

不同青花菜品種逆境耐受性之比較

摘要

比較 96 個青花菜品系在溫暖季節(3 月至 5 月)的生長表現，其中來自臺南場的品系 111105 及品系 111108 蕾球平整性佳，但平均蕾球重低於對照品種清華 3 號(代號 BR483)。

針對 4 品種進行高效能表型體分析(High throughput phenotyping)時，當數位生質量(Digital biomass)呈現持平狀態(增加接近 0)，3~5 天之後，即是花蕾開始形成日。此外，青花菜在花蕾球形成後 9~10 天為最適收穫期，所以除了可預測青花菜花蕾球形成期，亦可推算最適收穫期。

青花菜在營養生長後期對連續降雨敏感。當面臨連續降雨或高溫逆境時，4 品種青花菜植株生長受抑制、葉綠素含量降低，開始衰老。其中，BR03 受降雨影響最小。

前言

青花菜其營養生長適溫為 20~22°C，花蕾球發育適溫則為 15~18°C；青花菜花蕾球品質及和產量主要受到溫度及品種決定，生長季節的平均溫度影響花蕾球形狀、緊實度及大小等。臺灣位於亞熱

帶地區，青花菜主要產區雲林縣及嘉義縣，北回歸線通過嘉義，愈南氣候愈熱，亞蔬-世界蔬菜中心(World Vegetable Center, 簡稱 WorldVeg) 正位於北回歸線以南，氣溫較產區溫暖。栽培季節在每年 11 月至隔年 4 月，此時月均溫 17~23°C，適合青花菜生長。5 月之後，氣溫愈來愈高，再加上 5 月為梅雨季節，青花菜不耐淹水，高溫多雨的環境不利於青花菜生長。每年 5 月至 10 月仰賴國外進口青花菜，以供應國內需求。近 20 年青花菜進口量逐年遞增，年增長率為 5.68%。為了提高青花菜自給率，延長產季，在高溫多濕環境下選拔耐熱、早熟、花球品質佳青花菜種原，是為因應國內青花菜產業需求之必要措施。WorldVeg 早年在青花菜育種上有豐碩的成果，推出兩個耐熱品種，還有豐富的耐熱種原，因此，藉著短期交流的機會，與 WorldVeg 合作選拔耐熱且花球品質佳的青花菜。

此外，WorldVeg 擁有全台唯一一座田間掃描(FieldScan)，能進行高效能表型體分析，可非破壞性的自動量測作物在田間的生長。此設備為荷蘭為了調查青花菜在溫暖季節(3 月至 6 月)的生長表現，利用此系統進行試驗。

材料與方法

一、初級產量試驗

比較 96 個品系及 2 個商業品種在溫暖季節(3 月至 5 月)的生長表現。96 個品系包括 80 個來自 WorldVeg 的耐熱品系及 16 個來自臺南改良場的耐熱品系。試驗之青花菜於 3 月 29 日定植，採作畦栽培，畦寬 1.5 公尺，長 5 公尺，雙行種植，株距 50 公分，每畦 20 株。

二、高效能表型體分析

比較 4 個品種在溫暖季節(3 月至 6 月)的生長表現，4 個品種分別標註為 BR01、BR02、BR03 及 BR04。採作畦栽培，畦寬 1.5 公尺，畦面寬 70 公分，單行種植，株距 50 公分，一試驗單位 5 株，3 重複，採完全隨機設計(completely random design ,CRD)。試驗之青花菜分 4 批定植，第一批於 3 月 29 日定植，之後每隔 2 週定植一批，圖 1 顯示每批定植及採收時間。青花菜生長數據由田間掃描(FieldScan)自動收集，可量測葉面積、數位生質量、株高等性狀，亦可量測可見光與近紅外光的光譜反射率，收集特定波長的反射率推算特殊指數，例如：常態化差值植生指數 (Normalized Difference Vegetation Index , NDVI)、常態化色素葉綠素比率指數(Normalized Pigments Chlorophyll ratio index, NPCI)、植物衰老反射指數(Plant Senescence Reflectance Index, PSRI)。

(一)常態化差值植生指數 (NDVI)

