

評估有益微生物菌株搭配矽藻土對青蔥之促進效果¹

楊馨璉²、郭建志^{3*}

摘 要

本研究評估本場技轉之兩株植物有益微生物液化澱粉芽孢桿菌所製產品之生物農藥菌力寶(*Bacillus amyloliquefaciens* Tcba05)與溶磷菌之微生物肥料產品活力美(*B. amyloliquefaciens* Tcb45)，搭配市售矽藻土澆灌對青蔥苗促進生長的影響。結果發現將矽藻土添加於稀釋後之微生物製劑中不影響兩株菌株的菌數，在培養前添加亦不影響菌種生長及內生孢子生成。在植株試驗時發現，以活力美搭配矽藻土能有效促進青蔥生長，與對照相比能顯著提高青蔥的地上部重(2.15 倍)、株長(1.3 倍) 與蔥白寬(1.51 倍)。單獨使用活力美對青蔥地上部重提升效果不顯著，僅能提升蔥白寬 1.26 倍。單獨使用菌力寶與矽藻土與對照相比無顯著差異，但兩者混合澆灌能提升青蔥的蔥白寬 1.41 倍。綜合上述結果使用微生物肥料活力美搭配矽藻土具有協助促進青蔥生長之能力，可供青蔥農友作為使用參考。

關鍵字：有益微生物菌、液化澱粉芽孢桿菌、青蔥、矽藻土

前 言

青蔥(*Allium fistulosum* L.)為蔥科蔥屬多年生宿根草本作物，通常以一、二年生栽培。早期由大陸引進，其栽種歷史悠久，是臺灣重要的農作物，國人飲食中最不可或缺的辛香類蔬菜(楊，2009)。目前臺灣全年均有栽培，面積約 4,150 ha，主要產區分布於雲林縣、彰化縣及宜蘭縣，其他縣市亦有零星栽培(臺灣農業統計年報，2024)。主要栽培品種有：1.四季蔥，適於秋冬氣候栽培，其耐旱性佳，葉肉多且柔嫩，分蘖多，全年皆可栽培；2.北蔥，可於夏季生長耐高溫，為南部主要栽培品種，其分蘖少不耐乾燥，葉型細長肉質較硬多以種子繁殖(洪，2003)。其中四季蔥栽培三至四個月為一週期，農民多

¹ 農業部臺中區農業改良場第 1116 號研究報告。

² 農業部臺中區農業改良場計畫助理。

³ 農業部臺中區農業改良場副研究員。

*通訊作者：郭建志，Email: kuocc@tcdares.gov.tw

採取母株分株後繼續下一週期種植，依蘗株莖徑的粗細選擇適當的分枝數種植(洪，2003)。

矽藻土(Diatomaceous earth, DE)為天然的軟矽質沉積岩，主要成分為二氧化矽(SiO_2)，由單細胞藻類—矽藻的外骨骼化石沉積而成，顏色為淡黃色或淺灰色，質地輕軟，具有多孔隙、密度低與吸水性強等物理特性(黃等人，2022)。矽藻土因顆粒具鋒利邊緣，在接觸昆蟲時可有效破壞刺穿其外骨骼，致使蟲體失去水分最末脫水而死，使其可在綜合蟲害管理(Integrated Pest Management, IPM)中，達到防治害蟲的效果(黃等人，2022)，現已為動植物防疫檢疫署公告之免登記植物保護資材。此外，矽藻土能夠改善土壤結構、提升作物產量、抵抗病害及緩解各種逆境(Pati *et al.*, 2014; Sandhya *et al.*, 2018; Zeni *et al.*, 2021)。矽為部分植物必需且有益之營養元素，其參與植物的生長與發育，並增加抗病能力，降低病害侵染。研究指出水稻施用 600 kg/ ha 的矽藻土並配合標準施肥程序，可提高磷和鋅的吸收效率並顯著增加稻穀收成，若輔以水分管理，於土壤濕潤條件下施用更能顯著表現。當水稻的矽含量增加強化細胞壁後，亦提升了對於稻熱病與紋枯病抵禦能力(Pati *et al.*, 2014; Sandhya *et al.*, 2018)。

