

卵菌類 (Oomycetes) 植物病原菌之 殺菌劑感受性探討

戴肇鋒^{1*}、張組程¹

摘要

戴肇鋒、張組程。2024。卵菌類 (Oomycetes) 植物病原菌之殺菌劑感受性探討。臺灣農藥科學 17 : 57-71。

植物病原菌在田間的藥劑感受性 (sensitivity) 會因人為用藥的篩選而改變族群的感受程度，而卵菌類 (Oomycetes) 植物病原菌因生活史中大多以雙倍體 (diploid) 存在，可以造成草本與木本等多類植物產生嚴重病害，國際研究組織常評比其為中高度害物抗藥性風險。本文簡介目前卵菌類病原菌在臺灣的登記用藥情形，以露菌 (downy mildews) 類 267 個使用範圍和疫病菌 (*Phytophthora* spp.) 類 407 個使用範圍為主，再彙整國外卵菌感受性研究的相關數據，計有露菌類相關之 12 筆資料，疫病菌類之 49 筆資料，以及腐黴菌 (*Pythium* spp. 等) 類之 14 筆資料。依據殺菌劑抗藥性行動委員會的指引，內文闡述基準線資料在不同層面的研究與應用，例如相同病原菌在不同地區或作物的感受性資料橋接，同屬不同種病原菌在感受程度上的不等同性，或不同病原菌在同作用機制不同有效成分的感受程度、分子抗藥性發生機制之不等同處。本文提供部分歷史資料供農友、研究人員及決策者查詢並作為未來感受性監測的基準參考值，規劃未來藥劑開發或田間感受性監測時的策略使用。

關鍵詞：卵菌、殺菌劑核准使用範圍、感受性基準線、抗藥性

接受日期：2024 年 8 月 30 日

* 通訊作者。E-mail: cenzh@acri.gov.tw

¹ 臺中市 農業部農業藥物試驗所

前言

植物病原菌在田間的感受性 (sensitivity) 會因重複使用類似作用機制 (mode of action, MoA) 的殺菌劑，經由人擇篩選出具抗藥性 (resistance) 的族群。依據歐洲與地中海植物保護組織 (European and Mediterranean Plant Protection Organization, EPPO) 發表之 EPPO/PP1 213(4) 抗藥性風險分析指出，在評估害物種類抗藥性風險時通常以可快速完成生活史、具備高遺傳變異性、高傳播性的病原菌判定有較高風險，而作用機制標的為單目標基因的化合物因害物可藉單點突變 (point mutation) 的方式產生抵抗力，亦具較高風險⁽³³⁾。在殺菌劑抗藥性行動委員會 (Fungicide Resistance Action Committee, FRAC) 組織的工作團隊中，單點作用機制的殺菌劑如作用機制 C3 (FRAC code 11, quinone outside inhibitor (QoI) working group)、F9 (FRAC code 49, oxysterol binding protein inhibitor (OSBPI) working group)、H5 (FRAC code 40, carboxylic acid amides (CAA) working group) 等是現今較受關注的作用機制類別⁽¹³⁾。

卵菌類 (Oomycetes) 病原菌是一群分類地位屬雜色藻界 (Chromista)、卵菌綱 (Oomycetes) 的物種集合，與真菌一樣都可形成菌絲與孢子等構造，不同處在於其細胞壁的組成，以及其遊走子

(zoospore) 多有雙鞭毛狀構造可行泳動，故稱為擬真菌 (pseudofungi)。卵菌類的生活史不同於真菌常以單套染色體 (haploid) 存活，而是以雙套染色體 (diploid) 為主要的生活模式，在臺灣以無性世代產生之孢囊 (sporangia) 為主要的傳播途徑⁽⁵⁾。由於生活史中較常處於雙套染色體，且可藉由不同交配型進行有性生殖，因此容易造成基因序列的改變，且多數病原菌可透過土壤、風雨、灌溉水等媒介擴散，因此無論在 EPPO 或 FRAC 的評比中此類病原菌常為中高度害物抗藥性風險⁽³³⁾。

在臺灣主要造成作物病害的卵菌病原菌為霜黴目 (Peronosporales) 下的疫病菌 (*Phytophthora* spp.)、露菌 (主要含 *Plasmopara* spp.、*Pseudoperonospora* spp.、*Peronospora* spp. 等) 及腐黴菌 (*Pythium* spp.) 三類，本文將針對臺灣常見的卵菌類病害進行常見殺菌劑使用範圍的盤點，並彙整不同卵菌對殺菌劑的感受性基準線 (baseline) 相關方法學建立與試驗資料，以及數據如何應用於實務，期望對臺灣未來相關研究有所助益。

臺灣常見卵菌類用藥概況

本文在核准用藥的統計上，以植物保護資訊系統⁽¹⁾ 2024 年 6 月為資料統計時間，以“作物(群)-病害-殺菌劑作用機制”為計算單位，若登記殺菌劑為混合劑則分開以兩個有效成分的作用機制做計算；若

同作物在作物群上皆有登記同殺菌劑，則視為兩筆資料，如胡瓜疫病與葫蘆科瓜菜類疫病皆有登記作用機制 H5 的殺菌劑達滅芬 (dimethomorph)，將分別計算為兩筆資料。

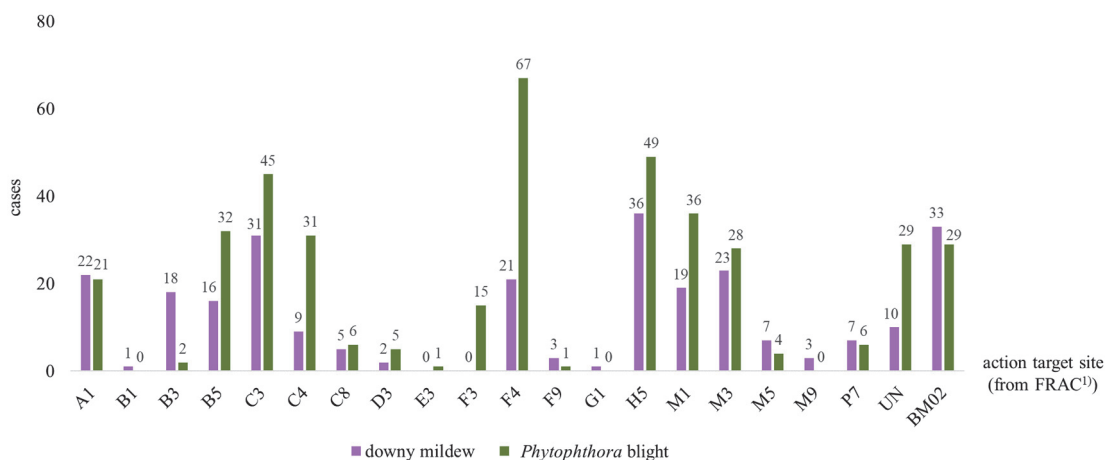
綜合臺灣植物病害名彙⁽⁶⁾以及植物保護資訊系統上的資料，目前卵菌類殺菌劑絕大多數登記於露菌類與疫病菌類，其餘僅有少數作物之白銹病菌 (*Albugo* spp.)，以及荔枝露疫病菌 (*Ph. litchi* = *Peronophythora litchi*) 引發之病害有核准用藥。此外，臺灣若干作物雖有腐黴菌類感染的紀錄，但目前並無相關用藥登記，可能因目前在登記範圍之中文名後無病原菌學名，導致不同作物出現 (1) 同中文病名但實質為不同病原菌引起或 (2) 同病原菌在不同作物上引發之中文病名名稱不同等狀況，造成比對不易進行因此本文不討論其核准用藥。有關腐黴菌在臺灣植物病害名彙中作物的感染記錄可參考附件(補充表一)。

