

## 土壤理化性質對水稻徒長病發生之影響

林素禎<sup>1,\*</sup> 鄭春玉<sup>2</sup> 王朝儀<sup>2</sup> 陳啟予<sup>3</sup> 林瑋倫<sup>4</sup>

### 摘要

林素禎、鄭春玉、王朝儀、陳啟予、林瑋倫。2017。土壤理化性質對水稻徒長病發生之影響。台灣農業研究 66(3):219–229。

近年來由 *Fusarium fujikuroi* Nirenberg 引起的水稻徒長病 (bakanae disease of rice) 在台灣各地有逐漸嚴重的趨勢，本試驗於農業試驗所溫室內利用 8 個不同類型土壤以及 3 個不同接種病原菌之方法進行研究。8 個試驗土壤分別採自於彰化縣芬園鄉、屏東縣萬巒鄉、彰化縣和美鎮、彰化縣線西鄉、彰化縣竹塘鄉、彰化縣二林鎮、彰化縣芳苑鄉與台南市佳里區，所使用的水稻品種為「高雄 139 號」。病原菌接種處理分別為 (1) 在種子浸種前 (種子接菌)，(2) 種子發芽後 (胚根接菌)，(3) 接於土壤中 (土壤接菌) 三種，接種源濃度依序為  $4.5 \times 10^6$  spores mL<sup>-1</sup>、 $4.5 \times 10^6$  spores mL<sup>-1</sup> 與  $5.4 \times 10^5$  spores g<sup>-1</sup> soil。水稻播種 35 d 後進行生長調查與死亡率調查，試驗結果顯示：3 個接種病原菌方法中，以種子接菌處理之水稻徒長病死亡率最高，且該處理之水稻植株總乾物重亦最小。在種子接菌處理之 8 個土壤中，水稻徒長病死亡率以彰化縣芬園鄉土壤最高 (66%)，其次為彰化縣和美鎮土壤 (45%)，第三為屏東縣萬巒鄉土壤 (29%)，第四為彰化縣線西鄉土壤 (23%)。此外，水稻徒長病死亡率也分別與土壤 pH 值、有效性鈣含量及硼含量呈顯著直線負相關 ( $P < 5\%$ )，其他土壤理化性質則與水稻徒長病死亡率無顯著直線相關 ( $P > 5\%$ )。在胚根接菌與土壤接菌處理之 8 個土壤中，水稻徒長病死亡率皆以彰化縣芬園鄉土壤最高，分別為 20% 與 12%，但這兩種接菌處理在其他 7 個土壤中對水稻之影響則與對照組無顯著差異。本試驗結果顯示：帶有徒長病原菌的水稻種子在彰化縣芬園鄉、彰化縣和美鎮、屏東縣萬巒鄉及彰化縣線西鄉四種土壤中具有較高發病的機率。

**關鍵詞：**水稻徒長病、*Fusarium fujikuroi*、土壤性質。

### 前言

水稻徒長病最早於 1828 年在日本已有本病害記載 (Ito & Kimura 1931)，為水稻栽培區普遍存在之病害。水稻徒長病在台灣最早於 1912 年由澤田氏所記載報告，此病害又稱馬鹿苗病，在農民口中俗稱「稻公」。病害發生在水稻之苗期及分蘖盛期，罹病植株呈現徒長，罹病苗常比健康苗高出 1/3–1/2 以上，病苗纖細黃綠色，葉幅變小，葉片與葉鞘之著生角加大 (Chang 2003)。此病害所造成的損失在

危害嚴重的地區可減產 40–50% (Ou 1985)。此病害主要由受汙染之稻種帶菌傳播，近年來農友雖有做稻種消毒，田間還是普遍發生，尤其以台東、花蓮地區最為嚴重，該地區主要種植品種高雄 139 號及台梗 2 號，田間罹病率超過 10% (Huang & Chu 2009)。

根據張氏報告，被病原菌汙染的穀粒，若每顆穀粒平均帶有 4.2 個菌體，播種後可得 8.25% 之徒長苗，證明汙染於稻殼外之病菌亦可致病 (Chang 2003)。Yu & Sun (1977) 報告指出，土壤接種徒長病菌分生孢子，當每公

投稿日期：2016 年 8 月 24 日；接受日期：2016 年 11 月 17 日。

\* 通訊作者：linmay@tari.gov.tw

<sup>1</sup> 農委會農業試驗所農業化學組助理研究員。台灣 台中市。

<sup>2</sup> 農委會農業試驗所農業化學組研究助理。台灣 台中市。

<sup>3</sup> 國立中興大學植物病理學系副教授。台灣 台中市。

<sup>4</sup> 國立中興大學植物病理學系碩士班研究生。台灣 台中市。

克土壤含 645 個菌體時，即可引起稻苗徒長病。Chang (2003) 指出，稻田中徒長病菌分布不均，稻徒長病株附近的土壤含較高濃度的病菌，病組織中之病菌被埋入土壤中可為感染源，但因病菌族群密度不高，所以稻苗徒長病雖可經由土壤傳播，但機會比稻種傳播小。Lin *et al.* (2016) 研究指出，稻稈帶菌亦是另一個感染途徑，在感病土壤中具有感染下一季水稻的潛在能力。

有關土壤性質對水稻徒長病之影響鮮少有人研究，為了瞭解土壤性質對此病害之影響，本文選擇不同質地、母質與酸鹼值之 8 個土壤進行測試；本文中亦測試 *Fusarium fujikuroi* 3 種接種方法（種子接菌、胚根接菌與土壤接菌）對水稻徒長病發生之影響，探討此病原菌傳播的可能途徑，以作為此病害防治對策之參考。

## 材料與方法

### 試驗土壤

選擇不同質地、母質與酸鹼值之土壤進行試驗，試驗土壤有 8 個，土壤採集地點、座標與地上植生如表 1。在土壤質地方面，選擇細質地土壤（彰化縣竹塘鄉的粘板岩石灰性老沖積土，黏粒含量 23%，粉粒含量 48%，砂粒含量 29%，屬壤土）與粗質地土壤（彰化縣芳苑鄉的粘板岩石灰性老沖積土，黏粒含量 3%，粉粒含量 24%，砂粒含量 73%，屬砂質壤土）各 1 個土壤。在母質方面，選擇粘板岩沖積土、

砂頁岩沖積土及砂頁岩粘板岩混合沖積土 3 種母質的土壤。粘板岩沖積土為屏東縣萬巒鄉的酸性土壤，及彰化縣二林鎮的微鹼性土壤。砂頁岩沖積土為彰化縣芬園鄉的酸性土壤，及台南市佳里區的微鹼性土壤。砂頁岩與粘板岩混合沖積土為靠近八卦山的彰化縣和美鎮土壤，及靠近台灣海峽的彰化縣線西鄉土壤。