植物葉片中的葉綠素會吸收可見光(從 400 到 700 nm)進行光合作用，近紅外光(從 700 到 1100 nm)則會被葉片的細胞反射。植物的葉片愈多，生長愈旺盛，這些近紅外光反射量愈大。NDVI 常用於衛星遙感數據計算，以評估目標地區綠色植被的生長狀況。數值愈大表示植物生長愈多 (Myneni *et al.*, 1995, Rouse *et al.*, 1974, Sellers, 1985)。NDVI 與光合有效輻射相關，在精準農業的應用上，NDVI 數據提供作物健康指標衡量標準。其計算方式如下(Phenospex Web site)：

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$$

NIR= Near Infrared，代表波長 820~860 nm 的讀值。

RED= Red band，代表波長 620~650 nm 的讀值。

(二)常態化色素葉綠素比率指數(NPCI)

NPCI 與植冠葉綠素含量相關。植冠葉綠素含量愈多，數值愈大。該指數的形式類似於 NDVI (Bannari *et al.*, 2006, Peñuelas *et al.*, 1994)。其計算方式如下(Phenospex Web site)：

$$NPCI = (RED - BLUE) / (RED + BLUE)$$

RED= Red band，代表波長 620~650 nm 的讀值。

BLUE= Blue band，代表波長 450~480 nm 的讀值。

(三)植物衰老反射指數(PSRI)

PSRI 與類胡蘿蔔素/葉綠素比率相關，當 PSRI 增加時，表示冠層遭遇逆境、開始衰老或植物果實成熟，使得類胡蘿蔔素色素增加。可應用包括植被健康監測、植物生理逆境檢測 (Merzlyak *et al.*, 1999)。

其計算方式如下(Phenospex Web site)：

$$PSRI=(RED - GREEN)/(NIR)$$

RED= Red band，代表波長 620~650 nm 的讀值。

GREEN= Green band，代表波長 530~560 nm 的讀值。

NIR= Near Infrared，代表波長 820~860 nm 的讀值。

結果

一、初級產量試驗

為延長青花菜產季，以選育耐熱青花菜為目標，此外，青花菜定植後，葉腋間常有側芽發生，如果不及時摘除這些側芽，極易造成養分的浪費，影響主莖花蕾球的大小，農民於定植後，須以人力及時摘除這些側芽，增加人力成本，所以除了耐熱性亦將少側芽納入選種目標之一。

來自臺南場的雜交第一代品系性狀結果如表 1，對照為兩個商業品種清華 3 號(代號 BR483) 及 B35。DTH (Days from transplanting to harvest)指的是移植至收穫的日數，各品系收穫日數介於 37~51 日，屬於早生品系。品系 111104 的平均蕾球重最重，蕾球最大、最厚，但蕾球平整性低於對照品種 BR483。對照品種 BR483 及 B35 的側芽數高，分別為 4 及 5.2，品系 111105 及品系 111108 蕾球平整性佳，但平均蕾球重低於對照品種 BR483。品系 111106、品系 111107 及品系 111113 側芽數為零。

二、高效能表型體分析

(一)數位生質量

FieldScan 推算數位生質量的方式是以植株高度及葉面積的乘積推算，並假設植物外觀具有規則性。為證明由 FieldScan 所推算的數位生質量與青花菜實際總重的相關性，因此，收穫全株青花菜，單株秤重，並比對其數位生質量，數位生質量與實際總重的簡單線性回歸分析結果如圖 2，結果顯示數位生質量與青花菜實際總重 R^2 達 0.8565，顯示以數位生質量，可代表青花菜實際總重。

試驗之 4 個品種青花菜分 4 批定植，第一批於 3 月 29 日定植，之後每隔 2 週定植一批，愈晚種植氣溫愈高，愈容易遭遇熱逆境，藉

此比較不同品種對熱逆境的表現。生長曲線下面積 (Area under growth curve, AUC)是一個評量生長的量化指標，亦可看出其生長潛力(Todor *et al.*, 2014)。本試驗生長曲線下面積的計算方式是以移植後 0 到 36 天數位生質量生長曲線積分所得。第 2、3、4 批除了高溫之外，還遭遇大雨逆境，由生長曲線下面積結果來看，青花菜愈晚移植其生長曲線下面積愈少(圖 3)，這表示愈晚移植生長受抑制愈明顯。

第 1~3 批種植之青花菜數位生質量的變化情形如圖 4，第 2 批種植之青花菜於營養生長後期遭遇下雨，第 3 批種植之青花菜於營養生長前期遭遇下雨，比較其數位生質量累積情況，第二批種植之青花菜數位生質量受影響較大。推論青花菜於營養生長後期對豪雨敏感，此時遭遇大雨，將使青花菜生長受阻，甚至導致植株死亡。

