀燈及不照光等三種)，探討夜間暗期光中斷對水稻生長、發育及產量之影響。未來再視試驗結果，選用特定波段 (長) 光源進行夜間暗期光中斷處理，評估水稻生育過程諸如縮短生育期、調節生產期或提高質量等之特殊應用可行性。

材料與方法

本研究之田間試驗位於於台中縣霧峰鄉之行政院農業委員會農業試驗所農場實施，試驗期間為 2007 年二期稻作及 2008 年一稻期作，參試稻種則為相對較高感光性之台梗 11 號 (TK 11) 及較低感光性之台梗 2 號 (TK 2)。依照預備試驗結果，前者之抽穗期因夜間光照延遲之日數大於後者。夜間暗期光中斷 (即夜間光照) 處理時程設定於午夜 23:30 至 01:30 之間，每天皆光照處理 2 小時，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 (high pressure sodium lamp, HPSL; 70 W/220 V, E27, Philips Electronics N.V., Holland)、水銀燈 (mercury lamp, ML; 80 W/220 V, China Electronic MFG Corp., Taipei, Taiwan, ROC) 及不照光 (no light, CK) 等三種。光源架設高度為 3 m，置於各處理長方形田區 (長 25 m × 寬 10 m) 之一頂角。光源之光強度 (light intensity) 係以光度計 (light meter, Extech Instruments Corp., Waltham, MA, USA) 量測，光合作用光子流密度 (photosynthetic photon flux density, PPF) 則以光量子測計 (quantum sensors, LI-189, Li-Cor Crop., NE, USA) 為之，分別在距

離光源 0.5、1、2、4、6、8 及 10 m 之水稻植被表面垂直上方測定。由於兩測計偵測之光輻射波長範圍均為 400–700 nm，因此乃將光強度 (簡稱光度) 與 PPFd 之關係繪製於圖 1，俾利於相互對照。

試驗於秧苗 3–4 葉齡期以南北向多本植機插於田區，土壤質地為壤土，酸鹼值 pH 5.36，有機質含量 2.21%。生育期間肥料施用係以硫銨 200 kg ha⁻¹ 為基肥，於插秧後 1 週內施用；第 1 次追肥於插秧後 3–4 週實施，施予台肥 39 號複合肥料 200 kg ha⁻¹；第 2 次追肥於插秧後 5–6 週施用，施用量為尿素 100 kg ha⁻¹；抽穗前

2–3 週再施用硫銨 160 kg ha⁻¹ 為穗肥。雜草防除上以 8% 丁拉殺丹粒劑 30 kg ha⁻¹ 在插秧後施用，又於第一次追肥前以人工除草 1 次。其他農藥施用則視病蟲害發生狀況並參考植物保護手冊 (2004) 而定，以 6% 培丹粒劑 30 kg ha⁻¹ 防治二化螟蟲，40.6% 加保扶水懸劑 1.2 L ha⁻¹ (1000× 稀釋液) 防治瘤野螟，50% 歐殺松可濕性粉劑 1.2 kg ha⁻¹ (1000× 稀釋液) 防治褐飛蝨，以及 50% 維利黴素 1 L ha⁻¹ (1000× 稀釋液) 防治紋枯病及其他病害。

為釐清暗期光中斷對水稻發育之影響，分別記錄每一光源處理之每一距離插秧、50% 抽

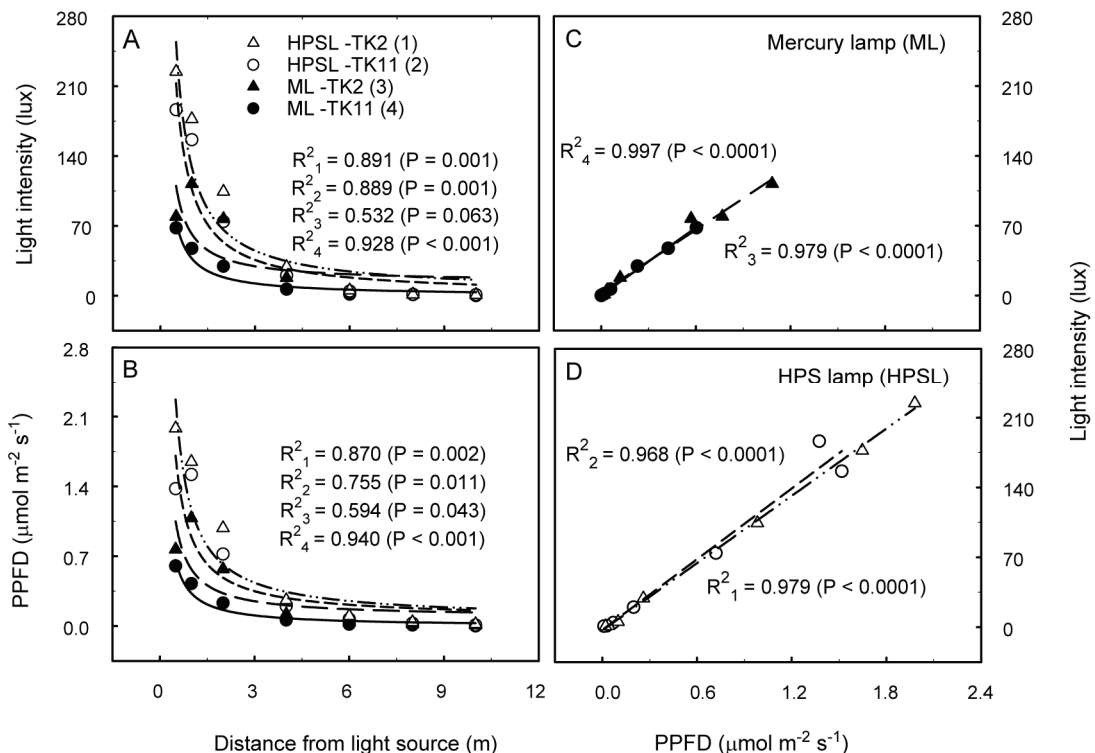


圖 1. 水銀燈 (ML) 及高壓鈉燈 (HPSL) 兩種光源於不同距離在兩個水稻品種 (台梗 11 號和台梗 2 號) 植被上方量測之光度 (lux) 與光合作用光子流密度 (PPFD) 分佈曲線及光度與 PPFD 之相關曲線。

Fig. 1. Changes of light intensity (A) and photosynthetic photon flux density (PPFD) (B) with distance away from light sources of mercury lamp (ML) and high pressure sodium lamp (HPSL) measured above canopies of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars TK 11 and TK 2 at a nadir at night, and the relationships between light intensity and PPFD for ML (C) and HPSL (D), respectively.