露菌類目前共有 267 個登記核准使用範圍，農藥登記上主要以十字花科蔬菜露菌病 (病原菌 *Pe. brassicae*)、葫蘆科露菌病 (病原菌 *Ps. cubensis* = *Peronoplasmopara cucumeris*)、葡萄露菌病 (病原菌 *Pl. viticola*) 為主，依據政府公告的「農藥延伸使用範圍之群組化」列表延伸至其他使用範圍。疫病菌類目前共有 407 個登記核准使用範圍，農藥登記上主要以番茄晚疫病 (病原菌 *Ph. infestans*)、番椒疫病 (病原菌 *Ph.*

capsici)、木瓜或蓮霧疫病 (病原菌 *Ph. palmivora* 與 *Ph. nicotianae*)、蘭花疫病 (病原菌 *Ph. citrophthora*、*Ph. palmivora* 與 *Ph. nicotianae*) 等為主，再依相同方式延伸至其他使用範圍 (圖一)。

露菌類在化學殺菌劑的個別作用機制統計上以作用機制 H5 類 36 個範圍最多，多數登記殺菌劑為達滅芬，其次為作用機制 C3 類 31 個使用範圍，多數登記殺菌劑為亞托敏 (azoxystrobin)，再者為作用機制 M3 類 23 個和 A1 類的 22 個使用範圍，兩作用機制常作為混合劑，以 M3 類之錳乃浦 (maneb) 或鋅錳乃浦 (mancozeb) 混合 A1 類之滅達樂 (metalaxyl) 或右滅達樂 (metalaxyl-M = mefenoxam) 為主。疫病菌類的個別作用機制統計上以作用機制 F4 類 67 個範圍最多，多數登記殺菌劑為普拔克 (propamocarb hydrochloride)，其次為作用機制 H5 類 49 個使用範圍，多數登記為達滅芬，再者為作用機制 C3 類 44 個使用範圍，多數登記為亞托敏，以及作用機制 M1 類的 36 個使用範圍，多數登記為鹼性氰氧化銅 (copper oxychloride) (圖一)。有關常用卵菌類化學殺菌劑的藥劑特性介紹可參考黃過往的發表⁽⁵⁾。

除化學殺菌劑外目前有部分生物農藥逐漸登記於卵菌病害的防治，如菌種產品液化澱粉芽孢桿菌 QST713 (*Bacillus amyloliquefaciens* QST713)、枯草桿菌 Y1336 (*Bacillus subtilis* Y1336)、蓋棘木黴菌 ICC 080/012 (*Trichoderma gamsii* ICC 080+ *Trichoderma asperellum* ICC 012)，以



圖一、臺灣目前登記之卵菌類病害使用範圍數。

Fig. 1. Number of registered use cases of oomycetes in Taiwan.

¹⁾FRAC = Fungicide Resistance Action Committee.

及代謝物產品純白鏈黴菌素 (fermentation metaboliten of *Streptomyces candidus* Y21007-2) 等。

本文經額外比對，發現除去作物群的使用範圍，目前露菌類有 32 種、疫病菌類有 37 種作物在臺灣植物病害名彙沒有病原菌記錄但有公告使用範圍 (補充表二)。

卵菌類感受性試驗方法與相關參考數據

在感受性的測定上，若試驗菌株從未接觸過相同作用機制的殺菌劑，進行相關試驗後取得之半數有效濃度 (50% of effective concentration, EC₅₀) 數據可視為一地區感受性的基準線，代表病原菌在接觸殺菌劑前的族群原始狀態；若在殺菌

劑登記後再收集菌株，則僅可做為當時期或當地區的感受性監測圖譜 (38)，經由比對原始基準線，可進一步分析殺菌劑感受性變化圖譜，調查分子生物學及生理學上的抗藥性機制。本次資訊整合時若遇文獻內標註為基準線測定者會額外於表內註記 (表一至表三)。

有關不同卵菌的感受性監測方法，根據 FRAC 網站所發布的列表，有接種觀察罹病度之病徵觀察法 (severity method)，接種離葉盤後觀察產孢面積之葉盤法 (leaf disc method)，接種培養基觀察菌絲抑制之菌絲法 (mycelium inhibition method)，及抗藥性標的基因序列分析之分子生物法 (molecular biology method) 等。另也有團隊會以觀察游走子釋放 (zoospore release method) 等其他標的做判定。

表一、露菌類相關 EC₅₀ 感受性文獻彙整

Table 1. Sensitivity records of downy mildews to different fungicides

Pathogen species	Crop	MoA	Fungicide	Baseline study	Isolated years	Country	Test methods	EC ₅₀ (µg ml ⁻¹)		Reference
								Mean	Range	
<i>Peronospora parasitica</i>	-	F9	oxathiopiprolin		2016	China	leaf disc	5.4×10 ⁻⁴	4.2×10 ⁻⁴ -7.0×10 ⁻⁴	30
<i>Plasmopara viticola</i>	grape	A1	metalaxyl-M (mefenoxam)		2005-2007	USA	leaf disc	none were resistance (none grew on 10 µg ml ⁻¹ , some developed with 1 µg ml ⁻¹)		12
	grape	C3	azoxystrobin	y	1997	USA	disease severity	2.4×10 ⁻¹	4.0×10 ⁻² -7.8×10 ⁻¹	47
	grape	F9	oxathiopiprolin	y	2019-2020	Italy	leaf disc	3.2×10 ⁻²	under 4.0×10 ⁻⁵ to over 4.0×10 ⁻¹	25
	-	F9	oxathiopiprolin		2016	China	leaf disc	4.7×10 ⁻⁴	4.2×10 ⁻⁴ -5.2×10 ⁻⁴	30
	grape	F9	oxathiopiprolin	y	2012-2013	Europe	leaf disc	9.0×10 ⁻³	1.0×10 ⁻³ -2.0×10 ⁻²	26
grape	H5	dimethomorph	y	2007-2008	China	leaf disc	1.1×10 ⁻¹	1.0×10 ⁻² -2.1×10 ⁻¹	40	
grape	Un	cymoxanil		2013	Italy	leaf disc	206 and 794 µg ml ⁻¹ in first oilspot appearance; 5 and 15 µg ml ⁻¹ in end of season		43	
<i>Pseudoperonospora cubensis</i>	cucumber	B3	ethaboxam	y	2007-2015	USA	leaf disc	1.4	1.8×10 ⁻¹ -3.1	42
	cucumber	F9	oxathiopiprolin	y	2011-2016	China	leaf disc	2.2×10 ⁻⁴	2.4×10 ⁻⁵ -9.6×10 ⁻⁴	29
	-	F9	oxathiopiprolin		2016	China	leaf disc	5.0×10 ⁻⁴	4.0×10 ⁻⁴ -6.3×10 ⁻⁴	30
	cucumber	BM	phycion	y	2004-2005	China	leaf disc	5.0×10 ⁻¹	2.8×10 ⁻¹ -7.5×10 ⁻¹	49

