

青花菜栽培土壤水分管理

吳宜親、王柔惠、楊馥聿、宋妤*

摘要 青花菜(*Brassica oleracea* var. *italica*)植株生育分為營養生長、生殖生長兩階段，本研究瞭解不同土壤水分含量對生育影響程度，並評估不同時期不同土壤水分含量對青花菜生長之影響。於營養生長時期缺水(田間容水量 30% FC)處理會造成植株生長速度慢、花芽發育緩慢，但於生殖生長時期恢復供水至 40% FC 可改善植株及花蕾正常發育。營養生長期正常供水(40% FC)，但生殖生長期缺水(30% FC)，則花球鬆散、花蕾易黃化，且植株老化較其他處理快。利用紅外線熱影像監測不同水分處理的葉片溫度，可知栽培於溫室限水處理的青花菜，於下午 3 點植株第二葉序溫度有較顯著之差異，溫度超過正常給水 15%，透過葉片溫度及顯像可以推測植株之土壤水份含量，提供灌溉管理之依據。

關鍵字：土壤水分含量、紅外線熱顯像、葉片溫度、花球重、青花菜

Soil Moisture Management on Broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) Production

Yi-Chin Wu, Rou-Hui Wang, Fu-Yu Yang and Yu Sung*

Abstract The edible part of broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) is the flower head. It is important to understand the effect of soil moisture content on the plant growth during its vegetative and reproductive growth phase. Water deficiency (soil moisture of 30% FC) during vegetative growth resulted in slow plant growth and poor flower bud differentiation. However, the plant and flower head grew normally when soil moisture content was raised to normal (40% FC) during reproductive growth. Soil moisture of 40% FC during vegetative stage, but 30% FC during reproductive stage resulted in loose and easily yellowing flower head, and plants that aged earlier than other treatments. Infrared thermal imaging technology was used to monitor the broccoli cultivation. Water-deficient broccoli plants had leaf temperature 15% higher than CK plants at the second leaf order at 3 p.m. Soil moisture content could be estimated by leaf temperatures of thermal images of plants and provide important information for irrigation management.

Keywords: Soil moisture content, Infrared thermograph, Leaf temperature, Weight of flower head, Broccoli

一、前言

青花菜(*Brassica oleracea* var. *italica*)為十字花科作物，花球是其主要食用部位。國內近五年青花菜平均種植面積為 1,580 公頃，產量為 3 萬 3 千公噸，冬季 11 月到隔年 3 月為主要生產季節，多以契作栽培，鮮食及加工用途皆有(王、謝，2005)，青花菜花球營養價值極高，為極具市場潛力之蔬菜。

青花菜生育可分為營養生長期及生殖生長期，營養生長期有足夠外葉以供花球肥大。土壤水分管理在青花

菜栽培中非常重要，在不同的生長發育期間，對水需量不同。因此必須確定各生長階段灌溉臨界水分量，瞭解作物水分利用情形可有效提升水分利用效率，達到減少水分使用量同時提高產量及品質(李等，2010)。

植體在絕對溫度(-273°C)以上會產生紅外線輻射熱，利用紅外線熱像儀能將人眼無法看到的輻射能量以不同顯色顯示溫度的分佈(李，2015)。植體的水分含量影響氣孔開閉，氣孔關閉時植體溫度增加，故透過溫度及顯像可以推測植株水份含量，建立灌溉模式，達到精準農業目的(艾，2010)。

國立中興大學園藝學系。

* 通訊作者。Corresponding author, Email: yusung@nchu.edu.tw, Tel: 886-4-22840340#607, Fax: 886-4-22840574.

本研究目的為研究青花菜於不同生長期於不同土壤水分含量處理的生長，利用土壤水分監測系統瞭解環境變化對土壤水分及植株生長之影響，確實監控設施環境因子，掌握水分管理對青花菜生長之影響，始能達高效能的經營管理，降低節約水資源，並穩定生產。

