

甜瓜 (*Cucumis melo* L.) 收集系外表型變異度之探討及 白粉病抗感性之檢測

林思妤¹ 黃晉興² 王毓華^{3,*}

摘要

林思妤、黃晉興、王毓華。2020。甜瓜 (*Cucumis melo* L.) 收集系外表型變異度之探討及白粉病抗感性之檢測。台灣農業研究 69(2):169–183。

隨著甜瓜消費市場不斷追求更高品質及多樣化果實，再加上急遽環境變化帶來的挑戰，具抗病性、高品質、多樣化外觀的甜瓜新品種之需求逐漸增加。遺傳變異為育種之基礎，種原盤點、變異度探討及抗病性資訊之開發有其必要性。本試驗收集 102 個來自世界各國之甜瓜收集系，並於春作及秋作進行 32 個園藝性狀調查，結果顯示供試品系共涵蓋分類學上 10 個植物分群 (botanical groups)；而經由主成分分析，兩個亞種 *Cucumis melo* ssp. *melo* 及 *Cucumis melo* ssp. *agrestis* 可被清楚區分，而植物分群亦可。白粉病為甜瓜重要病害之一，因此本研究以葉圓片人工接種方式進行白粉病菌生理小種 1 (*Podosphaera xanthii* race 1) 之檢測。兩年試驗結果顯示，30 個品系具有一致抗性，抗性品系主要屬於 *reticulatus*、*momordica* 及 *acidulus* 植物分群。本研究於同一環境調查及評估大量甜瓜收集系特性，不但可節省育種前期性狀篩選時間及人力，調查結果亦可作為後續甜瓜育種之參考，而抗白粉病品系則可應用於甜瓜抗病育種中。

關鍵詞：甜瓜、外表型變異度、白粉病、種原。

前言

甜瓜 (*Cucumis melo* L.)，俗稱美濃瓜、哈密瓜、香瓜及洋香瓜，為全球重要的葫蘆科作物之一，2017 年全球產量高達 31,948,349 Mg (Food and Agriculture Organization of the United Nations n.d.)，具有極高之經濟價值。甜瓜的形態 (morphology) 變異極大 (Burgur *et al.* 2010)，尤其果實相關特性，例如果皮顏色、果實大小、網紋有無、果肉顏色及風味等。其變異性除了可讓消費者欣賞及品嚐多樣化口味，亦提供育種者豐富的基因資源。分類學上，甜瓜可依子房絨毛長短及多寡區分為兩個亞種 (subspecies)： *Cucumis melo* ssp. *agrestis* 及 *Cucumis melo* ssp. *melo*，前者子房絨毛短

而疏，後者子房絨毛長而密。兩個亞種下，依花性、果形、果皮特性、果肉色、果肉質地、後熟、香味、甜度及種子形態，可再細分為 16 個植物分群 (botanical groups)，其中 ssp. *agrestis* 分為 5 個植物分群，ssp. *melo* 則包含 11 個植物分群 (Pitrat *et al.* 2000)。

近年來，甜瓜市場上有品種快速更迭之情形，一方面果實外觀 (顏色、果形、紋理等) 多變的品種相繼推出，以因應消費者對甜瓜求新求變的喜好。另一方面，為面對氣候變遷下各種栽培逆境，市場上亦需要各種抗病蟲害、非生物性逆境特性之甜瓜品種，因此多樣性果實外觀及耐逆境甜瓜品種為各國育種家努力之目標。然而，遺傳資源為育種之根本，廣泛的遺傳多樣性則為進行品種改良之基礎。為因應

投稿日期：2019 年 6 月 18 日；接受日期：2020 年 2 月 4 日。

* 通訊作者：yhwang@tari.gov.tw

¹ 農委會農業試驗所生物技術組助理研究員。台灣 台中市。

² 農委會農業試驗所植物病理組副研究員。台灣 台中市。

³ 農委會農業試驗所農場管理組研究員兼組長。台灣 台中市。

目前多變化的甜瓜市場並加速育種時程，有必要釐清種原帶有之特殊性狀，隨時應用於品種改良。然而，目前種原資訊並不充足（尤其缺乏抗病性資訊），且因為種原來源不同，評估及檢測方法不同，較缺乏代表性，使得這些種原較難直接應用品種改良。因此，本研究將於相同環境下進行甜瓜收集系重要園藝性狀調查，並針對甜瓜重要病害之一的白粉病進行檢測。

白粉病 (powdery mildew) 為全球甜瓜栽培最常發生之真菌性病害之一，造成甜瓜生長勢低落、葉片提早枯萎等，嚴重影響果實產量及品質。甜瓜白粉病主要病原菌為：*Podosphaera xanthii* (Castag.) Braun & Shishkoff (formerly *Sphaerotheca fuliginea*) 與 *Golovinomyces cichoracearum* (DC) V.P. Heluta (formerly *Erysiphe cichoracearum*)，以前者較普遍，而該病原菌目前有多達 45 個生理小種 (McCreight *et al.* 2012)。在台灣，甜瓜白粉病之病原菌為 *P. xanthii*，目前僅發現生理小種 1 及生理小種 5 (Huang & Wang 2007)。自 1930 年代以來，全球已陸續發現抗白粉病甜瓜種原，多數屬於 *momordica* 植物分群，少部分屬 *acidulus* 及 *flexuosus*，而此些植物分群通常來自印度 (Dogimont 2010–2011; Dhillon *et al.* 2012)。許多研究利用傳統方法或分子工具深入探討抗病基因，目前至少已發現 19 個抗性基因座，多數位於第 2、5、12 條染色體 (Fukino *et al.* 2008; Wang *et al.* 2011; Yuste-Lisbona *et al.* 2011; Fazza *et al.* 2013; Ning *et al.* 2014; Wang *et al.* 2016)。白粉病孢子隨氣流傳播，儘管目前可使用農藥降低白粉病菌之危害，但長期使用農藥勢必須持續面對高成本、耗費人力及破壞生態等問題，並易導致病菌產生抗藥性。因此，育成抗病品種方為解決之道。

遺傳資源為育種之根本，若能掌握甜瓜種原之外表特性及抗病性，即能應用於追求更高品質、符合市場需求且更耐逆境之甜瓜品種。因此，本研究收集各式甜瓜品系，探討其外表型變異度及白粉病抗感性反應，以釐清甜瓜種原之特性，俾有助於提升甜瓜種原利用性，並縮短育種前期種原篩選之人力時間。篩選得到

帶有目標特性的種原，亦可直接應用於品種改良。

材料與方法

試驗材料

本試驗甜瓜品系來自行政院農業委員會農業試驗所的種原庫及收集的育種材料，包含地方品系、自交系、系內開放授粉品系，自交代數 1–10 代以上，原產地涵蓋亞洲 (台灣、日本、菲律賓、韓國、泰國、中國大陸、印度、沙烏地阿拉伯、伊朗、土耳其)、美洲 (美國、墨西哥、薩爾瓦多) 及非洲 (辛巴威)，共計 102 個甜瓜品系。