表二、疫病菌類相關 EC₅₀ 感受性文獻彙整

Table 2. Sensitivity records of *Phytophthora* spp. to different fungicides

Pathogen species	Crop	MoA	Fungicide	Baseline study	Isolated years	Country	Test methods	EC ₅₀ (µg ml ⁻¹)		Reference
								Mean	Range	
<i>Phytophthora cactorum</i>	<i>Panax notoginseng</i>	B3	zoxamide	y	2009-2011	China	mycelial inhibition	1.5×10 ⁻¹	4.0×10 ⁻² -2.9×10 ⁻¹	27
	Strawberry	C3	azoxystrobin		2007	USA	mycelial inhibition (leather, crown) zoospore germination (leather, crown)	3.2; 6.2	1.6×10 ⁻¹ -12.5; 1.0×10 ⁻¹ -15.0; 1.0×10 ⁻² -7.0×10 ⁻² ; 1.0×10 ⁻² -2.4×10 ⁻¹	37
<i>Phytophthora capsici</i>	pepper	B3	zoxamide	y	2007-2009	China	mycelial inhibition	1.1×10 ⁻¹	2.3×10 ⁻² -3.8×10 ⁻¹	8
	Solanaceae, Cucurbitaceae	B3	zoxamide	y	2007	USA	mycelial inhibition	5.0×10 ⁻¹	7.0×10 ⁻² -2.4	17
	pepper	B5	fluopicolide	y	2006-2014	China	mycelial inhibition	1.7×10 ⁻¹	7.0×10 ⁻² -3.4×10 ⁻¹	48
	bell pepper, Cucurbitaceae, Fabaceae	B5	fluopicolide	y	2011	USA	mycelial inhibition zoospore germination sporangia production zoospore production	2.7×10 ⁻¹ 3.2 5.8×10 ⁻² 1.0×10 ⁻¹	8.5×10 ⁻² -1.2 1.4×10 ⁻¹ -13.7 1.0×10 ⁻² -1.4×10 ⁻¹ 3.4×10 ⁻² -1.9×10 ⁻¹	18
	pepper	novel(C6)	SYP-14288	y	-	China	mycelial	6.3×10 ⁻¹	1.0×10 ⁻¹ -1.8	46
	-	F9	oxathiopiprolin		2016	China	mycelial inhibition	6.8×10 ⁻⁴	5.4×10 ⁻⁴ -8.5×10 ⁻⁴	30
	-	F9	R034-1 (derivative from oxathiopiprolin)	y	2010-2015	China	mycelial inhibition	4.0×10 ⁻³	2.0×10 ⁻³ -8.0×10 ⁻³	19
	Solanaceae, Cucurbitaceae	H5	dimethomorph	y	2007	USA	mycelial inhibition	1.9×10 ⁻¹	1.4×10 ⁻¹ -2.6×10 ⁻¹	17
	pepper	H5	iprovalcarb	y	2007-2008	China	mycelial inhibition	3.9×10 ⁻¹	2.0×10 ⁻¹ -5.5×10 ⁻¹	22
	pepper	H5	pyrimorph	y	2006-2010	China	mycelial inhibition	1.4	4.5×10 ⁻¹ -3.2	34
Solanaceae, Cucurbitaceae	U27	cymoxanil	y	2007	USA	mycelial inhibition	5.6×10 ⁻¹	2.5×10 ⁻¹ -8.0×10 ⁻¹	17	
capsicum	BM	tetramycin	y	2015-2017	China	mycelial inhibition sporangia formation zoospore discharge	1.2 6.4×10 ⁻¹ 6.3×10 ⁻²	1.6×10 ⁻¹ -3.3 1.2×10 ⁻¹ -4.6 7.0×10 ⁻² -2.2	24	
<i>Phytophthora cinnamomi</i>	avocado	A1	metalaxyl-M (mefenoxam)		1996-2017	USA	mycelial inhibition	6.1×10 ⁻²	2.3×10 ⁻² -1.4×10 ⁻¹	7
	avocado	B3	ethaboxam	y	1996-2017	USA	mycelial inhibition	3.5×10 ⁻²	1.7×10 ⁻² -6.9×10 ⁻²	7
	avocado	B5	fluopicolide	y	1996-2017	USA	mycelial inhibition	1.3×10 ⁻¹	4.6×10 ⁻² -3.3×10 ⁻¹	7
	avocado	F9	oxathiopiprolin	y	1996-2017	USA	mycelial inhibition	3.0×10 ⁻⁴	2.0×10 ⁻⁴ -7.0×10 ⁻⁴	7
	avocado	H5	mandipropamid	y	1996-2017	USA	mycelial inhibition	5.0×10 ⁻³	3.0×10 ⁻³ -1.1×10 ⁻²	7

表二 (續)、疫病菌類相關 EC₅₀ 感受性文獻彙整Table 2 (continued). Sensitivity records of *Phytophthora* spp. to different fungicides

