

芥藍耐熱品種選育

羅惠齡¹ 林楨祐² 王三太^{3,*}

摘要

羅惠齡、林楨祐、王三太。2019。芥藍耐熱品種選育。台灣農業研究 68(4):293–304。

本研究在高溫環境下評估芥藍品種之耐熱性，並利用葉綠素計讀值、葉綠素螢光及電解質滲漏率評估作為耐熱性生理指標之應用性，以期選育出耐熱、品質佳、豐產之芥藍新品種。在生長箱日夜溫度 35°C/30°C 之處理下，32 個芥藍品系中，初步篩選出編號 16-1219 及 16-1223 之 soil and plant analyzer development (SPAD) 值在 30 以上、電解質滲漏率在 50% 以下及萎凋指數在 65% 以下，屬於較耐熱的品系。在 20 個芥藍品系田間試驗中，初步篩選出 16-1214 及 16-1221，具有株型直立、葉片為尖葉形、分枝生長較強且葉基部葉片生長較稀疏等特性，歸屬較耐熱的品系。所篩選出耐熱的品系，未來可供作雜交親本。6 個芥藍品種(系) 苗期梯溫箱內比較試驗，SPAD、maximal quantum efficiency of PSII (Fv/Fm) 及電解質滲漏率等 3 個耐熱指標以「鳳山 1 號」、「藍星」及「黑馬」品種(系) 的耐熱性較好。

關鍵詞：芥藍、耐熱、選育。

前言

芥藍 (*Brassica oleracea* var. *alboglabra*) 別名芥藍菜、格蘭菜，為十字花科 (Brassicaceae) 芸薹屬 (*Brassica*) 一、二年生草本植物，原產於中國大陸南部和東南亞一帶，為國內重要十字花科葉菜類蔬菜。根據 2017 年行政院農業委員會農糧署農情報告資源網 (http://agr.afa.gov.tw/afa/afa_frame.jsp) 資料，台灣全年栽培面積約 1,308 ha，年產量約 22,000 Mg。主要集中在雲林縣 890 ha，其次為新北市 111 ha 及高雄市 58 ha。根據行政院衛生福利部 (<http://www.doh.gov.tw/FoodAnalysis/ingredients.htm>)，芥藍有豐富的蛋白質、維生素 B1、維生素 C、鈣、鎂、磷及鐵，尤其是維生素 C 及鈣含量是甘藍的 3–4 倍以上，為營養價值高的蔬菜。

芥藍對土壤的要求並不嚴苛，以富含有機質、排水良好之砂質壤土較佳。對於風土之適

應性很廣，生長迅速，栽培容易且生育期短，極適合經濟栽培。目前栽培品種仍以開放授粉 (open pollination; OP) 品種為主，僅少數 F₁ 品種育成，仍具有相當大的品種間與品種內遺傳變異 (Liang 2007)。台灣蔬菜生產受夏季高溫、高濕及颱風等環境因素影響，另有全球暖化和設施內栽培環境升溫，因而發生夏季栽培的高溫障礙及蔬菜供需失調的現象 (Wang 1995)。由於芥藍的風土環境適應性廣及生長迅速特性，具有發展成為夏季替代性蔬菜和風災後高溫環境下復耕作物的潛力，並可適時調節消費市場供需之用 (Chang 2008)。但是，芥藍夏季栽培仍容易因高溫造成生育期長與產量低的問題，且芥藍略帶苦味及市面上都以固定品種流通，造成夏季市售芥藍耐熱性、產量、品質及整齊度皆有待改良。因此，為提高芥藍之產量與耐熱性，擬進行雜交組合，利用雜種優勢，改善其耐熱性與產量。並選育汁多味甜

投稿日期：2019 年 4 月 8 日；接受日期：2019 年 6 月 13 日。

* 通訊作者：stwang@fthes-tari.gov.tw

¹ 農委會農業試驗所鳳山熱帶園藝試驗分所蔬菜系約聘人員。台灣 高雄市。

² 農委會農業試驗所鳳山熱帶園藝試驗分所蔬菜系助理研究員。台灣 高雄市。

³ 農委會農業試驗所鳳山熱帶園藝試驗分所蔬菜系研究員兼系主任。台灣 高雄市。

之芥藍品種，以促進夏季蔬菜的多元需求及供源。

蔬菜耐熱性鑑定方法，是蔬菜耐熱性育種的重要工作，它是耐熱材料的篩選和品種耐熱性檢驗的關鍵。大部分學者採用的指標，主要包括外部形態或經濟性狀、微觀結構指標和生理、生化指標 (Li *et al.* 2007)。大多數人是採用傳統外部形態或經濟性狀來評估蔬菜的耐熱性，它是一種直觀的鑑定方法，但容易受到栽培方法或環境因子的干擾。微觀結構指標需要利用複雜的儀器，觀察植株在高溫下細胞結構之變化，包括氣孔密度與開度、葉肉細胞排列、維管束分布及花粉活力等。十字花科蔬菜耐熱性研究報導指出，透過測定細胞膜的熱穩定性與電解質滲漏 (electrolyte leakage; EL) 率、丙二醛含量、葉綠素濃度與葉綠素螢光、脯胺酸含量及保護酶活性等，可判別品種間的耐熱性程度 (Li & Zhang 2008)。

Wu *et al.* (2017) 觀察 6 份瓠瓜種原在高溫和常溫條件下的植株外部形態，並測定其癒創木酚過氧化物酶 (guaiacol peroxidase; G-POD)，葉片質膜通透性和葉綠素螢光，發現採用外部形態指標和生理生化指標可以正確評估瓠瓜的耐熱性。Zhou *et al.* (2017) 對 32 個不同耐熱性有棱絲瓜品種在熱脅迫下的生理指標進行研究，結果表明隨著高溫逆境 (stress) 時間的延長，3 個品種葉片的丙二醛含量、相對電導率、可溶性糖含量均逐漸增加，3 個品種的葉綠素螢光參數 maximal quantum efficiency of PSII (Fv/Fm)、Yeild 和 electron transport rate (ETR) 隨著高溫逆境時間的延長均下降，以熱敏感品種下降幅度最大。相關分析表明，熱害指數與相對電導率呈顯著正相關 ($r = 0.693^*$)，與葉綠素螢光參數 (Fv/Fm) 呈極顯著負相關 ($r = -0.892^*$)。由此可知，葉綠素螢光參數可以快速、準確地反映植物熱傷害，可成為有棱絲瓜耐熱性鑒定的重要生理指標。

