植物寄生性線蟲之鑑定與病害診斷

蔡東纂 教授
國立中興大學植物病理系
電子郵件：tttsay@nchu.edu.tw；傳真：04-22877585

摘 要

植物病原線蟲的鑑定、分類與其引起之植物病害之診斷是一體的，也左右了線蟲病害防治策略的擬定及實行成功率。危害作物最早被認知的根瘤線蟲，自1884年迄1932年總稱*Heterodera radicola*，於1932年至1949年間又改稱為*H. marioni*，這段期間內所採取輪作、抗病育種及檢疫隔離措施以對付作物根瘤線蟲病害的作為皆告失敗；究其原因乃在於對根瘤線蟲種、小種與其對作物病原性認知之缺乏。之後，生化科技、儀器及觀念上之進步，使植物寄生性線蟲之鑑定、分類和病害診斷走上更邏輯化、系統化且兼具實用性的方向。由1949年Chitwood將根瘤線蟲歸類於*Meloidogyne*屬，分5種及1亞種，而至今已有74種了。1941年時僅知植物寄生性線蟲有19屬185種，1990年時已增至207屬、4832種之多。目前應用在植物寄生性線蟲鑑定及分類的方法有(一)形態特徵：以光學或掃瞄、穿透式顯微鏡觀察各部器官並測量其大小。(二)生化測定：以electrophoresis、chromatography、染色體數目、DNA特徵、血清學及monoclonal antibodies等科技尋求其異同資料。(三)生態：以線蟲生活史，攝食機制、寄主植物反應及生殖性狀等生物性異同作分類之輔助參考。(四)進化程序：最近也以線蟲的遺傳、表現型、地域性及其與寄主植物的共同演化等進化程序列入分類鑑定之考量。本文將科以上之高層次與重要屬種之分類表列，俾供參考。此外，植物寄生性線蟲所引起作物病害之田間診斷可依事相、歸納、推理、演繹等四個程序進行，就其病害發生之因果關係作進一步探討，並參考所蒐集之資料，以類同、別異、同異聯同及共變等邏輯方法就線蟲之感染原、傳播因素及發病因子等詳加研究，作為事先預防及事後治療之依據。
關鍵詞：植物寄生性線蟲、分類、鑑定、線蟲病害診斷。

緒 言

植物病原線蟲的鑑定、分類與其引起之植物病害之診斷是一體的，也左右了線蟲病害防治策略的擬定即實行成功率。1940年代為了防治當時最主要的根瘤及包囊線蟲，採取輪作、抗病育種和檢疫隔離措施，然終歸失敗。究其原因乃將根瘤線蟲界定於*Heterodera marioni*，而包囊線蟲則總括於*Heterodera schachtii*一種之內(49)；歸咎起來，當時的鑑定技術未能將此兩種線蟲中寄主範圍不同的種(species)或小種(race)加以分類，以致無法掌握線蟲種間與作物感受性差別，這是一個分類資訊不足的前車之鑑。有此覺醒之後的10年中，英國的Franklin氏(21)致力包囊線蟲種間的區別；美國的Christie氏(10)在寄主對根瘤線蟲不同的反應事實中，發現*Heterodera marioni*族群中有許多變異，且留意到小種的產生。由此一認知的基礎上，Chitwood氏(9)展開了根瘤線蟲分類工作，也揭開了重要植病原線蟲分類系統的序幕。其中，Sasser氏(42)自1952年嘗試以寄主植物反應作為根瘤線蟲種類鑑別的依據後，30多年的努力，除了在生態及管理上有通盤了解外，更將根瘤線蟲於電子顯微鏡下之各部型態精細觀察配合細胞、遺傳及生化等資料作更科學化的分類(43)，其研究方法且已模式化(8)。目前已知之寄主植物逾二千種，而*Meloidogyne*屬內已有74種。

由於線蟲之生理變異不易全然了解，在抗病育種與防治策略之實用前提下，不同小種、病原型(pathotype)或生物型(biotype)之線蟲族群常是植物病原線蟲分類之原動力。就馬鈴薯包囊線蟲而言，1966年，Kort氏[28]證明*H. rostochiensis*族群間對馬鈴薯有病原性存在。Stone氏[47]更將之分為*H. rostochiensis*及*H. pallida*兩種[48]，之後也將包囊較圓者另歸類於*Globodera*一屬[48]。此外就輪作、育種及防治上之考量，莖線蟲(*Ditylenchus dipsaci*)的寄主小種(host race)鑑定則為首務[16]。

存在於地球上之線蟲種類，估計約8-10萬至100萬種；其中2萬種已有鑑定記錄[24]；50%棲存海水中，25%存活於淡水及土壤，15%寄生於動物體，而植物寄生性線蟲僅佔10%[6]。隨著科學技術、儀器及觀念上之進步及實用性之殷切需求，植物寄生性線蟲之鑑定及分類學上有長足之進展；1941年時僅登錄19屬185種植物寄生性線蟲，至1990年迄已增至207屬4832種之多[34]。本文旨在將高階分類(high level classification)及重要屬種分類方法及依據作整體性之說明，且以邏輯推理方式應用於植物寄生性線蟲病害之診斷法略加闡述，俾供參考。

植物病原線蟲檢疫方法

一、檢疫樣品採樣及保存

植物病原線蟲檢疫採樣有別於田間採樣，因檢疫對象並不種植於土壤中，如非植物體部份器官、繁殖體，即為栽植於鬆軟介質之苗木或盆栽。其介質不外泥炭土、鋸木屑、水草、人造纖維球、珍珠石、樹皮、蛇木屑或塑膠泡綿等幾種質材；採樣時可以塑膠手套探尋根系，擇取生長異常或有病變根段連同介質擷取握於手中，翻脫手套同時將採樣物包裹於手套中，標記後置於塑膠帶中待驗。

若為球莖、塊根、根莖類植物體，可擇取形狀異常或病變者，直接置於塑膠帶中待檢。

至於植物地上部位之採樣，則以心葉、芽苞、葉片及花苞等部位為對象，以銳利刀片切下，置塑膠袋中，噴以少許水保持濕度，攜回研究室待檢。

在檢疫樣品之採樣中必備條件為對植物病原線蟲在植物體各部位所引起病徵之認識。有鑑於此，茲特以代表性例子表列各種不同寄生方式線蟲種類在種子、苗木及繁殖體上之病徵，以供參考（表一）。並將兩種可由昆蟲媒介傳播之線蟲病害列於表二，於檢疫時非但就植物體部位查驗外，更須注意媒介昆蟲之檢疫。筆者建議檢疫工具以外科用塑膠手套代替傳統之金屬採集器；原因為一、方便手指採樣時之操作。二、避免同一金屬採集器在樣品間之相互污染，以確保採樣之精確度。三、輕便易攜帶，有利於大量樣品之採集及長時間之操作，提高效率。

所採集之樣品有時須放置一、兩天，或更久，因而務必在陰涼處貯存。最好條件為10℃，且避免日光直曬。若溫度太低(5℃)對熱帶地區線蟲種類之檢出有反效果[54]。

二、植物病原線蟲之分離及檢視

A、介質中線蟲

依改良式柏門氏漏斗分離法[1](modified Baermann's funnel method)，以100公克介質為單位，於60孔目網篩上，靜置清水24小時後，將指形管中收集之線蟲倒入Syracuse鏡檢皿中檢視。

B、植物地上部寄生線蟲

寄生於植物地上部之線蟲種類有小麥腫瘿線蟲(*Anguina tritici* (Steinbuch,1799) Chitwood,1935）、葉芽線蟲(*Aphelenchoides* spp.）、松材線蟲(*Bursaphelenchus xylophilus*)、莖線蟲(*Ditylenchus angustus*, *D. dipsaci*)及椰子紅輪線蟲(*Rhadinaphelenchus cocophilus*)等。依表一及表二所示病徵，取線蟲寄生之部位，如種子、莖、葉、球莖、

心苞或枝幹等組織，剝開種子、切碎病組織或挑取線蟲絨團(莖線蟲）後，置於培養皿清水中，30分鐘內線蟲即可游移於水中。以挑針挑取於玻片中，於光學顯微鏡下鏡檢；細小如穀類種子可以0.1公分厚之膠帶，打孔後貼於載玻片上，注入清水，每孔置單一穀粒，便於線蟲量之單位計量。（圖3,4）。有時檢疫樣品中線蟲在運送過程中，因環境不適，導致活動力降低，麻痺或部份族群死亡，則可依後述之染色法確定之。