Pathogen species	Crop	MoA	Fungicide	Baseline study	Isolated years	Country	Test methods	EC ₅₀ (µg ml ⁻¹)		Reference
								Mean	Range	
<i>Phytophthora erythroseptica</i>	potato	A1	metelaxyl		1991-1992 1997-2000	USA	mycelial inhibition	98.9% lower than 1 in 1991-1992, 2.9-36.2% higher than 100 from 1997 to 2000	41	
	potato	B5	fluopicolide	y	2013-2016	USA	mycelial inhibition	1.8×10 ⁻¹	8.0×10 ⁻² -3.5×10 ⁻¹	50
<i>Phytophthora infestans</i>	tomato, potato	A1	metalaxyl-M (mefenoxam)		2004-2012	USA	mycelial inhibition	sensitive lineages were 3.8×10 ⁻¹ and 3.6; insensitive lineage were 51.4 and 338.2		39
	tomato, potato	B5	fluopicolide		2004-2012	USA	mycelial inhibition	-	1.5×10 ⁻¹ -4.7×10 ⁻¹	39
	tomato, potato	C3	azoxystrobin		2004-2012	USA	mycelial inhibition	-	3.0×10 ⁻² -8.0×10 ⁻²	39
	potato	F9	oxathiopiprolin	y	2011-2012	Europe	leaf disc	8.0×10 ⁻³	1.0×10 ⁻³ -2.0×10 ⁻²	39
	-	F9	oxathiopiprolin		2016	China	mycelial inhibition	5.1×10 ⁻⁴	4.8×10 ⁻⁴ -5.5×10 ⁻⁴	30
	tomato, potato	H5	mandipropamid		2004-2012	USA	mycelial inhibition	-	1.0×10 ⁻² -3.0×10 ⁻²	39
	tomato, potato	U27	cymoxanil		2004-2012	USA	mycelial inhibition	-	9.0×10 ⁻² -4.7×10 ⁻¹	39
<i>Phytophthora melonis</i>	-	F9	oxathiopiprolin	y	2016	China	mycelial inhibition	4.8×10 ⁻⁴	4.4×10 ⁻⁴ -5.1×10 ⁻⁴	30
	cucumber	H5	dimethomorph	y	2005	China	mycelial inhibition	2.8×10 ⁻¹	1.4×10 ⁻¹ -5.9×10 ⁻¹	11
	cucumber	H5	flumorph	y	2005	China	mycelial inhibition	9.9×10 ⁻¹	4.1×10 ⁻¹ -1.58	11
	cucumber	H5	iprovalicarb	y	2005	China	mycelial inhibition	3.3×10 ⁻¹	1.0×10 ⁻¹ -4.8×10 ⁻¹	11
<i>Phytophthora nicotianae</i>	home gardens plant	A1	metalaxyl		2014-2018	India	mycelial inhibition	-	7.5×10 ⁻¹ -16.4	14
	tobacco	B5	fluopicolide		2013-2014	USA	mycelial inhibition	9.0×10 ⁻²	6.0×10 ⁻² -1.5×10 ⁻¹	36
							sporangia formation	1.5×10 ⁻¹	7.0×10 ⁻² -4.0×10 ⁻¹	
							zoospore germination	1.6×10 ⁻¹	9.0×10 ⁻² -2.0×10 ⁻¹	
	home gardens plant	C3	azoxystrobin		2014-2018	India	mycelial inhibition	-	1.0×10 ⁻¹ -1.1×10 ⁻¹	14
	tobacco	F9	oxathiopiprolin		2013-2014	USA	mycelial inhibition	1.0×10 ⁻³	2.0×10 ⁻⁴ -1.8×10 ⁻³	36
							sporangia formation	2.0×10 ⁻⁴	1.0×10 ⁻⁴ -5.0×10 ⁻⁴	
							zoospore germination	1.5×10 ⁻³	5.0×10 ⁻⁴ -4.0×10 ⁻³	
	tobacco	H5	mandipropamid		2013-2014	USA	mycelial inhibition	4.0×10 ⁻²	8.0×10 ⁻³ -7.0×10 ⁻²	36
							sporangia formation	3.0×10 ⁻²	5.0×10 ⁻³ -6.0×10 ⁻²	
							zoospore germination	4.0×10 ⁻²	1.0×10 ⁻² -8.0×10 ⁻²	
	home gardens plant	H5	mandipropamid		2014-2018	India	mycelial inhibition	-	2.4-17.2	14
home gardens plant	H5	dimethomorph		2014-2018	India	mycelial inhibition	-	8.9-174.7	14	
home gardens plant	P7	fosetyl- aluminum		2014-2018	India	mycelial inhibition	-	63.8-327.3	14	
<i>Phytophthora parasitica</i>	-	F9	oxathiopiprolin		2016	China	mycelial inhibition	3.1×10 ⁻⁴	2.8×10 ⁻⁴ -3.5×10 ⁻⁴	30
<i>Phytophthora sojae</i>	soybean	B3	zoxamide	y	2002-2010	China	mycelial inhibition	4.8×10 ⁻²	2.3×10 ⁻² -8.6×10 ⁻²	10
	soybean	B3	ethaboxam	y	2002-2010	China	mycelial inhibition	3.5×10 ⁻²	1.8×10 ⁻² -4.9×10 ⁻²	35
	-	F9	oxathiopiprolin		2016	China	mycelial inhibition	3.2×10 ⁻⁴	2.7×10 ⁻⁴ -3.9×10 ⁻⁴	17
<i>Phytophthora</i> spp. <i>Ph. citrophthora</i> <i>Ph. syringae</i> <i>Ph. nicotianae</i> <i>Ph. hibernalis</i>	Citrus	A1	metalaxyl-M (mefenoxam)		1974-2014	USA	mycelial inhibition	3.9×10 ⁻²	1.3×10 ⁻² -1.5×10 ⁻¹	15
							8.0×10 ⁻³	3.0×10 ⁻³ -8.2×10 ⁻²		
							1.8×10 ⁻¹	5.0×10 ⁻² -4.0×10 ⁻¹		
							≤1.0×10 ⁻³	≤1.0×10 ⁻³		
	Citrus	B5	fluopicolide	y	1974-2014	USA	mycelial inhibition	4.0×10 ⁻²	3.1×10 ⁻² -8.7×10 ⁻²	15
							4.5×10 ⁻²	2.0×10 ⁻² -4.6×10 ⁻¹		
							5.7×10 ⁻²	3.9×10 ⁻² -9.5×10 ⁻²		
							1.8×10 ⁻²	1.7×10 ⁻² -1.8×10 ⁻²		
	Citrus	F9	oxathiopiprolin	y	1974-2014	USA	mycelial inhibition	3.0×10 ⁻⁴	2.0×10 ⁻⁴ -1.5×10 ⁻³	15
							1.0×10 ⁻⁴	6.0×10 ⁻⁵ -3.0×10 ⁻⁴		
							5.0×10 ⁻⁴	3.0×10 ⁻⁴ -1.0×10 ⁻³		
							<3.0×10 ⁻⁴	<3.0×10 ⁻⁴		
Citrus	H5	mandipropamid	y	1974-2014	USA	mycelial inhibition	4.0×10 ⁻³	2.0×10 ⁻³ -5.0×10 ⁻³	15	
						3.0×10 ⁻³	2.0×10 ⁻³ -1.1×10 ⁻²			
						5.0×10 ⁻³	2.0×10 ⁻³ -8.0×10 ⁻³			
						5.0×10 ⁻³	4.0×10 ⁻³ -5.0×10 ⁻³			
Citrus	B3	ethaboxam	y	1974-2014	USA	mycelial inhibition	6.8×10 ⁻²	5.0×10 ⁻³ -1.3×10 ⁻¹	15	
						5.0×10 ⁻²	1.0×10 ⁻³ -3.8×10 ⁻²			
						1.6×10 ⁻²	1.0×10 ⁻³ -5.0×10 ⁻²			
						3.0×10 ⁻²	2.6×10 ⁻² -3.4×10 ⁻²			