第一批種植不同品種青花菜的數位生質量的變化情形如圖 5，青花菜在營養生長期間，葉片數目隨生長日數增加而增加，直到花蕾開始形成(curd induction)前，葉片數目會停止增加，形成花蕾後，進入花蕾發育期(curd development)，花蕾數量增加(Duclos and Björkman, 2015)。根據調查 BR01~BR04 的花蕾開始形成日分別為 4 月 30 日、5 月 13 日、5 月 14 日及 5 月 5 日，其中 BR01 自 4 月 27 日起數位生質量的增加量接近 0，直到 4 月 30 日花蕾開始形成後，數位生質量繼續增加。BR04 自 5 月 1 日起數位生質量的增加量接近 0，直到 5 月 5

日花蕾開始形成後，數位生質量繼續增加。因此，當數位生質量開始持平時(增加接近 0)，3~5 天之後，即是花蕾開始形成日。BR02、BR03 則因下雨影響，導致花蕾開始形成及花蕾發育期並不明顯。

(二)淹水逆境

第二批種植不同品種青花菜的數位生質量的變化情形如圖 6，於營養生長後期遭遇下雨，且每逢下雨後，數位生質量即下降。BR03 受淹水影響最小，BR04 受連續降雨之影響，數位生質量下降，雨停後生長略有恢復，BR01 及 BR02 則是數位生質量持續下降，雨停後生長無法恢復，其中 BR02 對雨水最敏感，數位生質量持續下降。

第二批種植不同品種青花菜 PSRI 與降雨分布情形如圖 7。可看出下雨後，PSRI 數值隨之升高。當 PSRI 增加時，表示冠層遭遇逆境或開始老化，使得類胡蘿蔔素增加，BR03 的 PSRI 受降雨影響最小。

第二批種植不同品種青花菜 NDVI 與降雨分布情形如圖 8。可看出下雨後，NDVI 數值隨之下降。4 品種間沒有明顯差異。NDVI 數值愈高，植物生長愈旺盛，亦可用 NDVI 作為植物的健康指標。因此，下雨後，4 品種植株生長受抑制。

(三)高溫逆境

圖 9 及圖 10 分別顯示第一批種植不同品種青花菜之 NDVI、NPCl 與每

日均溫的分布情形。從圖可看出溫度升高，NDVI 及 NPCI 數值下降，4 品種間無顯著差異。NPCI 與植冠葉綠素含量相關。植冠葉綠素含量愈多，數值愈大。因此，試驗結果表示溫度升高，4 品种植株生長受抑制及葉綠素含量降低。

總結

青花菜花蕾球形成前，數位生質量會呈現持平狀態(增加接近 0)，待花蕾球形成後，數位生質量才會繼續增加。因此可由數位生質量的變化預測青花菜花蕾球形成期。此外，青花菜在花蕾球形成後 9~10 天為最適收穫期，所以除了可預測青花菜花蕾球形成期，亦可推算最適收穫期。

當面臨高溫時，隨著溫度升高，4 品種的 NDVI 及 NPCI 數值均下降。這表示溫度升高，植物生長受抑制及葉綠素含量降低。

青花菜在營養生長後期對連續降雨敏感。當面臨連續降雨時，4 品種數位生質量及 NDVI 數值均下降，PSRI 數值上升。這表示連續降雨之後，植物生長受抑制，且開始衰老。BR03 受降雨影響最小。

未來工作與心得

全球氣候變遷造成暖化、極端氣候等問題，作物生長環境改變，

導致產量降低，因此，培育具逆境耐受性新品種勢在必行。世界蔬菜中心在蔬菜育種上有豐碩的成果，且種原庫收集全球超過 330 個物種，約 6500 個蔬菜種原，具有豐富且多樣的種原，這些正是耐逆境育種最好的基因庫。

在青花菜耐熱選拔的試驗中，有些來自世界蔬菜中心的品系具有優秀的表現，耐熱性佳，蕾粒細緻，值得進行更進一步的選育，臺南改良場目前已與 WorldVeg 簽訂合作備忘錄(memorandum of understanding, MoU)，有助於雙方交流合作進行青花菜育種材料交換及育種工作。

在高效能表型體分析試驗中，此次試驗除了遭遇高溫逆境還有連續降雨導致淹水逆境。希望有機會可以在青花菜產季時再進行一次試驗，收集正常生長時的數據，與此次收集之數據進行比較，進一步了解高溫逆境及淹水逆境對青花菜的影響。

