

# 應用微生物緩解作物乾旱逆境研究

朱盛祺<sup>1\*</sup>、林鈺荏<sup>2</sup>、蔡正賢<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 農業部苗栗區農業改良場作物環境科副研究員兼科長。

<sup>2</sup> 農業部苗栗區農業改良場作物環境科助理研究員。

<sup>3</sup> 農業部苗栗區農業改良場作物環境科副研究員。

\* 7124@mdares.gov.tw

## 摘要

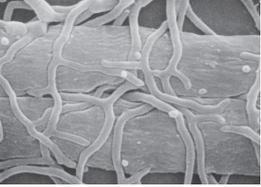
隨著全球氣候變遷的加劇，乾旱成爲威脅糧食安全的重要因素。根據IPCC報告，全球氣候變暖將導致更多極端氣象災害，尤其是乾旱現象對糧食生產的威脅日益加重。未來全球人口將突破90億，糧食產量需提高近50%才能滿足需求，提升作物抗旱能力成爲全球農業的重要課題。植物在應對乾旱逆境中進化出多種適應機制，如形態、生理、生化和分子水平的調整。然而，這些機制在面對嚴重乾旱時仍顯不足，探索新的抗旱策略至關重要。近年來，植物根圈微生物在乾旱逆境中的作用受到重視，這些微生物能影響植物與土壤環境的互動，促進養分吸收、調節免疫反應、提高生產力和抗逆性等，幫助植物應對乾旱逆境。研究表明，乾旱條件下根圈微生物的多樣性、組成和結構會發生變化，這些變化對植物抗旱性有深遠影響。通過了解微生物與植物的互動機制，改善土壤結構和保水能力，科學家希望找到提高作物抗旱性的新方法，例如微生物菌劑和土壤改良劑的應用，這些技術的進步爲緩解作物乾旱逆境提供新的思路和解決方案。然而，微生物技術在提升植物抗旱性中的應用仍面臨挑戰，包括理解微生物與植物的互作機制、提高菌劑效能和穩定性、進行環境風險評估等。未來研究應聚焦於這些問題，確保微生物技術在農業中的應用真正有效，爲保障全球糧食安全做出貢獻。

**關鍵字：**氣候變遷、抗旱能力、根圈微生物、糧食安全、微生物技術

## 前言

隨著全球氣候變遷的加劇，乾旱成爲威脅糧食安全的重要因素。根據聯合國政府間氣候變化專門委員會 (IPCC) 的第六次評估報告，全球氣候正在變暖(Bates *et al.*, 2020)，這將導致未來極端氣象災害的頻發和嚴重化，尤其是大範圍的持續乾旱現象已對全球糧食生產造成了嚴重威脅。在這樣的背景下，到

2050年，全球人口預計將突破90億，糧食產量必須提高近50%才能滿足人們的基本需求。面對如此嚴峻的挑戰，如何提高作物的抗旱能力，確保糧食供應的穩定性，成爲全球農業面臨的重大任務。植物在應對乾旱逆境的過程中，已經進化出多種適應機制，包括形態、生理、生化及分子水平的調整。例如，植物通過捲曲葉片、關閉氣孔來降低蒸騰速率，增加根系的深度和粗度以提高水分



吸收，或通過植物激素調節自身加速開花以縮短生命週期等。這些機制為抗旱育種提供了重要的科學依據。然而，儘管植物可以通過這些機制在一定程度上應對乾旱，但乾旱帶來的挑戰仍然相當巨大。近年來，研究發現植物根圈微生物在乾旱逆境下的作用越來越受到重視。植物根圈是植物與土壤微環境之間的關鍵界面，根圈微生物不僅影響植物與土壤環境之間的相互作用，還在促進植物養分吸收、調節植物免疫應答、提高植物生產力和抗逆性等方面發揮著重要作用。微生物能夠通過增強土壤水分保持能力、提高植物水分利用效率、促進植物生長等多種機制來幫助植物應對乾旱逆境 (Liu *et al.*, 2020)。

