

# 利用中和後之亞磷酸溶液防治馬鈴薯與番茄晚疫病<sup>1</sup>

蔡志濃<sup>2</sup> 安寶貞<sup>2,3</sup> 王姻婷<sup>2</sup> 王馨媛<sup>2</sup> 胡瓊月<sup>2</sup>

## 摘要

蔡志濃、安寶貞、王姻婷、王馨媛、胡瓊月。2009。利用中和後之亞磷酸溶液防治馬鈴薯與番茄晚疫病。台灣農業研究 58:185–195

將亞磷酸 (phosphorous acid,  $H_3PO_3$ ) 的水溶液以等重 (1:1, w/w) 的氫氧化鉀 (potassium hydroxide, KOH) 中和後配製成亞磷酸-氫氧化鉀中和液 (neutralized phosphorous acid solution, 簡稱 NPA), 來測定其對晚疫病病菌 (*Phytophthora infestans*) 與晚疫病的抑制能力。在 rye B 培養基上, NPA 於高濃度 1000 mg/L 下可以完全抑制所有供試菌株之菌絲生長與胞囊發芽; 當濃度 100 mg/L 時, NPA 對菌絲生長與胞囊發芽之抑制率分別為 21.1% 與 69.9%; 但在低濃度 10 mg/L 時, 則完全無抑制作用。1999–2000 年之田間實驗結果顯示, 當病害初發生時, 將濃度 1000 mg/L 之 NPA 噴施於馬鈴薯 '克尼伯' 品種與番茄 '農友 301' 品種, 每隔 7 天施用 1 次, 連續 2 次後即可顯著降低晚疫病的罹病度, 病害防治率分別為 30.1% 與 36.8%, 施用 4 次後防治率分別為 65.2 與 58.3%。2004 年冬季至 2005 年春季在農試所番茄試驗田進行 3 次試驗, 1000 mg/L 之 NPA 施用 3 次後, 停用 3 星期, 亦可明顯降低番茄 ('農友' 與 '聖女' 品種) 晚疫病的罹病度 40–60%, 進而減緩病害之病勢進展。但在連續降雨季節, NPA 在 1000 mg/L 的濃度下降低罹病度僅有 20–40%, 無法有效壓抑晚疫病。

**關鍵詞:** 亞磷酸、晚疫病、馬鈴薯、番茄、病害防治。

## 前言

晚疫病是國際間馬鈴薯及番茄的重要病害, 由 *Phytophthora infestans* de Bary 引起, 在 18 世紀曾經造成歐洲愛爾蘭嚴重飢饉 (Semal 1995)。該病害於 1980 年代捲土重來, 造成重大經濟損失。在台灣, 晚疫病於 1908 年即有記載 (Kawakami & Suzuki 1908;

Sawada 1919), 但 1997 年以前在台灣甚少發生 (Ann *et al.* 1998), 但自 1997 年 12 月起, 台中后里馬鈴薯田爆發嚴重晚疫病, 疫情快速向外蔓延至全台之馬鈴薯與番茄田, 造成十分重大之經濟損失 (Ann *et al.* 1998; Ann & Chang 2000)。之後, 研究顯示台灣晚疫病之嚴重發生係由新菌系 US11 入侵的結果 (Jyan *et al.* 2004)。又因番茄為連續開花結果的作物, 採收

1. 行政院農業委員會農業試驗所研究報告第 2365 號。接受日期: 98 年 8 月 10 日。

2. 本所植物病理組副研究員、研究員兼組長、研究助理、研究助理、研究助理。台灣 台中縣 霧峰鄉。

3. 通訊作者, 電子郵件: pjann@tari.gov.tw; 傳真機: (04)23302803。

期間施用化學農藥，易有農藥殘毒污染之虞，尋求安全之非農藥防治製劑實有必要。

近年來國外發現亞磷酸 (phosphorous acid) 對卵菌 (Oomycetes) 引起的病害有良好的防治功效 (Pegg *et al.* 1985; Cohen & Coffey 1986; Mckay & Floyd 1992; Johnson *et al.* 2004)。但因亞磷酸為強酸，水溶液的酸鹼值約為 pH 2-3，無法直接使用，必須以鹼性物質中和後，才能施用於植物體；而且亞磷酸溶於水後易氧化成磷酸而失效，後經本所多年試驗，已經研發出一種非常簡單配製亞磷酸溶液的方法 (Ann *et al.* 2000)，且已技術轉移 (農試所技術轉移案 No.9, 2006)，使用者可以自行配製。在初步試驗中發現連續使用稀釋 1000 倍的亞磷酸中和液，可以明顯降低晚疫病的發生，在此介紹此中和後之亞磷酸溶液在田間防治馬鈴薯與番茄晚疫病的成效。

## 材料與方法

### 供試晚疫病菌株與接種原製備

試驗室測試用之晚疫病菌 (*Phytophthora infestans*) 菌株共 5 支，均為 1998 年分離自田間罹病組織，分別為 p98001 分離自台中后里馬鈴薯田、p98029 自雲林斗南馬鈴薯田、p98061 與 p98063 來自本所番茄田，及 p98096 自嘉義白河番茄田。各供試菌株培養於 rye B agar (Caten & Jinks 1968)，置於 20°C 下無光照培養 10-14 天，至形成足夠之胞囊後，每皿加入 20 mL 無菌水，將胞囊洗下，並將濃度調節至 500-1000 sporangia/mL 供試。