表 1 耐熱青花菜品系性狀比較結果

Line no.	curd weight (g)	stem diameter (cm)	curd length (cm)	curd thickness (cm)	DTH ^a (days)	lateral shoot no.	flatness ^b
111102	324.8±40.1	3.5±0.2	16.5±0.9	3.0±0.4	43	1.2	2.2
111103	389.6±49.5	4.4±0.1	18.7±1.3	3.5±0.3	51	1.8	3.0
111104	473.6±22.4	4.4±0.4	21.1±0.9	4.0±0.3	50	2.8	1.8
111105	342.4±35.5	4.1±0.2	18.1±0.5	3.3±0.4	43	6	4.6
111106	425.0±48.4	4.3±0.2	19.3±1.0	3.9±0.4	43	0	3.4
111107	307.2±26.3	4.1±0.3	16.8±0.6	3.2±0.3	40	0	3.0
111108	365.2±46.7	4.1±0.2	19.0±0.7	3.8±0.2	42	3	4.6
111109	367.6±33.0	4.2±0.2	18.0±0.6	3.2±0.1	40	1	3.4
111112	323.6±35.3	3.7±0.3	15.8±1.6	3.5±0.5	37	4	3.0
111113	386.0±55.9	4.4±0.6	19.5±1.6	3.9±0.7	39	0	1.0
111114	369.6±26.1	3.6±0.4	18.0±0.7	3.6±0.5	40	5.6	1.0
111116	421.6±40.5	4.5±0.2	19.6±1.3	3.0±0.1	44	1	2.2
BR483	456.0±29.8	3.9±0.2	19.4±1.2	3.5±0.1	43	4	5.0
B35	413.6±42.5	3.8±0.3	20.5±1.2	3.8±0.7	42	5.2	1.4

^aDTH: Days from transplanting to harvest.

^bFlatness score: 5(very smooth/even head surface) to 0(very uneven head surface)