Zhang *et al.* (2016) 探討高溫對不同砧木黃瓜嫁接苗生長、光合作用 (photosynthesis) 和葉綠素螢光特性的影響，結果得知以白籽南瓜和絲瓜砧木的嫁接苗增長量較大；嫁接苗和自根苗葉片的葉綠素含量、實際光化學

量子產量 (yield) 等明顯降低，氣孔導度、胞間 CO₂ 濃度和蒸散速率明顯升高。綜合生長、光合和螢光特性，以白籽南瓜和絲瓜為砧木的嫁接苗，在高溫逆境下耐性較強。Wang *et al.* (2004) 在 30–35°C 高溫逆境條件下，對早生花椰菜葉綠素含量、葉綠素螢光參數和葉片抗氧化系統進行研究。結果顯示，35°C 高溫逆境情況下，葉片葉綠素 a、葉綠素 b、總葉綠素和類胡蘿蔔素含量比對照下降 25% 以上；葉綠素螢光參數，包括原初光能轉換效率 (Fv/Fm) 和光合電子傳遞量子效率 (ϕ PSII) 均低於對照，抗氧化酶及抗氧化劑的含量在高溫逆境下明顯升高。本試驗以測定葉綠素計、葉綠素螢光及電解質滲漏率作為芥藍耐熱性篩選生理指標，以期能育成具耐熱性且味甜、不帶苦味之葉用型芥藍雜交品種。

材料與方法

自交系苗期生長箱耐熱篩選

32 個芥藍品系 S₆、F₇ 世代苗期於梯溫箱內進行耐熱篩選，以「翠津」及「半皺葉」芥藍 2 個商業品種當對照，播種於 128 格穴盤中。生長至 3 wk 苗期，尚未放入梯溫箱前，測定葉綠素計 (chlorophyll meter; SPAD-502, Minolta Co., Ltd., Osaka, Japan) 讀值及電解質滲漏率。之後置於控溫之梯溫箱內進行耐熱篩選，溫度設定分別為日溫/夜溫 35°C/30°C，明暗週期 12 h/12 h，相對濕度 70%，高溫處理期間為 7 d，調查芥藍相對葉綠素計讀值 (Δ SPAD)、相對電解質滲漏率 (Δ EL) 及萎凋率 (wilting percentage)。

自交系田間耐熱篩選

在夏季 7–8 月於氣溫 30°C 以上時，在行政院農委會農業試驗所鳳山熱帶園藝試驗分所田間，進行芥藍 20 個 S₆、F₇ 世代及 2 個對照商業品種「翠津」及「半皺葉」芥藍之成株高溫耐熱篩選。田區採逢機完全區集設計 (randomized complete block design; RCBD)，3 重複，每小區 20 株。調查植株株高、展幅、葉長、葉寬、葉片數及 soil and plant analyzer development (SPAD) 值等園藝性狀及存活率

(survival percentage)，存活率 = (存活植株株數/總株數) × 100%。針對具有株型直立、耐熱及生長旺盛之單株，於採花期、蕾期進行自交授粉與純化，自交不親和性植株則利用蕾期授粉予以打破留種，培育優良芥藍自交系。選獲之優良耐熱芥藍自交系，利用雜交方式創造兼具耐熱與豐產的新雜交品系。所篩選耐熱之芥藍雜交組合，並分別採收其自交與雜交 F₁ 種子。種莢視授粉結莢當期環境，以果莢褐化程度判定採收適期，於成功授粉後高溫環境約 45 d 採收，低溫環境下約 60 d 採收。

雜交品種 (系) 梯溫箱耐熱篩選

以芥藍「鳳山 1 號」為試驗材料，5 個一代雜交對照品種分別為農友種苗公司「翠津」、誼禾種苗公司「藍星」、今日種子公司「吉利」與「黑馬」及良子種苗公司「一嘉」。上列 6 個品種 (系) 播種於 128 格穴盤，3 wk 後置於控溫之梯溫箱內進行耐熱篩選。溫度設定分別為日溫/夜溫 30°C/30°C、35°C/30°C 及 38°C/30°C，光週期 12 h，相對濕度 70%，高溫處理期間為 7 d。另以適溫之溫室 (日溫/夜溫 28°C/25°C) 栽培 6 個品種 (系) 為對照組，調查 SPAD、葉綠素螢光及電解質滲漏率。

葉綠素計 (SPAD) 讀值測定

本試驗選芥藍自下往上數第 3 片葉為調查葉，測量葉片主葉脈兩側 (避開葉斑及葉脈)，每一葉片葉面選取 2 個測量點後計算平均值。SPAD 為兩個發光二極體 (light-emitting diode; LED) 發射紅光及近紅外光，波峰在 650 nm 和 940 nm，光線透過葉片被接受器轉換成信號，再經放大和微處理器轉換成 SPAD 讀值，此為相對葉綠素含量讀數 (Manual for chlorophyll meter SPAD-520, Minolta Co., Ltd., Osaka, Japan)。

葉綠素螢光反應測定

本試驗參考 Wang & Tseng (2010) 測定方法，選芥藍自下往上數第 3 片葉為螢光調查葉，每一葉片選取 2 個測量點，其中一點接受 30 min 之暗馴化 (dark acclimation)，讀取螢光參數 Fo、Fm、Fv/Fm 等數值，各參數分別

為：(1) 最小螢光值 Fo (minimal fluorescence) 為葉片經暗馴化後初開啟之最小螢光值；(2) 最大螢光值 Fm (maximal fluorescence) 為葉片經暗馴化後初開啟之最大螢光值；(3) Fv: variable fluorescence, $Fv = Fm - Fo$ ；(4) PSII 最大光效能 Fv/Fm (maximal quantum efficiency of PSII photochemistry)，係葉片經暗馴化後，PSII 光化學反應最大光量子效益，計算公式為 $Fv/Fm = (Fm - Fo)/Fv$ 。