穗及收穫日期，以計算插秧至 50%抽穗所需天數、50%抽穗至收穫所需天數及全生育天數。而為瞭解暗期光中斷對水稻生長之影響，乃於收穫時取樣（每一處理之每一距離皆 10 叢）調查稻株生長性狀，包括株高 (PH)、葉片數 (LN)、葉面積 (LA) 及植株各部位 [葉片 (L)、桿 (C)、穗 (P)] 之鮮重 (FW) 與乾重 (DW; 80°C 烘乾 72 小時)，並計算 LA/LN 比值。同時，亦於收穫時調查產量性狀，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)。其中， $PET = (\text{穗數}/\text{分蘗數}) \times 100\%$ ， $PFG = [\text{稔實粒數}/(\text{稔實粒數} + \text{未稔實粒數})] \times 100\%$ ，1000-GW 則為 1000 粒稔實穀粒重。又計算收穫指數 (harvest index, HI)，計算公式為 $HI = [\text{穗乾重}/(\text{葉乾重} + \text{桿乾重} + \text{穗乾重})] \times 100\%$ ，以瞭解穗重占地上部植體重之比例。

結 果

本研究採用之水銀燈 (ML) 及高壓鈉燈 (HPSL) 兩種光源，其光度及 PPFd 在田間隨著距離光源遠近之分佈曲線如圖 1 所示，概以高壓鈉燈光輻射測值大於水銀燈者，大致上距離光源愈遠則測值愈低，在兩參試稻種所測得之趨勢類似。兩種光源之光度與 PPFd 之間呈現直線關係，在相同 PPFd 測值之下水銀燈之光度值高於高壓鈉燈之光度值。

夜間暗期光中斷對參試稻種發育演進影響之調查結果列於表 1，資料顯示夜間光中斷將可能改變稻株生育進展及發育天數。自插秧起至 50%抽穗所需天數及 50%抽穗至收穫所需天數均可能因為夜間光中斷而延長，因而增加全生育天數。無論用高壓鈉燈或水銀燈光照都有延長生育期之效果，而以高壓鈉燈處理之延長效果大於水銀燈處理，較高感光性 TK 11 又長於較低感光性 TK 2，且此一效應愈接近光源愈

加明顯。

夜間暗期光中斷處理對參試稻種生長影響之結果繪製於圖 2-4，分別為收穫時調查之株高、葉片數、葉面積及植體重量等生長性狀。由圖 2 所示，水銀燈光照對株高的伸長效應較低，僅一期稻作近光源 (≤ 2 m) 稻株有輕微促進，二期稻作則幾無作用。高壓鈉燈光照可增加一期稻作距離光源 4 m 以內稻株之株高，TK 11 稻株之伸長幅度大於 TK 2 稻株，而二期稻作亦無促進效果。此兩種光源處理在兩期稻作均可提高近光源 (≤ 4 m) 稻株之葉片數及葉面積，且 TK 11 大於 TK 2，然因各性狀增加比例不一而使得葉面積/葉片數比值有不同變化。

在植體各部位的重量方面，無論期作別，暗期光中斷可增進距離光源 4 m 以內兩稻種之稻株葉重及桿重，高壓鈉燈之促進效果又高於水銀燈 (圖 3-4)。穗重的表現呈現相反結果，光照將明顯降低 TK 11 收穫之稻穗重量，特別是距離光源 4 m 以內稻株具有較大差異，高壓鈉燈之抑制效果又高於水銀燈 (圖 3-4)。TK 2 有類似結果，而以高壓鈉燈光照差異較明顯 (圖 3-4)。

由產量性狀之分析 (圖 5)，發現暗期光中斷將會減少 TK 11 之 PET、PFG 及 1000-GW，在二期稻作水銀燈光照稻株之下降幅度高於高壓鈉燈光照稻株，且以小於 4 m 光源距離稻株受到的影響最大；而一期稻作產量性狀測值則以高壓鈉燈光照稻株下降較大，然對 1000-GW 的影響較小。TK 2 之產量性狀受到暗期光中斷處理的影響相對低於 TK 11，僅以距離 HPSL 光源 2 m 以內稻株受到較大的影響。進一步由收穫指數之試驗結果，可知 TK 11 因暗期光中斷造成 HI 降低，二期稻作以水銀燈光照稻株下降較大，一期稻作則以高壓鈉燈光照稻株較顯著。TK 2 之收穫指數亦因光照而減少，且均以高壓鈉燈光照稻株降低趨勢較大，尤以距離光源 4 m 以內稻株較明顯。

表 1. 暗期光中斷之不同光源與距離對台梗 11 號和台梗 2 號發育天數的影響

Table 1. Changes of developmental durations with distance from different light sources for rice (*Oryza sativa* L.) cultivars TK 11 and TK 2 grown in the second cropping season of 2007 and the first cropping season of 2008, respectively

Light source	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
Growth duration														
HPSL ^z														
2 nd crop, 2007														
T-FH ^y	49	49	44	38	38	38	38	none ^x	none	none	52	51	42	42
FH-H	77	77	76	72	72	72	72	none	none	none	74	72	72	72
Total	126	126	120	114	114	114	114	none	none	none	126	123	114	114
1 st 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 nd 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	114	114	114	114	126	126	120	114	109	109	109
1 st 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 (no light treatment)														
2 nd crop, 2007														
T-FH ^y	65							62						
FH-H	49							43						
Total	114							109						
1 st crop, 2008														
T-FH ^y	86							81						
FH-H	36							40						
Total	122							121						

^z HPSL: high pressure sodium lamp; ML: mercury lamp; CK: no light treatment (mean value averaging from different distances).

^y T-FH: duration from transplanting to 50% heading; FH-H: duration from 50% heading to harvest; Total: duration from transplanting to harvest.

^x No heading occurred.

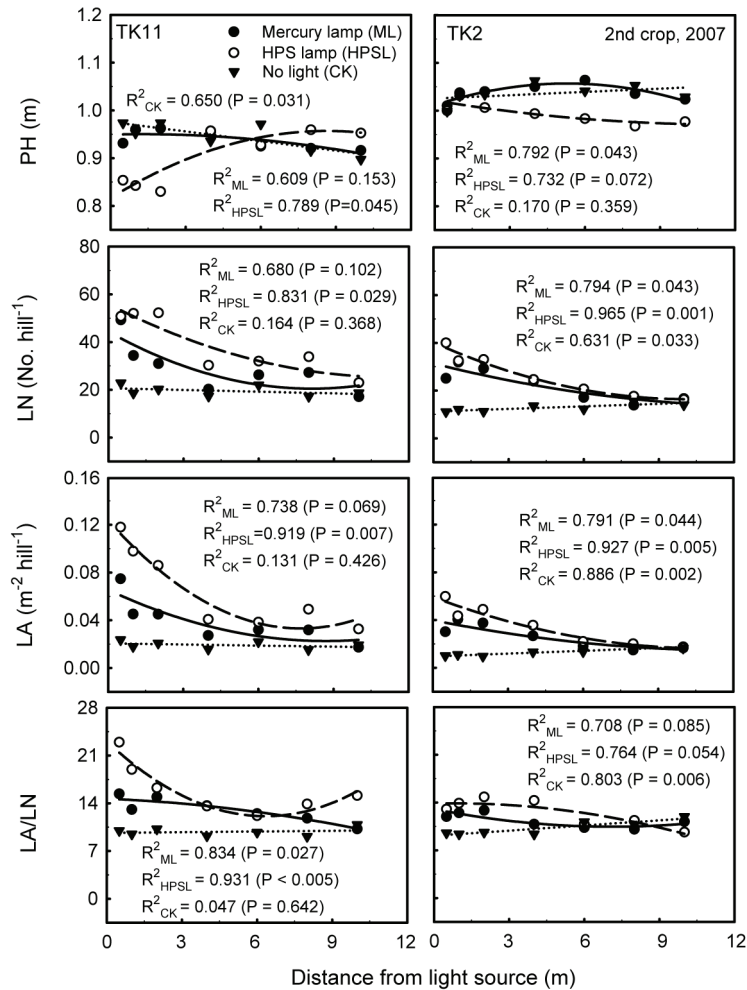


圖 2A. 2007 年二期作水稻台梗 11 號和台梗 2 號在夜間暗期光中斷處理之不同光源與距離下稻株收穫時植株高度 (PH)、葉片數 (LN)、葉面積及葉面積與葉片數比值 (LA/LN) 之分佈曲線圖。

