

番茄萎凋病的發生診斷 與病害綜合管理



王添成・許宗銘

一、前言

本病害最早的記載是西元1895年，Massee G.E.首次描述，由鐮孢菌（Fusarium）引起的番茄萎凋病發生於英格蘭。這是一種廣泛分佈於世界各番茄產區的重要土壤傳播真菌性病害，已經發生為害超過30個以上的國家。

國立中興大學植物病理系孫守恭與黃振文兩位教授於1982年首次報導，在高雄縣彌陀鄉發現番茄萎凋病發生為害，此乃是台灣有關此病害的正式記載。他們接著由種子帶菌率的檢測結果，推測此病害在當年可能經由國外隨著番茄種子傳入的。其後，除少數文獻有台灣菌株的記載外，國內並無學者再針對此病害作更深入研究與長期監視追蹤，因此，迄今除筆者外，並無對台灣地區番茄萎凋病族群的研究報告可供參考，也欠缺這個病原菌相關族群結構的詳細資料。

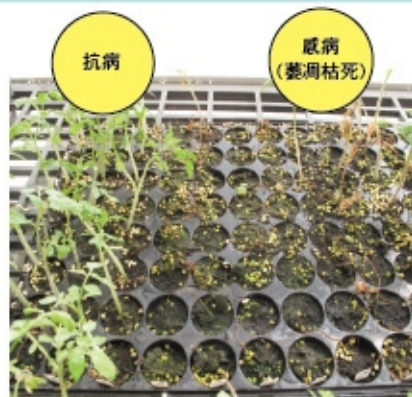
自1999年至2009年的10年間，筆者每年均到全省各番茄主要產區，調查瞭解番茄重要病害發生為害的情況，就注意到番茄萎凋病在許多縣市的栽培區已經有逐漸蔓延擴展的趨勢，是一大棘手的病害，相當值得重視，於是向農委會防檢局爭取經費進行一系列的研究。當時在一些番茄專業栽培區，例如南投縣竹山鎮與信義鄉、



圖一、生育後期多數番茄植株呈現嚴重黃化萎凋之狀況

台南市官田區、高雄市大樹區、屏東縣萬丹區、台東縣關山鄉與池上鄉、花蓮縣吉安鄉與富里鄉等等，常可見到田間成片番茄植株黃化萎凋的罹病狀況(圖一)，因此，本病害已實際影響台灣地區的番茄生產，常常造成許多番茄農戶重大的經濟損失。

台灣農民種植的番茄品種相當多樣化，除少量的可果美加工番茄外，主要以鮮食品種為主。筆者已觀察到許多大果番茄及小果櫻桃番茄品種，均常遭受本病害的侵染為害，但以市場佔有率最高的大果「黑柿種」(果實呈現綠肩之園藝特性)對此病害最為感病。近年來，種植面積一直持續擴大的外來種「牛番茄」似乎表現相對地耐病，宜蘭地區的主要栽培品種「桃太郎番茄」的田間表現也是比較具有耐病性。



圖二、幼苗感病後呈現快速萎凋枯死症狀



圖三、果實成熟期開始呈現黃化萎凋症狀



圖六、罹病株的一側呈現典型黃化症狀



維管束褐化之感病反應



抗病反應



圖四、溫室內人工接種後，幼苗呈現的抗病與感病反應。



圖五、整株呈現黃化、萎凋及死亡

二、病徵

番茄萎凋病俗稱「半身萎凋病」或「黃葉病」，其實這乃是根據田間番茄罹病後所呈現的症狀而命名。當環境適合發病時，自苗期(圖二)到成株期(圖三)均容易被侵入感染而發病；然而一般較為明顯的病徵，則大多出現在番茄開花期到果實成熟期。

由於此病原菌是一個典型的土傳真菌，所以，它的厚膜孢子發芽後，發芽管直接侵入番茄根尖或根部傷口感染後，通常會沿著莖部維管束由下往上進展。番茄苗期罹病後，呈現維管束褐化，會迅速萎凋死亡(圖四)；較大植株罹病則常延遲至結果期才發病。初期病徵呈現葉脈透明化及葉片偏上生長，並由下位葉逐漸向上黃化及萎凋。隨後葉柄下垂，葉片枯死，最後整株枯萎死亡(圖五)。初期徵狀往往只出現於植株一側黃化(圖六)，這種黃化現象會逐漸影響整個葉片，而且在白天炎熱時段常伴隨著萎凋；而另一側葉片則仍然是正常的綠色，因而常被叫做「半身萎凋」。

