國內小番茄品種抗番茄捲葉病情形及試種評估

羅妙禎、王三太

農業部農業試驗所鳳山熱帶園藝試驗分所蔬菜系

摘要

近年來，番茄捲葉病 (Tomato leaf curl disease, TLCD) 對番茄產業造成嚴重衝擊，導致作物產量與品質大幅下降，而選育具抗性基因之品種被認為是最有效直接的防治途徑。本研究利用 Ty-2 及 Ty-3 分子標誌，調查國內 104 個優良雜交 F1 小果番茄品種，結果顯示有 84 個品種至少帶有 Ty-2 或 Ty-3 抗病基因，占總量 81%，顯示國內具抗病性的商業品種選擇眾多，惟農民對於各抗病品種的實際表現缺少種植經驗與驗證。後續進一步於溫室及露天田區試作評估，品種‘玉女’未帶任何番茄捲葉病抗病基因，其病毒感染率較高且病徵明顯；而於露天田區，大多數帶有抗病基因之品種展現良好抗病性，整體田區感染番茄捲葉病之情形輕微，顯示抗病品種具有進一步應用與推廣價值。

關鍵詞：番茄、番茄捲葉病、分子標誌、抗病品種

緒言

番茄 (*Solanum lycopersicum* L.) 為全世界栽培面積及產量均居首位之重要蔬菜作物，用途廣泛且營養價值高。近年來，在臺灣地區，小果番茄以餐後水果形式受到消費者喜愛，其市場需求與價格皆有明顯提升。然而，番茄栽培同時面臨多種病蟲害威脅，其中以銀葉粉蝨 (Silverleaf whitefly) 傳播的番茄捲葉病 (Tomato leaf curl disease, TLCD) 為影響最嚴重的病害之一。當番茄感染該病毒後，植株會出現葉片增厚捲曲、葉脈間黃化等徵狀，嚴重時新葉皺縮、頂芽扭曲變形，最終導致生長停滯、產量大幅下降，對農民造成極大經濟損失 (林，2022；戴與趙，2013)。

由於病毒無法以藥劑防治，且銀葉粉蝨傳播迅速，除了加強田間有害生物綜合管理之外 (張，2024；鄭，2023；賴，2023)，目前以種植抗病品種為最有效的防治策略。為提升番茄之抗病性，國內番茄育種已廣泛導入番茄捲葉病抗性性狀，惟農民對於各抗病品種的實際表現仍缺乏種植經驗與實際驗證。為了解目前國內小番茄品種抗番茄捲葉病情形，於 112 至 114 年間，本單位與高雄市美濃區農會及台灣種苗改進協會合作舉辦「優質抗耐病毒小果番茄商業品種觀摩會」，因此彙集國內種苗業者、試驗單位及其他商業品種共 104 個優良雜交 F1 小番茄品

種，初步利用已發表之抗病分子標誌進行篩選，並於田間試驗觀測各品系生長表現及抗病性評估。

利用分子標誌輔助評估番茄抗捲葉病抗性

選育抗病品種為田間病蟲害防治的關鍵重要策略，目前在育種工作上，經常利用分子標誌輔助選拔 (Marker-Assisted Selection, MAS) 技術，提升選拔效率及加速抗性基因導入 (Hanson *et al.*, 2016；Prabhandakavi *et al.*, 2021)。應用分子標誌與抗性基因的連鎖特性，能協助育種者準確判斷番茄品系中目標基因的存在 (Hussain *et al.*, 2025；Yang *et al.*, 2025)。經研究顯示，病毒抗性相關基因主要分布於野生番茄種原之中，其中以 *Solanum peruvianum* 被認為具有豐富的抗性資源 (Hussain *et al.*, 2025)。目前已知與抗番茄捲葉病相關的抗性基因包括 Ty-1 / Ty-3、Ty-2、Ty-4、ty-5 及 Ty-6 (Dhaliwal *et al.*, 2020)，陸續由育種人員從野生種番茄中將抗病基因導入現行市面栽培之番茄商業品種。