栽培及園藝特性調查方法

2018 年春作及秋作栽種於行政院農業委員會農業試驗所溫網室 (位於台中市霧峰區)，每品系 10 株，採直立式無土栽培法，栽培介質為泥炭土 (BVB substrates, Maasland, The Netherlands)。每植床寬 0.30 m、長 16.50 m、深 0.15 m，每植床種植 2 行，行距 0.20 m、株距 0.36 m。每株留主莖 25–28 片葉供應養分，側枝除留果蔓外全數去除，單株僅留一果。園藝特性調查，依據作物種原中心甜瓜種原調查項目 (<https://www.npgrc.tari.gov.tw>) 進行，共調查 32 個性狀，包含子葉 3 個、葉 2 個、莖 3 個、花 3 個及果實 21 個性狀，尤其著重於果實特性 (表 1)。

白粉病生理小種 1 抗感病評估方法

分別於 2017 年及 2018 年夏季，依據 Huang *et al.* (2002) 之方法進行 102 個甜瓜種原之白粉病抗感病評估，方法簡述如下：於隔離溫室進行育苗，取 3–4 葉齡植株之葉片清洗消毒後，以表面消毒之金屬圓柱器具切取 1.5 cm 葉圓片。置於含有養液之 6 cm 塑膠培養皿內，每皿皆含對照品系 IRANH (感病) 及 PMR45 (抗病)。每品系 2 重複，每重複兩個葉圓片，另有一對照組不接菌。接種源為 *Podosphaera xanthii* race 1 (Px-274)，以加壓氣流將孢子均勻吹落於葉圓片上，使接種源濃度在 50–100 spore cm⁻²。培養皿密封後置於

表 1. 甜瓜收集系園藝性狀調查項目列表。

Table 1. Table of horticultural traits measured in 102 melon accessions.

Organ	Trait	Descriptive value
Cotyledon	Cotyledon length (cm)	
	Cotyledon width (cm)	
	Cotyledon color	1 (light green), 2 (green), 3 (dark green)
Vine	Vine diameter (mm)	
	length of internode (10–15) (cm)	
Leaf	Prominence of lobing	1 (weak), 2 (medium), 3 (strong)
	Leaf length (cm)	
	Leaf width (cm)	
Flower	Sex expression	1 (gynoecious), 2 (monoecious), 3 (andromonoecious)
	Ovary shape	1 (round), 2 (elliptics), 3 (long elliptics), 4 (oval), 5 (elongated)
	Ovary pubescence	1 (sparse), 2 (medium), 3 (abundant)
Fruit	Days from flowering to harvest	
	Fruit shape	1 (oblate), 2 (globose), 3 (high globose), 4 (elliptic), 5 (oval), 6 (oblong), 7 (elongated), 8 (pear shaped), 9 (long cylindrical)
	Pistil scar size (cm)	
	Ease of abscission of peduncle	1 (strong), 2 (medium), 3 (weak), 4 (absent)
	Fruit length in longitudinal section (cm)	
	Fruit diameter in cross section (cm)	
	Fruit weight (g)	
	Length of peduncle (cm)	
	Skin color of immature fruit	1 (white), 2 (light green), 3 (dark green)
	Skin color of ripe fruit	1 (white), 2 (greenish white), 3 (light yellow), 4 (yellow), 5 (deep yellow), 6 (pink), 7 (yellowish green), 8 (light green), 9 (green), 10 (bluish green), 11 (deep green), 12 (dark green), 13 (pale yellowish white), 14 (pale yellowish green), 15 (cream white)
	Fruit coat patches	1 (green patches), 2 (dark green patches), 3 (absent)
	Fruit surface	1 (smooth), 2 (slight rough), 3 (rough), 4 (creasy), 5 (grooved)
	Surface grooves	1 (absent), 2 (weak), 3 (medium), 4 (strong)
	Fruit ribs	1 (absent), 2 (shallow), 3 (medium), 4 (prominent)
	Easiness of fruit crack	1 (strong), 2 (medium), 3 (weak)
	Width of grooves	1 (absent), 2 (narrow), 3 (medium), 4 (thick)
	Creasing of surface	1 (weak), 2 (medium), 3 (strong)
	Flesh color	1 (cream-white), 2 (yellowish green), 3 (light green), 4 (green), 5 (light orange), 6 (orange), 7 (red orange)
	Flesh texture	1 (soft), 2 (loose), 3 (crisp)
	Average fruit thickness (cm)	
	Average sugar content (°Brix)	

24°C/18°C (日/夜) 光照 12 h 之定溫箱中，培養 10 d 後於顯微鏡下觀察病斑面積以判定發病指數 (disease index; DI)。

發病指數分為 0–9 共 10 級：0 級-無病斑；

1 級-病斑占葉面積 10%；2 級-病斑占葉面積 30%；3 級-病斑占葉面積 50%；4 級-病斑占葉面積 60%；5 級-病斑占葉面積 70%；6 級-病斑占葉面積 80%；7 級-病斑占葉面積 100%

但孢子量稀薄；8 級-病斑占葉面積 100%；9 級-病斑占葉面積 100% 而孢子量厚實且葉片圓片褐化 (Mohamed *et al.* 1995; Huang *et al.* 2002)。發病指數 ≤ 3 視為抗病，而發病指數 > 3 則視為感病。

資料分析

甜瓜外表性狀調查資料及白粉病抗感性檢測資料，係使用 Microsoft Excel 2013 進行敘述統計分析並繪製圖表。主成分分析 (principle component analysis; PCA) 則是以 102 個甜瓜收集系之 32 個外表性狀為資料，在 R 語言統計軟體環境下，以 factoextra 套件進行分析及繪圖 (Kassambara & Mundt 2019)。

結果

甜瓜收集系之分類

甜瓜可依子房絨毛長短及多寡區分為兩個亞種 (Jeffrey 1980)，本研究收集之 102 個甜瓜品系中，在亞種層級之分類 (圖 1A)，34% 屬於 *ssp. agrestis*、53% 為 *ssp. melo*，而 13% 無法歸類。在生物群層級 (圖 1B)，共涵蓋 Pitrat *et al.* (2000) 定義 16 個植物分群中的 10 個植物分群，*makuwa*、*momordica*、*acidulus*、*chinesensis* 為 *ssp. agrestis*，*adana*、

cantalupensis、*reticulatus*、*inodorus*、*dudaim* 及 *chandalak* 屬 *ssp. melo*。其中，又以 *reticulatus* 植物分群品系數量最多 (24%)，*inodorus* 次之 (14%)，而後依序為 *momordica* (11%)、*makuwa* (8%) 及 *cantalupensis* (7%)，22% 無法歸類。

甜瓜收集系之外觀特性

比較 102 個甜瓜收集系於春作及秋作之整體表現 (表 2)，子葉長寬無顯著差異，其餘性狀兩季的表現有顯著差異。完全展開葉之長寬，在秋作較春作分別大 1.3 cm 及 1.8 cm，開花至採收日數秋作比春作長 8 d。果實縱徑、橫徑、重量及果肉厚度，秋作較春作分別長 1.9 cm、寬 1.5 cm、重 256.1 g 及厚 0.3 cm。而在糖度上，秋作亦比春作高約 1.8°Brix。

