

應用中和亞磷酸溶液防治甘藷基腐病之可行性評估

梁鈺平¹ 林靜宜¹ 吳昭蓉¹ 倪蕙芳^{2*}

摘要

梁鈺平、林靜宜、吳昭蓉、倪蕙芳。2019。應用中和亞磷酸溶液防治甘藷基腐病之可行性評估。台灣農業研究 68(4):305–314。

由 *Phomopsis destruens* 引起之甘藷基腐病為我國近年來甘藷栽培之重要病害，目前發病田區以種植健康種苗搭配植前田區淹水及化學藥劑等方式進行防治。為了提供有機及非農藥栽培者另一友善環境之防治方式，本研究於生體外 (*in vitro*) 及溫室試驗中探討亞磷酸-氫氧化鉀中和液 (neutralized phosphorous acid solution; NPA) 防治資材對 *P. destruens* 之防治效果。生體外試驗結果顯示，濃度 0.33–2.00 g L⁻¹ 之 NPA 可對 *P. destruens* 菌絲生長及孢子發芽產生明顯之抑制作用，其中 2.00 g L⁻¹ 之 NPA 抑制率最高，分別可達 85.1% 及 98.9%。進一步於溫室試驗中以「台農 71 號」甘藷扦插苗測試 NPA 於不同濃度、施用量、施用時機及施用次數對甘藷基腐病之防治效果，結果顯示 NPA 於高濃度 (2.00 g L⁻¹ 及 1.00 g L⁻¹)，且每棵甘藷苗澆灌 60 mL 以上藥液時，可有效防治基腐病之發生。NPA 之施用時機，則以種植後 1 wk 澆灌較佳，若於種植後 2 wk 或 3 wk 後才澆灌則防治效果較差；施用次數而言，則接種後連續施用 1 次、2 次或 3 次均可達到顯著的防治效果。本研究結果顯示，NPA 對 *P. destruens* 可能具直接抑制或殺菌之效果，且經溫室試驗測試對甘藷基腐病具顯著防治效果，應可作為未來於田間非農藥栽培或有機栽培防治甘藷基腐病之防治資材。

關鍵詞：甘藷、基腐病、甘藷基腐病菌、亞磷酸。

前言

甘藷 [*Ipomoea batatas* (L.) Lam.] 為旋花科 (Convolvulaceae) 甘藷屬 (*Ipomoea*) 作物，其塊根及葉片富含膳食纖維及多種維生素，營養價值近年來備受國人重視，為國內重要雜糧作物之一 (Lai *et al.* 2008)。

甘藷主要之病害包括病毒病、青枯病及基腐病 (foot rot) 等，其中病毒病目前已藉由國內健康種苗驗證制度之推動漸漸受到控制，青枯病由 *Ralstonia solanacearum* 引發，大多僅於連續採收的葉用甘藷上發生 (Chen *et al.* 2012)，於一年一收的塊根用甘藷品種上較少發現危害。而由 *Phomopsis destruens* 引起之基腐病則為近年來重要之真菌性病害，其病徵為甘藷莖基部產生黑褐色乾腐，造成地上部

藤蔓黃化枯萎、乾枯死亡，而地下部塊根受害部位則組織褐化腐爛、具濕臭味，造成產量嚴重損失 (Harter & Weimer 1929; Huang *et al.* 2012; Clark *et al.* 2013; Huang *et al.* 2016)，而台灣目前主要栽培的塊根用甘藷品種「台農 57 號」、「台農 66 號」及葉用甘藷「台農 71 號」等對基腐病菌皆不具抗病性 (Shen *et al.* 2013)。

目前基腐病之防治方法，包括選用健康種苗、種植前田區淹水 2 wk 以上、與水稻輪作及化學藥劑防治等 (Huang *et al.* 2016; Huang *et al.* 2017)。然而淹水及水稻輪作之方法，在台中市大雅、沙鹿及新北市金山、萬里等灌溉或留水不易之田區並不適用，而藥劑防治部分雖經動植物防疫檢疫局於 2016 年 11 月公告腐絕及菲克利為本病害之推薦藥劑，然而化學防

投稿日期：2019 年 4 月 12 日；接受日期：2019 年 6 月 13 日。

* 通訊作者：hfni@dns.caes.gov.tw

¹ 農委會農業試驗所嘉義農業試驗分所植物保護系助理研究員。台灣嘉義市。

² 農委會農業試驗所嘉義農業試驗分所植物保護系副研究員兼系主任。台灣嘉義市。

治在友善或有機栽培中仍無法使用。且甘藷在國內為消費者公認之健康食物，使用農藥亦較不易為消費者所接受。

亞磷酸 (phosphorous acid; H_3PO_3) 為三價還原態磷化合物的一種，水溶液為酸性，若與鹼性物質 [如氫氧化鉀 (KOH)] 中和可形成亞磷酸鹽類 (如 KH_2PO_3 或 K_2HPO_3)，對人畜安全性高，為我國有機栽培規範可使用之防治資材。目前已有廣泛研究顯示，對多種作物之卵菌 (oomycetes)、真菌及細菌病害具防治或抑制效果 (Ann 2001; Deliopoulos *et al.* 2010; Lin & Lin 2018)，其作用機制則包括直接抑制病菌菌絲生長、孢子發芽與產孢及誘導植物產生抗病反應等 (Guest & Bompeix 1990; Smillie *et al.* 1990; Ann 2001; Lobato *et al.* 2010; Monteiro *et al.* 2016)。因此，本研究探討亞磷酸對 *P. destruens* 孢子發芽及菌絲生長之抑制效果，以及測試不同施用濃度、施用量、施用時間點及施用次數等對甘藷基腐病發病率之影響，以擬定有效之施用方式，提供農友另一環境友善之病害防治策略。