目前番茄抗病育種中廣泛篩選 Ty-2 與 Ty-1 / Ty-3，並常堆疊其他抗病基因以強化抗性 (Hanson *et al.*, 2016；Kaushal *et al.*, 2024)。Ty-2 基因來自於野生番茄 *Solanum habrochaites*，該基因編碼一種 NBS (nucleotide binding site) –LRR (leucine-rich repeat) 蛋白質，參與病原辨識與啟動免疫反應有關 (Shen *et al.*, 2020)。Ty-1 和 Ty-3 基因則來自於野生番茄 *Solanum chilense*，早期研究曾推測 Ty-1 和 Ty-3 為不同基因 (Ji *et al.*, 2007)，後續研究指出 Ty-1 與 Ty-3 為相同基因座之等位基因 (allele)，編碼一種 RNA 依賴型 RNA 聚合酶 (RNA-dependent RNA polymerase)，透過 RNA 靜默 (RNA silencing) 機制抑制外侵病毒的表現，提升植株的防禦能力 (Verlaan *et al.*, 2013)。

為了解國內小番茄商業品種帶番茄捲葉病抗性情形，本試驗挑選 11 個常見市售品種，以分子標誌 P1-16 (Hussain *et al.*, 2025 ; Yang *et al.*, 2014) 測試 Ty-2 基因型，及分子標誌 P6-25 (吳等，2018；Ji *et al.*, 2007a；Ji *et al.*, 2007b) 測試 Ty-3 基因型，種子播種後至 10 天齡之幼苗進行萃取葉片 DNA，後續以分子標誌 P1-16 及 P6-25 進行聚合酶連鎖反應 (Polymerase chain reaction, PCR) 及電泳分析。結果顯示，以 P1-16 探測 Ty-2 基因型，同質結合感病 (homozygous susceptible，S) 基因型、同質結合抗病 (homozygous resistant，R) 基因型產物條帶位置分別為 600 bp (ty-2) 及 300 bp (Ty-2)，異質結合 (heterozygous，H) 基因型則同時具有 600 bp 及 300 bp 條帶 (圖 1A)。以 P6-25 探測 Ty-3 基因型，感病等位基因條帶位置為 320 bp (ty-3)，而抗性等位基因則分別有 2 個基因型 Ty-3 及 Ty-3a，條帶位置為 450 bp (Ty-3) 及 650 bp (Ty-3a) (圖 1B)，其結果經與前人研究比對皆一致 (Nevame *et al.*, 2020；Nithyanandam *et al.*, 2025)。以國內 11 個商業品種進行初步判斷，在 Ty-2 及 Ty-3 上皆呈現同質結合感病基因型 (Ty-2 / Ty-3：S / S) 的品種有 ‘玉女’、‘翠紅’，而同時具 Ty-2 及 Ty-3 番茄捲葉病抗性，並呈現異質結合基因型 (Ty-2 / Ty-3：H / H) 的品種有 ‘惠女’、‘小明’、‘夏太后’、‘種苗亞蔬 25

號’，惟前 2 者與後 2 者之 Ty-3 分別為 Ty-3、Ty-3a 基因型；‘愛妃’、‘紅麗旺’、‘粉愛 1 號’ 僅帶 Ty-3a 抗性 (Ty-2 / Ty-3：S / H)；‘粉愛 3 號’ 與 ‘種苗亞蔬 25 號’ 則僅帶 Ty-2 抗性 (Ty-2 / Ty-3：H / S) (圖 1)。