### 亞磷酸-氫氧化鉀中和水溶液之備製

實驗室使用之亞磷酸 (Phosphorous acid) 為一白色透明結晶狀之高純度試藥級產品 (H<sub>3</sub>PO<sub>3</sub>, 99% white crystal, Aldrich Co.)，而中和亞磷酸用之氫氧化鉀 (potassium hydroxide) 為白色扁圓形顆粒狀之試藥級產品 (≥85% KOH pellet GR, Merck Co.)。田間試驗之亞磷酸為工

業級產品，白色透明結晶 (92-95% H<sub>3</sub>PO<sub>3</sub>, white crystal)，進口自日本曹達公司 (Nippon Soda Company, Japan)，而中和用之氫氧化鉀購自同一公司，白色薄片狀之工業級產品 (≥85% KOH, white, thin piece)。兩種化學品均置於褐色玻璃瓶中，以蠟膜 (parafilm) 密封，避免與空氣接觸後易潮解與氧化。

調製亞磷酸中和溶液前，先計算稀釋倍數所需的亞磷酸重量，再稱取等重量之亞磷酸與氫氧化鉀藥品；調製時先將亞磷酸加入全量的蒸餾水中，攪拌完全溶解後，再加入氫氧化鉀溶解，中和後的亞磷酸-氫氧化鉀溶液 (簡稱 NPA, neutralized phosphorous acid solution) 於調製完成後立即使用。田間試驗時，分別稱取等重量之亞磷酸與氫氧化鉀藥品，於田間先溶解亞磷酸再溶解氫氧化鉀，並立即將中和後之 NPA 噴布於田間植株上。中和後的 NPA 在濃度 1000 mg/L 下的酸鹼值約為 pH 6.3 (試藥級產品) 與 6.7 (工業級產品) (Ann *et al.* 2000)。

### 其他供試之化學合成農藥

實驗中使用之化學合成農藥包括：80%福賽得可濕性粉劑 (Fosetyl-aluminum WP)、35%依得利可濕性粉劑 (Etridiazole wp)、35%滅達樂可濕性粉劑 (Metalaxyl WP) 及 50%達滅芬可濕性粉劑 (Dimethomorph) 等。

### 亞磷酸與其他供試藥劑於培養基上對晚疫病菌菌絲生長與胞囊發芽之抑制能力測定

配製各種藥劑與濃度，使加入 rye B agar 後成為有效濃度 (a.i.) 分別為 10、100、1000 mg/L，再倒入直徑 9 cm 的塑膠培養皿內，每皿約 20 mL。培養供試菌株，將生長在 rye B agar 5-7 天的菌落，以滅菌打孔器 (內徑 6 mm) 切取菌落邊緣，移植於含有藥劑的培養皿 3/4 處，放置於 20°C 無光照定溫箱內，7 天後量取菌落半徑，測定各藥劑對晚疫病菌菌絲生長之抑制情形。此外，將配置好之

胞囊懸浮液 5 滴 (約含 100–200 胞囊) 滴於含不同濃度藥劑的培養皿上, 以無菌玻璃棒抹平後, 放置於 20°C 無光照定溫箱內, 48 小時後計算胞囊發芽率, 發芽管長度在 100  $\mu\text{m}$  以上者為有效發芽胞囊, 每皿隨機計算 100 胞囊。對照處理為無添加藥劑者相比較, 每菌株每處理 4 培養皿, 實驗至少重複 2 次。

#### 亞磷酸於田間防治馬鈴薯晚疫病

在先期試驗中發現 NPA 防治植物地上部之病害時, 以葉面噴施之效果較佳, 且濃度在 1000 mg/L 以下時較不會引起藥害 (Ann *et al.* 2000), 因此田間試驗選用之 NPA 濃度為 1000 mg/L, 且以葉面噴布之方式行之。

自 1998 年 12 月至 1999 年 3 月於台中后里馬鈴薯試驗田進行病害試驗, 馬鈴薯栽培品種為克尼伯 (*Solanum tuberosum* var. 'Kennebec', 俗稱大葉種), 行距 60 cm, 株距 15 cm, 每畦兩行。田間試驗採逢機完全區集設計 (randomized complete block design, RCBD), 每處理 3 重複, 每重複 24 株。NPA 與其他供試藥劑 [包括 80% 福賽得可濕性粉劑 (稀釋 200 倍)、35% 依得利可濕性粉劑 (稀釋 1000 倍) 及 50% 達滅芬可濕性粉劑 (稀釋 4000 倍)], 依田間推廣濃度 (Fei & Wang 2007) 於當地開始出現晚疫病時開始噴藥, 每 7 天施用 1 次, 連續 4 次。病害調查, 噴施 NPA 前 1 天, 第 2 次與第 4 次施用後 7 天各調查病害 1 次。調查時, 每小區調查中間之 20 株, 每株調查罹病級數 (disease index), 計算小區罹病度 (disease severity)。罹病級數分 5 等級: 0 = 完全無晚疫病病斑; 1 = 每株病斑在 5 個斑點以下; 2 = 每株病斑 5 個斑點以上, 但健康組織面積佔全株面積 2/3 以上, 且萎凋情形 1/3 株以下; 3 = 健康組織面積佔全面積 1/3–2/3 之間, 或 1/3–2/3 株萎凋; 4 = 健康組織面積佔全面積 1/3 以下, 或 2/3 株以上萎凋。罹病度 =  $\Sigma$  (罹病級數  $\times$  該等級罹病株數) / (4  $\times$  總調查株數)  $\times$  100%。