材料與方法

供試甘藷基腐病菌株與分生孢子製備

本研究所使用之甘藷基腐病菌株 *P. destruens* SPPD-60，為由彰化大城罹患基腐病之藷塊病組織分離而得。將 SPPD-60 培養於表面置有無菌甘藷莖段的 2% 水瓊脂培養基 (water agar; WA) 上，於 20°C 定溫箱 (黑暗) 培養約 3 wk 後，此菌於甘藷莖段上會產生大量分生孢子。將分生孢子以無菌水洗下，作為孢子發芽試驗及溫室試驗接種源之用。

亞磷酸-氫氧化鉀中和液 (neutralized phosphorous acid solution; NPA) 之製備

由於亞磷酸為強酸性，故需以氫氧化鉀中和後方能施用。本試驗 NPA 之配製，係依所需之濃度秤取亞磷酸 (99% H_3PO_3) (禾康肥料有限公司，台灣台中市)，加入純水中攪拌溶解後，再加入等重量之氫氧化鉀 (95.5% KOH)

(禾康肥料有限公司，台灣台中市) 攪拌溶解，並於配製完成後立即使用 (Ann 2001)。

NPA 於培養基上對甘藷基腐病菌菌絲生長之抑制力測試

將 NPA 以 0.22 μm 過濾膜過濾後，加入高溫高壓滅菌 (121°C, 20 min) 之馬鈴薯葡萄糖培養基 (potato dextrose agar; PDA) 中，使亞磷酸在培養基中的含量分別為 2.00、1.00、0.50 及 0.33 $g L^{-1}$ ，再倒入塑膠培養皿 (diam. 9 cm) 內，每皿約 15 mL，對照組則為不添加 NPA 之 PDA 平板。將 SPPD-60 於 PDA 培養 14 d 後，以滅菌打孔器 (內徑 5 mm) 切取菌落邊緣菌絲塊，移植於上述培養基中央，置於 20°C、黑暗之定溫箱中，培養 14 d 後量取菌落直徑，每處理共 6 重複。試驗結果依下列公式計算菌絲生長抑制率：抑制率 (%) = [(對照組平均生長直徑 - 處理組平均生長直徑) / 對照組平均生長直徑] $\times 100\%$ 。

NPA 對甘藷基腐病菌孢子發芽之影響

於 2.00、1.00、0.50 及 0.33 $g L^{-1}$ 之 NPA 溶液中加入甘藷基腐病菌孢子，滴加 50 μL 於 3 凹載玻片之凹槽內，每滴約含有 SPPD-60 分生孢子 200 個。接著將供試載玻片置於含有 5–10 mL 無菌水之塑膠培養皿 (diam. 8.5 cm) 中，以避免玻片水分蒸散，並將培養皿置於 25°C 定溫箱中，24 h 後於顯微鏡 (Nikon Eclipse 80i, Nikon, Tokyo, Japan) 下觀察孢子發芽情形並逢機計算 100 個分生孢子之發芽率，並以無菌水處理作為對照組。每處理 2 皿，共 6 重複，本試驗重複進行 3 次。分生孢子之發芽管長度超過其孢子長度一半時，則視為發芽 (Tauro *et al.* 1986)。試驗結果依下列公式計算孢子發芽抑制率：抑制率 (%) = [(對照組平均發芽率 - 處理組平均發芽率) / 對照組平均發芽率] $\times 100\%$ 。

澆灌不同濃度之 NPA 對甘藷基腐病發病率之影響

將「台農 71 號」甘藷藤蔓扦插於盛裝有無菌泥炭土之長型花槽 (0.13 m \times 0.17 m \times 0.58 m) 中，每槽種植 10 株為 1 重複，每處理共 3 重

複。於扦插當天接種甘藷基腐病菌，方法為澆灌 SPPD-60 孢子懸浮液 (10^5 conidia mL⁻¹) 於植株基部，每株 20 mL。接種後每隔 7 d 澆灌 1 次中和 NPA 溶液，共連續 3 次，每株澆灌 100 mL。NPA 濃度包括 2.00、1.00、0.50 及 0.33 g L⁻¹，另以不澆灌 NPA 為對照組。於接種後 2 wk 起觀察並記錄植株基部褐化發病情形，調查至接種後 8 wk 止。

