

蔬菜及花卉立枯絲核菌 (*Rhizoctonia solani*) 對 FRAC G 類殺菌劑之感受性分析

李敏郎^{1*}

摘要

李敏郎。2026。蔬菜及花卉立枯絲核菌 (*Rhizoctonia solani*) 對 FRAC G 類殺菌劑之感受性分析。臺灣農藥科學 20 : 21-45。

本研究持續探討臺灣蔬菜及花卉等 13 種植物上所分離之 15 株立枯絲核菌 (*Rhizoctonia solani*)，對 20 種 FRAC G 類單劑與其混合劑等共 34 種殺菌劑之感受性進行室內生物檢定，探討同類作用機制殺菌劑是否存在交叉抗藥性及其對現行登記劑量抗藥性之相對風險。供試菌株對 G 類殺菌劑感受性可分為 4 種程度，其 EC_{50} 低於 0.1 mg a.i./L 者有：得克利、菲克利、滅特座及依普座，介於 0.1–1.0 mg/L 者有：環克座、溴克座、護矜得、三泰隆、普克利、平克座、四克利及邁克尼，介於 1.0–10 mg/L 者有：三得芬、賽福座、待克利、撲克拉、依滅列及芬瑞莫，而高於 10 mg a.i./L 者有：賽福寧及易胺座。在混合劑部份，除貝芬依滅列及貝芬撲克拉之抑制作用來自貝芬替外，其餘亞托環克座等混合劑則來自環克座等 G1 類殺菌劑。分析同類群內交叉抗藥性部分，結果呈現 4 種集群 (cluster) 樣態，最常見者為易胺座和賽福寧同一群，且與其他 G 類殺菌劑之集群性最遠。分析供試菌株對 G 類殺菌劑感受性之相關性，結果顯示 G2 類三得芬與 G1 類易胺座具相關性，其 Spearman's rho 值為 0.618， $p < 0.016$ ，但與其他 G1 類殺菌劑不存在相關性；19 種供試 G1 類殺菌劑以依普座與 G1 類殺菌劑之相關性最高，賽福寧則最低。探討供試菌株對登記劑量之抗藥性相對風險，結果顯示賽普待克利為高風險，其餘混合劑為低風險；滅特座、得克利和三得芬等單劑為低風險，而芬瑞莫、依滅列及易胺座則為高風險，其概度比檢定與皮爾森卡方檢定之 χ^2 統計值分別為 446.249 及 346.912， P 值均小於 0.001 ($N = 510$)。

關鍵詞：立枯絲核菌、膜的固醇合成抑制劑、感受性、交叉抗藥性、相對風險

接受日期：2026 年 2 月 4 日

* 通訊作者。E-mail: mllee@acri.gov.tw

¹ 臺中市 農業部農業藥物試驗所

前言

立枯絲核菌 (*Rhizoctonia solani* Kühn) 為不具分生孢子之植物病原真菌，菌絲會產生菌核，其有性世代為擔子菌 *Thanatephorus cucumeris* (Frank) Donk.^(17, 20)。立枯絲核菌之寄主範圍廣泛，國內至少有 49 科 130 種植物紀錄⁽²⁾。立枯絲核菌之菌核可殘存於土壤或植株殘體，為害植物根部與地基部，造成根腐、猝倒及基腐等病徵。

福多寧 (flutolanil)、滅普寧 (mepronil) 常用於防治立枯絲核菌引起之立枯病⁽³⁾，兩者作用機制為呼吸作用抑制劑，屬殺菌劑抗藥性行動委員會 (Fungicide Resistance Action Committee, FRAC) 分群之 FRAC 7, C2 類殺菌劑，部份植物病原真菌對 C2 類殺菌劑已於田間產生抗藥性菌株，屬於中至高風險抗藥性等級^(10,11)。就國內立枯絲核菌族群分析其對 FRAC C 類殺菌劑感受性之差異，結果顯示供試菌株對 C2 類賽氟滅 (thiifluzamide) 與福多寧，以及 C3 類百克敏 (pyraclostrobin) 最敏感，其 EC₅₀ 分別為 0.13±0.09、0.22±0.11 及 0.18±0.19 mg a.i./L，C5 類扶吉胺 (fluazinam) 之 EC₅₀ 為 0.37±0.55 mg a.i./L，而 C4 類殺菌劑 EC₅₀ 均超過 1,000 mg a.i./L；在混合劑部份，亞托環克座 (cyproconazole + azoxystrobin) 及三氟得克利 (tebuconazole + trifloxystrobin) 抑制菌絲生長的效果最佳；FRAC C 類殺菌劑中，

立枯絲核菌對福多寧、四氯福多寧 (flutolanil + chlorothalonil)、四氯托敏 (azoxystrobin + chlorothalonil) 及得克利 (tebuconazole) 之抗藥性風險最低，其次為亞托環克座、白克利 (boscalid) 及白列克收欣 (boscalid + kresoxim-methyl)⁽¹⁾。

Arabiat & Khan (2016) 研究指出甜菜立枯絲核菌 AG-2-2 菌株，在 1999 年 prothioconazole (FRAC G1) 尚未登記前，其感受性 EC₅₀ 值為 0.9 mg a.i./L，登記後於 2005 及 2012 檢測時，其 EC₅₀ 值為 0.6 mg a.i./L，顯示 prothioconazole 在登記使用 13 年後，甜菜立枯絲核菌對 prothioconazole 仍維持感受性⁽⁵⁾。Datta *et al.* (2016) 研究指出水稻紋枯病菌 (立枯絲核菌) 對菲克利 (hexaconazole)、待克利 (difenoconazole)、得克利及普克利 (propiconazole) 進行生物檢定，其 EC₅₀ 值分別為 0.062、0.160、0.304 及 0.450 mg a.i./L，對水稻紋枯病菌的菌絲抑制效果不一，其抑制菌核產生數量與菌絲乾重的效果也不一致，顯示同一作用機制下的殺菌劑，對於 *R. solani* 卻有不同的防治效果⁽⁹⁾。Carling *et al.* (1990) 指出立枯絲核菌對菲克利及撲克拉 (prochloraz) 之 EC₅₀ 值分別為 < 1 mg a.i./L，及 1.49 – > 10 mg a.i./L⁽⁷⁾。Amaradasa *et al.* (2014) 指出立枯絲核菌 AG 1-1B 及 AG 2-IIIB 菌株對 triticonazole 之 EC₅₀ 值分別為 0.20±0.13 及 1.26±0.54 mg a.i./L⁽⁴⁾。Hamada *et al.* (2011) 指出小麥立枯絲核菌 (*R. cerealis*) 對待克利之 EC₅₀ 值為 0.062 mg a.i./L，而對護汰

寧 (fludioxonil, FRAC 12, E2) 及依普同 (iprodione, FRAC 2, E3) 之 EC_{50} 值分別為 0.033 及 0.419 mg a.i./L，以上述藥劑進行室內誘變抗藥性試驗中，待克利和護汰寧無法誘導產生抗藥性菌株，依普同抗藥性菌株對得克利仍保持感受性，但對護汰寧則產生抗性⁽¹⁵⁾。Gao *et al.* (2022) 指出水稻紋枯病菌株對依普座 (epoxiconazole)、待克利、菲克利及得克利之 EC_{50} 值，分別為 0.014 ± 0.007 、 0.010 ± 0.016 、 0.011 ± 0.013 及 0.034 ± 0.035 mg a.i./L⁽¹²⁾。Barnes *et al.* (1990) 研究指出落花生立枯絲核菌之菌株對達克利 (diniconazole)、環克座 (cyproconazole) 及得克利之 EC_{50} 值，分別為 0.028、0.056 及 0.166 mg a.i./L⁽⁶⁾。Ou *et al.* (2024) 就水稻上立枯絲核菌菌株對菲克利及待克利的 EC_{50} 值分別為 0.0386 及 0.663 mg a.i./L，且呈現交叉抗藥性現象，且誘導抗藥菌株的 Cyp51 基因表現有增加情形⁽¹⁹⁾。

Yin *et al.* (2023) 就立枯絲核菌抗 FRAC G 類殺菌劑之 Cyp51A 及 Cyp51B 抗藥性基因進行研究，結果指出立枯絲核菌無此類點突變之抗藥性紀錄⁽²⁴⁾。Gong *et al.* (2022) 就抗得克利之立枯絲核菌菌株進行分析，發現抗得克利之立枯絲核菌須付出低生長率、高導電度，以及高滲透壓之適應性代價 (fitness cost)，而抗得克利菌株中存在 S94A、N406S、L750P 等 CYP51 點突變現象，研究中指出立枯絲核菌對菲克利、得克利及依普座之基礎感受性，其 EC_{50} 值分別為 0.02–0.07、0.02–

0.23 及 0.03–0.15 mg a.i./L，其抗性菌株之 EC_{50} 值分別為 0.08–0.18、0.54–3.10 及 0.19–3.54 mg a.i./L⁽¹³⁾。Mu *et al.* (2017) 以關聯性分析交叉抗藥性，結果指出賽氟滅 (FRAC 7, C2) 和待克利、普克利等 FRAC 3, G1 類殺菌劑間，無交叉抗藥性⁽¹⁸⁾。Cheng *et al.* (2023) 就立枯絲核菌多重抗藥機制，與 ABC 運輸蛋白質 (ATP-binding cassette transporter) 及 MFS 運輸蛋白質 (major facilitator superfamily transporter) 有關⁽⁸⁾。