#### 亞磷酸於田間防治番茄晚疫病

自 1998 年 12 月至 1999 年 4 月於農試所番茄試驗田進行晚疫病防治試驗。供試品種為大果番茄 '農友 301' (*Lycopersin esculentum* var. known-you 301), 先在溫室內播種番茄種子, 待萌芽後移植到穴盤內育苗 1–1.5 月, 至幼苗株高 20–30 cm 時, 於 12 月 1 日移植於本田, 行距 100 cm, 株距 30 cm, 每畦 2 行。田間試驗亦採 RCBD, 每處理 3 重複, 每重複 24 株。施藥處理、施藥方法、病害調查及統計分析均與馬鈴薯試驗相同。

#### 亞磷酸對田間番茄晚疫病病勢進展之影響

自 2004 年 12 月至 2005 年 4 月於農試所番茄試驗田進行試驗, 供試番茄除 '農友 301' 外, 尚包括小果番茄 '聖女', 分別於 12 月 2 日、12 月 30 日及 2 月 1 日分 3 次將番茄幼苗種植於田間, 處理僅包括 NPA 與無施用對照處理, 每畦 2 行共 50 株為 1 處理, 每處理 2 重複。94 年 1 月 13 日田間晚疫病開始發生, 1 月 15 日開始每週噴灑 1000 mg/L NPA 一次, 連續 3 次, 相隔 3 週後再連續每週噴灑 1000 mg/L NPA, 共 3 次。2 月 1 日移植者第 2 天即開始施用 NPA, 連續 3 次, 相隔 3 週後再連續施用 3 次。對照處理則無噴施任何防治晚疫病之藥劑。植物種植後, 每星期調查病害 2 次, 至對照區死亡或病害不再進展為止。

#### 統計分析方法

先進行變方分析 (ANOVA), 再以最小顯著差異性 (Fisher's least significant difference, LSD) 測驗, 分析各處理在 1% 顯著水準下之差異。

## 結 果

#### 亞磷酸與其他供試藥劑在培養基上對晚疫病菌絲生長與胞囊發芽之抑制能力

供試藥劑對晚疫病菌絲生長之抑制能力如表 1 所示。NPA 在濃度 1000 mg/L 時, 可以

完全抑制菌絲生長；但在 10 mg/L 與 100 mg/L 時，NPA 之抑制效果很差，抑菌率不到 20%。福賽得與滅達樂的抑菌效果與 NPA 相仿。依得利在濃度 100 mg/L 與 10 mg/L 時抑菌能力不佳，但在 1000 mg/L 時，則可完全抑菌。抑菌效果最佳者為達滅芬，在較低濃度 10 mg/L 時即可完全抑制晚疫病菌之菌絲生長。

供試藥劑對晚疫病菌胞囊發芽之抑制能力如表 2 所示。供試菌株均能正常產生胞囊，但胞囊發芽能力很差，發芽率 20–33%，平均

26.5%，約有 3/4 的胞囊不會發芽。NPA 於濃度 10 mg/L 時，在培養基上無法抑制胞囊發芽，發芽率亦為 26.5%；但在濃度 1000 mg/L 時，可以完全抑制胞囊發芽。福賽得、滅達樂及依得利在濃度 10 mg/L 時，不但無抑制胞囊發芽的效果，反而會促進發芽，胞囊發芽率比對照處理高 1.35–2.12 倍；這 3 種藥劑在濃度 100 mg/L 時，則有強弱不等之抑制能力。達滅芬為供試藥劑中抑制胞囊發芽效果較佳者，在供試濃度 10–1000 mg/L 下均有抑制作用，抑制率 80% 以上。

表 1. 中和後之亞磷酸 (NPA) 與不同化學殺菌劑對晚疫病菌菌絲生長之抑制情形

Table 1. Effect of the neutralized phosphorous acid (NPA)<sup>z</sup> and various chemicals on mycelial growth of *Phytophthora infestans* on rye B medium at 20°C for 7 days

Chemical	Mycelial linear growth (mm/7 d) at chemical concentration of (mg/L, a.i.)			
	0	10	100	1000
NPA	28.5 ± 2.4 ab <sup>y</sup>	28.0 ± 2.3 ab	22.5 ± 3.4 bcd	0 ± 0 e
80% Fosetyl-aluminum WP		28.7 ± 4.2 a	23.0 ± 4.3 abcd	5.9 ± 4.8 e
35% Metalaxyl		25.1 ± 4.5 abc	18.3 ± 3.0 d	2.4 ± 3.0 e
35% Etridiazole WP		20.9 ± 6.9 cd	1.0 ± 2.0 e	0 ± 0 e
50% Dimethomorph		0 ± 0 e	0 ± 0 e	0 ± 0 e

<sup>z</sup> H<sub>3</sub>PO<sub>3</sub> solution was neutralized with equal weights of KOH (both chemicals are of chemical grade).

<sup>y</sup> Mean ± sd. A total of 5 isolates were analysis. The same letters indicate not significantly different at 1% level by LSD test (LSD<sub>0.01</sub> = 5.32).