不同 NPA 澆灌量、時間點及頻度對甘藷基腐病發病率之影響

以前述方式種植「台農 71 號」甘藷藤蔓及接種甘藷基腐病菌，每重複植株均為 10 株，每處理共 3 重複，並以不澆灌 NPA 為對照組。不同澆灌量之試驗，係於接種後每隔 7 d 澆灌 1 次 2.00 g L⁻¹ 中和 NPA 溶液，共連續 3 次，每株澆灌量為 20、40、60 或 100 mL。不同澆灌時間點之測試則為於接種 1、2 及 3 wk 後開始每隔 7 d 澆灌一次 2.00 g L⁻¹ NPA 溶液，每株澆灌 100 mL，共連續 3 次。於澆灌頻度之測試，處理組則包括澆灌 1 次 (接種後 7 d 時)、2 次 (接種後 7 d 及 14 d 時) 及 3 次 (接種後 7、14 及 21 d 時) 2.00 g L⁻¹ NPA 溶液等 3 種處理，每次每株均澆灌 100 mL。

統計分析

各項處理之試驗資料利用 SAS-EG7.1 統計分析軟體，先以 Levene's test 檢定變異數同

質性，再進行變方分析 (analysis of variance; ANOVA)，若處理間差異顯著，再以最小顯著性差異 (least significant difference; LSD) 測驗在 5% 顯著水準下，比較處理間平均值之差異。

結果

NPA 對甘藷基腐病菌菌絲生長及孢子發芽之影響

以不同濃度之 NPA 添加於 PDA 培養基中，測試其對 *P. destruens* 菌絲生長之影響。結果顯示，NPA 對其菌絲生長有顯著抑制作用，且隨著 NPA 濃度提高抑制作用更為明顯。培養基內若含 0.33 g L⁻¹ 之 NPA，對 *P. destruens* 之菌絲生長抑制率為 66.5%，NPA 含量若增至 2.00 g L⁻¹，則菌絲生長抑制率可達到 85.1% (表 1、圖 1)。而不同濃度 NPA 對 *P. destruens* 孢子發芽影響之結果顯示，0.33–2.00 g L⁻¹ 之 NPA 對其孢子發芽皆有顯著抑制作用，其處理後之 *P. destruens* 孢子發芽率均在 10% 以下，孢子發芽抑制率達 86.6% 以上 (表 1)。

澆灌不同濃度之 NPA 對甘藷基腐病發病率之影響

澆灌不同濃度之 NPA 於已接種 *P. destruens* 之甘藷盆栽，結果顯示接種 5 wk 後對照組發病率即已達 73.3%，而施用 2.00 g L⁻¹ 及 1.00

表 1. 中和亞磷酸 (NPA) 對 *Phomopsis destruens* 菌絲生長及孢子發芽之影響。

Table 1. Effect of neutralized phosphorous acid solution (NPA) on mycelial growth and spore germination of *Phomopsis destruens*.

NPA concentration (g L ⁻¹)	Mycelial growth		Spore germination	
	Colony diameter (cm)	Inhibition (%) ^z	Rate (%)	Inhibition (%) ^y
2.00	0.9 d ^x	85.1	0.7 c	98.9
1.00	1.3 c	78.4	2.3 c	96.5
0.50	1.9 b	69.5	4.8 bc	92.6
0.33	2.1 b	66.5	8.7 b	86.6
CK ^w	6.2 a	-	64.8 a	-

^z Inhibition (%) = [(Diameter of mycelial growth on PDA without NPA – Diameter of mycelial growth on PDA with NPA)/Diameter of mycelial growth on PDA without NPA] × 100%.

^y Inhibition (%) = [(Germination rate without NPA – Germination rate with NPA)/Germination rate without NPA] × 100%.

^x Means within the same column followed by the same letter(s) are not significantly different at 5% by least significant difference (LSD) test.

^w CK: control.

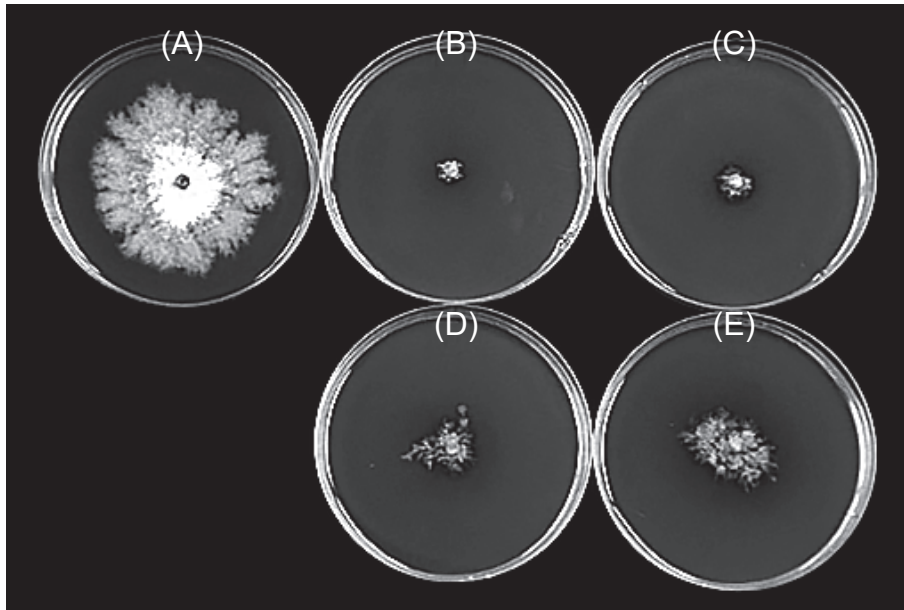


圖 1. 不同濃度之中和亞磷酸 (NPA) 對 *Phomopsis destruens* 於 PDA (20°C, 培養 20 d) 上菌絲生長之影響。(A) 對照組; (B) 2.00 g L⁻¹; (C) 1.00 g L⁻¹; (D) 0.50 g L⁻¹; (E) 0.33 g L⁻¹。

