

利用微生物製劑與二氧化矽複方防治菜豆白絹病與莖腐病之可行性評估

梁瑩如*、廖芳瑾*、黃莉欣*、張瑞璋*

*行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所。台中市霧峰區。臺灣。

摘 要

矽是地殼中含量第二高之元素，對作物生理而言，矽尚未被視為必要之生長元素，然其在作物栽培與病蟲害防治上具有提高作物抗性的功效。根圈有益微生物則是棲息在植物根圈之微生物族群，可與作物根部形成交互作用。本報告回顧二氧化矽抗病及提高耐逆境之機制，主要是藉由在植物細胞壁中形成矽有機複合物，增加植物組織之剛性以減少水分蒸散並強化細胞壁來對抗病原菌感染；而根圈有益微生物則藉由直接與間接作用，包括植物促進生長和產生拮抗物質等方式達到提升植物抗病的功效。本篇以國內實際之應用方法，探討結合二種資材應用在菜豆田間防治土壤傳播性病害之可行性。本次初步試驗結果顯示，在栽種 76 天後調查菜豆莖腐病(*Pythium myriotylum*)之罹病度分別為慣行農法 32.0%、台灣寶 34.7%、胜茂 4.0%、台灣寶+二氧化矽 52.0%、胜茂+二氧化矽 4.0%；在菜豆白絹病(*Sclerotium rolfsii*)之罹病度分別為慣行農法 83.0%、台灣寶 30.0%、胜茂 44.0%、台灣寶+二氧化矽 31.0%、胜茂+二氧化矽 6.0%，顯見不同資材及其組合在菜豆莖腐病與白絹病之病害防治上，仍有其差異性，而在本次試驗中皆以胜茂+二氧化矽在菜豆莖腐病與白絹病的防治效果最好，因此評估複合胜茂與二氧化矽之組合，在菜豆土壤傳播性病害之防治具有田間應用之潛力。

關鍵詞：微生物製劑、二氧化矽、菜豆、白絹病、莖腐病

緒 言

由於人口增加與缺乏農業用地，使得增加糧食產量和改良或使用不太適宜的土壤耕種等議題逐漸受到重視，不適宜耕種的土壤類別如：高鹽分、養

分缺乏、保水能力低和污染輕微的土壤等成為探討的對象。土壤品質差會對植物生長產生影響，最終導致作物產量與質量的下降。為了改善這種情況，近年來在作物栽培上應用含矽材料引起廣泛討論，因為矽可以使植物更能抵抗高鹽分逆境⁽¹⁾、減少對部分有毒元素的吸收⁽¹⁶⁾，也可以提升植物耐旱性⁽¹²⁾，並增加糧食作物的產量⁽²⁰⁾。

此外，農業生產中所面臨的植物病害，可以透過品種改良、物理防治、化學防治等方式達到病害控制目的。化學防治方法雖已廣泛來用殺死病原菌或抑制病原菌生長繁殖，然而這種防治方法並不是靈丹妙藥，因為化學合成農藥通常會對非目標生物及環境產生有害影響，因而應用環境友善資材進行作物栽培管理與有害生物防治為目前病害控制技術的趨勢。環境友善資材包括使用天然素材農藥或資材、微生物農藥、生化農藥等，而其中微生物農藥以細菌類為大宗，常見者為芽孢桿菌類細菌(*Bacillus* spp.)。

本文將簡介說明二氧化矽抗病及提高耐逆境之機制及根圈有益微生物促進植物生長的作用機制，並評估結合二種資材在菜豆田間防治土壤傳播性病害之可行性，分享試驗之初步成果。

矽的農用資材介紹

矽是地殼中第二常見的元素。然而，並非土壤中的所有矽都可供植物利用。其中大部分被鎖在矽酸鹽礦物中，只有一小部分可被植物利用⁽⁴²⁾。矽的可溶與否與氧化還原狀態和 pH 值有關⁽²⁶⁾。一旦被植物吸收，矽會形成固相植矽體(solid-phase phytoliths)，隨著死亡植物材料的腐爛，它們會循環到土壤溶液中，並可能再次被植物吸收⁽⁵⁾。植物組織係以二氧化矽形式吸收和積累矽元素，吸收和積累的能力各不相同。根據這一特性，植物被分類為排除者、中間類型或積累者⁽³³⁾。大多數雙子葉植物以乾重計積累不到 0.1% 的矽，但許多單子葉植物卻能夠積累高達 10%⁽⁴³⁾，而水稻通常被認為是最有效的矽積累植物⁽²⁷⁾。迄今為止，矽尚未被認為是一種必需元素，雖然已有大量研究清楚顯示，在各種生物逆境的條件下，矽對於植物生長和發育是有益的^(10, 41)。

矽以未解離的矽酸形式被植物吸收，並以相同的形式被動吸收通過木質部^(6, 16)轉移。近年來，在植物的根部外皮和內皮中發現了幾種矽的轉運蛋白^(25, 28, 30)。在單子葉植物中，矽的含量較高，尤其是禾本科植物，約佔乾重 0.3-1.2%，其中以水稻最明顯，可高達 10%⁽³²⁾。在植物組織中，矽通常以氫

鍵形成矽有機複合物的形式存在，並存在於表皮和維管束壁⁽²¹⁾，其作用是強化植物組織尤其是細胞壁，減少水分蒸散和真菌感染⁽⁴⁴⁾。矽與細胞壁成分有關，包括多醣、木質素和蛋白質⁽³⁵⁾。施用含矽資材在病害防治、蟲害防治與抗逆境可達成之功效整理如表一⁽⁴⁷⁾。