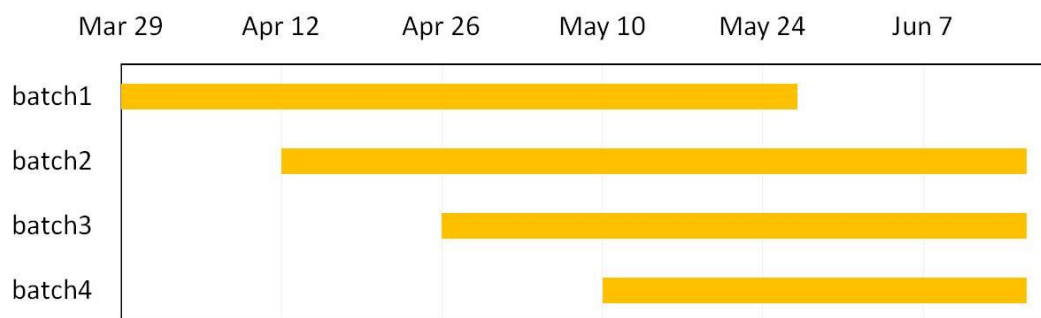


圖 1 青花菜定植與收穫時間示意圖。第一批於 3 月 29 日定植，之後每隔 2 週定植一批。每一批 3 重複。

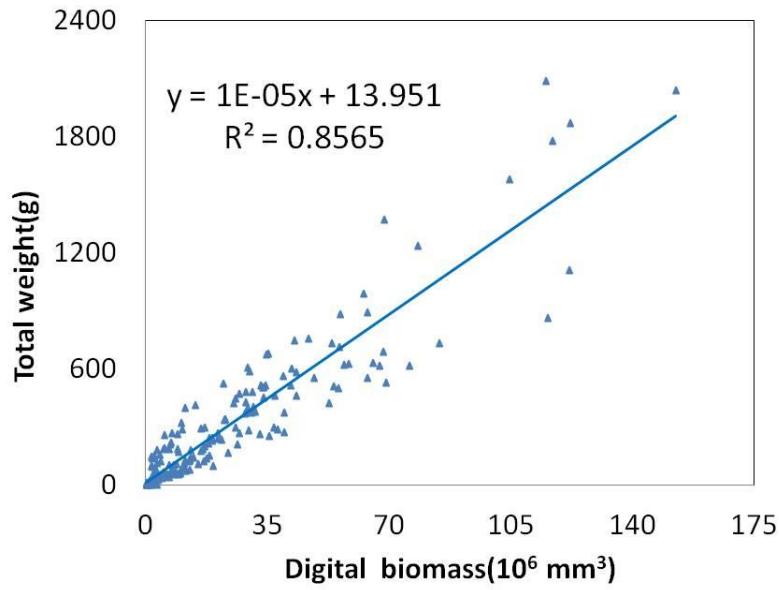


圖 2 數位生質量與青花菜實際總重的簡單線性回歸。

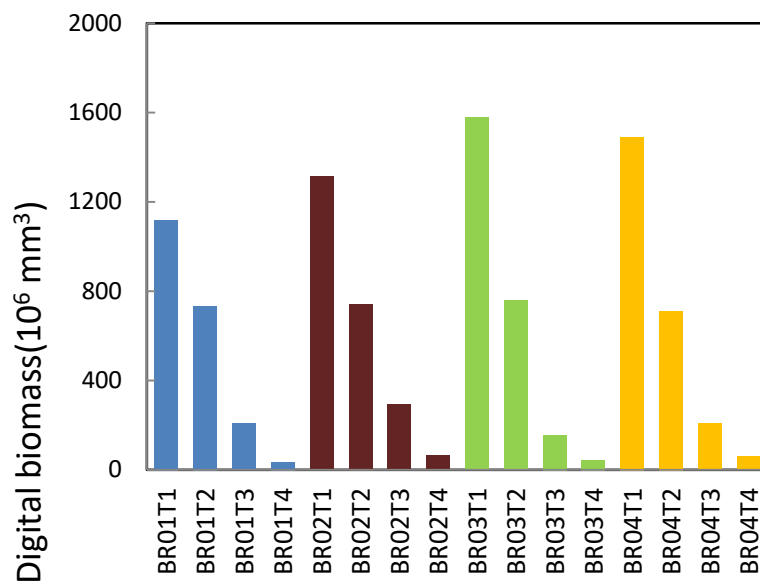


圖 3 不同品種青花菜移植後 36 天之生長曲線下面積。4 種不同顏色各代表 4 種不同品種，T1~T4 代表 4 批不同的移植時間。

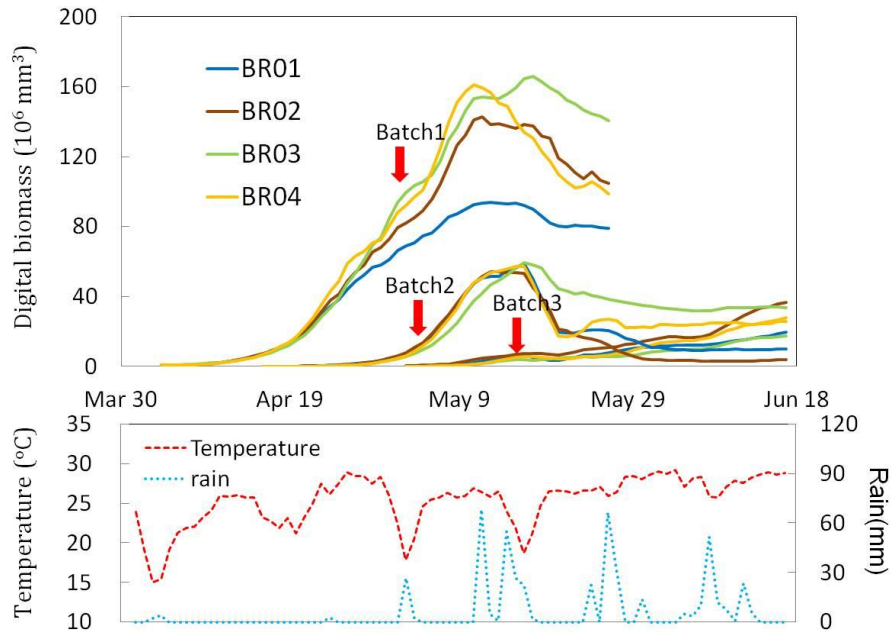


圖 4 第 1~3 批移植青花菜數位生質量之變化，4 種不同顏色各代表 4 種不同品種。下圖中藍色虛線表示每日的平均雨量，紅色虛線表示每日的平均溫度。

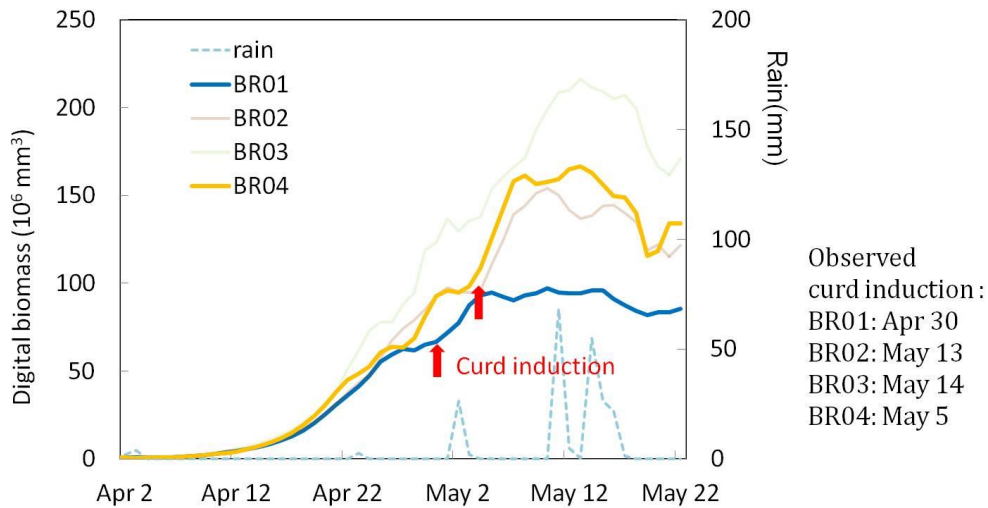


圖 5 第 1 批移青花菜數位生質量之變化，4 種不同顏色各代表 4 種不同品種，藍色虛線表示每日的平均雨量，紅色箭頭指出花蕾開始形成

日。

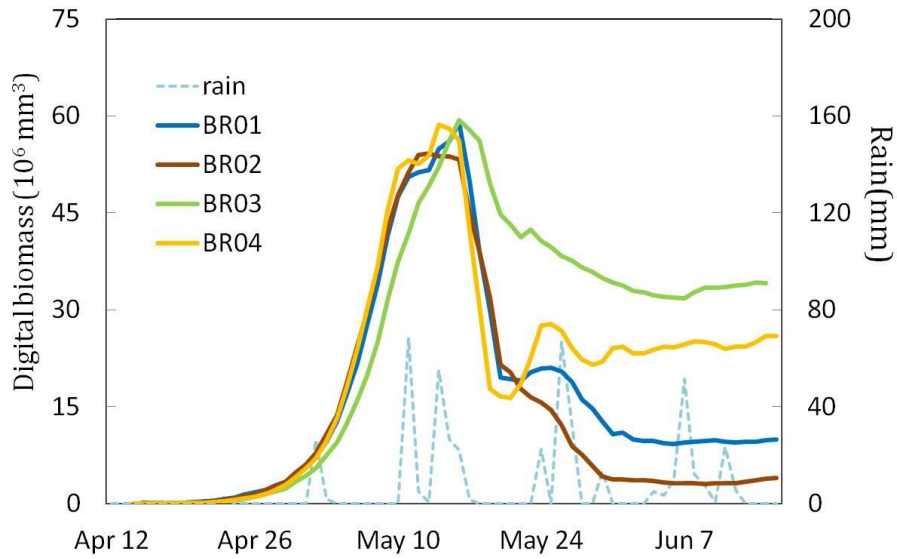


圖 6 第 2 批移植青花菜數位生質量之變化，4 種不同顏色各代表 4 種不同品種，藍色虛線表示每日的平均雨量。

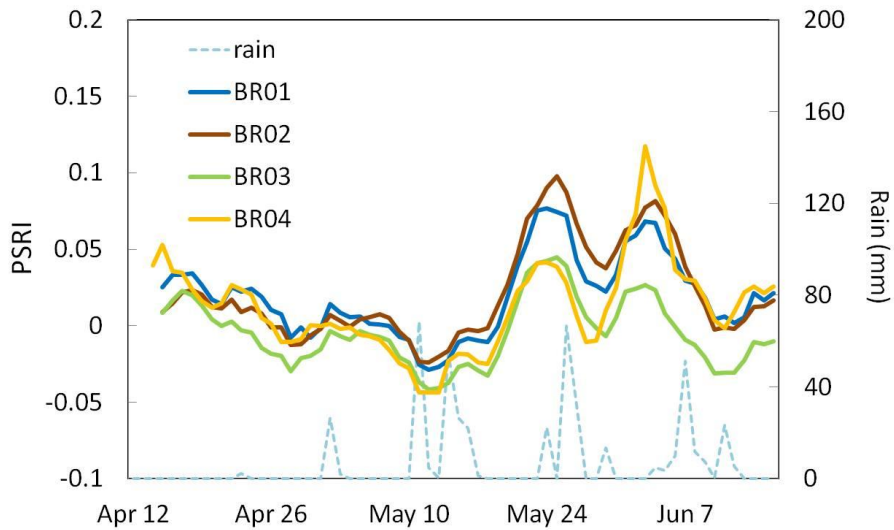


圖 7 第 2 批移植青花菜植物衰老反射指數(PSRI)之變化，4 種不同顏色各代表 4 種不同品種，藍色虛線表示每日的平均雨量。