植物生長促進根圈細菌(Plant Growth Promoting Rhizobacteria, PGPR)指能夠在植物根部及其周圍土壤中自由生存的細菌，這些細菌能夠促進植物的生長、發展和健康。它們通過多種機制，包括 1.分解土壤有機質；2.促進作物營養吸收；3.改善土壤結構等作用提升作物生長，另外部分菌株亦具有生物防治效果，其生物防治的機制可分為 1.拮抗作用：競爭性以排斥病原體快速佔據根系生態圈減少病原體養分來源進而減少植物病害的發生；2.抗生物質產生：某些根圈細菌能夠產生抗生物質，如伊枯草菌 A(Iturin-A)和表面活性素(Surfactin)，藉此抑制其他病原微生物生長與代謝活動；3.誘導系統性抗性：誘導植物合成代謝物，進而增強植物病害防禦力(Chaganti *et al.*, 2023; Jiao *et al.*, 2021)。PGPR 可增進植物控制病害並提升對於鹽鹼或乾旱等環境壓力等逆境的耐受性，進而提高其產量。使用 PGPR 產品是相對於化學藥劑是友善環境的有效方法之一(Zeni *et al.*, 2021)。液化澱粉芽孢桿菌(*Bacillus amyloliquefaciens*)為芽孢桿菌(*Bacillus spp.*)的一種，可於土壤、空氣、水及植物體內外發現。其歸屬於革蘭氏陽性菌，有周生鞭毛、好氧、活動力強且無夾膜細菌，可生活於 pH 2-10，且具耐高溫特性最適生長溫度為 30-40°C，可生成内生孢子，可於不適於生存的環境下存活(郭等人，2014)。研究發現植物有益微生物可增加植物產量與抵抗病蟲害。透過固定空氣中的氮、溶解土壤中的磷與鉀與分泌植物生長激素及各種分解酵素促進植物生長與肥料吸收(Jiao *et al.*, 2021)。抵抗病蟲害方面可透過分泌二次代謝物、幾丁質分解酶、誘導抗性、營養競爭或產生特定蛋白質達到

防治效果(Köhl *et al.*, 2019)。市售常見植物有益微生物包含菌根菌、木黴菌、芽孢桿菌及放線菌等。

為測試矽藻土與植物有益微生物對青蔥促生長的效果，本試驗選用本場技轉的兩株液化澱粉芽孢桿菌(*B. amyloliquefaciens*)產品：菌力寶與活力美和矽藻土分別澆灌處理與混合澆灌處理，測試可提升青蔥生長之最佳條件。此外，為分析矽藻土混合微生物製劑促進青蔥生長的可能原因，將微生物製劑與矽藻土混和後稀釋後測量菌數變化。另為方便農民使用及增加不可溶性矽的利用率，於液態培養基中加入矽藻土培養兩株液化澱粉芽孢桿菌，並探討矽藻土對菌數變化及內生孢子量的影響。

材料與方法

一、試驗材料

選用本場留種四季蔥剪去末端葉至 20 cm，試驗用栽培介質為倍翠康泥炭土。微生物菌株：選用本場技術授權之微生物菌株製成的產品液化澱粉芽孢桿菌“菌力寶”(Tcba05) (購自福壽實業股份有限公司，臺灣)以自來水稀釋 250 倍及“活力美”(Tcb45)(購自博堯生物科技股份有限公司，臺灣)以自來水稀釋 500 倍。矽藻土(DE)：大村鄉大豐農藥行購得矽藻土以自來水稀釋 2,000 倍。