表一、降低生物性與非生物性逆境之矽資材應用實例

Table 1. Biotic and abiotic stress reported to be alleviated by silicon

Biotic		
	Pathogens	Genera
	Fungi	<i>Bipolaris, Blumeria, Colletotrichum, Corynespora, Diplocarpon, Erysiphe, Fusarium, Lepotsphaeria, Magnaporthe, Pharosphaeria, Phakospora, Rhizoctonia, Septoria, Sphaerotheca, Sclerotinia, and Uncinula</i>
	Oomyceyes	<i>Phytophthora</i> and <i>Pythium</i>
	Bacteria	<i>Acidovorax, Psuedomonas, Ralstonia</i> and <i>Xanthomonas</i>
	Virus	<i>Nepovirus</i>
	Nematode	<i>Meloidogyne</i>
	Insects	Feeding guild
		Chewing insects
		Piercing-sucking insects
		Pest
		Caterpillars and stem borers Locusts and grasshoppers Maggots Beetles and weevils Sawflies
		Planthoppers Leafhoppers Stink bugs Aphids Whiteflies Scales
Arachnida	Cell content pest feeder	Spider mites
Abiotic	Environmental factors	stress
	Chemical types of stress	Toxicity by metals such as Al, As, Cd, Fe, and Mn Soil salinity Nutrient imbalance in plant tissues(e.g., excess of N or P deficiency)
	Physical types of stresses	Loading Low and high temperature Drought stress Radiation

Data source: Zellner et al(2021)

含矽資材防治植物病害之可能機制

矽沉積主要以植矽體($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, phytoliths)^(10, 46)的形式出現。它可以做為植物的物理屏障，藉由增加植物組織的剛性(rigidity)和抗磨損性(abrasiveness)，進而提高植物對病原菌和昆蟲之抗性，降低害蟲對植物的危害率^(11, 29, 46)。

例如在油棕中觀察到矽可在表皮和內胚層細胞壁中積累，而能保護油棕根部免受真菌 *Ganoderma boninense* 危害⁽³⁴⁾。此外，還可藉由矽沉積增強植物莖部的強度以保護植物免受倒伏危害^(18, 23)。另外，可藉由矽增加葉片厚度來提高抗旱性，而可減少因水分蒸散的損失^(19, 14)，或提高逆境植物細胞壁的穩定性⁽⁴⁾。

矽在土壤中以可溶性矽或氫氧化矽($\text{Si}(\text{OH})_4$)形式存在，其可能參與促進生長刺激和抗逆性的生化/分子過程，這些過程與水楊酸、茉莉酸和乙烯的過度合成有關^(11, 48)。矽可減輕(alleviation)由有毒離子包括如：鹽離子和重金屬逆境所引起的損害，其中包括調節參與其吸收和易位(translocation)的基因、改變它們的共生(symplastic)和質外(apoplastic)分佈、改善吸收光分配、刺激抗氧化酶活性，如：SOD、POD、CAT、GR 等和非酶抗氧化合成^(4, 23)。

細胞壁在植物對環境信號的反應中扮演著關鍵作用，但它也構成了二氧化矽體沉積的特定目標；矽化確實經常與細胞壁增厚有關⁽⁴⁹⁾。因此，矽對於植物細胞壁結構改變的過程與矽對植物的影響，仍持續引起各方探討與研究。

Menzies 氏等學者⁽³¹⁾研究顯示，葉片上施用 17 mM 的矽可抑制瓜類白粉病的發生。矽酸鉀以 40 g L^{-1} 濃度調配在 pH 5.5 下，對菜豆角斑病抑制率約 23%，若濃度提高為 60 g L^{-1} 下，角斑病發生率則低於 20%⁽³⁷⁾。若土壤中添加矽 0.39 g/kg 土壤，可提升香蕉根及假莖中矽含量 30.26 及 58.82%，進而抑制萎凋病(*Fusarium oxysporum*)病勢的發展⁽¹²⁾。從上述研究結果證明矽在植物病害防治上具有防治效果及應用價值。

根圈有益微生物及其防治病害機制

一、根圈有益微生物介紹

根圈區域(rhizosphere)指受根系影響的狹窄土壤區域⁽⁸⁾。由於植物根部分泌物(如氨基酸和糖)的積累，該區域較其他土壤區域更為營養豐富，可為

微生物提供豐富的能量和養分來源⁽¹⁵⁾。這也說明在植物根部周圍發現的細菌數量，通常比一般土壤中的細菌數量高10到100倍⁽⁴⁶⁾，而這些棲息於根圈土壤附近的各類細菌，被稱為根圈細菌⁽³⁹⁾。

根圈細菌對植物生長的影響，可進一步被分為有益的、有害的和中性等類別⁽⁸⁾。前述有益的根圈土壤細菌通常被稱為促進植物生長的根圈細菌(plant growth-promoting rhizobacteria, PGPR)⁽²²⁾，其中約只有1%到2%的細菌能促進植物的生長⁽³⁾，且以芽孢桿菌屬(*Bacillus* spp.)和假單胞菌屬(*Pseudomonas* spp.)細菌為主要種類⁽³⁶⁾。

PGPR以間接或直接影響植物生長。直接作用包括PGPR可促進植物生長及為植物提供由細菌合成的化合物，例如植物荷爾蒙、或促進植物從環境中吸收營養物質⁽¹³⁾；間接作用如PGPR為了降低或防止一種或多種病原菌對植物造成有害的影響時，會間接促進植物生長，減輕植物受害，此機制係藉由PGPR產生拮抗物質，或誘導植物對病原菌的抗性而達成⁽¹³⁾。而一般而言，PGPR可藉由一種或多種作用機制來影響植物的生長和發育，例如產生植物荷爾蒙、降低植物體的乙烯含量或與在根部進行固氮作用⁽⁹⁾。

二、根圈有益微生物防治病害的機制

根據Akhtar與Siddiqui兩氏⁽²⁾在2010年的報導，根圈有益微生物在病害防治上可分為直接作用和間接作用，不同學者間對根圈有益微生物的直接或間接作用之詮釋稍有不同，以下主要以Akhtar與Siddiqui兩氏之論點做分述。

(一)直接作用

根圈有益微生物防治病害⁽⁴⁵⁾直接作用的機制包括溶磷效果、微生物拮抗作用如產生螯鐵蛋白及產生抗生素，另外還有進行固氮作用與產生植物荷爾蒙等。PGPR抑制植物病原菌增生的最有效機制之一是產生抗生素，例如產生：amphisin、butyrolactones、2,4-diacetylphloroglucinol(DAPG)、cyclic lipopeptide、HCN、kanosamine、oligomycin A、oomycin A、phenazine-1-carboxylic acid(PCA)、pyoluterin(Plt)、pyrrolnitrin(Pln)、tensin、tropolone、viscosinamide、xanthobaccin及zwittermycin等。在螢光假單胞菌的生物防治效果中，第一個被清楚確認並與防治效果有關的抗生素是phenazine衍生物⁽¹⁷⁾。在芽孢桿菌的生物防治機制，則是可產生包括：纖維素酶、蛋白酶和β-葡聚糖酶等的分解酵素、抗生素等。不同的枯草芽孢桿菌菌株合成多種水解酶，包括：纖維素酶、蛋白酶和β-葡聚