Fig. 2A. Changes of plant height (PH), leaf number (LN), leaf area (LA) and LA/LN ratio at harvest with distance away from different light sources for rice (*Oryza sativa* L.) cultivars TK 11 and TK 2 grown in the second cropping season of 2007.

討 論

本研究旨在探討夜間暗期光中斷對水稻生長、發育及產量之影響，乃利用高壓鈉燈、水銀燈及不照光 (CK) 等三種不同光源於近午夜時進行短期 (2 小時) 光照處理。由圖 1 在不等光源距離植被表面上方之量測結果，顯示高壓鈉燈及水銀燈兩種光源之光度及 PPFD 在田間

隨著距離光源的遠近呈現二次曲線分佈，光輻射測值如預期隨著距離 (d) 平方倒數 (1/d²) 比例快速的衰降。最近光源距離 (0.5 m) 之稻株植被上方高壓鈉燈之光度及 PPFD 可分別高達 225 lux 及 1.98 μmol m⁻² s⁻¹，明顯高於水銀燈之光度及 PPFD 之最大值 112 lux 及 1.08 μmol m⁻² s⁻¹，可見高壓鈉燈具有較強之光輻射值 (圖 1A、B)。而在相同的波長範圍

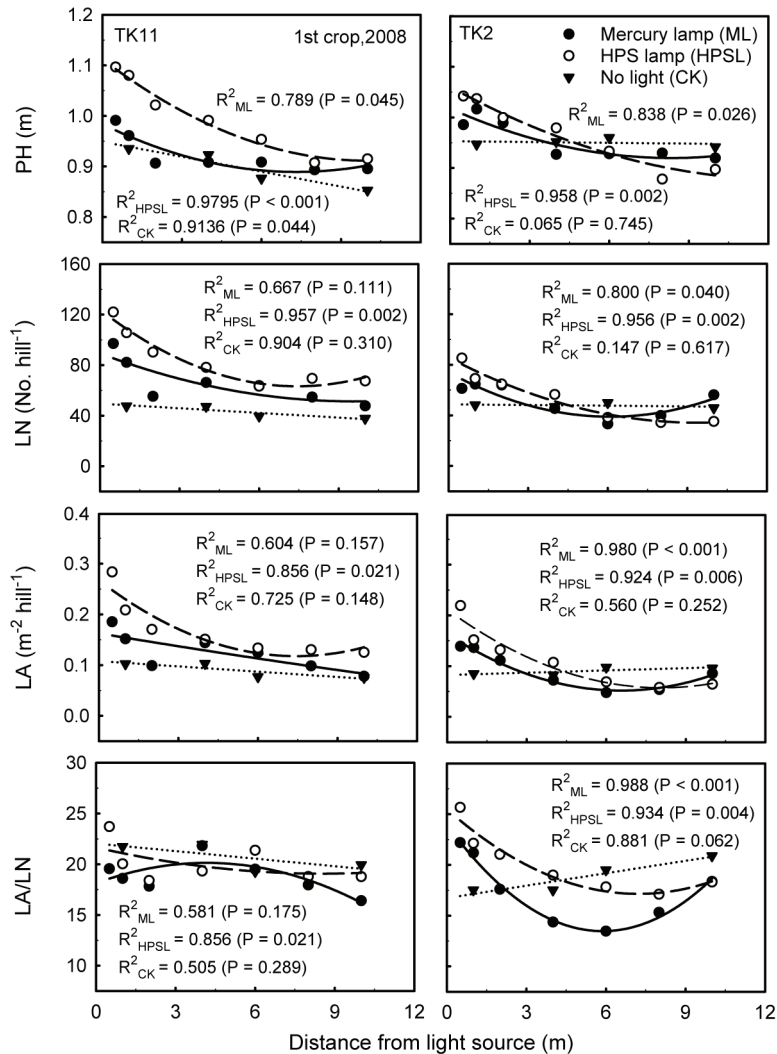


圖 2B. 2008 年一期作水稻台梗 11 號和台梗 2 號在夜間暗期光中斷處理之不同光源與距離下稻株收穫時植株高度 (PH)、葉片數 (LN)、葉面積及葉面積與葉片數比值 (LA/LN) 之分佈曲線圖。

Fig. 2B. Changes of plant height (PH), leaf number (LN), leaf area (LA) and LA/LN ratio at harvest with distance away from different light sources for rice (*Oryza sativa* L.) cultivars TK 11 and TK 2 grown in the first cropping season of 2008.

400–700 nm 下，光度與 PPFD 之測值呈現顯著的直線相關，且在相同 PPFD 測值下水銀燈之光度較高 (圖 1C、D)。由於高壓鈉燈具有較高之光輻射強度，而水銀燈則具有較高之光輻射亮度，可推知此兩種光源之光輻射質量並不相