目前，針對植物乾旱逆境的研究不僅關注植物本身的生理適應，還越來越多地關注植物與根圈微生物組的相互作用。研究表明，根圈微生物的多樣性、組成及結構在乾旱條件下會發生變化，並且這些變化可能對植物的抗旱性產生深遠的影響。通過探索微生物如何與植物根系互動，如何改善土壤結構和水分保持能力，科學家們希望能夠找到提高作物抗旱性的新途徑。在此背景下，微生物在農業生產中的應用技術也在不斷發展。例如，通過微生物菌劑的開發和應用，可以增強作物的抗旱能力；通過開發土壤改良劑，能夠改善土壤的水分保持能力和微生物多樣性；通過種子處理技術，可以引導有益微生物進入植物根系，從而提高作物的抗逆性。這些技術的進步為緩解作物乾旱逆境提供了新的思路和解決方案 (Cheng *et al.*, 2020)。然而，利用微生物來解決乾旱問題仍面臨挑戰。如何深入理解微生物與作物的互作機制，如何提高微生物菌劑的效能和穩定性，如何進行環境風險評估等問題仍需進一步研究。未來的研究方向應聚焦於這些問題，以確保微生物技術在農業中的應用能夠

真正有效地提高作物的抗旱能力，並為全球糧食安全做出貢獻。綜合以上所述，乾旱是全球農業面臨的重大挑戰之一，而根圈微生物在應對乾旱逆境中的作用為我們提供了新的研究視角和應用機會。通過深入研究微生物與植物的互作機制，探索和開發新的微生物應用技術，我們有望在未來的農業生產中實現更高的抗旱能力和更穩定的糧食供應。這將對應對氣候變化帶來的挑戰、保障全球糧食安全具有重要意義。

### 乾旱逆境對根圈微生物的影響

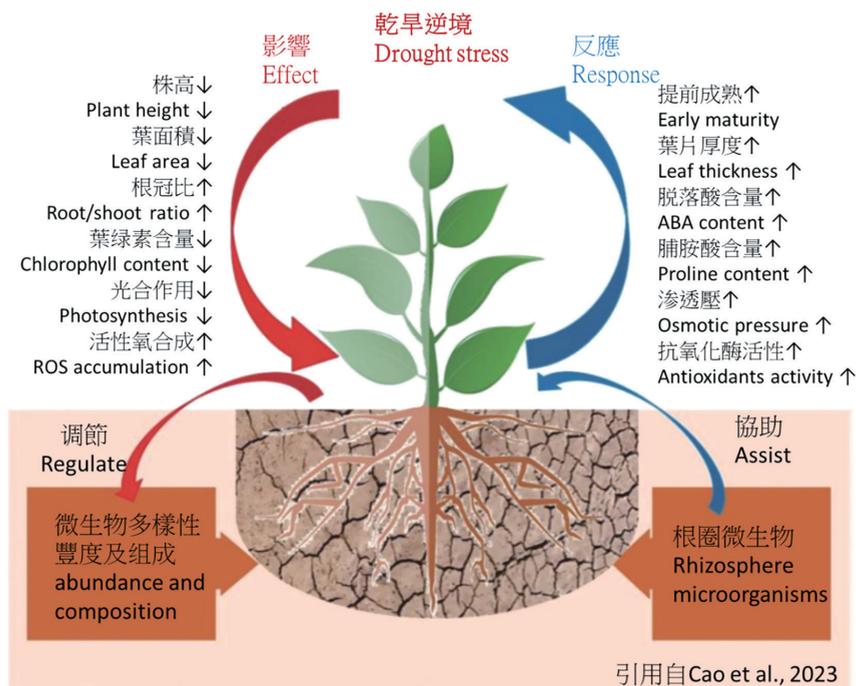
乾旱逆境對植物根圈微生物群落的影響主要體現在細菌和真菌群落的多樣性、組成及代謝活性上。隨著全球氣候變暖及降水變化導致土壤含水量下降，微生物資源的開發與利用也受到影響。研究顯示，長期缺水會迫使微生物適應，而嚴重乾旱會導致微生物死亡。乾旱逆境下，植物根圈微生物群落的多樣性、組成及代謝活性均發生變化。乾旱會改變植物根圈細菌群落多樣性，整個細菌群落表現出有利於革蘭氏陽性菌的富集，這是因為革蘭氏陽性菌細胞壁中較厚的肽聚糖使其在乾旱逆境下具有更強耐性。一些革蘭氏陽性菌如放線菌 (Actinobacteria) 具有形成孢子的能力，可以在乾旱下生長良好 (Breitkreuz *et al.*, 2021)。研究發現，乾旱會觸發放線菌核糖體的合成，使其在乾旱逆境下迅速增加，並且在多種植物如高粱 (*Sorghum bicolor*)、水稻 (*Oryza sativa*)、小麥 (*Triticum aestivum*) 等的根圈中，放線菌和厚壁菌 (Firmicutes) 的相對豐度均增加。相反，酸桿菌門 (Acidobacteria) 細菌的相對豐度在乾旱逆境下呈降低趨勢，這可能與其對土壤碳氮比變化較為敏感有關。相比於細菌群落，真菌群落在乾旱逆境下的多樣性變化較小，且