醣酶等。Cazorla氏等人⁽⁷⁾在2007年提出一種說法：因芽孢桿菌具有分泌抗生素和水解酶的能力，它們可以一種自利(self-beneficial)的方式改變其環境，並產生抗性的內生孢子，以在不利條件下生存。芽孢桿菌表現出生物防治活性的能力取決於三個因素：(1)寄主的脆弱性(2)病原菌的致病力(3)環境。常見的芽孢桿菌 *B. subtilis* 已知可合成的脂肽類代謝物，包括：豐原素(fengycin)、表面素(surfactin)和伊枯草桿菌素(iturin)。脂肽是具有親油與親脂兩性特徵之低分子量化合物，目前由芽孢桿菌產生脂肽類界面活性劑和抗菌化合物也受到越來越多的關注，在病害防治之應用上，Romero 氏等人⁽³⁸⁾指出，脂肽可藉由直接抑制病原真菌或誘導宿主植物的系統抗性，於採收前和採收後提供作物保護的功效。

(二)間接作用

根圈細菌對植物促進生長作用，在間接影響部分包括：營養物質的競爭、生態位競爭、誘導系統性抗病作用和空間競爭等⁽²⁴⁾，為其主要的間接作用機制。

利用根圈有益微生物與二氧化矽之田間初步應用實例

本研究於 2021 年 7 月 1 日至 9 月 30 日於南投縣信義鄉羅娜部落菜豆田 (緯度 23.6327、經度 120.8743)進行試驗，田區面積大小約為 0.12 ha。本研究之目的在於評估(1)不同微生物資材對於土壤傳播性病害之防治效果；(2)結合使用二氧化矽與微生物資材對於土壤傳播性病害之防治效果。因此，試驗設計之處理包含慣行農法(Ctrl)、台灣寶(試驗代號: BS, 微生物農藥，百泰)、胜茂(試驗代號: Bio, 雜項肥料，台茂奈米，藥毒所技術授權)、台灣寶+二氧化矽、胜茂+二氧化矽，共計 5 處理，共 2 區集，每區集每處理 6 畦，每畦約有 120-140 株菜豆，每畦計算菜豆總數以供後續統計之用，試驗以 RCBD 方式設計。藥劑或資材依農藥標籤建議之使用方法進行稀釋倍數施用。本次試驗菜豆以直播方式種植，發芽後 1 週開始灌注各處理資材，連續施用 3 次。各試驗組除施用之藥劑或資材不同外，其餘田間栽培操作均相同。

菜豆品種為白仁敏豆，採直立式棚架栽培，前期作亦為相同品種之菜豆栽培，為連作種植，每穴直播約3-4粒種子，每穴間隔約10 cm。慣行農法部分，則以農民平日之操作方式進行，並記錄所使用之藥劑種類。處理組間的

施肥與給水方式均相同。豆莢成熟後，小區內成熟豆莢每日採收一次，並分區收集及標示處理別，記錄產量與豆莢園藝性狀。種植期間，記錄該時期發生之病蟲害發生狀況，葉片上主要以薊馬類(豆花薊馬及南黃薊馬)、斑潛蠅及粉蝨為主，豆莢則為豆花薊馬及豆莢螟。

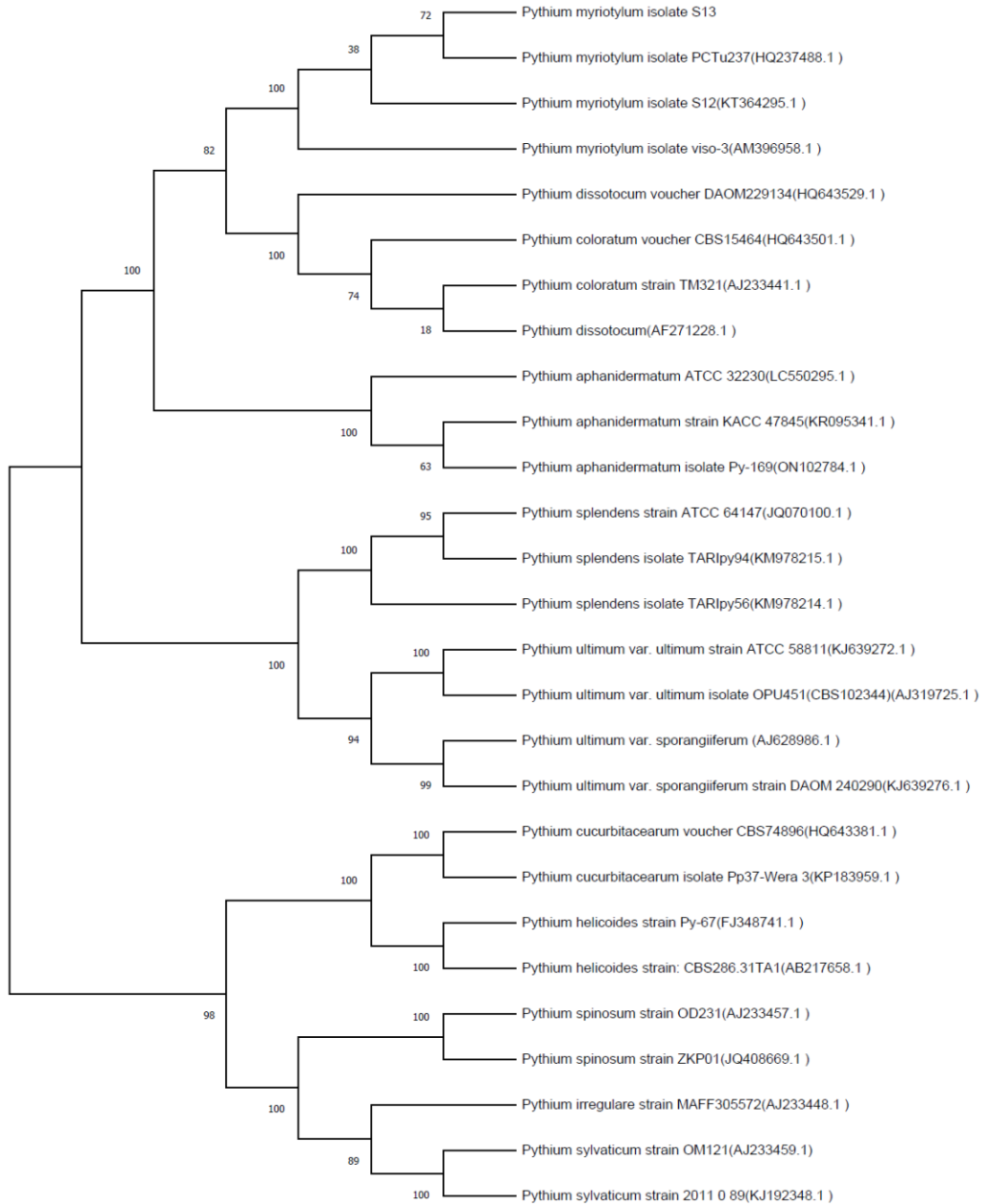
該時期地基部主要發生之病害為莖腐病 *Pythium* sp. 與白絹病 *Athelia rolfsii*，每畦每株檢視其病害狀況。本文將以莖腐病及白絹病之防治效果進行評估，莖腐病與白絹病調查方式為每一畦調查全部株數與發病株數。罹病度以計算莖部受害及枯死病株，0代表未受害；1代表莖基部3公分以下受害；3代表莖基部6公分以下受害；5代表全株枯死。並依下列公式計算發病率(disease incidence)與罹病度(severity)：