### 土壤理化性質分析

採集上述試驗土壤，土壤樣品從田間採集後，風乾、磨碎、過篩，分析各項理化性質，包括土壤 pH 值（酸鹼度）、EC 值（電導度）、質地、有機質、有效性氮、磷、鉀、鈣、鎂、鐵、錳、銅、鋅與硼。土壤 pH 值與 EC 值的測定方法為水土重量比 1:1，以酸鹼度測定儀 (Suntex SP-701) 及電導度測定儀 (Denver Instrument Model 20) 檢測之。土壤質地以粒徑分析儀 (Beckman Coulter LS 13 320) 分析。有機質以總有機碳分析儀 (Elementar vario MAX C) 測定後換算為有機質含量。有效性氮先用 2M KCl 抽出後以自動分析儀 (Astoria Analyzer Series 300) 測定。有效性磷、鉀、鈣、鎂、鐵、錳、銅、鋅、硼以 Mehlich-3 method (Mehlich 1984) 抽出後，以感應耦合電漿分析儀 (Inductively coupled plasma spectrometry, ICP, HORIBA Jobin Yvon ULTIMA 2C) 測定。

### 病原菌製備與孢子數計數

水稻徒長病菌 (*Fusarium fujikuroi*) 由中

表 1. 土壤採集處。

Table 1. Soil sampling sites.

No.	Sampling site	Coordinate		
		N	E	Cover plant
1	Fangyuan, Changhua	23°56'55"	120°21'38"	Rice
2	Chutang, Changhua	23°51'24"	120°25'41"	Sweet potato
3	Wanluan, Pingtung	22°35'57"	120°35'13"	Weed
4	Erlin, Changhua	23°53'44"	120°23'18"	Rice
5	Fenyuan, Changhua	24°00'36"	120°39'35"	Weed
6	Chiali, Tainan	23°10'49"	120°12'00"	Rice
7	Hemei, Changhua	24°06'47"	120°30'42"	Rice
8	Siansi, Changhua	24°07'32"	120°26'25"	Rice

興大學植物病理學系真菌研究室提供 (菌株編號 IL01)，取病原菌單孢培養於 1/2 PDA 培養基上 (1/2 PDA 培養基配方如下：1000 mL 的純水中含 100 g Potato, 10 g Dextrose, 15 g Agar)，於 25°C 培養箱中光照黑暗各 12 h 培養 14 d 後，在培養皿中加入 10 mL 無菌水，以吸管輕刮培養基上之病原菌，吸取菌液至燒杯中，反覆上述步驟 2 次。蒐集菌液，以滅菌水稀釋 10× 後，吸取 1 mL 菌液加在血球計數器 (hemocytometer) 上，在顯微鏡下計數水稻徒長病菌之孢子數。

### 水稻品種

水稻栽培品種為「高雄 139 號」，是行政院農業委員會高雄區農業改良場於 1975 年完成命名登記的良質品種。全生育日期 1 期作 130 d，2 期作 108 d，適合花蓮及台東栽植，產量高，但對水稻徒長病為感病品種。

### 試驗處理

採集之試驗土壤有 8 個 (如表 1)，在 8 個土壤中，每個土壤各有 4 種接菌處理：(1) 對照組，水稻種子與栽培土壤皆不接種水稻徒長病菌，對照組水稻種子直接以流動的自來水浸種 2 d，待多數的種子長出白色的芽點後，選取有白色芽點的種子種植在裝有 50 g 試驗土壤的圓形塑膠栽培盆 (容積 110 mL) 中。以下各處理之水稻種子催芽方式皆與對照組相同。(2) 種子接菌：在水稻種子上接種病原菌，接種方法如下：將 50 粒種子放入 100 mL 燒杯內，加入病原菌菌液，讓種子完全浸入菌液中，病原菌濃度為  $4.5 \times 10^6$  spores mL<sup>-1</sup>，浸泡 1 h 後，菌液先倒出瀝乾，讓種子在塑膠淺盤上陰乾 1 d，放入生長箱內 25°C 黑暗培養 7 d。取出種子，以流動的自來水浸種 2 d，待種子發芽後，播種於栽培盆中。(3) 胚根接菌：在種子發芽後接種病原菌，接種方法如下：種子以流動的自來水浸水 2 d，發芽後放入病原菌液體中，浸泡 1 h，病原菌濃度為  $4.5 \times 10^6$  spores mL<sup>-1</sup>，取出種子播種。(4) 土壤接菌：在 50 g 土壤中加 6 mL 菌液，病原菌濃度為  $4.5 \times 10^6$  spores mL<sup>-1</sup>，土壤與病原菌菌液充分混勻後倒入栽培盆中。此時，土壤中病原菌之濃

度為  $5.4 \times 10^5$  spores g<sup>-1</sup> soil。水稻種子經催芽後種植在上述已接菌的土壤中。上述 4 種處理之圓形塑膠栽培盆中皆內裝 50 g 試驗土壤，每個栽培盆中皆種 10 粒水稻種子，每處理各種 4 盆。

### 試驗設計

在 8 個試驗土壤中每個土壤各有 4 個接種病原菌處理，因農業試驗所溫室中日照角度與抽風設備所造成之微氣候可能會對水稻生長產生影響，故分為 4 個區集，每個區集內都有 8 個土壤與 4 個接種病原菌處理，每一處理各 1 盆，逢機擺放，為逢機完全區集設計 (RCBD)。

### 溫室管理與生育調查

在水稻種子種植 7 d 後每週澆灌 1 次 Modified Hoagland 營養液，每盆 20 mL，提供水稻生長所需營養。在水稻播種 14 d 後進行發芽率調查，播種 35 d 後進行水稻生育調查與徒長病死亡率調查，秤取各處理水稻地上部與根之鮮重，將水稻地上部與根分別放在 80°C 烘箱中，2 d 後秤取乾重。苗期水稻罹病植株呈現徒長，病苗纖細黃綠色，葉片與葉鞘之著生角加大，而罹病嚴重之水稻會死亡，在水稻植株上有白粉紅色的菌絲層，菌絲層上密生分生孢子，偶爾可見橙色之分生孢子堆，菌絲層最後轉變為淡灰色 (Chang 2003)。水稻徒長病死亡之判定標準為植株莖基部有水稻徒長病菌絲體纏據，死亡。

