

高溫對彩色甜椒花粉活力與授粉之影響

王昭月¹⁾ 曾夢蛟²⁾

關鍵字：彩色甜椒、花粉、高溫、授粉

摘要：為本研究以 12 個彩色甜椒品系為供試材料 (包含田間篩選可能具耐熱潛力的“短筒鐘型”6 品系與“匈牙利紅椒”3 品系)，探討高溫(33°C)對彩色甜椒花粉發芽活力之影響，以及生殖生長期之高溫(33/27°C)對彩色甜椒花粉授粉能力與雌蕊受粉能力之影響，以瞭解高溫對彩色甜椒之生殖生理及結實的關係。試驗結果顯示，高溫(33°C)下彩色甜椒的花粉發芽率明顯下降，除‘Chocolate Miniature Bell’ 29.5%，其餘花粉發芽率皆低於 10.4%。另外，以螢光顯微鏡觀察高溫對花粉管 *in vivo* 生長之影響發現，高溫(33°C/27°C)下分化的花粉之授粉力明顯降低，但高溫發育的雌蕊柱頭及花柱之受粉能力較不受影響。進一步比較不同品系的彩色甜椒在高溫下之結果情形與果實內種子發育之數量發現，與高溫授粉後之花粉管生長的螢光顯微鏡觀察結果一致。綜合評估高溫下花粉發芽活力與授粉結果，以‘Chocolate Miniature Bell’、‘C02080’與‘C00947’等三品系，可能為耐熱性較佳之品系，其中又以‘C02080’為耐熱性表現最好。

前 言

甜椒與辣椒泛稱為番椒 (pepper, paprika)，屬茄科 (Solanaceae) 番椒屬 (*Capsicum*) 一或多年生蔬菜作物，原產於中、南美洲墨西哥、秘魯、玻利維亞等國家。Esbaugh (1983) 將番椒歸納為 25 個野生種，以及 5 個馴化栽培種 (*C. annuum*、*C. chinese*、*C. frutescens*、*C. baccatum*、*C. pubescens*)。其中 *C. annuum* L. 包含所有甜椒品種及部分辣椒品種，是最主要的栽培種。番椒染色體上一對顯性基因 *C*，控制果實辣味素 (Capsaicin) 之表現 (Somos, 1984)，其中具有辣味的即俗稱為辣椒 (英名：hot pepper, chile pepper, chili)，沒有

-
- 1) 行政院農委會農業試驗所生技組助理研究員；國立中興大學園藝學系博士班研究生。
 - 2) 國立中興大學園藝學系教授，通訊作者。

辣味的則通稱為甜椒 (英名: sweet pepper 或 bell pepper); 據植物學家 Smith (1957) 與 Eshbaugh (1983) 等人研究結果, 甜椒可能源自於辣椒的變種。

早期全球甜椒栽培品種皆以綠色果實為主, 其中代表性的商業品種 'California Wonder', 為綠色大果實之甜椒品種, 果形為“短筒鐘型” (blocky、bell), 是由 Maule's 種子公司於 1928 年上市販售, 至今仍作為栽培品種之用 (DeWitt and Bosland, 1993; Bosland and Votava, 2000)。甜椒的果色與果形歧異性很大, 從幼果期的果色、轉色期至成熟期間, 果實顏色變化包羅萬象, 最普遍是綠色果實, 此外還包含黃色、橘紅色、橙色、紫色、褐色等豐富色彩, 習慣上將此類通稱為『彩色甜椒』。台灣甜椒栽培早期也以綠色果實為主, 通常俗稱為青椒; 至 80 年代以後才陸續栽培成熟果色多樣的「彩色甜椒」。近年來, 由於營養研究學者證實, 多數天然的植物色素具有較高之抗氧化能力, 益於健康; 彩色甜椒因此也被視為具有較高營養價值的蔬菜種類, 市場價格較傳統青椒高出 2 至 4 倍。

甜椒為暖季蔬菜作物 (warm season crops), 喜好溫暖氣候, 種子發芽適溫為 25~30°C, 溫度愈低種子發芽愈慢; 低於 10°C 或高於 35°C, 種子則無法發芽 (DeWitt and Bosland, 1993; Bosland and Votava, 2000)。但甜椒植株的生長溫度則偏好冷涼氣候, 平均栽培適溫為 21°C, 日溫範圍以 23°C 至 26°C, 夜溫以 18°C~21°C 為最佳; 在日溫超過 33°C 或夜溫超過 27°C 的環境下, 會導致落花或不結果現象之發生; 而低於 15°C 的夜溫會有花柱異常肥大, 造成畸形果發生 (Rylski and Spigelman, 1982; Erickson and Markhart, 2002)。據 Aloni 等人 (1994) 研究結果顯示, 甜椒花器較葉片對高溫的反應更為敏感, 尤其低光照下的高溫 (34°C), 導致其落花嚴重, 其中又以“短筒鐘型”的甜椒要更敏感於“匈牙利”甜椒。Reddy 與 Kakani (2007) 以 *in vitro* 高溫 (30~40°C) 下花粉發芽活力, 可用以評估不同來源的番椒種原之耐熱性。另外, 藉由螢光顯微鏡觀察, 可以監測作物授粉後花粉管 *in vivo* 實際之生長情形, 用以評估是否為有效之受粉作用 (Kaufmane and Rumpuneh, 2002; Mesejo *et al.*, 2007; Wang *et al.*, 2006)。