發病率(disease incidence)(%)=(第1次調查的發病株數/總株數)+(第2次調查的發病株數/總株數)+(第3次調查的發病株數/總株數)+...+(第N次調查的發病株數/總株數)。

罹病度(severity)=[\sum (指數 × 該指數發病株數)/(5 × 總調查株數)] × 100度。

根據Seem⁽⁴⁰⁾的定義，發病率(disease incidence)是指在一採樣單位內發病植株的數量，而罹病度(severity)為採樣單位內各病株的發病嚴重程度或換算為百分率(%)。

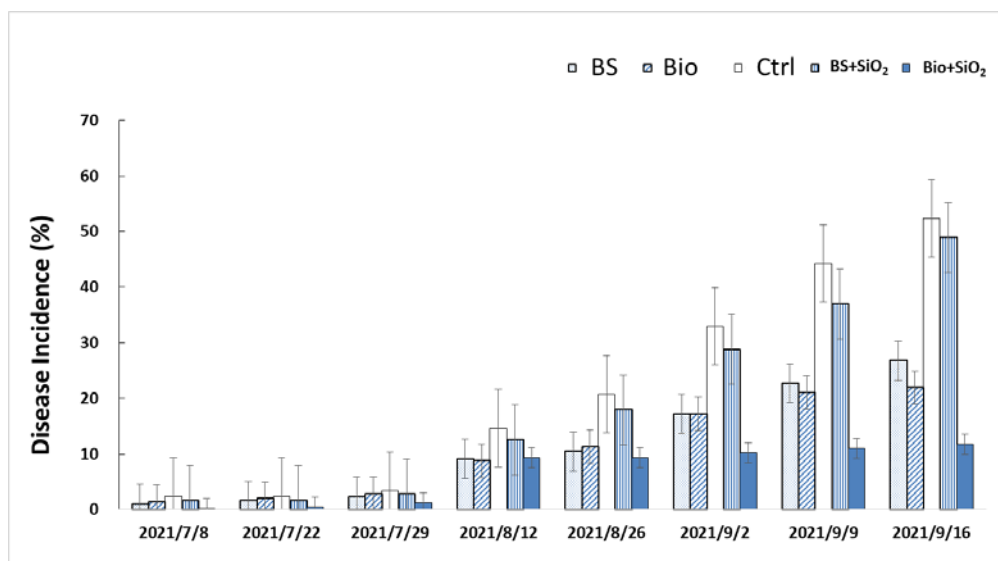
本試驗自信義鄉羅娜部落所分離之莖腐病為 *Pythium* sp. 所引起之病害，其經序列鑑定及外觀型態分類後，鑑定為 *Pythium myriotylum* 菌株。其經柯霍氏法則確認其病原性，並依其序列確認其親緣樹狀圖(圖一)。



圖一、*Pythium myriotylum* isolate S13 親緣關係圖

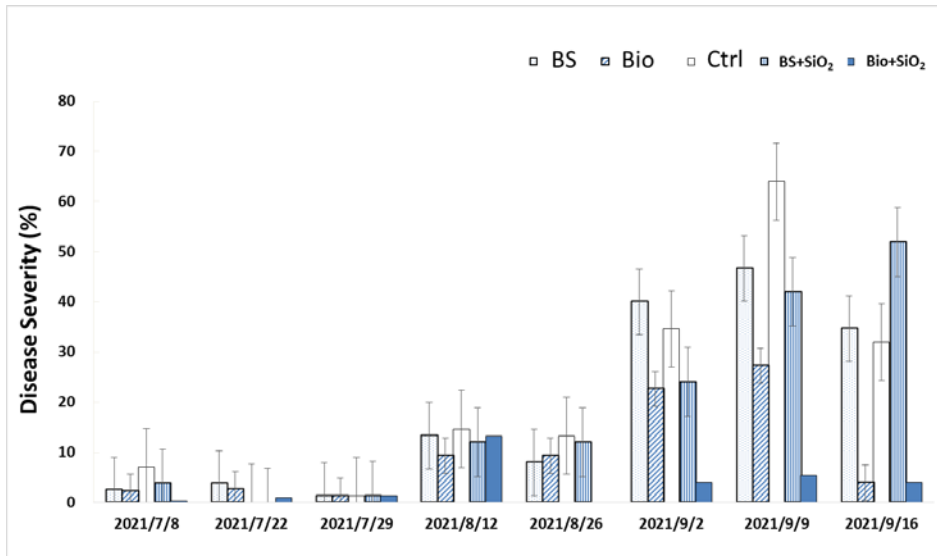
Fig 1. Phylogenetic analysis of *Pythium myriotylum* isolate S13 and its closely related species of *Pythium* isolates based on ITS sequences. This analysis was performed by MAGA(version 10.1.8).