同，其等之暗期光中斷處理將對參試稻種產生不等影響。

試驗首先發現暗期光中斷將改變參試稻種發育之演進，使得生育進展異於常態表現 (表 1)，此兩種光源之夜間光照處理不僅將可能延

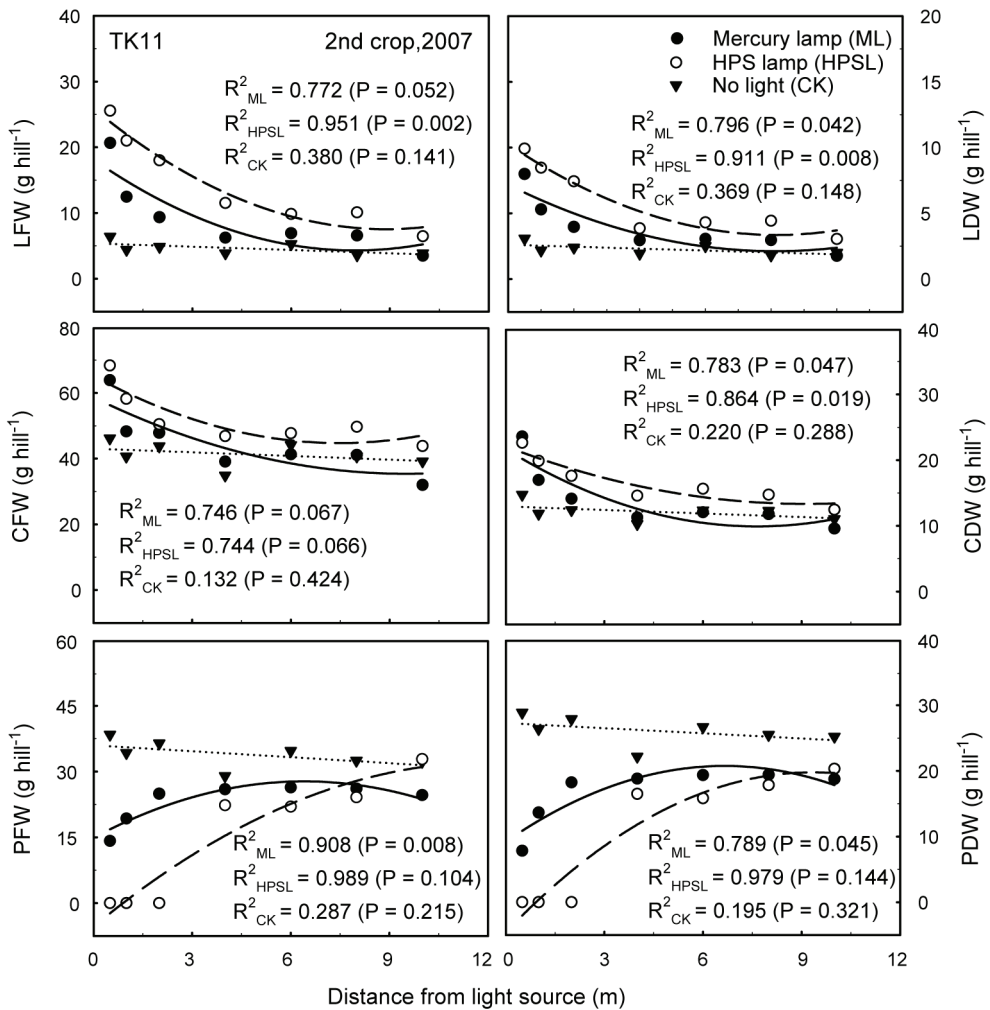


圖 3A. 2007 年二期作水稻台梗 11 號在夜間暗期光中斷處理之不同光源與距離下稻株收穫時葉片 (L)、桿 (C) 與穗 (P) 之鮮重 (FW) 及乾重 (DW) 分佈曲線圖。

Fig. 3A. Changes of fresh and dry weights of leaf (LFW and LDW), culm (CFW and CDW) and panicle (PFW and PDW) at harvest with distance away from different light sources for rice (*Oryza sativa* L.) cultivar TK 11 grown in the second cropping season of 2007.

長短日照型稻株抽穗期及收穫期，也將可能同時影響穗的形成與穀粒充實。由表 1 資料，稻株距離光源愈近則延長天數愈長，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。雖然高壓鈉燈光照稻株延長生育天數多於水銀燈光照稻株，但是不同生育

階段之延長效應不一，顯示各生育階段的反應並不一致，且各光源的不同光質亦可能造成差異，尚待多年期試驗深入究明其原因。Chen *et al.* (2005) 在稈性型稻台梗 8 號及籼性型稻台農利 20 號之全生育期全夜照明試驗，亦發現將會造成抽穗開花日期之延後 (長)，然而長日照

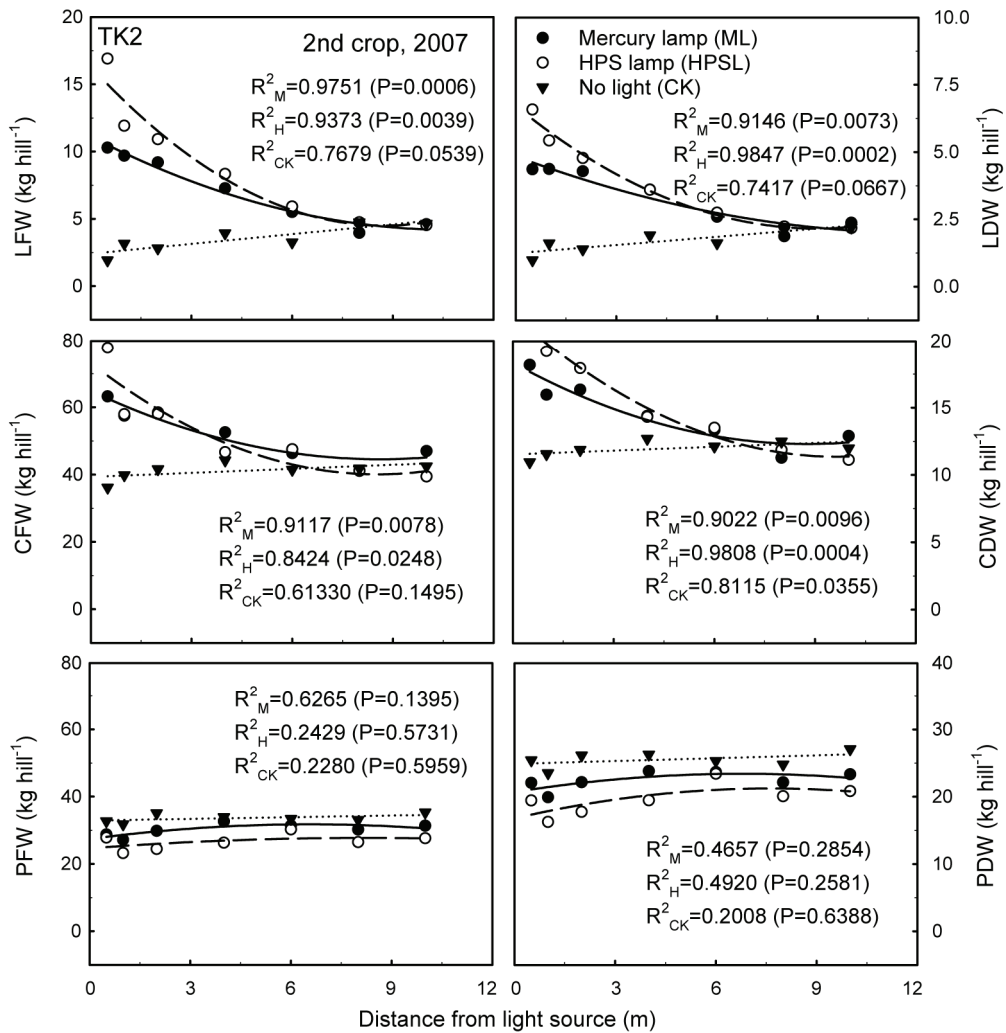


圖 3B. 2007 年二期作水稻台梗 2 號在夜間暗期光中斷處理之不同光源與距離下稻株收穫時葉片 (L)、桿 (C) 與穗 (P) 之鮮重 (FW) 及乾重 (DW) 分佈曲線圖。

Fig. 3B. Changes of fresh and dry weights of leaf (LFW and LDW), culm (CFW and CDW) and panicle (PFW and PDW) at harvest with distance away from different light sources for rice (*Oryza sativa* L.) cultivar TK 2 grown in the second cropping season of 2007.