在花及果實的特性上，以雄花、兩性花同株 (68%) 較雌雄異花同株 (32%) 比例高，子房絨毛少、中、多分別為 31%、23%、46%。果形上以球形最多 (29%)，橢圓 (15%)、長橢圓 (15%)、扁圓 (14%) 及長圓柱 (12%) 次之。成熟果果色綠色系占 54%、黃色系占 37%，而白色系占 9%。果肉色白肉占 33%、綠肉 37% 及紅肉 30%，而肉質則以軟 (53%) 及脆 (43%) 為大宗 (圖 2-3)。

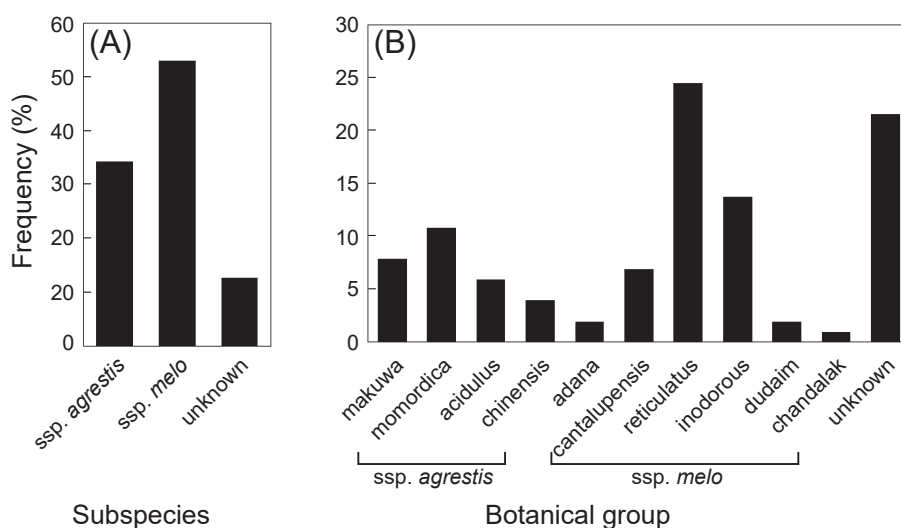


圖 1. 甜瓜 (*Cucumis melo* L.) 收集系各分類所占比率，(A) 以亞種區分；(B) 以植物分群區分。

Fig. 1. Frequency of (A) subspecies and (B) botanical groups in melon accessions.

表 2. 春作及秋作 102 個甜瓜收集系數量性狀之分布。
Table 2. Distribution of quantitative traits among 102 melon accessions in two seasons.

Trait	Average		Min		First quartile		Median		Third quartile		Max	
	Mean ± SD		Spring	Fall	Spring	Fall	Spring	Fall	Spring	Fall	Spring	Fall
	Spring	Fall	Spring	Fall	Spring	Fall	Spring	Fall	Spring	Fall	Spring	Fall
Cotyledon length (cm)	3.3 ± 0.7	3.5 ± 0.8	1.4	1.5	2.8	3.0	3.3	3.5	3.8	4.0	5.3	5.2
Cotyledon width (cm)	1.9 ± 0.3	2.0 ± 0.4	1.1	0.7	1.7	1.8	2.0	2.0	2.1	2.3	2.7	2.6
Vine diameter (mm)	6.2 ± 1.3	6.1 ± 1.1**	3.6	3.8	5.2	5.3	6.1	5.9	7.1	6.7	9.7	9.4
Average length of 10–15 internode (cm)	8.0 ± 1.3	9.0 ± 1.2**	4.9	6.2	7.1	8.2	8.1	9.0	8.8	9.9	10.8	11.8
Leaf length (cm)	17.0 ± 2.1	18.3 ± 2.6**	10.7	11.7	15.4	16.5	17.3	18.3	18.4	20.1	21.7	23.6
Leaf width (cm)	16.6 ± 2.3	18.4 ± 2.6**	10.5	11.9	15.1	16.7	16.6	18.0	18.1	20.4	21.2	24.6
Petiole length (cm)	11.2 ± 1.8	-	6.9	-	9.9	-	11.0	-	12.3	-	17.2	-
Days from flowering to harvest (d)	36.5 ± 6.6	44.5 ± 6.9**	23.0	27.0	31.3	40.3	35.8	45.3	41.8	49.1	51.1	66.9
Pistil scar size (cm)	-	1.6 ± 1.0	-	0.1	-	0.8	-	1.5	-	2.2	-	4.9
Fruit length in longitudinal section (cm)	11.0 ± 3.6	12.9 ± 3.8**	4.8	5.6	8.7	10.4	10.4	12.4	12.5	14.5	24.7	27.2
Fruit diameter in cross section (cm)	9.0 ± 1.9	10.5 ± 1.9**	3.5	4.2	8.1	9.4	9.0	10.6	10.1	11.7	13.0	14.3
Fruit weight (g)	493.9 ± 225.4	750.0 ± 322.0**	35.1	55.1	320.5	539.1	465.6	685.4	651.3	951.7	1,027.2	1,797.3
Length of peduncle (cm)	-	1.9 ± 1.0	-	0.5	-	1.2	-	1.7	-	2.3	-	7.0
Average fruit thickness (cm)	2.3 ± 0.7	2.6 ± 0.7**	0.6	0.8	1.8	2.1	2.2	2.7	2.7	3.1	3.6	4.1
Average sugar content (°Bx)	5.6 ± 2.4	7.4 ± 3.3**	1.0	1.6	3.4	4.3	5.3	7.9	7.0	10.0	13.5	14.7

