

夜間路邊照明對大豆生長與產量之影響¹

陳琦玲^{2,4} 蘇雲翰² 劉嘉仁³ 李艷琪²

摘 要

陳琦玲、蘇雲翰、劉嘉仁、李艷琪。2009。夜間路邊照明對大豆生長與產量之影響。台灣農業研究 58:146–154。

行政院農委會農業試驗所為配合經濟部評估我國發展生質能源之潛力，近年自澳洲引進 Leichardt 品種大豆，並在全國各地進行試種。本研究在彰化縣和美鎮休耕地進行 95 年秋作撒播適栽試驗，為試驗區之一，並於 96 年初收穫。試驗結果顯示，受限於撒播方式，發芽率較不整齊，導致產量空間變異大，在病蟲害用藥控制下，撒播方式之產量約為 770 kg ha⁻¹。試驗中亦發現，部分大豆在夜間受到田邊路燈 (田區距光源約 10–20 m 範圍) 的影響，營養生長較為旺盛，開花期約延後一至四週，採收期延後一個月至一個半月，但產量略高於夜間未受光照者，可達 1000 kg ha⁻¹ 以上。

關鍵詞：夜間照明、大豆、生長、產量。

大豆 [*Glycine max* (L.) Merr.] 為豆科蝶形亞科大豆屬之一年生草本植物。葉互生、複葉、小葉卵形，花呈淡紫色，原產於中國之大陸，生長對日照長短與強度 (Wang & Li 1997) 及溫度等環境因子較為敏感 (Yang & Fan 1996; Yang *et al.* 1996; Fleming *et al.* 1997)。因其籽實富含營養分，為全球重要雜糧作物之一，至 2006 年全世界產量已達 2 億公噸。台灣自民國 55 年開放國外雜糧進口後，國產大豆競爭力下降，栽培面積逐年減少，目前主要供作綠肥作物及毛豆加工生產為主。近年因為能源危機意識提高，加上國內不生產石油，需完全仰賴國外進口，國際石油日益匱乏下，可能對台灣造

成嚴重之衝擊。大豆富含之豐富油質，高油分品種可達 26–27%，適合國內發展生質柴油。行政院農委會農業試驗所為配合經濟部評估我國發展生質能源之潛力，自澳洲引進 Leichardt 高油分大豆品種，並在全國各地休耕地進行栽培試種。本研究在彰化縣和美鎮進行能源大豆秋作撒播適栽試驗，為試栽試驗區之一。許多的研究報告均指出，大豆開花對於光週期具敏感性 (Cober *et al.* 1996; Fleming *et al.* 1997; Wang & Li 1997; Wilkerson *et al.* 1989)。澳洲 Leichardt 品種屬於高感光品種，95 年在國內中南部試種時，除少數在 1 月中旬播種有收穫外，幾乎全數都因豆莢充實不良，而無法收穫

1. 行政院農業委員會農業試驗所研究報告第 2349 號。接受日期：98 年 3 月 9 日。
2. 本所農業化學組副研究員、約用助理及助理研究員。台灣 台中縣 霧峰鄉。
3. 本所農場組助理研究員。台灣 台中縣 霧峰鄉。
4. 通訊作者，電子郵件：chiling@tari.gov.tw；傳真機：(04)23302805。

(Huang *et al.* 2006)。此一品種在農委會台南區農業改良場同時期進行 6 個品種適應性評估試驗中，其產量亦僅 871 kg ha⁻¹，而生育日數長達 140 天 (Huang *et al.* 2006)。光週期改變除影響作物之開花時序外，同時會影響作物產量、澱粉及礦物營養元素含量等 (Bertrand *et al.* 2008)。台灣地形狹小人口眾多，位於都市的邊緣地區、鄉村及道路兩旁的農田，夜間常受到路燈的光照影響，破壞了作物對自然光照的週期反應。人工光照中斷了作物應有的暗期需求，造成農作物不當的生理變化，如營養生長過盛、花期失序失調等事 (Chen *et al.* 2005)，帶給農民和政府部門許多糾紛及困擾。本研究在彰化縣和美鎮進行能源大豆秋作撒播適栽試驗時，亦發現 Leichardt 品種之生產明顯受到夜間路旁白色水銀燈之影響，因此藉由試驗生育調查來探討夜間路燈照明對其生產之影響。