彩色甜椒栽培之合適溫度同於一般甜椒, 以 21~25°C 為宜; 但果實轉色時期, 其夜間溫度則需低於 25°C, 使轉色可以快速且完整。唯依據近五年的台灣氣象資料顯示, 蔬菜主要產區所在之雲嘉南地區, 每年六月至九月平均氣溫均高於 27°C, 因此不利於彩色甜椒之夏季栽培, 故慣型栽培下, 多於立秋後始進行經濟生產。為探討或進一步解決國內高價蔬菜-彩色甜椒的夏季栽培問題, 本研究擬針對最具高溫敏感性的開花時期, 藉不同高溫處理配合不同品系之彩色甜椒, 共同進行花粉活力與授粉表現之探討, 期望建立彩色甜椒高溫逆境下, 選種之生理指標。

材料與方法

一、影響彩色甜椒花粉 *in vitro* 發芽率之研究

(一)、試驗材料

以 12 個彩色甜椒 (*Capsicum annuum* L.) 品系為供試材料，其中“短筒鐘型”彩色甜椒 9 品系，包括：‘Chocolate Miniature Bell’(褐色果實)、‘C00947’(橘紅色果實)、‘C01184’(黃色果實)、‘C05464A’(黃色果實)、‘Dimond’(白色果實)、‘RB 102’(紅色果實)、‘KC 104’(褐色果實)，商業品種‘大吉星’(綠色果實，農友種苗)、‘Diego’(黃色果實，荷蘭)，及“匈牙利”紅椒 3 品系，包括：‘C03338B’(橘紅色果實)、‘C00611A’(橘紅色果實)與‘Pimento’(紅椒)，以及紫紅色辣椒‘TC07167’，計 13 個試驗品系。

13 個品系之番椒種子於 94 年 8 月 25 日播種於 Jiffy 泥炭鉢，育苗介質為泥炭土：珍珠石：蛭石 (1:1:1)，至 9 月 7 日定植，以 Bio-Mix 介質之袋植方式，置於網室栽培。栽培期間自定植至開花前，每週補充以花寶 2 號肥料稀釋 1,000 倍之葉面施肥，自開花至結果期則改施以花寶 3 號稀釋 1,000 倍，每週噴施。至開花期間固定於上午 9 點採得初開的花朵。以 96 孔 ELISA 盤子進行培養，每孔加入液體花粉培養液 200ul，以及 1 個剛開裂花藥的花粉，於室溫中培養 1~3 小時後鏡檢並照相存檔，再分別計算不同處理條件下之花粉發芽結果。本試驗中花粉發芽率計算，係以花粉管長度大於花粉粒直徑者，始視為有效之花粉發芽。

(二)、不同液體培養基對彩色甜椒之 *in vitro* 花粉發芽的影響

以開花數量較多之匈牙利彩椒‘C00611A’(橘紅色果實)，進行五種不同液體培養基之比較，並分別探討 1~3 小時間，各培養基之花粉發芽情形，各培養基之詳細配方和成分詳見表 1 與表 2。以上述試驗中獲得之適當培養時間，又以開花數量較多之匈牙利彩椒‘C03338B’(橘紅色果實)，進一步進行 10 種培養基花粉發芽之測定，取得最佳之花粉發芽培養基種類，以提供不同 *in vitro* 培養溫度之發芽率比較。

表 1. 彩色甜椒花粉發芽之液體培養基的藥品成分與濃度

Table1. Chemical formula and concentration used in the liquid culture media for pollen germination of *Capsicum*.

藥品成分代號 Character	藥品化學式 Chemical formula	成分終濃度 Final concentration of formula
A	H ₃ BO ₃	100 ppm
B	MgSO ₄ · 7H ₂ O	200 ppm
C	Ca(NO ₃) ₂ · 4H ₂ O	300 ppm
D	CaCl ₂ · 2H ₂ O	100 ppm,
E	KNO ₃	100 ppm

表 2. 彩色甜椒花粉發芽之液體培養基的配方

Table2. Compositions of the liquid culture media for pollen germination of *Capsicum*.

培養基代號* Character for media	培養基組成分** Medium composition	蔗糖濃度 Sucrose (%)	PEG (MW: 3350) (%)
BandK-1	A+B+C+E	5%	-
BandK-2	A+B+C+E	10%	-
BandK-3	A+B+C+D3	-	10%
CS5	A+C	5%	-
DS5	A+D	5%	-
CSP5	A+C	5%	5%
DSP5	A+D	5%	5%
CS10	A+C	10%	-
CP10	A+C	-	10%
DS10	A+D	10%	-
DP10	A +D	-	10%)

* The character and formula were referred as Table 1.

** All of the medium were adjusted pH within 6.0~6.2.

(三)、溫度對彩色甜椒花粉 *in vitro* 發芽率之影響

以‘大吉星’、‘Chocolate Miniature Bell’、‘C05464A’、‘C03338B’與 ‘TC07167’ 等番椒 5 品系，分別於室溫(25°C)與高溫(34°C、39°C)下，進行溫度對 *in vitro* 花粉發芽率影響之探討。另外，於 95 年 5~6 月，取夏季期作網室內開花的“短筒鐘型”甜椒‘Chocolate Miniature Bell’、‘C05464A’、‘Dimond’、‘RB102’、‘KC104’、‘Diego’ (商業品種)、‘Pimento’與 ‘TC07167’等 8 品系，進行夏季高溫花朵之花粉發芽比較試驗。

(四)、試驗設計

試驗中每處理各作 3 重複，試驗設計採用完全隨機設計。試驗結果分析則採用 SAS 視窗版，進行 ANOVA (analysis of variance)分析以及 LSD (least significant difference)測驗分析。

二、高溫對彩色甜椒花粉授粉能力與花粉管生長之影響

(一)、試驗材料

以 12 個彩色甜椒 (*Capsicum annuum* L.) 品系為供試材料，其中 7 個品系為 93 年及 94 年自 57 個彩色甜椒品系經網室中夏秋兩期作，依園藝性狀選拔出可能具有耐熱潛力之