全區植株莖腐病發生的發病率，請參圖二所示，約自種植一個月半後(2021/08/12)對照組植株的發病率約在15%，經移除病株後持續施用資材或藥劑處理，可發現試驗後期調查(2021/09/16)，各處理之發病率分別為對照組52.4%、台灣寶處理組26.8%、勝茂處理組21.9%、台灣寶+二氧化矽48.9%、勝茂+二氧化矽11.8%，其中勝茂+二氧化矽處理組對莖腐病抑制效果最佳(發病率11.8%)，經清除病株後且後續再發生的發病率上升最為緩慢，對照組發病率由試驗初期(2021/7/8)的2.4%上升至52.4%(增加50%)、台灣寶處理組為1.0%至26.8%(增加25.8%)、勝茂處理組為1.4%至21.9%(增加20.5%)，台灣寶+二氧化矽處理組為1.6%至48.9%(增加47.3%)、勝茂+二氧化矽處理組為0.2%至11.8%(增加11.6%)。此外，由圖三罹病度調查結果顯示，莖腐病在田間自然發生的發病情形隨植株生長之進程呈現嚴重化的趨勢，在約種植一個半月後各植株發病嚴重程度達到高峰，而單獨使用如台灣寶或勝茂等微生物資材，其植株的罹病度趨勢上低於未處理組(Ctrl)(對照組罹病度32.0%、台灣寶處理組34.7%、勝茂處理組4.0%、台灣寶+二氧化矽處理組52.0%、勝茂+二氧化矽處理組4.0%)，以單獨使用勝茂和勝茂+二氧化矽處理組中，其罹病度最低(4.0%)。由結果顯示單獨使用勝茂處理或組合勝茂+二氧化矽處理在田間高發病率下，罹病度卻低，顯示該處理組可抑制莖腐病病勢的發展。



圖二、菜豆以 5 種不同資材灌注處理後莖腐病之發病率比較

Fig. 2. Comparison of disease incidences caused by *Pythium myriotylum* after applying conventional farming methods, Taiwan Bao, Shengmao, Taiwan Bao + silicon dioxide, and Shengmao + silicon dioxide on kidney beans.



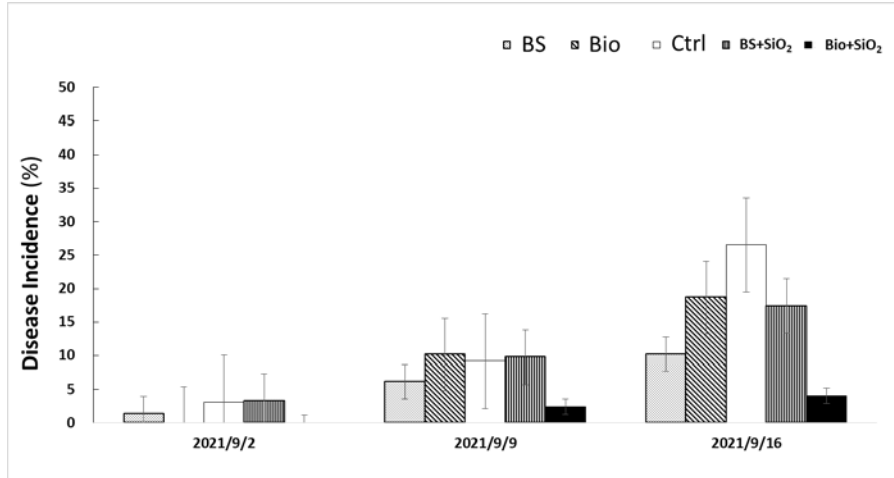
圖三、菜豆以 5 種不同資材灌注處理後莖腐病之罹病度比較

Fig 3. Comparison of disease severities caused by *Pythium myriotylum* after applying conventional farming methods, Taiwan Bao, Shengmao, Taiwan Bao + silicon dioxide, and Shengmao + silicon dioxide on kidney beans.

全區植株白絹病發生的發病率，請參圖四所示，經移除病株後持續施用資材或藥劑處理，可發現在調查期間(2021/09/02-09/16)，隨時間推展，發病率均逐漸提高，對照組由3.1%上升至26.5%(增加23.5%)、台灣寶處理組由1.4%上升至10.2%(增加8.8%)、勝茂處理組由0%上升至18.6%(增加18.6%)、台灣寶+二氧化矽處理組由3.3%上升至17.4%(增加14.1%)、勝茂+二氧化矽處理組由0%上升至4.7%(增加4.7%)，以勝茂+二氧化矽處理組在試驗後期整體發病率最低(4.7%)，且並未隨時間推移而提高發病率。另由圖五，白絹病在田間自然發生的情形在種植後期(2021年9月)開始出現明顯病徵，隨時間推移其病程有日趨嚴重的趨勢，試驗後期(2021/9/16)各處理組之罹病度分別為對照組83.0%、台灣寶處理組30.0%、勝茂處理組44.0%、台灣寶+二氧化矽處理組31.0%、勝茂+二氧化矽處理組6.0%，由結果可見相較於對照組(83.0%)的高罹病度，單獨使用微生物資材仍可發揮拮抗效果(台灣寶罹病度30%、勝茂罹病度44.0%)，但使用勝茂+二氧化矽之組合可明顯有效降低病害罹病度(6.0%)，防治效果最佳且有效抑制白絹病病勢進展。