本試驗於彰化縣和美鎮進行生質能源大豆栽培試種，栽培面積 524 m²，栽培品種為澳洲

能源大豆品種 (Leichardt)，以整地不做畦撒播方式栽培。95 年 9 月 19 日撒種，播種量每公頃 70–80 kg。播種後噴施萌前除草劑防除雜草 (45.1%拉草乳劑 200–300 倍，4–5 L ha⁻¹；34%施得圃 350 倍，3–4.5 L ha⁻¹)，其餘栽培期間以人工除草方式控制雜草。總施肥量為 N 85 kg ha⁻¹、P₂O₅ 96 kg ha⁻¹ 及 K₂O 72 kg ha⁻¹，分 4 次施用，分別為 9 月 21 日、10 月 1 日、10 月 13 日及 10 月 24 日。試驗期間病蟲害控制管理依植物保護手冊推薦用藥管理，分別於 10 月 11 日、10 月 23 日及 10 月 27 日施用殺蟲劑與殺菌劑 (9.6%益達胺 1500–2000 倍，0.6–0.8 L ha⁻¹；90%納乃得 2000 倍，0.5 kg ha⁻¹；50%免賴得 1500 倍，0.7 kg ha⁻¹)。栽培期間無引水灌水。各項田間管理操作如表 1 所示。本試驗為探討夜間路燈照明對大豆生產之影響，係將試驗田區依輻射量分佈與成熟採收期概分為四區進行生育調查，以進行夜間路邊照明對大豆生長之影響分析。

表 1. 能源大豆栽培試驗田間操作紀錄

Table 1. Management record of the soybean field used in the experiment

Date	Operation	Note
08/25	First plowing	
09/01	Weeding by herbicide	Alachlor and Pendimethalin
09/10	Second plowing	
09/11	Weeding by herbicide	Alachlor and Pendimethalin
09/19	Third plowing	Seeding
09/20	Weeding by herbicide	Alachlor and Pendimethalin
09/21	Hand weeding & basal fertilization ^z	N : P ₂ O ₅ : K ₂ O = 25 : 6 : 12 kg ha ⁻¹
10/01	Hand weeding & first dressing ^z	N : P ₂ O ₅ : K ₂ O = 20 : 30 : 20 kg ha ⁻¹
10/11	Pest and disease control by pesticide	Imidacloprid, methomyl and benomyl
10/13	Second dressing ^z	N : P ₂ O ₅ : K ₂ O = 20 : 30 : 20 kg ha ⁻¹
10/23	Pest and disease control by pesticide	Imidacloprid, methomyl and benomyl
10/24	Third dressing ^z	N : P ₂ O ₅ : K ₂ O = 20 : 30 : 20 kg ha ⁻¹
10/25	Hand weeding	
10/27	Pest and disease control by pesticide	Imidacloprid, methomyl and benomyl
11/02	Hand weeding	

^z Total rate of fertilizers: N : P₂O₅ : K₂O = 85 : 96 : 72 kg ha⁻¹.

試驗調查項目與分區劃分方式說明如下：土壤特性與地力調查：於整地前以 5 m × 5 m 網格做土壤採樣 (圖 1)，土層分為 0–15 cm 及 15–30 cm，測定土壤 pH、電導度及有機質，以了解基本特性與地力分布。土壤採樣攜回實驗室，待其風乾後，磨碎並以 2 mm 篩網過篩，依下列方法分析測定：pH 測定：以土：去離子水 = 1：1 (W/V) 混合，平衡 1 小時後，用玻璃電極法 (WTW Group, Inc., microprocessor pH meter, pH3000) 測定之 (McLean 1982)。電導度測定：以土：蒸餾水 = 1：5 混合，振盪 15 分鐘後，靜置 1 小時，再振盪 5 分鐘，過濾抽取濾液，以電導度計 (WTW Group, Inc., Cond 340i) 測電導度 (Rhoades 1982)。有機質測定：用重鉻酸氧化法測定 (Nelson & Sommers 1982)。稱取 0.5 g 土壤置入 250 mL 三角錐形瓶中，加入濃度 1 N 的 $K_2Cr_2O_7$ 溶液 10 mL。加入 20 mL 濃硫酸搖勻後，靜置放涼，再加入 150 mL 去離子水，搖勻，待放涼後，