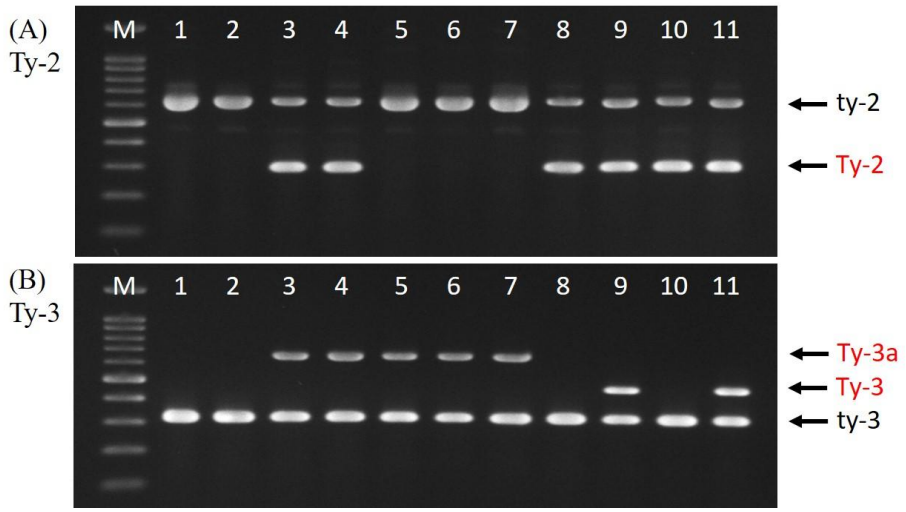


圖 1. 以分子標誌 P1-16 及 P6-25 分別檢測 11 個國內小番茄商業品種帶 (A) Ty-2 及 (B) Ty-3 之基因型。品種代號 1－10 依序為‘玉女’、‘翠紅’、‘惠女’、‘小明’、‘愛妃’、‘紅麗旺’、‘粉愛 1 號’、‘粉愛 3 號’、‘夏太后’、‘種苗亞蔬 22 號’、‘種苗亞蔬 25 號’。

Fig.1. Genotyping of 11 domestic cherry tomato commercial cultivars for (A) Ty-2 and (B) Ty-3 using molecular markers P1-16 and P6-25.

國內小番茄品種抗性情形

確認可應用於篩選番茄捲葉病抗性之分子標誌後，本研究共測試 104 個國內小番茄 F1 雜交優良品種，分別來自好農家種苗 7 個、宇辰種苗 13 個、良種農業 11 個、和生種子 6 個、長生種子 7 個、崧寶種苗 8 個、瑞成種苗 12 個、農友種苗 14 個、稼穡種子 8 個、豐田種苗 8 個及農業試驗所作物組 6 個、花蓮區農業改良場 3 個、臺南區農業改良場 1 個。分類方式上，同質結合抗病 (homozygous resistant，R) 基因型及異質結合 (heterozygous，H) 基因型皆歸類為帶有抗病基因。結果顯示，目前國內小果番茄品種不帶 Ty-2 及 Ty-3 抗病基因之品種共 20 個；僅帶有 Ty-2 抗病基因之品種共 11 個；僅帶有 Ty-3 抗病基因之品種共 50 個，其中為 Ty-3a 基因型之品種 45 個，占比最高；同時帶有 Ty-2 及 Ty-3 抗病基因之品種共 23 個，其中為 Ty-3a 基因型之品種 13 個 (圖 2)；以上至少帶有一個抗病基因之品種總計 84 個，占總量 81%，顯示國內市面上抗病品種選擇數量多，多數種苗業者皆育成抗番茄捲葉病之小番茄品種提供農民運用。