目前國內登記福多寧、滅普寧、待克利、依普座、四克利 (tetraconazole)、菲克利、滅芬座 (mefentrifluconazole) 等殺菌劑，用於防治 *R. solani* 引起之水稻、甜椒、甘藍、萵苣、菠菜等種作物紋枯病、立枯病、猝倒病等病害⁽³⁾。先前已探討立枯絲核菌對 FRAC C 類殺菌劑感受性之差異，以及抗藥性之風險評估⁽¹⁾，為系統性瞭解不同作用機制殺菌劑對立枯絲核菌不同寄主菌株之感受性與抗藥性風險評估，本研究持續探討蔬菜及花卉立枯絲核菌對 FRAC G 類與其混合劑等成品農藥之感受性，並分析供試菌株對相同作用機制之感受性是否一致，以及評估其可能之相對抗藥性風險，供未來防治立枯絲核菌引起植物病害時藥劑選用之重要參考基準。

材料與方法

一、供試菌株來源與接種源製備

本研究為系列試驗，供試立枯絲核菌菌株係分別來自甘藍、萵苣、菠菜、胡瓜、番茄、芋 (taro)、甘藷、百合、金花石蒜 (garden spider lily)、巴西野牡丹 (Asian melastome)、日日春 (periwinkle)、金魚花 (goldfish grass) 與地毯草 (carpetgrass) 等蔬菜與花卉共 13 種植物之罹病根部及植株地基部，經純化、培養及鑑定確認病原菌為 *Rhizoctonia solani*，共得 15 菌株，菌株代號、寄主植物等訊息，詳表一⁽¹⁾。

二、供試藥劑種類

為瞭解立枯絲核菌對 FRAC G 類殺菌劑與其混合劑之感受性，供試藥劑種類係

以 FRAC G 類殺菌劑與其混合劑等成品農藥為試驗藥劑種類，包括 G1 類：溴克座 (bromuconazole)、環克座 (cyproconazole)、待克利 (difenoconazole)、依普座 (epoxiconazole)、芬瑞莫 (fenarimol)、護矽得 (flusilazole)、菲克利 (hexaconazole)、依滅列 (imazalil)、易胺座 (imibenconazole)、滅特座 (metconazole)、邁克尼 (myclobutanil)、平克座 (penconazole)、撲克拉 (prochloraz)、普克利 (propiconazole)、得克利 (tebuconazole)、四克利 (tetraconazole)、三泰隆 (triadimenol)、賽福座 (triflumizole)、賽福寧 (triforine) 等 19 種，G2 類：三得芬 (tridemorph) 1 種，G

表一、立枯絲核菌 15 株供試菌株寄主植物及採集地點清單

Table 1. List of host plants and locations of the 15 *Rhizoctonia solani* isolates used in this study

Isolate	Host common name, scientific name	Isolation tissue	City/County	Township/Dist.	Collection date
R12	Lily, <i>Lilium</i> spp.	Root	Taichung	Houli	02/25/2008
RS001	Iceberg lettuce, <i>Lactuca sativa</i>	Leaf base	Nantou	Puli	03/21/2008
RS002	Leafy lettuce, <i>Lactuca sativa</i>	Leaf base	Taoyuan	Zhongli	04/09/2008
RS004	Leafy lettuce, <i>Lactuca sativa</i>	Leaf base	Taoyuan	Daxi	04/09/2008
RS009	Beef tomato, <i>Solanum lycopersicum</i>	Stem	Nantou	Xinyi	03/29/2008
RS010	Garden spider lily, <i>Lycoris aurea</i>	bulb	Changhua	Yuanlin	04/01/2008
RS011	Taro, <i>Colocasia esculenta</i>	Stem base	Taichung	Dajia	04/21/2008
RS012	Sweet potato, <i>Ipomoea batatas</i>	Stem base	Taichung	Shengang	09/09/2008
RS013	Common melastome, <i>Melastoma candidum</i>	Stem base	New Taipei	Sanzhi	09/10/2008
RS014	Periwinkle, <i>Catharanthus roseus</i>	Root	Taichung	Wufeng	09/17/2008
RS015	Goldfish grass, <i>Antirrhinum majus</i>	Stem base	Yilan	Yuanshan	10/31/2008
RS016	Carpet grass, <i>Axonopus affinis</i>	Root	Nantou	Caotun	12/02/2008
RS017	Cabbage, <i>Brassica oleracea</i>	Leaf base	Tainan	Madou	12/22/2008
RS018	Spinach, <i>Spinacia oleracea</i>	Leaf base	Yunlin	Xiluo	04/09/2009
RS019	Cucumber, <i>Cucumis sativus</i>	Stem base	Nantou	Zhushan	06/01/2009

類混合劑包括：貝芬菲克利 (carbendazim + hexaconazole)、貝芬依滅列 (carbendazim + imazalil)、貝芬撲克拉 (carbendazim + prochloraz)、菲克利腐絕 (hexaconazole + thiabendazole)、賓得克利 (pencycuron + tebuconazole)、亞托環克座 (azoxystrobin + cyproconazole)、三氟得克利 (trifloxystrobin + tebuconazole)、賽普待克利 (cyprodinil + difenoconazole) 等 8 種，以及混合劑另一成分 B 類：貝芬替 (carbendazim)、腐絕 (thiabendazole) 及賓克隆 (pencycuron) 等 3 種，C 類：亞托敏 (azoxystrobin)、三氟敏 (trifloxystrobin) 等 2 種及 D 類：賽普洛 (cyprodinil) 1 種，總共 34 種供試藥劑 (表二)。

三、室內藥效檢定

採用藥劑平板法進行菌絲生長抑制試驗，藥劑平板 PDA 中所含之藥劑有效成份濃度分別為 10^{-3} 、 10^{-2} 、 10^{-1} 、1、 10^1 、 10^2 及 10^3 mg/L，混合均勻後倒入 9 cm 培養皿中，每皿約 20 mL 含藥劑 PDA 培養基，置於無菌操作臺中冷卻，第 2 天進行接種試驗。另以不加藥劑之 PDA 平板為對照組，共 8 處理，每處理 (包括不同藥劑劑量處理組及對照組) 3 重複 (皿)⁽¹⁾。

菌絲接種，係將接種源菌絲塊 (直徑 0.4 cm)，移植到前述藥劑平板上，於 24°C 定溫箱培養，每天測試菌落直徑。當處理組菌落長滿時，即中止記錄，以試驗終止日前一天之菌落直徑，作為該處理之感受

性分析之初始數據。不同濃度處理組之菌絲生長抑制率 (%)，係以 $[(C-0.4)-(T-0.4)]/(C-0.4) \times 100\%$ 方式進行運算，其中 C 為對照組菌落直徑，T 為該濃度處理組菌落直徑。

處理所得之菌絲生長抑制率，其試驗之藥劑濃度經 $\log_{10}$ 轉換後，菌絲抑制率為線形時，以簡單線性迴歸法 (linear analysis) 進行統計⁽¹⁶⁾，當決定係數 R^2 (coefficient of determination) 大於 0.8 時，依該迴歸方程式計算半數抑制濃度 (Effective concentration for 50% inhibition, EC_{50})、最低抑制濃度 (Minimum inhibitory concentration, MIC) 及無效抑制濃度 (No effective concentration, NEC) 等重要統計值，以 EC_{50} 及 MIC 值做為感受性指標 (Sensitivity index)⁽¹⁴⁾。

四、立枯絲核菌菌株對 FRAC G 類殺菌劑與其混合劑之感受性

上述迴歸分析所得之 EC_{50} 及 MIC 值以表單呈現，藉此瞭解立枯絲核菌不同菌株對 FRAC G 類殺菌劑與其混合劑感受性差異情形^(14, 16)。

五、立枯絲核菌菌株對不同作用機制、標的部位及供試藥劑種類之感受性集群分析 (cluster analysis)⁽²¹⁾ 與關聯性分析 (contingency analysis)⁽²²⁾

表二、FRAC G 類與其混合劑之供試殺菌劑種類

Table 2. List of FRAC group G fungicides and mixtures analyzed in this study

MOA ¹⁾	Target site	Fungicide	a.i. ²⁾ content (%)	Formulation ³⁾	Commercial name in Chinese
G	G1	Bromuconazole	8.93	SC	速克
G	G1	Cyproconazole	8.8	SL	天王
G	G1	Difenoconazole	24.9	EC	世介勇
G	G1	Epoxiconazole	7.5	EC	禾綠贊
G	G1	Fenarimol	12	WP	夠旺穩達達
G	G1	Flusilazole	37	EC	新星
G	G1	Hexaconazole	10	EC	水叮噹
G	G1	Imazalil	21.2	EC	易百拉
G	G1	Imibenconazole	15	WP	金灼灼
G	G1	Metconazole	9	SL	統碳吉
G	G1	Myclobutanil	40	WP	超好效
G	G1	Penconazole	19	EW	新-脫百絲
G	G1	Prochloraz	25	EC	霸面讚
G	G1	Propiconazole	25	EC	上等讚
G	G1	Tebuconazole	25.9	EW	獲得多
G	G1	Tetraconazole	11.6	EW	真菌滅
G	G1	Triadimenol	23	EC	拜好當
G	G1	Triflumizole	30	WP	多利仁
G	G1	Triforine	18	EC	沙普多
G	G2	Tridemorph	84.2	EC	可力昇
B + G	B1+G1	Carbendazim + Hexaconazole	34.5	WP	輝常讚
B + G	B1+G1	Carbendazim + Imazalil	40	WP	白粉王
B + G	B1+G1	Carbendazim + Prochloraz	31.6	SE	包友利
B	B1	Carbendazim	50	WP	保粒大
B + G	B1+G1	Hexaconazole + Thiabendazole	23	WP	金富丹
B	B1	Thiabendazole	40	WP	霉剋
B + G	B4 + G1	Pencycuron + Tebuconazole	25	SC	紋炭
B	B4	Pencycuron	23.2	SC	紋煞寧
C + G	C3 + G1	Azoxystrobin + Cyproconazole	28	SC	穩妥當
C	C3	Azoxystrobin	23	SC	稱無限
C + G	C3 + G1	Trifloxystrobin + Tebuconazole	27.3	SC	乎粒勇
C	C3	Trifloxystrobin	50	WG	福臨
D + G	D1 + G1	Cyprodinil + Difenoconazole	31.25	WG	這個好
D	D1	Cyprodinil	50	WG	霹靂馬

¹⁾ MOA: mode of action according to the Fungicide Resistance Action Committee.