加入 3 滴磷二氮菲指示劑，用 0.5 N $FeSO_4$ 溶液滴定之。路邊白色水銀燈輻射量測量：路邊白色水銀燈照明約從黃昏 5–6 點至清晨 5–6 點。以光輻射計 (LI-COR, Inc., LI-250 light meter) 在晚間 9–12 點測量路邊白色水銀燈 (400 W, 20500 Lm) 下輻射量及試驗田區所受輻射量。路燈距離試驗田區垂直距離為 9.7 m。依 3 m × 3 m 網格測定輻射量，共計測定 80 點。依輻射量分佈與成熟採收期概分為四區如圖 2。生育調查：自 10 月 25 日起於各收穫適期分區 (圖 2) 內逢機標示 10 株大豆，每週量測植株基部至莖頂最高處，以了解大豆株高變化情形，並記錄開花期及採收期。產量調查：以 3 m × 3 m 網格依收穫適期分區採收 (圖 2)，並記錄收穫產量。收穫標準為葉片及葉柄枯黃脫落，果莢由綠變黃，乾燥呈褐或黃褐色，此時用手輕打果莢有響聲，即可收穫。統計分析：利用 Excel 軟體統計功能，進行分區輻射量資料與大豆生育日數統計相關性與迴歸分析。

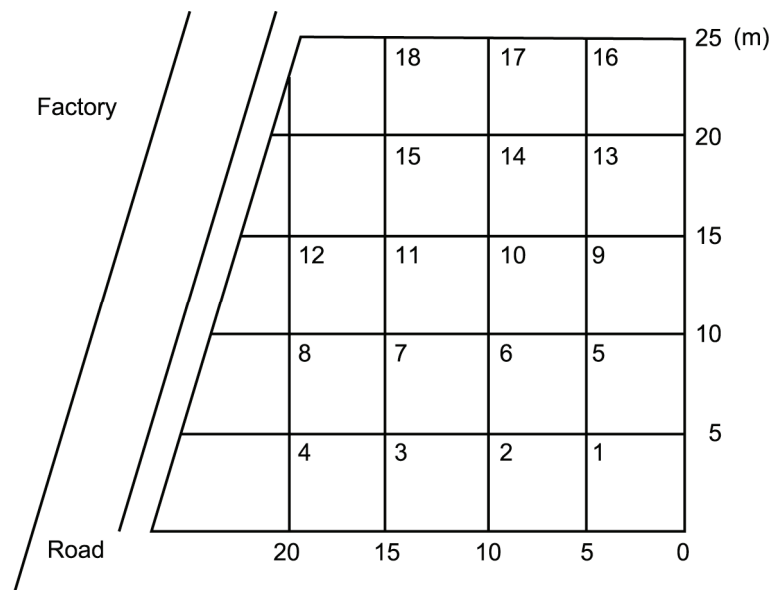


圖 1. 試驗田土壤採樣位置圖。

Fig. 1. A diagram of the experimental field showing soil sampling sites.

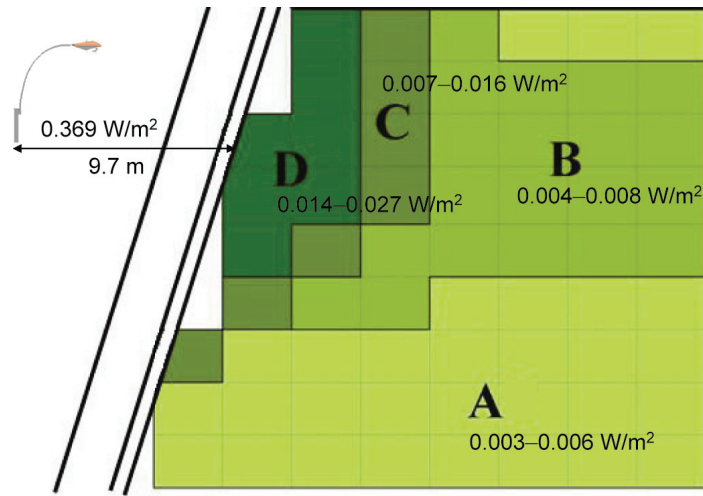


圖 2. 試驗田夜間光輻射量分佈與採收分區圖。光源距離試驗田 9.7 m。

Fig. 2. A diagram of the experimental field showing difference of night radiation in the four harvested plots (A-D). Note the distance of the light source is 9.7 m from the field.