二、材料與方法

(一) 不同生育階段土壤水分含量對青花菜生長的影響

青花菜'35 天'(慶農種苗有限公司) 及'42 天'(農友種苗公司)分別於 108 年 4 月及 109 年 1 月栽種於蔬菜室溫室內，3 片本葉時定植於 90x225 cm 長槽內，行株距為 40x40 cm，介質為新滿地王泥炭土(農友種苗公司)，進行水分處理，至花球達可採收大小時採收。每次以人工澆灌方式灌溉，正常供水之水分土壤含量為 35%-45%，輕度缺水之土壤水分含量為 25%-35%，依葉片生長時之營養生長期以及花球生長時之生殖生長期為區分，共包括四種處理，分別為 1.營養生長期及生殖生長期均正常供水(對照組)、2.營養生長期輕度缺水、3.生殖生長期輕度缺水、4.營養生長期及生殖生長期均輕度缺水。每處理 3 重複，每 1 重複 3 株。生長期定期給與肥料及病蟲害防治。自定植後一週開始，每週進行植株莖徑、株高、葉長葉寬等生長調查，並分別於營養生長及生殖生長階段調查植株之光合作用、氣孔導度、蒸散作用等葉片生理調查。採收後調查花球直徑、花球重量(含花莖 5cm)、2 片中段成熟展開葉之鮮重及葉面積。

(二) 土壤水分含量對青花菜'35 天'葉片溫度之影響

試驗材料青花菜'35 天'在 108 年 10 月種植於溫室，生長至 5~6 片本葉時，定植於 8 吋黑軟盆。將青花菜分別以土壤含水量 30% FC (限水)及 40% FC (正常給水)進行灌溉。於一日內將時間分成上午 9 點、中午 12 點、下午 3 點及 6 點，持多功能熱像儀(InfRec G100, Nippon avionics co., LTD., Japan)以俯拍植株的方式拍攝熱顯圖，並以 TAS 紅外線熱像分析系統軟體(Nippon avionic co., LTD., Japan)分析其不同葉位葉片之平均溫度，根據其溫度及顯像推測最適合做為數據參考之時間及葉序。根據上述結論，另於每日下午 4 時以多功能熱像儀選取第二葉位葉片測量溫度，以 TAS 紅外線熱像分析系統軟體分析，同時以 WET Sensor WET-2 測量土壤水分含量，連續測量 6 天，分析土壤水分含量變化對植株葉片溫度之

影響。

(三) 統計分析

調查所得數據以 SAS 套裝軟體 9.4 版(SAS Institute, Cary, NC, USA)進行變方分析(analysis of variance, ANOVA) ($\alpha=0.05$)，以 Fisher's least significant difference (LSD)比較試驗各處理間之平均值。

三、結果與討論

[1] 不同生育階段限水對青花菜生長的影響

青花菜'35 天'於不同生長階段給予不同水分處理之生長情形(表 1)，顯示營養生長階段及生殖生長階段皆給予正常供水處理(40% FC)之株高 23.2 cm 高於兩階段皆限水處理(30% FC)之 19.1 cm；正常供水處理之莖徑、葉鮮重與花球重分別為 18.2 cm、99.7 g 與 195.9 g，分別皆顯著高於兩階段均限水處理之 17 cm、67.9 g、111 g。在營養生長階段正常供水而生殖生長階段限水的植株，在其株高、莖徑、葉鮮重與花球重之數值營養生長階段進行限水及生殖生長階段正常供水的植株顯著較高(表 1)。而青花菜'42 天'於營養生長階段及生殖生長階段皆給予正常供水處理(40% FC)莖徑 18.63 mm 較營養生長階段進行限水處理(30% FC)莖徑 17.79 mm 粗一些，但營養生表現無顯著差異(表 2)。

青花菜'35天'於營養生長時期缺水，植株生長慢、株高矮、葉重顯著減少、花芽分化緩慢(表1)，但於生殖生長時期恢復供水至40% 即可改善植株及花蕾發育。營養生長期正常供水(40% FC)，但生殖生長期缺水(30% FC)，其植株株高、葉片等營養生長茂盛(表1)，但花球相對較小，較輕，且花球鬆散、花蕾易黃化(圖1)，且植株老化較其他處理快。青花菜'42天'於營養生長階段給予限水處理的植株生長無顯著差異(表2)，但於生殖生長階段給予限水會造成花球重量顯著下降。

於營養生長階段及生殖生長階段分別調查葉片生理，於營養生長階段正常給水處理的葉片蒸散作用 $3.88 \text{ mmol}\cdot\text{H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 顯著高於限水處理之 $3.16 \text{ mmol}\cdot\text{H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (表 3)，在光合作用速率及氣孔導度則無顯著差異。於生殖生長階段限水之葉片光合作用速率 $12.98 \text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 及氣孔導度 $0.06 \text{ mol}\cdot\text{H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 皆顯著低於生殖階段正常給水之處理(表 3)。