### 鈣含量與硼含量對水稻徒長病菌菌絲生長之影響

不同鈣含量對水稻徒長病菌菌絲生長之影響：在不同鈣含量試驗中，鈣離子之濃度為 0、1,000 mg kg<sup>-1</sup>、2,000 mg kg<sup>-1</sup>、3,000 mg kg<sup>-1</sup>、4,000 mg kg<sup>-1</sup>、5,000 mg kg<sup>-1</sup>，以 CaCO<sub>3</sub> (聯工化學廠公司 EP 級一級) 為試藥。取 100 mL 去離子水加入 250 mL 燒杯中，加 1.2 g 馬鈴薯葡萄糖 (Potato dextrose broth, BD Co., USA)，加入所需要的 CaCO<sub>3</sub> 試藥，攪拌溶解後，測量溶液之 pH 值。加 1.5 g Agar (BD Co., USA) 後，以兩層鋁箔紙封口，放入滅菌鍋中，121°C，1.2 kg cm<sup>-2</sup> 滅菌 20 min。取出培

養基放冷至 50–60°C 時分裝至直徑 9 cm 培養皿中，每皿 15 mL，放冷，備用。選擇水稻徒長病菌生長最外圈之菌絲做為接種源，以滅菌竹籤沾取病原菌少許，放在培養基正中央，每處理 6 重複。培養皿以石蠟膜封口，放入培養箱中 26°C 黑暗培養 8 d，測量病菌菌落生長最長直徑與最短直徑，計算其平均直徑。

不同硼含量對水稻徒長病菌菌絲生長之影響：在不同硼含量試驗中，硼離子之濃度為 0、5 mg kg<sup>-1</sup>、25 mg kg<sup>-1</sup>、125 mg kg<sup>-1</sup>、250 mg kg<sup>-1</sup>、500 mg kg<sup>-1</sup>，以硼砂 (Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub> · 10H<sub>2</sub>O) (聯工化學廠公司 EP 級一級) 為試藥。取 100 mL 去離子水加入 250 mL 燒杯中，加 1.2 g 馬鈴薯葡萄糖 (Potato dextrose broth, BD Co., USA)，加入所需要的硼砂試藥，攪拌溶解後，測量溶液之 pH 值。加 1.5 g Agar (BD Co., USA) 後，以兩層鋁箔紙封口，放入滅菌鍋中，121°C，1.2 kg cm<sup>-2</sup> 滅菌 20 min。取出培養基放冷至 50–60°C 時分裝至直徑 9 cm 培養皿中，每皿 15 mL，放冷，備用。選擇水稻徒長病菌生長最外圈之菌絲做為接種源，以滅菌竹籤沾取病原菌少許，放在培養基正中央，每處理 6 重複。培養皿以石蠟膜封口，放入培養箱中 26°C 黑暗培養 9 d，測量病菌菌落生長最長直徑與最短直徑，計算其平均直徑。

### 相關性分析

水稻徒長病死亡率與土壤理化性質進行相關性分析時，當簡單相關性分析結果顯著，表示水稻徒長病死亡率與土壤理化性質間存在直線相關。相關性分析可在 Excel 試算表管理軟體中進行 (Lu *et al.* 2006)。Excel 在「資料分析」裡提供了「相關係數」的計算，但不提供相關係數的顯著性測驗，不過可以透過輸入公式或函數來進行。相關係數 ( $r$ ) 的顯著性測驗可利用  $t$  檢定 (Yu 1981; Lu *et al.* 2006)，公式如下：

$$|t| = \frac{|r|}{\sqrt{\frac{1-r^2}{n-2}}} > t_{(\alpha/2, n-2)}$$

式中  $n$  為樣本數， $t_{(\alpha/2, n-2)}$  為  $\alpha$  顯著水

準下自由度等於  $n-2$  的雙尾  $t$  臨界值。 $t$  臨界值的計算，可利用 Excel 的 TINV 函數，其格式為：TINV (probability, degree\_freedom)，probability 為雙尾機率值 (故若指定顯著水準為 0.05，只需直接輸入 0.05 即可，不必再除以 2)，而 degree\_freedom 為自由度。Excel 的絕對值及開方根函數分別為 ABS 及 SQRT。將兩資料集的相關係數 ( $r$ ) 與樣本數 ( $n$ ) 帶入上述公式中計算  $t$  檢定的實測值。當  $t$  的實測值大於其臨界值，表示兩資料集存在顯著的直線相關。本文中利用 Excel 的 CORREL 函數，計算水稻死亡率與土壤理化性質之相關係數 ( $r$ )，得到相關係數後，利用上述公式與 Excel 的 TINV 函數，算出  $t$  檢定的實測值和臨界值，當  $t$  檢定的實測值大於臨界值時，即表示水稻死亡率與土壤理化性質存在有直線相關。反之，則表示兩資料集無直線相關，但無法認定兩資料集無任何關係或互相獨立，也有可能是其他二次以上的關係 (Lu *et al.* 2006)。

### 資料統計與分析

本文中水稻的生育調查資料及水稻徒長病菌在培養基上生長所量測的直徑，皆利用 SAS 套裝統計分析軟體先進行變方分析 (analysis of variance; ANOVA)，若處理效應顯著 ( $P < 0.05$ )，則再利用最小顯著性差異 (least significant difference; LSD) 測驗以比較各處理平均值間之差異性。

## 結果與討論

### 徒長病原菌接種對水稻植株生長之影響

水稻生育調查與徒長病死亡率調查如表 2，由表 2 中可知，水稻發芽率在 8 個土壤中之 3 種接菌處理與對照組皆無顯著差異 ( $P > 5\%$ )，發芽率為 95–100%。

在水稻徒長病死亡率方面，芳苑土壤中以病原菌接種在種子之死亡率最高 (18%)，顯著 ( $P < 5\%$ ) 比接種在胚根與土壤及對照組之 3 個處理高，其他 3 個處理死亡率為 0–5%。在竹塘土壤中，3 個接菌處理與對照組間無顯著差異，死亡率為 0–2%。在萬巒土壤中，以病原菌接種在種子之死亡率最高 (29%)，顯著比其