依照採收分區網格土壤採樣之統計分析顯示 (表 2)，表土 0–15 cm 之 pH 值介於 6.9–7.0 間，15–30 cm 土層之土壤 pH 值介於 7.0–7.1 之間，屬於中性土壤，各採收分區間並無顯著性差異。土壤電導度部分在表土 0–15 cm 及 15–30 cm 土層各分區間皆未達顯著性差異，表土 0–15 cm 電導度介於 0.16–0.23 mS cm⁻¹ 間，15–30 cm 土層土壤則介於 0.14–0.15 mS cm⁻¹ 間。土壤有機質含量方面，表土 0–15 cm 以 A 區的 3.9% 及 B 區的 4.0% 顯著高於 C、D 兩區的 3.3%，但 15–30 cm 土層之土壤有機質含量各分區間則無顯著性差異，有機質含量為 3.2%。種植前經過耕耘機 3 次翻土整地後，地力上的差異預期會縮小。依據 Lin (1967) 以 Parker *et al.* (1951) 的肥力研究指數法評估國內農田之土壤有機質肥力等級，本試驗田之表、底土有機質均 > 3%，已屬高等級 (> 3%)，因此小區間有機質含量差異應不是造成大豆生長明顯差異的主要原因。一般而言，作物營養生長感受到開花條件時，生理反應會停止自身的營養生長而轉變進入生殖生長時期。生長調

查依分區如表 3 及圖 3 所示，95 年 9 月 19 日播種後，A 區生長至 11 月 6 日後株高不再增加，平均株高約 32 cm；開花期與採收期分別是 10 月 24 日與 12 月 29 日。B、C 及 D 區雖與 A 區同時期播種，但開花期與採收適期卻明顯有延後的現象，B 區約晚一星期自 11 月 13 日株高不再增加，平均株高約 30 cm，11 月 1 日開花，96 年 1 月 15 日採收；C 區更晚至 11 月 20 日株高不再增加，平均株高約 40 cm，11 月 9 日開花，96 年 1 月 24 日採收；D 區因為最靠近光源，因此受路旁燈光影響最大，營養生長延至 11 月 27 日株高才停止增加，平均株高約 50 cm，11 月 23 日開花，96 年 2 月 13 日採收，較 A 區晚約一個半月，生長日數由不受光照影響之 102 天延長至 148 天。以光輻射計現地實際測量路旁燈光，燈光正下方輻射量為 0.369 W m⁻²，路燈與田區垂直距離約 9.7 m。田區內輻射量 A 區為 0.003–0.006 W m⁻²、B 區為 0.004–0.008 W m⁻²、C 區為 0.007–0.016 W m⁻² 及 D 區為 0.014–0.027 W m⁻²。試驗田區內受路旁燈光影響輻射量最高為 0.027 W m⁻²，隨著距

燈光距離增加，輻射量遞減，至暗處輻射量僅剩 0.003 W m^{-2} (圖 2)。依照測得之輻射量與大

豆生育日數進行簡單相關分析，其結果顯示相關性達到 0.87，且達到統計上之極顯著相關。

表 2. 試驗小區土壤特性

Table 2. Soil properties of the plots (A–D) in the experimental field

Plot	Soil depth (cm)	pH	EC (mS cm^{-1})	Organic matter (%)
A	0–15	$6.9 \pm 0.1 \text{ a}^z$	$0.19 \pm 0.05 \text{ a}$	$3.9 \pm 0.2 \text{ a}$
B	0–15	$6.9 \pm 0.1 \text{ a}$	$0.23 \pm 0.06 \text{ a}$	$4.0 \pm 0.4 \text{ a}$
C	0–15	$7.0 \pm 0.1 \text{ a}$	$0.16 \pm 0.03 \text{ a}$	$3.3 \pm 0.5 \text{ b}$
D	0–15	$7.0 \pm 0.1 \text{ a}$	$0.18 \pm 0.05 \text{ a}$	$3.3 \pm 0.5 \text{ b}$
A	15–30	$7.0 \pm 0.1 \text{ a}$	$0.15 \pm 0.02 \text{ a}$	$3.2 \pm 0.3 \text{ a}$
B	15–30	$7.1 \pm 0.1 \text{ a}$	$0.15 \pm 0.03 \text{ a}$	$3.2 \pm 0.4 \text{ a}$
C	15–30	$7.0 \pm 0.2 \text{ a}$	$0.14 \pm 0.01 \text{ a}$	$3.2 \pm 0.2 \text{ a}$
D	15–30	$7.0 \pm 0.2 \text{ a}$	$0.15 \pm 0.02 \text{ a}$	$3.2 \pm 0.2 \text{ a}$

^z Means within each column followed by same letter are not significantly different ($p > 0.05$) according to Duncan's multiple range test.