²⁾ a.i.: active ingredient.

³⁾ Formulation: EC, emulsifiable concentrate; EW, oil-in-water emulsion; SC, suspension concentrate; SL, soluble concentrate; WG, water dispersible granules; WP, wettable powder.

以 EC_{50} 及 MIC 值之平均值與中位數做為集群分析之數據，以階層式分群法 (hierarchical clustering) 之華德最小變異法 (Ward's Minimum Variance Method) 進行集群分析^(1, 21, 23)。另為進一步瞭解供試菌株對 G 群殺菌劑感受性之關聯性，以生物檢定所得之 EC_{50} 值轉 $\log_{10}$ 後，再以多重相關分析 (multiple correlation analysis) 方式⁽¹⁸⁾，將藥劑兩兩比對其關聯性，因所得部分數據中有超過試驗劑量現象，屬非常態性，採 Spearman 方法進行關聯性分析，p 值小於 0.05 時，則顯示供試菌株對比對之藥劑間具備關聯性，Spearman rho 值越高，相關性越高⁽¹⁸⁾。

六、立枯絲核菌菌株對 FRAC G 類殺菌劑與其混合劑之抗藥性相對風險評估

為瞭解立枯絲核菌是否對供試藥劑產生抗藥性相對風險，以立枯絲核菌對 FRAC C 類殺菌劑與其混合劑之 MIC 值，和該藥劑現行登記之最高劑量進行比對，當試驗所得之 MIC 值大於該藥劑登記劑量時，該菌株計為對該藥劑具抗藥性高風險 (H, High risk for resistance)，相反時則列為抗藥性低風險 (L, Low risk for resistance)，以 $H/(H+L)$ 比值，做為供試藥劑對立枯絲核菌之相對抗藥性風險值 (relative risk for resistance)，並以 MOA、TS、供試藥劑等因子進行關聯性分析⁽²²⁾，探討前述因子與立枯絲核菌供試菌株

抗藥性之關聯性，以為未來田間害物管理之藥劑選擇依據⁽¹⁾。

七、統計分析

前述試驗之線性、非線性回歸分析 (non-linear analysis)⁽¹⁶⁾、集群分析^(21, 23)與多重相關分析⁽¹⁸⁾、關聯性分析⁽²²⁾等統計，係以 SAS JMP® (SAS Institute Inc., v. 13.2, 2016) 軟體進行。

結果

一、立枯絲核菌菌株對 FRAC G 類殺菌劑與其混合劑之感受性

供試菌株對 G 類殺菌劑感受性以 $\log_{10}$ 為單位，可分為 4 種程度，其 EC_{50} 低於 0.1 mg a.i./L 者，有：得克利、菲克利、滅特座及依普座， EC_{50} 值介於 0.047 ± 0.069 – 0.097 ± 0.104 mg a.i./L 之間；介於 0.1–1.0 mg a.i./L 者，有：環克座、溴克座、護矽得、三泰隆、普克利、平克座、四克利及邁克尼， EC_{50} 值介於 0.109 ± 0.069 – 0.913 ± 1.104 mg a.i./L 之間；介於 1.0–10 mg a.i./L 者，有：三得芬、賽福座、待克利、撲克拉、依滅列及芬瑞莫， EC_{50} 值介於 1.055 ± 0.449 – 4.852 ± 10.89 mg a.i./L 之間；高於 10 mg a.i./L 者，有：賽福寧及易胺座， EC_{50} 值分別為 28.57 ± 14.55 及 856.98 mg a.i./L 之間。在混合劑部份，亞托環克座、賓得克利及三

氟得克利抑制菌絲生長的效果最佳，其 EC_{50} 值分別為 0.068 ± 0.033 、 0.079 ± 0.055 及 0.082 ± 0.065 mg a.i./L，其主要抑制作用來自 G1 類環克座及得克利；而貝芬菲克利、菲克利腐絕、貝芬依滅列、賽普待克利及貝芬撲克拉之 EC_{50} 值介於 0.112 ± 0.059 – 0.77 ± 0.262 mg a.i./L 之間，貝芬菲克利、菲克利腐絕及賽普待克利主要抑制作用分別來自菲克利及待克利，貝芬依滅列及貝芬撲克拉則來自貝芬替 (表三)。

二、立枯絲核菌菌株對作用機制、標的部位及供試藥劑種類之感受性集群分析與關聯性分析

應用集群分析方式，分析立枯絲核菌對 20 種 G 類殺菌劑是否具備群內交叉抗藥性，結果顯示 4 種集群樣態，最常見之樣態為易胺座和賽福寧同一群，且與其他 G 類殺菌劑之集群性最遠，共有 R12、RS001、RS002、RS010、RS013、RS015、RS017 及 RS019 等 8 個菌株；其次為易胺座獨立於其他 G 類殺菌劑，共有 RS009、RS012、RS014、RS016 及 RS018 等 5 個菌株；另有 RS011 及 RS004 等 2 個菌株分別呈現不同樣態，RS011 呈現依滅列和撲克拉同群，且與易胺座相近；RS004 則呈現依滅列、撲克拉、賽福座同群，且與賽福寧相近 (圖一)。

進一步以多重相關分析方式，分析立

枯絲核菌是否對供試之 20 種 G 類殺菌劑間具備群內交叉抗藥性，結果顯示 G2 類三得芬與 G1 類易胺座具備相關性，其 Spearman's rho 值為 0.618， $p < 0.016$ ，與其他 G1 類殺菌劑不存在相關性，其 Spearman's rho 值為介於 -0.171–0.468 之間， $p > 0.05$ 。在 19 種供試 G1 類殺菌劑間，賽福寧和其餘 18 種 G1 類殺菌劑之相關性最低，Spearman's rho 值介於 -0.007–0.288 之間；其次為滅特座，除溴克座、依普座外，和其餘 16 種 G1 類殺菌劑之相關性低；撲克拉和環克座、待克利、依普座及護矽得之相關性高，與其餘 14 種 G1 類殺菌劑之相關性低；就 G1 類殺菌而言，依普座與其餘 G1 類殺菌劑之相關性最高，待克利次之，其餘為環克座、護矽得、菲克利及平克座 (表四)。

四、立枯絲核菌菌株對 FRAC C 類殺菌劑與其混合劑之相對抗藥性風險評估

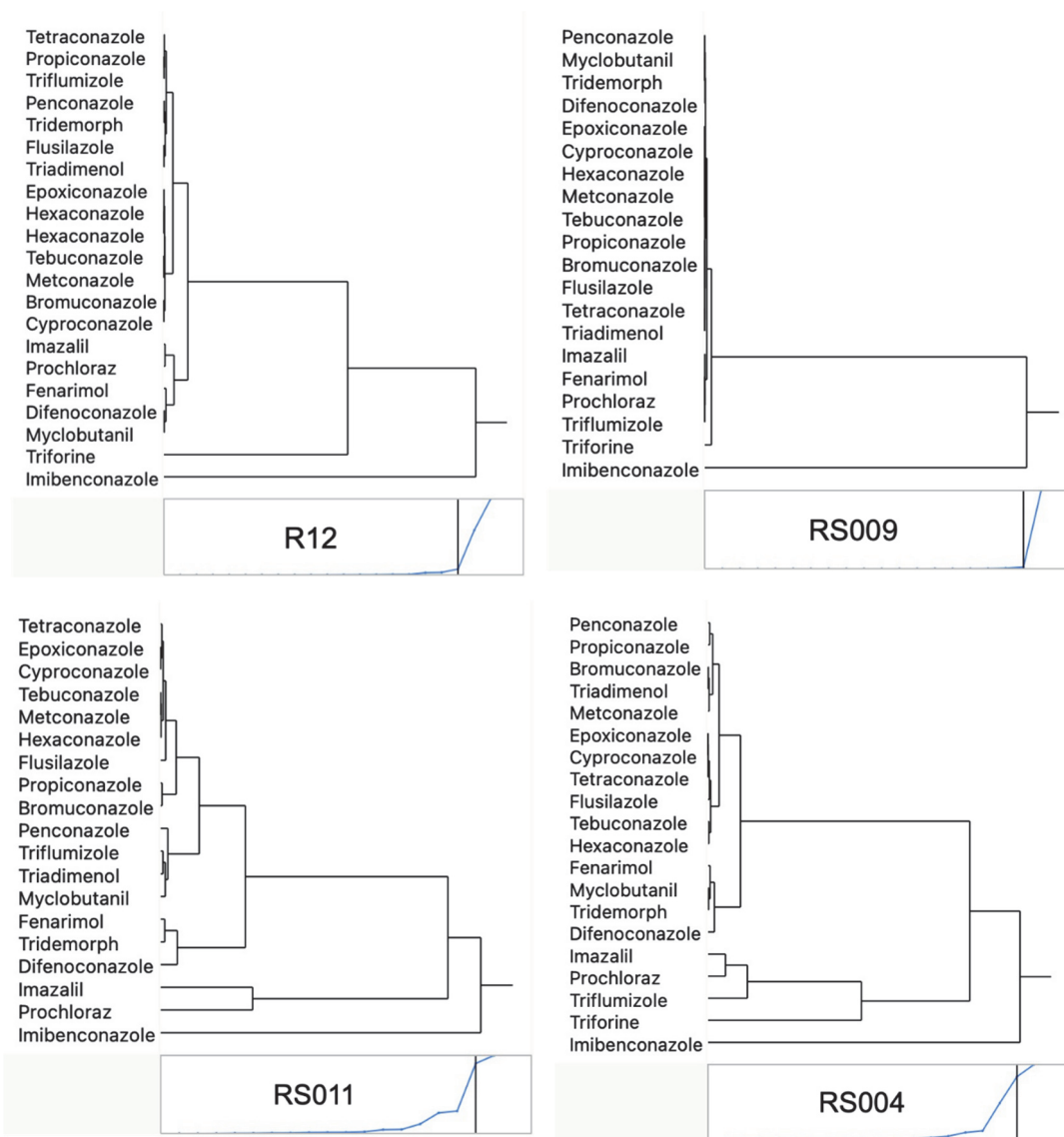
經比對現行登記劑量，供試菌株對 FRAC G 類殺菌劑與其混合劑之相對抗藥性風險值詳如表五，以 mode of action (MOA)、Target site (TS) 和供試藥劑等因子進行關聯性分析，MOA 分析結果顯示，B + G 類殺菌劑之抗藥性風險最低，有 2.67% 抗藥性風險，其次為 C + G 類，有 10.0% 抗藥性風險，而 G 類則有 52.33% 抗藥性風險 (圖二 A)，其概似比檢定 (Likelihood ratio test) 及皮爾森卡方