他 3 個處理高，其他 3 個處理死亡率為 0–8%。在二林土壤中，3 種接菌處理與對照組間無顯著差異，死亡率為 0–10%。在芬園土壤中，以病原菌接種在種子之死亡率最高 (66%)，顯著比其他 3 個處理高，而病原菌接種在胚根 (20%) 與土壤 (12%) 兩處理之死亡率亦顯著比對照組 (0%) 高。在佳里土壤中，以病原菌接種在種子之死亡率最高 (20%)，顯著比其他 3 個處理高，其他 3 個處理死亡率為 0–5%。在和美土壤中，以病原菌接種在種子之死亡率最高 (45%)，顯著比其他 3 個處理高，其他 3 個處理死亡率為 0–11%。在線西土壤中，以病原菌接種在種子之死亡率最高 (23%)，顯著比其他 3 個處理高，其他 3 個處理死亡率為 0–2%。由以上結果可知，水稻徒長病原菌接種在種子之死亡率最高，而在 8 個試驗土壤中，種子接菌處理死亡率則以芬園土壤 (66%) 最高，和美土壤次之 (45%)，萬巒土壤第三 (29%)。上述結果顯示，當水稻種子受徒長病原菌感染，並生長在適合病原菌存活的土壤中，就可能使水稻徒長病發生。Chang (2003) 報告指出，稻種帶菌是徒長病的主要傳播途徑，土壤傳播之機率比較小。本文試驗結果與其相符。

水稻植株總乾物重在芳苑、竹塘、二林與佳里 4 個土壤中，3 個接菌處理與對照組間皆無顯著差異 ( $P > 5\%$ )。在萬巒土壤中，以徒長病原菌接種在種子之水稻植株總乾物重最小 ( $123 \text{ mg plant}^{-1}$ )，比對照組 ( $160 \text{ mg plant}^{-1}$ ) 少 23%，其他 2 個接菌處理與對照組則無顯著差異。在芬園土壤中，病原菌接種在種子之水稻植株總乾物重 ( $52 \text{ mg plant}^{-1}$ ) 最小，比對照組 ( $112 \text{ mg plant}^{-1}$ ) 少 54%，而病原菌接種在胚根之水稻植株總乾物重 ( $83 \text{ mg plant}^{-1}$ ) 亦比對照組少 26%，病原菌接種在土壤與對照組兩處理之水稻植株總乾物重無顯著差異。在和美土壤中，病原菌接種在種子之水稻植株總乾物重最小 ( $53 \text{ mg plant}^{-1}$ )，比對照組 ( $78 \text{ mg plant}^{-1}$ ) 少 32%，其他 2 個接菌處理與對照組則無顯著差異。在線西土壤中，病原菌接種在種子之水稻植株總乾物重最小 ( $75 \text{ mg plant}^{-1}$ )，比對照組 ( $94 \text{ mg plant}^{-1}$ ) 少 20%，其他 2 個接菌處理與對照組則無顯著差異。

由以上結果可知，種子接菌並在適合病原菌生長的土壤中，對水稻生長之影響比胚根接菌與土壤接菌兩個處理大。這可能是因為種子接菌處理在生長箱內培養了 7 d，讓病原菌有較長的時間接觸種子。根據 Chang (2003) 指出，被病原菌污染的穀粒，若每顆穀粒平均帶有 4.2 個菌體，播種後可得 8.25% 之徒長苗，證明污染於稻殼外之病菌可致病。

### 試驗土壤理化性質分析

試驗土壤的理化性質如表 3，粗質地的芳苑土壤砂粒含量比細質地的竹塘土壤多 44%，兩個土壤之 pH 值皆為微鹼性，分別為 7.6 與 7.5。竹塘土壤的有機質比較高 (5.0%)，但有效性磷含量較低 ( $38 \text{ mg kg}^{-1}$ )，可能是因有效性鈣含量較高 ( $6,067 \text{ mg kg}^{-1}$ )，形成難溶性之磷酸化合物所致。萬巒土壤與二林土壤之母質皆為粘板岩沖積土，萬巒土壤 pH 值為 4.5，二林土壤 pH 值為 7.6，兩者相差 3.1 unit，二林土壤有效性鈣含量較高 ( $3,117 \text{ mg kg}^{-1}$ )，但其有效性磷含量較低 ( $39 \text{ mg kg}^{-1}$ )。芬園土壤與佳里土壤之母質皆為砂頁岩沖積土，芬園土壤 pH 值為 5.1，佳里土壤 pH 值為 7.5，兩者相差 2.4 unit，佳里土壤有效性鈣含量為  $1928 \text{ mg kg}^{-1}$ ，而芬園土壤有效性鈣含量較低 ( $994 \text{ mg kg}^{-1}$ )。靠近八卦山的和美土壤與靠近台灣海峽的線西土壤皆為砂質岩與粘板岩混合非石灰性沖積土，和美土壤有機質含量 (2.8%) 與黏粒含量 (21%) 皆比線西土壤高，線西土壤有機質含量與黏粒含量分別為 1.6% 與 10%。

### 水稻徒長病死亡率與土壤理化性質之相關性

水稻徒長病死亡率與土壤理化性質之相關性分析如表 4，由表 4 可知，水稻徒長病死亡率與土壤 pH 值、EC 值、砂粒含量、有機質含量、有效性氮含量、有效性磷含量、有效性鉀含量、有效性鈣含量、有效性鎂含量、有效性鐵含量、有效性錳含量、有效性銅含量、有效性鋅含量與有效性硼含量之相關係數分別為 -0.712、-0.543、-0.166、-0.117、-0.276、-0.180、0.191、-0.685、-0.399、0.297、-0.665、-0.618、-0.271、-0.797。在 Excel 軟

表 2. 徒長病原菌接種對水稻植株生長之影響。

Table 2. The influence of pathogen inoculation of bakanae disease on the rice growth.