表 1、營養及生殖階段土壤水分處理對青花菜'35 天'生長及花球品質之影響

Table 1 Effects of soil moisture treatments on vegetative and reproductive growth phase of plant growth and flower head development of broccoli '35 days'

土壤水分含量 (營養期; 生殖期)	株高 (cm)	莖徑 (mm)	葉鮮重 (g)	花球直徑 (cm)	花莖長 (cm)	花球重 (g)
40% ; 40%	23.2 a ^z	18.2 a	99.7 b	13.8 a	23.2 a ^z	195.9 a
30% ; 40%	21.3 c	17 b	84.8 c	13 b	21.3c	172.5 b
40% ; 30%	22.4 b	18.4 a	111.2 a	12.7	22.4 b	177 b
30% ; 30%	19.1 d	17 b	67.9 d	10.2	19.1 d	111 c

^zMeans with the same letters in a column are not significantly different by Fisher's least significant difference(LSD) test at 5% level

表 2、營養及生殖階段土壤水分含量對青花菜'42 天'生長及花球品質之影響

Table 2 Effects of soil moisture treatments on vegetative and reproductive growth phase of plant growth and flower head development of broccoli '42 days'

土壤水分含量 (營養生長; 生殖生長)	株高 (cm)	莖徑 (mm)	葉鮮重 (g)	花球直徑 (cm)	花莖長 (cm)	花球重 (g)
40% ; 40%	27.1 a	18.63 a	96.96 a	17.78 a	33.39 a	400.89 a
30% ; 40%	29.5 a	17.79 a	84.73 ab	18.06 a	33.67 a	451.89 a
40% ; 30%	27 a	18 a	74.93 b	14.72 b	31.14 a	261.57 b

^z Means with the same letters in a column are not significantly different by Fisher's least significant difference(LSD) test at 5% level

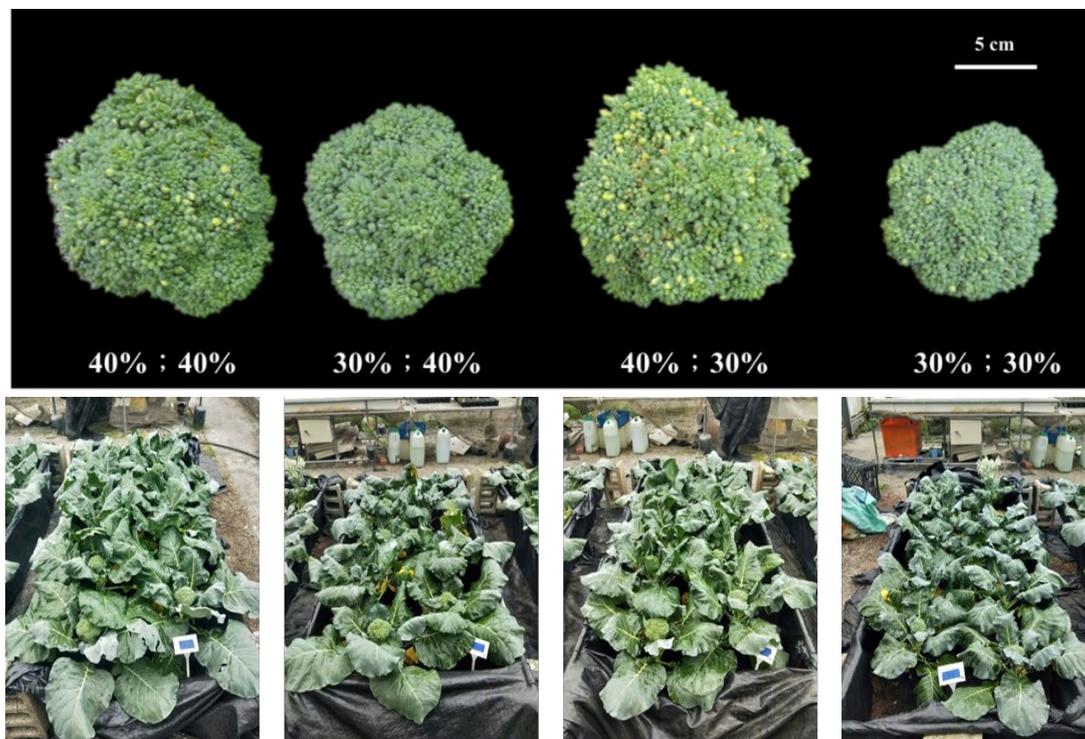


圖 1、營養及生殖階段限水之青花菜'35 天'花球及植株生長情形(數字為營養生長; 生殖生長之土壤水分含量)