**Mean of trait measured in spring and fall are significantly different at $P < 0.01$ by Student's t -test.

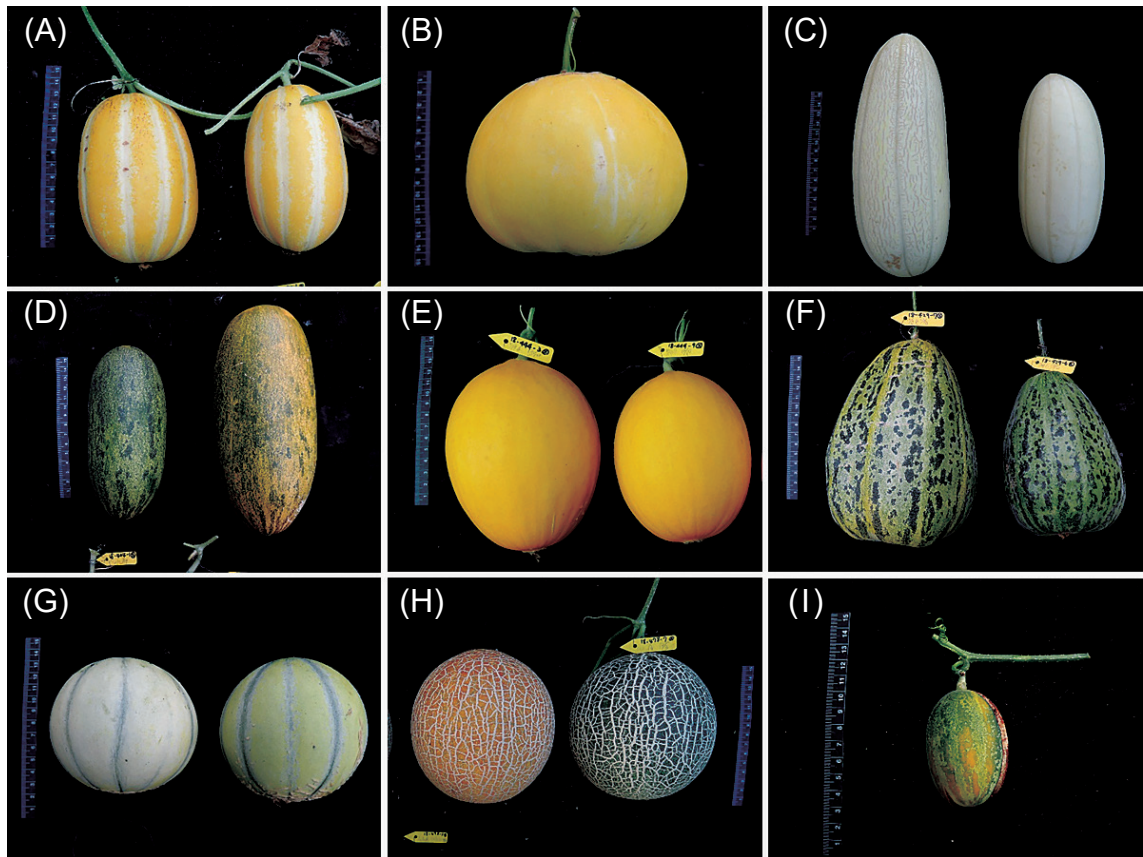


圖 2. 甜瓜果實之多樣化外觀。(A–B) Makuwa; (C–D) momordica; (E) inodorus; (F) chinensis; (G) cantalupensis; (H) reticulatus; (I) wild melon。

Fig. 2. High diversity of melon fruit. (A–B) Makuwa; (C–D) momordica; (E) inodorus; (F) chinensis; (G) cantalupensis; (H) reticulatus; and (I) wild melon.

主成分分析

為探討 102 個甜瓜收集系之外表型變異度，本試驗利用 32 個外表特性進行主成分分析。結果顯示，第一、第二及第三主成分分別解釋 20.8、14.1 及 9.2% 之變異，第一主成分主要由果肉厚、子房絨毛、果面網紋所影響，第二主成分由果實縱徑、果重所影響，第三主成分則主要受果蒂部脫落性、果面皺紋多少、葉片長寬、肉質及開花至採收日數所影響。兩亞種可由第二主成分明顯區分，*ssp. melo* 主要分布於第一及第四象限，*ssp. agrestis* 坐落於第二及第三象限 (圖 4A)。

亞種下再細分為植物分群 (圖 4B)，*ssp. melo* 中，*reticulatus* 收集系全數位於第一及

第四象限，且明顯群聚並與 *ssp. agrestis* 距離較遠；*cantalupensis* 亦全數分布於第一及第四象限，但距離 *ssp. agrestis* 較近；*inodorus* 則分布於原點附近，不過仍偏向圖右側。在 *ssp. agrestis* 中，*makuwa* 明顯群聚並位於第二象限，*momordica* 大部分坐落於第三象限，*acidulus* 則位於第二及第三象限交界，且 *momordica* 與 *acidulus* 並無法明顯區分。

甜瓜收集系之白粉病抗感性

白粉病生理小種 1 之抗感性檢測結果顯示 (表 3–4)，2017 年 102 個甜瓜收集系中共 36 個品系具抗性，63 個品系為感病；2018 年則是 39 個品系具抗性，55 個品系為感病。比較

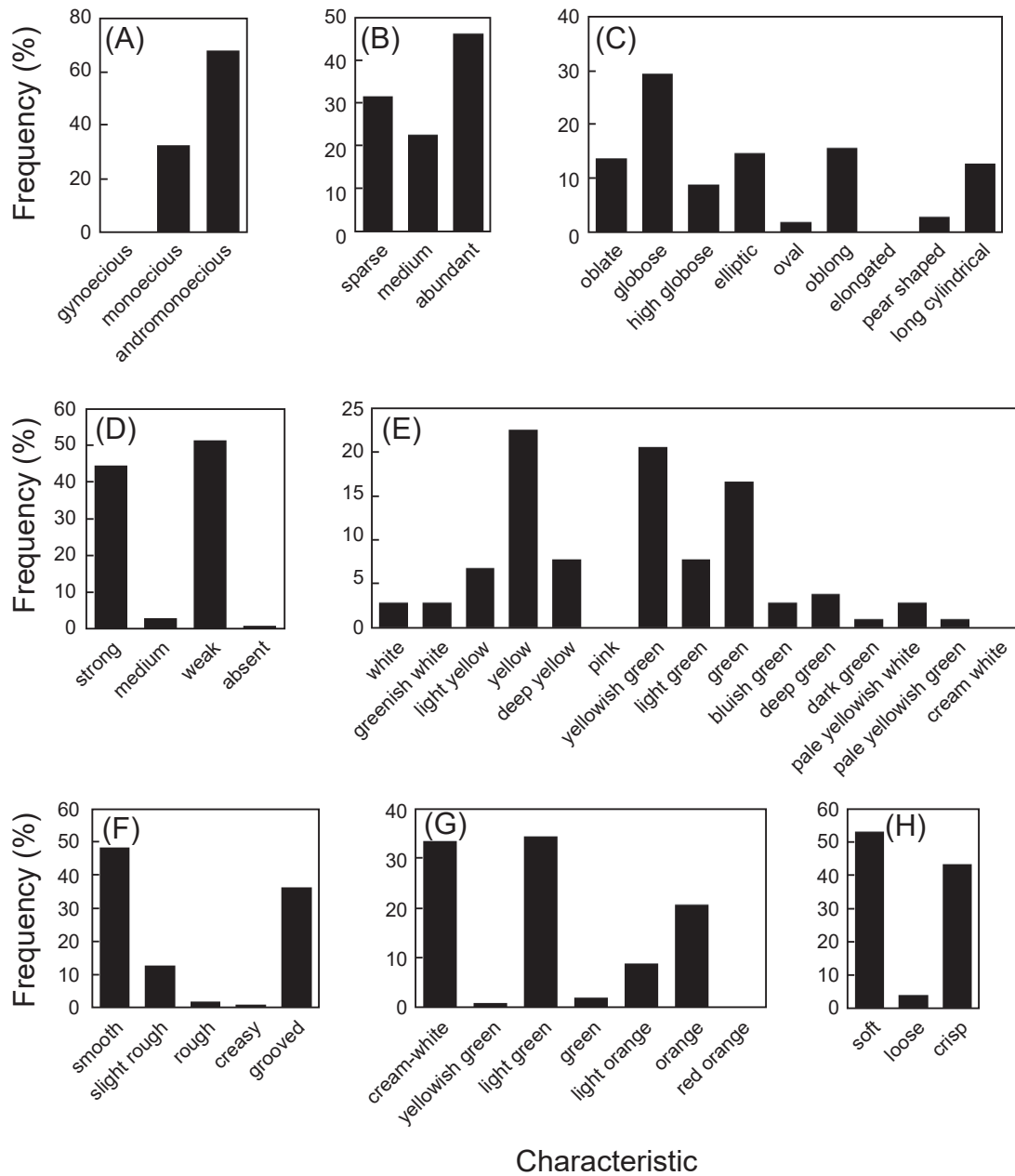


圖 3. 102 個甜瓜收集系果實相關特性頻布圖。(A) 花性；(B) 子房茸毛；(C) 果形；(D) 果蒂部脫落；(E) 成熟果皮色；(F) 果面性狀；(G) 果肉色；及 (H) 肉質。

Fig. 3. Frequency of fruit-related traits among 102 melon accessions. (A) Sex expression; (B) ovary pubescence; (C) fruit shape; (D) ease of abscission of peduncle; (E) skin color of ripe fruit; (F) fruit surface; (G) flesh color; and (H) flesh texture.