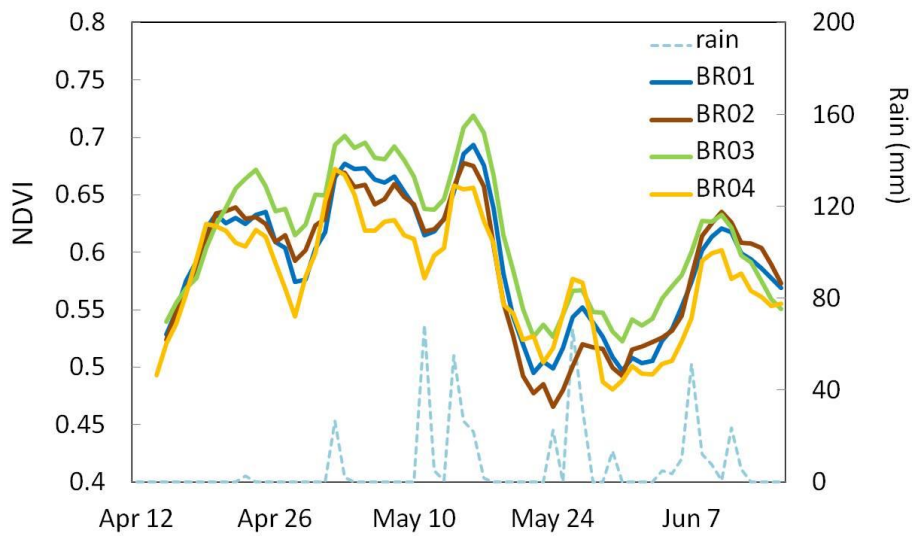


圖 8 第 2 批移植青花菜常態化差值植生指數(NDVI)之變化，4 種不同顏色各代表 4 種不同品種，藍色虛線表示每日的平均雨量。

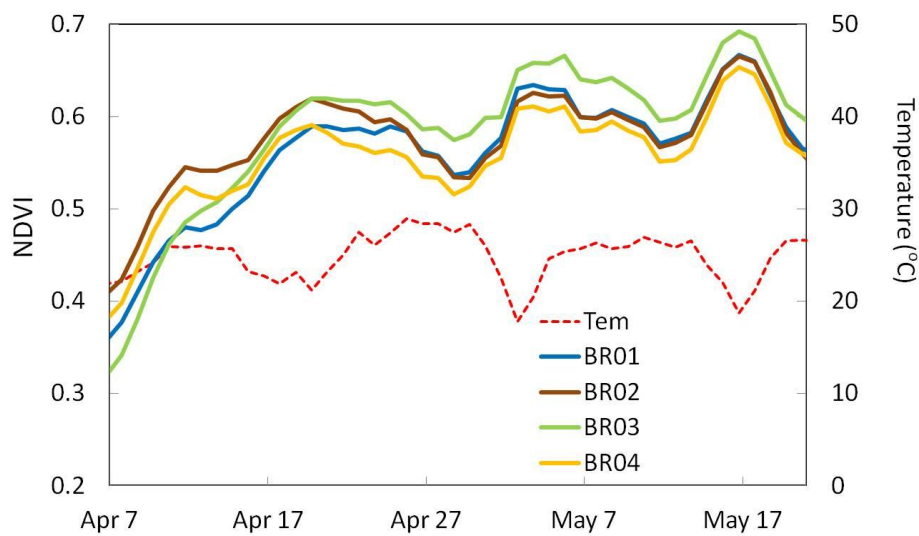


圖 9. 第 1 批移植青花菜常態化差值植生指數(NDVI)之變化，4 種不同顏色各代表 4 種不同品種，紅色虛線表示每日的平均溫度。

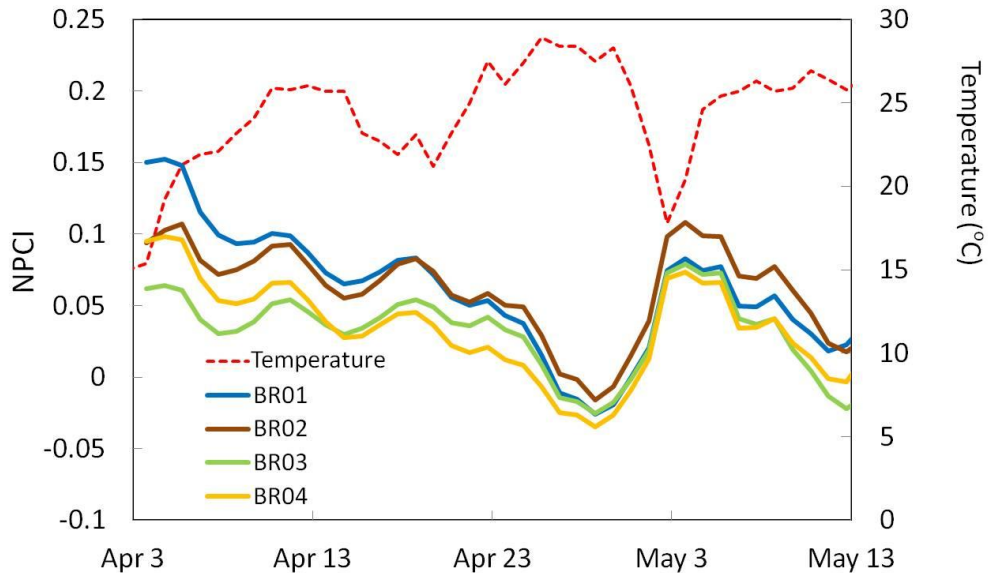


圖 10. 第 1 批移植青花菜常態化色素葉綠素比率指數(NPCI)之變化，4 種不同顏色各代表 4 種不同品種，紅色虛線表示每日的平均溫度。

參考文獻

1. Bannari, A., Khurshid, K., Staenz, K., and Schwarz, J. 2006. Wheat crop chlorophyll content estimation from ground-based reflectance using chlorophyll indices. *IEEE International Symposium on Geoscience and Remote Sensing*, 112-115.
2. Duclos, D. V., and Björkman, T. 2015. Gibberellin Control of Reproductive Transitions in *Brassica oleracea* Curd Development. *Amer. Soc. Hort. Sci.* 140(1): 57-67.