Fig. 1. Effect of neutralized phosphorous acid solution (NPA) with different concentrations on the mycelial growth of *Phomopsis destruens* on potato dextrose agar (PDA) medium at 20°C for 20 d. (A) control; (B) 2.00 g L⁻¹; (C) 1.00 g L⁻¹; (D) 0.50 g L⁻¹; and (E) 0.33 g L⁻¹.

g L⁻¹ NPA 之處理組發病率則分別為 0.0% 及 6.7%，施用 0.50 g L⁻¹ NPA 之處理組發病率亦顯著較對照組低。雖然隨觀察時間之增長基腐病之發病率有增加之趨勢，但於接種後 8 wk 時，施用 2.00 g L⁻¹ 及 1.00 g L⁻¹ NPA 之處理組發病率仍顯著較對照組 (發病率 96.7%) 低，

分別為 20.0% 及 36.7%，而施用 0.50 g L⁻¹ 及 0.33 g L⁻¹ 則發病率仍達 75% 以上，與對照組無顯著差異性 (表 2)。

不同 NPA 澆灌量對甘藷基腐病發病率之影響

測試不同 NPA 澆灌量對甘藷基腐病發病

表 2. 不同濃度之中和亞磷酸 (NPA) 對甘藷基腐病發病率之影響。

Table 2. Effect of neutralized phosphorous acid solution (NPA) with different concentrations on the incidence of sweet potato foot rot disease.

NPA concentration (g L ⁻¹)	Disease incidence (%) ^z			
	5 wk ^y	6 wk	7 wk	8 wk
2.00	0.0 c ^x	3.3 b	6.7 c	20.0 b
1.00	6.7 c	23.3 b	30.0 c	36.7 b
0.50	26.7 bc	56.7 a	63.3 b	76.7 a
0.33	46.7 ab	76.7 a	86.7 ab	93.3 a
CK ^w	73.3 a	83.3 a	90.0 a	96.7 a

^z Disease incidence (%) = (Number of plants showed symptoms of foot rot/10) × 100%.

^y Weeks after inoculation.

^x Means within the same column followed by the same letter(s) are not significantly different at 5% by least significant difference (LSD) test.

^w CK: control.

率之影響，結果顯示澆灌 20、40、60、100 mL 之 2.00 g L⁻¹ NPA 處理，於接種後第 8 週之基腐病發病率分別為 46.7、20.0、3.3 及 0.0%，均與對照組（發病率 83.3%）有顯著差異性，其中又以澆灌 60 mL 及 100 mL NPA 的防治效果最佳（表 3）。

不同 NPA 澆灌時間對甘藷基腐病發病率之影響

測試接種 *P. destruens* 後於不同時間進行 NPA 澆灌對甘藷基腐病發病率之影響，結果顯示接種後 1 wk 即澆灌 NPA 之處理，至第 8 週時發病率仍維持在 0.0%，且與對照組（發病率 56.7%）有顯著差異。接種後第 2 或第 3 週才澆灌 NPA 之處理，於第 5 週即已開始發病，至第 8 週時發病率則均為 26.7%，雖較對照組低，但經統計並無顯著差異（ $P > 0.05$ ）。顯示

如於接種後 2 wk 或 3 wk 才進行 NPA 澆灌，則對病害的發生率無顯著抑制效果（表 4）。

不同 NPA 澆灌頻度對甘藷基腐病發病率之影響

在 NPA 澆灌頻度方面，本試驗比較接種後澆灌 1 次、2 次及 3 次 NPA 對甘藷基腐病的防治效果，結果顯示 3 種處理之防治效果皆可持續至接種後 8 wk，於第 8 週之發病率分別為 3.3、0.0 及 0.0%，與對照組（發病率 66.7%）間均具顯著差異。顯示不論澆灌 1 次、2 次及 3 次，對基腐病均有顯著的防治效果（表 5）。

討論

關於亞磷酸之防治對象，過去已有廣泛研

表 3. 不同灌注量之中和亞磷酸 (NPA) (2.00 g L⁻¹) 對甘藷基腐病接種後第 8 週發病率之影響。

Table 3. Effect of neutralized phosphorous acid solution (NPA) (2.00 g L⁻¹) with different application dosages on the incidence of sweet potato foot rot disease at 8 wk after inoculation.

Application dosage (mL) of NPA	Disease incidence (%) ^z
20	46.7 b ^y
40	20.0 c
60	3.3 cd
100	0.0 d
CK ^x	83.3 a

^z Disease incidence (%) = (Number of plants showed symptoms of foot rot/10) × 100%.