Sampling site	Inoculation treatment	Germination rate (%)	Mortality rate (%)	Shoot dry weight (mg plant <sup>-1</sup> )	Root dry weight (mg plant <sup>-1</sup> )	Dry weight of whole plant (mg plant <sup>-1</sup> )
Fangyuan	Control <sup>z</sup>	100 ± 0 A <sup>v</sup>	0 ± 0 A	48 ± 10	25 ± 7	73 ± 17 A
	Soil <sup>y</sup>	100 ± 0 A	5 ± 6 A	41 ± 11	23 ± 6	64 ± 17 A
	Radicle <sup>x</sup>	100 ± 0 A	0 ± 0 A	43 ± 4	24 ± 1	67 ± 4 A
	seed <sup>w</sup>	98 ± 5 A	18 ± 5 B	38 ± 6	19 ± 3	57 ± 8 A
Chutang	Control	100 ± 0 A	0 ± 0 A	63 ± 5	33 ± 5	96 ± 10 A
	Soil	100 ± 0 A	0 ± 0 A	56 ± 9	35 ± 8	91 ± 17 A
	Radicle	98 ± 5 A	2 ± 5 A	56 ± 9	28 ± 8	84 ± 16 A
	seed	98 ± 5 A	2 ± 5 A	47 ± 11	24 ± 7	71 ± 18 A
Wanluan	Control	100 ± 0 A	0 ± 0 A	110 ± 2	50 ± 7	160 ± 6 A
	Soil	100 ± 0 A	5 ± 6 A	103 ± 4	51 ± 8	154 ± 11 A
	Radicle	98 ± 5 A	8 ± 5 A	93 ± 9	46 ± 7	139 ± 14 AB
	seed	98 ± 5 A	29 ± 12 B	86 ± 15	37 ± 9	123 ± 24 B
Erlin	Control	100 ± 0 A	0 ± 0 A	69 ± 4	35 ± 3	103 ± 6 A
	Soil	100 ± 0 A	0 ± 0 A	69 ± 15	25 ± 8	94 ± 23 A
	Radicle	100 ± 0 A	5 ± 6 A	65 ± 19	27 ± 12	91 ± 30 A
	seed	100 ± 0 A	10 ± 8 A	62 ± 3	21 ± 4	82 ± 6 A
Fenyuan	Control	98 ± 5 A	0 ± 0 A	78 ± 5	34 ± 7	112 ± 10 A
	Soil	100 ± 0 A	12 ± 5 B	77 ± 8	28 ± 5	106 ± 11 A
	Radicle	100 ± 0 A	20 ± 8 B	61 ± 8	22 ± 4	83 ± 12 B
	seed	95 ± 6 A	66 ± 4 C	41 ± 13	11 ± 4	52 ± 13 C
Chiali	Control	98 ± 5 A	0 ± 0 A	56 ± 10	23 ± 3	79 ± 9 A
	Soil	100 ± 0 A	0 ± 0 A	53 ± 12	25 ± 6	78 ± 18 A
	Radicle	100 ± 0 A	5 ± 6 AB	52 ± 7	25 ± 4	77 ± 10 A
	seed	100 ± 0 A	20 ± 14 B	50 ± 8	21 ± 4	71 ± 7 A
Hemei	Control	100 ± 0 A	0 ± 0 A	52 ± 3	26 ± 4	78 ± 7 A
	Soil	100 ± 0 A	2 ± 5 A	60 ± 10	28 ± 4	88 ± 14 A
	Radicle	98 ± 5 A	11 ± 9 A	55 ± 5	23 ± 3	77 ± 8 A
	seed	100 ± 0 A	45 ± 10 B	38 ± 12	14 ± 3	53 ± 14 B
Siansi	Control	95 ± 10 A	0 ± 0 A	60 ± 1	34 ± 7	94 ± 7 A
	Soil	100 ± 0 A	2 ± 5 A	59 ± 3	27 ± 2	86 ± 4 A
	Radicle	100 ± 0 A	2 ± 5 A	58 ± 4	31 ± 4	89 ± 6 A
	seed	98 ± 5 A	23 ± 11 B	52 ± 5	23 ± 5	75 ± 8 B

<sup>z</sup> Control: non-inoculation of pathogen.

<sup>y</sup> Soil: pathogen inoculated in soil.

<sup>x</sup> Radicle: pathogen inoculated after radicle emergence.

<sup>w</sup> Seed: pathogen inoculated before seed submerged.

<sup>v</sup> Means within each column in the same sampling site followed by the same letter(s) are not significantly different at 5% level by Fisher's protected LSD test.

體中輸入公式或函數計算出  $t$  檢定的實測值和臨界值，由表 4 中可知，土壤 pH 值、土壤有效性鈣含量與硼含量之  $t$  檢定的實測值大於臨

界值，表示土壤 pH 值、有效性鈣、硼含量分別與水稻徒長病死亡率有直線相關。而其相關係數皆為負數，負數表示負相關，即土壤 pH

表 3. 試驗前土壤之理化性質分析。  
Table 3. The physical and chemical properties of tested soils before experiment.

Sampling site	pH (1:1)	EC ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )	Sand (%)	OM (%)	N ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	P ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	K ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	Ca ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	Mg ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	Fe ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	Mn ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	Cu ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	Zn ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	B ( $\text{mg kg}^{-1}$ )
Fangyuan	7.6	205	73	1.7	20	142	96	3,077	181	394	124	6.8	9.8	1.0
Chutang	7.5	612	29	5.0	43	38	78	6,067	259	406	110	10.1	10.0	2.0
Wanluan	4.5	421	6	3.2	67	481	200	479	157	520	11	1.6	3.9	0.1
Erlin	7.6	777	26	3.0	25	39	99	3,117	325	647	61	4.3	5.8	1.6
Fenyuan	5.1	304	25	3.1	12	157	96	994	165	665	8	0.8	4.3	0.2
Chiali	7.5	421	29	1.3	14	221	115	1,928	334	677	38	1.1	7.5	1.1
Hemei	5.9	404	37	2.8	23	58	137	1,490	297	569	25	4.3	11.1	0.4
Siansi	6.0	431	47	1.6	14	103	148	1,043	227	829	17	2.5	15.4	0.5

表 4. 土壤理化性質與水稻徒長病死亡率之相關性分析。

Table 4. Correlation analysis between soil physical and chemical properties and the mortality rate of Bakanae disease.

Sampling site	Mortality rate (%)	pH (1:1)	EC ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )	Sand (%)	OM (%)	N ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	P ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	K ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	Ca ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	Mg ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	Fe ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	Mn ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	Cu ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	Zn ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	B ( $\text{mg kg}^{-1}$ )
Fangyuan	18	7.6	205	73	1.7	20	142	96	3077	181	394	124	6.8	9.8	1.0
Chutang	2	7.5	612	29	5.0	43	38	78	6067	259	406	110	10.1	10.0	2.0
Wanluan	29	4.5	421	6	3.2	67	481	200	479	157	520	11	1.6	3.9	0.1
Erlin	10	7.6	777	26	3.0	25	39	99	3117	325	647	61	4.3	5.8	1.6
Fenyuan	66	5.1	304	25	3.1	12	157	96	994	165	665	8	0.8	4.3	0.2
Chiali	20	7.5	421	29	1.3	14	221	115	1928	334	677	38	1.1	7.5	1.1
Hemei	45	5.9	404	37	2.8	23	58	137	1490	297	569	25	4.3	11.1	0.4
Siansi	23	6.0	431	47	1.6	14	103	148	1043	227	829	17	2.5	15.4	0.5
Correlation coefficient ( $r$ ) <sup>z</sup>	-0.712	-0.543	-0.166	-0.117	-0.276	0.180	0.191	-0.685	-0.399	0.297	-0.665	-0.618	-0.271	-0.797	
$t$ -test measured values ( $t_m$ ) <sup>y</sup>	2.485*	1.713	0.446	0.313	0.760	0.485	0.515	2.490*	1.150	0.824	2.357	2.079	0.745	3.490*	
$t$ -test critical values [ $t(\alpha/2, n-2)$ ] <sup>x</sup>	2.447	2.447	2.447	2.447	2.447	2.447	2.447	2.447	2.447	2.447	2.447	2.447	2.447	2.447	

<sup>z</sup> Correlation coefficients ( $r$ ) were analyzed from the mortality rates of rice and soil properties.