表三、立枯絲核菌對 FRAC G 類殺菌劑與其混合劑之感受性

Table 3. Sensitivity of *Rhizoctonia solani* to FRAC group G fungicides and mixtures

Target site	Fungicides	EC ₅₀ (mg a.i./L) ¹⁾				MIC (mg a.i./L) ²⁾			
		Median	Mean	SD ³⁾	Range	Median	Mean	SD	Range
G1	Bromuconazole	0.220	0.266	0.282	0.039–1.225	35.966	77.471	104.834	11.107–407.819
G1	Cyproconazole	0.097	0.109	0.069	0.021–0.274	28.855	40.292	32.667	3.22–122.301
G1	Difenoconazole	1.050	1.369	1.689	0.004–6.803	> 1,000	> 1,000	> 1,000	16.975–> 1,000
G1	Epoxiconazole	0.056	0.097	0.104	0.005–0.396	21.043	24.822	23.736	1.936–94.492
G1	Fenarimol	1.728	4.852	10.89	0.042–43.725	> 1,000	> 1,000	> 1,000	65.925–> 1,000
G1	Flusilazole	0.202	0.375	0.371	0.012–1.262	95.371	179.057	202.631	2.048–700.323
G1	Hexaconazole	0.068	0.072	0.061	0.006–0.248	15.441	22.282	24.963	0.717–103.568
G1	Imazalil	2.050	2.547	1.888	0.349–8.388	379.187	376.412	166.505	142.606–794.113
G1	Imibenconazole	4.567	856.98	> 1,000	0–> 1,000	> 1,000	> 1,000	> 1,000	> 1,000
G1	Metconazole	0.043	0.074	0.070	0.001–0.222	44.989	44.196	21.917	7.336–101.855
G1	Myclobutanil	0.571	0.913	1.104	0.082–4.615	228.743	265.438	204.538	58.255–888.072
G1	Penconazole	0.413	0.540	0.349	0.044–1.4	120.779	181.852	121.275	2.822–408.24
G1	Prochloraz	2.058	2.480	1.695	0.5–6.506	> 1,000	> 1,000	> 1,000	186.96–> 1,000
G1	Propiconazole	0.252	0.456	0.641	0.028–2.646	137.686	260.886	401.073	2.763–1637.709
G1	Tebuconazole	0.015	0.047	0.069	0–0.21	19.460	20.280	9.001	7.088–46.31
G1	Tetraconazole	0.395	0.632	0.772	0.003–2.52	58.505	92.647	79.993	2.152–256.78
G1	Triadimenol	0.400	0.448	0.421	0.04–1.858	113.533	158.174	139.114	3.158–556.769
G1	Triflumizole	0.611	1.078	1.015	0.123–4.083	531.722	903.244	> 1,000	61.576–> 1,000
G1	Triforine	31.69	28.57	14.55	3.65–55.975	> 1,000	> 1,000	> 1,000	587.177–> 1,000
G2	Tridemorph	1.003	1.055	0.449	0.556–2.356	383.165	425.064	115.595	219.711–619.072
B1 + G1	Carbendazim + Hexaconazole	0.101	0.112	0.059	0.018–0.239	6.180	7.788	5.812	0.516–24.854
B1 + G1	Carbendazim + Imazalil	0.390	0.380	0.166	0.126–0.718	12.361	13.797	9.719	0.235–38.263
B1 + G1	Carbendazim + Prochloraz	0.747	0.770	0.262	0.39–1.164	47.484	82.394	74.479	18.54–222.43
B1	Carbendazim	0.361	0.365	0.149	0.169–0.605	16.577	21.332	11.504	10.984–53.429
B1 + G1	Hexaconazole + Thiabendazole	0.169	0.172	0.083	0.046–0.367	12.176	18.151	23.048	3.065–98.247
B1	Thiabendazole	0.368	0.367	0.182	0.112–0.828	7.607	18.462	39.064	5.952–159.462
B4 + G1	Pencycuron + Tebuconazole	0.066	0.079	0.055	0.018–0.222	16.195	49.264	65.497	2.442–165.888
B4	Pencycuron	0.0005	26.518	99.205	2x10 ⁶ –371.194	1.620	> 1,000	> 1,000	0.154–> 1,000
C3 + G1	Azoxystrobin + Cyproconazole	0.057	0.068	0.033	0.01–0.137	21.486	30.857	34.455	2.574–121.905
C3	Azoxystrobin	144.33	> 1,000	> 1,000	0.07–> 1,000	> 1,000	> 1,000	> 1,000	> 1,000
C3 + G1	Trifloxystrobin + Tebuconazole	0.059	0.082	0.065	0.009–0.209	49.819	78.708	90.291	18.92–379.966
C3	Trifloxystrobin	8.377	22.26	25.58	0.643–74.645	> 1,000	> 1,000	> 1,000	> 1,000
D1 + G1	Cyprodinil + Difenoconazole	0.554	0.736	0.558	0.059–2.003	550.229	506.516	403.526	36.792–> 1,000
D1	Cyprodinil	8.716	15.301	12.118	3.391–40.676	> 1,000	> 1,000	> 1,000	966.924–> 1,000

¹⁾ EC₅₀: effective concentration for 50% inhibition of the active ingredient in each tested fungicide.²⁾ MIC: minimum inhibitory concentration of the active ingredient in each tested fungicide.³⁾ SD: standard deviation of the mean.



圖一、以 EC_{50} 與 MIC 之平均值與中位數進行集群分析，立枯絲核菌對 FRAC G 類殺菌劑與其混合劑呈現 4 種群集現象，以 R12、RS009、RS011 及 RS004 代表 4 種群集樣態。

Fig. 1. Mean and median values of EC_{50} and MIC were used for cluster analysis. *Rhizoctonia solani* isolates showed four types of clustering phenomena to FRAC group G fungicides and mixtures. R12, RS009, RS011 and RS004 represent four cluster types.

表四、立枯絲核菌供試菌株對 FRAC G 類殺菌劑之 Spearman 相關係數表

Table 4. List of Spearman's correlations of FRAC G fungicides against *Rhizoctonia solani*

		Spearman's rho	p	Lower 95% CI	Upper 95% CI
Bromuconazole	– Cyproconazole	0.711 **	0.004	0.312	0.897
Bromuconazole	– Difenconazole	0.664 **	0.009	0.230	0.878
Bromuconazole	– Epoxiconazole	0.764 **	0.001	0.414	0.917
Bromuconazole	– Fenarimol	0.782 ***	<.001	0.450	0.924
Bromuconazole	– Flusilazole	0.607 *	0.019	0.138	0.854
Bromuconazole	– Hexaconazole	0.697 **	0.007	0.264	0.896
Bromuconazole	– Imazalil	0.614 *	0.017	0.149	0.857
Bromuconazole	– Imibenconazole	0.450	0.094	-0.081	0.782
Bromuconazole	– Metconazole	0.525 *	0.047	0.017	0.817
Bromuconazole	– Myclobutanil	0.532 *	0.044	0.027	0.821
Bromuconazole	– Penconazole	0.618 *	0.016	0.154	0.858
Bromuconazole	– Prochloraz	0.432	0.109	-0.103	0.773
Bromuconazole	– Propiconazole	0.464	0.083	-0.063	0.789
Bromuconazole	– Tebuconazole	0.575 *	0.027	0.089	0.840
Bromuconazole	– Tetraconazole	0.439	0.103	-0.094	0.777
Bromuconazole	– Triadimenol	0.482	0.071	-0.040	0.797
Bromuconazole	– Tridemorph	0.293	0.289	-0.258	0.700
Bromuconazole	– Triflumizole	0.504	0.058	-0.012	0.808
Bromuconazole	– Triforine	0.226	0.436	-0.346	0.676
Cyproconazole	– Difenconazole	0.821 ***	<.001	0.534	0.939
Cyproconazole	– Epoxiconazole	0.846 ***	<.001	0.590	0.948
Cyproconazole	– Fenarimol	0.825 ***	<.001	0.542	0.940
Cyproconazole	– Flusilazole	0.846 ***	<.001	0.590	0.948
Cyproconazole	– Hexaconazole	0.855 ***	<.001	0.594	0.953
Cyproconazole	– Imazalil	0.721 **	0.003	0.332	0.901
Cyproconazole	– Imibenconazole	0.793 ***	<.001	0.473	0.928
Cyproconazole	– Metconazole	0.382	0.161	-0.162	0.748
Cyproconazole	– Myclobutanil	0.646 *	0.011	0.201	0.870
Cyproconazole	– Penconazole	0.786 ***	<.001	0.458	0.925
Cyproconazole	– Prochloraz	0.600 *	0.020	0.127	0.851
Cyproconazole	– Propiconazole	0.768 **	0.001	0.421	0.919
Cyproconazole	– Tebuconazole	0.636 *	0.013	0.183	0.866
Cyproconazole	– Tetraconazole	0.689 **	0.006	0.274	0.888
Cyproconazole	– Triadimenol	0.732 **	0.003	0.352	0.905
Cyproconazole	– Tridemorph	0.357	0.192	-0.190	0.735
Cyproconazole	– Triflumizole	0.446	0.097	-0.085	0.780
Cyproconazole	– Triforine	0.037	0.904	-0.503	0.557
Difenconazole	– Epoxiconazole	0.857 ***	<.001	0.615	0.952