病」。最後，萎凋現象會逐漸的嚴重到整個植株死亡(圖七)。

剝開罹病株的莖部縱切面，可見維管束明顯褐變(圖八)。這種褐變現象會沿著莖部向上擴展到葉柄與莖部連接處，因此，用手拔除已黃化葉片的葉柄時，亦可見到葉柄維管束顯著地褐化(圖九)，這些都是田間診斷的重要依據。不過，其髓部仍維持健全，未顯現相同症狀。有時根據果實內維管束的退色，也能檢測到果實感染此病害。

三、田間診斷要領

此病害與青枯病及白絹病之區別：

(一)自番茄植株單一側顯現葉片黃化的葉柄拔離莖部，檢視葉柄內維管束是否已經褐變(圖九)？

(二)利用銳利刀片削開黃化萎凋的莖部縱切面，檢視其維管束是否已褐變(圖八)？惟此褐變的莖部組織放置於清水中數分鐘後，不會有白色煙霧狀的東西如青枯病菌滲漏出來。

四、病原生態與傳播途徑

番茄萎凋病是由 *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (Sacc.) W.C. Snyder & H.N. Hans 所引起的維管束病害。它是一種典型的土棲性病原真菌，可產生大小不同的孢子類型，分別在病害發展過程中扮演不同的角色。在土壤中，它會形成厚膜孢子，具有堅韌外壁保護的重要休眠構造，以度過惡劣環境，即使在缺乏寄主的情況下，仍可殘存在土壤裡或田間雜草達數年之久。

當番茄被移栽到田裡時，土壤中的



圖七、整株黃化後逐漸枯萎而死亡



圖八、莖部縱切面顯現維管束明顯褐變



圖九、罹病株葉柄之維管束顯著地褐化

病原菌孢子立即會萌發，開始侵染番茄根部，纏繞並沿著莖部維管束往上進展，因而逐漸影響維管束的正常輸送水份與營養份功能，以致在番茄結果中後期，需要大量的營養與水份供應時，造成植株的逐漸萎凋與死亡。

當土壤與空氣溫度均接近28℃，土壤濕度最適合番茄生長；或者番茄先經歷了低氮、低磷、高鉀、低土壤pH值、短日照及低光度等環境，均有利於此萎凋病的進展。微量元素、磷、氨態氮均能增強此病原菌的致病力，但它也會被硝酸態氮降低。

當空氣中相對濕度較高時，罹病株的

組織表面常產生大量的粉紅色大孢子及小孢子，它們可藉由灌溉水、雨水、風力，甚至田間操作的農業機械、雨鞋、工作服、工具、支柱、罹病土等附著在移植苗根部，或者經由罹病株根系與健全株根系的直接接觸等途徑，作田間短距離的傳播。種子帶菌率很高，可經由種子或罹病種苗作較長距離的傳播，諸如透過人為的農業貿易活動或跨越國界的國際農業貿易，都能遠距離的傳播這個病害。

五、病原菌生理小種的出現與抗病品種之研發

利用抗病品種防治此種典型之土傳性病害，乃是最簡便、最便宜且最有效的方法，然而其抗病性並非永遠有效的，這也就是為什麼經常會有農民朋友提出「為何抗病品種推廣後變成不抗病了？」「為何過去幾年均表現抗病的品種，現在卻變成感病品種了？」諸如此類的疑問，這也是反應出自自然界的寄主植物與病原菌共同演化的自然法則。如同其他的病原菌，此病原菌族群在田間的分佈是動態的，其遺傳變異是持續的。菌體的變異是病原菌進化的動力，新菌系的出現能打破原有番茄的抗病性。

根據此病原菌與鑑別寄主植物番茄(Bonny Best, UC82-L, Fla.MH-1, IR-3)之間所呈現的病害反應，迄今已經有3個生理小種被鑑定報告出來(表1)。依其被發現的先後順序分別命名為生理小種1(race 1)、生理小種2(race 2)、生理小種3(race 3)。生理小種1的分佈最為廣泛，它的發生為害已