<sup>y</sup>  $t$ -test measured values ( $t_m$ ) =  $\text{ABS}(r)/\text{SQRT}[(1-r^2)/(n-2)]$ ; ' $r$ ' is the correlation coefficient, ' $n$ ' is the sample number, 'ABS' and 'SQRT' are the statistical functions in Excel software.

<sup>x</sup>  $t$ -test critical values [ $t(\alpha/2, n-2)$ ] = TINV (probability, degree\_freedom), ' $\alpha/2$ ' is the two-tailed probability, ' $n-2$ ' is the degree of freedom, 'TINV' is the statistical function in Excel software, 'degree\_freedom' is the degree of freedom.

\*  $t_m > t(\alpha/2, n-2)$ , At probability = 0.05,  $n-2 = 6$ .

值、鈣與硼的含量越高，水稻徒長病的死亡率越低。Lin *et al.* (2016) 指出，在高 pH 值的土壤中，稻稈上的水稻徒長病菌存活數較低。Graham (1983) 報告指出，鈣可降低植物病害 (如 *Pythium*、*Sclerotinia*、*Botrytis* 和 *Fusarium*) 的罹病率。Graham & Webb (1991) 報告指出，硼可降低植物病害 [如 *Plasmiodiophora brassicae* (Woron.)、*Fusarium solani* (Mart.) (Sacc.)、*Verticillium albo-atrum* (Reinke & Berth)、*Tobacco mosaic virus*、*Tomato yellow leaf curl virus*] 的罹病率，本文試驗結果與前人研究結果相似。在 Lin *et al.* (2016) 研究中指出，水稻徒長病菌在高 pH 值的培養基上生長良好，土壤 pH 值不是直接抑制水稻徒長病菌生長之因子。而鈣與硼是否可直接抑制水稻徒長病菌之生長，需要進一步測試。本文下一部分，將探討鈣含量與硼含量對水稻徒長病菌菌絲生長之影響。

### 鈣含量與硼含量對水稻徒長病菌菌絲生長之影響

不同鈣添加量對水稻徒長病菌菌絲生長之影響試驗結果如表 5，由表 5 中可知，不添加鈣之對照組 pH 值為  $5.0 \pm 0.1$ ，其水稻徒長病菌菌絲直徑為  $3.3 \text{ cm} \pm 0.1 \text{ cm}$ ；而添加鈣  $1,000 \text{ mg kg}^{-1}$  後，培養基溶液之 pH 值提高為  $7.4 \pm 0.1$ ，並顯著促進水稻徒長病菌菌絲生長 ( $P < 5\%$ )，其菌絲直徑為  $4.9 \text{ cm} \pm 0.2 \text{ cm}$ ；在添加鈣  $2,000 \text{ mg kg}^{-1}$  後，培養基溶液之 pH 值提高為  $7.5 \pm 0.1$ ，其水稻徒長病菌菌絲直徑 ( $7.4 \text{ cm} \pm$

$0.2 \text{ cm}$ )，顯著比對照組及添加鈣  $1,000 \text{ mg kg}^{-1}$  處理組長；在添加鈣  $3,000 \text{ mg kg}^{-1}$ 、 $4,000 \text{ mg kg}^{-1}$  及  $5,000 \text{ mg kg}^{-1}$  的 3 個處理之培養基溶液，pH 值依序為  $7.6 \pm 0.0$  及  $7.7 \pm 0.0$ 、 $7.7 \pm 0.1$ ，其水稻徒長病菌菌絲直徑依序為  $7.3 \text{ cm} \pm 0.3 \text{ cm}$ 、 $7.1 \text{ cm} \pm 0.3 \text{ cm}$  及  $7.2 \text{ cm} \pm 0.4 \text{ cm}$ 。此 3 處理之水稻徒長病菌菌絲直徑與添加鈣  $2,000 \text{ mg kg}^{-1}$  處理組無顯著差異 ( $P > 5\%$ )。由上述結果可知，培養基中添加鈣  $1,000\text{--}5,000 \text{ mg kg}^{-1}$  可顯著促進水稻徒長病菌菌絲之生長。Lin *et al.* (2016) 研究指出，水稻徒長病菌在 pH 值 6.5–8.0 的培養基上之菌絲直徑顯著 ( $P < 5\%$ )，比在 pH 值 5.0 之對照組長。本文中添加鈣  $1,000\text{--}5,000 \text{ mg kg}^{-1}$  時，可使培養基之 pH 值提高為 7.4–7.7，此結果與前人研究之結果相吻合。

不同硼添加量對水稻徒長病菌菌絲生長之影響試驗結果如表 6，由表 6 中可知，不添加硼之對照組 pH 值為  $5.0 \pm 0.0$ ，其水稻徒長病菌菌絲直徑為  $4.1 \text{ cm} \pm 0.4 \text{ cm}$ ；而添加硼  $5 \text{ mg kg}^{-1}$  與  $25 \text{ mg kg}^{-1}$  後，培養基溶液之 pH 值分別提高為  $5.4 \pm 0.1$  與  $6.2 \pm 0.0$ ，但此二處理之水稻徒長病菌菌絲長度 (分別為  $4.4 \text{ cm} \pm 0.3 \text{ cm}$  與  $4.7 \text{ cm} \pm 0.1 \text{ cm}$ ) 與對照組 ( $4.1 \text{ cm} \pm 0.4 \text{ cm}$ ) 無顯著差異 ( $P > 5\%$ )；在添加硼 125、250 及  $500 \text{ mg kg}^{-1}$  的三處理之培養基溶液 pH 值依序為  $7.9 \pm 0.0$ 、 $8.1 \pm 0.0$ 、 $8.2 \pm 0.0$ ，其水稻徒長病菌菌絲直徑依序為  $5.6 \text{ cm} \pm 0.1 \text{ cm}$ 、 $6.4 \text{ cm} \pm 0.2 \text{ cm}$ 、 $5.4 \text{ cm} \pm 0.2 \text{ cm}$ ，此三處理之水稻徒長病菌菌絲長度顯著比對照組長

表 5. 不同鈣添加量對水稻徒長病菌菌絲生長之影響

Table 5. The influence of calcium amendment on the hyphal growth of rice bakanae disease pathogen.