C、植物地下部寄生線蟲

1.內寄生性(endoparasitic)

(a)固著性(sedentory)

內寄生固著性植物病原線蟲，如根瘤線蟲(*Meloidogyne* spp.)、包囊線蟲(*Heterodera* spp.及*Globodera* spp.)及假根瘤線蟲(*Nacobbus* Thorne & Allen,1944)等。根瘤線蟲及假根瘤線蟲在根系上結瘤情形頗為類似，但後者之瘤腫產生於根部側面，呈念珠狀，且無小根自瘤上長出[32]；且於瘤中巨大細胞附近積聚大量澱粉，以碘液染色時呈現黑色，為其與根瘤線蟲在診斷上之差異[27]。另一項不同點為根瘤線蟲可在馬鈴薯薯塊上形成腫瘤，而假根瘤線蟲則否。兩者在自土壤柔根系中之分離方法大致相同：以解剖刀切開根瘤及根部，檢視其中之雌、雄蟲、卵及發育中各齡期線蟲。必要時得以後述之染色法輔助觀察。包囊線蟲之雌成蟲很容易自根部上掉落，土壤中之包囊則於燒杯中加水輕輕攪拌，包囊將漂浮於水面上層，再倒於濾紙上即可搜集。

(b)潛移性(migratory)

內寄生潛移性植物病原線蟲，如根腐線蟲(*Pratylenchus* spp.)、穿孔線蟲(*Radopholus* spp.)及穿根線蟲(*Hirschmanniella* Luc & Goodey,1964)等。此類線蟲在土壤中族群分佈多在根圈附近，取根圈土壤依改良式柏門氏漏斗分離法分離即可。而根部內線蟲可採取一般根浸法[53](root incubation technique)分離，其法即切碎根段置於培養皿中，注入10毫升清水，靜置30分至二小時，俟線蟲自根部組織中游出（圖11），便可挑出鏡檢。筆者常用之方法略有不同；將根縱剖後，切成1公分之根段，以60網目之紗網包起，置於125毫升之三角瓶中，內注清水20毫升，於振盪器中正反方向搖動(每分鐘15次)，5至30分鐘後可倒其中液體於培養皿中鏡檢。此法有雜質少利於觀察及節省時間之優點。亦可以後述之染色法輔助檢查。

2.半內寄生性(semi-endoparasitic)

(a)固著性(sedentary)

半內寄生固著性線蟲，常見的如腎形線蟲(*Rotylenchulus reniformis* Linford & Oliveira,1940)及柑桔線蟲(*Tylenchulus semipenetrans* Cobb,1913)。在土壤中之二齡幼蟲及雄蟲可依一般土壤線蟲分離法分離，而三齡、四齡及成熟雌蟲可切取根段直接於顯微鏡下觀察。若染色後，更方便檢視。

(b)潛移性(migratory)

此類線蟲如螺旋線蟲(*Rotylenchus* Filipjev,1936及*Helicotylenchus* Steiner,1945)、環紋線蟲(*Criconemella* De Grisse & Loof,1965)和矮化線蟲(*Tylenchorhynchus* Cobb,1913)等，線蟲體前半部侵入寄主植物根部，地上部病徵出現初期，根圈土壤內可分離到龐大線蟲族群。若欲染色時，可將標本根段快速冷凍20分鐘後，置於染液中以微波爐急速加熱1分鐘，即將根段挑起置於培養皿清水中鏡檢；此法可避免緩慢加熱時線蟲自根部脫離之弊。

3.外寄生性(ectoparasitic)

此類線蟲取食時，並未進入植物根內，通常具有較長口針。具毀滅性的如劍線蟲(*Xiphinema* Cobb,1913)、殘根線蟲(*Trichodorus* Cobb,1913)、針線蟲(*Logidorus* (Micoletzky,1922)Throne & Swanger,1936)、鞘線蟲(*Hemicycliophora* de Man,1921)及

釘線蟲(*Paratylenchus* Micoletzky,1922)等。由於其多存在於根系外圍，分離線蟲時只能取栽培土壤或介質為之。

D、根系及其他植物組織線蟲染色及保存

以緩和水流洗去根系或地下部植物體外黏附之土壤顆粒，剖切病組織成0.1公分厚薄片或切取營養根成２公分長根段，置入加有0.5%cotton blue lactophenol solution之研缽中，後置於抽氣櫃內之微波爐中，以中段火力加熱1至3分鐘，挾出染色物體，浸於注入清水之培養皿中，即可於解剖顯微鏡下觀察。將染色漂本切成小段或小片，置於滴有plain lactophenol solution之玻片上，覆以蓋玻片後，以指甲油封片即可保存5年以上。欲褪色時可以1N NaOH或酒精稀釋液加於其上，以便更清楚檢視其內部器官及體形特徵。

種的鑑定

種(species)是分類學上的基礎。自18世紀中葉迄今的百多年來，線蟲種的敘述主要仍以類型觀(typological concepts)為準。儘管多角度化的以基因遺傳、系統性及生物地理學上之分析(cladistic, phylogenetic and biogeographic analysis)加上以族群天然雜交潛勢和獨立繁衍能力之考量[18,19,29]，目前較能取得諸家共識的為Plantnick[35]所提出對種的定義：單一性特質，自生不滅(self-perpetuation)生物體之最小檢測單位，包括種及亞種。基於對線蟲種在形態(morphology)之特性，型態上之描述及各部位測量值(illustrations and measurements of all organs)，第曼公式(de Manian formula)多年來廣為線蟲學者所應用[20]，其公式包括:

ａ＝線蟲體長／線蟲最大體寬
ｂ＝線蟲體長／線蟲頭部至食道長
Ｃ＝線蟲體長／尾長（肛門至尾尖長）
Ｖ＝雌線蟲頭部至陰門長／雌線蟲體長×100%
Ｔ＝雄線蟲精巢長度／雄線蟲體長×100%
ｂ'＝線蟲體長／線蟲頭部至背食道腺終端
Ｃ'＝線蟲尾長／肛門處體寬
Ｖ'＝雌線蟲頭部至陰門長／頭部至肛門距離
Ｌ＝線蟲體長
Ｋ＝線蟲最大體寬
Ｓ１＝交接刺長
Ｓ２＝口針長

即使其測量值依公式計算而得之比率在線蟲種之族群間變異性甚大，造成統計上之困難，然仍被沿用至今[40]。事實上，統計平均值附帶記錄其數據範圍及標準偏差(standard deviation)之測量結果在被檢測線蟲標本量多時，是具有代表性的。

早期對線蟲的描述受到分離、觀察儀器、保存、資訊等技術和觀念上之不足與差異，所獲致的結果頗為分歧。線蟲形態上的鑑定準確性自電子顯微鏡的應用後大為增加。掃描式電子顯微鏡(scanning electron microscope)對線蟲體外構造之觀察甚有助力；穿透式電子顯微鏡(transmission electron microscope)由於對微細構造解析功能強，解決了不少分類上之盲點。光學顯微鏡性能的進步也使線蟲學者在一般線蟲觀察與田間診斷上更為迅速與方便。

植物病原線蟲之分類

林奈式二名法系統(Linnaean binominal system)自1758年應用於動物命名，一直沿用至今。目前動物學亞種(subspecies)至總科(superfamily)之分類由國際動物命名法規會(International Code of Zoological Nomenclature, ICZN)蒐集資料及相關法緣，再推薦給國際動物學會(International Congresses of Zoology)裁定後接納。唯迄今此法規尚未突破總科層級以上及涵蓋種以下(infraspecies)如variety、forma及pathotype之族群(45)。茲以*Tylenchus filiformis* Butschli, 1873之亞種*parvus*為例說明其分類層次：

分類層級		名稱	字尾
Kingdom	界	Animalia	不規則
Phylum	門	Nematoda	a
Class	綱	Secernentea	ea
Subclass	亞綱	Tylenchia	ia
Order	目	Tylenchida	ida
Suborder	亞目	Tylenchina	ina
Superfamily	總科	Tylenchoidea	oidea
Family	科	Tylenchidae	idae
Subfamily	亞科	Tylenchinae	inae
Tribe	族	Tylenchini	ini
Genus	屬	*Tylenchus*	不規則
Species	種	*Filiformis*	不規則
Subspecies	亞種	*Parvus*	不規則