表四 (續)、立枯絲核菌供試菌株對 FRAC G 類殺菌劑之 Spearman 相關係數表

Table 4 (continued). List of Spearman's correlations of FRAC G fungicides against *Rhizoctonia solani*

		Spearman's rho	p	Lower 95% CI	Upper 95% CI
Difenoconazole	– Fenarimol	0.871 ***	<.001	0.649	0.957
Difenoconazole	– Flusilazole	0.868 ***	<.001	0.640	0.955
Difenoconazole	– Hexaconazole	0.855 ***	<.001	0.594	0.953
Difenoconazole	– Imazalil	0.657 **	0.010	0.218	0.875
Difenoconazole	– Imibenconazole	0.843 ***	<.001	0.582	0.946
Difenoconazole	– Metconazole	0.432	0.109	-0.103	0.773
Difenoconazole	– Myclobutanil	0.621 *	0.016	0.160	0.860
Difenoconazole	– Penconazole	0.839 ***	<.001	0.574	0.945
Difenoconazole	– Prochloraz	0.543 *	0.039	0.042	0.826
Difenoconazole	– Propiconazole	0.811 ***	<.001	0.510	0.935
Difenoconazole	– Tebuconazole	0.718 **	0.004	0.325	0.899
Difenoconazole	– Tetraconazole	0.714 **	0.004	0.319	0.898
Difenoconazole	– Triadimenol	0.764 **	0.001	0.414	0.917
Difenoconazole	– Tridemorph	0.446	0.097	-0.085	0.780
Difenoconazole	– Triflumizole	0.543 *	0.039	0.042	0.826
Difenoconazole	– Triforine	-0.051	0.868	-0.566	0.493
Epoxiconazole	– Fenarimol	0.786 ***	<.001	0.458	0.925
Epoxiconazole	– Flusilazole	0.825 ***	<.001	0.542	0.940
Epoxiconazole	– Hexaconazole	0.881 ***	<.001	0.659	0.962
Epoxiconazole	– Imazalil	0.804 ***	<.001	0.495	0.932
Epoxiconazole	– Imibenconazole	0.679 **	0.007	0.255	0.884
Epoxiconazole	– Metconazole	0.521 *	0.049	0.013	0.816
Epoxiconazole	– Myclobutanil	0.618 *	0.016	0.154	0.858
Epoxiconazole	– Penconazole	0.804 ***	<.001	0.495	0.932
Epoxiconazole	– Prochloraz	0.746 **	0.002	0.379	0.911
Epoxiconazole	– Propiconazole	0.746 **	0.002	0.379	0.911
Epoxiconazole	– Tebuconazole	0.600 *	0.020	0.127	0.851
Epoxiconazole	– Tetraconazole	0.693 **	0.005	0.280	0.889
Epoxiconazole	– Triadimenol	0.754 **	0.002	0.393	0.913
Epoxiconazole	– Tridemorph	0.164	0.558	-0.380	0.624
Epoxiconazole	– Triflumizole	0.675 **	0.007	0.249	0.882
Epoxiconazole	– Triforine	0.073	0.808	-0.476	0.581
Fenarimol	– Flusilazole	0.768 **	0.001	0.421	0.919
Fenarimol	– Hexaconazole	0.895 ***	<.001	0.693	0.966
Fenarimol	– Imazalil	0.661 **	0.009	0.224	0.876
Fenarimol	– Imibenconazole	0.739 **	0.002	0.365	0.908
Fenarimol	– Metconazole	0.379	0.165	-0.166	0.746
Fenarimol	– Myclobutanil	0.618 *	0.016	0.154	0.858
Fenarimol	– Penconazole	0.829 ***	<.001	0.550	0.941
Fenarimol	– Prochloraz	0.350	0.201	-0.198	0.731

表四 (續)、立枯絲核菌供試菌株對 FRAC G 類殺菌劑之 Spearman 相關係數表

Table 4 (continued). List of Spearman's correlations of FRAC G fungicides against *Rhizoctonia solani*

		Spearman's rho	p	Lower 95% CI	Upper 95% CI
Fenarimol	– Propiconazole	0.736 **	0.003	0.359	0.906
Fenarimol	– Tebuconazole	0.811 ***	<.001	0.510	0.935
Fenarimol	– Tetraconazole	0.739 **	0.002	0.365	0.908
Fenarimol	– Triadimenol	0.807 ***	<.001	0.503	0.933
Fenarimol	– Tridemorph	0.439	0.103	-0.094	0.777
Fenarimol	– Triflumizole	0.489	0.067	-0.031	0.801
Fenarimol	– Triforine	0.262	0.366	-0.312	0.696
Flusilazole	– Hexaconazole	0.807 ***	<.001	0.483	0.936
Flusilazole	– Imazalil	0.586 *	0.024	0.105	0.845
Flusilazole	– Imibenconazole	0.786 ***	<.001	0.458	0.925
Flusilazole	– Metconazole	0.164	0.558	-0.380	0.624
Flusilazole	– Myclobutanil	0.611 *	0.018	0.143	0.855
Flusilazole	– Penconazole	0.904 ***	<.001	0.729	0.968
Flusilazole	– Prochloraz	0.557 *	0.034	0.063	0.832
Flusilazole	– Propiconazole	0.818 ***	<.001	0.526	0.937
Flusilazole	– Tebuconazole	0.582 *	0.025	0.100	0.843
Flusilazole	– Tetraconazole	0.864 ***	<.001	0.632	0.954
Flusilazole	– Triadimenol	0.825 ***	<.001	0.542	0.940
Flusilazole	– Tridemorph	0.307	0.265	-0.243	0.708
Flusilazole	– Triflumizole	0.504	0.058	-0.012	0.808
Flusilazole	– Triforine	-0.051	0.868	-0.566	0.493
Hexaconazole	– Imazalil	0.811 ***	<.001	0.492	0.938
Hexaconazole	– Imibenconazole	0.776 **	0.002	0.417	0.925
Hexaconazole	– Metconazole	0.459	0.101	-0.094	0.796
Hexaconazole	– Myclobutanil	0.824 ***	<.001	0.522	0.943
Hexaconazole	– Penconazole	0.881 ***	<.001	0.659	0.962
Hexaconazole	– Prochloraz	0.433	0.124	-0.127	0.784
Hexaconazole	– Propiconazole	0.881 ***	<.001	0.659	0.962
Hexaconazole	– Tebuconazole	0.631 *	0.018	0.151	0.870
Hexaconazole	– Tetraconazole	0.710 **	0.006	0.288	0.901
Hexaconazole	– Triadimenol	0.864 ***	<.001	0.615	0.956
Hexaconazole	– Tridemorph	0.468	0.094	-0.083	0.800
Hexaconazole	– Triflumizole	0.719 **	0.005	0.304	0.904
Hexaconazole	– Triforine	0.275	0.363	-0.326	0.717
Imazalil	– Imibenconazole	0.682 **	0.007	0.261	0.885
Imazalil	– Metconazole	0.357	0.192	-0.190	0.735
Imazalil	– Myclobutanil	0.707 **	0.004	0.306	0.895
Imazalil	– Penconazole	0.596 *	0.021	0.121	0.849

表四 (續)、立枯絲核菌供試菌株對 FRAC G 類殺菌劑之 Spearman 相關係數表

Table 4 (continued). List of Spearman's correlations of FRAC G fungicides against *Rhizoctonia solani*