^y Means within the same column followed by the same letter(s) are not significantly different at 5% by least significant difference (LSD) test. Percentage data were arcsine-square-root transformed prior to analysis.

^x CK: control.

表 4. 接種後不同時間澆灌中和亞磷酸 (NPA) (2.00 g L⁻¹) 對甘藷基腐病發病率之影響。

Table 4. Effect of neutralized phosphorous acid solution (NPA) (2.00 g L⁻¹) with different application timings on the incidence of sweet potato foot rot disease.

NPA application timing (wk) ^z	Disease incidence (%) ^y			
	5 wk ^z	6 wk	7 wk	8 wk
1	0.0 a ^x	0.0 a	0.0 b	0.0 b
2	20.0 a	23.3 a	26.7 ab	26.7 ab
3	20.0 a	23.3 a	23.3 ab	26.7 ab
CK ^w	20.0 a	26.7 a	53.3 a	56.7 a

^z Weeks after inoculation.

^y Disease incidence (%) = (Number of plants showed symptoms of foot rot/10) × 100%.

^x Means within the same column followed by the same letter(s) are not significantly different at 5% by least significant difference (LSD) test.

^w CK: control.

表 5. 澆灌中和亞磷酸 (NPA) (2.00 g L^{-1}) 不同次數對甘藷基腐病發病率之影響。

Table 5. Effect of neutralized phosphorous acid solution (NPA) (2.00 g L^{-1}) with different application times on the incidence of sweet potato foot rot disease.

Number of NPA application	Disease incidence (%) ^z			
	5 wk ^y	6 wk	7 wk	8 wk
1	0.0 b ^x	0.0 b	3.3 b	3.3 b
2	0.0 b	0.0 b	0.0 b	0.0 b
3	0.0 b	0.0 b	0.0 b	0.0 b
CK ^w	26.7 a	53.3 a	60.0 a	66.7 a

^z Disease incidence (%) = (Number of plants showed symptoms of foot rot/10) × 100%.

^y Weeks after inoculation.

^x Means within the same column followed by the same letter(s) are not significantly different at 5% by least significant difference (LSD) test.

^w CK: control.

究顯示其對卵菌病原如疫病菌 (*Phytophthora* spp.)、腐霉菌 (*Pythium* spp.) 及露菌病菌等引起之病害具良好防治效果，且應用之作物範圍廣泛，包括番茄、馬鈴薯、蘭花、百合、鳳梨、酪梨、荔枝、柑橘等 (Ann 2001)。除卵菌類病害之外，近年來亦有愈來愈多研究顯示，亞磷酸對多種真菌及細菌類病害亦具防治或抑制效果，包括子囊菌類之蘋果黑星病 (*Venturia inaequalis*) (Percival *et al.* 2009)、梨黑星病 (*Venturia pirina*) (Percival *et al.* 2009)、柑橘黑點病 (*Diaporthe citri*) (Cerioni *et al.* 2013)、土壤傳播性病害如 *Fusarium virguliforme*、*Fusarium tucumaniae*、*Sclerotinia sclerotiorum*、*Macrophomina phaseolina* (Carmona *et al.* 2017)、*Microdochium nivale* (Dempsey *et al.* 2018)、擔子菌類之咖啡銹病 (*Hemileia vastatrix*) (Monteiro *et al.* 2016)，及細菌類之青枯病 (*R. solanacearum*) (Lin & Lin 2018)、蘋果火傷病 (*Erwinia amylovora*) (Aćimović *et al.* 2015) 等，但目前尚未有應用於甘藷病害防治之研究。

本研究測試 NPA 在實驗室中 (*in vitro*) 對 *P. destruens* 菌絲生長抑制效果，結果顯示 0.33 g L^{-1} 之 NPA 即可對 *P. destruens* 之菌絲生長產生明顯之抑制作用 (抑制率 66.5%)，NPA 濃度若增至 2.00 g L^{-1} ，則菌絲生長抑制率可達到 85.1% (表 1)。Lobato *et al.* (2010) 測試亞磷酸鉀對 4 種馬鈴薯病原菌之抑制情形，顯示亞磷酸離子 (phosphite) 之濃度為 0.36 g L^{-1} 時，

對 *Phytophthora infestans*、*Rhizoctonia solani*、*Fusarium solani* 及 *Streptomyces scabies* 菌絲生長抑制率分別約為 85、15、10 及 15%，亞磷酸離子濃度增至 2.37 g L^{-1} 時，抑制率分別約為 100、50、23 及 60%。與此研究比較可推測，*P. destruens* 對亞磷酸之敏感性雖不似疫病菌敏感，但與其他病原菌相較之下應是較敏感的。除了菌絲生長抑制外，本研究亦顯示 NPA 可抑制 *P. destruens* 孢子發芽，於 0.33 g L^{-1} 之 NPA 下孢子發芽抑制率為 86.6%，濃度增至 2 g L^{-1} 時則提高為 98.9% (表 1)。