表 3. 試驗小區花期、採收期及產量比較

Table 3. Flowering date, harvest date and yield of soybean in the plots (A–D) of the experimental field

Plot	Flowering date	Harvest date	Yield (kg ha^{-1})
A	10/24	12/29	$769 \pm 234 \text{ c}^z$
B	11/01	01/15	$906 \pm 341 \text{ bc}$
C	11/09	01/24	$1262 \pm 222 \text{ a}$
D	11/23	02/13	$1088 \pm 405 \text{ ab}$

^z Means in the column followed by same letter are not significantly different ($p > 0.05$) according to Duncan's multiple range test.

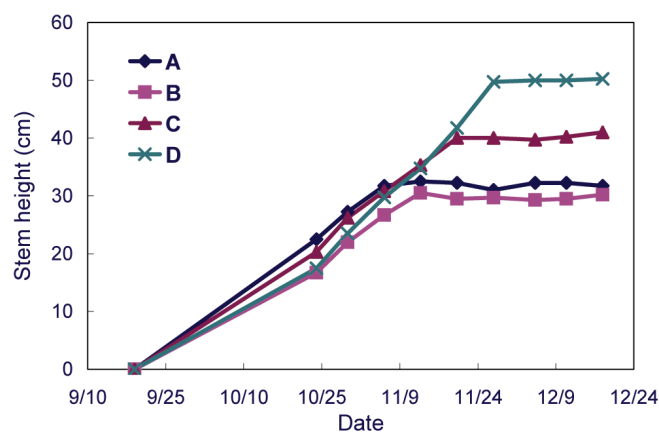


圖 3. 夜間照光對大豆株高之影響。

Fig. 3. Effects of night illumination on stem height of soybean.

另依採收分區所受路燈輻射量與大豆生育日數相關性如圖 4，大豆生育日期與路燈輻射量呈現正相關，迴歸式之 $R^2 = 0.75$ ，亦達統計之極顯著相關 ($p < 0.001$)。呈現極顯著正相關，顯示路旁燈光輻射量為造成大豆生長期明顯差異的主要原因。路旁燈光輻射量造成光週期改變，影響大豆 Leichardt 之開花與結莢延後，在秋作溫度逐漸下降之情況下，導致豆莢充實期延長，成熟期延後。依據本試驗所得之迴歸式估算，每增加 0.01 W m^{-2} 輻射量，將使生長日數延長 23 天。

試驗之能源大豆 Leichardt 品種實際產量如表 3 所示，各區平均產量分別為 A 區 769 kg ha^{-1} 、B 區 906 kg ha^{-1} 、C 區最高達 1262 kg ha^{-1} ，而 D 區略為下降為 1088 kg ha^{-1} 。根據 A 區未受光照影響之產量結果，顯示試驗中因為以不做畦撒播栽培，使播種密度及發芽率較不整齊，又無水源可灌溉，以致從網格產量調查顯示，空間變異較大，在合理之肥培管理及病蟲害控制下，每公頃產量約僅收 770 kg 左右。依據在 Huang *et al.* (2006) 春作大豆品種試種比較結

果，顯示 Leichardt 品種屬於高感光品種，春作栽培容易受到感光問題，幾乎全數都因豆莢充實不良，而無法收穫。台南場在機械做畦條播的栽培模式下，平均產量亦僅有 871 kg ha^{-1} (Huang *et al.* 2006)。根據彰化地區與本試驗同時期撒播種植之大豆產量約在 $830\text{--}1300 \text{ kg ha}^{-1}$ (Chen *et al.* 2008)，本試驗未受光照影響區之產量偏低，可能與完全沒有灌溉有關。根據台南地區農民之栽種調查，Leichardt 秋作產量亦有超過 2000 kg ha^{-1} 。從分區輻射量量測數據顯示，B 區之輻射量範圍 ($0.004\text{--}0.0080 \text{ W m}^{-2}$) 僅稍高於 A 區 ($0.003\text{--}0.006 \text{ W m}^{-2}$) 者，但比較兩區之生育調查結果，B 區之生長已明顯受到輻射量之影響。顯示 Leichardt 品種之高感光性。但由於空間變異大，依據統計分析結果顯示，兩區之產量並未達到顯著性差異。本試驗中 C 區與 D 區因距光源較近，約距光源 $10\text{--}20 \text{ m}$ 範圍內，大豆生育期間明顯受到路燈光照的影響，使作物延長了營養生長期 (圖 5)，植株在生長勢較佳情況下才開花結莢，產量均高於未受光照影響之 A 區，且達統計之顯著差異。D