		Spearman's rho	p	Lower 95% CI	Upper 95% CI
Imazalil	– Prochloraz	0.454	0.092	-0.076	0.784
Imazalil	– Propiconazole	0.746 **	0.002	0.379	0.911
Imazalil	– Tebuconazole	0.318	0.248	-0.232	0.714
Imazalil	– Tetraconazole	0.582 *	0.025	0.100	0.843
Imazalil	– Triadimenol	0.654 *	0.010	0.212	0.873
Imazalil	– Tridemorph	0.171	0.541	-0.374	0.628
Imazalil	– Triflumizole	0.786 ***	<.001	0.458	0.925
Imazalil	– Triforine	0.288	0.318	-0.286	0.710
Imibenconazole	– Metconazole	0.179	0.524	-0.367	0.633
Imibenconazole	– Myclobutanil	0.589 *	0.023	0.110	0.846
Imibenconazole	– Penconazole	0.796 ***	<.001	0.480	0.929
Imibenconazole	– Prochloraz	0.364	0.182	-0.182	0.739
Imibenconazole	– Propiconazole	0.843 ***	<.001	0.582	0.946
Imibenconazole	– Tebuconazole	0.493	0.064	-0.026	0.803
Imibenconazole	– Tetraconazole	0.736 **	0.003	0.359	0.906
Imibenconazole	– Triadimenol	0.793 ***	<.001	0.473	0.928
Imibenconazole	– Tridemorph	0.618 *	0.016	0.154	0.858
Imibenconazole	– Triflumizole	0.504	0.058	-0.012	0.808
Imibenconazole	– Triforine	0.007	0.988	-0.526	0.535
Metconazole	– Myclobutanil	0.454	0.092	-0.076	0.784
Metconazole	– Penconazole	0.229	0.411	-0.321	0.663
Metconazole	– Prochloraz	0.443	0.100	-0.090	0.779
Metconazole	– Propiconazole	0.254	0.361	-0.297	0.678
Metconazole	– Tebuconazole	0.382	0.161	-0.162	0.748
Metconazole	– Tetraconazole	-0.079	0.783	-0.568	0.452
Metconazole	– Triadimenol	0.125	0.658	-0.414	0.599
Metconazole	– Tridemorph	0.300	0.277	-0.251	0.704
Metconazole	– Triflumizole	0.443	0.100	-0.090	0.779
Metconazole	– Triforine	-0.152	0.605	-0.631	0.412
Myclobutanil	– Penconazole	0.629 *	0.014	0.172	0.863
Myclobutanil	– Prochloraz	0.304	0.271	-0.247	0.706
Myclobutanil	– Propiconazole	0.868 ***	<.001	0.640	0.955
Myclobutanil	– Tebuconazole	0.307	0.265	-0.243	0.708
Myclobutanil	– Tetraconazole	0.439	0.103	-0.094	0.777
Myclobutanil	– Triadimenol	0.571 *	0.029	0.084	0.838
Myclobutanil	– Tridemorph	0.361	0.187	-0.186	0.737
Myclobutanil	– Triflumizole	0.757 **	0.002	0.400	0.915
Myclobutanil	– Triforine	0.077	0.797	-0.473	0.584

表四 (續)、立枯絲核菌供試菌株對 FRAC G 類殺菌劑之 Spearman 相關係數表

Table 4 (continued). List of Spearman's correlations of FRAC G fungicides against *Rhizoctonia solani*

		Spearman's rho	p	Lower 95% CI	Upper 95% CI
Penconazole	– Prochloraz	0.439	0.103	-0.094	0.777
Penconazole	– Propiconazole	0.836 ***	<.001	0.566	0.944
Penconazole	– Tebuconazole	0.554 *	0.035	0.058	0.830
Penconazole	– Tetraconazole	0.857 ***	<.001	0.615	0.952
Penconazole	– Triadimenol	0.921 ***	<.001	0.775	0.974
Penconazole	– Tridemorph	0.371	0.173	-0.174	0.742
Penconazole	– Triflumizole	0.629 *	0.014	0.172	0.863
Penconazole	– Triforine	0.068	0.820	-0.480	0.578
Prochloraz	– Propiconazole	0.432	0.109	-0.103	0.773
Prochloraz	– Tebuconazole	0.432	0.109	-0.103	0.773
Prochloraz	– Tetraconazole	0.407	0.133	-0.133	0.761
Prochloraz	– Triadimenol	0.421	0.119	-0.116	0.768
Prochloraz	– Tridemorph	-0.171	0.541	-0.628	0.374
Prochloraz	– Triflumizole	0.343	0.211	-0.205	0.727
Prochloraz	– Triforine	-0.270	0.349	-0.700	0.304
Propiconazole	– Tebuconazole	0.425	0.116	-0.112	0.770
Propiconazole	– Tetraconazole	0.729 **	0.003	0.345	0.904
Propiconazole	– Triadimenol	0.807 ***	<.001	0.503	0.933
Propiconazole	– Tridemorph	0.386	0.157	-0.158	0.750
Propiconazole	– Triflumizole	0.718 **	0.004	0.325	0.899
Propiconazole	– Triforine	-0.007	0.988	-0.535	0.526
Tebuconazole	– Tetraconazole	0.532 *	0.044	0.027	0.821
Tebuconazole	– Triadimenol	0.604 *	0.020	0.132	0.852
Tebuconazole	– Tridemorph	0.271	0.327	-0.280	0.688
Tebuconazole	– Triflumizole	0.061	0.832	-0.466	0.556
Tebuconazole	– Triforine	0.209	0.473	-0.362	0.666
Tetraconazole	– Triadimenol	0.925 ***	<.001	0.784	0.975
Tetraconazole	– Tridemorph	0.193	0.490	-0.354	0.642
Tetraconazole	– Triflumizole	0.496	0.062	-0.021	0.804
Tetraconazole	– Triforine	0.108	0.716	-0.449	0.604
Triadimenol	– Tridemorph	0.307	0.265	-0.243	0.708
Triadimenol	– Triflumizole	0.582 *	0.025	0.100	0.843
Triadimenol	– Triforine	0.253	0.382	-0.321	0.691
Tridemorph	– Triflumizole	0.164	0.558	-0.380	0.624
Tridemorph	– Triforine	0.002	1.000	-0.529	0.532
Triflumizole	– Triforine	-0.024	0.940	-0.548	0.513

*p < .05, ** p < .01, *** p < .001

表五、立枯絲核菌對 FRAC G 類殺菌劑與其混合劑之相對抗藥性風險分析表

Table 5. Relative risk of *Rhizoctonia solani* isolates developing resistance to FRAC group G fungicides and mixtures

MOA	Target site	Fungicides	H ¹⁾	L ²⁾	Total
G	G1	Bromuconazole	1 6.67	14 93.33	15
G	G1	Cyproconazole	7 46.67	8 53.33	15
G	G1	Difenoconazole	13 86.67	2 13.33	15
G	G1	Epoxiconazole	1 6.67	14 93.33	15
G	G1	Fenarimol	15 100	0 0	15
G	G1	Flusilazole	9 60	6 40	15
G	G1	Hexaconazole	2 13.33	13 86.67	15
G	G1	Imazalil	15 100	0 0	15
G	G1	Imibenconazole	15 100	0 0	15
G	G1	Metconazole	0 0	15 100	15
G	G1	Myclobutanil	13 86.67	2 13.33	15
G	G1	Penconazole	14 93.33	1 6.67	15
G	G1	Prochloraz	14 93.33	1 6.67	15
G	G1	Propiconazole	4 26.67	11 73.33	15
G	G1	Tebuconazole	0 0	15 100	15
G	G1	Tetraconazole	5 33.33	10 66.67	15
G	G1	Triadimenol	7 46.67	8 53.33	15
G	G1	Triflumizole	8 53.33	7 46.67	15
G	G1	Triforine	14 93.33	1 6.67	15

表五 (續)、立枯絲核菌對 FRAC G 類殺菌劑與其混合劑之相對抗藥性風險分析表

Table 5 (continued). Relative risk of *Rhizoctonia solani* isolates developing resistance to FRAC group G fungicides and mixtures

MOA	Target site	Fungicides	H ¹⁾	L ²⁾	Total
G	G2	Tridemorph	0	15	15
			0	100	
B + G	B1 + G1	Carbendazim + Hexaconazole	0	15	15
			0	100	
B + G	B1 + G1	Carbendazim + Imazalil	0	15	15
			0	100	
B + G	B1 + G1	Carbendazim + Prochloraz	2	13	15
			13.33	86.67	
B	B1	Carbendazim	0	15	15
			0	100	
B + G	B1 + G1	Hexaconazole + Thiabendazole	0	15	15
			0	100	
B	B1	Thiabendazole	0	15	15
			0	100	
B + G	B4 + G1	Pencycuron + Tebuconazole	0	15	15
			0	100	
B	B4	Pencycuron	1	14	15
			6.67	93.33	
C + G	C3 + G1	Azoxystrobin + Cyproconazole	1	14	15
			6.67	93.33	
C	C3	Azoxystrobin	15	0	15
			100	0	
C + G	C3 + G1	Trifloxystrobin + Tebuconazole	2	13	15
			13.33	86.67	
C	C3	Trifloxystrobin	15	0	15
			100	0	
D	D1 + G1	Cyprodinil + Difenconazole	9	6	15
			60	40	
D	D1	Cyprodinil	15	0	15
			100	0	
Total			217	293	510

¹⁾ H: The relative risk of resistance to a fungicide is considered high if the MIC value is larger than the registered field dose.

²⁾ L: The relative risk of resistance to a fungicide is considered low if the MIC value is smaller than the registered field dose.

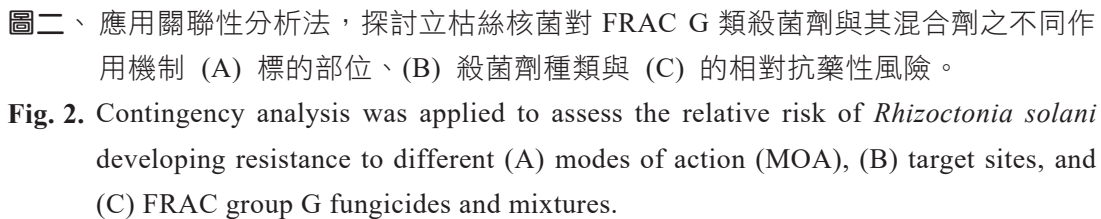


Fig. 2. Contingency analysis was applied to assess the relative risk of *Rhizoctonia solani* developing resistance to different (A) modes of action (MOA), (B) target sites, and (C) FRAC group G fungicides and mixtures.