Fig. 1 The flower head development and plant growth of broccoli '35 days' of water deficit treatments at vegetative and reproductive growth phase (The numbers showed soil moisture content during vegetative growth; reproductive growth)

表 3、營養及生殖階段土壤水分含量對青花菜'42 天'植株生理狀態之影響

Table 3 Effects of soil moisture treatments on vegetative and reproductive growth phase of plant growth and flower head development of broccoli '42 days'

測量時期	土壤水分含量 (營養生長;生殖生長)	光合作用 ($\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	氣孔導度 ($\text{mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	蒸散作用 ($\text{mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
營養生長	40	18.49 a	0.11 a	3.88 a
	30	16.61 a	0.10 a	3.16 b
生殖生長	40 ; 30	12.98 b	0.06 b	2.64 b
	40 ; 40	18.45 a	0.09 a	3.26 a
	30 ; 40	19.87 a	0.09 a	3.05 ab

根據上述兩種青花菜之結果推論，生殖生長階段的水分供給對於花球產量有很大的影響，推測青花菜葉片雖能提供花球肥大營養，唯養分由葉片運至花球須經由植體內輸導組織輸送，土壤需有足夠水分提供輸導組織運送養分，花球始能肥大。故建議可於營養生長階段進行限水，土壤含水量保持約 30% FC，至 12 片葉植株開始花芽分化時結束限水，並於生殖生長花球發育期恢復正常供水(40% FC)。

[2] 土壤水分含量對青花菜'35 天'葉片溫度之影響

透過土壤水分監測評估不同時期不同土壤水分含量對青花菜生長之影響。於 10 月份利用紅外線熱顯像技術於栽培期間監測作物(圖 2)，於上午 9 點、中午 12 點、下午 3 點及 6 點測定不同葉位葉片之平均溫度經分析後，可知於溫室節水栽培之青花菜下午 3 點測量植株第二葉

序溫度有較顯著之差異，高於正常給水 15%(表 4)。

根據上述結論，給予青花菜植株連續 6 天缺水期間，於每日下午 4 時以多功能熱像儀測量植株第二葉序之葉片平均溫度，其隨著植株水分含量減少而升高，至缺水第三天，植株溫度約 24.4°C，而土壤水分含量下降至 35.5%(圖 3)，此時之熱像圖與第二天及第四天皆有明顯差異(圖 4)。

青花菜需水量約為 10~12 L·m⁻²，植株溫度隨著植株水分含量減少而升高，可利用紅外線熱顯像技術偵測植株溫度，根據三個葉序葉片受缺水影響，可知第二葉序之剛成熟葉有敏感反應，且測定時較容易，可選擇為測定葉溫之指標葉片。藉由葉片熱顯圖了解土壤水分含量，可使灌溉管理精準化、省工化。