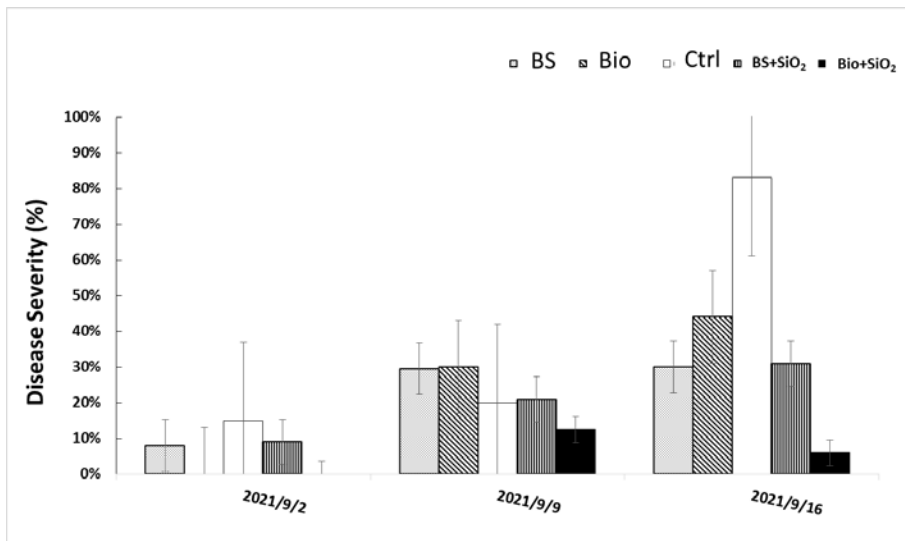
在產量的部分，在整個生產季(2021年7月1日至2021年9月30日)中，各處理的單位面積產量，對照組為4.1 kg/m²，台灣寶處理組為3.7 kg/m²，勝茂處

理組 3.9 kg/m^2 ，台灣寶+二氧化矽處理組 3.8 kg/m^2 ，勝茂+二氧化矽處理組 4.4 kg/m^2 ，以勝茂+二氧化矽處理組整體的產量最高，當微生物配合二氧化矽使用時，單位面積產量均比單獨施用微生物資材時高，而單獨施用微生物資材的單位面積產量略低於對照組。



圖四、菜豆以 5 種不同資材灌注處理後白絹病之發病率比較

Fig. 4. Comparison of disease incidences caused by *Sclerotium rolfsii* after applying conventional farming methods, Taiwan Bao, Shengmao, Taiwan Bao + silicon dioxide, and Shengmao + silicon dioxide on kidney beans.



圖五、菜豆以 5 種不同資材灌注處理後白絹病之罹病度比較

Fig. 5. Comparison of disease severities caused by *Sclerotium rolfsii* after applying conventional farming methods, Taiwan Bao, Shengmao, Taiwan Bao + silicon dioxide, and Shengmao + silicon dioxide on kidney beans.

結論與展望

矽至今仍被認為是一種植物生長的非必要元素，其可增強植物的活力和抵抗力，以應對多種環境逆境。因此，可以考慮將其應用在農業管理操作以提高栽培植物的產量。在土壤中，矽可能會影響營養元素與土壤顆粒的結合，使其或多或少可被植物吸收。此外，矽會降低土壤對磷的吸附，尤其是在低pH值時，因此會增加植物對土壤中磷之可利用率。磷主要吸附在土壤中鐵、鋁和錳的氫氧化物，如矽與Fe(III)和Mn結合，會減少土壤中氫氧化物含量並降低鐵和錳的可用性，矽對各種必需營養素的吸收、分佈和狀態影響之研究仍相對較少，因此針對矽作為作物栽培添加物的應用仍然有待進一步開發，所應用的資材樣態可能會影響植物的有效性利用和植物內的分佈。

二氧化矽結合不同資材使用(如本試驗使用的台灣寶微生物農藥、或勝茂雜項肥料)，可有效降低田間病害發展，如圖2至圖5所示，不論是在 *Pythium myriotylum* 所引起的莖腐病或 *Athelia rolfsii* 引起的白絹病，相較於對照組以化學殺菌劑處理者，其病害均有下降的趨勢，特別在勝茂與二氧化矽處理組尤為明顯(後期2021/09/16，莖腐病罹病度4.0%、白絹病罹病度6.0%)。由本試驗田間初步應用實例，可以發現對於菜豆莖腐病，不同的微生物資材展現不同的病害抑制效果，初步試驗結果可以觀察到勝茂處理組與勝茂+二氧化矽處理組之罹病度為各處理中最低，其罹病度低之原因是因微生物的防治機制或結合二氧化矽所達成的效果，尚待進一步探討與規劃試驗設計。菜豆白絹病之防治，相較於對照組罹病度83.0%，僅使用台灣寶或勝茂等微生物資材之罹病度分為為30.0%及44.0%，展現顯著降低白絹病的罹病度，可見本次試驗所使用之微生物資材對於菜豆白絹病的防治效力，而勝茂+二氧化矽處理組之罹病度為各處理組中最低，其罹病度也低於台灣寶+二氧化矽處理組，造成不同微生物組合間差異之原因，也尚待未來進一步瞭解，方能釐清與確認資材間最適當的組合配比。初步推測微生物分泌酵素之作用或配方中的pH值(勝茂

pH值為4.3)可能之影響，使得作物吸收可溶性二氧化矽的能力提高，該部分仍有待進一步試驗以釐清作用機制，俾找出不同資材與二氧化矽間更好的應用方法與施用策略。

迄今為止，關於施用矽對一般雙子葉作物的生長和抗病性影響之研究很少，未來，可進一步探討與了解，期能提高其利用性。為此，本所正朝混合製劑開發，提高其田間操作的便利性，提早施用於田間作為預防用途，降低化學殺菌劑的使用頻度，減輕對環境衝擊的風險。

謝 辭

本文承蒙科發基金計畫 MOST 110-3111-Y-225-001-2 『強化動植物病害防治的友善生產技術開發(2)』 經費補助，謹誌謝忱。

引用文獻

1. Ahmad, R., S.H. Zaheer and S. Ismail, 1992. Role of silicon in salt tolerance of wheat(*Triticum aestivum*). Plant Science, 85(1): 43-50.
2. Akhtar, M.S. and Siddiqui, Z. 2010. Role of plant growth promoting rhizobacteria in biocontrol of plant diseases and sustainable agriculture. Part of the Microbiology Monographs book series, pp. 157-195.
3. Antoun, H. and Kloepper, J. 2001. In book: Encyclopedia of genetics. Academic Press, New York. pp.1477-1480. [Book]
4. Cao, B., Ma, Q., Zhao, Q., Wang L., and Xu, K. 2015. Effects of silicon on absorbed light allocation, antioxidant enzymes and ultrastructure of chloroplasts in tomato leaves under simulated drought stress. Horti Sci 194: 53-62.
5. Carey, J.C. and Fulweiler, R.W. 2012. The terrestrial silica pump. PLoS One, 7(12): e52932.
6. Casey, W., Kinrade, S., C. Knight, D. R., and Epstein, E. 2004. Aqueous silicate complexes in wheat(*Triticum aestivum*). Plant Cell Environ 27:

- 51-54.
7. Cazorla, F., Romero, D., Pérez-García, A., Lugtenberg, B., Vicente, A.D., and Bloemberg, G. 2007. Isolation and characterization of antagonistic *Bacillus subtilis* strains from the avocado rhizosphere displaying biocontrol activity. *J Appl Microbiol* 103: 1950-1959.
 8. Dobbelaere, S., Vanderleyden, J. and Okon, Y. 2003. Plant growth-promoting effects of diazotrophs in the rhizosphere. *CRC Crit Rev Plant Sci* 22: 107-149.
 9. Dobereiner, J., 1992. Review article history and new perspectives of diazotrophs in association with non-leguminous plants. *Symbiosis*.
 10. Epstein, E., 2009. Silicon: Its manifold roles in plants. *Ann Appl Biol* 155: 155-160.
 11. Fauteux, F., Rémus-Borel, W., Menzies, J.G., and Bélanger, R.R. 2005. Silicon and plant disease resistance against pathogenic fungi. *FEMS Microbiol. Lett* 249: 1-6.
 12. Fortunato, A. A., Rodrigues, F. Á., Baroni, J. D. P., Soared, G. C. B., Rodriguez, M. A. D., and Pereira, O. L. 2012. Silicon suppresses *Fusarium* wilt development in banana plants. *J Phytopathol* 160: 674-679.
 13. Glick, B.R., 1995. The enhancement of plant growth by free-living bacteria. *Can J Microbiol* 41: 109-117.
 14. Gong, H. J., Chen, K. M., Chen, G. C., Wang, S. M., and Zhang, C. L. 2003. Effects of silicon on growth of wheat under drought. *J Plant Nutr* 26: 1055-1063.
 15. Gray, E., and Smith, D. 2005. Intracellular and extracellular PGPR: Commonalities and distinctions in the plant–bacterium signaling processes. *Soil Biol Biochem* 37: 395-412.
 16. Greger, M., and Landberg, T. 2019. Silicon reduces cadmium and arsenic levels in field-grown crops. *Silicon* 11: 2371-2375.
 17. Handelsman, J., and Stabb, E. V. 1996. Biocontrol of soilborne plant pathogens. *Plant Cell* 8: 1855.
 18. Handreck, K., and Jones, L. P. 1967. Uptake of monosilicic acid by *Trifolium incarnatum*(L.). *Aust J Biol Sci* 20: 483-486.

19. Janislampi, K. W. 2012. Effect of silicon on plant growth and drought stress tolerance. Master's Thesis, Department of Plants, Soils, and Climate, Utah State University, 101 pp.
20. Küpfer, C., and Kahnt, G. 1992. Effects of the application of amorphous silica on transpiration and photosynthesis of soybean plants under varied soil and relative air humidity conditions. *J Agron Crop Sci* 168: 318-325.
21. Kaufman, P., Bigelow, W. C., Petering L. B., and Drogosz, F. B. 1969. Silica in developing epiderma cell of avena internodes. *Science* 166: 1015.
22. Kloepper, J.W., Lifshitz, R., and Zablotowicz, R.M. 1989. Free-living bacterial inocula for enhancing crop productivity. *Trends Biotechnol* 7: 39-44.
23. Liang, Y., Chen, Q., Liu, Q., Zhang, W., and Ding, R. 2003. Exogenous silicon(Si)increases antioxidant enzyme activity and reduces lipid peroxidation in roots of salt-stressed barley(*Hordeum vulgare*l). *J Plant Physiol* 160: 1157-1164.
24. Lugtenberg, B., and Kamilova, F. 2009. Plant-growth-promoting rhizobacteria. *Annu Rev Microbiol* 631: 541-556.
25. Ma, J. and Yamaji, N. 2008. Functions and transport of silicon in plants. *Cell. Mol Life Sci* 65: 3049-3057.
26. Ma, J.F., and Takahashi, E. 2002. Soil, fertilizer, and plant silicon research in Japan. Elsevier. Boston. 281pp.
27. Ma, J. F., Tamai, K., Ichii, M., and Wu, G. F. 2002. A rice mutant defective in Si uptake. *Plant Physiol* 130: 2111-2117.
28. Ma, J. F., Tamai, K., Yamaji, N., Mitani, N., Konishi, S., Katsuhara, M., Ishiguro, M., Murata Y., and Yano, M. 2006. A silicon transporter in rice. *Nature* 440: 688-691.
29. Ma, J. F. and Yamaji, N. 2015. A cooperative system of silicon transport in plants. *Trends Plant Sci* 20: 435-442.
30. Ma, J. F., Yamaji, N., Mitani, N., Tamai, K., Konishi, S., Fujiwara, T., Katsuhara, M., and Yano, M. 2007. An efflux transporter of silicon in rice. *Nature* 448: 209-212.
31. Menzies, J., Bowen, P., and Ehret, D. 1992. Foliar applications of potassium