經過漫長歲月的演化和多方面的適應，生物在形態及生態上逐漸產生變異。不論是基因的突變或重組所造成可見的地域性、生理性及形態上變異的個體，都須通過天擇的考驗，生存下來的個體則有異於親代與遠組。物種在如此不斷歧異變化下，產生許多獨具特徵的後代，這即是演化系統上分枝(branching)之由來，植物寄生性線蟲自不例外；將其親緣及源流以譜系(phylogenetic relationship)方式表明最為清楚。茲將科以上之高階分類(45)及屬之分類簡索表(31)引列於後，供諸參考。

分類的方法

基本上，最自然的分類鑑定方法仍以植物寄生性線蟲的形態特徵為主，而生態、生化、細胞學、胚胎學、遺傳學、分子生物學乃至演化等研究為輔。茲分述如下：

一.形態分類(morphological taxonomy)

形態特徵是鑑定植物寄生性線蟲的首務，種、屬甚至科以上之分類一般在顯微鏡觀察下可獲致初步結果。而掃瞄及穿透式電子顯微鏡更有助於細微構造的觀察和分類學者觀念上之改變。雖然植物寄生性線蟲之標準型常被描述成長筒狀的蠕蟲形(eel- like and vermiform)，然雌雄同型和異形在體型上差異甚大。在不同地域及生態環境(氣候、寄主、土壤等)下植物寄生性線蟲之體型測量值、生長速度及形態特徵皆有些微的變化(22, 41)。由於測量技術、設備、觀察方法及測量人員的準確度不一，結果勢難一致。因此，除了特徵描述外，測量值區間、平均值及比例即成為可接受的形態記錄方式。

二.生化分類(biochemical taxonomy)

以生化技術分析蛋白質之方法常被用來做Heteroderidae及Meloidogynidae兩科中種與病原型之區別。先前視為瓶頸問題的純系線蟲來源可藉由組織培養與菌絲培養等方式取得。應用凝膠電泳(gel electrophoresis)技術以快速獲得蛋白質與酵素特性資料是最廣泛採用的方法；但是Hussey[25]認為線蟲培養方法、線蟲齡期、蛋白質淬取步驟及蛋白質存放的環境皆可能影響到電泳動(eletrophoretic mobility)和蛋白質環帶(band)之數目。儘管如此，Dickson等[13]以圓盤電泳(Disc electrophoresis)法分析*Ditylenchus*、*Meloidogyne*與*Heterodera*之可溶性蛋白，分別獲得不同的蛋白質環帶譜。就*Meloidogyne*而言，有些蛋白質環帶出現在所有種之電泳環帶譜中，某些環帶只有固定的種才有，此結果頗具分類價值；且來自不同地域或寄主之同一種線蟲有相似的蛋白質環帶譜。之後，他們以同樣方法分析酵素，發現在*Meloidogyne*屬中，*M. javanica*及*M. arenaria*兩種與*M. incognita*頗為相近，而與*M. hapla*相去甚遠。有可能在久遠年代，根瘤線蟲的遺傳體系分成兩支，一系發展為*M. hapla*，另一系則成為*M. incognita*、*M. arenaria*及*M. javanica*[14]。

三.細胞遺傳分類(cytogenetic taxonomy)

染色體組型(karytype)，包括染色體數目、形狀與生殖方式等資料可提供植物寄生性線蟲在分類系統上頗有價值的佐證，尤其是Meloidogynidae及Heteroderidae兩科。Triantaphyllou[50]以染色體的多倍性(polyploidy)作為追尋植物寄生性線蟲演化軌跡的線索。如同為有絲分裂孤雌生殖(mitotic parthenogenesis)，且有相同染色體數目(24至34)之*Heterodera galeopsidis*、*H. lespedezae*及*H. trifolii*應乃源自*H. sachachtii*及*H. glycines*演化而來。他也發現較進化的植物寄生性線蟲具有較多的染色體及DNA量，並能建立起孤雌生殖之模式[51]。例如由腐生性線蟲*Diploscapter coronata*之n=1，至小麥腫線蟲（*Anguina tritici*）之n=19，進化到多倍染色體的花生根瘤線蟲（*Meloidogyne arenaria*）之3n=54。

四.演化系統(evolutionary systematics)

由古生物學的探勘結果推測在元古代(Proterozoic)或寒武紀(Cambrain)的早期，即距今六億年前地球上就存在可能和植物攸關的線蟲種類[30]。基於寄生習性多樣化及廣泛的寄主，最早的植物寄生性線蟲相信是Tylenchida目種類。化石是研究古生物強而有力的依據，但是Tylenchida線蟲化石只發現存在於多明尼加產的琥珀中果蠅體內的Hexatylina線蟲[36]。儘管化石證據的不完全，藉由現存線蟲種類形態特徵、攝食與生殖器官、生態、寄主、基因及生物化學等資料比對，即成為種系重建和追蹤其發展過程有趣的作業。Siddiqi[46]綜合諸多資料以線蟲門中Adenophorea及Secernentea二綱為主幹，將自然界中線蟲的類緣有系統的串連成一譜系(表三)。

五.遺傳系統(cladism)

自從1966年Henning[23]出書闡述以遺傳系統作為線蟲分類方法後，即廣為接受。當時所用的名詞為"phylogenetic systematics"，目前則流行使用"cladism"。這是一門經由科學方法比對，在族群內外的遠祖特徵(plesiomorphs, ancestral characters)、子代特徵(apomorphs, derived characters)、遠祖旁系特徵(symplesiomorphy)與子代旁系特徵(synapomorphy)中尋求生物演化的軌跡。線系演化(phyletic evolution)的遺傳系統，由單一祖先傳下之子代，謂之單線系族群(monophyletic group)。而由遠祖多向平行演化而來，具有諸多類似特徵之子代，謂之多線系族群(polyphyletic group)；遺傳特徵源自遠祖旁系的，則謂之側線系族群(paraphyletic group)。上述的遺傳線系族群(phylectic groups)之確認乃依個體發生及比較法(ontogenetic and comparative methods)自相同特徵或性狀中整理出族群特徵代代相傳的傾向(polarity)，進而歸納出一個遺傳系統，作為演化層序及分類之參考。由親代產生一或多個子代族群以二叉式

(dichotomous branch)圖形表示，及成為有脈絡可尋的進化樹(cladogram)或系統發展樹(dendrogram)。

六.表型學(phenetics)

表型學著重於比較整體線蟲結構之異同，歸納出關鍵性特徵(key characters)，作為分類之依據。以Tylenchida的分類為例，依形態資料建立的表型學一直是鑑定和分類的主要規範，生態、行為及生理學等資料鮮少派上用場。表型學配合測量數值在線蟲分類上可行的範圍，除了種的鑑定外，尚包括屬及更高級的類別[33](表四)。

七.生態學(ecology)

線蟲種、亞種或小種的分類鑑別通常依據該線蟲族群與寄主植物之反應狀況而定[38]。植物寄生性線蟲的寄主範圍、寄主部位、寄生方式、寄主細胞反應、傳播方式、土壤性狀、溫濕度，甚至耕作方式等都與其族群的棲息繁衍有重大關係，也可作為分類之參考[15]。此外，依據線蟲取食的對象如：植物、真菌、細菌、腐殖質、動物、真核單細胞生物、感染期之寄生生物或雜食性等差別，Yeates等[55]將線蟲分為12目、95科、333屬。

八.分子生物學(molecular biology)

儘管線蟲形態及其在植物體上所導致的癥狀有助於吾人對植物寄生性線蟲的檢定。但是地域性隔離及寄主的多樣化常誘使線蟲體形成生理上之變異，造成診斷和分類上的困惑。多年來，除了蛋白質、脂肪及碳水化合物在線蟲體內種類和部位的分析外，DNA也被列為重要的分類方法之一；利用分子生物學作為線蟲鑑定之門也已大開[11]。Esbenshade與Triantaphyllou[17]以esterase和malate dehydrogenase表現型之不同作分別*Meloidogyne arenaria*、*M. javanica*、*M. incognita*及*M. hapla*等四種根瘤線蟲之依據。Shots[44]等以polyclonal及monoclonal antibodies來區別*Globodera rostochiensis*與*G. pallida*兩個種。Webster等[52]也曾報導利用DNA probes藉以判定松材線蟲*Bursaphelenchus xylophilus*及*B. mucronatus*。在實用上，Davies及Lander[12]曾成功的以monoclonal antibodies區別*M. incognita*，*M. arenaria*及*M. javanica*等根瘤線蟲；而Robinson[39]也以同樣方法自土壤與植物樣品中區分根瘤線蟲種類。Hyman等[26]也相繼報告可以DNA probes偵測土壤中根瘤線蟲到1至5個卵之微量族群。至於race或pathotype專一性之DNA probes相關研究亦漸趨成熟。