電解質滲漏率測定

本試驗參考 (Chang 2008) 測定方法，選芥藍由下往上數第 3 片葉為供試材料，以直徑 1 cm 的打孔器取葉圓片，3 個葉圓片為一重複，每品種 (系) 3 重複。將葉圓片置於加有 1 mL 去離子水的試管中，再用定量吸管加入 10 mL 去離子水後，試管覆蓋鋁箔紙。放入震盪器中，蓋上蓋子，於黑暗中震盪 16–17 h，以電導度測定儀 (electrolyte conductivity meter; ECTestr11+, OAKTON, Singapore) 測定最初電導度值 (electrical conductivity; EC) 為 C1，然後煮沸 20 min，冷卻至 25°C，測定最後 EC 值為 C2。依據公式計算電解質滲漏率 (%) = $C1/C2 \times 100\%$ 。

萎凋率調查

萎凋級數 (wilting grades) 調查方法為取每株全部葉片，依葉片黃化面積計算共分 4 個等級。0 級：全株葉片無黃化；1 級：葉片 1/4 以上黃化；2 級：葉片 1/2 以上黃化；3 級：全株黃化萎凋死亡。代入公式換算萎凋率。

$$\text{萎凋率} = [\sum (N_{0-4} \times n) / (n_{\text{total}} \times 4)] \times 100\%$$

N：萎凋級數

n：株數

(1)

品系比較試驗

2016 年以芥藍「鳳山 1 號」為試驗材料，西螺新裕森種子行所生產的開放授粉品種「半皺葉」芥藍為對照品種。在鳳山熱帶園藝試驗分所於 6 月 6 日播種，苗期 21 d 定植。2017 年以 5 個一代雜交品種分別為前述「翠津」、「藍

星」、「吉利」、「黑馬」及「一嘉」為對照品種，12月13日播種，21 d 苗齡定植。試驗採逢機完全區集設計，3 重複。每小區畦長 10 m，畦寬 1 m，行距 0.15 m，株距 0.15 m，每重複 30 株。植株大小達採收時，每小區逢機取樣 10 株，調查單株重、株高、展幅、葉長、葉寬、葉片數、莖徑及 SPAD。

區域試驗

為評估芥藍「鳳山 1 號」於不同地區之產量與生育表現，於屏東里港地區進行區域試驗。試驗採逢機完全區集設計，3 重複。畦長 10 m，畦寬 1 m，行距 0.15 m，株距 0.15 m，每重複 30 株。植株大小達採收時，逢機取樣 10 株，調查單株重、株高、展幅、葉長、葉寬、葉片數、莖徑及 SPAD，並採收全區植株，以調查小區產量，並換算為每公頃產量。

統計分析

所有資料皆於 Microsoft Office Excel 輸入資料，另以 SAS 統計分析軟體 (SAS Enterprise Guide 7.1) 進行變方分析 (analysis of variance; ANOVA)，以及最小顯著差異性測驗 (least significant difference; LSD) 比較處理差異。

結果

自交系苗期生長箱耐熱篩選

芥藍 32 個 S_6 、 F_7 世代苗期於生長箱內進行耐熱篩選。由表 1 試驗結果得知，在日夜溫 $35^\circ\text{C}/30^\circ\text{C}$ 處理 7 d 後，芥藍 EC 及萎凋率有增加的情形，而 SPAD 值有下降的趨勢。相對葉綠素計讀值 (ΔSPAD) 在 5 以下者有 7 個品系，相對電解質滲漏率 (ΔEL) 在 25% 以下有 4 個品系，萎凋率在 70% 以下有 7 個品系。32 個芥藍品系之 ΔSPAD 及 ΔEC 均達 1% 顯著水準，故品系間有顯著差異。初步篩選出編號 16-1219 及 16-1223 品系， ΔSPAD 值在 5 以下、 ΔEC 在 35% 以下及萎凋率在 65% 以下，是較耐熱的品系。選留表現較耐熱的品系，進行單株人工授粉自交及種子繁殖工作。針對具有株型直立、耐熱、生長旺盛之單株，採花期及蕾期自交授粉與純化，評估耐熱品系的自交不親

和性。自交不親和性植株擬利用蕾期授粉予以打破留種，培育優良自交系。

自交系田間耐熱篩選

芥藍 20 個品系之 S_6 、 F_7 世代，於 8 月氣溫 30°C 以上定植於田間，進行耐熱篩選，進一步評估各品系在田間的耐熱性及調查園藝性狀。定植後連續受到兩次風災及豪雨的影響，大部分植株之葉片黃化、萎凋，嚴重者有死亡，因此調查植株存活率。由表 2 調查結果得知，以 16-1214 存活率較高，平均存活率為 58.3%；其次為 16-1221 及 16-1222，平均存活率均為 41.7%。將存活率高及生長勢強的植株從田間挖起，定植於盆栽，進行單株人工授粉自交及採種工作。選獲之優良耐熱自交系，利用雜交方式將耐熱特性導入現有優良芥藍品種中，期能選育出耐熱、早生且兼具品質高、產量豐之芥藍雜交新品系。

雜交品種 (系) 梯溫箱耐熱篩選

芥藍供試 6 個品種，分別於梯溫箱內控制日溫/夜溫 $30^\circ\text{C}/30^\circ\text{C}$ 、 $35^\circ\text{C}/30^\circ\text{C}$ 及 $38^\circ\text{C}/30^\circ\text{C}$ ，並以溫室室溫栽培的 6 個品種為對照組，調查 SPAD、葉綠素螢光及電解質滲漏率。變方分析結果如表 3 顯示，在不同溫度處理的主效應中，SPAD、葉綠素螢光及電解質滲漏率均呈極顯著差異；而不同品種處理的主效應中，SPAD 與電解質滲漏率呈顯著差異，葉綠素螢光則差異不顯著。其中，SPAD 在不同品種與溫度處理間之交感作用亦為極顯著，而 F_v/F_m 及電解質滲漏率在不同品種與 4 個溫度處理間沒有交感作用。

以不具交感作用的 F_v/F_m 螢光參數，比較 6 個芥藍品種 (系) 在 4 個溫度處理下的耐熱性。由表 4 試驗結果得知，光合活性較佳為「鳳山 1 號」及「黑馬」等 2 品種 (系)。其中，日溫/夜溫為 $30^\circ\text{C}/30^\circ\text{C}$ 處理時，光合活性較高，分別為 0.782 及 0.790；日溫/夜溫為 $38^\circ\text{C}/30^\circ\text{C}$ 處理時，光合活性較低，分別為 0.737 及 0.749。而「翠津」、「藍星」、「吉利」及「一嘉」等 4 個品種在 4 個溫度處理下，光合活性沒有顯著差異。以不具交感作用的電解質滲漏率，比較 6 個芥藍品種 (系) 在 4 個溫度處理下的耐熱性。

表 1. 2016 年芥藍品種 (系) 生長箱耐熱篩選。

Table 1. Heat resistance screening for varieties of Chinese kale grown in a growth chamber in 2016^z.