Ca amendment ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	pH of growth medium	Colony diameter <sup>z</sup> (cm)
0	$5.0 \pm 0.1$	$3.3 \pm 0.1 \text{ a}^y$
1,000	$7.4 \pm 0.1$	$4.9 \pm 0.2 \text{ b}$
2,000	$7.5 \pm 0.1$	$7.4 \pm 0.2 \text{ c}$
3,000	$7.6 \pm 0.0$	$7.3 \pm 0.3 \text{ c}$
4,000	$7.7 \pm 0.0$	$7.1 \pm 0.3 \text{ c}$
5,000	$7.7 \pm 0.1$	$7.2 \pm 0.4 \text{ c}$

<sup>z</sup> The pathogen of rice bakanae disease was cultured at  $26^\circ\text{C}$  for 8 d in growth chamber.

<sup>y</sup> Means within the same column followed by the same letter(s) are not significantly different at 5% level by Fisher's protected LSD test. Mean  $\pm$  standard error ( $n = 6$ ).

表 6. 不同硼添加量對水稻徒長病菌菌絲生長之影響

Table 6. The influence of boron amendment on the hyphal growth of rice bakanae disease pathogen.

B amendment (mg kg <sup>-1</sup> )	pH of growth medium	Colony diameter <sup>z</sup> (cm)
0	5.0 ± 0.0	4.1 ± 0.4 a <sup>y</sup>
5	5.4 ± 0.1	4.4 ± 0.3 a
25	6.2 ± 0.0	4.7 ± 0.1 a
125	7.9 ± 0.0	5.6 ± 0.1 b
250	8.1 ± 0.0	6.4 ± 0.2 c
500	8.2 ± 0.0	5.4 ± 0.2 b

<sup>z</sup> The pathogen of rice bakanae disease was cultured at 26°C for 9 d in growth chamber.

<sup>y</sup> Means within the same column followed by the same letter(s) are not significantly different at 5% level by Fisher's protected LSD test. Mean ± standard error. ( $n = 6$ ).

( $P < 5\%$ )。由上述結果可知，培養基中添加硼砂 125–500 mg kg<sup>-1</sup> 可顯著促進水稻徒長病菌菌絲之生長。

由表 5 與表 6 中可知，培養基中添加鈣或硼皆可促進水稻徒長病菌之生長，但由表 4 中可知，水稻徒長病死亡率與有效性鈣含量及硼含量呈顯著直線負相關。這說明在鈣含量高或硼含量高的土壤中，水稻徒長病死亡率較低並非因土壤中的鈣或硼直接抑制病原菌之生長，而是藉由其他間接的機制所促成。可能的原因如：鈣會提高土壤 pH 值，改變土壤微生物相，Guo (1985) 研究指出土壤在高 pH 值下細菌與放線菌數量較低 pH 值時多，Alabouvette (1986) 研究指出抑病土壤可降低植物土生性病害之嚴重程度是由於土壤微生物間的養分競爭。另外，鈣與硼為植物生長之必要元素，有關鈣在控制植物病害機制之研究如：Dordas (2008) 報告指出，鈣可在兩方面影響植物的罹病率：(1) 鈣會影響植物細胞膜的穩定度，當鈣缺乏時會造成糖與胺基酸的滲漏，間接引起病原菌的入侵 (Marschner 1995)；(2) 鈣是中層細胞壁成分 calcium polygalacturonates 的重要元素，當鈣離子濃度降低時，會增加植物的罹病率，使病原菌入侵導管與篩管，產生萎凋等病徵。Zhang *et al.* (2014) 報告指出，鈣離子在植物的病害防禦上扮演關鍵的角色，並在植物細胞的訊號傳遞過程中擔任第二信使 (second messenger)，在病原菌尚未接觸植物之前，細胞質內的鈣離子濃度一般維持在較低含量，但當病原菌入侵時，細胞質內的鈣離子濃度迅速提升。有關硼在控制植物病害機制

之研究，Dordas (2008) 報告指出，硼對於細胞壁的構造與穩定性具有直接的影響，同時可以降低植物病原菌所造成的傷害，具體的原因目前瞭解有限，但是與下列原因可能有關：(1) 硼可提升細胞壁構造的穩定與硬度，支撐細胞的形狀與強度 (Marschner 1995; Brown *et al.* 2002)；(2) 硼在細胞膜的滲透性、穩定性與功能 (Marschner 1995; Brown *et al.* 2002; Dordas & Brown 2005)，(3) 硼與酚類化合物及木質素的代謝有關 (Blevins & Lukaszewski 1998; Brown *et al.* 2002)。有關土壤中鈣或硼在控制水稻徒長病害之機制是藉由土壤微生物相之改變而降低病害，或藉由作物生理之改變而減輕病害程度，或改變根部型態而降低病原菌入侵等之研究，尚待進一步探討。

本文試驗結果顯示，當種子帶菌並在適合病原菌生長的土壤中，就可能使水稻徒長病發生。在八個試驗土壤中，水稻徒長病死亡率以彰化縣芬園鄉土壤最高 (66%)，其次為彰化縣和美鎮土壤 (45%)，第三為屏東縣萬巒鄉土壤 (29%)，第四為彰化縣線西鄉土壤 (23%)。因此，建議在類似這四種土壤理化性質的地區，必須特別留意本病害的發生與防治。

## 誌謝

感謝行政院農業委員會農業試驗所農化組郭鴻裕研究員提供試驗土壤採集地點資訊，加快本研究之進行速度；感謝農業試驗所作物組賴明信研究員提供水稻種子，使本研究得以順利進行。