二、矽藻土對兩株微生物製劑稀釋後菌數影響

將兩個微生物製劑產品分別依推薦稀釋倍數(菌力寶 250 倍)和(活力美 500 倍)懸浮於 100 mL 無菌水中配製成懸浮液後分成兩管，其中一管加入 2.5 mg 矽藻土後，分別靜置培養 2 hrs 及 24 hrs 取樣進行系列稀釋，塗抹至營養瓊脂 Nutrient agar (NA)培養基上，培養於 28°C，無光照之生長箱中，經 72 hrs 後計算菌落數量並推算菌數。

三、於培養基中添加矽藻土對兩株微生物內生孢子量影響

利用移植環自甘油保存管中純化菌株至 NA 培養基，待菌落長出後，挑選單一菌落於 5 mL 溶菌肉湯液態培養基 Luria-Bertani (LB) broth 中，置於 30°C 培養箱中，無光照處理，以 125 rpm 轉速震盪培養 24 hrs 後，吸取 1 mL 至含有 0.5 g 矽藻土之 100 mL LB broth 中，置於 30°C 培養箱中，無光照處理，以 125 rpm 轉速震盪培養，每 24 hrs 取樣一次，連續取樣三次，進行系列稀釋，取 100 μ L 塗抹至 NA 培養基上，培養於 28°C，無光照之生長箱中，經 72 hrs 後計算菌落數量並推算菌量。以不含矽藻土之 100 mL LB broth 為對照。第三次取樣後將樣品置於 60°C 水浴鍋中加熱 10 mins 後依上述方式計算內生孢子數。

四、植株試驗

四季蔥以每 6 株定植於 60 cm*40 cm*20 cm 方盆，每處理 3 盆，各試驗處理如表一所示，於定植一周後連續澆灌 6 次，每周一次每盆 2 公升，於定植八周後調查全株長 (Plant height)、地上部重 (Weight)、蔥白長 (leaf Sheath length)、蔥白寬 (leaf Sheath diameter) 及分蘖數 (Tiller)。

表一、本實驗之處理菌株及施用組合

Table 1. Treatment strains and application combinations in this experiment

Groups	Treatment
Control	Water
DE	DE diluted 2000×
Tcba05	Tcba05 diluted 250×
Tcba05+ DE	Tcba05 diluted 250×+DE diluted 2000×
Tcb45	Tcb45 diluted 500×
Tcb45+ DE	Tcb45 diluted 500×+DE diluted 2000×

Each treatment received 2 L of different solutions per week.

DE = Diatomaceous earth, Tcba05 = microbial pesticide product (*Bacillus amyloliquefaciens* Tcba05), Tcb45 = microbial fertilizer product (*B. amyloliquefaciens* Tcb45).

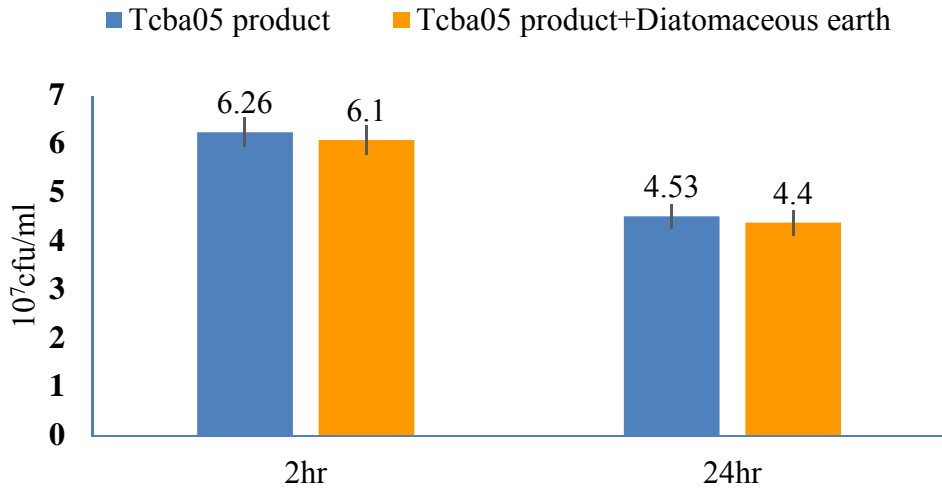
五、統計分析

實驗數據利用 SPSS12.0 軟體進行 one-way ANOVA analysis，利用 least significant difference (LSD) test 在 95 %信賴區間下進行數據分析。