表 2. 中和後之亞磷酸 (NPA) 與不同化學殺菌劑對晚疫病菌胞囊發芽之影響

Table 2. Effect of the neutralized phosphorous acid (NPA)<sup>z</sup> and various chemicals on sporangial germination of *Phytophthora infestans* on rye B medium at 20°C for 72 h

Chemical	Sporangial germination rate (%) at chemical concentration of (mg/L, a.i.)			
	0	10	100	1000
NPA	26.5 ± 5.4 c <sup>y</sup>	26.5 ± 1.9 c	8.0 ± 1.6 def	0 ± 0 g
80% Fosetyl-aluminum WP		35.9 ± 3.0 b	23.9 ± 4.6 c	13.4 ± 2.6 d
35% Metalaxyl		49.8 ± 3.0 a	40.6 ± 6.0 b	4.9 ± 2.3 efg
35% Etridiazole WP		56.3 ± 6.3 a	9.3 ± 7.7 de	0.8 ± 0.5 g
50% Dimethomorph		5.6 ± 1.3 efg	3.1 ± 0.6 efg	1.9 ± 1.3 fg

<sup>z</sup> H<sub>3</sub>PO<sub>3</sub> solution was neutralized with equal weights of KOH (both chemicals are of chemical grade).

<sup>y</sup> Mean ± sd. A total of 5 isolates were analysed. The same letters indicate not significantly different at 1% level by LSD test (LSD<sub>0.01</sub> = 7.14).

### 亞磷酸防治田間馬鈴薯晚疫病之效果

NPA 防治田間馬鈴薯晚疫病之效果如表 3 與圖 1 所示。葉面噴布 1000 mg/L NPA、稀釋 200 倍之 80% 福賽得 (a.i. = 4000 mg/L) 及稀釋 4000 倍之 50% 達滅芬 (a.i. = 125 mg/L) 均可有效且顯著地 (1%) 降低田間晚疫病的罹病度。在噴施藥劑前，各處理的罹病度在 1% 顯著水準下均未達顯著差異。每星期施用 NPA 一次的處理，在施用 2 次與 4 次後的第 7 天，晚疫病的罹病度的平均值分別為 24.2% 與 32.1%；而相同情況下，福賽得施用 2 次與 4 次後，罹病度分別為 27.5% 與 35.0%；達滅芬為 24.2% 與 28.3%；NPA、福賽得及達滅芬三

處理間在 1% 顯著水準下未達顯著差異。在相對應的時間下，對照處理罹病度分別為 34.6% 與 92.1%，最後一次調查罹病度非常高，主要因在第 2 次與第 3 次噴藥期間，曾遇連續數日降雨，造成無施藥區罹病度急劇上升。試驗中，35% 依得利可濕性粉劑在初期的防病效果尚可，但在病勢進展快速時，則無法有效抑制病害，第 4 次施藥後 7 天該處理之罹病度高達 57.1%，較 NPA、福賽得及達滅芬等處理顯著為差。

### 亞磷酸防治田間番茄晚疫病之效果

NPA 防治田間番茄晚疫病之效果如表 4 與圖 1 所示。在噴施藥劑前，各處理的罹病度差

表 3. 中和後之亞磷酸溶液 (NPA) 防治田間馬鈴薯晚疫病之效果

Table 3. Control of potato late blight with neutralized phosphorous acid solution (NPA)<sup>z</sup> in the field during winter-spring seasons of 1998–1999

Treatment (concentration, mg/L a. i.)	Disease severity (%) <sup>y</sup>		
	Pretreatment	7 d after the 2 <sup>nd</sup> application	7 d after the 4 <sup>th</sup> application
NPA (1000)	24.6 ± 4.7 a <sup>x</sup>	24.2 ± 6.2 a	32.1 ± 5.2 a
80% Fosetyl-aluminum WP (4000)	26.3 ± 2.2 a	27.5 ± 3.3 a	35.0 ± 5.6 a
35% Etridiazole WP (350)	27.1 ± 2.5 a	28.8 ± 3.7 a	57.1 ± 11.4b
50% Dimethomorph (125)	24.2 ± 2.0 a	24.2 ± 1.1 a	28.3 ± 11.2 a
Control	24.2 ± 2.9 a	34.6 ± 0.7 b	92.1 ± 13.7 c

<sup>z</sup> H<sub>3</sub>PO<sub>3</sub> solution was neutralized with equal weights of KOH (both chemicals are of industrial grade).

<sup>y</sup> Disease severity =  $\Sigma$  [Disease index (ranking 0–4) × No. plants in the index] / (4 × No. of total tested plants) × 100%.

<sup>x</sup> Mean ± sd. The 24 potato (var. 'Kennebec') plants were used in each treatment with 3 replications. The same letters within each column indicate not significantly different at 1% level by LSD test.

表 4. 中和後之亞磷酸溶液 (NPA) 防治田間番茄晚疫病之效果

Table 4. Control of tomato late blight with neutralized phosphorous acid solution (NPA)<sup>z</sup> in the field during winter-spring seasons of 1998–1999

Treatment (concentration, mg/L a. i.)	Disease severity (%) <sup>y</sup>		
	Pretreatment	7 d after the 2 <sup>nd</sup> application	7 d after the 4 <sup>th</sup> application
NPA (1000)	23.8 ± 4.1 a <sup>x</sup>	26.7 ± 2.5 a	28.8 ± 5.4 a
80% Fosetyl-aluminum WP (4000)	22.1 ± 5.0 a	26.5 ± 1.3 a	31.3 ± 7.4 b
35% Etridiazole WP (350)	27.5 ± 2.0 a	38.4 ± 4.7 b	66.3 ± 5.6 c
50% Dimethomorph (125)	23.6 ± 3.1 a	25.3 ± 2.6 a	28.9 ± 6.9 a
Control	26.3 ± 2.6 a	42.2 ± 0.8 b	69.0 ± 5.9 c

<sup>z</sup> H<sub>3</sub>PO<sub>3</sub> solution was neutralized with equal weights of KOH (both chemicals are of industrial grade).