3. Merzlyak, M. N., Gitelson, A. A., Chivkunova, O. B., Rakitin, V. Y., 1999. Non-destructive optical detection of pigment changes during leaf senescence and fruit ripening. *Physiol. Plant.* 106: 135-141.
4. Myneni, R. B., F. G. Hall, P.J. Sellers, and A.L. Marshak. 1995. The interpretation of spectral vegetation indexes. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 33: 481-486.

5. Peñuelas, J., Gamon, J. A., Fredeen, A. L., Merino, J., and Field, C. B. 1994. Reflectance indices associated with physiological changes in nitrogen and water-limited sunflower leaves. *Remote Sens. Environ.* 48: 135–146.
6. Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A., and Deering, D.W. 1974. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS, Third Earth Resources Technology Satellite–1 Symposium. Volume I: Technical Presentations, NASA SP-351, NASA, Washington, D.C., 309–317.
7. Sellers, P. J. 1985. Canopy reflectance, photosynthesis, and transpiration. *International Journal of Remote Sensing*, 6: 1335-1372.
8. Todor, H., Dulmage, K., Gillum, N., Bain, J. R., Muehlbauer, M. J., Schmid, A. K. 2014. A transcription factor links growth rate and metabolism in the hypersaline adapted archaeon *Halobacterium salinarum*. *Mol Microbiol* 93: 1172–1182.
9. Please refer to Phenospex Web site.
<https://phenospex.helpdocs.com/planteye/planteye-parameters>