兩年抗感性反應，皆表現抗病之品系為 30 個，皆表現感病為 50 個品系；而在 30 個抗性穩定之品系中，16 個品系兩年皆為極抗（發病指數

= 0），包含 5 個白粉病鑑別品種 (Edisto47、PI414723、PI124112、PMR5 及 MR-1) 及 11 個種原。

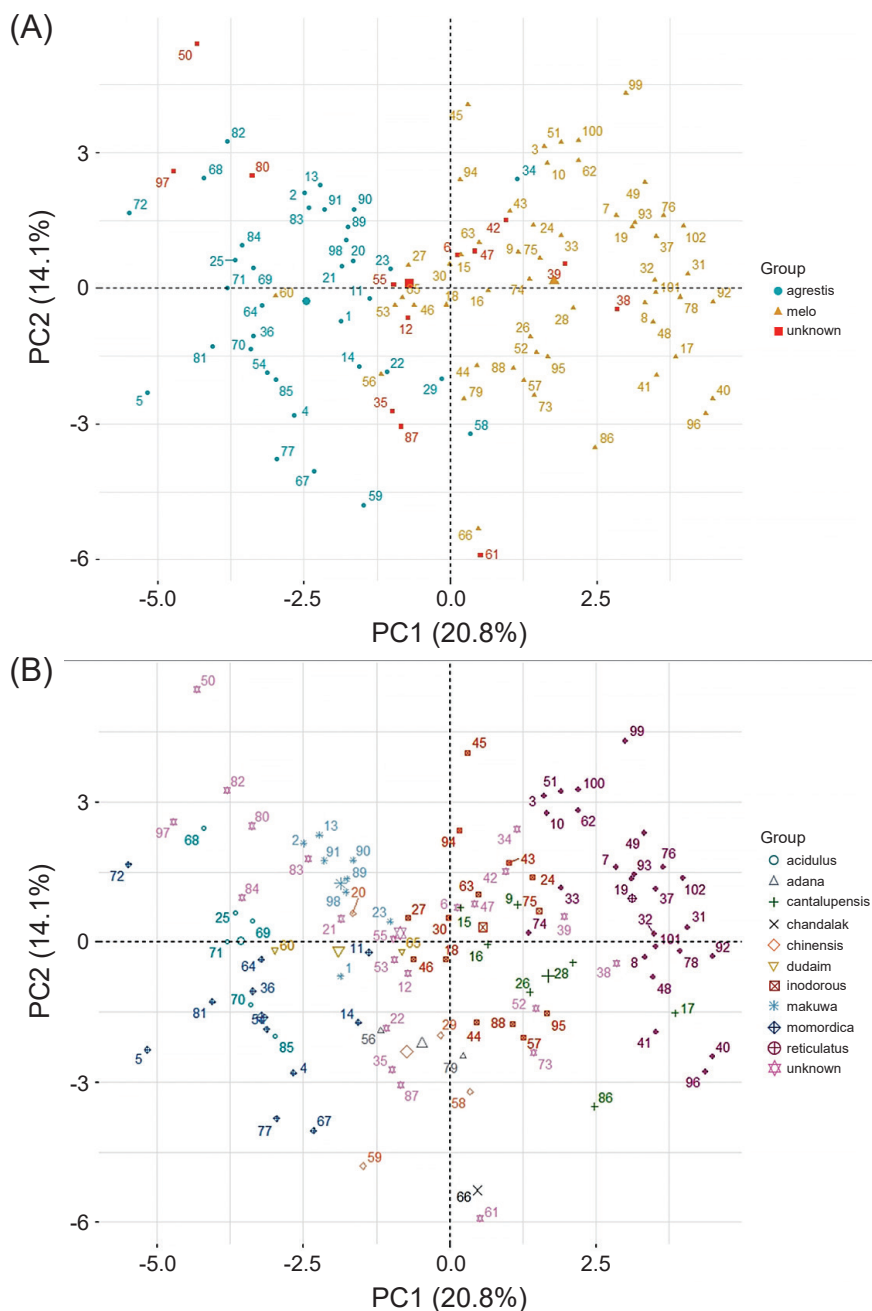


圖 4. 102 個甜瓜收集系之主成分分析圖。(A) 顯示亞種；(B) 顯示植物分群。

Fig. 4. Principal component (PC) analysis of 32 morphological traits in 102 melon accessions. Two classifications are shown: (A) subspecies and (B) botanical groups.

討論

將現有種原進行歸類有助於釐清材料背

景，應用於育種上時即可依目的選擇親緣遠近不同之品系進行雜交。本研究供試材料 102 個甜瓜收集系，根據種原資料至少來自 14 個

表 3. 甜瓜收集系對白粉病生理小種 1 抗感性反應。

Table 3. Susceptibility to powdery mildew race 1 in melon accessions.

Susceptibility	Number of accessions		
	2017	2018	Same reaction in two years
Resistant ($DI^2 \leq 3$)	36	39	30
Susceptible ($DI > 3$)	63	55	50

² DI: disease index.

表 4. 甜瓜收集系 2017 年及 2018 年之白粉病生理小種 1 抗感病檢測。

Table 4. Susceptible reaction of melon accessions against powdery mildew race 1 in 2017 and 2018.

No.	Accession	2017		2018		Same reaction in two years
		Rating	Reaction ²	Rating	Reaction	
1	PI 381775	6.5	S	5.5	S	*
2	PI 378062	6.0	S	4.8	S	*
3	Edisto 47	0.0	R	0.0	R	*
4	PI414723	0.0	R	0.0	R	*
5	PI124112	0.0	R	0.0	R	*
6	IRAN-H	7.3	S	6.5	S	*
7	PMR5	0.0	R	0.0	R	*
8	PMR45	-	-	0.0	R	
9	Vedrantais	7.5	S	6.0	S	*
10	Nantais oblong	0.0	R	1.3	R	*
11	MR-1	0.0	R	0.0	R	*
12	PI 180280	8.0	S	6.8	S	*
13	Charentais Fom-2	6.5	S	5.0	S	*
14	WMR-29	0.0	R	5.0	S	
15	Charentais T	6.3	S	5.3	S	*
16	Charentais FOM-1	6.3	S	5.3	S	*
17	Cezanne Hybride	4.3	S	1.0	R	
18	CM17524	6.8	S	2.8	R	
19	CM17526	0.0	R	0.0	R	*
20	PI 157076	6.5	S	4.8	S	*
21	PI 323498	6.0	S	-	-	
22	PI 420145	7.3	S	-	-	
23	Charentais FOM-2	6.8	S	-	-	
24	CM17620	1.5	R	3.0	R	*
25	PI 313970	4.0	S	6.8	S	*
26	Isabelle	6.8	S	-	-	
27	Des Canaries	6.5	S	6.5	S	*
28	Santon	6.5	S	6.3	S	*
29	PI 161375	5.0	S	6.5	S	*
30	CM17221	5.3	S	2.8	R	

² R and S denote resistance and susceptibility, respectively.