表三、腐黴菌類相關 EC₅₀ 感受性文獻彙整

Table 3. Sensitivity records of *Pythium* spp. to different fungicides

Pathogen species	Crop	MoA	Fungicide	Baseline study	Isolated years	Country	Test methods	EC ₅₀ (µg ml ⁻¹)		Reference
								Mean	Range	
<i>Pythium aphanidermatum</i>	sugar beet	A1	metalaxyl		1998	USA	mycelial inhibition	2.1	1.2-3.1	9
	-	F9	oxathioprolin		2016	China	mycelial inhibition	>50.0	-	17
<i>Pythium aristosporum</i>	rice	A1+A3	metalaxyl+hymexazol		2019	China	mycelial inhibition	6.0×10 ¹	-	20
	rice	A1+F4	metalaxyl+propamocarb		2019	China	mycelial inhibition	1.4×10 ⁻²	-	20
	rice	P7	fosetyl-aluminum		2019	China	mycelial inhibition	5.6×10 ¹	-	20
<i>Pythium deliense</i>	-	F9	oxathioprolin		2016	China	mycelial inhibition	>50.0	-	17
<i>Pythium ultimum</i>	potato	A1	metalaxyl		1998-2000	USA	mycelial inhibition	94.2% had EC ₅₀ value <1.0	-	41
	chickpea	A1	metalaxyl		2021	USA	mycelial inhibition	-	11.4-50.0	44
<i>Pythium ultimum</i> var. <i>sporangiferum</i>	sugar beet	A1	metalaxyl		1998	USA	mycelial inhibition	1.6×10 ¹	5.0×10 ⁻² -1.3	9
<i>Pythium ultimum</i>	-	F9	oxathioprolin		2016	China	mycelial inhibition	8.5×10 ⁻²	6.0×10 ⁻² -1.2×10 ⁻¹	17
<i>Pythium violae</i>	carrot	B3	zoxamide	y	2010	USA	mycelial inhibition	2.4×10 ⁻²	-	21
	carrot	B5	fluopicolide	y	2010	USA	mycelial inhibition	9.0×10 ⁻¹	-	21
<i>Pythium</i> spp.	soil or cucumber seedling	F9	oxathioprolin		2014-2018	China	mycelial inhibition	-	sensitive species: 1.7×10 ⁻¹ -7.1×10 ⁻³ ; insensitive species: >50.0	32
<i>Phytophthium</i> spp.	water or lotus	F9	oxathioprolin		2014-2017	China	mycelial inhibition	-	2.0×10 ⁻³ -1.3×10 ⁻²	32

露菌類的基準線研究多數以葉盤法為判讀依據，其中以 *Pl. viticola* 最多調查，基準 EC₅₀ 值 (µg ml⁻¹) 包含作用機制 C3 之亞托敏在美國的 2.4×10⁻¹ (47)，F9 之歐西比 (oxathioprolin) 在義大利的 3.2×10⁻² (25) 以及歐盟地區的 9.0×10⁻³ (26)，H5 之達滅芬在中國的 1.1×10⁻¹(40)。在 *Ps. cubensis* 的研究中基準 EC₅₀ 值 (µg ml⁻¹) 包含作用機制 B3 之 ethaboxam 在美國的 1.4 (42)，F9 之歐西比在中國的 2.2×10⁻⁴ (29)，以及 BM 之 physcion 在中國的 5.0×10⁻¹ (49)。與露菌類相關之感受性調查本文共羅列 12 筆資料 (表一)。

疫病類的基準線研究絕大多數以菌絲抑制法為判讀依據，其中以 *Ph. capsici* 最多調查，基準 EC₅₀ 值 (µg ml⁻¹) 包含作用機制 B3 類之座賽胺 (zoxamide) 在中國的 1.1×10⁻¹ (8) 與美國之 5.0×10⁻¹ (17)，B5 類之氟比來 (fluopicolide) 在中國的 1.7×10⁻¹

(48) 與美國之 2.7×10⁻¹ (18)，C6 類之 SYP-14288 於中國之 6.3×10⁻¹ (46)，F9 類之歐西比衍生物 R034-1 在中國之 4.0× 10⁻³ (19)，H5 類達滅芬在美國之 1.9×10⁻¹ (17)、iprovalicarb 在中國之 3.9×10⁻¹ (22)、pyrimorph 在中國之 1.4 (34)，U27 類之克絕 (cymoxanil) 在美國之 5.6×10⁻¹ (17)，BM 類之 tetramycin 於中國之 1.2 (24)。其餘的疫病菌如 *Ph. cactorum*、*Ph. cinnamomi*、*Ph. erythrosetica*、*Ph. infestans*、*Ph. melonis*、*Ph. nicotianae*、*Ph. parasitica*、*Ph. sojae* 等亦有不同之感受性研究，本文共羅列 49 筆資料 (表二)。

腐黴菌類的研究絕大多數僅為感受性調查而非基準線，以菌絲抑制法作為判讀依據，其中基準 EC₅₀ 值 (µg ml⁻¹) 資料有 *Py. violae* 對作用機制 B3 類之座賽胺在美國之 2.4×10⁻² 與 B5 之氟比來在美國之 9.0× 10⁻¹ (21)。本文共羅列 14 筆資料 (表三)。

基準線的數據應用說明

感受性基準線的調查可做為未來分析各地在田間病原菌族群變化時的參考依據。根據 FRAC 的說明，基準線數值可藉由橋接方式套用到同害物不同作物以及同害物不同地區，前提為相同病原菌在至少三地的基準線資料都相近。若是要延伸至不同作物，須注意不同作物是否為病原菌寄主，且作物栽種方式、地理分布與使用殺菌劑的模式是否相近，另在橋接前應分作物進行菌株感受性驗證⁽³⁸⁾。舉例來說，作用機制 B3 之座賽胺在中國與美國皆有對 *Ph. capsici* 的基準線調查，數據平均值分別為 1.1×10^{-1} ⁽⁸⁾ 與 5.0×10^{-1} $\mu\text{g ml}^{-1}$ ⁽¹⁷⁾，試驗的範圍值落在 2.3×10^{-2} - 3.8×10^{-1} 與 7.0×10^{-2} - $2.4 \mu\text{g ml}^{-1}$ ，顯見兩國菌株表現類似，可視為此病原菌在各地對座賽胺普遍的感受性基準線；又這兩項調查的菌株來源為番椒、茄科和葫蘆科作物，應可推論在這兩科的作物上採集到的病原菌感受性應當類似。

同屬不同種病原菌可能對某些殺菌劑有不同的感受性。以歐西比為例，Lin 等人以歐西比及其衍伸物 R034-1 處理各種腐黴菌，觀測到 *Py. ultimum* 的 EC_{50} 值分別為 5.5×10^{-1} 與 7.0×10^{-2} $\mu\text{g mL}^{-1}$ ，而 *Py. deliense* 以及 *Py. aphanidermatum* 對兩有效成分的 EC_{50} 值皆大於 $1 \mu\text{g mL}^{-1}$ ⁽¹⁹⁾；Miao 等人發現 *Py. ultimum* 對歐西比的 EC_{50} 值為 8.5×10^{-2} $\mu\text{g mL}^{-1}$ ，而 *Py. aphanidermatum* 與 *Py. deliense* 高於 $50 \mu\text{g mL}^{-1}$ ⁽³⁰⁾；Miao