<sup>y</sup> Disease severity =  $\Sigma$  [Disease index (ranking 0–4) × No. plants in the index] / (4 × No. of total tested plants) × 100%.

<sup>x</sup> Mean ± sd. The 20 tomato (var. 'Known-you 301') plants were used in each treatment with 3 replications. The same letters within each column indicate not significantly different at 1% level by LSD test.



圖 1. 使用中和後之亞磷酸溶液 (NPA, 濃度 1000 mg/L) 三次後防治田間馬鈴薯晚疫病 (上) 與番茄晚疫病 (下) 之效果。

**Fig. 1.** Application of the neutralized phosphorous acid solution (NPA) at 1000 mg/L for 3 times with 7 d intervals for control of potato (upper) and tomato late blight (bottom) in the winter-spring field in 1998–1999. Phosphorous acid is neutralized with equal weights of potassium hydroxide in water.

異均未達 1% 顯著水準。葉面噴布 1000 mg/L NPA、稀釋 200 倍之 80% 福賽得及稀釋 4000 倍之 50% 達滅芬均可有效的抑制田間晚疫病的罹病度上升，各處理的罹病度較對照處理顯著為低 (1%)，防治率達 36.8–67%。施用 NPA 的處理在噴施 2 次與 4 次後的第 7 天之晚疫病的罹病度的平均值分別為 26.7% 與 28.8%；而相同情況下，施用福賽得之處理的罹病度分別為 26.5% 與 31.3%；達滅芬為 25.3% 與 28.9%；NPA、福賽得及達滅芬三處理間之差異未達 1% 顯著水準。依得利處理在第 2 次噴藥與第 4 次施藥後 7 天的罹病度分別為 38.4% 與 66.3%，較上述 3 處理顯著為差，而與對照無施藥處理 (罹病度分別為 42.2% 與 69.0%) 之差異不顯著。

#### 亞磷酸對田間晚疫病病勢進展之影響

自 2004 年 12 月至 2005 年 4 月 8 日於農試所番茄試驗田進行 NPA 防治晚疫病之試驗，番茄‘農友 301’與‘聖女’分 3 次相隔一個月種植，2004 年 12 月 2 日種植者於 43 日後 (2005 年 1 月 13 日) 開始出現晚疫病，於 1 月 15 日開始施用 1000 mg/L 之 NPA；2004 年 12 月 30 日種植者於 1 月 15 日即開始施用 NPA，於種植後 30 日 (2005 年 1 月 29 日) 開始發病；2005 年 2 月 1 日種植者於次日即開始施用 NPA，於種植後 20 日後 (2005 年 2 月 21 日) 出現病徵。施用 NPA 處理與對照處理的病勢進展情形如圖 2 所示，各處理之病勢進展趨勢有相似之處，但‘農友 301’品種之罹病度均較‘聖女’品種為高，顯示‘聖女’品種較為抗病 (或耐病)，但無論‘農友 301’或‘聖女’番茄在施用濃度 NPA 後，均可降低晚疫病的罹病度減緩病勢進展。

實驗發現晚疫病的發病嚴重度與降雨有關 (Hung *et al.* 2006)，該實驗期間之降雨日期為 2004 年 12 月 3–4 日、2005 年 1 月 13 日、2 月

18–22 日 (連續 5 日)、2 月 25 日–3 月 5 日 (連續 9 日)、3 月 11–14 日 (連續 4 日)、3 月 23 日、3 月 27 日–4 月 2 日 (連續 7 日)。當氣溫適合發病，但無連續降雨時，病勢進展較緩和時 (2005 年 2 月 18–25 日，連續降雨 7 日之前)，施用 NPA 之處理的平均罹病度約為對照處理的 40–60% 以下 (防治率 40–60% 以上)；但當連續降雨時 (2 月 18 日–3 月 14 日及 3 月 27 日–4 月 2 日)，晚疫病病勢進展極為快速，NPA 似乎無法有效壓抑晚疫病之發生，NPA 處理區的罹病度 (連續降雨 7 日之後) 為對照處理的 60–80% (防治率 20–40%)，似乎無法有效抑制病害。第一批種植的對照組‘農友 301’番茄在 2005 年 3 月 28 日完全死亡 (圖 2A)，施用 NPA 處理的罹病度亦高達 78.0%。第二批種植的番茄之病勢進展較第一批為快速，對照組‘農友 301’與‘聖女’分別在 2005 年 3 月 17 日與 3 月 28 日完全死亡 (圖 2B)，施用 NPA 處理的罹病度亦分別為 75.0% 與 74.5%。第三批種植的番茄在初期之病勢進展非常快速，對照組‘農友 301’亦在 3 月 28 日完全死亡 (圖 2C)，施用 NPA 處理的罹病度為 78.5%；‘聖女’品種罹病度相對較輕，對照處理與施用 NPA 處理的罹病度分別為 68.5% 與 42.5%，4 月 8 日後因氣溫升高，未有新病斑出現而結束實驗。

## 討 論

亞磷酸原為緩效性磷肥的一種 (MacIntire *et al.* 1950)，1980 年代一種防治卵菌類病害的系統性殺菌劑「福賽得」(Cohen & Coffey 1986) 研發成功，發現其代謝產物中的亞磷酸離子為主要的抑病物質，因此帶動亞磷酸防病效果之研究。目前亞磷酸，在國外，早已被開發與商品化成農藥與肥料 (Wicks *et al.* 1991; Chaluvaraju *et al.* 2004)，用來防治多種卵菌類引起的作物病害。在 1990 年代，商品化之亞磷