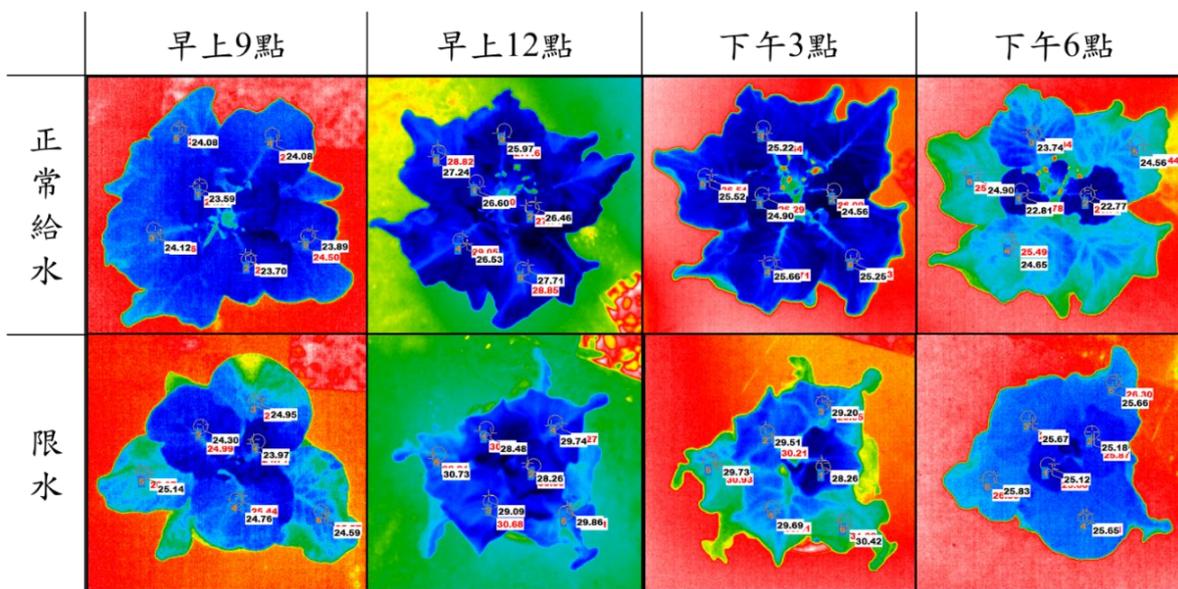


圖 2、正常給水與限水青花菜'35 天'葉面溫度之熱像圖

Fig. 2 Thermogram of leaf surface temperature of broccoli '35 days' under normal water supply and water restriction

表 4、適合利用紅外線測量之時間點與測量青花菜'35 天'植株之葉位

Table 4 Suitable time point and the leaf position of broccoli '35 days' plants for measuring infrared

葉位	上午 9 點			中午 12 點			下午 3 點			下午 6 點		
	正常 (°C)	限水 (°C)	溫差比 (%)									
第一葉序 (新葉)	24.98	26.51	6.1%	28.22	27.68	-1.9%	26.94	30.74	14.1%	23.22	25.47	9.7%
第二葉序	25.49	27.7	8.7%	28.81	28.42	-1.4%	27.77	31.94	15.0%	24.81	25.96	4.6%
第三葉序	25.83	28.26	9.0%	29.39	29.35	-0.1%	28.51	32.73	15.0%	25.17	26.07	3.6%