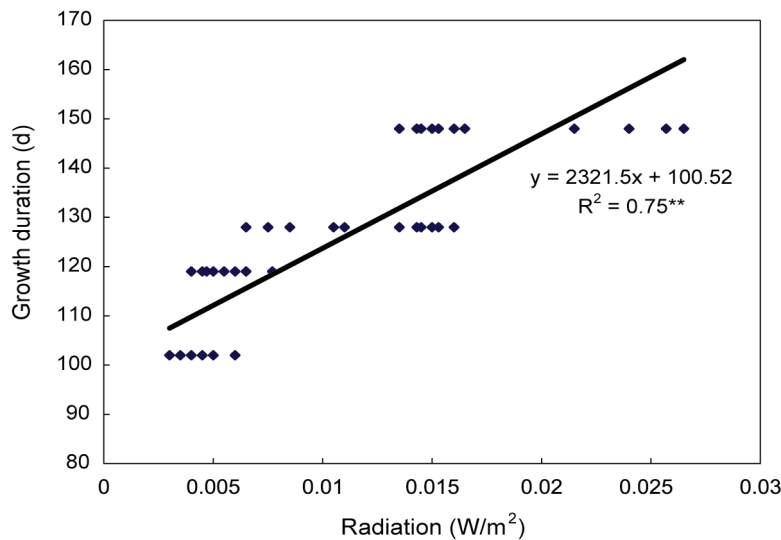


圖 4. 大豆生長日數與光輻射量之相關。

Fig. 4. Correlation between radiation and growth duration of soybean.



圖 5. 大豆營養生長期受路邊照明而延長。

Fig. 5. A soybean field showing prolonged vegetative growth of plants grown near the roadside (top) due to influence of night illumination.

區雖在開花期再延後一週之情形下，因遇低溫，籽實充實緩慢，反而會使產量略為下降，但與 C 區之產量未達統計之顯著差異。另一方面，本試驗亦發現 D 區大豆在營養生長過於旺盛下，植株較高，平均約 50 cm，遇強風時部分植株發生傾倒情形，可能影響後續的生長與結莢。但本試驗未作進一步調查。試驗中發現大豆在夜間受到田邊燈光的影响，使營養生長旺盛，延後開花期及採收期等現象，雖然產量略為增加，但因田區大豆生長不一致，將造成管理與採收的不便。彰化地區人口稠密，社區與農地交雜，應注意夜間燈光照明對其生長期的影响，以調節作物耕作環境、管理方式及栽培季節。而由本次九月中旬播種之秋作試驗結果顯示，雖受路旁照明影响而導致大豆採收延後一個半月，但還不致影响一期作水稻或春作旱作之栽培。

引用文獻 (Literature cited)

- Bertrand, A., G. F. Tremblay, S. Pelletier, Y. Castonguay, and G. Bélanger. 2008. Yield and nutritive value of timothy as affected by temperature, photoperiod and time of harvest. *Grass Forage Sci.* 63:421–432.
- Chen, C. L., C. L. Chu, N. W. Yu, W. J. Yeh, Y. H. Su, and W. T. Huang. 2008. Assessment on the cultivation of soybean as energy crop on cadmium-contaminated farmland in Taiwan. p. 582–584. *in the Proceedings of 14th International Conference on Heavy Metals in the Environment.* Dep. Agric. Chem., Natl. Taiwan Univ. Taipei.
- 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 mauritana*). *Crop Environ. Bioinform.* 2:182–192. (in Chinese with English abstract)
- Cober, E. R., J. W. Tanner, and H. D. Voldeng. 1996. Soybean photoperiod-sensitivity loci respond differentially to light quality. *Crop Sci.* 36:606–610.
- Fleming, J. E., R. H. Ellis, P. John, R. J. Summerfield, and E. H. Roberts. 1997. Developmental implications of photoperiod sensitivity in soybean [*Glycine max* (L.) Merr.]. *Intl. J. Plant Sci.* 158:142–151.
- Huang, S. N., T. J. Lien, and C. H. Wu. 2006. The production and improvement of energy crop-soybean in Taiwan. p.19–42. *in the Proceedings of Symposium on Study and Application of Biofuel and Energy Crop.* Biomass Energy Society of China (BESC). Taipei. (in Chinese)
- Lin, C. F. 1967. A Report on the Soil Tests for the Cropland of Taiwan. *Bull. Taiwan Agric. Res. Inst.* No. 28. Taipei. 23 pp. (in Chinese)