在數億年的演化中，各種線蟲建立了獨自的DNA和蛋白質特性；於形態鮮少變異與穩定的生殖方式下，其子代或雜交後代的生化資料必定與親代者在親緣系統上有深切的關連性[7]。因此，結合上述八種方法，將傳統與現代鑑定科技應用在線蟲分類體系上是最科學的作為。

植物線蟲病害田間之診斷

植物線蟲病害之田間診斷可依事相、歸納、推理、演繹等四個程序進行。在了解事相時，也得和中醫師診療方法相似—「望、聞、問、切」四訣，俾能對線蟲病害發生之因果關係(casual relation)作進一步的探求，並參考所蒐集之資料以類同(agreement)、別異(difference)、同異聯同(agreement and difference)及共變(concomitant variation)等邏輯方法研究線蟲病害之衍因及助緣(線蟲來源、傳播因素、發病因子等)。「望」意即「觀察」，「聞」即聽栽培業者細述，「問」即詢問栽培者吾人所欲知之資料，「切」即將標本攜回研究室作更精密之診斷。植物

線蟲病害之田間診斷和人、畜及其他植物病害一樣，須對所有植物病原線蟲引起之植物病徵有所了解，方能收精準確切之效(表一)(3, 4, 5)。茲說明於後：

(一)事相：即田間線蟲病害在田間作物上病徵之「觀察」及整個栽培地區發病環境之綜合「了解」。

(二)歸納：由於作物線蟲病害之病徵易和其他因素所致者相混淆，得以「比較法」來作一歸納。例如本省常見的根瘤線蟲(*Meloidogyne* spp.)連作障害田，依0至4級不等之罹病株，挖起排列比較；自0級的健株至4級的嚴重病株，地上部高度、葉片顏色、數目及大小等差異有等級化之變化；地下部根系長度、數目、根瘤指數亦隨之變異。歸納結果，原因出於根瘤線蟲之危害。其他寄生方式之線蟲病害可比照辦理。

(三)推理：歸納之結果，須以科學化之推理來週延其診斷之準確性。例如罹根瘤線蟲病株根瘤上可以解剖出大量之雌成蟲。罹葉芽線蟲之草莓心苞，可以水浸法於培養皿中釋出線蟲，其數目且依病害等級而具規則化。如係不易判別之新線蟲病害、新寄主、兩種以上線蟲感染、植株病徵明顯但剛施用殺線蟲劑以致分離之線蟲數極少以及外寄生性線蟲危害等情形下，可將原作物植株移植於溫室中，俟該病原線蟲族群數目提高；分離後，接重於健康之該作物苗株，依柯霍氏法則(Koch's Postulates)逐步證明之。

(四)演繹：田間診斷之演繹是實務經驗之源。例如導致田間罹病株病徵及根系壞疽，根尖紅褐化之線蟲病害為根腐線蟲(*Pratylenchus* spp.)及穿孔線蟲(*Radopholus* spp.)之類的內寄生潛移性線蟲(migratory endoparasitic nematode)。根系上黏附大量的土壤顆粒，不易除去的為半內寄生性(Semi-endoparasitic)的柑桔線蟲(*Tylenchulus semipenetrans*)及腎形線蟲(*Rotylenchulus reniformis*)。根系上有圓形或檸檬形包囊的為包囊線蟲(*Heterodera* spp.)或黃金線蟲(*Globodera* spp.)。根系上結瘤的為根瘤線蟲(*Meloidogyne* spp.)、假根瘤線蟲(*Nacobbus* spp.)或鞘線蟲(*Hemicycliophora* spp.)所致。根系停滯生長的多由外寄生性線蟲(ectoparasitic nematode)所引起。芽苞異常之線蟲病害則常是因葉芽線蟲或莖線蟲所感染。

參考文獻

1. 黃炤雄、蔡雲鵬、林奕耀、杜金池、黃修斌。1972。臺灣植物寄生性線蟲。中研院植研所專刊第一號 66。
2. 蔡東纂 1996. 根瘤線蟲在雜草上的生態除草劑安全使用及草類利用管理研討會專刊，309-324.
3. 蔡東纂、程永雄、林奕耀、陳昭豐。台灣根莖薯類作物線蟲病害之發生。植保會刊 36: 225-238。1994。
4. 蔡東纂、程永雄。台灣花卉線蟲問題。台灣花卉病蟲害研討會專刊。pp. 225-241。1994。
5. 蔡東纂。1995。植物病原線蟲檢疫。植保會刊 4:43-59。
6. Ayoub, S. M. 1980. Plant Nematology, An Agricultural Training, Aid, Rev., Nema Aid Publications and California Dept. Food and Agriculture, Sacramento. P. 17-36, 59-62, 149-183.
7. Bakker, J. and Bouwman-Smits, L. 1988. Contrating rates of protein and morphological evolution in cyst nematode species. Phytopathology, 78: 900-904.
8. Barker, K. R., Carter, C. C. and Sasser, J. N. 1985. An Advanced Treatise on *Meloidogyne*. VolumeП: Methology. North Carolina State University Graphics. 223 pp.
9. Chitwood, M. G. 1949. "Root knot nematodes" Part1. A revision of the genus *Meloidogyne* Goeldi, 1887. Proceedings of the Helminthological Society of Washington, 16: 90-104.

10. Christie, J. R. 1946. Host- parasitic relationships of the root- knot nematode, *Heterodera marioni*. Π. Some effects of the host on the parasite. Phytopathology, 36: 340-352.
11. Curran, J. and Robinson, M. P. 1993. Molecular Aids to Nematode Diagnosis. In: Evans, K., Trudgill, D. L. and Webster, J. M. (eds.) Plant Parasitic Nematodes in Temperate Agriculture. CAB International. P. 545-564.
12. Davies, K. G. and Lander, E. B. 1991. Monoclonal antibodies and their use in identification of root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) Journal of Nematology, 23: 525. (Abstrat)
13. Dickson, D. W., Sasser, J. N., and Huisingh, D. 1970. Comparative disc-electrophoretic protein analyses of selected *Meloidogyne*, *Ditylenchus*, *Heterodera* and *Aphelenchus* spp. Journal of Nematology, 2: 286- 293.
14. Dickson, D. W., Huisingh, D., and Sasser, J. N. 1971. Dehydrogenases, acid and alkaline phosphatases, and esterases for chemotaxonomy of selected *Meloidogyne*, *Ditylenchus*, *Heterodera* and *Aphelenchus* spp. Journal of Nematology, 3: 1- 16.
15. Eisenback, J. D. 1988. Use of habitat data to help with the identification process. In: Fortuner, R. ed. Nematode Identification and Export System Technology. Plenum Press, New York and London. P. 217-231.
16. Eriksson, K. B. 1974. Intraspecific variation in *Ditylenchus dipsaci*. I. Compatibility tests with races. Nematologica, 20; 147-162.
17. Esbenshade, P. R., and Triantaphyllou, A. C. 1990. Isozyme phenotypes for the identification of *Meloidogyne* species. Journal of Nematology, 22: 10-15.
18. Ferris, V. R. 1977. Phylogenetic and biographic analysis of free- living soil nematodes. American Zoologist, 19: 1195- 1215.
19. Ferris, V. R. 1979. Cladistic approaches in the study of soil and plant parasitic nematodes. American Zoologist, 17: 502.
20. Fortuner, R. 1985. Statistics in taxonomic descriptions. Nematologica, 30: 187- 192.
21. Franklin, M. T. 1940 b. On the specific status of the so- called biological strains of *Heterodera schachtii* Schmidt. Journal of Helminthology, 18: 193- 208.
22. Frederick, J. J. and Tarjan, A. C. 1978. Variability in measurements made of same nematode specimen by various observers or by on observe on different days. Nematologica, 24: 476- 479.
23. Henning, W. 1966. Phylogenetic Systematics. University of Illinois Press. Urbana. 263 pp.
24. Hope, W. D. 1994. Nematodes: Structure, Development, classification, and Phylogeny. Smithsonian Inst. Press. Washington and London. 286pp.
25. Hussey, R. S. 1979. Biochemical systematics of nematodes-a review. Helminthology Abstract, 48: 141- 148.
26. Hyman, B. C., Peloguin, J. J. and Platzer, E. G. 1990. Optimization of mitochondrial DNA-based hybridization assays to diagnostics in soil. Journal of Nematology, 22: 273-278.
27. Jatala, P. 1978. Review of the false root-knot nematode (*Nacobbus* spp.). Research progress, International Potato Center. Report of the 2nd Planning Conference on the Pevelopments in the Control of Nematode Pests of Potatoes, Lima, Peru, 13-17 November,1978.
28. Kort, J., Ross, H., Rumpenhorst, H. J., and Stone, A. R. 1977. Aninternational scheme for identifying and classifying pathotypes of potato cyst nematodes *Globodera rostochiensis* and *G. pallida* . Nematologica, 23: 333-339.
29. Lovtrup, s. 1979. The evolutionary species: fact or fiction. Systematic Zoology, 28: 386- 392.
30. Maggenti, A. R. 1971. Nemic Relationships and the Origins of Plant Parasitic Nematodes. In: Zuckerman, B. M. and Mai, W. F. (eds.) Plant Parasitic Nematodes. Vol. 1. Academic Press. New York, San Francisco, London. P. 65- 81.
31. Mai, W. F., and Mullin, P. G. 1996. Plant- Parasitic Nematodes, A pictorial key to genera. Fifth edition. Cornell University Press, Ithaca and London. P. 1- 5.
32. Mai, W. F., Brodie, B. B., Harrison, M. B., and Jatala, P. 1981. Nematodes. In:Hooker, W. J. (Ed.) Compendium of potato Diseases. American Phytopathological Society:93-101.
33. Moss, W. W. and Webster, W. A. 1970. Phenetics and numerical taxonomy applied to systemtic nematology. Journal of Nematology, 2: 16- 25.