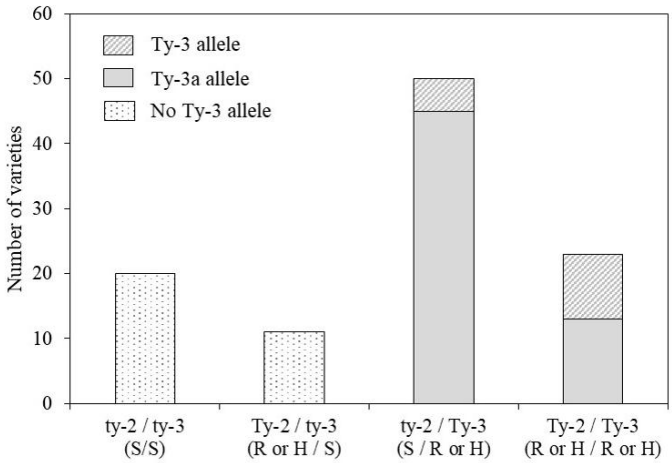


圖 2. 國內 104 個小番茄 F1 雜交優良品種帶有 Ty-2 或 Ty-3 抗病基因不同組合之數量。(同質結合抗病基因型，R；同質結合感病基因型，S；異質結合基因型，H)。

Fig.2. Number of 104 domestic F1 hybrid cherry tomato varieties with different combinations of Ty-2 or Ty-3 resistance genes. (R, Homozygous resistant genotype; S, homozygous susceptible genotype; H, heterozygous genotype).

溫室及美濃露天田區試種評估

為評估帶有抗病基因之番茄品種於實際田間環境中對捲葉病之抗病表現，本研究於 113 年 3 月至 6 月期間，定植 '惠女'、'玉女' 及 '538' 三個品種於高雄市鳳山區之溫室環境中，並在自然粉蝨族群傳播下觀察其發病情形。觀察結果顯示，'玉女' 品種未帶有 Ty-2 與 Ty-3 抗病基因，發病率相對較高，且病徵嚴重之植株比例亦較多；'惠女' 品種則同時帶有 Ty-2 與 Ty-3 之異質型組合，其發病率明顯低於 '玉女'；'538' 品種之發病情形介於兩者之間 (表 1)。結果顯示，具備 Ty 抗病基因之品種在自然感染條件下，整體發病比率較低，但仍可能出現病徵，顯示具抗病基因雖有助於減緩病害發生，不過其抗病效果並非完全免疫；然而，不具抗性之品種可能影響更顯著，植株發病率及後續病徵相對無法控制。

表 1. 不同 Ty-2 及 Ty-3 基因型之番茄品種感染番茄捲葉病之情形。

Table 1. Incidence of tomato leaf curl disease in tomato cultivars with different Ty-2 and Ty-3 genotypes.

品種	Ty-2 基因型	Ty-3 基因型	定植數量	有病徵株數	有病徵且嚴重株數	感染率
惠女	H	H	48	7	3	21%
538	S	H	48	13	0	27%
玉女	S	S	48	9	11	41%

S, homozygous susceptible genotype; H, heterozygous genotype.

另與高雄市美濃區農會及台灣種苗改進協會合作舉辦「優質抗耐病毒小果番茄商業品種觀摩會」，113 年 9 月至 114 年 2 月期間，定植 30 個國內 F1 小番茄品種於美濃露天田區，後期調查其田間 TYLCV 發病率，對照品種‘玉女’發病率不高，介於 10%~15% 間，且整體而言，田區感染病毒病之情形輕微。其中以品種 8、12、15 發病率較高，但此 3 個品種其 Ty-2 與 Ty-3 基因型皆不相同；另品種 14 之 Ty-2 與 Ty-3 皆為感病型，但田間無明顯病毒發生徵狀 (表 2)。

表 2. 不同 Ty-2 與 Ty-3 基因型番茄品種於高雄市美濃地區之番茄捲葉病田間發病情形。

Table 2. Field incidence of tomato leaf curl disease in tomato cultivars with different Ty-2 and Ty-3 genotypes in Meinong, Kaohsiung.