Variety	ΔSPAD ^y	ΔEL ^x (%)	Withering index (%)
16-1201	12.4	34.3	91.7 ± 0.8
16-1202	19.0	21.5	62.5 ± 0.5
16-1203	7.6	26.2	79.2 ± 0.4
16-1204	10.2	34.0	87.5 ± 0.5
16-1205	10.0	28.4	78.0 ± 0.9
16-1206	11.4	49.5	75.0 ± 1.4
16-1207	12.5	9.3	85.0 ± 0.5
16-1208	9.3	41.8	85.0 ± 0.5
16-1209	7.2	37.1	90.0 ± 0.5
16-1210	10.2	27.7	80.0 ± 0.8
16-1212	15.6	24.9	83.3 ± 0.5
16-1213	6.8	32.0	87.5 ± 0.8
16-1214	22.0	30.2	75.5 ± 1.1
16-1215	12.8	54.6	66.7 ± 0.8
15-1216	12.3	56.4	75.0 ± 1.0
16-1217	6.2	36.8	83.3 ± 0.8
16-1218	9.2	28.1	83.3 ± 0.8
16-1219	3.5	19.9	62.5 ± 0.5
16-1220	7.9	27.9	66.7 ± 0.8
16-1221	7.0	45.9	79.2 ± 0.8
16-1222	16.8	33.2	75.0 ± 0.6
16-1223	4.8	32.9	62.5 ± 0.8
16-1224	2.5	26.4	79.2 ± 0.8
16-1225	11.1	60.7	91.7 ± 0.5
16-1227	13.1	72.1	95.8 ± 0.4
16-1228	0.3	30.4	93.8 ± 0.5
16-1229 (CK ^w)	9.7	47.6	75.0 ± 0.1
16-1230	2.1	31.6	83.3 ± 0.5
16-1231 (CK)	5.0	53.3	66.7 ± 0.5
16-1232	3.6	32.2	66.7 ± 0.5
LSD ^v 0.05	5.1	3.6	
Significant differences ^u	**	**	NS

^z Sowing date: May 24, 2016; survey date: June 13–20, 2016.

^y SPAD: soil and plant analyzer development.

^x EL: electrolyte leakage.

^w CK: check.

^v LSD: least significant difference.

^u NS, *, **: the differences were not significant, significant at 0.05 and 0.01 levels, respectively.

由表 5 試驗結果得知，電解質滲漏率較低之「鳳山 1 號」、「翠津」、「藍星」及「一嘉」等 4 個品種 (系)，於日溫/夜溫為 25°C/30°C 處理時，

電解質滲漏率較低，分別為 12.1、10.5、10.5 及 7.2%，而日溫/夜溫為 38°C/30°C 處理時，電解質滲漏率較高，分別為 15.9、14.4、13.6 及

表 2. 2016 年芥藍品種 (系) 田間存活率。

Table 2. Field survival rate for varieties of Chinese kale in 2016^z.

Variety	Survival rate (%)	Variety	Survival rate (%)
16-1204	33.3	16-1219	8.3
16-1205	25.0	16-1220	8.3
16-1207	0.0	16-1221	41.7
16-1212	25.0	16-1222	41.7
16-1213	33.3	16-1223	16.7
16-1214	58.3	16-1226	25.0
16-1215	25.0	16-1228	8.3
16-1216	16.7	16-1229 (CK ^y)	8.3
16-1217	16.7	16-1230	33.3
16-1218	33.3	16-1231 (CK)	25.0

^z Sowing date: August 2, 2016; planting date: August 22, 2016.^y CK: check.

表 3. 芥藍 6 個品種 (系) 苗期生長箱耐熱篩選指標之變方分析。

Table 3. The analysis of variance for traits of heat tolerance among 6 varieties of Chinese kale grown in a growth chamber.

Source of variation	df	Mean square of parameter ^z		
		SPAD	Fv/Fm	EL
Block	2	5.1	0.0002	7.8
Temperature (T)	3	73.2**	0.0020**	37.3**
Cultivar (C)	5	116.7**	0.0005	52.7**
T × C	15	9.7**	0.0003	0.5
Error	46	2.9	0.0004	5.8

^z SPAD: soil and plant analyzer development; Fv/Fm: maximal quantum efficiency of PSII; and EL: electrolyte leakage.

*, ** significant at 5% and 1% levels, respectively.

表 4. 芥藍 6 個品種 (系) 苗期生長箱耐熱篩選之葉綠素螢光。

Table 4. Leaf chlorophyll fluorescence Fv/Fm of 6 varieties of Chinese kale grown in a growth chamber for heat resistance screening.

Temperature (day/night)	Fv/Fm					
	'Fengshan No. 1'	'Chui Chun'	'Lan Xing'	'Ji Li'	'Hei Ma'	'Yi Jia'
25°C/30°C	0.749 ab ^z	0.734 a	0.750 a	0.743 a	0.763 ab	0.745 a
30°C/30°C	0.782 a	0.771 a	0.771 a	0.744 a	0.790 a	0.760 a
35°C/30°C	0.743 ab	0.744 a	0.769 a	0.760 a	0.755 b	0.748 a
38°C/30°C	0.737 b	0.743 a	0.748 a	0.755 a	0.749 b	0.748 a

^z Means followed by the same letters within each column are not significantly different at 5% level.