34. Nickle, W. R. 1991. Manual of agriculture Nematology. Marcel Dekker, Inc. New York. 464 pp.
35. Plantnick, N. I. 1976. Drifting spiders or continents? Vicariance biogeography of the spider family Laroiinae(Ayaneae: Gnaphosidae). Systematic Zoology, 25: 101-109.
36. Poinar, G. O., Jr. 1984. Fossil evidence of nematode parasitism. Revue de Nematologie, 7: 201-203.
37. Raski, D. J. and Fortuner, R. 1987. Historical Perspectives of Nematode Taxonomy. In: Veech, J. A. and Diskson, D. W. (eds.)Vistas on Nematology: A commemoration of Twenty- fifth Anniversary of the Society of Nematologists. Society of Nematologists, Inc. Hyattsville, Maryland. P.329-335.
38. Riggs, R. D., and Schmitt, D. P. 1988. Complete characterization of the race scheme for *Heterodera glycines*. Journal of Nematology, 20:392-395.
39. Robinson, M. P. 1989B. Quantification of soil and plant population of *Meloidogyne* using immuno-assay technigues. Journal of Nematolog, 21: 583-584.(Abstrat)
40. Roggen, D. R., and Asselberg, R. 1971. The use of ratios in nematology. Nematologica, 17: 187-189.
41. Roman, J., and Hirschmann, H. 1969. Morphology and morphometrics of six species of *Pratylenchus*. Journal of Nematology, 1: 363- 386.
42. Sasser, J. N. 1952. Identification of root- knot nematode(*Meloidogyne* spp.) by host reaction. Plant Disease Reporter, 36: 84-86.
43. Sasser, J. N., and Carter, C. C. 1985. An Advanced Treatise on *Meloidogyne*. Volume 1: Biology and Control. North Carolina State University Graphics. 422 pp.
44. Shots, A., Gommers, F. J., Bakker, J., and Egberts, E. 1990. Serological differentiation of plant-parasitic nematode species with polyclonal and monoclonal antibodies. Journal of Nematology, 22: 16-23.
45. Siddiqi, M. R. 1986. Tylenchida, Parasites of Plants and Insects. CAB, Commonwealth Institute of Parasitiology. 645 pp.
46. Siddiqi, M. R. 1983. Evolution of Plant Parasitism in Nematodes. In: Stone, A. R., Platt, H. M. and Khalil, L. F. (eds.) Concepts in Nematode Systematics. Academic Press. New York, London. P. 113- 129.
47. Stone, A. R. 1973. *Heterodera pallida* n. sp. (Nematoda: Heteroderidae) , a second species of potato cyst nematode. Nematologica, 18:591-606.
48. Stone, A. R. 1975. Taxonomy of potato cyst-nematodes. EPPO Bulletin, 5: 79-86.
49. Thomason, I. J., and Caswell, E. P. 1987. Principles of nematode control. In: Brown, R. H., and Kerry, B. R. (eds.) Principles and Practice of nematode Control in Crops. Academic Press. P.88-130.
50. Triantaphyllou, A. C. 1970. Cytogenetic aspects of evolution of the family Heteroderidae. Journal of Nematology, 2: 26- 32.
51. Triantaphyllou, A. C. 1983. Cytogenetic aspects of nematode evolution. In: Stone, A. R., Platt, H. M. and Khalil, L. F. (eds.) Concepts in Nematode Systematics. Academic Press, London and New York. P. 55- 71.
52. Webster, J. M., Anderson, R. V., Baillie, D. L., Beckenbach, K., Curran, J., and Rutherford, T. A. 1990. DNA probes for differentiating isolates of the pinewood nematode species complex. Revue de N'ematologie, 13:255-263.
53. West, J. A. 1957. Recommended changes in recovery techniques for burrowing nematode. Pl. Dis. Rept. 41:600-602.
54. Whyte, E. B. and Gowen,S. R. 1974. Recovery of nematodes from banana root and soil samples. Nematropica 4:27-41.
55. Yeates, G. W., Bongers, T., De Goede, R. G. M., Freckman, D. W., and Georgieva, S. S. 1993. Feeding Habits in Soil Nematode Familes and Genera-An Outline for Soil Ecologists. Journal of Nematology, 25: 315-331.

表一、植物寄生性線蟲在種苗或繁殖體上之病徵及檢驗

Table 1. Detection of neamtode symptoms in seedling or planting material

作　物	線　蟲	檢 驗 病 徵
種子 Seeds		
稻(*Oryzae sativa*)	*Aphelenchoides besseyi*	外觀無明顯病徵，剝開穀粒置於水中，線蟲即游出（圖3,4）。
花生(*Arachis hypogaea*)	*Meloidogyne arenaria*	豆莢黑變畸形，不規則瘤腫分佈其上。
	A. arachidis	種子萎縮，外種皮深褐色。
小麥(*Triticum aestivum*)	*Anguina tritici*	種子畸形，上有黑色腫瘿。
蠶豆(*Vicia faba*)	*Ditylenchus dipsaci*	種子萎縮變色，有時附著線蟲團絮。
蔥(*Allium cepa*)	*D. dipsaci*	外觀無明顯病徵，浸種後線蟲即游出。
塊根 Tubers		
甘藷(*Ipomoea batatas*)	*Meloidogyne incognita*	薯塊及蔓上有瘤狀凸起及凹洞。
	M. javanica	
馬鈴薯(*Solanum tuberosum*)	*Meloidogyne spp.*	薯塊表面有瘤腫凸起及壞疽斑。
	Pratylenchus spp.	薯塊上有乾黑壞疽性凹陷。
	Globodera spp.	胞囊附著於薯塊上或所攜帶的土中。
	D. destructor	薯塊表面裂開，內部組織黑褐色，腐敗。

(Continued)

作　物	線　蟲	檢 驗 病 徵
山藥(*Dioscorea spp.*)	*Scutellonema bradys*	薯塊表層龜裂剝落, 內部組織呈黑褐乾腐。
	Praytlenchus coffeae	薯塊上有深入內部組織1至5公分之乾腐裂陷，組織呈黑褐色木栓化，疏鬆若海綿。
	Radopholus spp.	薯塊乾腐，病組織呈淡褐色。
	Meloidogyne spp.	薯塊上有明顯瘤腫凸起，皮下組織有壞疽斑點。
球莖 Bulbs		
球莖作物、花卉 *Amaryllidaceae, Iridaceae Liliaceae*	*D. dipsaci*	球莖乾萎，整片鱗片腐敗，橫切時呈輪狀褐腐症狀，基部有線蟲團絮。
蔥、蒜(*Allium spp.*)	*D. dipasci*	內部組織壞疽，鱗瓣或芽苗腐敗，有時附著線蟲團絮。
根莖 Rhizomes		
薑(*Zingiber officinale*)	*Meloidogyne spp.*	凸起、裂陷及凹洞分佈於薑塊上，大都在縊痕部位居多，內部組織則有壞疽斑。
	Radopholus similis	薑塊表面有凹陷條痕，削去表皮，內部組織呈墜道式條狀壞疽。
鬱金(*Curcuma domestica*)	*R. similis*	水浸狀褐色壞疽及腐敗斑分佈於根莖上。