結果與討論

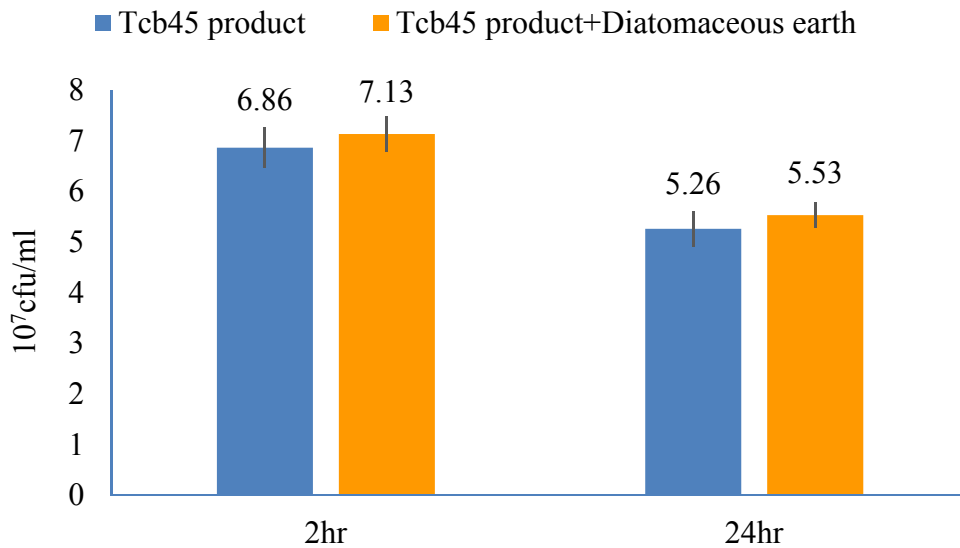
一、矽藻土對兩株微生物製劑稀釋後菌數影響

為了解兩株微生物製劑添加矽藻土是否會對菌數造成影響，將兩株微生物製劑稀釋後個別加入矽藻土後 2 hrs 與 24 hrs 比較矽藻土對菌數變化的影響，結果如圖一與圖二所示，添加矽藻土於 2 hrs 與 24 hrs 後兩菌株之菌數皆保持於 10^7 cfu/ml，推測矽藻土並不對兩株菌株造成影響。



圖一、菌力寶產品添加矽藻土稀釋後之 *B. amyloliquefaciens* Tcba05 菌數變化。

Fig. 1. The effect of Diatomaceous earth addition on the growth of commercial Tcba05 product.