品種編號	Ty-2	Ty-3	番茄捲葉病發生比率	
			第一重複區	第二重複區
1	S	H		
2	S	H		
3	S	H	5%	
4	H	H		
5	S	H	15%	
6	S	H		
7	S	H		
8	S	S	40%	40%
9	S	H		
10	H	H	10%	
11	S	H		
12	S	H	40%	
13	H	S		
14	S	S		
15	H	S	50%	15%
16	H	H		
17	S	H		
18	S	H		
19	H	H		
20	S	H		
21	S	H		
22	H	H		
23	S	H		
24	S	H		
25	H	H		
26	H	H		
27	H	H		
28	H	H		
29	R	S		
玉女	S	S	15%	10%

R, homozygous resistant genotype; S, homozygous susceptible genotype; H, heterozygous genotype.

結果與討論

在臺灣小果番茄的生產中，以口感與風味俱佳的‘玉女’品種為大宗，然而‘玉女’對番茄捲葉病 (TLCD) 相對感病，一旦感染常導致嚴重病徵，進而影響產量而不利收成。經本試驗對多個國內 F1 品種進行分子標誌檢測及田間試種結果顯示，近年國內研究單位與種苗業者已成功育成多個具抗病性的新品種，為番茄栽培提供了更多元且具防禦力的選擇。

然而，進一步依本試驗的分子標誌與田間試種結果比對，尚無法明確推論哪個特定抗病基因 (如 Ty-2 或 Ty-3) 或何種組合與抗病程度之間的直接關聯，此與多篇前人研究評估之結果相符 (林與吳，2018；Elbaz *et al.*, 2016；Yang *et al.*, 2025)，推測抗病表現與植株本身的遺傳背景、環境條件及基因間互作等多重因素相關。不過，透過堆疊 (pyramiding) 多個 Ty 基因，如 Ty-1 / Ty-3 與 Ty-2 的組合，仍被報導有助於提升植株的整體抗性並延長其持久性 (Kaushal *et al.*, 2024；Prabhandakavi *et al*., 2021)。

高雄市美濃區為國內重要番茄產區，但因病毒病難以防治而影響農民收益。本研究於該地進行兩年度的抗病品種比較試驗，結果顯示，抗病品種在田間具良好耐受性，且對照組病徵亦不明顯。Gambley 等 (2020) 指出，廣泛栽培抗病品種可顯著降低地區性病毒發病率及帶毒的銀葉粉蝨族群數量。因此，在番茄栽培產業中，建議優先選用抗病品種，以減輕病蟲害防治壓力與確保生產效益。

綜合本研究結果，以分子標誌篩選抗病基因及推廣抗病品種於產業栽培，皆有助於番茄生產的穩定發展，惟仍需持續評估其他抗病基因 (如 Ty-4、ty-5 及 Ty-6)、生長表現及果實品質等特性，以作為未來育種與品種選擇的重要依據。

謝辭

本研究感謝高雄市美濃區農會、台灣種苗改進協會、又生農場合作辦理「優質抗耐病毒小果番茄商業品種觀摩會」，並向提供試驗番茄品種之種苗業者與研究單位致上誠摯謝意。另感謝王佳暉先生、林衿小姐、張純婉小姐、許雯娟小姐、陳綉萍小姐、蘇麗琴小姐協助試驗研究與調查，一併致上無限謝忱。