品系，其為 5 個“短筒鐘型”品系分別為‘C00947’ (橘色果實)、‘C01336’ (黃色果實)、‘C05464A’ (青椒)、‘RB 102’ (紅色果實)、‘KC 104’ (褐色果實)，另外 3 品系為“匈牙利”甜椒分別是‘C02080’ (橘紅色果實)、‘C00611A’ (橘紅色果實)、‘C03338B’ (橘紅色果實)。另有 4 個“短筒鐘型”甜椒品系，分別為‘C01184’ (黃色果實) ‘PS 38’ (黃色果實)、‘TC06979’ (橘紅色果實)，與商業品種‘麗妃星’ (黃色果實)等。

12 個品系甜椒種子於 97 年 1 月 26 播種於 72 格穴盤，約 1 週種子萌芽，萌後 1 週假植於 3 吋鉢，再經 2 週定植於 9 吋鉢，栽培介質為 Bio-Mix : 珍珠石 : 蛭石 = 1 : 1 : 1。各品系每處理 3 株盆栽，置於精密玻璃溫室栽培。

(二)、開花期高溫處理並進行人工授粉

彩色甜椒品系於栽培至第六週花芽分化期，進行植株高溫處理，限於生長箱容量，試驗中取 6 品系 ‘C01184’、‘C02080’、‘C00611A’、‘C00947’、‘TC06979’ 與 ‘麗妃星’ 植株分別移入(一)日溫/夜溫為 $33/27 \pm 2^\circ\text{C}$ 之生長箱。取 8 品系 ‘C01184’、‘C01336’、‘C02080’、‘C03338B’、‘C00611A’、‘C00947’、‘TC06979’ 與 ‘麗妃星’ 植株分別移入(二)日溫/夜溫為 $33/22 \pm 2^\circ\text{C}$ 之生長箱。對照組為 12 品系，係於精密溫室栽培，溫室溫度條件為日溫/夜溫 $27/22 \pm 2^\circ\text{C}$ ，光照 12~13 小時。以上之生長箱均設定其相對溼度 $70 \pm 10\%$ ，光照 12 hrs，照度 $300\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{ s}$ 。

各品系植株生長至第 8~12 週，進入開花期，於 90 DAS (Days after sowing) 至 120 DAS 開花期間，固定於下午 3~4 點針對翌日將開花之花朵，進行蕾期去雄處理，並於翌日早上 9~10 點再進行人工授粉，花粉來源則分別取自不同溫度栽培下之花朵。

(三)、螢光顯微鏡觀察授粉後之花粉管生長

完成人工授粉後 24 小時，採收其花朵並取下雌蕊進行以下之固定、軟化、染色等步驟 (卓, 1990; Kaufmane and Rumpunen, 2002)，再以螢光顯微鏡觀察授粉後花粉管生長情形；進行鏡檢觀察之螢光顯微鏡規格為 Zeiss Axioskop2-plus，螢光光源為 HBO 50/AC，濾光鏡片選用 DAPI，觀察倍數為 4×10 倍。

1. 固定：授粉 24 小時之雌蕊，浸於 F.A.A 固定液 【37%Formalin : 100% Acetic acid : 80% Ethanol=1 : 1 : 8 (V/V)】，經隔夜，再以 50% 酒精洗 3 次，每次間隔 10 分鐘。
2. 軟化：經固定好之材料，以 3N NaOH 在 60°C 下軟化 15 分鐘，至組織呈橙黃色，再以去離子水沖洗 2 次。
3. 染色：經軟化並沖洗乾淨之材料，置於含 0.1% aniline blue (溶於 0.1N K_3PO_3) 溶液中進行染色，染色時間為 3 小時。
4. 將染色完全的材料取出，放在載玻片上，加一滴 0.1% aniline blue，蓋上蓋玻片後施力壓平，預備進行觀察。
5. 觀察：以螢光顯微鏡觀察柱頭至子房的花粉管發芽與伸長情形並照相。

(四)、高溫對彩色甜椒結果與種子量之影響

配合高溫對甜椒 *in vivo* 花粉管生長之螢光顯微鏡觀察，進一步探討高溫對甜椒結果

與種子量之影響，將經高溫處理的 6 個彩色甜椒品系(含“短筒鐘型”彩色甜椒 4 品系‘C01184’、‘C00947’、‘TC06979’、‘麗妃星’；“匈牙利”紅椒 2 品系‘C02080’、‘C00611A’) 之開花株，分別繼續在高溫環境(33/22°C、33/27°C)下，或對照之精密溫室(27/22°C)條件下，栽培至第 100 天進行果實採收調查，並比較不同處理的各品系之平均種子數表現。

結 果

一、不同液體培養基對彩色甜椒 *in vitro* 花粉發芽之比較

“匈牙利”紅椒‘C00611A’品系之花粉，在 5 種液體培養基經過 1~3 小時的培養，其花粉發芽如表 5-3 所示。試驗結果顯示以 DP10 培養基進行花粉發芽，經 3 小時之發芽情形最佳，花粉發芽率達 51%(表 3；圖 1)。進一步以同樣為“匈牙利”彩色甜椒之‘C03338B’品系的花粉進行 10 種液體培養基的測試，經 3 小時之發芽，仍以 DP10 液體培養基之花粉發芽率明顯較高，而 BandK-1 發芽率明顯較低，其發芽率分別為 45.31%與 4.61%(表 4；圖 2)。比較 5 個“短筒鐘型”彩色甜椒的花粉在 DP10 培養基發芽率之差異，則以‘Chocolate Miniature Bell’花粉發芽率 70.4%明顯較高於‘C05464A’(36.%)與‘KC 104’(29.3%)二品系；而‘C00947’(53.7%)與‘C01184’(48.0%)次之(表 5)。