經涵蓋了世界大部份的番茄產區。生理小種2於1940年最早發生於美國俄亥俄州，然而它並未引起經濟上的損失；直到1961年它又被發現為害於佛羅里達州，然後很快地也發生於其他幾個州及世界上許多國家，包括澳大利亞、巴西、英國、以色列、墨西哥、摩洛哥、紐西蘭及伊拉克等國家。生理小種3於1966年首次報告發生於巴西，然後它已經被發現於澳大利亞、墨西哥以及美國的佛羅里達州、加州、喬治亞、阿肯色、北卡羅來納及田納西等州。甚至近年來東亞地區的日本亦見報導其發生。雖然生理小種3可打破目前大部分栽培品種的抗病性，然而比起生理小種1及生理小種2，其分佈仍屬較為侷限。

由於病害的嚴重性以及高致病力的新生理小種之不斷出現，因此，這些年來植病研究人員的積極努力，已經陸續開發了幼苗斷根或浸根的抗病檢定技術，自番茄野生種原中篩選出許多優良的抗病材料。其後，經遺傳分析結果證實，對不同生理小種的抗病性是分別由三對獨立的單一顯性基因所控制，每一對基因對應不同的生理小種，這三對基因分別被命名為I、I-2及I-3。透過正常種間雜交育種程序，可成功地將抗病基因轉移至栽培種番茄。例如美

表1. 番茄萎凋病菌生理小種的鑑定

鑑別寄主	萎凋病害反應		
	生理小種1	生理小種2	生理小種3
Bonny Best	感病	感病	感病
UC82-L	抗病	感病	感病
Fla.MH-1	抗病	抗病	感病
IR-3	抗病	抗病	抗病

表2.達機取樣後對番茄萎凋病菌生理小種1及2皆具抗病性的商業品種

品種名稱	種子供試單位	果實特性
農友「金光」	農友種苗公司	橙黃色大果
生生「金皇」	生生種子公司	橙黃色大果
生生「班尼達」	生生種子公司	全紅中型果、耐儲運
先正達「雙收」	和生種子公司	綠肩大果、高硬度
台中「亞蔬十一號」	種苗場	紅色小果
花蓮「亞蔬十二號」	種苗場	橘黃色小果
花蓮「亞蔬十四號」	種苗場	橘黃色小果

國佛羅里達農業試驗場推廣的Water品種，係由*Solanum pimpinellifolium* 與*S. lycopersicum*雜交選育的品系PI126915選育而來，對Race 1與Race 2具有高度的抗病性，至今仍是最佳的抗病種原。目前廣為人知的抗Race 1與2的栽培品種，有Water、Rodade及Fla.MH-1等等，而對Race 1、2與3同時抗病的品種有IR-3。

雖然世界上現在已有許多抗病的商業番茄品種開發出來，但實際上的防治效果，則需看其擁有哪些抗病基因與該地區田間存在的病原菌優勢小種而定。由於台灣在早期的田間番茄萎凋病族群檢測結果，生理小種1是當時的優勢小種，因此，每家種子公司或政府機構的抗病育種目標，都是選育抗生理小種1的品種來推廣給農民種植。根據筆者2006年在亞蔬中心工作時，曾逢機檢測台灣農民常栽種的39個番茄商業品種結果，全部供試品種均顯示抗生理小種1，其中只有7個對生理小種1及2均具有抗病性(表2)，誠屬難得。爾後，各公私機構均相當積極投入抗生理小種2的抗病選育工作，因此，抗病品種也

已陸續研發出來，並推廣應世。

筆者曾於2004~2006年間，自台灣各番茄產區採集萎凋病罹病株，加以分離鑑定小種類別，以瞭解病原菌族群之結構與變換，結果相當有趣。資料顯示，僅極少數菌株仍為生理小種1之外，絕大多數菌株均是生理小種2，所以，生理小種2已經變成台灣地區的優勢小種，而且已普遍出現分佈於台灣各地的番茄產區。目前台灣地區仍有農民對此病害認識不深，過於偏重園藝特性，而栽培對生理小種2不具抗病性的品種，再加上密集與連作栽培的耕作方式，以及病原菌族群已經由生理小種2取代原先的生理小種1族群，這些都是造成近年來本病害常大規模發生為害的主要原因。