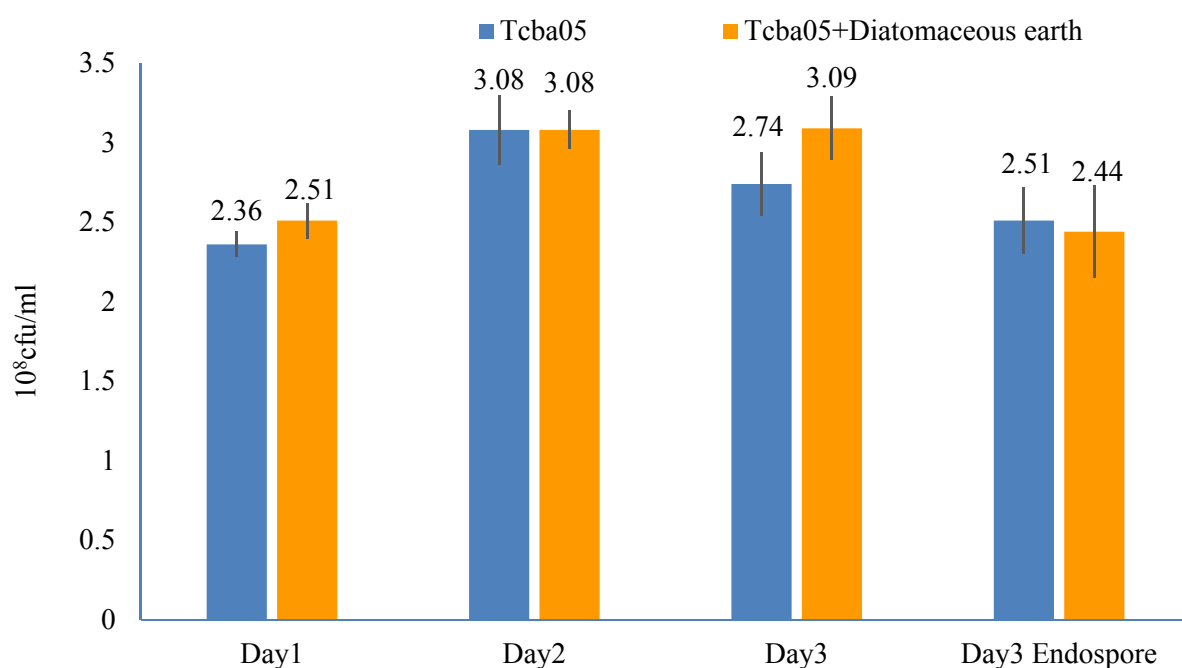


圖二、活力美產品添加矽藻土稀釋後之 *B. amyloliquefaciens* Tcb45 菌數變化。

Fig. 2. The effect of Diatomaceous earth addition on the growth of commercial Tcb45 product.