(Continued)

作　物	線　蟲	檢驗病徵
球莖 Corms		
香蕉、馬尼拉麻蕉、煮食蕉	*R. similis*	黑色壞疽斑出現在球莖與根連接處。
(*Musa spp.*)	*P. coffeae*	殘留根段上可見紅黑色壞疽斑。
	P. goodeyi	
	Helicotylenchus multicinctus	與根相連的球莖皮層邊緣呈紫至黑褐色壞疽。
芋(*Colocasia esculenta*)	*Hirschmanniella miticausa*	球莖縱切，中心部位紅色壞疽，底部軟腐往上方及邊緣延伸。
種苗 Seedling transplants		
蔬菜、花卉、果樹、特用作物	*Meloidogyne spp.*	根系上有明顯腫瘤。
	Radopholus spp.	根系上呈壞疽型病斑。
	Hirschmanniella spp.	
	Heterodera spp.	根系畸形生長，較老苗株根部可見黃白色
砧木 Rootstocks		
瓜類、果樹	*Meloidogyne spp.*	根系結瘤及腐敗。
	Pratylenchus spp.	根系表面呈褐斑壞疽（圖10）。
柑桔、橄欖、柿子	*Tylenchulus semipenetrans*	根表面黏附土壤顆粒，皮層腐敗。

表二、昆蟲媒介性植物線蟲病害在種子及種苗上之檢定病徵。

Table 2. Detection of insect－transmit nematode diseases in seed and planting material.

作　物	線　蟲	媒介昆蟲	檢定病徵
椰子及棕梠科植物 *Palmaceae*	*Rhadinaphelenchus cocophilus*	*Rhynchophorus palmarum* palm weevil	二年半至十年生植物最易感病，基幹橫切，自莖部外皮內側3至5公分處有寬2至4公分之橙至磚紅色輪紋。
松科植物 *Pinaceae*	*Bursaphelenchus xylophilus*	*Monochamus alternatus* *M. carolinensis etc.*	初感染不見病徵，但松脂分泌減少，繼之松葉呈紅色，全株死亡。

表三、線蟲門之分類

Table3. Classification of nemata (Maggenti, A. R. 1991)

Phylum Nemata
- Class 1: Adenophorea
  - Subclass A:Enoplia
    - Superorder 1: Marenoplica
      - Order 1: Enoplida
        - Superfamily 1: Oxystominoidea
          - Families: Paraoxystominidae, Oxystominidae, Alaimidae
        - Superfamily 2: Enoploidea
          - Families: Enoplidae, Lauraonematidae, Leptosomatidae, Phanodermatidae, Thoracostomopsidae
      - Order 2: Oncholaimida
        - Families: Oncholaimidae, Eurystominidae, Symplocostomaridae
      - Order 3: Tripylida
        - Suborder 1: Tripylina
          - Families: Tripylidae, Prismatolaimidae
        - Suborder 2: Ironina inquirenda
          - Family: Ironidae
    - Superorder 2: Terrenoplica
      - Order 1: Isolaimida inquirenda
        - Family: Isolaiimidae
      - Order 2: Mononchida
        - Superfamily 1: Mononchoidea
          - Families: Mononchidae, Mylonchulidae, Cobbonchidae, Anatonchidae, Iotonchulidae
        - Superfamily 2: Bathyodontoidea
          - Families: Bathyodontidae, Mononchulidae

(Continue)

Order 3: Dorylaimida
Suborder l:Dorylaimina
Superfamily l: Dorylaimoidea
Families: Dorylaimidae
Encholaimidae
Tylencholaimidae
Tylencholaimellidae
Leptonchidae
Belonenchidae
Longidoridae
Genera: see text
Superfamily 2: Actinolaimoidea
Families: Actinolaimidae
Brittonematidae
Carcharolaimidae
Trachypleurosidae
Superfamily 3: Belondiroidea
Families: Belondiridae
Roqueidae
Dorylaimellidae
Qxydiridae
Mytydonomidae
Suborder 2: Diptherophorina
Families: Diphtherophoridae
Trichodoridae
Suborder 3: Nygolaimina
Families: Nygolaimidae
Nygolaimellidae
Aetholaimidae
Campydoridae
Order 4: Stichosomida
Superfamily 1: Trichocepaloidea
Families: Trichuridae
Trichinellidae
Trichosyringidae
Superfamily 2: Mermithoidea
Families: Mermithidae
Tetradonematidae
Superfamily 3: Echinomermelloidea incertae sedis
Families: incertae sedis
Enchinormellidae
Marimethidae
Benthimermidae

(Continue)

Subclass B: Chromadoria	
Order: Chromadorida	
Superfamily 1: Chromadoroidea	
Families:	Chromadoridae
	Hypodontolaimidae
	Microlaidae
	Spirinidae
	Cyatholaimidae
	Comesomatidae
Superfamily 2: Choanolaimoidea	
Families:	Choanolaimidae
	Selachinematidae
	Ethmolaimidae
Order 2: Desmoscolecida	
Families:	Desmoscolecidae
	Greeffiellidae
Order 3: Desmodorida	
SuperfamiIy 1: Desmodoroidea	
Families:	Desmododridae
	Cenmonematidae
	Monoposthidae
Superfamily 2: Draconemaloidea	
Families:	Draconematidae
	Epsilnematidae
	Prochaetosomatidae
Order 4: Monhysterida	
Families:	Linhomoeidae
	Siphonolaimidae
	Monhysteridae
	Scaptrellidae
	Sphaerolaimidae
	Xyalinidae
	Meylidae
Order 5:Araeolaimida	
Suborder 1: Araeolaimina	
Families:	Axonolaimidae
	Camacolaimidae
	Tripyloididae
Superfamilies 1: Araeolaimoidea	
Families:	Aracolaimidae
	CylindroIaimidae
	Diplopeltidae
	Rhabdolaimidae

(Continue)

Superfamilies 2: Plectoidea
Families: Plectidae
Leptolaimidae
Haliplectidae
Bastianidae
Class 2: Secernentea
Subclass A: Rhabditia
Myenchidae: Famillium incertae sedis: dubium
Order 1: Rhabdirida
Suborder 1: Rhabditina
Superfamily 1: Rhabditoidea
Families: Rhabditidae
Rhabditonematidae
Odontorhabditidae
Steinemematidae
Rhabdiasidae
Angiostomatidae
Agfidae
Strongyloididae
Syrphonematidae
Heterorhabditidae
Carabonematidae
Pseudodiplogasteroididae
Superfamily 2: Bunonematoidea
Families: Bunonematidae
Pterygorhabditidae
Superfamily 3: Cosmocercoidea
Families: Cosmocercidae
Atractidae
Supefamily 4: Oxyuroidea
Families: Oxyuridae
Thelastomatidae
Rhigonematidae
Superfamily 5: Heterakoidea
Families: Heterakidae
Ascaridiidae
Suborder 2: Cephalobina
Families: Cephalobidae
Robertiidae
Chambersiellidae
Elaphonematidae
Superfamily l: Panagrolaimoidea
Families: Panagrolaimidae
Alirhabditidae
Brevibuccidae

(Continue)

```
        Order 2: Strongylida
            Families:  Diaphanocephalidae
                       Metastrongylidae
                       Maupasinidae
            Superfamily l: Strongyloidea
            Families:  Strongylidae
                       Cloacinidae
                       Syngamidae
            Superfamily 2: Ancylostomatoidea
            Families:  Ancylostomatidae
                       Uncinariidae
                       Globocephalidae
            Superfamily B:Trichostrongyloidea
            Families:  Trichostrongylidae
                       Amidostomatidae
                       Strongylacanthidae
                       Heligmosomatidae
                       Ollulanidae
                       Dictyocaulidae
    Subclass B: Spiruria
        Order 1: Ascaridida
            Superfamily 1: Ascaridoidea
            Families:  Ascarididae
                       Toxocaridae
                       Anisakidae
                       Acanthocheilidac
                       Goeziidae
                       Crossophoridae
                       Heterocheilidae
            Superfamily 2:Seuratoidea
            Families:  Seuratidae
                       Schneidemematidae
                       Quimperiidae
                       Subuluridae
                       Cucullanidae
            Superfamily 3: Camallanoidea
            Families:  Camallanidae
                       Anguillicolidae
            Superfamily 4: Dioctophymatoidea
            Families:  Dioctophymatidae
                       Soboliphymidae
            Superfamily 5: Muspiceoideaincertae sedis
            Families:  Muspiceidae
                       Robertndollfusidae
                       Phlyctainophoridae
```