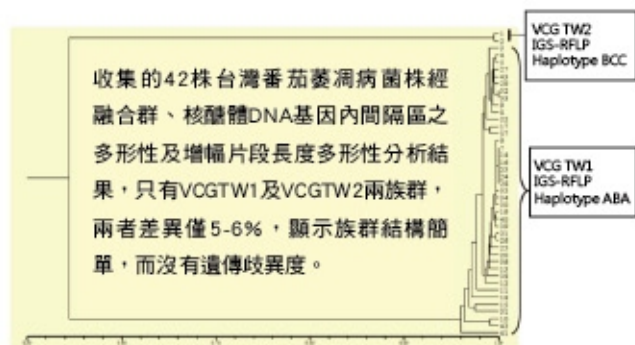
國外的番茄萎凋病菌族群研究報告指出，本病原菌的新生理小種除可由當地病原族群的汰選產生外，亦常經由人為的農業貿易活動引進。因為近年來的國際貿易之頻繁交流，外來病原菌容易隨農產物引進，這或許是吾人應當更需重視的部份。就以美國南部與日本為例，學者推測其生

理小種3的出現是人為引進的，新生理小種3的族群快速取代了原本存在於當地田間的生理小種1及生理小種2族群，因而造成當地番茄產業的嚴重衝擊。

至2009年，筆者工作團隊自台灣地區共採集196個番茄萎凋病菌株，所幸尚未檢測出生理小種3的存在(表3)，因此，今後農業科研機構應該再加強此病原菌田間族群的監測與進口番茄種子的嚴格檢疫工作，以避免不慎引入生理小種3，而導致嚴重疫情的發生與農民經濟的重大損失。

六、病原菌族群結構之探討

目前已有許多方法應用在萎凋病的族群研究上，包括融合群(Vegetative compatibility groups; VCGs)、同工異構酵素圖譜(isozymes)、粒線體DNA與核糖體DNA限制酵素多形性(RFLP)與PCR指紋圖譜分析等等，利用來評估番茄萎凋病菌族群的種內變異與遺傳歧異度，並探討新生理小種的起源與其病原菌的演化。其中融合群是被用來鑑別不完全菌之病原族群很普遍的方法，係以供試材料的硝酸利用缺陷株間的營養互補，決定該菌之融合群歸類。



圖十、核糖體DNA基因內間隔區IGS之序列分析

目前番茄萎凋病菌族群的研究以美國較為完整，大多數的研究顯示，分生技術的分析結果與其融合群歸類大致符合。至今已發現五種融合群，分別為VCG0030、0031、0032、0033與0035，然而與其生理小種類別並無明顯相關性，例如VCG0030包括三種生理小種，是目前最普遍的融合群類別；VCG0031與0032各包括Race 1與Race 2；VCG0033只鑑定出Race 3；而VCG0035只鑑定出Race 2。

Elias 與 Schneider認為控制菌絲融合親和性的基因較毒力相關基因穩定，在病原菌演化過程中，一旦與其毒力相關基因發生突變，極可能產生新的生理小種，所以，在相同融合群中常可發現不同生理小種。Cai等人就綜合其RFLP分析結果，推論在美國加州的生理小種3的起源，係由原本當地生理小種2的族群中演化出來的。

筆者曾針對收集的台灣196個番茄萎凋病菌株，分析其融合群、生理小種及核糖體DNA限制酵素多形性的相關性如表3，顯示只有0031及0032兩個融合群及生理小種1與2。同時從IGS之序列分析(圖十)得知，只有VCGTW1及VCGTW2兩大類，因此，族群結構簡單而沒有遺傳歧異度。

七、番茄嫁接抗病茄子根砧防治土傳病害

蔬菜嫁接技術主要的發展地區為東亞，其中以日本與南韓的研究報告最多；以日本為例，早在1980年至1990年間，番茄嫁接面積就已增加了51.3%，佔全部番茄栽培面積之32%，而其增加的面積則