## 引用文獻

- Alabouvette, C. 1986. Fusarium-wilt suppressive soils from the Châteaurenard region: Review of a 10-year study. *Agronomie* 6:273–284.
- Blevins, D. G. and K. M. Lukaszewski. 1998. Boron in plant structure and function. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 49:481–500.
- Brown, P. H., N. Bellaloui, M. A. Wimmer, E. S. Bassil, J. Ruiz, H. Hu, H. Pfeffer, F. Dannel, and V. Römheld. 2002. Boron in plant biology. *Plant Biol.* 4:205–223.
- Chang, Y. C. 2003. Bakanae disease of rice. p.256–262. *in: Compendium of Rice Diseases and Pests.* (Zou, H. J. and J. P. Shi, eds.) Bureau of Animal and Plant Health Inspection and Quarantine, Council of Agriculture, Executive Yuan. Taipei, Taiwan. 448 pp. (in Chinese)
- Dordas, C. 2008. Role of nutrients in controlling plant diseases in sustainable agriculture. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 28:33–46.
- Dordas, C. and P. H. Brown. 2005. Boron deficiency affects cell viability, phenolic leakage and oxidative burst in rose cell cultures. *Plant Soil* 268:293–301.
- Graham, D. R. 1983. Effects of nutrients stress on susceptibility of plants to disease with particular reference to the trace elements. *Adv. Bot. Res.* 10:221–276.
- Graham, D. R. and M. J. Webb. 1991. Micronutrients and disease resistance and tolerance in plants. p.329–370. *in: Micronutrients in Agriculture.* 2nd ed. (Mortvedt, J. J., F. R. Cox, L. M. Shuman, and R. M. Welch, eds.) Soil Science Society of America Madison, WI. 760 pp.
- Guo, K. S. 1985. Soil organisms. p.113. *in: Soil Science.* (Guo, K. S., ed.) Tzi-Yi Press. Taipei, Taiwan. 801 pp. (in Chinese)
- Huang, T. C. and S. C. Chu. 2009. The occurrence and control of rice bakanae disease in Taiwan. p.29–43. *in: Proceedings of Symposium on Achievements and Perspectives of Rice Protection in Taiwan.* July 9, 2009. Chiayi, Taiwan. Chiayi Agricultural Research Branch, Agricultural Research Institute. Chiayi, Taiwan. (in Chinese with English abstract)
- Ito, S. and J. Kimura. 1931. Studies on the bakanae disease of the rice plant. *Rep. Hokkaido Agric. Exp. Stn.* 27:1–95. (in Japanese with English abstract)
- Lin, S. C., C. Y. Zheng, C. Y. Wang, Z. Z. Wu, and C. Y. Chen. 2016. Epidemical study of *Fusarium fujikuroi* by rice straws. *J. Taiwan Agric. Res.* 65:92–102. (in Chinese with English abstract)
- Lu, X. Y., M. L. Wei, and C. T. Lu. 2006. Using Excel to solve the related issues in agricultural data analysis (No. 4): Correlation and regression. *Tech. Serv.* 67:27–30. (in Chinese)
- Marschner, H. 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants.* 2nd ed. Academic Press. London, England. 889 pp.
- Mehlich, A. 1984. Mehlich 3 soil test extractant: A modification of Mehlich 2 extractant. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 15:1409–1416.
- Ou, S. H. 1985. *Rice Diseases.* 2nd ed. Commonwealth Mycological Institute. Slough, England. 380 pp.
- Yu, C. H. 1981. *Applied Statistics.* Chao-Jen Pub. Taichung, Taiwan. 516 pp. (in Chinese)
- Yu, K. S. and S. K. Sun. 1977. Studies on inoculum potential and incubation period of rice bakanae disease. *Plant Prot. Bull.* 19:245–250. (in Chinese with English abstract)
- Zhang, L., L. Du, and B. W. Poovaiah. 2014. Calcium signaling and biotic defense responses in plants. *Plant Signal Behav.* 9. doi:10.4161/15592324.2014.973818.

## The Influence of Soil Physical and Chemical Properties on the Development of Bakanae Disease of Rice

Su-Chen Lin<sup>1\*</sup>, Chun-Yu Zheng<sup>2</sup>, Chao-Yi Wang<sup>2</sup>, Chi-Yu Chen<sup>3</sup>, and Wei-Lun Lin<sup>4</sup>

### Abstract

Lin, S. C., C. Y. Zheng, C. Y. Wang, C. Y. Chen, and W. L. Lin. 2017. The influence of soil physical and chemical properties on the development of bakanae disease of rice. *J. Taiwan Agric. Res.* 66(3):219–229.

In recent years, bakanae disease of rice caused by *Fusarium fujikuroi* Nirenberg seems getting worse and widespread in Taiwan. In order to explore the influence of soil physical and chemical properties on the disease occurrence, 3 inoculation methods in 8 soil samples were conducted in greenhouse at Taiwan Agricultural Research Institute. The 8 soil samples were collected respectively from (1) Fenyuan, Changhua county, (2) Wanluan, Pingtung county, (3) Hemei, Changhua county, (4) Siansi, Changhua county, (5) Chutang, Changhua county, (6) Erlin, Changhua county, (7) Fangyuan, Changhua county, and (8) Chiali, Tainan county. The tested rice cultivar was 'Kaohsiung 139'. There were three pathogen inoculation treatments: (1) seed inoculation, rice seeds were submerged in spore suspension before soaked in water for producing radicals; (2) radical inoculation, the germinating seeds with radicals were submerged in spore suspension before planting; (3) soil inoculation, soils were directly mixed with spore suspension. The inoculation densities respectively were  $4.5 \times 10^6$  spores mL<sup>-1</sup>,  $4.5 \times 10^6$  spores mL<sup>-1</sup>, and  $5.4 \times 10^5$  spores g<sup>-1</sup> soil. Thirty five days after planting, plant growth and mortality of rice were surveyed. The results indicated that rice seed inoculation treatment, if compared with the other two treatments, showed the highest mortality rate and the lowest plant dry weight. Among the 8 testing soil samples, the highest mortality rate was found in Fenyuan 66%, followed by Hemei 45%, Wanluan 29%, and Siansi 23%. In addition, the mortality rates of seed inoculation in 8 soil samples showed a significantly negative linear correlation ( $P < 0.05$ ) between soil pH, available calcium and boron, respectively. As to the other soil physical and chemical properties, they did not show any significant linear correlation ( $P > 0.05$ ). The highest mortality rates in both radical inoculation and soil inoculation treatments were 20% and 12%, respectively, in Fenyuan soil; however, the mortality rates in the other 7 testing soil samples showed no significant difference if compared with control. In this experiment, the results suggested that high occurrence potential of bakanae disease may be precautious especially if the rice seeds were infested with *Fusarium fujikuroi* in the previous 4 soil sampling sites (Fenyuan, Hemei, Wanluan, and Siansi) or any location with similar soil physical and chemical properties.

**Key words:** Bakanae disease of rice, *Fusarium fujikuroi*, Soil properties.

---

Received: August 24, 2016; Accepted: December 17, 2016.

\* Corresponding author, email: linmay@tari.gov.tw

<sup>1</sup> Assistant Research Fellow, Agricultural Chemistry Division, Taiwan Agriculture Research Institute, Taichung, Taiwan, ROC.

<sup>2</sup> Research Assistants, Agricultural Chemistry Division, Taiwan Agriculture Research Institute, Taichung, Taiwan, ROC.

<sup>3</sup> Associate Professor, Department of Plant Pathology, National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan, ROC.

<sup>4</sup> Graduate Student, Department of Plant Pathology, National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan, ROC.