(Continue)

Orderd 2: Spirurida	
Superfamily	1:Spirurida
Families:	Spiruridae
	Thelaziidae
	Acuariidae
	Hedruridae
	Tetrameridae
Superfamily	2:Drilonematoidea
Families:	Drilonematidae
	Ungellidae
	Scolecophilidae
	Creagrocericidae
	Mesidionematidae
	Homungellidae
Superfamily	3: Physalopteroidea
Families:	Physalopteridae
	Megalobatrachonematidae
	Gnathostomatidae
	Superfamily 4: Dracunculoidea
Families:	Dracunculidae
	Philometridae
	Micropleuridae
Superfamily	5: Diplotriaenoidea
Families:	Diplotriaenidae
	Oswaldofilariidae
Superfamily	6: Filarioidea
Families:	Filariidae
	Aproctidae
	Setariidae
	Desmidocercidae
	Onchocercidae

(Continue)

Subclass C: Diplogasteria	
Order l: Diplogasterida	
Families:	Diplogasteridae
	Odontopharyngidae
	Diplogasteroididae
	Cylindrocorporidae insertae sedis
Order 2: Tylenchida	
Suborder 1:Tylenchina	
Superfamily l:Tylenchoidea	
Families:	See text for genera
	Tylcnchidae
	Anguinidae
	Dolichodoridae
	Belonolaimidae
	Pratylenchidae
	Hoplolaimidae
	Heteroderidae
Superfamily 2: Criconematoidea	
Families:	see text for genera
	Criconematidae
	Tylenchulidae
Suborder 2: Aphelenchina	
Families:	see text for genera
	Aphclenchidae
	Paraphelenchidae
	Aphelenchoididae
	Seinuridae
	Entaphelenchidae
Suborder 3: Sphaerulariina	
Families:	Sphaerumlariidae
	Allantonematidae
	Iotonchidae
	Fergusobiidae

表四、植物寄生性線蟲屬之分類簡索表(主要依據雌成蟲之特徵)
Table 4. Key to Genera of Plant- Parasitic nematodes. (Mai, W. F. and Mullin, P. G. 1996)

1	缺口針(stylet) 具口針……………………………………………………………………………………2
2	食道分成二部份，無瓣狀物，前端細長，後端呈腺狀，肌肉質；口針通常無基部節球(stylet basal knob)…………………………………………………………Dorylaimida…3 食道分成三部份，通常具有瓣狀物之中部食道球(median bulb)，後緊接細長之狹細部、腺狀之基球；口針通常具有基部節球……………………………………………………………6
3	口針短、彎曲；體型肥短 (0.45-1.5mm)……………………………………*Trichodorus*(殘根) 口針長、直，逐漸變細長啣接長延伸部；體型細長……………………………………………4 口針直，通常不很長(包括大部份食性未確知之屬，此群不含有已知之病原)………………… ……………………………………………………………………A large number of genera
4	口針延伸部具硬化之基部鍔(flange)；導環(guiding ring)靠近口針基部剛好位於口針與口針延伸部啣接處之前方……………………………………………………*Xiphinema*(劍) 口針延伸部不具基部鍔；導環靠近口針之前端………………………………………………5
5	雙器(amphids)開口小，似裂縫狀；雙器含大形之袋狀物，幾乎環繞頸部…………*Longidorus*(針) 雙器開口寬，亞唇之延伸至少橫過頸部一半；雙器袋狀物為漏斗形或鐙形………*Paralongidorus*
6	背食道腺開口(DEGO)於中部食道球內瓣狀物之前方或相當該位置(無中部食道球時，通常少見)；中部食道球很大，通常幾乎與體寬同寬……………………………………Aphelenchida…7 背食道腺開口於食道前方體內；中部食道球大小適度(小於體寬之3/4)………Tylenchida……9
7	a值小於80，無陰門蓋(vulral flap)；陰膣(vagina)正常…………………………………………8 a值約100；陰門具寬而重疊之蓋；陰膣彎曲………………………………*Rhadinaphelenchus*(紅輪)
8	雌蟲尾部鈍形；側帶(lateral field)具6-14側線；雄蟲具交接囊和副刺…………………*Aphelenchus* 雌蟲尾部圓錐形，在尾端通常具有一或更多之尾端突起(mucronate)；側帶具2-４側線；雄蟲不具交接囊(bursa)或副刺(gubernaculum)……………………………………*Aphelenchoides*(葉芽)
9	頭部具剛毛(setae)，無植物寄生者………………………………………*Atylenchus*、*Eutylenchus* 頭部無剛毛，多數植物寄生者……………………………………………………………………10
10	中部食道球缺如或退化；如變小時，則無硬化之瓣狀物……………………………Neotylenchidae 有具硬化瓣狀物之中部食道球…………………………………………………………………11
11	成熟之雌蟲很肥大(梨形、檸檬形、腎形或囊形)；發現於植物根內，埋入或僅頸部接觸；有些以包囊 (cyst) 存在於土中……………………………………………………………………12 成熟之雌蟲成蠕蟲狀(vermiform)，細長乃至稍肥…………………………………………………23
12	成熟之雌蟲蟲體柔軟，長形-囊形，或具尾部 (tail) 之腎形；球形不具尾部之 *Sphaeronema* 除外……………………………………………………………………………………………13 成熟之雌蟲變成乞囊或維持柔軟之蟲體；梨形-囊形，球形或檸檬形，通常無尾部…………18
13	成熟之雌蟲具雙卵巢…………………………………………………………*Rotylenchulus*(腎形) 成熟之雌蟲具單卵巢……………………………………………………………………………14
14	排泄孔(excretory pore)位於正常位置，靠近神經環(nerve ring)…………………………………15 排泄孔位於神經環後方………………………………………………………………………16

15	成熟之雌蟲亞球狀，表皮粗糙網紋狀；近體末端可能具明顯突出之陰門……………*Sphaeronema* 成熟之雌蟲螺旋狀，體厚；無突出之陰門………………………………………………*Trophonema*
16	雌蟲及幼蟲具口周隆起(circumoral elevation)………………………………………*Trophotylenchulus* 缺口周隆起……………………………………………………………………………………17
17	排泄孔靠近陰門(vulva)…………………………………………………*Tylenchulus*(駝形、柑桔) 排泄孔位于食道基部附近…………………………………………………………*Nacobbus*(偽根瘤)
18	雌蟲在會陰部(perineum)周圍具不規則之體環(annules)；排泄孔位置與口針齊或緊接其後；口唇部(lip region)之二個側唇 (lateral lips) 較四個亞側唇 (sublateral lips) 為寬，二齡幼蟲之口針短於20 μ；口唇結構之發育弱；通常使寄主根部結瘤…………………………………*Meloidogyne*(根瘤) 雌蟲在會陰部周圍不具不規則之體環；排泄孔位于中部食道球後方；口唇部之二個側唇較四個亞側唇為窄，二齡幼蟲之口針通常長於20μ；口純結構之發育良好；通常寄主根部不形成瘤…………………………………………………………………………………………19
19	陰門位近中央(subequatorial)，表皮具環紋……………………………………………*Meloidodera* 陰門位近末端或在末端，表皮具環紋或似花邊(lace like)………………………………………20
20	表皮具環紋………………………………………………………………………………*Cryphodera* 表皮具似花邊紋……………………………………………………………………………………21
21	具包囊期(cyst stage)、陰門(vulva)在末端，肛門在背面，不在陰唇(vulval lip)上；或在背部陰唇之內面上方陰門陷入具肛門之末端陰門錐(vulval cone)內………………………………………22 無包囊期，陰門與肛門位于體末端之突起上(on prominence)………………………………*Alalodera*
22	陰門位于體末端，通常在突起上，肛門(anus)在背面而不在陰唇上，二齡幼蟲之口針短於30μ… ……………………………………………………………………………………*Heterodera*(包囊) 陰門陷入末端之陰門錐內，肛門位于背部陰唇之內面上方，二齡幼蟲之口針長於38μ………… ……………………………………………………………………………………………*Sarisodera*
23	尾長與肛門部位體寬之6倍相等或更長(尾部絲狀，末端尖形或棍棒形)…………………………24 尾長通常短於肛門部位體寬之6倍，若較長時，尾部呈圓柱形，較少絲狀………………………28
24	雌蟲具雙卵巢…………………………………………………………………………………25 雌蟲具單卵巢…………………………………………………………………………………26
25	口針無基部節球，頭部無硬化，尾部絲狀，通常末端為棍棒狀…………………………*Psilenchus* 口針具基部節球，頭部硬化，尾部絲狀，末端為尖形……………………………………*Brachydorus*
26	食道為criconematoid型，角皮厚，環紋粗糙……………………………………………*Catloosia* 食道為tylenchoid型，角皮薄，無粗糙之環紋……………………………………………………27
27	口針長(s＝2.5或更大)…………………………………………………………………*Tylodorus* 口針短(s＝2.5)………………………………………………………………………………*Tylenchus*
28	單卵巢(陰門通常位於體後端1/3處)……………………………………………………………29 單卵巢(陰門位於靠近體中央)；口唇部圓錐型，無環紋；雌蟲尾端圓鈍，尾部角皮膨大…… ……………………………………………………………………………………………*Trophurus* 雙卵巢(陰門位置靠近體中央)…………………………………………………………………44
29	前部食道(procorpus)和中部食道(metacorpus)不膨大，不合成一大形之瓣球(valvular bulb)………………………………………………………………………………………………30 前部食道和中部食道膨大並癒合成一大形瓣球……………………………………………………37
30	口針纖弱(長15μ或以下)；尾部尖形或亞尖形……………………………………………………31