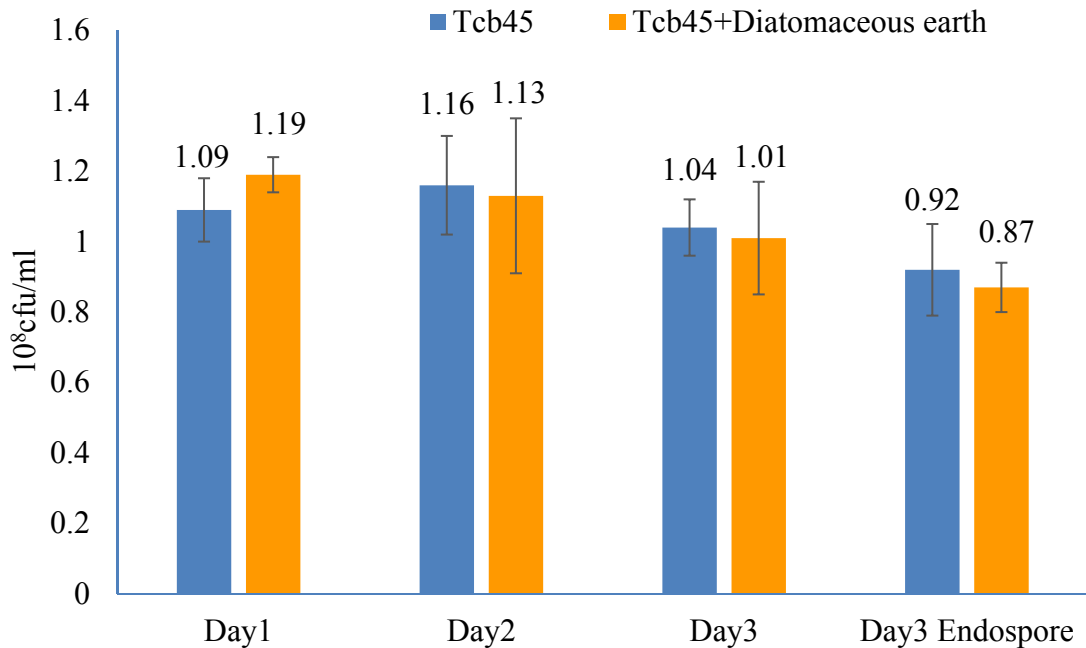
二、於培養基中添加矽藻土對兩株微生物菌數與内生孢子影響

為了解兩菌株培養時添加矽藻土是否對菌株造成影響，於液態培養基加入矽藻土連續記錄 3 天的菌數與透過加熱兩株微生物發酵液計算第三天之內生孢子生成數。如圖三與圖四所示，於液態培養時加入矽藻土並不會造成兩菌株的菌數在第一至第三天變化，皆在 24 hrs 時即達到 10^8 cfu/ml，芽孢桿菌製成生物製劑多以孢子型態販售，故於培養三天後計算孢子生成量，結果顯示矽藻土對兩株菌株的内生孢子生成亦不造成影響。



圖三、*B. amyloliquefaciens* Tcba05 菌株培養於液態培養基與添加矽藻土，分析其第一天至第三天之菌數變化與第三天之內生孢子含量。

Fig. 3. The effect of Diatomaceous earth on the growth and sporulation of *B. amyloliquefaciens* Tcba05.



圖四、*B. amyloliquefaciens* Tcb45 菌株培養於液態培養基與添加矽藻土，分析其第一天至第三天之菌數變化與第三天之內生孢子含量。

Fig. 4. The effect of Diatomaceous earth on the growth and sporulation of *B. amyloliquefaciens* Tcb45.

三、應用液化澱粉芽孢桿菌產品及矽藻土對四季蔥不同處理之園藝性狀表現

個別澆灌 Tcba05、Tcb45、DE 與綜合澆灌 6 次後隔週調查，全株重與株高表現以 Tcb45+DE 表現最顯著可達 65.65 g 及 54.10 cm 顯著優於其他處理組別，與 Control 相較分別達 35.1 g 及 12.8 cm 的重量與長度落差。蔥白寬以 Tcba05+DE 與 Tcb45+DE 效果較顯著，分別為 12.8 mm 與 13.8 mm。蔥白長與分蘖數表現各組間均無顯著差異(表二、圖五)。青蔥植株以葉身、葉鞘、基盤與根所組成，葉身呈中空，葉鞘為數層肉質片包圍著生長點發育，成圓柱狀假莖，即為蔥白，葉片由葉鞘內鱗片伸展而出，最末莖頂由最稚嫩的葉片所包圍。青蔥以蔥白或鞘長為食用部位，品質指標常以葉鞘長為主(洪，2003)。液化澱粉芽孢桿菌菌株 Tcba05 具產生抗生物質能力，而 Tcb45 具有溶磷(phosphate solubilization)及嵌鐵物質(siderophore)，其可產生澱粉、蛋白質與纖維素分解酶，並具耐鹽性(郭等人，2020；郭等人，2014)，兩者分別配合稀釋 2000 倍矽藻土施用，可提升四季蔥之產量。

表二、不同處理之四季蔥園藝特性比較

Table 2. Horticultural characters of welsh onion superior plants of different treatment

Group	Weight (g)	Plant height(cm)	leaf Sheath diameter(mm)	leaf Sheath length(cm)	Tiller
Control	30.5 ± 9.0c	41.3 ± 3.6b	9.1 ± 1.3 c	9.4 ± 0.5 a	2.9 ± 0.4a
DE	30.2 ± 12.5c	39.3 ± 0.8b	9.4 ± 0.9 c	9.3 ± 0.6 a	3.6 ± 0.8 a
Tcba05	35.5 ± 4.1c	41.5 ± 3.3b	10.7 ± 1.7 bc	9.2 ± 0.5 a	4.3 ± 1.8 a
Tcba05+DE	40.5 ± 11.7bc	47.5 ± 4.8b	12.8 ± 1.6 ab	9.5 ± 0.8 a	3.3 ± 0.6 a
Tcb45	40.0 ± 8.6bc	40.6 ± 3.7b	11.5 ± 1.4 b	9.1 ± 0.2 a	3.6 ± 0.5 a
Tcb45+DE	65.6 ± 7.2a	54.1 ± 1.2a	13.8 ± 1.4 a	9.8 ± 0.5 a	5.0 ± 1.3 a

Data is presented as mean ± SD. Different letters within the same column among cultivars indicate significantly difference by LSD test at $p \leq 0.05$.