若以 TS 進行分析，其結果顯示 B1 + G1 類的抗藥性風險最低，有 3.33% 抗藥性風險，其次為 C3 + G1，有 10.0% 抗藥性風險，而 G1 類殺菌劑有 55.09% 抗藥性風險，G2 類則無抗藥性風險（圖二 B），其概度比檢定及皮爾森卡方檢定之 χ^2 統計值分別為 238.924 及 184.046，P 值均小於 0.001 ($P < 0.001$, N = 510)。

其抗藥性風險值分別為 6.67%、13.33% 及 13.33%，賽普待克利效果最差，抗藥性風險值為 60%；單劑部份，滅特座、得克利和三得芬之抗藥性風險值為 0，其次為溴克座及依普座，抗藥性風險值均為 6.67%，而芬瑞莫、依滅列及易胺座之抗藥性風險值為 100%，平克座、撲克拉及賽福寧則均為 93.33%，其概度比檢定與皮爾森卡方檢定之 χ^2 統計值分別為 446.249 及 346.912， P 值均小於 0.001 ($N = 510$) (表五)，綜言之，滅特座、得克利、三得芬、賓得克利、貝芬菲克利、貝芬依滅列、非克利腐絕之抗藥性風險最低，其次為溴克座、依普座、亞托待克利，均有 6.67% 抗藥性風險，而芬瑞莫、依滅列及易胺座均為 100% 抗藥性風險 (圖二 C)。

討論

因立枯絲核菌為土壤傳播病原真菌，在土壤傳播病害的防治方面上，首重土壤中病原菌防除與健康種苗作業，種植前應進行土壤清潔作業，移除前作作物根系，種植健康種苗，當植株因立枯絲核菌感染而產生地基部腐爛倒伏時，由於本病害藉由根系接觸傳播，故應移除罹病植株後，並以藥劑施用於罹病植株鄰近的植株地基部，遏制病害擴散，即可達到防治與管理目的。

本試驗結果顯示 FRAC G 類殺菌劑中，得克利、菲克利、滅特座及依普座等抑制菌絲生長的效果最佳，賽福寧和易胺座的效果最差（表三），就不同地區萬苣 *R. solani* 菌株 RS001、RS002 與 RS004 而言，對得克利之 EC_{50} 值分別為 0.00027、0.01059 及 0.00284 mg a.i./L，對菲克利之 EC_{50} 值分別為 0.06、0.07 及 0.03 mg a.i./L，顯示來自不同地區萬苣 *R. solani* 菌株，因不同管理模式而導致其對同一殺菌劑之感受性有所偏移。另就國外研究指出，得克利抑制水稻、落花生等立枯絲核菌之 EC_{50} 值在 0.02 - 0.304 mg a.i./L 之間^(6,12,13)，而本研究之蔬菜及花卉立枯絲核菌之 EC_{50} 值為 0.047 ± 0.069 mg a.i./L，顯示供試菌株對得克利仍保持敏感性，普克利則持平， EC_{50} 值在 0.45 mg a.i./L 左右，菲克利、依普座、待克利與環克座之 EC_{50} 值則高於國外研究結果（表六），此因病原菌菌株對殺菌劑感受性的差異，與當地

作物施藥壓力與登記種類有關，如 Ou *et al.* (2024) 就 12 個採樣區調查田間抗藥性菌株發生頻率，有 3 個地區發生抗菲克利情形，有 4 個地區發生抗待克利情形，田間抗藥性發生率分別為 1.83% (8/438) 及 1.60% (7/438)，而對亞托敏 (FRAC 11, C3) 及賽氟滅 (FRAC 7, C2) 則無田間抗藥性菌株⁽¹⁹⁾，本研究以登記劑量和 MIC 值進行抗藥性相對風險評估，結果顯示待克利抗藥性風險高 (86.7%) 而菲克利 (13.3%) 風險低，然亞托敏與其混合劑於國內並未登記於防治水稻病害或蔬果立枯病，由其登記劑量而言，對供試立枯絲核菌菌株已無防治效益（表五、圖二 C），與 Ou *et al.* 研究結果不同，另先前研究之賽氟滅對立枯絲核菌之抗藥性相對風險為 40%⁽¹⁾。

除上述 FRAC G 類殺菌劑外，目前國外尚無就 FRAC G 類殺菌劑對立枯絲核菌之感受性發表系統性分析報告，本篇研究首次報告立枯絲核菌對溴克座、芬瑞莫、護矽得、依滅列、易胺座、滅特座、平克座、四克利、三泰隆、賽福座、賽福寧及三得芬等 FRAC G 類殺菌劑感受性高低之差異情形，同時呈現立枯絲核菌對含有 FRAC G 類殺菌劑與其混合劑之感受性，在混合劑中以亞托環克座、賓得克利及三氟得克利抑制菌絲生長的效果最佳，主要抑制作用來自 G1 類環克座及得克利。呈現其主要抑制菌絲生長來自 G 類殺菌劑或另一有效成分（表三）。

表六、國內外立枯絲核菌對 FRAC G 類殺菌劑之 EC₅₀ 比較表Table 6. Comparison of EC₅₀ of FRAC class G fungicides against *Rhizoctonia* spp. in Taiwan and abroad

Fungicide	Host	Pathogen	EC ₅₀ (mg a.i./L)	References
Cyproconazole	peanut	<i>R. solani</i>	0.056	Barnes <i>et al.</i> , 1990
	vegetables, flowers	<i>R. solani</i>	0.109±0.069	in this study
Difenoconazole	rice	<i>R. solani</i>	0.160	Datta <i>et al.</i> , 2016
	wheat	<i>R. cerealis</i>	0.062	Hamada <i>et al.</i> , 2011
	rice	<i>R. solani</i>	0.010±0.016	Gao <i>et al.</i> , 2022
	rice	<i>R. solani</i>	0.663	Ou <i>et al.</i> , 2024
	vegetables, flowers	<i>R. solani</i>	1.369±1.689	in this study
Diniconazole	peanut	<i>R. solani</i>	0.028	Barnes <i>et al.</i> , 1990
Epoconazole	rice	<i>R. solani</i>	0.014±0.007	Gao <i>et al.</i> , 2022
	rice	<i>R. solani</i>	0.03–0.15	Gong <i>et al.</i> , 2022
	vegetables, flowers	<i>R. solani</i>	0.097±0.104	in this study
Hexaconazole	rice	<i>R. solani</i>	0.062	Datta <i>et al.</i> , 2016
		<i>R. solani</i> , <i>R. zeae</i> , <i>R. oryzae</i>	< 1	Carling <i>et al.</i> , 1990
	rice	<i>R. solani</i>	0.011±0.013	Gao <i>et al.</i> , 2022
	rice	<i>R. solani</i>	0.02–0.07	Gong <i>et al.</i> , 2022
	rice	<i>R. solani</i>	0.0386	Ou <i>et al.</i> , 2024
	vegetables, flowers	<i>R. solani</i>	0.072±0.061	in this study
Prochloraz		<i>R. solani</i> , <i>R. zeae</i> , <i>R. oryzae</i>	1.49→ 10	Carling <i>et al.</i> , 1990
	vegetables, flowers	<i>R. solani</i>	2.480±1.695	in this study
Propiconazole	rice	<i>R. solani</i>	0.450	Datta <i>et al.</i> , 2016
	vegetables, flowers	<i>R. solani</i>	0.456±0.641	in this study
Tebuconazole	rice	<i>R. solani</i>	0.304	Datta <i>et al.</i> , 2016
	rice	<i>R. solani</i>	0.034±0.035	Gao <i>et al.</i> , 2022
	peanut	<i>R. solani</i>	0.166	Barnes <i>et al.</i> , 1990
	rice	<i>R. solani</i>	0.02–0.23	Gong <i>et al.</i> , 2022
	vegetables, flowers	<i>R. solani</i>	0.047±0.069	in this study
Triticonazole	turfgrasses	<i>R. solani</i> AG 1-1B	0.2±0.3	Amaradasa <i>et al.</i> , 2014
	turfgrasses	<i>R. solani</i> AG 2-2IIB	1.26±0.54	Amaradasa <i>et al.</i> , 2014

對於單作用點殺菌劑之抗藥性管理，均強調輪替不同作用機制殺菌劑種類，並限制同類作用機制殺菌劑之施藥次數，以避免或延緩抗藥性族群之發生與蔓延，因此對於同作用機制殺菌劑是否存在類群內交叉抗藥性，成為抗藥性管理之首要原則，本研究以集群分析與相關分析等 2 種方式，分析立枯絲核菌對 FRAC G 類殺菌劑是否存在類群內交叉抗藥性，研究指出 G2 類三得芬與 G1 類易胺座呈現相關性外，與其餘 18 種 G1 類間無交叉抗藥性；同為 G1 類殺菌劑中，賽福寧和其餘 18 種 G1 類殺菌劑之相關性最差，而依普座和非賽福寧之 G1 類殺菌劑的相關性最高(圖一、表四)，以立枯絲核菌而言，對於 FRAC G1 類殺菌劑之感受性呈現不同程度之相關性，在抗藥性管理上為中度風險。