等人後又發現除上述的物種外，觀測到 *Py. arrhenomanes* 等 11 個物種之 EC_{50} 值亦高於 $50 \mu\text{g mL}^{-1}$ ，而該研究使用之 *Py. ultimum* 菌株 EC_{50} 值為 1.7×10^{-1} - 4.0×10^{-1} $\mu\text{g mL}^{-1}$ ⁽³²⁾，顯見在同屬不同種間的病原菌對相同殺菌劑有不同程度的感受性，故在進行資料橋接時需格外注意。

相同作用機制的殺菌劑中，病原菌對不同有效成分亦有不同程度的感受性。例如前述 *Ph. capsici* 在作用機制 H5 上有三筆不同殺菌劑的基準線調查，但可觀察到感受性上以 pyrimorph 的 EC_{50} 值最高 ($1.4 \mu\text{g mL}^{-1}$)⁽³⁴⁾，而達滅芬 EC_{50} 值最低 (1.9×10^{-1} $\mu\text{g mL}^{-1}$)⁽¹⁷⁾；雖僅分別為單次紀錄，可能由實驗室操作方式導致相關差異，但仍可做為參考依據。另舉炭疽病為例，段等人針對芒果炭疽病菌 (*Colletotrichum* sp.) 的殺菌劑感受性測定中，作用機制 G1 的撲克拉錳 (prochloraz) 相較於 G1 類其他有效成分有極佳的菌絲抑制力⁽³⁾。相同作用機制的殺菌劑在感受性上可能因化學結構的不同有所差異，因此不可以單一有效成分推估為整體作用機制的感受性評估。

若需進一步了解病原菌分子生物學的抗藥性機制，亦須注意不同病原菌在分子層次上的突變位點是否有偏好性。以亞托敏為例，在殺菌劑標的基因 *cytb* 的研究上發現，無論何種卵菌與真菌，主要突變點都以其 G143A 為主，另雖有 F129L 等其他突變位點，但卻僅能造成感受性些微下降^(12, 16, 23)；再以歐西比為例，關鍵突變

點為標的基因 *ORP1* 上的 Oxysterol binding protein related domain (ORD)，又 Wang 等人發現芋頭疫病菌 (*Ph. colocasiae*) 在田間的抗藥性菌株皆以突變點 G699V 為主⁽⁴⁵⁾，而 Massi 等人發現葡萄露菌病菌上的突變點以 N837I 為主⁽²⁵⁾。以實驗室進行化學誘變的突變株因有環境適應性的問題，並不能作為田間抗藥性發生位點的監測，如不同研究團隊的學者曾以 UV 光⁽²⁶⁾、含歐西比的培養基⁽²⁸⁾、基因編輯⁽³¹⁾等方式誘變疫病菌，其後發現在 *Ph. sojae* 上的 S768F、L733W、S768Y、N837F、N837Y、P861H、L863W、I877Y 突變點，以及 *Ph. capsici* 上的 S768Y、G769W、G770V、G839W、L863W 突變點雖都能造成感受性下降，但都無法在田間收集到相關菌株。有關田間適應性的分析可以菌絲生長速率、孢囊產生情形、葉面壞疽面積等表徵作為參考依據，進而理解不同的突變位點對生存能力的影響。

結論

殺菌劑在開發時農藥廠商常因商業考量，先以主要作物上的主要病原菌為標的進行登記，再藉由延伸使用等方式擴展使用範圍⁽²⁾。從本報導的統計中發現，有若干使用範圍在臺灣植物病害名彙中無法找到病原菌紀錄，未來在進行延伸使用評估時應多留意之。卵菌類病原菌因前述的生物特性抗藥性風險較高，更應仔細評估延伸之需求。目前臺灣研究卵菌類感受性或

抗藥性的報導十分稀少，如陳等人曾以菌絲法測定 *Ph. capsici* 對 A1 類殺菌劑滅達樂之抗感性，發現抗性菌株在 2007 與 2008 年在採集樣本中各佔 28.6% 與 43.4%⁽⁴⁾，未來需持續收集本土感受性資料與國外進行比對，以了解不同地區間的感受性變化狀況是否具備相同趨勢。

部分殺菌劑如滅達樂，為 20 紀中晚期所發明並於田間使用，因當時對於感受性的了解較少，故在基準線的調查資料上較為缺乏，而在 FRAC 的指引中，說明對於缺乏基準線資料、為害較不嚴重、弱病原性真菌等可由田間藥效試驗的資料經換算替代為估算的基準線⁽³⁸⁾。此外 BM 類殺菌劑的登記在臺灣逐漸有增加的現象。如前文所敘，新開發的非化學有效成分亦有部份的感受性資料，從基準線數據可見此類殺菌劑藥效不一定劣於化學殺菌劑，如在 *Ps. cubensis* 的研究中 BM 類藥劑 phycion 的 EC₅₀ 值較化學藥劑 ethaboxam 低^(42, 49)，顯見未來非化學殺菌劑在防治上的潛力。

因應氣候變遷造成的病害相改變，基準線的調查有利於未來對於田間用藥防治策略預做準備。隨病蟲害種類的變化以及目前大眾對農藥在環境的流布、毒性與殘留安全等方面更加重視，部分舊作用機制的殺菌劑逐漸被新藥取代，要如何在產品上市前了解田間病原菌對殺菌劑的初始效力，並在上市後維持感受性，是全球各地在抗藥性管理上注目的議題。本文僅提供部分歷史資訊供讀者查詢並作為未來監測