圖五、青蔥生長試驗結果(A)Control (B)DE (C)Tcba05 (D)Tcba05+DE (E)Tcb45 (F)Tcb45+DE。

Fig. 5. Results of the Green Onion Growth Experiment. (A)Control (B)DE (C)Tcba05 (D)Tcba05+DE (E)Tcb45 (F)Tcb45+DE.

結 論

臺灣地區多為集約耕作模式，為維持作物高品質、高產量，田間肥培管理多為追求高效高肥分多施化學肥料為主，長久耕作下易使土壤酸化或鹽化、養分地分布不均，有機質含量驟減，進而使土壤中有益微生物族群失衡，土壤劣質引發連作障礙，土壤傳播性病害無法控制等，連帶降低農產品的質量(楊，2006)。研究指出 PGPR 能有效降低化

學肥料施用量、緩和土壤劣化問題，並增加土壤微生物族群豐富度與作物抵禦逆境之耐性(Zeni *et al.*, 2021)，國內亦有許多 PGPR 成分之微生物肥料產品。先前研究指出能利用 PCR 技術可以自 *B. amyloliquifaciens* Tcba05 菌株之核酸中，增幅出伊枯草菌素 A (Iturin-A) 與表面活性素(Surfactin)之專一性 DNA 片段，顯示 Tcba05 菌株具有產生抗生物質之能力並經試驗結果顯示可有效防治豇豆萎凋病與甘藍黑腐病(郭等人，2014)。液化澱粉芽孢桿菌 Tcb45 該菌株具溶磷效果並耐鹽，可產生多種分解酵素如澱粉酶、蛋白酶、纖維素酶及嵌鐵物質，助於蔬菜根系生長發育，顯著提高產量(郭等人，2020)。

矽藻土在農業上常用於防治害蟲。土壤中矽元素對作物的利用率很低，但可以透過矽溶解菌來促進植物利用。這些細菌能夠溶解不溶性矽酸鹽，進而提高土壤中可溶性矽酸鹽的利用率(Chaganti *et al.*, 2023)。本研究顯示兩株有益微生物菌株添加矽藻土後混合澆灌後，均能協力促進青蔥生長，以活力美 Tcb45 菌株混合矽藻土效果較為顯著。

矽藻土因其結構會造成肺部傷害又以粉狀販賣於市面，農民於使用時容易吸入肺部，故使用時需做好安全防護。本試驗將兩株液化澱粉芽孢桿菌菌株所製成之微生物製劑懸浮於無菌水後添加矽藻土後於 2 hrs 與 24 hrs 計算菌數，結果顯示添加矽藻土並不影響兩株菌株的菌數，但 24 hrs 相較 2 hrs 略低，推測為取樣誤差，另矽藻土於培養時加入培養基中結果顯示矽藻土並不影響兩株液化澱粉芽孢桿菌菌株的菌數及内生孢子生成數，可方便使用及減少稀釋時吸入肺部造成傷害的風險，後續測試效果與發酵後加入矽藻土對青蔥與其他作物評估是否有促進生長的效果，以供農民更多選擇。