表 4. 甜瓜收集系 2017 年及 2018 年之白粉病生理小種 1 抗感病檢測 (續)。

Table 4. Susceptible reaction of melon accessions against powdery mildew race 1 in 2017 and 2018. (continued)

No.	Accession	2017		2018		Same reaction in two years
		Rating	Reaction ²	Rating	Reaction	
31	CM17230	5.8	S	2.5	R	
32	CM17231	7.5	S	6.5	S	*
33	CM17242	3.3	S	6.3	S	*
34	CM17254	2.8	R	6.3	S	
35	05A05900	7.5	S	6.8	S	*
36	CM17342	6.3	S	5.0	S	*
37	CM17344	0.0	R	0.0	R	*
38	CM17349	7.3	S	6.5	S	*
39	CM17351	0.0	R	0.0	R	*
40	CM17352	0.0	R	0.0	R	*
41	CM17354	0.0	R	1.3	R	*
42	CM17355	7.5	S	6.5	S	*
43	CM17409	7.0	S	6.8	S	*
44	CM17413	6.3	S	6.5	S	*
45	TVI11851	6.5	S	6.3	S	*
46	CM17414	6.3	S	6.5	S	*
47	CM17456	6.5	S	5.8	S	*
48	CM17460	0.0	R	0.0	R	*
49	CM17463	0.0	R	0.0	R	*
50	CM17464	5.8	S	5.8	S	*
51	PI 176925	8.0	S	6.5	S	*
52	PI 304745	7.5	S	6.3	S	*
53	475747	1.0	R	0.0	R	*
54	164569	5.5	S	3.3	S	*
55	164750	6.0	S	6.5	S	*
56	165514	0.0	R	0.0	R	*
57	174814	7.3	S	6.5	S	*
58	179669	7.0	S	6.0	S	*
59	98A00143	0.0	R	0.0	R	*
60	179905	6.8	S	6.5	S	*
61	182941	8.0	S	4.3	S	*
62	CM17497	0.3	R	0.0	R	*
63	CM17520	-	-	2.0	R	
64	PI 180281	1.5	R	2.5	R	*
65	PI 211922	7.0	S	6.3	S	*
66	PI 307588	7.5	S	6.5	S	*
67	PI 370021	5.0	S	1.8	R	
68	PI 442178	5.0	S	5.8	S	*
69	PI 482397	5.5	S	4.5	S	*

² R and S denote resistance and susceptibility, respectively.

表 4. 甜瓜收集系 2017 年及 2018 年之白粉病生理小種 1 抗感病檢測 (續)。

Table 4. Susceptible reaction of melon accessions against powdery mildew race 1 in 2017 and 2018. (continued)

No.	Accession	2017		2018		Same reaction in two years
		Rating	Reaction ^z	Rating	Reaction	
70	PI 482400	2.8	R	0.8	R	*
71	PI 482401	5.5	S	1.8	R	
72	PI 482429	0.8	R	-	-	
73	CM17591	2.5	R	0.0	R	*
74	CM17613	1.0	R	0.3	R	*
75	CM17516	7.5	S	6.3	S	*
76	CM17635	6.0	S	-	-	
77	CM17698	6.0	S	5.3	S	*
78	CM17720	0.0	R	0.0	R	*
79	179916	2.5	R	4.0	S	
80	183048	3.5	S	4.0	S	*
81	381775	6.0	S	7.0	S	*
82	PI 482393	-	-	7.3	S	
83	PI 482398	3.5	S	6.5	S	*
84	PI 482399	2.8	R	2.5	R	*
85	PI 482422	1.5	R	0.0	R	*
86	CM17759	0.0	R	5.8	S	
87	CM17767	6.5	S	6.8	S	*
88	CM17631	1.5	R	0.5	R	*
89	CM17209	6.3	S	6.5	S	*
90	CM17214	6.8	S	5.8	S	*
91	CM17215	6.8	S	7.5	S	*
92	CM17233	7.5	S	7.0	S	*
93	CM17239	0.0	R	0.5	R	*
94	CM17587	7.3	S	6.8	S	*
95	CM17600	7.0	S	-	-	
96	CM17692	0.0	R	0.0	R	*
97	CM17697	6.0	S	6.0	S	*
98	CM17713	6.5	S	5.3	S	*
99	CM17754	1.0	R	1.5	R	*
100	CM17757	4.8	S	-	-	
101	CM17770	2.3	R	1.3	R	*
102	CM17772	0.0	R	0.0	R	*

^z R and S denote resistance and susceptibility, respectively.

國家，其組成 34% 屬於 *ssp. agestis*、53% 為 *ssp. melo*。由於甜瓜亞種是以子房絨毛長短進行分類，而非野生種與栽培種，且兩個亞種皆含目前常見栽培種，因此兩亞種數量不會差距

懸殊。亞種下再細分為植物分群層 (Pitrat *et al.* 2000)，以 *reticulatus*、*inodorus*、*momordica*、*makuwa* 及 *cantalupensis* 為大宗 (共 64%)。此些植物分群數量較多之原因，是由於長期以來

受到消費喜好的影響，經由高度人為選拔的干擾，造成市面上收集系通常屬此些植物分群 (*momordica* 除外)，這些植物分群具甜味且通常香氣強。而 *momordica* 不具甜味及香氣卻在種原中為數不少，是由於許多抗病品系屬於此植物分群所導致 (Dogimont 2010–2011; Dhillon *et al.* 2012)。

台灣常見品種亦多來自這些植物分群，市場上通常將甜瓜分為薄皮甜瓜 (美濃瓜) 及厚皮甜瓜。厚皮甜瓜下又分為網紋甜瓜、光皮甜瓜及哈密瓜，薄皮甜瓜通常屬 *agrestis* 亞種之 *makuwa* 植物分群。厚皮甜瓜為 *melo* 亞種，其中網紋甜瓜及哈密瓜屬 *reticulatus* 或 *cantalupensis*，光皮甜瓜則屬 *inodorus* 植物分群。此外，以亞種或植物分群分類皆有部分品系 (13% 及 22%) 難以歸類，因為不同植物分群間並無雜交障礙 (Decker-Walters *et al.* 2002)，甚至極易雜交所造成，因此會有部分品系同時含有多個植物分群特性之情形發生。

為完善甜瓜收集系重要園藝特性資料，以利後續育種應用，本研究 2018 年春作及秋作於相同溫網室中進行 102 個甜瓜收集系之種植及調查。比較兩期作之整體表現 (表 2)，僅子葉大小無顯著差異，顯示子葉大小較不易受環境影響，而其餘性狀兩期作間皆有顯著差異，說明其易受環境影響。整體來看，秋作果實表現較佳，包含甜度較高、果實較大、果重較重及果肉較厚，此差異應為秋作生育期溫度由暖至冷，果實膨大及成熟期日夜溫度差異較大造成；而開花至採收日數秋作較長，亦因結果期溫度較低影響生長及成熟速度所造成。然而上述為整體 102 個收集系之表現，應用於育種時仍需以單一收集系資料為準。