二、*in vitro* 發芽溫度對彩色甜椒花粉發芽之影響

比較高溫 34°C、39°C 與室溫 (25°C) 下，5 個彩色甜椒與 1 個辣椒品系(‘TC07167’) 在 DP10 培養基的花粉發芽率的結果顯示，室溫下‘Chocolate Miniature Bell’發芽率為 70.4%，明顯均高於商業品種‘大吉星’(Big Star) (25.7%)、‘C03338B’ (44.4%)、‘C05464A’ (36.3%) 與辣椒品系‘TC07167’ (41.6%) 等 4 品系 (表 6)。在 34°C 高溫下，也以‘Chocolate Miniature Bell’發芽率 (29.5%) 明顯較高，其他 4 品系在 34°C 高溫下之花粉發芽率已降至 10% 以下 (表 6)。而 39°C 的高溫則僅存‘Chocolate Miniature Bell’表現很低的發芽率(2.6%)，其餘 4 品系的花粉皆不具發芽能力 (表 6)。

另外，95 年夏季期作網室栽培之 7 個品系的彩色甜椒以及 1 個辣椒品系的花粉，進行發芽率比較結果顯示，‘Chocolate Miniature Bell’花粉發芽率達 51.03%，明顯高於商業品種‘Diego’ (0.37%)、‘Diamond’ (0.90%) 或‘Pimento’ (1.37%)，辣椒‘TC07167’與彩色甜椒品系‘RB102’發芽率僅約 10%，而‘C05464A’與‘KC104’發芽率則僅約 6% (表 7)。

表 3、匈牙利彩色甜椒‘C00611A’花粉在不同液體培養基與培養時間之發芽率

Table3 Germination rate of ‘C00611A’ paprika pepper pollen grains cultured in different liquid medium and period.

培養基配方代號	不同培養時間下之花粉發芽率 Pollen germination rate in different cultural period (%)		
	1 hr	2 hr	3 hr
CS5*	18.7	26.5	26.7
DS5	5.6	10.8	13.8
DS10	15.0	22.9	38.3
DSP5	7.9	23.9	25.5
DP10	30.1	40.7	51.3

* The character and formula were referred as Table 1 and Table 2.

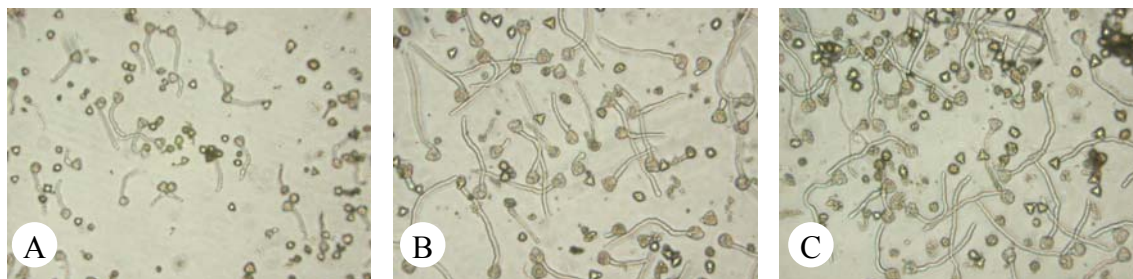


圖 1. 匈牙利彩色甜椒‘C00611A’品系之花粉培養在 DP10 培養基，經 1 小時(A)、2 小時(B)、3 小時(C)後，花粉發芽情形

Fig. 1. Pollen tube growth of ‘C00611A’ paprika pepper cultured in DP10 medium for 1 hr (A), 2 hr (B), and 3 hours (C).

表 4. 不同培養基對匈牙利彩色甜椒‘C03338B’之花粉發芽率的影響

Table 4. Pollen germination rate of ‘C03338B’ paprika pepper, in different liquid media.

發芽培養基種類 Germination medium**	花粉發芽率(%) Pollen germination rate (%)
BandK-1	4.61 c*
BandK-2	7.57 bc
CS5	15.10 bc
DS5	11.99 bc
CSP5	21.84 b
DSP5	15.46 bc
CS10	13.82 bc
CP10	37.44 ab
DS10	10.68 bc
DP10	45.31 a

* Means followed by same letters within a column are not significantly different using Fish's LSD (P=0.05%)

** The character and formula were referred as Table 1 and Table 2.

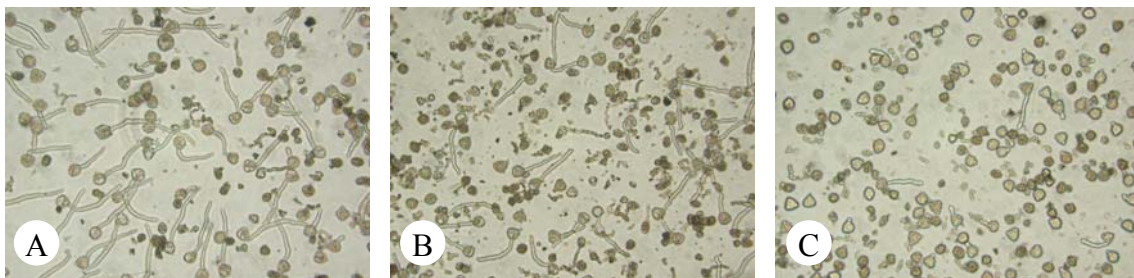


圖 2. 匈牙利彩色甜椒‘C03338B’品系之花粉培養在 DP10 (A)、CP10 (B)、BandK-1 (C) 培養基，經 3 小時後，花粉發芽情形

Fig. 2. Pollen tube growth of ‘C03338B’ paprika pepper cultured in DP10 (A), CP10 (B), and BandK-1 (C) media for 3 hours.