引用文獻

1. 吳靜霞、賴佳甫、林煜恒. 2018. 以分子標誌篩選抗黃化捲葉病之番茄種原. 臺中區農業改良場研究彙報 140:41－54.
2. 林怡均. 2022. 史上最嚴重「瘋檬」,番茄瘟疫蔓延中！美濃已上百公頃染疫，農友：不圖救助更需對策. https://www.newsmarket.com.tw/blog/177629/
3. 林煜恒、吳靜霞. 2018. 番茄中不同 Ty 基因組合對於番茄黃化捲葉泰國病毒種之抗病力研究. 臺中區農業改良場研究彙報 139:13－26.
4. 張淳淳. 2024. 番茄病毒病管理與 IPM 操作指引. 臺南區農業專訊. 129:11－14.
5. 鄭櫻慧. 2023. 臺灣番茄病毒病害之發生與管理. 農業世界雜誌 482:19－21.
6. 賴信順. 2023. 番茄園內銀葉粉蝨的農藥輪用策略. 農業試驗所技術服務季刊 135:9－12.
7. 戴振洋、趙佳鴻. 2013. 臺灣番茄病毒病介紹－以黃化捲葉病毒病為例. 臺中區農業改良場特刊 116:73－80.
8. Dhaliwal, M. S., S. K. Jindal, A. Sharma, and H. C. Prasanna. 2020. Tomato Yellow Leaf Curl Virus Disease of Tomato and Its Management through Resistance Breeding: A Review. The Journal of Horticultural Science and Biotechnol. 95:425－444.
9. Elbaz, M., P. Hanson, S. Fgaier, and A. Laarif. 2016. Evaluation of Tomato Entries with Different Combinations of Resistance Genes to Tomato Yellow Leaf Curl Disease in Tunisia. Plant Breeding 135:525－530.
10. Gambley, C., P. Nimmo, J. McDonald, and P. Campbell. 2022. The Establishment and Spread of a Newly Introduced Begomovirus in a Dry Tropical Environment Using Tomato Yellow Leaf Curl Virus as a Case Study. Plants 11:776.
11. Hanson, P., S. F. Lu, J. F. Wang, W. Chen, L. Kenyon, C. W. Tan, K. L. Tee, Y. Y. Wang, Y. C. Hsu, R. Schafleitner, D. Ledesma, and R. Y. Yang. 2016. Conventional and Molecular Marker-Assisted Selection and Pyramiding of Genes for Multiple Disease Resistance in Tomato. Scientia Horticulturae 201:346－354.
12. Hussain, E., C. Y. Cheng, I. M. Huang, C. Y. Lin, S. Gul, I. R. Noorka, A. Eybishitz, C. Kanchana-udomkan, M. V. Zonneveld, and Y. P. Lin. 2025. Molecular Screening of Wild and Cultivated Tomato Germplasm Reveals Potential Materials for Multi-Locus Disease Resistance Breeding. Genet. Resour. Crop Evol.
13. Ji, Y., B. Betteray, J. Smeets, K. S. Jensen, L. Mejia, J. W. Scott, M. J. Havey and D. P. Maxwell. 2007a. Co-dominant SCAR Marker, P6-25, for Detection of Ty-3, Ty-3a, and Ty3b introgressions from three Solanum chilense accessions at 25 cM of chromosome 6 of Begomovirus-resistant tomatoes. <http://www.plantpath.wisc.edu/GeminivirusResistantTomatoes/Markers/MAS-Protocols/P6-25-locus. pdf.>