外表性狀調查之紀錄，可協助以客觀方式記錄植株特性，盡量摒除不同調查人員造成之誤差。而此時甜瓜特性調查記錄表，便為各國進行種原調查與品種鑑別時重要參考依據，以及資料互通之基準。然而，部分調查標準僅以描述性文字記錄而非數值，例如國際植物品種權保護同盟 (International Union for the Protection of New Varieties of Plants; UPOV) 之甜瓜特性調查表之果實長短僅以等級 (非常

短、短、中、長、非常長) 記錄，造成個人主觀嚴重影響紀錄之情形。若各等級有對應之數值作為參考，就能大幅度降低人為主觀判斷之影響。本研究之甜瓜材料包含大量種原並涵蓋多個植物分群，亦收集兩個期作之資料，其統計數據 (四分位數及最小最大值等) 可作為調查紀錄等級劃分之參考。

在外表型變異度方面，主成分分析結果顯示 (圖 4)，102 個甜瓜品系在外表特性上並無明顯集中或重複之情形，說明供試品系外表特性變異大且分布均勻。另外，由圖中可見，兩個亞種 *ssp. agrestis* 及 *ssp. melo* 可明顯分開，此與前人利用外表型或基因型進行主成分分析之結果一致 (Leida *et al.* 2015; Nimmakayala *et al.* 2016; Nunes *et al.* 2017)。而兩群中間亦有部分重疊處，這顯示兩亞種間可雜交之特性，而無法歸類於兩亞種之品系多數座落於兩亞種交界亦為證明 (Hu *et al.* 2015)。從植物分群層面來看，*ssp. melo* 中 *reticulatus* 在圖中最右側，與 *ssp. agrestis* 距離最遠且與其它同屬 *ssp. melo* 的植物分群明顯分離，顯示其外表型與其他植物分群差異較大。*inodorus* 及 *cantalupensis* 與 *ssp. agrestis* 距離較近，與 Liu *et al.* (2004) 分析 72 個甜瓜收集系外表特性之結果相符。*ssp. agrestis* 中，*momordica* 與 *acidulus* 無法明顯區分，可能是因為兩者果實外觀十分相近，主要差別為果實成熟期 (授粉至收穫天數) 長短。*momordica* 較早熟，以本研究結果為 36.9 d，*acidulus* 成熟期長，平均 44.8 d。另外，亦有研究指出兩者差異為儲架壽命，*momordica* 可存放至少 6 mo，而 *acidulus* 儲架壽命短且成熟果易裂 (Manohar & Murthy 2012)。

為了克服氣候變遷帶來的栽培逆境且不斷地追求果實品質，近年來配合栽培技術的改善。目前設施栽培甜瓜逐漸普遍，然而設施栽培降低急遽氣候的威脅，卻也提供白粉病菌適合之發病環境。有鑒於長期使用農藥會造成環境負擔並衍生食安問題，最有效且經濟的方法為育成抗病品種。而進行白粉病抗性甜瓜育種的第一步，便為篩選出具穩定抗性之收集系。台灣目前以白粉病生理小種 1 較為盛行 (Huang

& Wang 2007)，因此本研究於 2017 年及 2018 年利用葉圓片人工接種法進行 102 個甜瓜收集系之白粉病生理小種 1 之抗感病檢測。結果顯示，30 個品系於兩年皆呈抗性，其中 57% 屬於 *reticulatus*、13% 屬 *momordica* 及 7% 為 *acidulus* 植物分群。全球最早發現之白粉病抗病種原為 *momordica* 及 *acidulus* (Dogimont 2010–2011; Dhillon *et al.* 2012)，本研究結果亦顯示許多抗白粉病種原屬於此兩植物分群；而最多抗白粉病收集系屬 *reticulatus*，應是經過數十年育種發展。在高度人為選拔下，導入受市場歡迎之 *reticulatus* 品系中（多為網紋洋西瓜）。另外，經由觀察抗性品系之植物分群，發現同為主要市售品種所屬之植物分群 *inodorus*（多為光皮甜瓜），僅 1 個品系具穩定抗性，而 *makuwa*（薄皮甜瓜類）並無穩定抗性品系。因此，未來可將白粉病抗性基因導入此些植物分群中，增加市場上抗性品種之選擇。另外，有 11 個品系之白粉病抗性表現兩年不一致之情形，可能為種原遺傳背景尚在分離所導致。

遺傳資源為育種之根本，因此在跟隨甜瓜市場需求進行品種改良的同時，必須先對甜瓜種原有更深入瞭解。本研究盤點及調查 102 個來自世界各地之甜瓜收集系，依據其外表形態進行分類及歧異度探討，亦針對甜瓜全球性重要病害的白粉病進行評估，篩選得到之抗病品系將可應用於後續品種改良以及抗病基因之探勘。本研究完善甜瓜種原之資訊，將提升種原之利用率，並減少育種前期種原評估之人力物力，加速新品種之育成，以符合甜瓜市場上品種快速更迭之需求。

誌謝

本研究承蒙行政院農業委員會 107 農科-19.1.3-農-C1 計畫經費支持，謹致謝忱。

引用文獻

- Burger, Y., H. S. Paris, R. Cohen, N. Katzir, Y. Tadmor, E. Lewinsohn, and A. A. Schaffer. 2010. Genetic diversity of *Cucumis melo*. p.165–198. *in*: Horticultural Reviews, Volume 36. (Janick, J., ed.) Wiley. New York, NY. 363 pp. doi:10.1002/9780470527238.ch3
- Decker-Walters, D. S., S. M. Chung, J. E. Staub, H. D. Quemada, and A. I. López-Sesé. 2002. The origin and genetic affinities of wild populations of melon (*Cucumis melo*, Cucurbitaceae) in North America. *Plant Syst. Evol.* 233:183–197. doi:10.1007/s00606-002-0191-3
- Dhillon, N. P. S., A. J. Monforte, M. Pitrat, S. Pandey, P. K. Singh, K. R. Reitsma, J. Garcia-Mas, A. Sharma, and J. D. McCreight. 2012. Melon landraces of India: Contributions and importance. p.85–150. *in*: Plant Breeding Reviews, Volume 35. (Janick, J., ed.) Wiley. New York, NY. 407 pp. doi:10.1002/9781118100509.ch3
- Dogimont, C. 2010–2011. 2011 gene list for melon. *Cucurbit Genet. Coop.* 33–34:104–133.
- Fazza, A. C., L. J. Dallagnol, A. C. Fazza, C. C. Monteiro, B. M. de Lima, D. T. Wassano, and L. E. A. Camargo. 2013. Mapping of resistance genes to races 1, 3 and 5 of *Podosphaera xanthii* in melon PI 414723. *Crop Breed. Appl. Biotechnol.* 13:349–355. doi:10.1590/S1984-70332013000400005
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. n.d. Data. <http://www.fao.org/faostat/en/#data> (visit on 04/30/2019)
- Fukino, N., T. Ohara, A. J. Monforte, M. Sugiyama, Y. Sakata, M. Kuniyama, and S. Matsumoto. 2008. Identification of QTLs for resistance to powdery mildew and SSR markers diagnostic for powdery mildew resistance genes in melon (*Cucumis melo* L.). *Theor. Appl. Genet.* 118:165–175. doi:10.1007/s00122-008-0885-1
- Hu, J., P. Wang, Y. Su, R. Wang, Q. Li, and K. Sun. 2015. Microsatellite diversity, population structure, and core collection formation in melon germplasm. *Plant Mol. Biol. Rep.* 33:439–447. doi:10.1007/s11105-014-0757-6
- Huang, J. H., Y. H. Wang, and C. T. Lo. 2002. Development of leaf-disk method for screening melon varieties resistant to *Sphaerotheca fuliginea* race. *J. Agric. Res. China* 51:49–56. (in Chinese with English abstract) doi:10.29951/JARC.200212.0005
- Huang, J. H. and Y. H. Wang. 2007. The races of *Podosphaera xanthii* causing melon powdery mildew in Taiwan. *J. Taiwan Agric. Res.* 56:307–315. (in Chinese with English abstract) doi:10.6156/JTAR/2007.05604.06
- Jeffrey, C. 1980. A review of the Cucurbitaceae. *Bot. J. Linn. Soc.* 81:233–247. doi:10.1111/j.1095-8339.1980.tb01676.x
- Kassambara, A. and F. Mundt. 2019. Factoextra: Extract and visualize the results of multivariate data analyses. <https://cran.r-project.org/web/packages/factoextra/>