表 5. 五個“短筒鐘形”彩色甜椒品系的花粉在 DP 10 培養基之發芽率比較

Table5. Comparison of the pollen germination rate among five genotypes of bell peppers cultured in DP10 medium for 3 hours.

“短筒鐘型” 彩色甜椒品系 Genotype of bell pepper	花粉發芽率(%) Pollen germination rate (%)
C01184	48.0 ab*
Chocolate Miniature Bell	70.4 a
C00947	53.7 ab
C05464A	36.3 b
KC104	29.3 b

* Means followed by same letters within a column are not significantly different using Fish's LSD (P=0.05%)

表 6. 不同溫度對彩色甜椒花粉在 DP10 培養基花粉發芽率之影響

Table6 Influence of temperature on the pollen germination rate of *Capsicum* peppers cultured in DP10 medium.

番椒品系 Genotype of <i>Capsicum</i>	不同培養溫度下之花粉發芽率(%) Pollen germination rate in different cultural temperatures (%)		
	25±1°C	34±1°C	39±1°C
Big Star	25.7 b*	2.7 b	0
Chocolate Miniature Bell	70.4 a	29.5 a	2.6
C03338B	44.4 b	4.8 b	0
C05464A	36.3 b	10.4 b	0
TC07167**	41.6 b	5.1 b	0

* Means followed by same letters within a column are not significantly different using Fish's LSD (P=0.05%)

** 'TC07167' belongs to chili pepper.

表 7. 九十五年夏作 8 個番椒品系花粉在 DP10 培養基之發芽率比較

Table 7. Comparison of the pollen germination rate in DP10 media for 8 genotypes of *Capsicum* peppers cultured in the summer crop of 2006.

品系 Genotype	花粉發芽率(%) Pollen germination rate (%)
Chocolate Miniature Bell	51.03 a*
C05464A	6.17 bc
Dimond	0.90 c
RB102	10.60 b
KC104	6.60 bc
Diego	0.37 c
Pimento	1.37 c
TC07167**	10.23 b

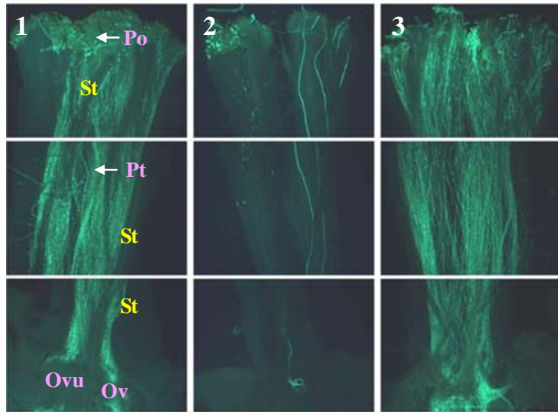
* Means followed by same letters within a column are not significantly different using Fish's LSD (P=0.05%)

** 'TC07167' belongs to chili pepper.

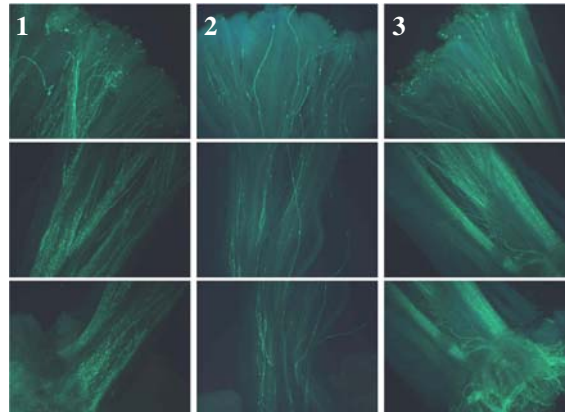
三、高溫對彩色甜椒花粉授粉能力與花粉管生長之影響

彩色甜椒 8 品系於花芽分化至開花期(42 DAS~62 DAS)，進行 33/27°C (D/N) 高溫處理結果顯示，除 'TC06979' 不開花，其餘 7 品系至 90 DAS 均進入盛花期。7 品系彩色甜椒開花株之花朵，經人工授粉以及螢光顯微鏡觀察結果，詳見圖 3。據螢光顯微鏡之鏡檢結果發現，適溫(27/22°C)中發育的花粉，以人工授粉方式授粉至適溫發育的雌蕊之柱頭上，或授粉至 33/27°C (D/N) 高溫發育的雌蕊柱頭上，其花粉均可正常發芽，且花粉管亦可正常生長並延伸至子房(圖 3)。但高溫(33/27°C)下發育的花粉進行人工授粉結果，則有品系間之差異，其中“短筒鐘型”‘C01184’、‘C01336’與“匈牙利紅椒”‘C03338B’、‘C00611A’等在 33/27°C 高溫發育的花粉，授粉於正常雌蕊之柱頭上，其花粉粒之發芽數以及可伸長至子房的花粉管數量，均明顯較正常花粉為低(圖 3)。唯匈牙利紅椒‘C02080’與“短筒鐘型”的‘C00947’二品系，其柱頭上之花粉發芽情形與花粉管延伸至子房的生長能力表現，皆與正常無異(圖 3)。