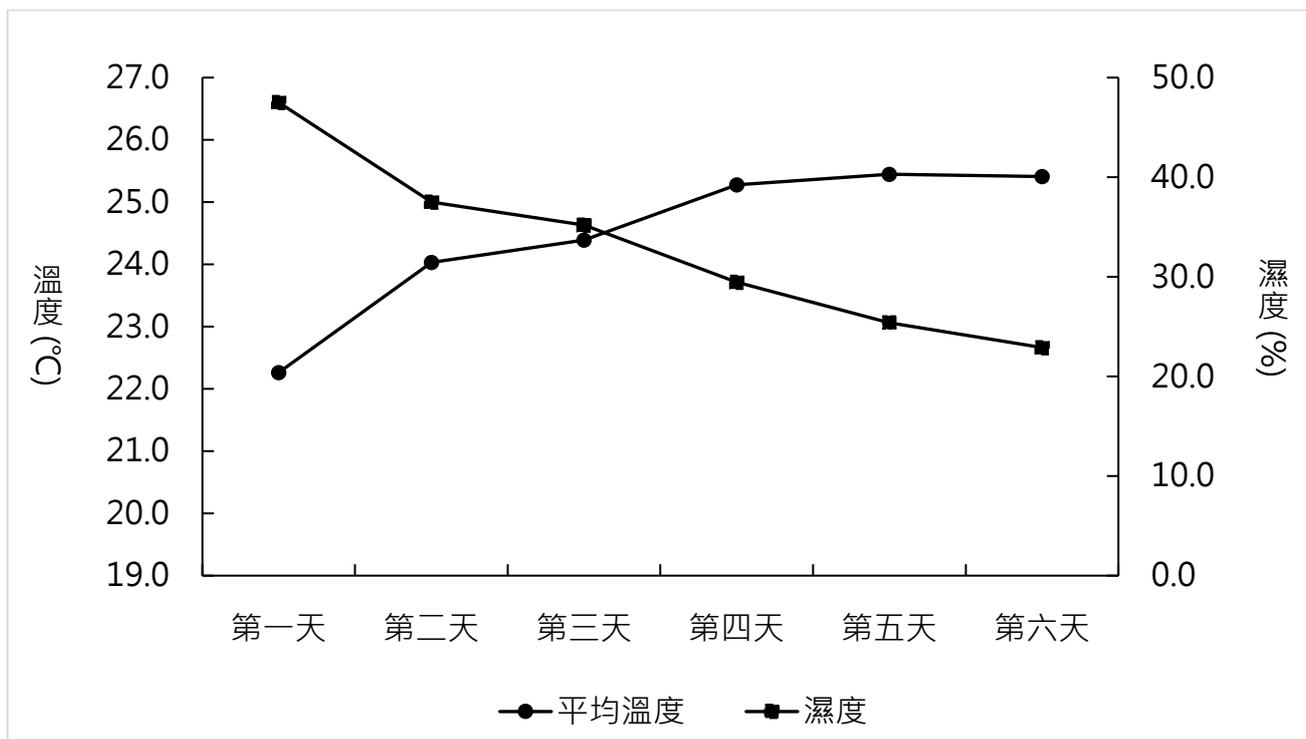


圖 3、於不同土壤水分含量之'35 天'青花菜植株溫度變化及土壤濕度關係

Fig. 3 Relationship between soil moisture under various soil moisture treatments and leaf temperature of broccoli '35 days'