就生物檢定結果與國內登記劑量之相對風險分析結果，可呈現該藥劑是否仍具防治上的經濟效益，本研究指出賓得克利 (B4+C1)、貝芬菲克利 (B1+G1)、貝芬依滅列 (B1+G1)、菲克利腐絕 (B1+G1) 之抗藥性風險最低，登記之最高劑量均可抑制供試菌株之菌絲生長，而滅特座、得克利和三得芬分析結果相同，對立枯絲核菌菌絲生長具備良好抑制效果，然而芬瑞莫、依滅列及易胺座之登記劑量均低於生物檢定結果，顯示此 3 種 G 類殺菌劑不適合用於防治立枯絲核菌引起之作物立枯病(圖二)。

結論

土壤傳播性病害因傳播途徑與傳播速率等特性，其病勢進展具局限性，故在管理策略上，應就種植前的土壤中病原菌進行清除作業，配合健康種苗、輪作非寄主作物種類等管理策略，應可減少土壤傳播性病害傳播與蔓延。倘為達經濟效益，可先於室內進行立枯絲核菌生物檢定，擬定作物之用藥管理策略，據此應用於田間，配合作物整合管理，達到最佳病害管理目標。

謝辭

本文承蒙農業部經費補助，並得本研究室江淑幸、鄒雪玲小姐協助菌株蒐集、保存與試驗，得以完成此一研究成果，特此致謝。

引用文獻

1. 李敏郎。2022。蔬菜及花卉立枯絲核菌 (*Rhizoctonia solani*) 對 FRAC C 類殺菌劑之感受性分析。臺灣農藥科學 13：1-17。
2. 曾顯雄。2019。台灣植物病害名彙。第五版。行政院農業委員會動植物防疫檢疫局、行政院農業委員會農業試驗所、中華民國植物病理學會。320 頁。
3. 農業部動植物防疫檢疫署。2024。登記農藥查詢。檢自農藥資訊服務網

- <https://pesticide.aphia.gov.tw/information/Query/Pesticide> (Dec. 12, 2024)
4. Amaradasa, B. S., Lakshman, D., McCall, D. S., and Horvath, B. J. 2014. *In vitro* fungicide sensitivity of *Rhizoctonia* and *Waitea* isolates collected from turfgrasses. J. Environ. Hort. 32: 126-132.
5. Arabiat, S., and Khan, M. F. R. 2016. Sensitivity of *Rhizoctonia solani* AG-2-2 from sugar beet to fungicides. Plant Dis. 100: 2427-2433.
6. Barnes, J. S., Csinos, A. S., and Branch, W. D. 1990. Sensitivity of *Rhizoctonia solani* isolates to fungicides and evaluation of peanut cultivars to *Rhizoctonia* limb rot. Peanut Sci. 17: 62-65.
7. Carling, D. E., Helm, D. J., and Leiner, R. H. 1990. *In vitro* sensitivity of *Rhizoctonia solani* and other multinucleate and binucleate *Rhizoctonia* to selected fungicides. Plant Dis. 74: 860-863.
8. Cheng, X., Zhang, J., Liang, Z., Wu, Z., Liu, P., Hao, J., and Liu, X. 2023. Multidrug resistance of *Rhizoctonia solani* determined by enhanced efflux for fungicides. Pestic. Biochem. Physiol. 195: 105525.
9. Datta, S., Dey, P., Sarkar, A., Tarafdar, J., and Chowdhury, A. 2016. Comparison among four triazole fungicides on growth and development of sheath blight of rice pathogen *Rhizoctonia solani* Kühn AG1-1A. Arch. Phytopathol. Plant Prot. 49: 239-251.
10. Fungicide Resistance Action Committee. 2019. Pathogen risk list. Retrieved from <https://www.frac.info/media/qluf3unn/frac-pathogen-list-2019.pdf> (Oct. 25, 2025)
11. Fungicide Resistance Action Committee. 2020. List of first confirmed cases of plant pathogenic organisms resistant to disease control agents. Retrieved from https://www.frac.info/media/3oils1zl/list-of-first-confirmed-cases-of-plant-pathogenic-organisms-resistant-to-disease-control-agents_05_2020.pdf (Oct. 25, 2025)
12. Gao, S., Xu, L., Zeng, R., Gao, P., Song, Z., and Dai, F. 2022. Baseline sensitivity of *Rhizoctonia solani* to four DMI fungicides. J. Basic Microbiol. 62: 701-710.
13. Gong, C., Liu, M., Liu, D., Wang, Q., Hasnain, A., Zhan, X., Pu, J., Liang, Y., Liu, X., and Wang, X. 2022. Status of fungicides resistance and physiological characterization of tebuconazole resistance in *Rhizoctonia solani* in Sichuan province, China. Curr. Issues Mol. Biol. 44: 4859-4876.
14. Griffin, D. H. 1994. Fungal physiology. 2nd ed. Wiley-Liss Inc. Press. New York. 468 pp.
15. Hamada, M. S., Yin, Y., and Ma, Z. 2011. Sensitivity to iprodione, difenoconazole

- and fludioxonil of *Rhizoctonia cerealis* isolates collected from wheat in China. Crop Prot. 30: 1028-1033.
16. Kutner, M. H., Nachtsheim, C. J., Neter, J., and Li, W. 2019. Applied linear statistical methods. 5th ed. McGraw-Hill/Irwin. New York. 740 pp.
 17. Marshall, D. S., and Rush, M. C. 1980. Infection cushion formation on rice sheaths by *Rhizoctonia solani*. Phytopathology 70: 947-950.
 18. Mu, W., Wang, Z., Bi, Y., Ni, X., Hou, Y., Zhang, S., and Liu, X. 2017. Sensitivity determination and resistance risk assessment of *Rhizoctonia solani* to SDHI fungicide thifluzamide. Ann. Appl. Biol. 170: 240-250.
 19. Ou, M., Hu, K., Li, M., Liu, S., Zhang, X., Lu, X., Zhan, X., Liao, X., and Li, M, and Li, R. 2025. Resistance risk assessment of *Rhizoctonia solani* to four fungicides. Pest Manag Sci. 81: 867-883.
 20. Parmeter, J. R. 1970. *Rhizoctonia solani*: Biology and pathology. University of California Press, Berkeley, Los Angeles and London. 255 pp.
 21. Romesburg, C. H. 2004. Cluster analysis for researchers. Lulu Press. North Carolina. 334 pp.
 22. Skinner, B. F. 2013. Contingencies of reinforcement. A theoretical analysis. Elsevier, New York, USA. 311 pp.
 23. Ward, J. H. 1963. Hierarchical grouping to optimize an objective function. J. Am. Stat. Assoc. 58: 236-244.
 - Yin, Y., Miao, J., Shao, W., Liu, X., Zhao, Y., and Ma, Z. 2023. Fungicide resistance: progress in understanding mechanism, monitoring, and management. Phytopathology 113: 707-718.

Sensitivity Analysis of *Rhizoctonia solani* isolated from Vegetables and Ornamentals to FRAC Group G Fungicides and Mixtures

Meen-Lang Lee^{1*}

Abstract

Lee, M. L. 2026. Sensitivity analysis of *Rhizoctonia solani* isolated from vegetables and ornamentals to FRAC group G fungicides and mixtures. Taiwan Pestic. Sci. 20: 21-45.

In this study, we investigated the *in vitro* sensitivity of 15 *Rhizoctonia solani* isolates to 34 fungicides, including 20 FRAC group G fungicides and their mixtures. The 15 isolates were collected from 13 vegetable and ornamental species in central Taiwan. The cross-resistance of these isolates to these fungicides that have the same mode of action as well as the relative risk of resistance to the current dosage of registered fungicides in Taiwan were examined. Our findings indicated that the sensitivity of tested isolates to FRAC group G fungicides could be categorized into four levels based on EC₅₀: (1) lower than 0.1 mg a.i./L (tebuconazole, hexaconazole, metconazole, and epoxiconazole), (2) 0.1–1.0 mg a.i./L (cyproconazole, bromuconazole, flusilazole, triadimenol, propiconazole, penconazole, tetraconazole, and myclobutanil), (3) 1.0–10 mg a.i./L (tridemorph, triflumizole, difenoconazole, prochloraz, imazalil, and fenarimol), (4) above 10 mg a.i./L (triforine and imibenconazole). In the mixtures, the inhibitory effects were derived from FRAC group G1 fungicides, such as cyproconazole for the azoxystrobin + cyproconazole mixture, except for carbendazim + imazalil and carbendazim + prochloraz, whose inhibitory effects were attributed to carbendazim. Analysis of cross-resistance within the same FRAC group exhibited four cluster patterns. The most common cluster grouped imibenconazole and triforine were in the same group, and their clustering was the farthest away from the other

Accepted: February 4, 2026.

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

¹ Agricultural Chemicals Research Institute, Ministry of Agriculture, Taichung

FRAC group G fungicides. Analysis of the correlation of the sensitivity of the tested isolates to FRAC group G fungicides revealed that tridemorph (FRAC group G2) was correlated with imibenconazole (FRAC group G1), with a Spearman's rho value of 0.618, $p < 0.016$, however, there was no correlation with other G1 fungicides. Among the 19 tested FRAC group G1 fungicides, epoxiconazole had the highest correlation with G1 fungicides, while triforine had the lowest correlation. An investigation of the relative risk of resistance of the tested isolates to the dosages of currently registered fungicides in Taiwan indicated that cyprodinil + difenoconazole was at high risk, while the other mixtures were at low risk. In addition, single active ingredients such as metconazole, tebuconazole, and tridemorph were at low risk, while fenarimol, imazalil, and imibenconazole were at high risk. The χ^2 statistic values of the likelihood ratio test and the Pearson's chi-squared test were 446.249 and 346.912, respectively, with p values of both being less than 0.001 ($N=510$).

Key words: *Rhizoctonia solani*, inhibitor of sterol biosynthesis in membranes, sensitivity, cross-resistance, relative risk