10.1%。因此，隨著處理溫度增加，電解質滲漏率有增加的情形。

芥藍供試 6 個品種 (系)，分別於梯溫箱內控制日溫/夜溫 30°C/30°C、35°C/30°C 及

38°C/30°C，並以溫室室溫栽培的 6 個品種為對照，測量其 Fo、Fm 及 Fv/Fm 等 3 個螢光參數值。變方分析結果顯示，除 Fo 參數外，Fm 及 Fv/Fm 參數在不同溫度處理的主效應呈極

表 5. 芥藍 6 個品種 (系) 苗期生長箱耐熱篩選之電解質滲漏率。

Table 5. Electrolyte leakage rates of 6 varieties of Chinese kale grown in a growth chamber for heat tolerance screening.

Temperature (day/night)	Electrolyte leakage (%)					
	'Fengshan No. 1'	'Chui Chun'	'Lan Xing'	'Ji Li'	'Hei Ma'	'Yi Jia'
25°C/30°C	12.1 a ^z	10.5 b	10.5 a	12.5 a	12.6 a	7.2 a
30°C/30°C	12.6 a	11.3 b	11.7 a	13.8 a	13.2 a	8.5 a
35°C/30°C	13.7 a	13.2 ab	12.4 a	14.2 a	14.7 a	8.6 ab
38°C/30°C	15.9 b	14.4 a	13.6 a	16.4 a	15.3 a	10.1 a

^z Means followed by the same letters within each column are not significantly different at 5% level.

顯著差異，Fm 在不同品種有極顯著差異，但 Fv/Fm 在不同品種間差異不顯著，其中 Fm 螢光參數在不同品種與 4 個溫度處理間有顯著交互作用 (表 6)。

田間品系比較試驗

2016 年新品系芥藍「鳳山 1 號」與開放授粉品種「半皺葉」芥藍進行品系比較試驗，結果如表 7 所示。葉長性狀差異達 1% 顯著水準，葉寬及莖粗等 2 性狀差異達 5% 顯著水準，相

對於對照品種「半皺葉」芥藍，「鳳山 1 號」之葉片較大、莖較粗。2017 年新品系芥藍「鳳山 1 號」與 5 個雜交一代品種進行品系比較試驗，結果如表 8 所示。所有調查的園藝性狀除了莖徑沒有顯著差異，其他性狀在 6 個品種 (系) 間均有顯著差異。單株重以「藍星」品種 260.5 g 最重，其次為「鳳山 1 號」品系 255.6 g 及「翠津」245.1 g。株高以「鳳山 1 號」品系 45.5 cm 最高，其次為「一嘉」品種 44.5 cm 及「翠津」品

表 6. 芥藍 6 個品種 (系) 苗期生長箱耐熱篩選葉綠素螢光參數之變方分析。

Table 6. The analysis of variance for leaf chlorophyll fluorescence among 6 varieties of Chinese kale grown in a growth chamber.

Source of variation	df	Mean square of parameter ^z		
		Fo	Fm	Fv/Fm
Block	2	0.00005	0.00249	0.00008
Temperature (T)	3	0.00016	0.00536**	0.00263**
Variety (V)	5	0.00020	0.00519**	0.00045
T × V	15	0.00023	0.00184*	0.00035
Error	46	0.00017	0.00078	0.00042

^z Fo: minimal fluorescence; Fm: maximal fluorescence; Fv/Fm: maximal quantum efficiency of PSII.

*, ** significant at 5% and 1% level, respectively.

表 7. 2016 年芥藍品系比較試驗。

Table 7. Comparisons of growth traits between varieties of Chinese kale in 2016^z.

Variety	Plant height (cm)	Canopy width (cm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Number of leaves (No.)	Stem diameter (cm)	SPAD ^y	Fv/Fm
'Fengshan No. 1'	36.7	50.9	22.6	18.3	10.1	22.9	54.7	0.666
'Ban Zhou Ye'	37.2	45.6	19.3	17.7	11.8	19.9	62.6	0.638
Significant difference ^x	NS	NS	**	*	NS	*	NS	NS

^z Sowing date: June 6, 2016; planting date: June 29, 2016; survey date: August 1, 2016. Planting location: Fengshan Tropical Horticultural Experiment Branch, Taiwan Agricultural Research Institute, Kaohsiung, Taiwan.

^y SPAD: soil and plant analyzer development.

^x *Significant at 0.05 with 30 sampling dates using unpaired *t*-test analysis.

表 8. 2017 年芥藍品系比較試驗。

Table 8. Comparisons of growth traits between varieties of Chinese kale in 2017^z.

Variety	Plant weight (g)	Plant height (cm)	Canopy width (cm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Number of leaves (No.)	Stem diameter (cm)	SPAD ^y
'Fengshan No. 1'	255.6 a ^x	45.5 a	38.4 ab	24.1 a	20.2 ab	8.7 a	19.1 a	51.0 b
'Chui Chun'	245.1 a	40.1 abc	39.9 a	24.0 a	18.0 bc	7.7 b	17.5 a	60.3 a
'Lan Xing'	260.5 a	37.4 c	40.1 a	21.1 bc	20.4 a	7.6 b	19.2 a	61.2 a
'Ji Li'	173.7 b	39.9 bc	36.7 ab	22.4 ab	17.3 c	7.3 b	17.1 a	64.5 a
'Hei Ma'	224.5 ab	36.0 c	36.1 a	19.3 c	17.9 bc	7.6 b	18.6 a	61.4 a
'Yi Jia'	219.9 ab	44.5 ab	38.8 ab	22.7 ab	20.4 a	7.6 b	17.9 a	60.4 a

^z Sowing date: December 13, 2016; planting date: January 3, 2017; survey date: February 2, 2017. Planting location: Fengshan Tropical Horticultural Experiment Branch, Taiwan Agricultural Research Institute, Kaohsiung, Taiwan.

^y SPAD: soil and plant analyzer development.

^x Mean with the same letters referred to no significant difference by the LSD test at $P < 0.05$.