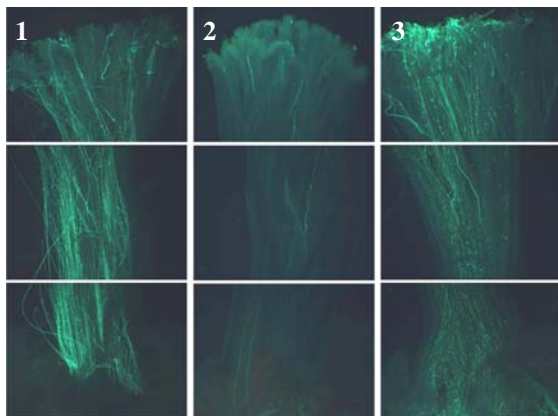
(A) 'C01184'



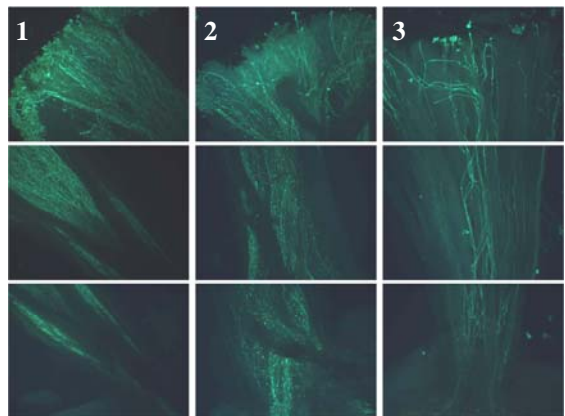
(B) '麗妃星'



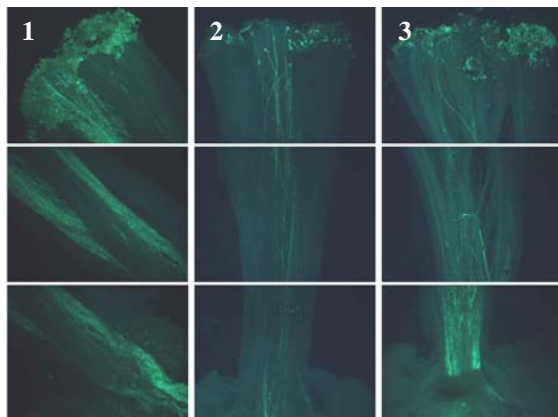
(C) 'C01336'



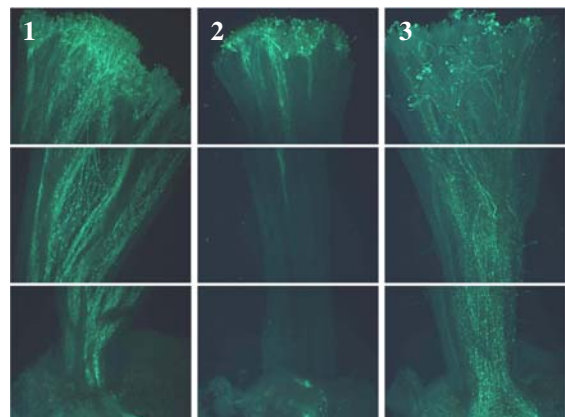
(D) 'C00947'



(E) 'C03338B'



(F) 'C00611A'



(G) 'C02080'

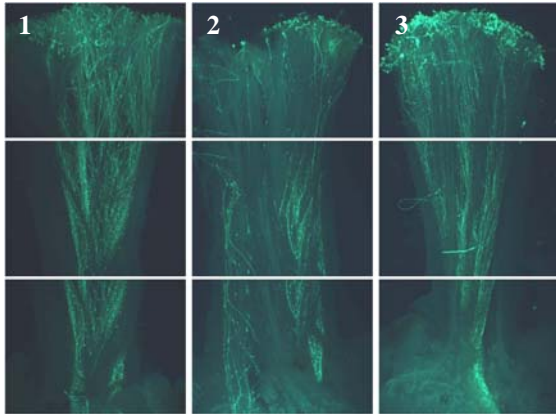


圖 3. 螢光顯微鏡觀察授粉後 24 小時之“短筒鐘型”甜椒品系‘C01184’(A)、‘麗妃星’(B)、‘C01336’(C)、‘C00947’(D)、及“匈牙利型”甜椒品系‘C03338B’(E)、‘C00611A’(F)、‘C02080’(G)柱頭上花粉發芽(上)與花粉管延伸過花柱(中)、至子房內(下)之生長情形。1：雌蕊及花粉均來自生長在 27/22°C 之植株；2：雌蕊及花粉分別來自生長在 27/22°C 及 33/27°C 之植株；3：雌蕊及花粉分別來自生長在 33/27°C 及 27/22°C 之植株。

Fig. 3 Pollen germination (upper row) and pollen tube growth through the style (middle row) and extend to the ovary (lower row) was evaluated using fluorescent microscopy after 24 hr of pollination in ‘C01184’ (A), ‘Beauty Star’ (B), ‘C01336’ (C), ‘C00947’ (D) bell pepper, and C03338B’ (E), ‘C00611A’(F), ‘C02080’(G) paprika pepper. 1: Both pistil and pollen grains were derived from plants grown at 27/22°C. 2: Pistil and pollen grains were derived from plants grown at 27/22°C and 33/27°C, respectively. 3: Pistil and pollen grains were derived from plants grown at 33/27°C and 27/22°C, respectively. (Po: pollen ; Pt: pollen tube ; St: style ; Ov: ovary ; Ovu: ovule)