保持較高水平。研究顯示，乾旱逆境下，植物根圈真菌的豐富度和均勻度增加，而細菌則相反。真菌的存在能夠通過多種機制，如滲透壓、厚細胞壁和黑色素等，來應對乾旱逆境(Kumar *et al.*, 2018)。乾旱逆境下，根圈病原真菌的豐度會增加，可能給植物帶來土傳病害的威脅；與此同時，叢枝菌根真菌（arbuscular mycorrhiza fungi, AMF）的相對豐度在缺水環境中增加，並通過其菌絲網絡主導根部周圍的土壤真菌群落，幫助植物提取水分，提高其耐受水分逆境的能力。總的來說，微生物在自然界中無處不在，通過多種途徑應對乾旱等環境壓力。多種微生物具有耐旱優勢，如細菌中的放線菌和厚壁菌以及真菌中的AMF等在乾旱逆境下富集，成為關鍵的逆境響應參與者。根圈微生物通過不

同機制提高植物對乾旱逆境的抵抗力，促進其生長，在宿主適應不斷變化的環境中起著重要作用。

### 微生物緩解作物乾旱逆境之作用機制

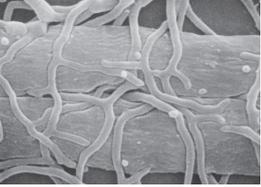
根圈微生物可通過多種途徑協助植物抵禦乾旱逆境。研究表明，根圈微生物比其他位置的微生物更加活躍，並能給予植物更多有益的服務。根圈微生物區系包括細菌、真菌、原生動物、微型藻類、卵菌及病毒等，這些微生物可以通過多種機制刺激植物生長，介導宿主植物響應乾旱逆境，進而提高植物對乾旱逆境的抵抗力。其中，植物根圈促生菌（PGPB）和根圈促生真菌（PGPF）在植物抗旱性中的作用尤為突出(圖一)。



圖一、根圈微生物影響植物因應乾旱逆境的模式圖。

Fig 1. Model of how rhizosphere microorganisms influence plant response to drought stress.

ROS: 活性氧; ABA: 離層酸。 “↑” 表示升高, “↓” 表示降低。 ROS: reactive oxygen species; ABA: abscisic acid. “↑” indicates increase, “↓” indicates reduction.



### (一) 根圈促生細菌 (PGPB) 對植物抗旱性的影響

PGPB 通過多種機制提高宿主植物耐受乾旱逆境的能力，主要包括合成植物生長調節因子、產生ACC脫氨酶、增強植物抗氧化酶活性和產生細菌胞外多糖等。

#### 1. 合成植物生長調節因子

PGPB 可合成脫落酸 (ABA)、赤霉素、吲哚-3-乙酸 (IAA) 等植物激素來協助植物抵禦乾旱逆境。這些激素可促進植物根系生長，提高水分吸收能力。研究顯示，玉米、小麥、馬鈴薯等作物接種能合成IAA的PGPB後，根系生長均有所增加，從而提高了水分吸收能力。巴西固氮螺菌 (*Azospirillum* spp.) 和蘇雲金芽孢桿菌 (*Bacillus thuringiensis*) 通過合成IAA，促進植物根系生長，增加葉片含水量和光合作用速率，從而提高植物耐旱能力 (Armada *et al.*, 2014)，枯草芽孢桿菌LDR2 (*B. subtilis*) 提高了小麥在乾旱逆境下的光合速率，提高小麥抵禦乾旱能力，這與IAA含量增加有關 (Barnawal *et al.*, 2017)。