種 40.1 cm。展幅以「黑馬」品種 36.1 cm 最小，其次為「吉利」品種 36.7 cm 及「鳳山 1 號」品系 38.4 cm。葉長以「鳳山 1 號」品系 24.1 cm 最長，其次為「翠津」品種 24.0 cm 及「一嘉」品種 22.7 cm。葉寬以「藍星」及「一嘉」品種 20.4 cm 最寬，其次為「鳳山 1 號」品系 20.2 cm。葉數以「鳳山 1 號」品系 8.7 片最多，其次為「翠津」品種 7.7 片。莖徑以「藍星」品種 19.2 cm 最粗，其次為「鳳山 1 號」品系 19.1 cm 及「黑馬」品種 18.6 cm。在 SPAD 方面，以「吉利」品種的 SPAD 讀值 64.5 最高，其次為「黑馬」品種 61.4 及「藍星」品種 61.2。綜合上述試驗結果，芥藍「鳳山 1 號」具有單株較重、植株高、展幅小、葉片大、葉數多與莖較粗的特性。

區域試驗

為評估芥藍「鳳山 1 號」於不同地點之產

量與生育表現，2018 年於屏東里港地區進行區域試驗。試驗結果如表 9 所示，二個品種在葉長及 SPAD 差異皆達 5% 顯著水準，而單株重、株高、展幅、葉寬、葉片數、莖徑及產量於 2 個品種間沒有顯著差異。芥藍「鳳山 1 號」較「翠津」植株高、葉較長較寬。近年來商業品種「翠津」推出後雖然具有耐熱、豐產的特性，但葉片厚、纖維較多、口感較不甜，新品系芥藍「鳳山 1 號」具有耐熱、口感細緻，沒有一般芥藍略帶苦味的特性，值得進一步推廣利用。

討論

國內外有許多蔬菜耐熱性鑑定研究，採用的指標很多，主要包括外部形態或經濟性狀、微觀結構指標和生理及生化指標 (Xie *et al.* 2008)。許多耐熱相關研究指出，未有任一

表 9. 2018 年於里港地區芥藍區域試驗。

Table 9. Comparisons of growth traits between varieties of Chinese kale in regional trial at Ligang Township of Pingtung County in 2018^z.

Variety	Plant weight (g)	Plant height (cm)	Canopy width (cm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Number of leaves (No.)	Stem diameter (cm)	SPAD ^y	Yield (Mg ha ⁻¹)
'Fengshan No. 1'	31.6	26.7	25.5	15.5	11.8	4.8	10.1	46.8	7.0
'Chui Chun'	35.2	25.9	20.3	15.3	11.0	5.8	11.6	54.4	7.8
Significant difference ^x	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS	*	NS

^z Sowing date: July 16, 2018; planting date: August 6, 2018; survey date: September 4, 2018.

^y SPAD: soil and plant analyzer development.

^x Significant at 0.05 with 30 sampling dates using unpaired *t*-test analysis.

種評估指標適合用在所有作物上，因此一般學者都會應用多個耐熱性指標來評估作物的耐熱性。高溫逆境下，植物的外部形態會發生變化，影響植物的正常生長與發育，使其經濟性狀發生變化。以外部形態或經濟性狀變化來評估蔬菜耐熱性，是一種比較直觀的方法，容易為育種人員所接受 (Li *et al.* 2007)。以芥藍為例，株型直立、葉與莖開展角度小、莖基部著生葉片稀疏及分枝數少的品種，較株型平鋪、葉與莖開展角度大、莖基部著生葉片緊密及分枝數多的品種耐熱；白花品種也較黃花品種耐熱，而芥藍不耐熱的表現為葉片發生向上反捲現象 (Lin *et al.* 2010)。

微觀結構指標包括氣孔密度與開度、葉肉細胞排列與維管束分布及花粉活力。Chen *et al.* (2013) 利用「萬福」與「清華」兩個青花菜品種為材料，探討青花菜在 40°C/30°C 高溫逆境下之組織結構變化，作為耐熱品種選育之參考。由其結果得知，「萬福」在 40°C/30°C 高溫處理 4 d 後，葉片下表皮葉肉細胞呈現輕微皺縮現象，但氣孔仍正常開合，且有較發達的維管束組織；反之，「清華」葉肉細胞則嚴重萎縮，且氣孔也失去功能。因此，兩品種間以「萬福」耐熱性較佳。Wang & Tseng (2010) 利用螢光顯微鏡觀察高溫逆境下甜椒不同品系的有效授粉表現，顯示高溫對雌蕊授粉能力的影響較小，但高溫明顯降低花粉活力，尤其是耐熱性不佳的品系，透過螢光顯微鏡觀察，花粉發芽或花粉管生長數量均顯著降低。

研究指出，高溫逆境會使植物的葉綠素含量下降，越不耐熱的種類或品種其下降速度越快。因此，葉綠素含量的變化可用以鑑定植物的耐熱性 (Ou & Cao 2008)。Sheu *et al.* (2004) 觀察菊花 3 個品種葉圓片在黑暗中，以葉綠素計量測葉片葉色，觀察葉片老化時葉綠素崩解之連續過程，並檢驗其關聯性。試驗結果顯示，6 個不同溫度下之 SPAD 值變化，溫度愈高 SPAD 下降速度愈快，SPAD 讀值與可萃葉綠素含量之間均有顯著相關。Wang *et al.* (2013) 以「粉艷紅」和「日本硬星」2 個不同類型的番茄品種葉片為材料，分別採用 SPAD-502 葉綠素計與分光光度法測定 2 個品種番茄

葉片的 SPAD 值及葉綠素含量，分析其相關性並建立相關回歸方程式。結果顯示，2 種番茄葉片的 SPAD 值與葉綠素 a、葉綠素 b、總葉綠素含量的相關性均為極顯著。Chang (2008) 利用芥藍 8 個品種葉片測定葉綠素計讀值與葉綠素含量，分析其相關性，由試驗結果得知，葉綠素計讀值與葉綠素含量呈直線正相關 ($R^2 = 0.95$, $P < 0.001$)。因此，SPAD 讀值可用來推估葉片之葉綠素含量，作為簡便之量測工具。Wang *et al.* (2004) 說明高溫逆境導致了早生花椰菜葉片葉綠素和類胡蘿蔔素含量的明顯下降，其可能原因，一方面是高溫降低了葉綠素的合成速率，另一方面高溫可以引起活性氧的積累，加速了葉綠素的降解。本研究在自交系苗期生長箱耐熱篩選試驗中，隨著處理天數增加，芥藍 SPAD 值有下降的趨勢，此試驗結果與其他研究一致。