表3.台灣番茄萎凋病菌的族群種類

融合群	生理小種	核醣體DNA基因內間隔區之基因型鑑定 IGS-RFLP haplotype		
		EcoRI	RsaI	HaeIII
VCG	Race			
0030	1,2,3	A	B	A
0031	1,2	B	C	C
0032	1,2	A	B	A
0033	3	A	A	E
0035	2	A	C	B

表4.番茄嫁接抗病番茄根砧防治萎凋病的效果^a

處理	接穗	根砧	萎凋病嚴重度(%) ^b		病害進展曲線下面積值 ^c	
1	台中亞蔬十號	未嫁接	43±14	b	861±445	b
2	台中亞蔬十號	BonnyBest(感)	68±3	a	1776±293	a
3	台中亞蔬十號	H7996(抗)	0	c	0	c
4	台中亞蔬十號	CRA66(抗)	0	c	0	c
5	台中亞蔬十號	Fla.MH-1(抗)	0	c	0	c
6	台中亞蔬十號	Water(抗)	0	c	0	c

以溫室栽培者為主。依據1999年12月初版的《農耕與園藝》，日本番茄嫁接栽培之研究，著重於降低開花節位、增進果實品質。以「桃太郎」品質為例，嫁接於茄子根砧上，可使果實糖度提高1~2度，惟產量減少20~50%。減產的原因主要是「桃太郎」屬大果番茄，茄子根系少而且其地際莖部也較小，因此，果實變得小很多。

土壤傳播性病害以非農藥防治為上策。事實上，亞蔬中心當初發展番茄嫁接茄子根砧，主要目的在於對抗夏季淹水，以克服不良氣候環境之問題，想不到又意外發現尚具有抗土傳病害的優點。當年亞蔬中心由眾多茄子種源中，經過多年的溫室、田間及嫁接試驗，而篩選到EG190、EG203及EG219三個抗青枯病的根砧，再

經多次田間試作與抗病檢定，證實這三個茄子品種根砧也對萎凋病及根瘤線蟲均具有高抗性，這更增加了這些茄子砧木的利用價值。隨後，該中心舉辦嫁接培訓班，將嫁接技術與優良材料分享給許多育苗場及公私機構科研人員，值得嘉獎。

為供應市場的需要，台灣南部地區夏季栽培小番茄的面積有逐漸增加的趨勢，嘉義縣太保市、水上鄉及民雄鄉小果番茄的設施栽培，已成為夏季番茄的主要栽培地區。在高溫及設施環境下，番茄青枯病、萎凋病及根瘤線蟲等土傳病害，更成為番茄生產中的主要限制因子。為能實際解決農民生產上遭遇的問題，亞蔬中心與農委會台南區農業改良場於1998年起進行番茄嫁接試作，三年後，他們在抗病及耐淹水方面得到良好的



圖十一、溫室嫁接實驗，證明嫁接防病效果顯著。

成效。

2001年裡作期間，台南區農業改良場曾在官田鄉林明櫟農友嚴重罹患萎凋病的田裡測試嫁接之成效，發現EG203及EG219茄子根砧，對番茄萎凋病兩個生理小種(race 1 & race 2)均具有抵抗性。2002年台南農改場又在台南縣官田鄉農會的配合下，再於相同田區展示EG203嫁接苗及自根苗(未嫁接番茄)對萎凋病的反應，結果再度顯示嫁接苗仍具極佳的抗病性。因此，栽培抗病根砧的番茄嫁接苗為最理想及有效的防病對策。

筆者亦曾於2007年在官田鄉農民的罹病田裡，測試嫁接抗病番茄根砧防治番茄萎凋病之效果(表4)，顯示番茄嫁接到不同的抗病番茄根砧，均可獲得100%的防治效果；嫁接感病番茄或未嫁接者的發病嚴重度高達42.5~67.5%，因此，防治效果相當地顯著。同年筆者亦曾在溫室進行相同試驗，結果亦證明，嫁接後可達到顯著的防

治效果(圖十一)。

八、病害綜合管理

由於本病害是典型的土傳病害，因此，施用土壤殺菌劑的防治效果不僅極為有限，而且費用也很高；至於施行土壤燻蒸的費用更是昂貴，農民難以應用。筆者根據多年來對番茄萎凋病菌的生理與生態特性，以及番茄的栽培管理之研究，建議需要積極輔導農民，以建立正確的疾病防治與作物管理的觀念，進而採用下述的疾病綜合管理技術，以期農民能有效地管理此病害，減少經濟上之損失。