	口針堅強(通常長於15μ)；尾部逐漸尖細或鈍圓……………………………………………………33
31	卵巢具1-2列卵母細胞(oocytes)，不以軸排列，成熟之雌蟲細長或肥大…………………………32 卵巢具多行之卵母細胞而以軸排列，成熟之雌蟲大部分肥大，發生於葉片或花器之瘤狀物………………………………………………………………………………*Anguina*(腫瘻)
32	卵巢具1或多個反轉(flexures)，蟲體中等粗大，發生於禾本科植物(Gramineae)之根瘤內…………………………………………………………………………………*Subanguina* 卵巢伸直，細長，發生於球莖、莖、葉及塊莖………………………………………*Ditylenchus*(莖)
33	s=1.5或更大；尾長通常為肛門部位體寬之1.5倍或短些………………………………*Rotylenchoides* s值小於1.5；尾長通常為肛門部位體寬之1.5倍以上…………………………………………34
34	食道與腸重疊於腸之腹面……………………………………………………*Pratylenchus*(根腐) 食道與腸重疊於腸之背面……………………………………………………………………35
35	口唇部低，通常為圓形；口針節球前端平；雌雄異形………………………………*Radopholoides* 口唇部高圓錐形；口針節球向前傾斜或呈鋸齒狀；蟲存在或不存在……………………………36
36	雌蟲體形膨大，口針節球後端向前傾斜；雌雄異形……………………………………*Acotylus* 雌蟲體形細長，各口針節球向前逐漸變小或呈鋸齒狀之尖端；蟲未詳…………………*Hoplotylus*
37	成熟之雌蟲無特別之角皮或鞘(sheath)…………………………………………………………38 成熟之雌蟲具特別之角皮或鞘……………………………………………………………………40
38	角皮具向後突出之體環…………………………………………………………………………39 角皮無向後突出之體環…………………………………………………………………………41
39	雌蟲體環後端邊緣具刺狀、鱗狀、片狀或柄狀等附屬物…………………………*Criconema*(環紋) 雌蟲體環後端邊緣為圓滑或鈍鋸齒狀(波形)……………………………………*Criconemella*(環紋)
40	口針節球圓形，向後傾斜；角皮具200以上之體環……………………………*Hemicycliophora*(鞘) 口針節球為錨形，具前端突起；角皮通常具200以下之體環……………*Hemicriconemoides*(鞘)
41	雌蟲體環後端邊緣無膜狀物構造…………………………………………………………………42 雌蟲體環後端邊緣具膜狀物構造……………………………………………………………*Bakernema*
42	雌蟲角皮裝飾有微小瘤…………………………………………………………………*Cacopaurus* 雌蟲角皮不具微小瘤…………………………………………………………………………43
43	雌蟲口針長為36μ或短些……………………………………………………*Paratylenchus*(釘) 雌蟲口針長為45-120μ………………………………………………………………*Gracilacus*
44	S=2.5或超過……………………………………………………………………………………45 S=通常小於2.5…………………………………………………………………………………49
45	食道腺不被覆蓋於球狀物內，其長度通常不等，重疊於腸……………………………………46 食道腺被覆蓋於球狀物內，通常不與腸重疊……………………………………………………47
46	平均體長通常為1.75㎜或長些………………………………………………*Belonolaimus*(刺) 平均體長通常短於1.75㎜……………………………………………………………………48
47	口針部為連續的……………………………………………………………………*Macrotrophurus* 口唇部被明顯之縊縮分明……………………………………………………*Dolichodorus*(錐)
48	側區(lateral field)具 4 條側線…………………………………………………………*Morulaimus* 側區具 2 條側線(lateral incisures)…………………………………………………*Carphodorus*

49	缺側尾腺口(phasmids)……*Aphasmatylenchus* 具側尾腺口……50
50	尾長一般短於肛門部位體寬之1.5倍……61 尾長為肛門部位體寬之1.5倍或長些……51
51	食道腺長度不等，與腸重疊於背面或腹面側方……52 食道腺通常被球狀物(bulb)包圍在內，如不被包圍，則長度大約相等，因此被認為不與腸重疊……59
52	無頭部骨骼(cephalic framework)或發育適度；雌蟲頭不低或平坦……53 具發育良好之頭部骨骼；雌蟲頭部低，圓形或平坦……56
53	口針發育良好；側帶具 4 條側線……54 細長之口針具分歧之基部節球；側帶具3條側線……*Trichotylenchus*
54	雌蟲尾部為圓柱形，末端圓形……55 雌蟲尾部為長圓錐形，末端鈍形……*Telotylenchus*
55	口針前端不對稱；尾部短，末端寬圓……*Histotylenchus* 口針前端不對稱；雌蟲尾端寬圓乃至球形具厚角皮……*Telotylenchoides*
56	食道與腸重疊於腸之背面……57 食道與腸重疊於腸之腹面……58
57	重疊部位短，雌雄異形(sexual dimorphism)不顯著……*Pratylenchoides* 重疊部位長，雌雄異形顯著……*Radopholus*(穿孔)
58	尾端具尾端突起(mucronate)……*Hirschmanniella*(穿根) 尾端不具尾端突起……*Zygotylenchus*
59	雌蟲尾端不呈尖形……60 雌蟲尾端呈尖形或亞尖形……*Tetylenchus*
60	雌蟲尾部圓錐形，尾端鈍圓……*Tylenchorhynchus*(矮化) 雌蟲尾部圓柱形，尾端寬圓，具厚角皮……*Paratrophurus*
61	側尾腺口大……63 側尾腺口小，孔狀……62
62	食道與腸重疊於背面及側面；口唇部具或不具條紋或體環；背食道腺開口至口針基部節球之距離，通常小於口針長度之1/4……*Rotylenchus*(螺旋) 食道與腸重疊典型地在腹面；口唇部無縱走條紋；背食道腺開口至口針基部節球之距離，通常等於或大於口針長度之1/4……*Helicotylenchus*(螺旋)
63	兩個側尾腺口位於陰門後方……64 兩個側尾腺口分別位於陰門後方……65
64	側尾腺口位肛門附近，彼此對立或幾乎對立之位置；口唇部具橫條紋(transverse striae)………*Scutellonema*(螺旋) 側尾腺口彼此不在對立之位置，位於肛門之前方，口唇部無條紋……*Peltamigratus*
65	口針節球(spear knobs)具明顯之前突起；側帶具4條或較少之側線，整個側帶有側帶橫條溝(aerolation)……*Hoplolaimus*(冠) 口針節球為圓形或無明顯之前突起；具4條側線，側帶橫條溝分布於側尾腺口及前方……*Aorolaimus*