型印度棗則促使提早開花。

關於夜間暗期光中斷對參試稻種生長之影響，由收穫時生長性狀之調查結果 (圖 2-4)，發現夜間額外的照明可能引起稻株異常生長，愈接近光源影響愈大，尤以距離光源 2 m 甚至於 4 m 以內的植株受到較大影響。大致言之，

此兩稻種之株高在一期作有促進效果而二期作則無，高壓鈉燈光照株的伸長幅度大於水銀燈光照株，TK 11 稻株又大於 TK 2 稻株。同樣的，此兩種光源照射在兩期稻作均可提高近光源 (≤ 4 m) 稻株之葉片數及葉面積，且 TK 11 稻株測值大於 TK 2 稻株，然因為葉片數及葉面

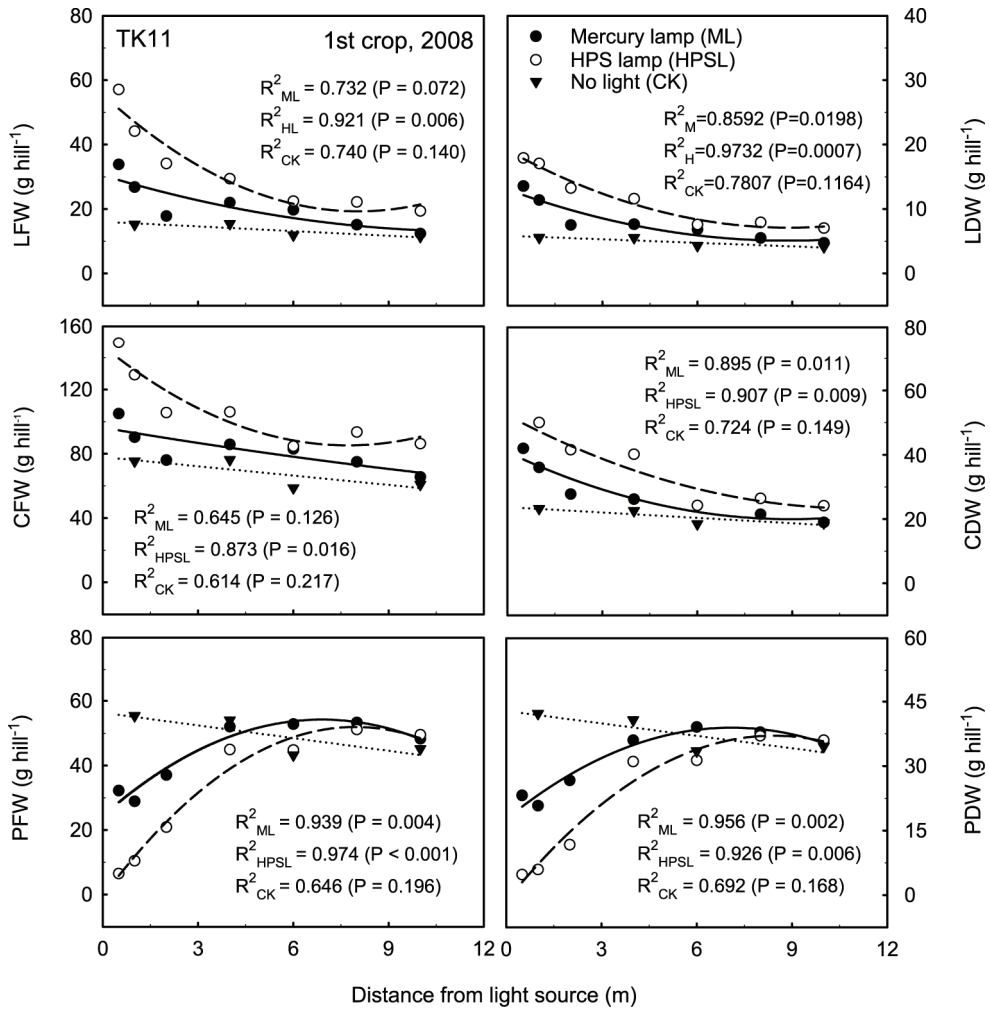


圖 4A. 2008 年一期作水稻台稉 11 號在夜間暗期光中斷處理之不同光源與距離下稻株收穫時葉片 (L)、稈 (C) 與穗 (P) 之鮮重 (FW) 及乾重 (DW) 分佈曲線圖。

Fig. 4A. Changes of fresh and dry weights of leaf (LFW and LDW), culm (CFW and CDW) and panicle (PFW and PDW) at harvest with distance away from different light sources for rice (*Oryza sativa* L.) cultivar TK 11 grown in the first cropping season of 2008.

積有不等增加比例而有不同的葉面積/葉片數比值。由此可見，暗期光中斷所提供的額外照明達到一定光輻射強度後，將會對參試稻種造成營養器官的擴大，使得葉片數及葉面積呈現增加現象，較高感光性稻種 (如 TK 11) 的促進作用似大於較低感光稻種 (如 TK 2)。其次，由兩期稻作植體各部位重量的調查 (圖

3A-4B)，也顯示暗期光中斷可增加稻株葉片及稈的生質量，仍以距離光源 4 m 以內之稻株表現較顯著，而且高壓鈉燈光照之增進效果大於水銀燈光照。除了前述營養器官的擴大，夜間額外照明尚可提高稻稈 (shoots) 生質量，顯然的提供夜間短期光輻射確實有助於稻株的營養生長，而且感光性較高稻種反應較敏銳。是否