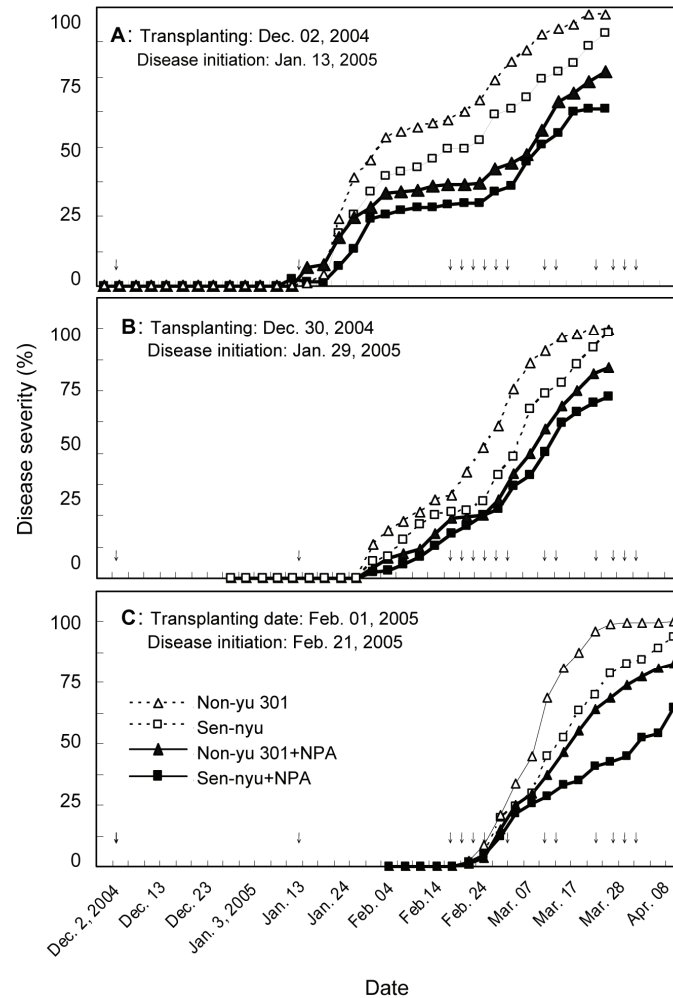


圖 2. 施用中和後之亞磷酸溶液 (NPA, 濃度 1000 mg/L) 對番茄晚疫病病勢進展之影響。

**Fig. 2.** Effect of the neutralized phosphorous acid solution (NPA at 1000 mg/L) on disease development of tomato late blight in the winter-spring field in 2004–2005. Phosphorous acid is neutralized with equal weights of potassium hydroxide in water. ↓ indicates precipitation. {Disease severity =  $\Sigma$  [Disease index (ranking 0-4)  $\times$  No. plants in the index]/(4  $\times$  No. of total tested plants)  $\times$  100%}.

酸產品亦曾進口至台灣，惟未能推廣成功。因此，本所同仁經多年研究，開發出一種亞磷酸的簡便配製方法 (Ann *et al.* 2000)，先篩選出最適合的中和劑氫氧化鉀，將需用之亞磷酸與氫氧化鉀以 1:1 (w/w) 等重秤量，接著將亞磷酸先溶於水後，再將氫氧化鉀加入溶解，中和後之亞磷酸溶液 (NPA) 之酸鹼值介

於 pH 6.0–6.8，為弱酸性，此酸鹼值對植物不會造成藥害。

有關亞磷酸防治病害的作用與防病機制一直引起學者的興趣。目前學者們較認同亞磷酸兼具直接抑菌保護寄主 (direct protection) 與間接增強植物抵抗力 (indirect defense) 的雙重功效 (Smillie *et al.* 1989; Guest & Grant



1991)，但真正的分子抑病機制尚不了解。在高濃度下 (1000 mg/L 以上)，亞磷酸能夠直接殺死疫病菌與抑制其產胞，有直接保護寄主的功效，本實驗之結果亦顯示 NPA 在 1000 mg/L 的濃度下可以完全抑制晚疫病菌之菌絲生長與胞囊發芽 (表 1 & 2)。但在植物體內，亞磷酸離子的濃度一般很低，僅有百萬分之十左右 (數十個 ppm) (Fenn & Coffey 1984)，並無顯著殺菌效果。本實驗之結果亦顯示 NPA 在低濃度時 (10 mg/L) 完全沒有抑制晚疫病菌之菌絲生長與胞囊發芽的功效 (表 1 & 2)。因此，學者們認為亞磷酸應具有間接防禦功效，它能誘導植物增強抗病性。Saindrenan & Guest (1995) 之報告指出施用亞磷酸的處理，當病菌入侵時，寄主植物的抗禦素 (phytoalexin) 與其他抗病物質均會快速與大量累積，使植物能與入侵的病原菌對抗。本實驗測試之結果亦顯示，雖然在培養基上 NPA 在中、低濃度 (100 mg/L 與 10 mg/L) 下對晚疫病菌並無良好之抑菌效果，但它在田間卻有顯著的防病功效，顯示誘導抗病應為 NPA 防治晚疫病之機制之一。福賽得在國內外均廣泛推薦於作物疫病之防治，它施用於作物後 2–24 小時後會代謝成亞磷酸，為其主要抑菌機制之一 (Cohen & Coffey 1986)，因此福賽得與 NPA 在抑菌方面的表現很相似 (Afek & Szejnberg 1989)，雖然在中、低濃度時於實驗室中均無良好之抑菌效果，但於田間試驗時可以顯著抑制病害的發生。