為進一步探討施用 NPA 對甘藷基腐病發生之影響，本研究亦於溫室試驗中測試澆灌 NPA 對甘藷基腐病之防治效果。過去施用亞磷酸於作物之方式包括土壤澆灌及葉部噴灑，如為木本植物亦可使用樹幹注射 (Ann 2001)。本研究中考量基腐病為地下部病害，將 NPA 直接澆灌於介質中應可較直接快速產生作用 (Lin & Lin 2018)。因此，本研究於扦插甘藷枝條之當日澆灌 *P. destruens* 分生孢子懸浮液，以模擬田間之感染情形，並於扦插後 1 wk 將 NPA 澆灌於植株基部，模擬田間之施用方式。結果顯示，NPA 於高濃度 (2.00 g L^{-1} 及 1.00 g L^{-1}) 下對基腐病具顯著防治效果，於低濃度 (0.50 g L^{-1} 及 0.33 g L^{-1}) 則防治效果不佳 (表 2)。

為更進一步評估於田間之有效施用方式，本研究測試 2.00 g L^{-1} 的 NPA 不同之澆灌量、澆灌次數及澆灌時機對甘藷基腐病防治效果之

影響。結果顯示，每棵甘藷苗灌注至少 60 mL 之藥液，即可有效防治基腐病之發生 (表 3)。施用次數而言，接種後施用 1 次、2 次或 3 次均可達到顯著的防治效果 (表 5)，而澆灌時機則以種植後 1 wk 澆灌較佳。若於種植後 2 wk 或 3 wk 後才澆灌則防治效果較差 (表 4)，可能原因為此時感染情形已較嚴重，而亞磷酸之治療效果較差，於病害發生前施用才具保護效果。

一般而言，考量殺菌劑施用於田間後，可能受空間分布、植物吸收及有效成分降解等因素影響，於田間施用之有效防治濃度均較實驗室中測試之濃度高 (Reis *et al.* 2015)。本研究之結果即顯示，雖於實驗室中低濃度之亞磷酸即可顯著抑制 *P. destruens* 菌絲生長及孢子發芽 (表 1)，然而溫室試驗中仍需提高施用濃度方有明顯防治效果 (表 2)。此外，本溫室試驗中使用之介質為泥炭土，與實際田間土壤性質不同，而亞磷酸澆灌於田間土壤後受其空間分布、甘藷植株吸收量及降解速率等因素影響。因此，實際於田間施用之有效劑量，可能與溫室試驗有所差異，有待更進一步研究。

關於亞磷酸之抑菌機制，目前被提出之機制包括直接抑菌與間接誘導植物抗性之作用，但詳細之機制尚未完全釐清。其中，直接抑菌之機制，可能包括干擾核苷酸代謝反應、影響焦磷酸化反應、抑制酵素作用等 (Smillie *et al.* 1990; Niere *et al.* 1994; Stehmann & Grant 2000)。過去文獻指明，雖然亞磷酸離子在生體外 (*in vitro*) 對病原菌菌絲生長及孢子發芽具一定之抑制能力，然而亞磷酸離子在植物體內的濃度很低，僅有數 10 mg L⁻¹ 左右。因此，許多文獻推測其防病功效可能並非僅侷限於直接抑菌方面，亦有誘導抗病之間接防禦功效 (Smillie *et al.* 1989; Grant *et al.* 1990; Guest & Bompeix 1990; Smillie *et al.* 1990; Ann 2001; Lobato *et al.* 2010; Monteiro *et al.* 2016)。本研究中雖然並未檢測施用 NPA 後，甘藷植株內之亞磷酸離子濃度，然而澆灌 NPA 於甘藷植株 1 wk 後，取先端苗種植於盆栽再接種 *P. destruens*，結果顯示甘藷苗基腐病之發生率與對照組 (無處理 NPA 者的先端苗) 並無顯著差異 (data not shown)。此結果究竟顯

示亞磷酸防治甘藷基腐病之機制與誘導抗病無關，亦或澆灌 1 wk 誘導抗病仍未完整啟動，則仍有待後續研究進一步釐清。

過去亞磷酸曾被視為植物磷肥的一種，但近年之研究顯示，植物雖可經由根部及葉片吸收亞磷酸根，並透過維管束傳輸至植株各部位，然而植物可利用之磷形式為磷酸根。亞磷酸根需透過土壤中之微生物轉化為磷酸根，才可提供植物作為磷肥，且當植物缺磷時，施用亞磷酸反而可能影響植物對缺磷之正常反應，對植物生長造成負面影響 (Thao & Yamakawa 2009; Achary *et al.* 2017)。在本研究溫室試驗之結果顯示，施用 2.00 g L⁻¹ 之 NPA 對甘藷的葉數及地上部鮮重均無顯著影響 (data not shown)，且無任何藥害的發生，應為可推薦農民於田間實際施用之濃度。

綜合本研究之試驗結果，於甘藷種植 1 wk 後每棵灌注 1 次 60 mL 中和亞磷酸 (2.00 g L⁻¹) 溶液應可有效防治甘藷基腐病。以目前每分地種植 4,000 株甘藷而言，以此方式使用 NPA 防治基腐病，需水量為 240 L，換算後需 480 g 亞磷酸及 480 g 氫氧化鉀，成本約 150 元。而若施用目前之推薦藥劑 40% 腐絕可濕性粉劑，以推薦用量每公頃 4 kg 施藥量推估，每分地約需 400 g 藥劑，成本約 800 元。顯示 NPA 的成本遠低於腐絕，且無農藥殘留之疑慮，為有效可行之防治方法。