(一)種植抗病品種：

因為本病害的抗病性是由三對獨立的單一顯性基因所控制，因此，最好能事先調查明瞭栽培區域的病原菌生理小種類別，再選取能抵抗此生理小種攻擊侵染的番茄品種來栽培，此乃是防治本病害最簡便且最有效的方法。所幸台灣地區尚未發現生理小種3的存在，因此，只要選栽抗生理小種1及2的品種，便容易達到防治的目的。

如果尚無法選到園藝特性符合本土消費習慣的抗病品種時，則可使用抗病根砧來嫁接，暫時達到防病而且又能符合消費者需求的園藝特性。經由亞蔬中心所提供的番茄嫁接技術訓練及根砧材料後，目前國內絕大多數育苗場均已成功使用茄砧嫁接生產各式番茄苗，供應農民所需，不過以櫻桃番茄嫁接茄砧佔大多數。

雖然所使用的茄砧品種已被證實能有效防治多種土傳病害，包括番茄萎凋病，

然而茄砧嫁接大果番茄後，常出現果實變小及果頂腐敗病(也叫尻腐病)發生率偏高的兩大缺點。其發生主因可能是茄砧莖與接穗番茄莖的直徑差距過大，以及茄砧的根系不如番茄發達，以致砧木無法充足供應接穗所需之水份與營養；再加上土壤濕度的乾與濕變化常常太大，以致鈣離子吸收不足。因此，在整個番茄栽培管理過程中，水份與營養份維持穩定供應是必須做到的重要工作，方能有效克服上述缺陷的發生，增加收益。

(二)慎選健康種子(苗)：

種植前建議慎選商譽良好的種子(苗)供應商，以便能購得健康番茄種子(苗)。若欲自行育苗時，則建議播種前先以50%免賴得可濕性粉劑1000倍稀釋液浸泡1小時，以消滅種子帶菌之可能性。其次，更需選用乾淨的栽培介質、水源以及資材育苗，以免污染種子與幼苗，而禍延至種植田間後的番茄植株。

(三)施行適當輪作：

本病原菌為土傳病原真菌，因此，連作時容易累積、提高土壤中病原菌的密度。如果是曾發生萎凋病的田區，更應避免連作，以減少受害。通常若能與水稻輪作，則可大大降低土壤中病原菌的密度；輪作雖然無法淘汰或剔除所有病原菌，但卻能大大地降低損失。

(四)注意田間衛生：

儘量避免番茄本田與育苗場或苗床太靠近。田間罹病株應嚴格清除，以避免長期滯留田間，而導致罹病株上產生大量的

病原分生孢子，而擴散至整個田區；儘量避免大小農機具自罹病田結束工作後，轉移到清潔的健康田地。番茄支架也應避免自罹病田區移來使用。不要以排水溝或池塘的水灌溉田間，因其表面水可能已有病原菌的污染。

(五)適當施肥管理：

因為氨態氮能增強病原菌的致病力，所以，儘量施用硝酸氮取代之。其次，適當施用有機肥及土壤添加物，諸如S-H添加物、蝦蟹殼粉或鳥肥，以調整土壤酸鹼值(約pH 6.5~7.0)及平衡土壤微生物族群，可降低土壤中病原菌密度，顯著地抑制病害的進展而提高產量。

(六)利用蒸氣消毒土壤：

如果田區土壤內病原菌密度的確太高，以致每次種植都發病嚴重時，建議利用蒸氣澈底消毒土壤；或是利用抗病品種當砧木進行嫁接，以達防治目的。

(七)嚴格施行法規防治：

建議各個檢疫單位加強進口番茄種子的檢疫工作之執行，以避免引進帶有生理小種3的番茄種子，進而嚴重為害台灣的番茄產業。

註：(表4)

^a·2007年在台南縣官田鄉農民田間實作結果。

^b·移植125天後調查的發病嚴重度，達顯著差異(5%)水準。

^c·移植第90、97、102、110及115天調查所得之病害進展區線下面積值，達顯著差異(5%)水準。①