初期實驗之結果顯示，葉面噴布時，如果使用之 NPA 的濃度超過 1000 mg/L 時，可能會引起植物藥害，尤其是施用在果實與幼嫩組織時，因此本試驗使用之 NPA 濃度為 1000 mg/L。此外，早期的實驗顯示 NPA 每 7 天施用 1 次，連續施用 2–3 次的防病效果比單一次的效果顯著為佳 (Ann *et al.* 2000)，因此本試驗選擇連續使用 3 次。在 2004 冬季至 2005 春季的田間實驗結果顯示，在 12 月至翌春 2 月中旬，無連續

降雨時，連續施用 3 次 1000 mg/L 之 NPA 可以明顯抑制晚疫病菌感染番茄，罹病度比對照處理明顯為低，下降 40–60% 以上，病勢進展的速率亦十分緩慢；但當遇到連續降雨時 (2005 年 2 月 18 至 3 月 14 日的 25 日當中有 18 日降雨)，NPA 在 1000 mg/L 的濃度下似乎無法有效壓抑病勢進展曲線的攀升，罹病度僅比對照組低 20–40%。這可能與降雨環境下晚疫病菌大量產胞，造成感染源濃度太高，以致 NPA 誘導之植物抗病能力不足以有效對抗病菌的侵染，才造成病情嚴重。如果田間單獨使用 NPA 而未將對照無施藥處理參雜在內，處理區面臨之病原濃度的壓力可能會較低，較能凸顯 NPA 的防病效果，這需要進一步大面積的測試。

在其他實驗中發現 NPA 對許多作物的疫病與荔枝露疫病有相當好的防治效果 (報告準備中)，包括金柑與枇杷幼苗疫病；木瓜、柳橙、金柑之果實疫病；辣椒與甜椒疫病；蘭花 (虎頭蘭、文心蘭、報歲蘭)、非洲菊及百合疫病，防治率均在 60–100%。由於亞磷酸為肥料而非化學合成農藥，可以在採果期間使用，以保障農民與消費者健康；使用 NPA 後可以減少農藥使用，符合發展安全農業的宗旨；而且亞磷酸的價格十分便宜，對降低生產成本增加農民收益幫助良多。

## 誌 謝

本試驗部份經費承蒙行政院國家科學委員會補助 (NSC 88-2313-B-055-004, NSC 89-2313-B-055-002, NSC 90-2313-B-055-002NSC)，謹此誌謝。

## 引用文獻 (Literature cited)

- Afek, U. and A. Szejnberg. 1989. Effects of fosetyl-Al and phosphorous acid on scoparone, a phytoalexin associated with resistance of citrus to *Phytophthora citrophthora*. *Phytopathology* 79:736–739.
- Ann, P. J. and T. T. Chang. 2000. Why late blight of potato and tomato dramatically breaking out in Taiwan at