光合作用是植物物質轉換與能量代謝的關鍵，對熱最為敏感且直接之反應，在其他逆境徵狀尚未表現之前即被抑制。Wen *et al.* (2005) 說明，高溫逆境對於植株光合作用活性影響很明顯，葉綠體類囊體膜對高溫十分敏感且易受傷，其結果是降低光合作用的效率。其中，光系統 II (photosystem II; PSII) 是反應高溫逆境最敏感的位置。Liu (2011) 指出，透過葉綠素螢光釋放量做估算，可作為光合作用活性高低的指標。當逆境發生時，影響 PSII 電子的傳導，進而降低 Fv/Fm 的比值，因此在生理研究中，會以葉綠素螢光值做為逆境發生的指標。Wang & Tseng (2010) 利用葉綠素螢光做為非破壞性的光合活性評估工具，探討甜椒 12 個品系於適溫 (27°C/22°C) 與高溫逆境 (32°C/22°C) 下，光合作用光化學反應 PSII 活性表現。試驗結果得知，耐熱品系 C02080 的 PSII 光合效能顯著較不耐熱品系為高。因此，兼具準確與測量簡便的葉綠素螢光分析，可利用於輔助甜椒田間耐熱性之評估。Wang *et al.* (2006) 以耐熱性較弱的「黑貝圓茄」和耐熱性較強的「黑帥圓茄」為材料，利用葉綠素螢光儀測試了高溫逆境處理後茄子的快速葉綠素誘導螢光動力學曲線，並探討高溫對茄子葉片的傷害機理。結果顯示，當溫度高於 40°C，PSII

結構受高溫逆境影響較為敏感，表現為初始螢光 F_0 緩慢上升；PSII 原初光化學效率 F_v/F_m 大幅度下降。本試驗以葉綠素螢光分析芥藍 6 個品種 (系) 之耐熱性，顯示較耐熱品種之最小螢光值 (F_0) 有下降的趨勢，PSII 最大光合作用活性 (F_v/F_m) 則有上升趨勢，此試驗與其他試驗結果一致。

植物組織處於高溫逆境時，細胞膜是受害最為敏感的部位，當細胞膜遭到破壞時會直接引起細胞膜通透性增強，細胞內部電解質外滲，外液電導率增大的現象。因此，電解質滲漏率值越大，就表示質膜受損越嚴重。電解質滲漏率被廣泛應用於植物抗逆性測定，被認為是一個比較好的鑑定方法 (Wu *et al.* 2017)。學者以耐熱性不同的 6 個甘藍品種為材料，利用人工模擬氣候箱中設定日溫/夜溫 $38.0^\circ\text{C}/29.0^\circ\text{C}$ 處理 3 d，進行甘藍苗期耐熱性評估，並測定不同材料的生理指標。結果顯示 4-5 片葉的甘藍幼苗電解質滲透率大幅升高，其中耐熱品種「啟夏」的增幅小於熱敏感品種「W410」(Yan *et al.* 2016)。本試驗結果得知，高溫處理在不同程度上提高了各個芥藍品系的電解質滲漏率，這可能是高溫在一定程度上傷害了植物細胞膜的結構，使細胞膜的電解質滲漏率增加。綜上所述，葉綠素計及葉綠素螢光是種可攜式儀器，具有快速、簡便、適時、非破壞性取樣的特點；電解質滲漏率操作簡單，省時省力。

本試驗芥藍自交系利用苗期生長箱耐熱篩選，可快速得到試驗結果，減少定植於田間的株數，縮短育種時程。選留較耐熱的品系定植於田間評估耐熱性並調查園藝性狀，田間試驗往往會受到自然氣候環境、人為肥培管理、病蟲害防治及育種人員主觀判斷等因素影響，而造成生長箱與田間試驗所篩選的品系出現差異。本次田間試驗的材料是從生長箱試驗所篩選出的品系，但定植後受到風災及豪雨影響，因此篩選植株存活率高的品系，兩次試驗篩選的品系出現差異，但都是耐熱的自交系，可供做耐熱芥藍雜交組合親本的利用。高溫逆境下，經由定植在田間芥藍外部形態的表現來評估耐熱性並利用葉綠素計讀值、葉綠素螢光及

電解質滲漏率評估做為耐熱性生理指標，可作為芥藍耐熱品種 (系) 評估利用。

結論

芥藍風土環境適應性廣、生長迅速特性，具有發展成為夏季替代性蔬菜和風災後高溫環境下復耕作物的潛力。蔬菜耐熱性鑑定方法，主要包括外部形態或經濟性狀鑑定法、微觀結構鑑定法和生理、生化指標鑑定法。本試驗為綜合芥藍苗期生長箱中耐熱篩選，測定葉綠素計、葉綠素螢光及電解質滲漏率作為耐熱性生理指標，並與成株田間外部形態評估耐熱性，選育出耐熱、早生且兼具品質高、產量豐之芥藍新品系。因此，運用觀察植株外部形態及測定生理、生化指標能有效鑑定芥藍的耐熱性。芥藍「鳳山 1 號」株型直立，具有早生、耐熱、耐濕、汁多味甜之特性，可增加蔬菜生產的多樣化，提高農民之收入，並增加消費者更多樣化的選擇，值得進一步推廣利用。

引用文獻

- Chen, W. L., C. H. Hsiao, and R. J. Hsiao. 2013. Physiological, anatomy structural and flowering changes of broccoli under high temperature stress. *Bull. Taichung Dist. Agric. Res. Ext. Stn.* 121:9-24.
- Chang, C. J. 2008. The tolerance to heat flooding stresses of Chinese kale. Master Thesis. Graduate Institute of Horticulture, College of Bioresources and Agriculture, National Taiwan University. Taipei, Taiwan. 94 pp. (in Chinese with English abstract)
- Li, A. G., X. Qu, X. K. Li, and Z. N. Yu. 2007. Study on heat tolerance of plants. *Crop Res.* 21:493-497. (in Chinese)
- Li, X. F. and Z. H. Zhang. 2008. Study on heat tolerance of vegetable. *Agric. World* 301:70-75. (in Chinese)
- Liang, T. Y. 2007. Genetic diversity of Chinese kale (*Brassica oleracea* var. *alboglabra*) by RAPD and ISSR markers. Master Thesis. Graduate Institute of Horticulture, College of Bioresources and Agriculture, National Taiwan University. Taipei, Taiwan. 91 pp. (in Chinese with English abstract)
- Lin, C. Y., H. L. Lo, Z. N. Lin, S. T. Wang, and G. Y. Hong. 2010. Breeding for heat tolerance and early of Chinese kale. *Harvest* 60:26-28. (in Chinese)
- Liu, M. L. 2011. Application of chlorophyll fluorescence in selection of crop heat tolerance. *Res. Bull. Kaoh-*