參考文獻

1. 行政院農業部統計資料庫
<https://agrstat.moa.gov.tw/sdweb/public/inquiry/InquireAdvance.aspx>. (下載日期 2025 Jul 26)。
2. 郭建志、陳俊位、廖君達、陳葦玲、蔡宜峰。2014。液化澱粉芽孢桿菌在作物病害防治的開發與應用。臺中區農業改良場特刊，121，69-86。
3. 郭建志、林煜恒、張世杰、羅佩昕、廖君達。2020。液化澱粉芽孢桿菌 Tcb45 菌株應用於微生物肥料之開發。臺中區農業改良場特刊，141，111-126。
4. 黃莉欣、白瓊專、李祈益。2022。矽藻土及二氧化矽應用簡介。農業世界雜誌，466，64-69。
5. 洪瑛穗。2003。影響青蔥分蘖性之研究。中興大學園藝系碩士論文。
6. 楊秋忠。2006。微生物肥料在綠色農業之研究與發展。生物技術與綠色農業研討會專刊。行政院農業委員會農業試驗所特刊，127，11-17。
7. 楊素絲。2009。青蔥產業概述。青蔥栽培管理手冊。花蓮區農業改良場，3-7。
8. Chaganti, C., A. Sarjerao, A. S. Phule, L. P. Chandran, B. Sonth, V. P. B. Kavuru, R. govindannagari and R. M. Sundaram. 2023. Silicate solubilizing and plant growth promoting bacteria interact with biogenic silica to impart heat stress tolerance in rice by modulating physiology and gene expression. *Frontiers in Microbiology*. 14.
9. Jiao, X., Y. Takishita, G. Zhou and D. L. Smith. 2021. Plant Associated Rhizobacteria for Biocontrol and Plant Growth Enhancement. *Frontiers in Plant Sci.* Mar. 17(12).
10. Köhl, J., R. Kolnaar and W. J. Ravensberg. 2019. Mode of Action of Microbial Biological Control Agents Against Plant Diseases: Relevance Beyond Efficacy. *Front Plant Sci.* 10: 845.
11. Pati, S., B. Pal, and G. Hazra. 2014. Effect of diatomaceous earth on yield and disease infestation of rice. *ORYZA-An International Journal on Rice*. 51(4): 297-301.
12. Sandhya, K., N.B. Prakash, and J.D. Meunier. 2018. Diatomaceous earth as source of silicon on the growth and yield of rice in contrasted soils of Southern India. *Journal of soil science and plant nutrition*. 18(2): 344-360.
13. Zeni, V., G. V. Baliota, G. Benelli, A. Canale and C. G. Athaassiou. 2021. Diatomaceous earth for arthropod pest control: Back to the future. *Molecules*, 26(24): 7487.

Evaluation of Plant Protection Materials Combined with Diatomaceous Earth for Promoting Growth in Green Onions¹

Cing-Cong Yang² and Chien-Chih Kuo^{3*}

ABSTRACT

This study evaluated the growth-promoting effect on green onions by applying commercially available diatomaceous earth in combination with two plant beneficial microorganisms developed by our station: the microbial pesticide product (*Bacillus amyloliquefaciens* Tcba05) and the microbial fertilizer product (*B. amyloliquefaciens* Tcb45 phosphate-solubilizing bacteria) through irrigation of green onion seedlings. The results of the experiment showed that the addition of diatomaceous earth to the culture medium did not affect the bacterial count or spore number of the two strains, and adding it before culturing also did not impact bacterial growth or spore formation. In the field trials, it was found that the combination of Tcb45 and diatomaceous earth was most effective in promoting green onion growth, significantly increasing the fresh weight of aboveground parts (2.15 times), plant height (1.3 times), and white pseudostem width (1.51 times) compared to the control group. The sole application of Tcb45 did not significantly increase the fresh weight of aboveground parts, only increasing the white pseudostem width by 1.26 times. The separate use of Tcba05 and diatomaceous earth showed no significant difference compared to the control, but their combined irrigation increased the white pseudostem width of the green onions by 1.41 times. In summary, the use of Tcb45 microbial fertilizer product combined with diatomaceous earth demonstrates the ability to promote green onion growth, which can serve as a suggestion for green onion farmers.

Keywords: Plant growth promoting rhizobacteria, *Bacillus amyloliquefaciens*, Green onion

¹ Contribution No. 1116 from Taichung DARES, MOA.

² Research assistant of Taichung DARES, MOA.

³ Associate Researcher of Taichung DARES, MOA.

* Corresponding Author: Chien-Chih Kuo, Email: kuocc@tcdares.gov.tw