#### 2. 降低植物根部乙烯含量

乙烯是植物面對乾旱逆境時大量分泌的一種激素，過量的乙烯會抑制植物生長。PGPB 可通過產生ACC脫氨酶分解乙烯前體物質ACC，降低乙烯濃度。研究發現，接種了產ACC脫氨酶的細菌可顯著提高植物在乾旱逆境下的生長和發育能力，如小麥、豌豆、蠶豆等作物的根長和水分吸收能力顯著提高，乙烯排放量顯著降低 (Khan & Singh, 2021)。

#### 3. 增強植物抗氧化酶活性

乾旱逆境下植物會過度產生活性氧，PGPB 可通過增加植物抗氧化酶活性來減少活性氧的危害。接種PGPB 可顯著提高

植物抗氧化酶活性，減少乾旱逆境引起的氧化損傷，如甘草、水稻和玉米等植物接種PGPB後，其抗氧化酶活性顯著增加，抗氧化能力提升 (Ma *et al.*, 2022)。

#### 4. 產生細菌胞外多糖

PGPB 可通過產生胞外多糖來提高植物抵禦乾旱逆境的能力。胞外多糖可保護細菌免受乾旱損害，並促進植物在乾旱條件下的水分和養分吸收。研究表明，接種產胞外多糖的根瘤菌、芽孢桿菌和假單胞菌可顯著提高植物在乾旱條件下的生長和耐旱性 (Sandhya *et al.*, 2009)。

### (二) 根圈促生真菌 (PGPF) 對植物抗旱性的影響

PGPF 是一組自由生活在根圈土壤中的非致病性絲狀真菌，能夠促進植物生長。PGPF 通過分泌植物激素、增加抗氧化酶活性、合成鐵載體和積累可溶性糖和脯氨酸等方式來調節植物抗旱性 (Hidangmayum *et al.*, 2018)。

#### 1. 植物激素合成

PGPF 可合成IAA和赤霉素等植物激素，促進植物生長。研究發現，接種曲霉菌和青霉菌可顯著提高小麥、黃瓜等作物的生長和抗旱性，增強植物的耐旱能力。

#### 2. 增強抗氧化酶活性

PGPF 可通過增加植物抗氧化酶活性來減少乾旱逆境引起的氧化損傷。接種PGPF 可顯著提高植物抗氧化酶活性和滲透物質積累，增強植物抗旱性。例如，接種青霉菌可顯著提高旱稻的抗氧化酶活性，增加可溶性糖和脯氨酸含量，增強植物耐旱性。

#### 3. 叢枝菌根真菌 (AMF)

AMF 與約80%的陸地植物存在共生互惠關係，可通過擴大根系範圍、直接吸

收水分、增加根系生長、改善抗氧化酶活性和提高磷營養吸收能力來提高植物抗旱性。研究表明，接種AMF可顯著提高大豆、秋葵等作物的水分利用效率和抗旱性，增加植物生物量和抗氧化酶活性(Jaborva *et al.*, 2021)。

根圈微生物通過多種機制調節植物對乾旱逆境的響應，在提高植物的耐旱性中發揮了重要作用。PGPB和PGPF通過合成植物激素、產生ACC脫氨酶、增加抗氧化酶活性和產生胞外多糖等途徑促進植物生長，增強植物耐旱能力。叢枝菌根真菌(AMF)通過擴大根系範圍、直接吸收水分和提高磷營養吸收能力等方式改善植物抗旱性。這些研究為利用微生物技術提高植物耐旱性提供了重要數據支持。

### 土壤特性對作物耐乾旱逆境的影響

土壤特性對作物耐乾旱逆境有著重要影響。乾旱是造成作物產量減少的主要因素之一，尤其是在高溫和土壤水分不足的條件下，土壤中的微生物活性降低，硝化作用不強，導致銨離子累積，對作物根部有毒害。特別是番茄、菜豆和瓜類對銨離子非常敏感。塑膠膜敷蓋雖然能提升土壤溫度，但也可能加劇乾旱逆境。為了應對這些挑戰，提高土壤中硝化菌的活性是有效的方法之一。有機質肥料可以提升硝化作用，從而減少銨離子的有害影響。此外，植物有益微生物(PGPR)如*Azospirillum spp.*和*Bacillus amyloliquefaciens*，能提高植物的耐鹽、耐熱和耐旱能力，從而幫助作物在逆境中生長。研究發現，土壤磷含量對植物在乾旱條件下的反應非常關鍵，磷在乾旱條件下的作用，調節水分平衡，磷有助於調節氣孔開閉，減少水分流失，提高植物的水分利用效率；磷促進根系的生長和延伸，使植物能夠更深入