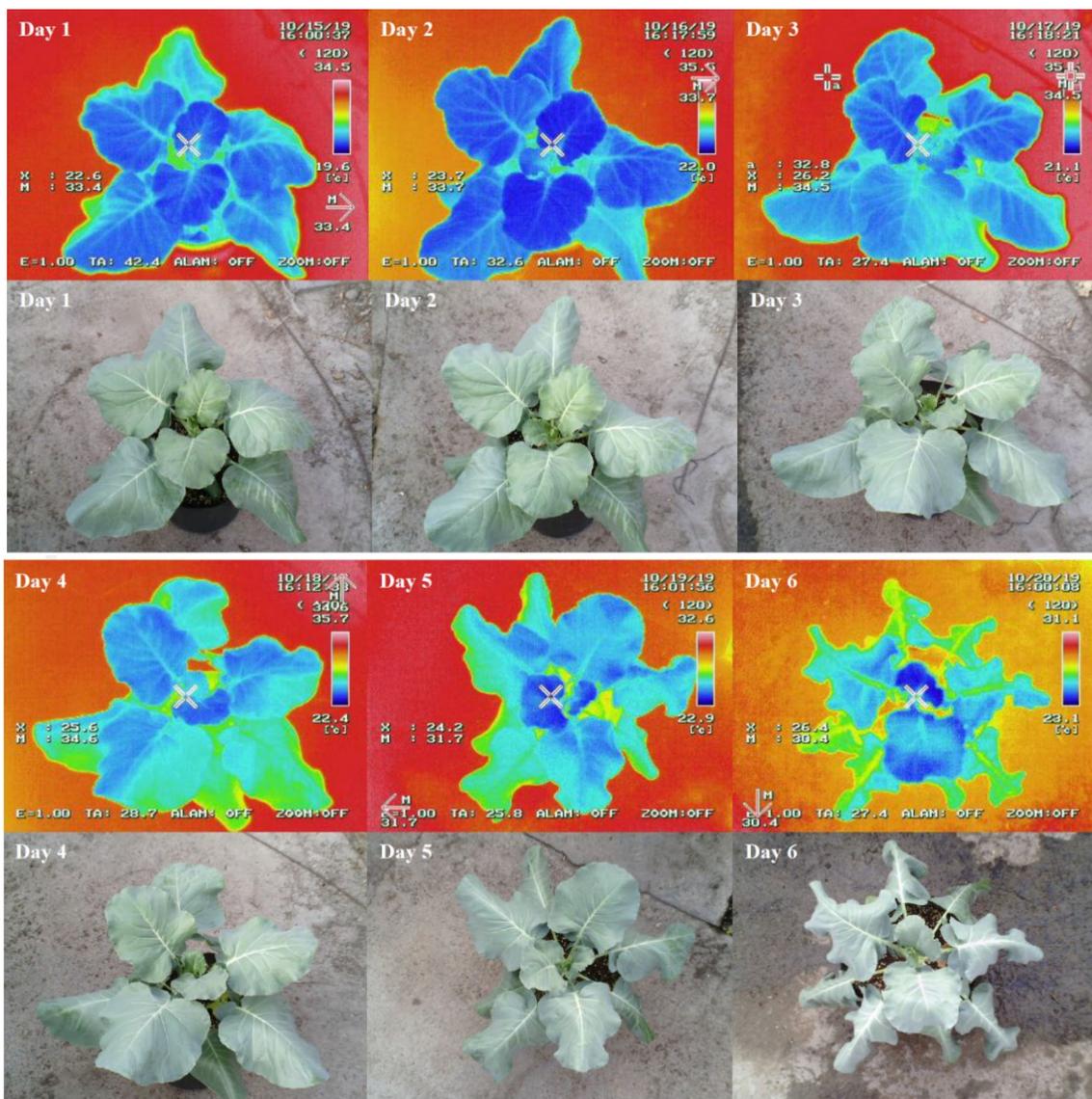


圖 4、青花菜'35 天'於停止給水 6 天期間之葉片及溫度熱像圖

Fig. 4 The leaf thermograph and temperatures of broccoli '35 days' with no water supply for six days

四、結論

青花菜於營養生長階段進行限水，可降低水分使用量，但生殖生長階段需恢復正常給水，避免影響花球品質。植株溫度隨著植體水分含量減少而升高，透過指標葉片於最適時間之紅外線熱顯像，可以推測土壤水份含量，了解植株可能產生相關生理反應，以便及時灌溉，避免植體受缺水逆境影響。

五、謝誌

此實驗經費感謝由科技部計畫「自動化定植穴苗機開發、灌溉控制及光譜影像智能化栽培管理青花菜」(109-2321-B-005-015-)提供。

六、參考文獻

- [1] 王仕賢、謝明憲 (2005)·青花菜·增修訂三版臺灣農家要覽農作篇(二)·p.451-454·豐年社·臺北。
- [2] 艾群 (2010)·「農業生產節水技術與系統研發」·農業試驗所特刊 150: 21-37。
- [3] 李震、Wang Ning、洪添勝、文韜、劉志壯 (2010)·「農田土壤含水率監測的無線傳感器網路系統設計」·農業工程學報 26(2):212-217。
- [4] 李隆盛 (2015)·「紅外線熱像儀檢測應用簡介」·技師期刊 69: 9~10。
- [5] 何嘉浩 (2018)·「農業水資源調配策略·關係臺灣產業平衡發展」·豐年雜誌 68(5): 20-23。

- [6] 宋立曉、高兵、曾愛松、嚴繼勇 (2012)·青花菜高效生產新模式·151pp。金盾出版社。中華人民共和國。
- [7] 林經偉 (2013)·「青花菜栽培之土壤及施肥管理」·臺南區農業專訊 85: 13-17。
- [8] Gallo, K. P. and C. S. T. Daughtry. (1986). Techniques for measuring intercepted and absorbed photosynthetically active radiation in corn canopies. *Agron. J.* 78:752-756.
- [9] Idso, S. B., R. D. Jackson, P. J. Pinter, and J. L. Hatfield. (1981). Normalizing the stress-degree-day parameter for environmental variability. *Agric. Meteorol.* 24:45-55.
- [10] Jackson, B. D. (1982). Canopy temperature and crop water stress. *Adv. Irrig.* 1:43-85.
- [11] Richie, J. T. and B. S. Johnson. (1990). Irrigation of agriculture crops. *Agron. Monogr.* 30:363-390.
- [12] Rachidi, F., M. B. Kirkham, E. T. Kanemasu, and L. R. Stone. (1993). Energy balance comparison of sorghum and sunflower. *Theor. Appl. Climatol.* 48:29-39.
- [13] Yuan, B. Z., J. Sun, and S. Nishiyama. (2003). Effect of drip irrigation on strawberry growth inside a plastic greenhouse. *Biosyst. Eng.* 87(2):237-245.

2020年04月07日 收稿

2020年07月20日 修正

2020年09月21日 接受