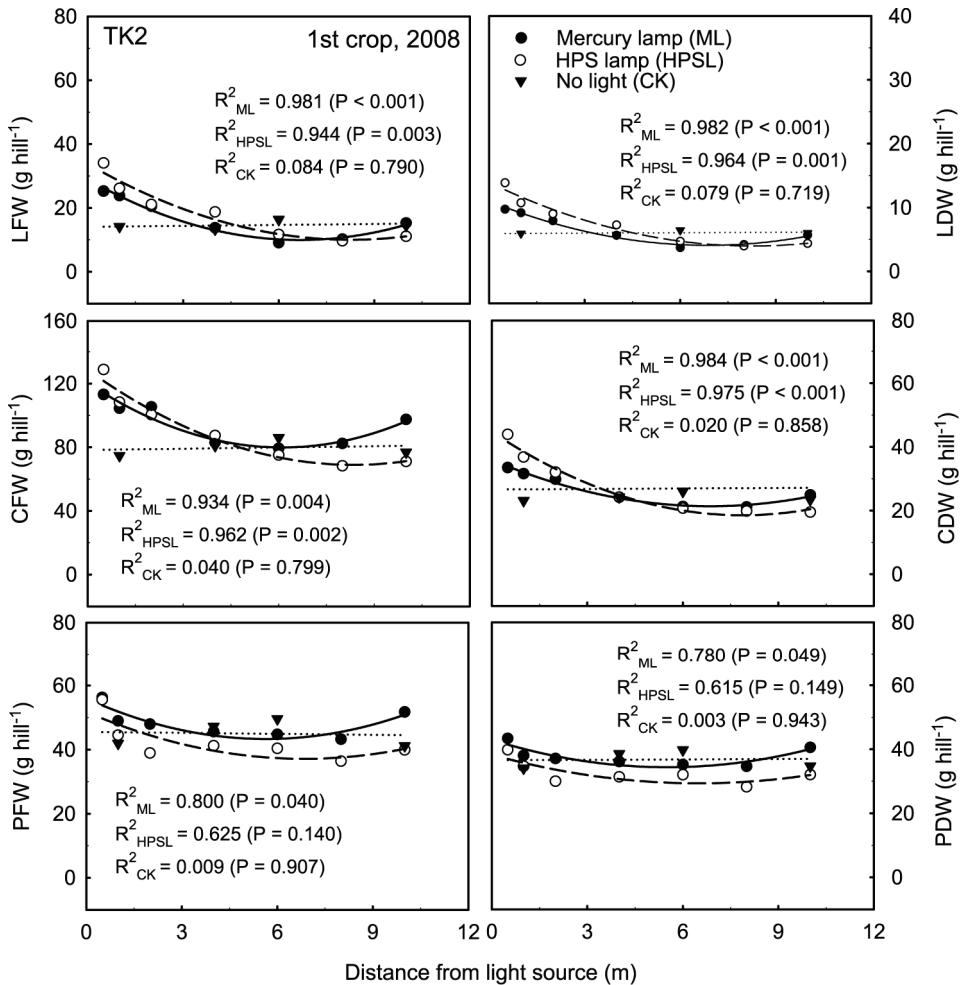


圖 4B. 2008 年一期作水稻台梗 2 號在夜間暗期光中斷處理之不同光源與距離下稻株收穫時葉片 (L)、桿 (C) 與穗 (P) 之鮮重 (FW) 及乾重 (DW) 分佈曲線圖。

Fig. 4B. Changes of fresh and dry weights of leaf (LFW and LDW), culm (CFW and CDW) and panicle (PFW and PDW) at harvest with distance away from different light sources for rice (*Oryza sativa* L.) cultivar TK 2 grown in the first cropping season of 2008.

因為夜間光照啟動了光合作用的進行，或者加速了次級產物的轉換而促進生長機制的運轉，則需要另行試驗究明。

由收穫時穗重之調查結果 (圖 3A–4B)，夜間光照將降低稻穗重量，顯示額外的夜間照明雖然促進稻株營養器官的生長，卻未必助益於穗的形成及穀粒的充實，而且較高感光性稻

種 TK 11 之穗重下降幅度大於較低感光性稻種 TK 2。額外夜間照明的產物及生質量並未能傳送至穗部，貢獻於穀粒產量，而係存留於營養器官如桿、葉之中。因距離光源 4 m 以內稻株降幅較大，可推知光輻射強度的高低可能係造成差異的原因之一，稻種的感光性高低對夜間光照的反應可能與光輻射強度有關。總結這些

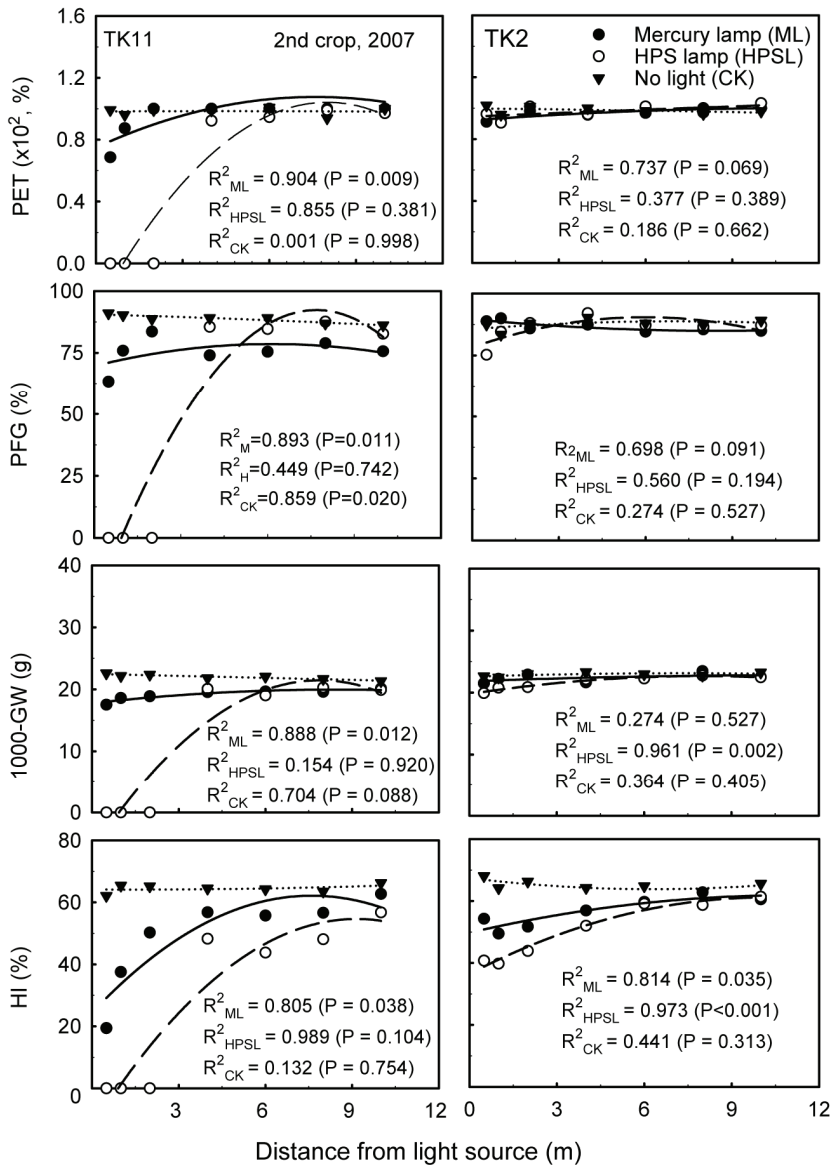


圖 5A. 2007 年二期作水稻台梗 11 號和台梗 2 號在夜間暗期光中斷處理之不同光源與距離下收穫時有效分蘗百分比 (PET)、稔實率 (PFG)、千粒重 (1000-GW) 及收穫指數 (HI) 之分佈曲線圖。

Fig. 5A. Changes of yield traits, i.e., percent effective tillers (PET), percent filled grains (PFG) and 1000 grains weight (1000-GW), and harvest index (HI) at harvest with distance away from different light sources for rice (*Oryza sativa* L.) cultivars TK 11 and TK 2 grown in the second cropping season of 2007.