地吸收水分和養分；磷也可幫助提高抗氧化酶(如過氧化物酶、超氧化物歧化酶等)的活性，減少乾旱引起的氧化損傷，適當的磷管理和利用抗旱作物能提高乾旱期間的作物產量。執行合理施肥，適時適量地施用磷肥，避免磷過量或不足，保證植物能夠充分利用土壤中的磷，改良土壤結構，增加土壤有機質含量，提高土壤保水保肥能力，促進磷的有效性(Cao *et al.*, 2023)。

### 蚯蚓糞肥對作物耐乾旱逆境的作用

蚯蚓糞肥(vermicompost)是由蚯蚓通過消化有機物質後排出的糞便，富含植物所需的多種營養元素和有益微生物。這些特性使其在提高作物抗乾旱能力方面有著顯著的作用(Ahmad *et al.*, 2024)。

#### 1. 提高土壤保水能力

蚯蚓糞肥能改善土壤結構，使土壤變得更疏鬆多孔，增加土壤的保水能力，從而在乾旱條件下提供作物穩定的水源。

#### 2. 增強植物根系發展

蚯蚓糞肥中的營養物質和生長激素能促進植物根系的生長，使其更深更廣地延伸，提高吸水和吸收養分的能力，有助於作物在乾旱時期的生長。

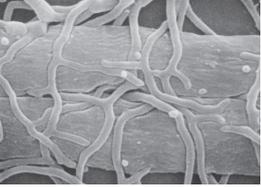
#### 3. 改善土壤微生物環境

蚯蚓糞肥含有豐富的有益微生物，這些微生物能提高土壤的肥力和生物活性，促進養分的分解和釋放，使植物在逆境中能夠更好地利用土壤中的養分。

#### 4. 提高作物抗氧化能力

蚯蚓糞肥中含有多種抗氧化酶和生物活性物質，這些物質能提高植物的抗氧化能力，減少乾旱條件下的氧化應激反應，保護植物細胞。

研究顯示，蚯蚓糞肥的使用可以顯著提高作物的抗旱性。例如，一些研究指出，在



使用蚯蚓糞肥後，作物的水分利用效率和耐旱性顯著提高，作物的生長和產量也有明顯改善，蚯蚓糞肥通過改良土壤性質、促進根系發展、增加土壤微生物活性和提高植物抗氧化能力，有效提升了作物在乾旱條件下的生長和抗旱能力(Edwards & Bohlen, 2022)。

### 討 論

隨著全球氣候變遷加劇，乾旱成爲威脅糧食安全的重要因素之一。根據IPCC的報告，全球氣候變暖將導致更多極端氣象災害，特別是乾旱現象將對糧食生產造成嚴重威脅。未來，全球人口將突破90億，糧食產量需提高近50%以滿足需求，因此提高作物抗旱能力是全球農業的重要任務。植物在乾旱逆境中進化出多種適應機制，如調整形態、生理、生化和分子水平的反應。然而，這些機制在面對嚴重乾旱時仍不足以完全應對，因此探索新的抗旱策略至關重要。近年來，植物根圈微生物在乾旱逆境中的作用受到重視。根圈微生物通過影響植物與土壤環境的互動，促進養分吸收、調節免疫反應、提高生產力和抗逆性等方面，幫助植物應對乾旱逆境。研究表明，根圈微生物在乾旱條件下的多樣性、組成和結構會發生變化，這些變化對植物抗旱性有深遠影響。通過了解微生物如何與植物互動，改善土壤結構和保水能力，科學家們希望找到提高作物抗旱性的新方法。例如，微生物菌劑和土壤改良劑的應用能增強作物抗旱能力，提高土壤水分保持和微生物多樣性。這些技術的進步爲緩解作物乾旱逆境提供了新的思路和解決方案。