誌謝

本研究承本分所農藝系賴永昌主任及黃哲倫先生提供試驗材料，本研究室許淑麗小姐、賴素玉小姐、林江美華女士及陳幸葵小姐等助理協助試驗進行，特此致謝。

引用文獻

- Achary, V. M. M., B. Ram, M. Manna, D. Datta, A. Bhatt, M. K. Reddy, and P. K. Agrawal. 2017. Phosphite: A novel P fertilizer for weed management and pathogen control. *Plant Biotechnol. J.* 15:1493–1508.
- Acimović, S. G., Q. Zeng, G. C. McGhee, G. W. Sundin, and J. C. Wise. 2015. Control of fire blight (*Erwinia amylovora*) on apple trees with trunk-injected plant resistance inducers and antibiotics and assessment

- of induction of pathogenesis-related protein genes. *Front. Plant Sci.* 6:16.
- Ann, P. J. 2001. Control of plant diseases with non-pesticide compound- phosphorous acid. *Plant Prot. Bull.* 10:147–154. (in Chinese with English abstract)
- Carmona, M. A., E. Simonetti, M. E. Ravotti, M. Scandiani, A. G. Luque, N. A. Formento, and F. J. Sautua. 2017. *In vitro* antifungal/fungistatic activity of manganese phosphite against soybean soil-borne pathogens. *Phyton* 86:265–269.
- Cerioni, L., M. Sepulveda, Z. Rubio-Ames, S. I. Volentini, L. Rodríguez-Montelongo, J. L. Smilanick, J. Ramallo, and V. A. Rapisarda. 2013. Control of lemon postharvest diseases by low-toxicity salts combined with hydrogen peroxide and heat. *Post-harvest Biol. Tec.* 83:17–21.
- Chen, Y. J., Y. S. Lin, and W. H. Chung. 2012. Bacterial wilt of sweet potato caused by *Ralstonia solanacearum* in Taiwan. *J. Gen. Plant Pathol.* 78:80–84.
- Clark, C. A., D. M. Ferrin, T. P. Smith, and G. J. Holmes. 2013. *Compendium of Sweetpotato Diseases, Pests, and Disorders*. 2nd ed. APS Press. St. Paul, MN. 160 pp.
- Deliopoulos, T., P. S. Kettlewell, and M. C. Hare. 2010. Fungal disease suppression by inorganic salts: A review. *Crop Prot.* 29:1059–1075.
- Dempsey, J. J., I. Wilson, P. T. N. Spencer-Phillips, and D. Arnold. 2018. Suppression of the *in vitro* growth and development of *Microdochium nivale* by phosphite. *Plant Pathol.* 67:1296–1306.
- Grant, B. R., R. H. Dunstan, J. M. Griffith, J. O. Niere, and R. H. Smillie. 1990. The mechanism of phosphonic (phosphorous) acid action in *Phytophthora*. *Australas. Plant Path.* 19:115–121.
- Guest, D. I. and G. Bompeix. 1990. The complex mode of action of phosphonates. *Australas. Plant Path.* 19:113–115.
- Harter, L. L. and J. L. Weimer. 1929. A monographic study of sweet potato diseases and their control. U. S. Dept. Agric. Technol. Bull. 99:27–33.
- Huang, C. W., M. F. Chuang, S. S. Tzean, H. R. Yang, and H. F. Ni. 2012. Occurrence of foot rot disease of sweet potato caused by *Phomopsis destruens* in Taiwan. *Plant Pathol. Bull.* 21:47–52. (in Chinese with English abstract)
- Huang, C. W., H. R. Yang, C. Y. Lin, S. L. Hsu, S. Y. Lai, and H. F. Ni. 2016. The study of physiological characteristics and control of *Phomopsis destruens* causing foot rot of sweet potato. *J. Taiwan Agric. Res.* 65:45–53. (in Chinese with English abstract)
- Huang, C. W., H. R. Yang, C. Y. Lin, S. L. Hsu, W. C. Ko, and H. F. Ni. 2017. Screening of fungicides for foot rot of sweet potato caused by *Phomopsis destruens*. *J. Taiwan Agric. Res.* 66:66–73. (in Chinese with English abstract)
- Lai, Y. C., L. Li, C. H. Liao, T. T. Li, Z. W. Xin, and S. L. Gaun. 2008. The achievement and prospect of sweetpotato breeding in Taiwan. p.22–31. *in: Proceedings of Sweet Potato Research and Development*. October 8, 2008. Taipei, Taiwan. Department of Horticulture and Biotechnology, Chinese Culture University, Taipei, Taiwan. (in Chinese with English abstract)
- Lin, C. Y. and H. J. Lin. 2018. Control of bacterial wilt of potato with neutralized phosphorous acid. *J. Taiwan Agric. Res.* 67:377–386. (in Chinese with English abstract)
- Lobato, M. C., F. P. Olivieri, G. R. Daleo, and A. B. Andreu. 2010. Antimicrobial activity of phosphites against different potato pathogens. *J. Plant Dis. Protect.* 117:102–109.
- Monteiro, A. C. A., M. L. V. de Resende, T. C. T. Valente, P. M. Ribeiro Junior, V. F. Pereira, J. R. da Costa, and J. A. G. da Silva. 2016. Manganese phosphite in coffee defense against *Hemileia vastatrix*, the coffee rust fungus: Biochemical and molecular analyses. *J. Phytopathol.* 164:1043–1053.
- Niere, J. O., G. DeAngelis, and B. R. Grant. 1994. The effect of phosphonate on the acid-soluble phosphorus components in the genus *Phytophthora*. *Microbiology* 140:1661–1670.
- Percival, G. C., K. Noviss, and I. Haynes. 2009. Field evaluation of systemic inducing resistance chemicals at different growth stages for the control of apple (*Venturia inaequalis*) and pear (*Venturia pirina*) scab. *Crop Prot.* 28:629–633.
- Reis, E. M., M. Zanatta, M. Carmona, and J. O. M. Menten. 2015. Relationship between IC_{50} determined *in vitro/in vivo* and the fungicide rate used in the field. *Summa Phytopathol.* 41:49–53.
- Shen, Y. M., H. S. Liu, and C. H. Chao. 2013. Analyses for the causal agent of sweet potato foot rot disease and its susceptibility on six sweet potato cultivars. *Plant Prot. Bull.* 55:25–34. (in Chinese with English abstract)
- Smillie, R. H., B. R. Grant, and D. Guest. 1989. The mode of action of phosphite: Evidence for both direct and indirect modes of action on three *Phytophthora* spp. in plants. *Phytopathology* 79:921–926.
- Smillie, R. H., R. H. Dunstan, B. R. Grant, J. M. Griffith, J. Iser, and J. O. Niere. 1990. The mode of action of the antifungal agent phosphite. *EPPO Bull.* 20:185–192.