- McLean, E. O. 1982. Soil pH and lime requirement. p.199–209. *in*: Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties (Page, A. L., R. H. Miller, and D. R. Keeney, eds) 2nd ed. American Society of Agronomy (ASA). Madison, WI, USA.
- Nelson, D. W. and L. E. Sommers. 1982. Total Carbon, Organic Carbon and Organic Matter. p.565–573. *in*: Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties (Page, A. L., R. H. Miller, and D. R. Keeney, eds) 2nd ed. American Society of Agronomy (ASA). Madison, WI, USA.
- Parker, F. W., W. L. Nelson, E. Winters, and I. E. Niles. 1951. The broad interpretation and application of soil test information. *Agron. J.* 43:105–112.
- Rhoades, J. D. 1982. Soluble salts. p.167–173. *in*: Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties (Page, A. L., R. H. Miller, and D. R. Keeney, eds) 2nd ed. American Society of Agronomy (ASA). Madison, WI, USA.
- Wang, Y. T. and F. Li. 1997. A basic character of responsiveness to day length of wild soybean (*Glycine soja*). *Soybean Genet. Newslet.* 24:32–34.
- Wilkerson, G. G., J. W. Jones, K. J. Boote, and G. S. Buol. 1989. Photoperiodically sensitive interval in time to flower of soybean. *Crop Sci.* 29:721–726.
- Yang, C. M. and M. J. Fan. 1996. Soybean yields response to planting dates and climatic factors. *Chinese J. Agromet.* 3:9–16. (in Chinese with English abstract)
- Yang, C. M., Y. J. Lee, and M. R. Su. 1996. Effects of agroclimatic factors on soybean production. p.314–330. *in* the Proceedings of the Symposium on Effects of Agroclimate, Air Pollution and Acid Rain on Agricultural Production and the Strategy. Agric. Res. Inst. Pub. Taichung. (in Chinese with English abstract)

Effect of Night Illumination on Growth and Yield of Soybean¹

Chi-Ling Chen^{2,4}, Yun-Ham Su², Chia-Jen Liu³, and Yahn-Chir Lee²

Abstract

Chen, C. L., Y. H. Su, C. J. Liu, and Y. C. Lee. 2009. Effect of night illumination on growth and yield of soybean. *J. Taiwan Agric. Res.* 58:146–154.

To evaluate the potential of soybean as a crop for bio-fuel in Taiwan, field experiments were conducted in 2006 across the island, using an Australian variety 'Leichardt'. This study was one of the field experiments at Hemei Township, Changhua County. Soybean was seeded by hand-spreading in the fall of 2006 and harvested in 2007. Results showed that seeding of soybean by hand-spreading affected uniformity of seed germination and caused high variations in yield in this field. Seed yield of soybean reached 770 kg ha⁻¹ under good pest management and disease control. The study also showed that night illumination is an important factor affecting growth and yield of soybean. Plants growing near the roadside (within 10–20 m) were exposed to the night light, resulting in prolonged vegetative growth and delayed blossom period for about 1 to 4 weeks. Therefore, such plants suffered from poor pod filling due to low temperature stress at reproduction stage and delayed the harvest period for about 6 weeks. Nevertheless, seed yield of soybean plants exposed to the night illumination reached 1000 kg ha⁻¹, which was slightly higher than soybean plants without exposing to the night illumination.

Key words: Night illumination, Soybean, *Glycine max*, Growth, Yield.

-
1. Contribution No.2349 from Taiwan Agricultural Research Institute (TARI), Council of Agriculture. Accepted: March 9, 2009.
 2. Respectively, Associate Researcher, Assistant, and Assistant Researcher, Agriculture Chemistry Division, TARI, Wufeng, Taichung, Taiwan.
 3. Assistant Researcher, Farm Management Division, TARI, Wufeng, Taichung, Taiwan.
 4. Corresponding author, e-mail: chiling@tari.gov.tw; Fax: (04)23302805.