基準的參考值，作為新藥開發時的研究策略。

補充資料

<https://www.acri.gov.tw/Uploads/Item/9c3c13ef-4efd-48e1-a208-57421c24036d.pdf>

引用文獻

1. 行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所。2018。植物保護資訊系統。檢自 <https://otserv2.acri.gov.tw/PPM/> (Jun. 14, 2024)
2. 李敏郎、林映秀。2011。農藥延伸使用範圍制度之沿革與推行。行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所技術專刊 197：1-14。
3. 段中漢、潘蕙如、王群中。2019。果樹炭疽病菌之分子鑑定及其對殺菌劑之感受性。臺灣農藥科學 6：71-104。
4. 陳昭容、王添成、鍾文鑫。2010。臺灣番椒上之番椒疫病菌 (*Phytophthora capsici*) 對滅達樂之抗感性分析。植病會刊 19：271-279。
5. 黃晉興。2021。卵菌綱植物病原菌的介紹。農業試驗所技術服務季刊 126：14-18。
6. 曾顯雄、曾國欽、張清安、蔡東纂、嚴新富。2019。臺灣植物病害名彙。第五版。中華民國植物病理學會。臺中。329 頁。
7. Belisle, R. J., Hao, W., McKee, B., Arpaia, M. L., Manosalva, P., and Adaskaveg, J. E. 2019. New Oomycota fungicides with activity against *Phytophthora cinnamomi* and their potential use for managing avocado root rot in California. Plant Dis. 103: 2024-2032.
8. Bi, Y., Cui, X., Lu, X., Cai, M., Liu, X., and Hao, J. J. 2011. Baseline sensitivity of natural population and resistance of mutants in *Phytophthora capsici* to zoxamide. Phytopathology 101: 1104-1111.
9. Brantner, J. R., and Windels, C. E. 1998. Variability in sensitivity to metalaxyl *in vitro*, pathogenicity, and control of *Pythium* spp. on sugar beet. Plant Dis. 82: 896-899.
10. Cai, M., Miao, J., Song, X., Lin, D., Bi, Y., Chen, L., Liu, X., and Tyler, B. M. 2016. C239S Mutation in the β -tubulin of *Phytophthora sojae* confers resistance to zoxamide. Front. Microbiol. 7: 762.
11. Chen, L., Zhu, S., Lu, X., Pang, Z., Cai, M., and Liu, X. 2012. Assessing the risk that *Phytophthora melonis* can develop a point mutation (V1109L) in *CesA3* conferring resistance to carboxylic acid amide fungicides. PLoS One 7: e42069.
12. Colcol, J. F., and Baudoin, A. B. 2016. Sensitivity of *Erysiphe necator* and *Plasmopara viticola* in Virginia to QoI fungicides, boscalid, quinoxyfen,

- thiophanate methyl, and mefenoxam. *Plant Dis.* 100: 337-344.
13. CropLife International A.I.S.B.L. 1981. Fungicide resistance action committee website. Retrieved from <https://www.frac.info/> (Jun. 14, 2024)
 14. Dhali, R., Dey, T., Tewari, S., and Guha Roy, S. 2024. A survey of *Phytophthora* spp. in eastern Indian nurseries and their sensitivity to six oomycete targeted commercial fungicides. *Plant Dis.* 108: 486-501.
 15. Gray, M. A., Hao, W., Förster, H., and Adaskaveg, J. E. 2018. Baseline sensitivities of new fungicides and their toxicity to selected life stages of *Phytophthora* species from citrus in California. *Plant Dis.* 102: 734-742.
 16. Hay, F. S., Sharma, S., Hoepting, C., Strickland, D., Luong, K., and Pethybridge, S. J. 2019. Emergence of *Stemphylium* leaf blight of onion in New York associated with fungicide resistance. *Plant Dis.* 103: 3083-3092.
 17. Keinath, A. P. 2007. Sensitivity of populations of *Phytophthora capsici* from South Carolina to mefenoxam, dimethomorph, zoxamide, and cymoxanil. *Plant Dis.* 91: 743-748.
 18. Keinath, A. P., and Kousik, C. S. 2011. Sensitivity of isolates of *Phytophthora capsici* from the eastern United States to fluopicolide. *Plant Dis.* 95: 1414-1419.
 19. Lin, D., Xue, Z., Miao, J., Huang, Z., and Liu, X. 2020. Activity and resistance assessment of a new OSBP inhibitor, R034-1, in *Phytophthora capsici* and the detection of point mutations in PcORP1 that confer resistance. *J. Agric. Food Chem.* 68: 13651-13660.
 20. Liu, J., Zhang, R., Xu, C., Liu, C., Zheng, Y., Zhang, X., Liu, S., and Li, Y. 2022. Characterisation of *Pythium aristosporum* oomycete- A novel pathogen causing rice seedling blight in China. *J. Fungi (Basel)*. 8: 890.
 21. Lu, X. H., Michael, D. R., Livingston, S., Nunez, J., and Hao, J. J. 2012. Fungicide sensitivity of *Pythium* spp. associated with cavity spot of carrot in California and Michigan. *Plant Dis.* 96: 384-388.
 22. Lu, X. H., Zhu, S. S., Bi, Y., Liu, X. L., and Hao, J. J. 2010. Baseline sensitivity and resistance-risk assessment of *Phytophthora capsici* to iprovalicarb. *Phytopathology* 100: 1162-1168.
 23. Luo, Q., Schoeneberg, A., and Hu, M. 2021. Resistance to azoxystrobin and thiophanate-methyl is widespread in *Colletotrichum* spp. isolates from the mid-Atlantic strawberry fields. *Plant Dis.* 105: 2202-2208.
 24. Ma, D., Zhu, J., He, L., Cui, K., Mu, W.,

- and Liu, F. 2018. Baseline sensitivity and control efficacy of tetramycin against *Phytophthora capsici* isolates in China. *Plant Dis.* 102: 863-868.
25. Massi, F., Torriani, S. F., Waldner-Zulauf, M., Bianco, P. A., Coatti, M., Borsa, P., Borghi, L., and Toffolatti, S. L. 2023. Characterization of Italian *Plasmopara viticola* populations for resistance to oxathiapiprolin. *Pest Manag. Sci.* 79: 1243-1250.
 26. Mboup, M. K., Sweigard, J. W., Carroll, A., Jaworska, G., and Genet, J. L. 2022. Genetic mechanism, baseline sensitivity and risk of resistance to oxathiapiprolin in oomycetes. *Pest Manag. Sci.* 78: 905-913.
 27. Mei, X., Yang, M., Jiang, B., Ding, X., Deng, W., Dong, Y., Chen, L., Liu, X., and Zhu, S. 2015. Proteomic analysis on zoxamide-induced sensitivity changes in *Phytophthora cactorum*. *Pestic. Biochem. Physiol.* 123: 9-18.
 28. Miao, J., Cai, M., Dong, X., Liu, L., Lin, D., Zhang, C., Pang, Z., and Liu, X. 2016. Resistance assessment for oxathiapiprolin in *Phytophthora capsici* and the detection of a point mutation (G769W) in PcORP1 that confers resistance. *Front Microbiol.* 7: 615.
 29. Miao, J., Dong, X., Chi, Y., Lin, D., Chen, F., Du, Y., Liu, P., and Liu, X. 2018. *Pseudoperonospora cubensis* in China: Its sensitivity to and control by oxathiapiprolin. *Pestic. Biochem. Physiol.* 147: 96-101.
 30. Miao, J., Dong, X., Lin, D., Wang, Q., Liu, P., Chen, F., Du, Y., and Liu, X. 2016. Activity of the novel fungicide oxathiapiprolin against plant-pathogenic oomycetes. *Pest Manag. Sci.* 72: 1572-1277.
 31. Miao, J., Liu, X., Li, G., Du, X., and Liu, X. 2020. Multiple point mutations in PsORP1 gene conferring different resistance levels to oxathiapiprolin confirmed using CRISPR–Cas9 in *Phytophthora sojae*. *Pest Manag. Sci.* 76: 2434-2440.
 32. Miao, J., Liu, X., Du, X., Li, G., Li, C., Zhao, D., and Liu, X. 2020. Sensitivity of *Pythium* spp. and *Phytophthora* spp. and tolerance mechanism of *Pythium* spp. to oxathiapiprolin. *Pest Manag. Sci.* 76: 3975-3981.
 33. OEPP/EPPO. 2015. PP 1/213 (4) resistance risk analysis. *OEPP/EPPO Bull.* 45: 371-387.
 34. Pang, Z., Shao, J., Chen, L., Lu, X., Hu, J., Qin, Z., and Liu, X. 2013. Resistance to the novel fungicide pyrimorph in *Phytophthora capsici*: risk assessment and detection of point mutations in Cesa3 that confer resistance. *PLoS One* 8: e56513.
 35. Peng, Q., Wang, Z., Fang, Y., Wang, W., Cheng, X., and Liu, X. 2019. Point