試驗結果，顯見夜間暗期光中斷不僅縮短水稻的暗期需求而破壞正常的光週期作用，導致抽穗期往後延長或者稻穗無法抽出 (見圖 3A，

TK 11 之 2007 年二期作光源距離 2 m 以內無穗重)，又僅促進稻株的生長而未利於穀粒的充實 (見圖 3A–4B)，使得收穫期延長並減輕穗重，

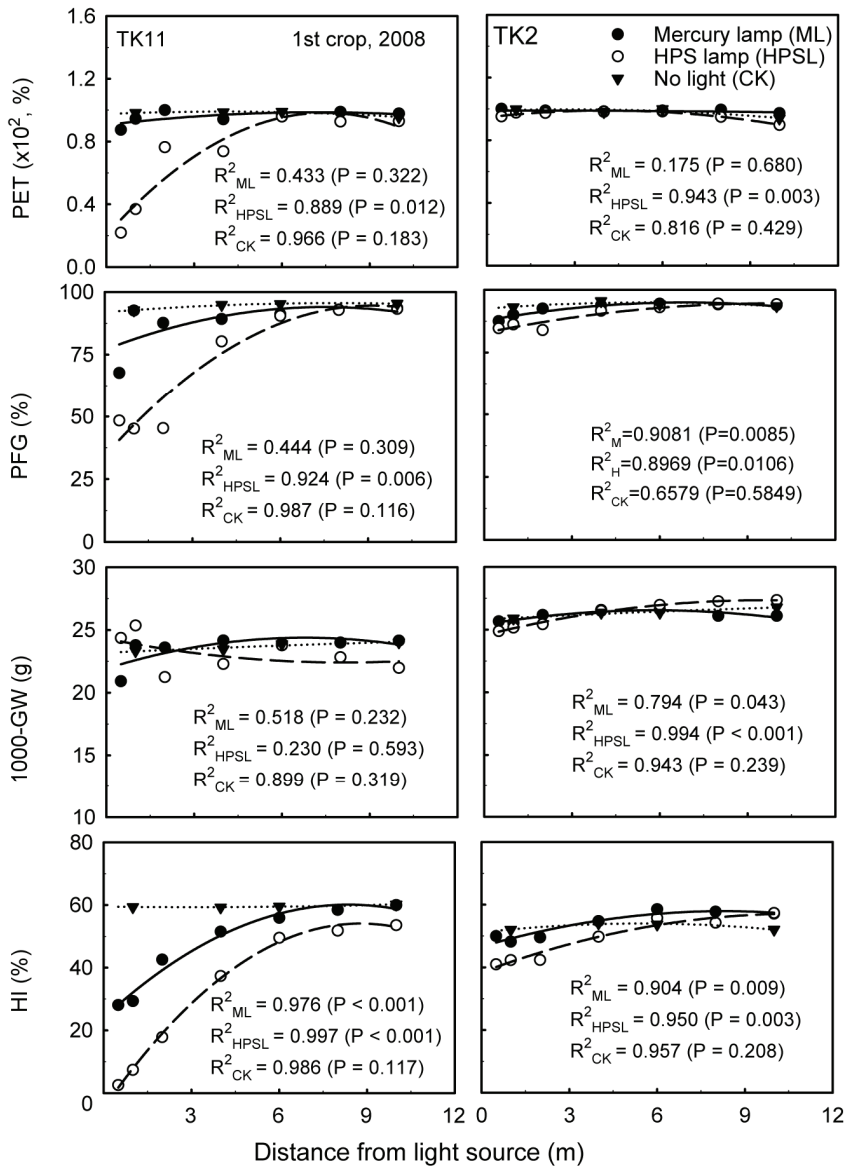


圖 5B. 2008 年一期作水稻台梗 11 號和台梗 2 號在夜間暗期光中斷處理之不同光源與距離下收穫時有效分蘗百分比 (PET)、稔實率 (PFG)、千粒重 (1000-GW) 及收穫指數 (HI) 之分佈曲線圖。

Fig. 5B. Changes of yield traits, i.e., percent effective tillers (PET), percent filled grains (PFG) and 1000 grains weight (1000-GW), and harvest index (HI) at harvest with distance away from different light sources for rice (*Oryza sativa* L.) cultivars TK 11 and TK 2 grown in the first cropping season of 2008.

此一現象以較高感光性稻種受到的影響較為嚴重。此外，無論期作或稻種，高壓鈉燈光照稻株受到抑制的程度高於水銀燈光照稻株，再次

顯示夜間額外照明之負面因素至少包括光輻射強度，因此具有較強光輻射之高壓鈉燈光源促使穗重大幅下降甚至無法抽穗及完全充實。由

於穗重 (穀粒重) 降低而植體桿重與葉重卻增加, 因此夜間光中斷的額外照明會減少收穫指數。

Vergara & Chang (1985) 之研究指出, 短日型植物的水稻從秧苗至幼穗分化之前似乎對光週期的變化無靈敏感應, 此一時期的長短視稻種的成熟期 (maturity) 而異, 一般早熟 (early maturity) 稻種較短而晚熟 (late maturity) 稻種較長。直至光週期誘導期 (inductive phase), 稻株才開始對於光週期變化呈現敏感現象 (Roberts & Summerfield 1987; Yin *et al.* 1997), 促使幼穗及花芽形成, 此時暗期長短及暗期光中斷將明顯影響幼穗分化及抽穗日期。據此推測在光週期誘導期之前的夜間光照, 可能因為增加額外光合作用而使得營養生長較為旺盛, 進而促進稻株之株高與營養器官擴大, 一如 Chen *et al.* (2005) 之類似試驗結果。至於生長性狀的表現差異, 除了稻種的遺傳基因 (如感光性) 控制之外, 光輻射強度的高低亦會造成不等促進效果, 通常愈靠近光源的稻株可接受較高光照而獲得較旺盛的生長, 使得葉片數、葉面積及稻稈 (葉 + 稈) 重量明顯增加。

但是, 暗期光中斷及帶來的額外夜間照明卻不利於稻株的生殖生長並干擾抽穗開花習性, 本試驗選用之較高感光性稻種 TK 11 在 2007 年二期稻作近光源稻株甚至無法抽穗, 2008 年一期稻作的穗重產量亦甚低 (圖 3A、4A)。經比較所調查之產量性狀, 由於穗數的減少而使得有效分蘗百分比下降, 較少的充實粒數而降低稔實率, 以及較輕粒重而減低千粒重, 也因此得到較差的收穫指數 (圖 5A、5B)。值得注意的是臨近高壓鈉燈光源 (≤ 2 m) 的 TK 11 稻株, 接受僅約 $1.4 \mu\text{mole m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (光度約 160 lux) 的光輻射強度竟然在本試驗的二期稻作環境中無法抽穗, 在一期稻作環境亦僅獲得甚低穗重, 可見高感光性稻種 (如 TK 11) 對微弱光照十分的敏感。相對的, 較低感光性

稻種 (如 TK 2) 則無此敏銳反應, 穗重降低比例較少 (圖 3B、4B)。因此, 在有夜間光照干擾的農耕地種植水稻時, 宜慎選低感光性的品種以減輕低產量損失。Huang (2006) 在國道三號旁農田進行的夜間連續光照試驗中發現, 長期夜間光照將降低感光性稻種台農 71 號兩期稻作之產量, 距離光源愈近則減產幅度愈大。其試驗結果也指出, 減產主因在於每叢穗數、稔實率的減少, 惟株高、生育天數及穗長均有增加。