- Stehmann, C. and B. R. Grant. 2000. Inhibition of enzymes of the glycolytic pathway and hexose monophosphate bypass by phosphonate. *Pestic. Biochem. Physiol.* 67:13–24.
- Tauro, P., K. K. Kapoor, and K. S. Yadav. 1986. An Introduction to Microbiology. New Age International. New Delhi, India. 412 pp.
- Thao, H. T. B. and T. Yamakawa. 2009. Phosphite (phosphorous acid): Fungicide, fertilizer or bio-stimulator? *Soil Sci. Plant Nutr.* 55:228–234.

Evaluation of Control Efficacy of Phosphorous Acid Against Sweet Potato Foot Rot

Yu-Ping Liang¹, Ching-Yi Lin¹, Chao-Jung Wu¹, and Hui-Fang Ni^{2,*}

Abstract

Liang, Y. P., C. Y. Lin, C. J. Wu, and H. F. Ni. 2019. Evaluation of control efficacy of phosphorous acid against sweet potato foot rot. *J. Taiwan Agric. Res.* 68(4):305–314.

Sweet potato foot rot caused by *Phomopsis destruens* is a serious disease of sweet potato recently in Taiwan. Currently, preventing this disease in the fields relies on these methods, including planting healthy seedlings combined with flooding before planting, applying chemical fungicides and other control techniques. In order to provide an environmentally friendly method of disease control for organic or eco-friendly farming system, this study evaluated the control efficacy of neutralized phosphorous acid solution (NPA) against *P. destruens* through *in vitro* and greenhouse trails. *In vitro* studies showed that mycelial growth and spore germination of *P. destruens* were significantly inhibited by 0.33–2.00 g L⁻¹ NPA, and the inhibition of mycelial growth and spore germination were the highest (85.1% and 98.9%, respectively) while it was applied with 2.00 g L⁻¹ NPA. In greenhouse trials, NPA was applied with different concentrations, application dosages, timings and times to pathogen-inoculated variety ‘TN-71’ seedlings to evaluate its control efficacy. The results showed that NPA could control the disease only in higher concentration (2.00 g L⁻¹ and 1.00 g L⁻¹), and the application dosage should be over 60 mL. The application timing of NPA was the best at 1 wk after inoculation, while applying NPA at 2 or 3 wk after inoculation showed lower control efficacy. For application times, applying 1, 2 or 3 times all showed significant control efficacy. This study showed that NPA might have direct inhibition effect on *P. destruens*, and its control efficacy against sweet potato foot rot disease was confirmed through greenhouse trials. In conclusion, this study proved that NPA could be applied as a low-toxic protectant for non-pesticide or organic farming systems to control sweet potato root rot in the field.

Key words: Sweet potato (*Ipomoea batatas*), Foot rot disease, *Phomopsis destruens*, Phosphorous acid.

Received: April 12, 2019; Accepted: June 13, 2019.

* Corresponding author, e-mail: hfni@dns.caes.gov.tw

¹ Assistant Research Fellows, Department of Plant Protection, Chiayi Agricultural Experiment Branch, Taiwan Agricultural Research Institute, Chiayi, Taiwan, ROC.

² Associate Research Fellow and Head, Department of Plant Protection, Chiayi Agricultural Experiment Branch, Taiwan Agricultural Research Institute, Chiayi, Taiwan, ROC.