- mutations in the β -tubulin of *Phytophthora sojae* confer resistance to ethaboxam. *Phytopathology* 109: 2096-2106.
36. Qu, T., Shao, Y., Csinos, A. S., and Ji, P. 2016. Sensitivity of *Phytophthora nicotianae* from tobacco to fluopicolide, mandipropamid, and oxathiapiprolin. *Plant Dis.* 100: 2119-2125.
37. Rebollar-Alviter, A., Madden, L. V., Jeffers, S. N., and Ellis, M. A. 2007. Baseline and differential sensitivity to two QoI fungicides among isolates of *Phytophthora cactorum* that cause leather rot and crown rot on strawberry. *Plant Dis.* 91: 1625-1637.
38. Russell, P. E. 2002. Sensitivity baselines in fungicide resistance research and management. *CropLife International*, Brussels, Belgium. 56 pp.
39. Saville, A., Graham, K., Grünwald, N. J., Myers, K., Fry, W. E., and Ristaino, J. B. 2015. Fungicide sensitivity of U.S. genotypes of *Phytophthora infestans* to six oomycete-targeted compounds. *Plant Dis.* 99: 659-666.
40. Sun, H., Wang, H., Stammler, G., Ma, J., Liu, J., and Zhou, M. 2010. Sensitivity of Chinese isolates of *Plasmopara viticola* to metalaxyl and dimethomorph. *J. Phytopathol.* 158: 450-452.
41. Taylor, R. J., Salas, B., Secor, G. A., Rivera, V., and Gudmestad, N. C. 2002. Sensitivity of North American isolates of *Phytophthora erythroseptica* and *Pythium ultimum* to mefenoxam (metalaxyl). *Plant Dis.* 86: 797-802.
42. Thomas, A., Neufeld, K. N., Seebold, K. W., Braun, C. A., Schwarz, M. R., and Ojiambo, P. S. 2018. Resistance to fluopicolide and propamocarb and baseline sensitivity to ethaboxam among isolates of *Pseudoperonospora cubensis* from the eastern United States. *Plant Dis.* 102: 1619-1626.
43. Toffolatti, S. L., Venturini, G., Campia, P., Cirio, L., Bellotto, D., and Vercesi, A. 2015. Sensitivity to cymoxanil in Italian populations of *Plasmopara viticola* oospores. *Pest Manag. Sci.* 71: 1182-1188.
44. Wang, M., Van Vleet, S., McGee, R., Paulitz, T., Porter, L., Schroeder, K., Vandemark, G., and Chen, W. 2021. Chickpea seed rot and damping-off caused by metalaxyl-resistant *Pythium ultimum* and its management with ethaboxam. *Plant Dis.* 105: 1728-1737.
45. Wang, Z., Ke, Q., Tao, K., Li, Q., Xia, Y., Bao, J., and Chen, Q. 2022. Activity and point mutation G699V in PcoORP1 confer resistance to oxathiapiprolin in *Phytophthora colocasiae* field isolates. *J. Agric. Food Chem.* 70: 14140-14147.
46. Wang, Z., Peng, Q., Hou, Y., Gao, X., Zhong, S., Fang, Y., Liu, C., and Liu, X.

2020. Resistance assessment for SYP-14288 in *Phytophthora capsici* and changes in mitochondria electric potential-associated respiration and ATP production confers resistance. *Pest Manag. Sci.* 76: 2525-2536.
47. Wong, F. P., and Wilcox, W. F. 2000. Distribution of baseline sensitivities to azoxystrobin among isolates of *Plasmopara viticola*. *Plant Dis.* 84: 275-281.
48. Wu, J., Xue, Z., Miao, J., Zhang, F., Gao, X., and Liu, X. 2020. Sensitivity of different developmental stages and resistance risk assessment of *Phytophthora capsici* to fluopicolide in China. *Front. Microbiol.* 11: 185.
49. Yang, X. J., Yang, L. J., Zeng, F. S., Xiang, L. B., Wang, S. N., Yu, D. Z., and Ni, H. 2008. Distribution of baseline sensitivities to natural product phytoalexin among isolates of *Sphaerotheca fuliginea* and *Pseudoperonospora cubensis*. *Plant Dis.* 92: 1451-1455.
50. Zhang, X., Jiang, H., and Hao, J. 2019. Evaluation of the risk of development of fluopicolide resistance in *Phytophthora erythroseptica*. *Plant Dis.* 103: 284-288.

Overview of Oomycetes Plant Pathogen Sensitivity to Various Fungicides

Chao-Feng Tai^{1*}, Tsu-Cheng Chang¹

Abstract

Tai, C. F., and Chang, T. C. 2024. Overview of oomycetes plant pathogen sensitivity to various fungicides. *Taiwan Pestic. Sci.* 17: 57-71.

The sensitivity of plant pathogens to pesticides in field may change with pesticide usage strategies. Numerous organizations have classified oomycetes as having a medium-high risk of pesticide resistance due to characteristics such as a mostly diploid life-cycle, the ability to cause severe plant diseases, etc. This article provides an overview of the current registration statuses of chemical treatments for oomycete pathogens in Taiwan. We primarily focused on downy mildews (267 registered uses) and *Phytophthora* spp. (407 registered uses). In addition, we compiled data from international studies pertaining to the susceptibility of oomycete species to various fungicides, including downy mildews (12 records), *Phytophthora* spp. (49 records), and *Pythium* spp. (14 records). Then, using this data, we performed applications using the sensitivity index produced by the Fungicide Resistance Action Committee (FRAC), which included (1) bridging data derived from the same species to different crops or regions, (2) data pertaining to the unequal sensitivity of different species within the same genus, or active ingredients with the same mode of action (MoA), and (3) molecular resistance mechanism studies. Finally, this article provides historical information related to the establishment of reference values for different baselines, which can help agricultural workers, researchers, and policy makers develop and improve fungicide development and field monitoring strategies.

Key words: oomycetes, fungicide registered use range, sensitivity baseline, resistance

Accepted: August 30, 2024.

* Corresponding author, E-mail: cenhz@acri.gov.tw

¹ Agricultural Chemicals Research Institute, Ministry of Agriculture, Taichung