- the end of 1977. *in* the Proceedings of Symposium on Pest Epidemics and Control Strategies in Taiwan. Taichung, Taiwan. (in Chinese with English abstract)
- Ann, P. J., T. T. Chang, and L. L. Chern. 1998. Mating type distribution and pathogenicity of *Phytophthora infestans* in Taiwan. *Bot. Bull. Acad. Sin.* 39:33–37.
- Ann, P. J., T. J. Chang, and J. N. Tsai. 1998. Comparison of characteristics of strains of *Phytophthora infestans* isolated before and after 1988 in Taiwan. *Plant Pathol. Bull.* 7:209 (abstract in Chinese)
- Ann, P. J., T. F. Hsieh, J. N. Tsai, I. T. Wang, and C. Y. Lin. 2000. A simple method for use of phosphorous acid and the spectra of disease control. *Plant Pathol. Bull.* 9:179. (abstract in Chinese)
- Caten, C. E. and J. L. Jinks. 1968. Spontaneous variability of single isolates of *Phytophthora infestans*. *Can. J. Bot.* 46:6–47.
- Chaluvaraju, G. P. Basavaraju, N. P. Shetty, S. A. Deepak, K. N. Amruthesh, and H. S. Shetty. 2004. Effect of some phosphorous-based compounds on control of pearl millet downy mildew disease. *Crop Prot.* 23:595–600.
- Cohen, T. and M. D. Coffey. 1986. Systemic fungicides and the control of oomycetes. *Annu. Rev. Phytopathol.* 24:311–338.
- Fenn, M. E. and M. D. Coffey. 1984. Studies on the *in vitro* and *in vivo* antifungal activity of fosetyl-Al and phosphorous acid. *Phytopathology* 74:606–611.
- Guest, D. I. and B. R. Grant. 1991. The complex action of Phosphonates in plants. *Biol. Rev.* 66:159–187.
- Hung, L. Y., K. S. Chiang, P. J. Ann, J. N. Tsai, and T. C. Wang. 2006. Establishment of the predicted models for tomato late blight in epidemiology. *Plant Pathol. Bull.* 14:310. (abstract in Chinese)
- Fei, W. C. and M. Y. Wang. 2007. *Plant Protection Manual*. Agric. Chem. Pest. Inst. Pub. Taichung, Taiwan, ROC. 884 pp. (in Chinese with English abstract)
- Johnson, D. A., D. A. Inglis, and J. S. Miller. 2004. Control of potato tuber rots caused by oomycetes with foliar applications of phosphorous acid. *Plant Dis.* 88:1153–1159.
- Jyan, M. H., P. J. Ann, J. N. Tsai, S. D. Hsieh, T. T. Chang, and R. F. Liou. 2004. Recent occurrence of *Phytophthora infestans* US-11 as the cause of severe late blight on potato and tomato in Taiwan. *Can. J. Plant. Pathol.* 26:188–192.
- Kawakami, T. and R. Suzuki. 1908. List of fungi on cultivated plants of Formosa, Part I. *Bull. Agric. Exp. Sta. Gov. Formosa.* 1:1–64.
- MacIntire, W. H., S. H. Winterberg, L. J. Hardin, A. J. Sterges, and L. B. Clements. 1950. Fertilizer evaluation of certain phosphorus, phosphorous, and phosphoric materials by means of pot cultures. *Agron. J.* 42:543–549.
- Mckay, A. G. and R. M. Floyd. 1992. Phosphonic acid control downy mildew (*Peronospora parasitica*) in cauliflower curds. *Aust. J. Exp. Agric.* 32: 127–129.
- Pegg, K. G., A. W. Whiley, J. B. Saranah, and R. J. Glass. 1985. Control of *Phytophthora* root rot of avocado with phosphorous acid. *Aust. Plant Pathol.* 14: 25–29.
- Saindrenan, P. and D. V. Guest. 1995. Involvement of phytoalexins in the response of phosphonate-treated plants to infection by *Phytophthora* species. p.375–390. *in: Handbook of Phytoalexin Metabolism and Action.* (Daniel, M. and R. P. Purkayastha, eds.) Marcel Dekker, INC. New York.
- Sawada, K. 1919. Descriptive Catalogue of the Formosa Fungi I. *Bull. Agric. Exp. Sta. Gov. Formosa.* 19:1–695.
- Semal, J. 1995. The epic of potato blight (1845–1995). *Cah. (Cahiers) Agric.* 4:287–298.
- Smillie, R., B. R. Grant, and D. Guest. 1989. The mode of action of phosphate: evidence for both direct and indirect modes of action on three *Phytophthora* spp. in plants. *Phytopathology* 79: 921–926.
- Wicks, T. J., P. A. Magarey, M. F. Waxhtel, and A. B. Frensham. 1991. Effect of postinfection application of phosphorous (phosphonic) acid on the incidence and sporulation of *Plasmopara viticola* on grapevine. *Plant Dis.* 75:40–43.

# Control of *Phytophthora* Late Blight of Potato and Tomato with Neutralized Phosphorous Acid<sup>1</sup>

Jyh-Nong Tsai<sup>2</sup>, Pao-Jen Ann<sup>2,3</sup>, Ien-Tien Wang<sup>2</sup>, Shin-Yuan Wang<sup>2</sup>,  
and Chyung-Yue Hu<sup>2</sup>

## Abstract

Tsai, J. N., P. J. Ann, I. T. Wang, S. Y. Wang, and C. Y. Hu. 2009. Control of *Phytophthora* late blight of potato and tomato with neutralized phosphorous acid. *J. Taiwan Agric. Res.* 58:185–195.

The effect of the neutralized phosphorous acid solution (NPA) prepared with a simple method on suppression of *Phytophthora infestans* and control of potato and tomato late blight was evaluated. The proposed method involved dissolving phosphorous acid in water before adding equal weights of potassium hydroxide. NPA at a concentration of 1000 mg/L (a.i.) completely inhibited the mycelial growth and sporangial germination of *P. infestans* on rye B agar plates, while the inhibitory effects of NPA at lower concentration (100 or 10 mg/L) decreased dramatically. The inhibition rates of mycelial growth and sporangial germination of *P. infestans* at 100 mg/L NPA were decreased to 21% and 69.9%, respectively, and at 10 mg/L NPA down to 0%. When NPA at 1000 mg/L was foliar-sprayed to the plants of potato var. 'Kennebec' and tomato var. 'Known-you 301' for 2–4 times at 7 d intervals in the naturally infected fields in 1999–2000, the disease severity of *Phytophthora* late blight of both crops were significantly and effectively suppressed. The disease reduction by 2 applications and 4 applications were 30.1% and 65.2%, respectively, for potato late blight, and 36.8% and 58.3%, respectively, for tomato late blight in comparison with the control. Application of NPA at 1000 mg/L for 3 times every 6 weeks was also effective in suppression of tomato late blight, and thereby delay disease progress in the fields during the winter-spring seasons of 2004–2005. The disease severity of both tomato varieties 'Known-you 301' and 'Sen-nyu' were 40–60% less than those without spray in the dry periods, whereas NPA treatments were only 20–40% less than controls during continuous rain.

**Key words:** Disease control, Phosphorous acid, *Phytophthora* late blight, Potato, Tomato.

---

1. Contribution No.2365 from Taiwan Agricultural Research Institute (TARI), Council of Agriculture. Accepted: August 10, 2009.

2. Respectively, Associate Plant Pathologist, Director and Plant Pathologist, Assistant, Assistant, and Assistant, Plant Pathology Division, TARI, Wufeng, Taichung, Taiwan, ROC.

3. Corresponding author, e-mail: pjann@tari.gov.tw; Fax: (04)23302803.