結 論

綜合本試驗結果分析, 夜間暗期 2 小時之光中斷將對不同感光性稻種造成不等程度的生育影響, 雖然營養生長將受到促進, 生殖生長卻產生不利後果。此一暗期光中斷效應隨著光輻射強度的上升而增強, 不同光質的作用亦顯示出差異性反應, 然仍需要更多的試驗來深入解明。由於稻種之間存在不同的感光性, 夜間照明的長短或明暗的交替都可能產生各種結果, 造成對生長、發育及產量甚至是米質的不等影響, 亟需要吾人更進一步的研究探討予以釐清, 如此才能助益於未來的實際應用。單從本研究之試驗結果建議, 在有夜間光害疑慮的農耕地, 務必選用低感光性作物或品種, 抑或遠離光源至一定距離以上, 以避免生育干擾及產量損失。

引用文獻 (Literature cited)

- Angrish, R. 1998. Photoperiodic characteristics of basmati rice. *Indian J. Plant Physiol.* 3:77-81.
- 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, T. Y. and Y. A. Liou. 2005. Using LANDSAT data-derived air temperature to quantify the

- magnitude of urban heat island effect. *J. Photogram. Remote Sens.* 10:385–392. (in Chinese with English abstract)
- 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 caltrops (*Trapa natans*) and Indian jujube (*Zizyphus mauritiana*). *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.). *Chin. J. Agromet.* 1:115–120.
- Chiou, C. Y. and J. H. Weng. 1996. Effects of night interruption on flowering and yielding date of Indian jujube (*Zizyphus mauritiana* Lam.). *Chin. J. Agromet.* 3:121–124. (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 (*Zizyphus mauritiana* Lam.). *Res. Bull. 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.
- Cotton, W. R. and R. A. Pielke. 1996. *Human Impacts on Weather and Climate.* University Press. Cambridge, UK. 288 pp.
- Diplock, A. T., J. L. Charleux, G. Crozier-Willi, F. J. Kok, C. Rice-Evans, M. Roberfroid, W. Stahl, and J. Vina-Ribes. 1998. Functional food science and defense against reactive oxidative species. *British J. Nutr.* 80 (Suppl. 1):S77–S112.
- 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.
- Fosket, D. E. 1994. *Plant Growth and Development, a Molecular Approach.* Academic Press, San Diego, USA. 580 pp.
- Gutterman, Y. and D. Porath. 1975. Influences of photoperiodism and light treatments during fruits storage on the phytochrome and on the germination of *Cucumis prophetarum* L. and *Cucumis sativus* L. seeds. *Oecologia* 18:37–43.
- Huang, M. C. and C. Y. Chu. 1984. A design of standard light intensity for the control of flowering *Chrysanthemum*. *NCGU Hort.* 9:45–49. (in Chinese with English abstract)
- Huang, M. C. 2006. Effect of all Night Lighting on the Yield and Quality of Rice. Master Thesis. Graduate Institute of Agronomy National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan, ROC. 55 pp. (in Chinese with English abstract)
- International Panel on Climate Change (IPCC). 2001. *Climate Change 2001. The Scientific Basis.* The Intergovernmental Panel on Climate Change. University Press. Cambridge, UK. 881 pp.
- 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.
- Kendrick, R. E. and G. H. M. Kronenberg. 1993. *Photomorphogenesis in Plants.* Kluwer Academic. The Netherlands. 828 pp.
- Madigan, M. T., J. M. Martinko., P. V. Dunlap, and D. P. Clark. 2008. *Brock Biology of Microorganisms.* 12th ed. Benjamin Cummings/Prentice Hall. San Francisco. 1168 pp.
- Mattson, N. S. and J. E. Erwin. 2005. The impact of photoperiod and irradiance on flowering of several herbaceous ornamentals. *Sci. Hort.* 104:275–292.
- Mizon, B. 2002. *Light Pollution: Responses and Remedies.* Springer-Verlag. London. 216 pp.
- Nomani, Z. M. 2004. *Legal Control of Radiation Pollution.* Regency Pub. India. 328 pp.
- Roberts, E. H. and R. J. Summerfield. 1987. Measurement and prediction of flowering in annual crops. p.17–50. *in: Manipulation of Flowering.* (Atherton, J. G.,ed.) Butterworths. London.
- Tesar, M. B. 1984. *Physiological Basis of Crop Growth and Development.* American Society of Agronomy/ Crop Science Society of America. Madison, Wisconsin, USA. 341 pp.
- Thomas, B. and D. Vince-Prue. 1996. *Photoperiodism in Plants.* 2nd 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.* 4th ed. IRRI. Los Banos, Philippines. 61 pp.
- Yeh, K. C. and M. C. Huang. 1979. Effects of re-illumination on the improvement of cutting flower quality of *Chrysanthemum morifolium* Ramat. *NCHU Hort.* 4:27–36. (in Chinese with English abstract)
- 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.

Effects of Short-term Night Interruption on the Growth, Development, and Yield of Rice¹

Yuh-Jyuan Lee², Chwen-Ming Yang^{2,3}, and Chiao-Ling Hsiao²

Abstract

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.

Field experiments were conducted in the experimental farm of Taiwan Agricultural Research Institute to study the effects of short-term (2 h in-between 23:30 and 01:30) night interruption, using high pressure sodium lamp (HPSL) and mercury lamp (ML) as light sources with no light treatment (CK) in comparison, on the growth, development and yield of rice (*Oryza sativa* L.). Cultivars of varied photo-sensitivities, higher sensitive TK 11 relative to lower sensitive TK 2, were selected to grow in the second crop of 2007 and the first crop of 2008. From the distribution curves of light intensity and photosynthetic photon flux density (PPFD) with distance away from light sources, radiation values of HPSL were higher than that of ML at the same distance and the decrease of radiation with distance obeyed the general inverse square law. As the results indicated, short-term night interruption affected plant development and growth duration. Light interruption in the dark period extended the days required from transplanting to 50% heading and from 50% heading to harvest, and the effects were stronger when plants were more closed to the light sources. Night interruption also affected plant growth of both cultivars. At harvest, plant height was increased by lighting in plants within 4 m from light sources in the first crop, but not in the second crop, especially under HPSL. Leaf number and leaf area were improved in plants within the distance of less than 4 m in both crops and the increments were larger in TK 11 than in TK 2. Similar results were found in weights of leaves and culms and HPSL treatment had a better improvement. However, night interruption decreased panicle weights of these two cultivars at harvest, particularly in plants of TK 11 within 4 m distance of light sources. The inhibition effect was more pronounced under HPSL. From the analyses of yield components, lighting imposed negative impacts on percent effective tillers, percent filled grains, and 1000-grain weight in both cropping seasons. Plants of TK 11 within 4 m and plants of TK 2 within 2 m, though with less scale, were the range most affected in both crops. Due to an increase of vegetative tissues while a decrease of reproductive tissues, harvest index of two tested cultivars was declined by night interruption, particular within 4 m away from light sources.

Key words: Dark period light interruption, Night interruption, Photo-sensitivity, Rice, Growth, Production.

-
1. Contribution No.2383 from Taiwan Agricultural Research Institute (TARI), Council of Agriculture. Accepted: December 3, 2009.
 2. Respectively, Assistant Researcher, Researcher, and Assistant Researcher, Crop Science Division, TARI, Wufeng, Taichung, Taiwan, ROC.
 3. Corresponding author, e-mail: cmyang@tari.gov.tw; Fax: (04)23317118.