四、高溫對彩色甜椒結實與種子量之影響

日溫/夜溫為 33/27°C 的高溫下，8 個彩色甜椒品系 (含 “短筒鐘型”5 品系 ‘C01184’、‘C00947’、‘C01336’、‘TC06979’、‘麗妃星’；匈牙利紅椒 3 品系 ‘C02080’、‘C00611A’、‘C03338B’)，其中有 2 個 “短筒鐘型”品系 ‘C01336’、‘TC06979’ 不具結實能力。可結實的 6 個彩色甜椒品系間，經比較 27/22°C 與 33/27°C 不同栽培溫度下的單株之種子數顯示，以匈牙利紅椒 ‘C00611A’ 的單株種子數分別為 423 與 210 種子/株，表現最高(表 8)。在 33/22°C 高溫下，試驗的 6 品系間，僅 ‘C02080’ 與 ‘C00947’ 二品系可結果，其單株種子數則分別為 79 與 59 種子/株 (表 8)。綜合 33/27°C 與 33/22°C 高溫下之結實與種子發育表現顯示，僅 ‘C02080’ 與 ‘C00947’ 兩品系可以結果且具正常種子發育；而此二品系相較於 27/22°C 適溫下的種子數之表現，發現 ‘C02080’ 是受高溫影響較小之品系(表 8)。

表 8. 八個彩椒品系於開花結果期，經不同溫度處理，至 100 DAS*果實採收之種子量比較
Table8. Comprising seed yield among 8 genotypes of colored sweet pepper that cultured in different temperatures regimes within anthesis and fruiting period, and harvested at 100 DAS.

番椒品系 Genotype of <i>Capsicum</i>	種子數/株 (平均值±SEM) Seed numbers per plant (Mean±SEM)		
	27/22°C	33/27°C	33/22°C
C01184	366 ± 125	70 ± 23.4	0
C02080	261 ± 63	143 ± 75	79 ± 40
C00611A	423 ± 108	210 ± 185	0
C00947	168 ± 39	60 ± 39	59 ± 32
C03338B	109 ± 70	96 ± 32	—
C01336	255 ± 145	0	—
TC06979	96 ± 12	0	0
麗妃星	249 ± 61	77 ± 26	0

*DAS: day after sowing

討 論

本研究中比較 12 品系的彩色甜椒花粉，在適溫(25±1°C)或高溫(33°C 以上)環境中之發芽率，係呼應高溫(D/N 33/27°C)栽培之結實與種子產量表現 (表 5、表 6、表 7、表 8)。試驗結果，適溫(25±1°C)下“短筒鐘型”之彩色甜椒以‘Chocolate Miniature Bell’、‘C01184’與‘C00947’，具較高之花粉發芽率，但 33°C 以上之高溫環境或夏作網室栽培(26~37°C)，則以‘Chocolate Miniature Bell’之發芽率最高。據 Erickson 與 Markhart (2001, 2002) 等學者研究結果，甜椒花芽分化期以 33°C 高溫處理 48 小時，將導致花粉喪失活力，無法正常授粉；研究中亦證實，高溫對於甜椒花粉活力不利之影響，大於對雌蕊之影響。Pagamas 與 Nawata (2008) 探討高溫逆境對辣椒果實與種子發育之影響發現，辣椒開花後 10 天期間蒙受高溫逆境，嚴重影響果實長度、重量以及種子數量，其結果與本研究之高溫結實表現(表 8)，亦有吻合之處。

據本研究中之花粉發芽結果顯示，藉花粉發芽活力對溫度的敏感性，可應用於彩色甜椒耐熱性之選種。初步由適溫(24±1°C)下，彩椒花粉發芽活力表現差異，估測結果力可能較高之品系；進一步篩選高溫(33±1°C)下，維持較高花粉發芽活力表現之材料，可加速具

耐熱潛力品系之選種，此方式簡便且可作為輔助耐熱選拔的生理指標之一。唯利用高溫下花粉發芽活力表現，進行耐熱性評估，可能需慎選兼具代表性與篩選能力的溫度範圍，始可提升選拔能力。本研究結果，33°C以上的高溫處理，由於溫度門檻過高，導致除‘Chocolate Miniature Bell’一個品系具有顯著性差異，仍無法比較出具有中度耐熱性之材料。又據近代多位學者(Erickson and Markhart, 2002；Karni and Aloni, 2002)研究顯示，33°C是甜椒授粉結果或花粉發芽活性的臨界高溫。本研究中，以如此臨界高溫處理，作為耐熱彩色甜椒花粉活力之評估，遂造成僅有少量材料具有如此明顯的耐高溫表現，故應用於育種族群較少的選種工作上，容易錯失其中具有中度耐熱性之樣品，未來針對輔助耐熱選種目標，或可於25~32°C範圍內，再探討可利用於比較品系間花粉發芽活力差異表現之最佳化溫度條件。

另以螢光顯微鏡觀察，彩椒花芽分化期至開花期遭遇高溫逆境中發育的花粉與雌蕊授粉能力之監測顯示，高溫對雌蕊的受粉能力影響較小。本試驗中於33/27°C高溫逆境下栽培，8個彩色甜椒品系中有7個品系可開花，且其雌蕊均具有授粉能力，以正常花粉進行此7品系的授粉處理，其花粉管可延伸生長達於子房內(圖3)。但耐熱性不佳之品系，其高溫下發育的花粉，經授粉處理則呈現花粉管生長不良，透過螢光顯微鏡觀察結果，該花粉發芽率或花粉管生長數量均明顯降低，此現象係與Erickson等前人(2001, 2002)研究結果相似，結論是：高溫對甜椒花粉活力不利的影響程度，確大於對雌蕊授粉力之影響。