14. Ji, Y., D. J. Schuster, and J. W. Scott. 2007b. Ty-3, a Begomovirus Resistance Locus near the Tomato Yellow Leaf Curl Virus Resistance Locus Ty-1 on Chromosome 6 of Tomato. Molecular Breeding 20:271－284.
15. Kaushal, A., A. T. Sadashiva, K. V. Ravishankar, S. Sriram and M. K. Reddy. 2024. Marker-Assisted Pyramiding of Ty-2, Ty-3, Ph-2, and Ph-3 Genes for Combined Resistance to Tomato Leaf Curl and Late Blight Diseases in Tomato (Solanum Lycopersicum L.). Eur. J. Plant Pathol. 168:557－570.
16. Nevame, A. Y. M., L. Xia, Z. Wenting, C. G. Nchongboh, L. Wenhu, M. M. Hasan, M. A. Alam, and S. Longting. 2020. Validation of Some Disease-Resistance Molecular Markers Associated with Multiple Diseases in Tomato for Marker-Assisted Selection Program. ScienceAsia 46:19－29.
17. Nithyanandam, A., T. Saraswathi, C. I. Rani, N. K. Jena, S. Harish, S. L. Garnepudi, N. Manivannan, and N. M. Boopathi. 2025. Deciphering Gene Specific Molecular Characterization and Partial Gene Sequence for Combined Resistance to Tomato Leaf Curl Virus (ToLCV) (Ty-1, Ty-2 and Ty-3), Fusarium Wilt (I-2) and Root-Knot Nematode (Mi-1) in Selected Fresh Market Breeding Line of Tomato (Solanum Lycopersicom L.). Molecular Biology Reports 52:59.
18. Prabhandakavi, P., R. Pogiri, R. Kumar, S. Acharya, R. Esakky, and M. Chakraborty, R. Pinnamaneni, and S. R. Palicherla. 2021. Pyramiding Ty-1/Ty-3, Ty-2, ty-5 and ty-6 Genes into Tomato Hybrid to Develop Resistance against Tomato Leaf Curl Viruses and Recurrent Parent Genome Recovery by ddRAD Sequencing Method. J. Plant Biochem. Biotechnol. 30:462－476.
19. Shen, X., Z. Yan, X. Wang, Y. Wang, M. Arens, Y. Du, R. G. F. Visser, R. Kormelink, Y. Bai, and A. M. A. Wolters. 2020. "The NLR Protein Encoded by the Resistance Gene Ty-2 Is Triggered by the Replication-Associated Protein Rep/C1 of Tomato Yellow Leaf Curl Virus. Frontiers in Plant Science 11:545306.
20. Verlaan, M. G., S. F. Hutton, R. M. Ibrahem, R. Kormelink, R. G. Visser, J. W. Scott, J. D. Edwards, and Y. Bai. 2013. The Tomato Yellow Leaf Curl Virus Resistance Genes Ty-1 and Ty-3 Are Allelic and Code for DFDGD-Class RNA-Dependent RNA Polymerases. PLOS Genet. 9:e1003399.
21. Yang, L., J. Ren, H. Yang, T. Zhou, and W. Yang. 2025. Presence of Disease Resistance Genes in Tomato Germplasm Revealed by Gene-Based or Gene-Linked Molecular Markers. Molecular Breeding 45:34.
22. Yang, X., M. Caro, S. F. Hutton, J. W. Scott, Y. Guo, X. Wang, M. H. Rashid, D. Szinay, H. de Jong, R. G. Visser, Y. Bai, and Y. Du. 2014. Fine Mapping of the Tomato Yellow Leaf Curl Virus Resistance Gene Ty-2 on Chromosome 11 of Tomato. Mol Breeding. 34:749－60.

Incidence of Tomato Leaf Curl Disease and Field Evaluation of Domestic Cherry Tomato Cultivars

Miao-Zhen Luo and San-Tai Wang

Department of Vegetable Crops, Fengshan Tropical Horticultural Experiment Branch, Taiwan Agricultural Research Institute, Ministry of Agriculture.

ABSTRACT

In recent years, tomato leaf curl disease has caused severe impacts on the tomato industry, leading to substantial reductions in yield and fruit quality. Breeding tomato cultivars with resistance genes is considered the most effective and direct control strategy. In this study, Ty-2 and Ty-3 molecular markers were used to screen 104 domestic F1 hybrid cherry tomato cultivars. The results showed that 84 cultivars (81%) carried at least one of the resistance genes Ty-2 or Ty-3, indicating that diverse commercial resistant cultivars are available in Taiwan. However, growers generally lack cultivation experience and on-farm verification of the actual performance of these resistant cultivars. Subsequent evaluations were conducted under greenhouse and open-field conditions. The cultivar 'Rosada', which has neither Ty-2 nor Ty-3, exhibited a higher infection rate and more severe symptoms. In contrast, in open-field trials, most cultivars with resistance genes showed high resistance, and the overall incidence of TYLCV was low. These results highlight the potential value of resistant cultivars for further application and promotion in tomato production.

Key words: Tomato, tomato leaf curl disease, molecular marker, resistant cultivars.