- siung Dist. Agric. Res. Ext. Stn. 21(1):1–17. (in Chinese)
- Ou, Z. L. and F. L. Cao. 2008. Study on heat tolerance of plants. For. Sci. Technol. Develop. 22:1–5. (in Chinese)
- Sheu, C. S., J. G. Atherton, and P. G. Alderson. 2004. Using chlorophyll meter to investigate the leaf senescence of chrysanthemum. Bull. Taichung Dist. Agric. Res. Ext. Stn. 83:39–51. (in Chinese with English abstract)
- Wang, J. S. 1995. Seedling technique of Brassicaceae vegetables. Taiwan Seeds 20:17–21. (in Chinese)
- Wang, B. L., M. Xu, Q. H. Shi, and J. S. Cao. 2004. Effects of high temperature stress on antioxidant systems, chlorophyll and chlorophyll fluorescence parameters in early cauliflower leaves. Sci. Agric. Sinica 37:1245–1250. (in Chinese)
- Wang, J. Y. and M. J. Tseng. 2010. Heat tolerance evaluation of sweet pepper by chlorophyll fluorescence assessment and effective pollination. J. Taiwan Agric. Res. 59:237–248. (in Chinese with English abstract)
- Wang, M., Z. K. Gao, and W. L. Zhang. 2006. Effects on the fast chlorophyll a fluorescence induced dynamic curve of eggplant in heat stress. p.140–145. *in*: Proceedings of the Southern Vegetable Industry Development Symposium. December 9, 2006. Guangzhou, China. Chinese Society for Horticultural Science, Beijing, China. (in Chinese)
- Wang, W., T. Y. Song, Y. Wang, X. T. Dong, J. Chai, and Y. Xue. 2013. Correlation analysis on chlorophyll content and SPAD value in tomato leaves. Northern Hortic. 23:12–14. (in Chinese)
- Wen, X., N. Qiu, Q. Lu, and C. Lu. 2005. Enhanced thermotolerance of photosystem II in salt-adapted plants of the halophyte *Artemisia anethifolia*. Planta 220:486–497.
- Wu, X. H., W. Zhou, B. G. Wang, Y. J. Zou, and G. J. Li. 2017. Heat resistance analysis of Six Bottle gourd under high temperature stress. J. Zhejiang Agric. Sci. 58:1169–1173. (in Chinese)
- Xie, M. X., Y. C. Liu, H. J. Hu, D. L. Lin, and S. X. Wang. 2008. Breeding of heat tolerance and harvest seed in Brassicaceae vegetables. p.67–78. *in*: Proceedings of Application of the Workshop on Agricultural Biotechnology Industry. December 17, 2008. Tainan, Taiwan. Tainan Dist. Agric. Res. Ext. Stn., Tainan, Taiwan. (in Chinese)
- Yan, Y. Y., A. S. Zeng, L. X. Song, and J. Y. Yan. 2016. Identification of heat tolerance in cabbage seedlings and heat-tolerant physiology. Jiangsu J. of Agric. Sci. 32:885–890. (in Chinese)
- Zhang, H. M., P. Wang, H. J. Jin, X. T. Ding, and J. Z. Yu. 2016. Effects of high temperature on the growth, photosynthesis and chlorophyll fluorescence characteristics of grafted cucumber with different rootstocks. Acta Agric. Shanghai 32(5):40–45. (in Chinese)
- Zhou, X. U., J. N. Luo, J. U. Li, W. H. Li, and H. B. Wu. 2017. Thermotolerance of *Luffa acutangula* seedlings and their physiological response to heat stress. J. Trop. Subtrop. Bot. 25:357–369. (in Chinese)

Selection of Heat Tolerant Chinese Kale Cultivar

Hui-Ling Lo¹, Chen-Yu Lin², and San-Tai Wang^{3,*}

Abstract

Lo, H. L., C. Y. Lin, and S. T. Wang. 2019. Selection of heat tolerant Chinese kale cultivar. *J. Taiwan Agric. Res.* 68(4):293–304.

This research is to evaluate heat tolerance in Chinese kale for the purpose of new variety selection. The physiological indices under high temperature conditions, such as soil and plant analyzer development (SPAD), maximal quantum efficiency of PSII (Fv/Fm) and electrical conductivity (EC) value, were investigated for heat tolerance selection in addition to high quality and high yield. In the growth chamber of day/night temperature 35°C/30°C, thirty-two Chinese kale lines were screened. Two lines, numbers 16-1219 and 16-1223, were selected with SPAD value above 30, EC value lower than 50%, and withering index lower than 65%. In field trials, numbers 16-1214 and 16-1221 were screened out from twenty lines with erect plant type, leaf tip leaves, stronger branches and leaves and sparse leaf at the base. They expressed heat tolerant traits and can be used as hybrid parent in future breeding program. The results of three heat-resistance indices, SPAD, Fv/Fm and EC value, were tested for six varieties of Chinese kale in growth chamber. Varieties 'Fengshan No. 1', 'Lan Xing' and 'Hei Ma' were found more superior in heat tolerance performance than other cultivars/lines.

Key words: Chinese kale, Heat tolerant, Selection.

Received: April 8, 2019; Accepted: June 13, 2019.

* Corresponding author, e-mail: stwang@fthes-tari.gov.tw

¹ Contract employee, Department of Vegetables, Fengshan Tropical Horticulture Experiment Branch, Taiwan Agricultural Research Institute, Kaohsiung, Taiwan, ROC.

² Assistant Research Fellow, Department of Vegetables, Fengshan Tropical Horticulture Experiment Branch, Taiwan Agricultural Research Institute, Kaohsiung, Taiwan, ROC.

³ Research Fellow and Head, Department of Vegetables, Fengshan Tropical Horticulture Experiment Branch, Taiwan Agricultural Research Institute, Kaohsiung, Taiwan, ROC.