綜合高溫下花粉發芽率，以及高溫逆境下授粉的花粉管在雌蕊中之生長情形，配合高溫下植株結果與種子生成量等結果觀之，本研究中的‘Chocolate Miniature Bell’、‘C02080’與‘C00947’可能是耐熱性較佳的品系，其中以‘Chocolate Miniature Bell’、‘C02080’尤佳。唯此三品系彩色甜椒之平均果實重量，分別為7公克、43公克與64公克。又據本研究初步結果，中、小型果實之彩色甜椒的耐熱性，可能較佳於大果形的“短筒鐘型”彩色甜椒。未來針對經濟利用上，中、大果形的“短筒鐘型”彩椒育種而言，‘Chocolate Miniature Bell’或‘C02080’小果品系，應可考慮作為耐熱性育種親本之利用；而耐熱性表現優良、園藝性狀較佳，並屬中果形的“短筒鐘型”彩椒品系‘C00947’，則可能具有直接利用之價值。

參 考 文 獻

- 卓俊銘。1990。百香果自交不親和性及其柱頭與花柱蛋白質合成之研究。國立臺灣大學園藝學系碩士論文。
- Aloni, B., L. Karni, Z. Zaidman, Y. Riov, M. Huberman, and R. Goren. 1994. The susceptibility of pepper (*Capsicum annuum*) to heat induced flower abscission: Possible involvement of ethylene. *J. Hort. Sci.* 69(5): 923-928.

- Bosland, P. W. and E. J. Votava. 2000. Taxonomy, pod type and genetic resources. p. 14-39. in: Peppers: vegetable and spice capsicums. CABI press. Wallingford, UK.
- DeWitt, D. P. W. Bosland. 1993. The Pepper Garden. Ten Speed Press Berkeley, California.
- Erickson, A. N. and A. H. Markhart. 2001. Flower production, fruit set, and physiology of bell pepper during elevated temperature and vapor pressure deficit. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 126(6): 697-702.
- Erickson, A. N. and A. H. Markhart. 2002. Flower developmental stage and organ sensitivity of bell pepper (*Capsicum annuum* L.) to elevated temperature. Plant, Cell and Environment 25: 123-130.
- Eshbaugh, W. H. 1983. Genetic resources of capsicum. Rome: international board for plant genetic resources.
- Karni, L. and B. Aloni. 2002. Fructokinase and Hexokinase from pollen grains of bell pepper (*Capsicum annuum* L.): Possible role in pollen germination under condition of high temperature and CO₂ enrichment. Ann. Bot. 90: 607-612.
- Kaufmane, E. and K. Rumpunen. 2002. Pollination, pollen tube growth and fertilization in *Chaenomeles japonica* (*Japanese quince*). Sci. Hort. 94: 257-271.
- Mesejo, C., A. Martinez-Fuentes, C. Reig, and M. Agusti. 2007. The effective pollination period in 'Clemenules' mandarin, 'Owari' Satsuma mandarin and 'Valencia' sweet orange. Plant Science 173: 223-230.
- Pagamas, P. and E. Nawata. 2008. Sensitive stages of fruit and seed development of chili pepper (*Capsicum annuum* L. var. Shishito) exposed to high-temperature stress. Sci. Hort. 117: 21-25.
- Reddy, K. R. and V. G Kakani. 2007. Screening *Capsicum* species of different origins for high temperature tolerance by in vitro pollen germination and pollen tube length. Sci. Hort. 112: 130-135.
- Rylski, I. and M. Spiglmán. 1982. Effects of different Diurnal temperature combinations on fruit set of sweet pepper. Scientia Horticulturae 17: 101-106.
- Smith, P. G. and Heiser, C. B. 1957. Taxonomy of *Capsicum sinense* Jacq. And the geographic distribution of the cultivated *Capsicum* species. Bulletin of Torrey Botanical Club 84:413-420.
- Wang, L. J. and S. H. Li. 2006 Thermotolerance and related antioxidant enzyme activities induced by heat acclimation and salicylic acid in grape (*Vitis vinifera* L.) leaves. Plant Growth Regulation 48 : 137- 144.

Influence of High Temperatures on Pollen Vigor and Pollination of Colored Sweet Pepper

Jau-Yueh Wang ¹⁾ Menq-Jiau Tseng ²⁾

Key words: Colored sweet pepper, High temperature, Pollen, Pollination

Summary

In order to assess the heat-tolerance behavior of 12 genotypes of the colored sweet peppers, including 6 bell pepper and 3 of paprika pepper that have been screened in the field and might have heat-tolerance potentiality, had been investigated under high temperature (33 degrees Centigrade) with an aim to evaluate the influence of pollen vigor *in vitro* and under high temperatures (33/27°C) within the reproduction growth period to evaluate the performances of pollination ability of pollen and fertilization ability of pistil. The result of the experiments indicated that high temperature (33°C) significantly reduced the pollen germination rates of tested colored sweet peppers. Except for 'Chocolate Miniature Bell' with 29.5% of pollen germination rate, and the other tested genotypes were all lower than 10.4%. In addition, the influence of the high temperatures (33/27°C) on the growth of pollen tubes was observed by the fluorescent microscope. High temperatures obviously reduced the pollination ability and pollen tube growth, but the fertilizing ability of pistil was not influenced. The tendency of the fruiting habits and the fruit quantity of tested genotypes under high temperatures were the same as the performances of pollen germination rates and the growing behavior of pollen tubes under the same condition. After generalized assessment about pollen vigor and pollinating results under high temperatures, 'Chocolate Miniature Bell', 'C02080', and 'C00947' should belong to the genotype with better heat-tolerance; however, 'C02080' was the best among them.

1) Assistant Researcher, Division of Biotechnology, Agricultural Research Institute, COA, Taiwan, ROC. Graduate student in Ph.D. program, Department of Horticulture, National Chung Hsing University.

2) Professor, Department of Horticulture, National Chung Hsing University. Corresponding author.