- silicate reduce severity of powdery mildew on cucumber, muskmelon, and zucchini squash. *J Amer Soc Hort Sci* 117: 902-905.
32. Metson, A., Gibson, E. J., Hunt, J., and Saunders, W. 1979. Seasonal variations in chemical composition of pasture: III. Silicon, aluminium, iron, zinc, copper, and manganese. *New Zealand J Agric Res* 22: 309-318.
 33. Mitani, N., and Ma, J.F. 2005. Uptake system of silicon in different plant species. *J Exp Bot* 56: 1255-1261.
 34. Najihah, N. I., Hanafi, M. M., Idris, A. S., and Hakim, M. A. 2015. Silicon treatment in oil palms confers resistance to basal stem rot disease caused by *ganoderma boninense*. *Crop Prot* 67: 151-159.
 35. Perry, C. C., and Lu, Y. 1992. Preparation of silicas from silicon complexes: Role of cellulose in polymerisation and aggregation control. *J Chem Soc, Faraday Trans* 88: 2915-2921.
 36. Podile, A. R., and Kishore, G. K. 2006. Plant growth-promoting rhizobacteria. In *Plant-Associated Bacteria: Rhizosphere Bacteria*; Gnanamanickam, S.S., Ed.; Springer: Dordrecht, The Netherlands, 2006; pp. 195–230. [Book]
 37. Rodrigues, F. Á., Duarte, H. S. S., Rezende, D. C., Wordell Filho, J. A., Korndörfer, G. H., and Zambolim, L. 2010. Foliar spray of potassium silicate on the control of angular leaf spot on beans. *J Plant Nutr* 33: 2082-2093.
 38. Romero, D., de Vicente, A., Rakotoaly, R. H., Dufour, S. E., Veening, J. W., Arrebola, E., Cazorla, F. M., Kuipers, O. P., Paquot, M., Pérez-García, A. The iturin and fengycin families of lipopeptides are key factors in antagonism of *Bacillus subtilis* toward *Podosphaera fusca*. *Mol Plant Microbe Interact* 20: 430-440.
 39. Schroth, M. N., and Hancock, J. G. 1982. Disease-suppressive soil and root-colonizing bacteria. *Science* 216: 1376-1381.
 40. Seem, R., 1984. Disease incidence and severity relationships. *Annu Rev Phytopathol* 22: 133-150.
 41. Shi, Y., Zhang, Y., Yao, H., Wu, J., Sun, H., and Gong, H. 2014. Silicon improves seed germination and alleviates oxidative stress of bud seedlings

- in tomato under water deficit stress. *Plant Physiol. Biochem* 78: 27-36.
42. Struyf, E., Smis, A., Van Damme, S., Garnier, J., Govers, G., Van Wesemael, B., Conley, D. J., Batelaan, O., Frot, E., and Clymans, W. 2010. Historical land use change has lowered terrestrial silica mobilization. *Nat Commun* 1: 1-7.
 43. Vivancos, J., Labbé, C., Menzies, J. G., and Bélanger, R. R. 2015. Silicon-mediated resistance of a rhabdovirus against powdery mildew involves mechanisms other than the salicylic acid(SA)-dependent defence pathway. *Mol. Plant Pathol* 16: 572-582.
 44. Wang, M., Gao, L. M., Dong, S. Y., Sun, Y. M., Shen, Q. R., and Guo, S. W. 2017. Role of silicon on plant-pathogen interactions. *Front. Plant Sci* 8: 701.
 45. Weller, M., and Thomashow, L. 1994. Molecular ecology of rhizosphere microorganisms, biotechnology and release of GMOs. Current challenges in introducing beneficial microorganisms into the rhizosphere. VCH, Weinheim, Germany. 192pp. [Book]
 46. Ye, M., Song, Y., Long, J., Wang, R., Baerson, S. R., Pan, Z., Zhu-Salzman, K., Xie, J., Cai, K., and Luo, S. 2013. Priming of jasmonate-mediated antiherbivore defense responses in rice by silicon. *PNAS* 110: E3631-E3639.
 47. Zellner, W., Tubaña, B., Rodrigues, F. A., and Datnoff, L. E. 2021. Silicon's role in plant stress reduction and why this element is not used routinely for managing plant health. *Plant Dis* 105:8, 2033-2049
 48. Yin, L., Wang, S., Liu, P., Wang, W., Cao, D., Deng, X., and Zhang, S. 2014. Silicon-mediated changes in polyamine and 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid are involved in silicon-induced drought resistance in *Sorghum bicolor* L. *Plant Physiol Biochem* 80: 268-277.
 49. Zhang, C., Wang, L., Zhang, W., and Zhang, F. 2013. Do lignification and silicification of the cell wall precede silicon deposition in the silica cell of the rice (*Oryza sativa* L.) leaf epidermis? *Plant Soil* 372: 137-149.

ABSTRACT

Feasibility of combining microbial agents and silicon dioxide to control stem rot and Southern blight disease on kidney bean

Liang, Y. R. *, Liao, F. C. *, Huang, L. H. *, and Chung, R. C. *

*Taiwan Agricultural Chemicals and Toxic Substances Research Institute, Taichung, Wu-feng 413, Taiwan, R.O.C.

Silicon is the second most abundant element in the earth. However, silicon has not been regarded as an essential growth nutrient, and it shows the effectiveness of improving crop resistance and pest control. The beneficial rhizosphere microorganisms could interact with the roots of crops. It was reported that the possible mechanism of silicon dioxide to disease resistance and stress tolerance, mainly through the formation of silicon complexes in plant cell walls to increase the rigidity of plant tissues. Also, the rhizosphere microorganisms improve plant disease resistance through direct and indirect mechanism, including plant growth promotion and production of antagonistic substances. We assess the feasibility of combining silicon dioxide and rhizosphere microorganisms for controlling the soil-borne diseases in the field of kidney beans. The results of our preliminary experiment showed that the disease severities caused by *Pythium myriotylum* 76 days after applying conventional farming methods, Taiwan Bao, Shengmao, Taiwan Bao + silicon dioxide, and Shengmao + silicon dioxide on kidney beans were 32.0%, 34.7%, 4.0%, 52.0% and 4.0%, respectively; while the disease severities caused by *Sclerotium rolfsii* 76 days after applying conventional farming methods, Taiwan Bao, Shengmao, Taiwan Bao + silicon dioxide, and Shengmao + silicon dioxide on kidney beans were 83.0%, 30.0%, 44.0%, 31.0% and 6.0%, respectively. It is obviously that different materials and their combinations still revealed variations in disease control, Shengmao and silicon dioxide treatment showed the best control effects against both stem rot and southern blight of kidney bean. Therefore, the management strategy of combination of Shengmao and silicon dioxide is a potential measure for controlling soil-borne diseases of kidney bean in the field.

Key words: Microbial agents, silicon dioxide, kidney beans, southern blight (*Sclerotium rolfsii* Sacc.), stem rot(*Pythium myriotylum*).