- tra/index.html (visit on 02/03/2019)
- Leida, C., C. Moser, C. Esteras, R. Sulpice, J. E. Lunn, F. de Langen, A. J. Monforte, and B. Picó. 2015. Variability of candidate genes, genetic structure and association with sugar accumulation and climacteric behavior in a broad germplasm collection of melon (*Cucumis melo* L.). *BMC Genet.* 16:28. doi:10.1186/s12863-015-0183-2
- Liu, L., F. Kakiyama, and M. Kato. 2004. Characterization of six varieties of *Cucumis melo* L. based on morphological and physiological characters, including shelf-life of fruit. *Euphytica* 135:305–313. doi:10.1023/b:euph.0000013330.66819.6f
- Manohar, S. H., and H. N. Murthy. 2012. Estimation of phenotypic divergence in a collection of *Cucumis melo*, including shelf-life of fruit. *Sci. Hortic.* 148:74–82. doi:10.1016/j.scienta.2012.09.025
- McCreight, J. D., M. D. Coffey, B. Sedlakova, and A. Lebeda. 2012. Cucurbit powdery mildew of melon incited by *Podosphaera xanthii*: Global and western U.S. perspectives. p.181–189. *in*: Cucurbitaceae 2012. Proceedings of the Xth EUCARPIA Meeting on Genetics and Breeding of Cucurbitaceae. October 15–18, 2012. Antalya, Turkey. Çukurova Univ., Antalya, Turkey.
- Mohamed, Y. F., M. Bardin, P. C. Nicot, and M. Pitrat. 1995. Causal agents of powdery mildew of cucurbits in Sudan. *Plant Dis.* 79:634–636.
- Nimmakayala, P., Y. R. Tomason, V. L. Abburi, A. Alvarado, T. Saminathan, V. G. Vajja, G. Salazar, G. K. Panicker, A. Levi, W. P. Wechter, J. D. McCreight, A. B. Korol, Y. Ronin, J. Garcia-Mas, and U. K. Reddy. 2016. Genome-wide differentiation of various melon horticultural groups for use in GWAS for fruit firmness and construction of a high resolution genetic map. *Front. Plant Sci.* 7:1437. doi:10.3389/fpls.2016.01437
- Ning, X., X. Wang, X. Gao, Z. Zhang, L. Zhang, W. Yan, and G. Li. 2014. Inheritances and location of powdery mildew resistance gene in melon Edisto47. *Euphytica* 195:345–353. doi:10.1007/s10681-013-1000-5
- Nunes, E. W. L. P., C. Esteras, A. O. Ricarte, E. Martínez-Perez, M. L. Gómez-Guillamón, G. H. S. Nunes, and M. B. Picó. 2017. Brazilian melon landraces resistant to *Podosphaera xanthii* are unique germplasm resources. *Ann. Appl. Biol.* 171:214–228. doi:10.1111/aab.12370
- Pitrat, M., P. Hanelt, and K. Hammer. 2000. Some comments on infraspecific classification of cultivars of melon. *Acta Hortic.* 510:29–36. doi:10.17660/ActaHortic.2000.510.4
- Wang, X., G. Li, X. Gao, L. Xiong, W. Wang, and R. Han. 2011. Powdery mildew resistance gene (*Pm-AN*) located in a segregation distortion region of melon LGV. *Euphytica* 180:421–428. doi:10.1007/s10681-011-0406-1
- Wang, Y. H., D. H. Wu, J. H. Huang, S. J. Tsao, K. K. Hwu, and H. F. Lo. 2016. Mapping quantitative trait loci for fruit traits and powdery mildew resistance in melon (*Cucumis melo*). *Bot. Stud.* 57:19. doi:10.1186/s40529-016-0130-1
- Yuste-Lisbona, F. J., C. Capel, M. L. Gómez-Guillamón, J. Capel, A. I. López-Sesé, and R. Lozano. 2011. Codominant PCR-based markers and candidate genes for powdery mildew resistance in melon (*Cucumis melo* L.). *Theor. Appl. Genet.* 122:747–758. doi:10.1007/s00122-010-1483-6

Morphological Diversity and Resistance to Powdery Mildew in Melon (*Cucumis melo* L.) Accessions

Ssu-Yu Lin¹, Jin-Hsing Huang², and Yu-Hwa Wang^{3,*}

Abstract

Lin, S. Y., J. H. Huang, and Y. H. Wang. 2020. Morphological diversity and resistance to powdery mildew in melon (*Cucumis melo* L.) accessions. *J. Taiwan Agric. Res.* 69(2):169–183.

As climate changes rapidly and the demands of diverse melon increase, melon market has urgent needs of commercial lines with stress-resistance, varied appearance and high-quality fruits. Because genetic diversity is the basis of melon breeding, comprehensive understanding of the melon germplasm and breeding line is essential. In this study, 102 melon accessions are collected and 32 horticultural traits are investigated in two seasons. According to the principle component analysis, two subspecies- *Cucumis melo* ssp. *melo* and ssp. *agrestis*, can be separated clearly, and major botanical groups can also be distinguished. Screening for resistance to powdery mildew pathogen (*Podosphaera xanthii* race 1) is also conducted in this study by leaf-disc inoculation. Results show that 30 accessions possess constant resistance and most of them belong to botanical group momordica, acidulus and reticulatus. With the horticultural traits and powdery mildew resistance of germplasm and breeding line, manpower and time required at initial stage of breeding can be significantly reduced.

Key words: Melon, Morphological diversity, Powdery mildew, Germplasm.

Received: June 18, 2019; Accepted: February 4, 2020.

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

¹ Assistant Research Fellow, Biotechnology Division, Taiwan Agricultural Research Institute, Taichung City, Taiwan, ROC.

² Associate Research Fellow, Plant Pathology Division, Taiwan Agricultural Research Institute, Taichung City, Taiwan, ROC.

³ Research Fellow and Director, Farm Management Division, Taiwan Agricultural Research Institute, Taichung City, Taiwan, ROC.