微生物技術在提高植物抗旱性中的應用面臨挑戰，如理解微生物與植物的互作機制、提高菌劑效能和穩定性、進行環境風險評估等。未來研究應聚焦於這些問題，確保

微生物技術在農業中應用有效，真正提高作物抗旱能力，保障全球糧食安全。乾旱逆境對植物根圈微生物群落的影響主要表現在細菌和真菌群落的多樣性、組成及代謝活性上。長期缺水會導致微生物適應或死亡。乾旱改變植物根圈細菌群落，特別是有利於革蘭氏陽性菌和放線菌的富集。相比之下，酸桿菌門細菌在乾旱下減少。真菌群落在乾旱條件下的多樣性變化較小，保持較高水平，特別是叢枝菌根真菌 (AMF) 在乾旱下增加，幫助植物提高耐旱性。根圈促生細菌 (PGPB) 和根圈促生真菌 (PGPF) 在提高植物抗旱性中起重要作用。PGPB通過合成植物激素、產生ACC脫氨酶、增強抗氧化酶活性和產生胞外多糖等機制提高植物耐旱能力。PGPF通過分泌植物激素、增加抗氧化酶活性、合成鐵載體和積累可溶性糖和脯氨酸等方式提高植物耐旱性。叢枝菌根真菌 (AMF) 通過擴大根系範圍、直接吸收水分和提高磷營養吸收能力等方式改善植物抗旱性。土壤特性對作物耐乾旱逆境有重要影響。乾旱會導致硝化作用不強、銨離子累積，對作物根部有害。改善土壤結構、提高土壤有機質含量和微生物活性是有效應對方法。蚯蚓糞肥通過改良土壤結構、促進根系發展、增加土壤微生物活性和提高植物抗氧化能力，有效提升作物抗旱能力。綜上所述，根圈微生物在應對乾旱逆境中的作用爲農業提供了新的研究視角和應用機會。深入研究微生物與植物的互作機制，探索新的微生物應用技術，將有助於提高作物抗旱能力，保障全球糧食安全。

### 參考文獻

1. Ahmad, A., Aslam, Z., Ahmad, M., Zulfiqar, U., Yaqoob, S., Hussain, S., Niazi, N. K., ul din, K., Gastelbondo, M., Al-Ashkar, I., Elshikh, M. S. 2024. Vermicompost application

- upregulates morpho-physiological and antioxidant defense to conferring drought tolerance in wheat. *Plant Stress* 11, 22. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2024.100360>
2. Armada, E., Roldan, A., Azcon, R. 2014. Differential activity of autochthonous bacteria in controlling drought stress in native *Lavandula* and *Salvia* plants species under drought conditions in natural arid soil. *Microb. Ecol.* 67(2), 410-420.
  3. Barnawal, D., Bharti, N., Pandey, S. S. 2017. Plant growth promoting rhizobacteria enhance wheat salt and drought stress tolerance by altering endogenous phytohormone levels and TaCTR1/TaDREB2 expression. *Physiol. Plant.* 161(4), 502-514.
  4. Bates, B., Kundzewicz, W., Wu, S. 2020. Climate change and water. The United Nations World Water Development Report 2020. pp.1-235 <https://www.unwater.org/publications/un-world-water-development-report-2020>
  5. Breitzkreuz, C., Herzig L., Buscot, F. 2021. Interactions between soil properties, agricultural management and cultivar type drive structural and functional adaptations of the wheat rhizosphere microbiome to drought. *Environ. Microb.* 23(10), 5866-5882.
  6. Cao, Y. J., Zhao M. C., Zheng, C. Y., Zhu, F. 2023. Rhizosphere microorganisms-mediated plant responses to drought stress. *J. Eco-Agric.* 31(8), 1330-1342. doi: 10.12357/cjea.20230127
  7. Cheng, S. S., Gong, X., Xue, W. F., Wan B. B., Liu, M. Q., Feng, H. U. 2020. Plant-microbiome interactions: an evolutionary perspective. *Biotech. Bull.* 36(9), 3-13. doi: 10.13560/j.cnki.biotech.bull.1985.2020-0978
  8. Edwards, C. A., Bohlen, P. J. 2022. Biology and ecology of earthworms. Springer Science & Business Media. (Vol. 3). pp. 426. doi: 10.1007/978-0-387-74943-3
  9. Hidangmayum, A., Dwivedi, P. 2018. Plant Responses to *Trichoderma* spp. and their Tolerance to Abiotic Stresses: a review. *J. Pharmacogn. Phytochem.* 7(1), 758-766.
  10. Jabborva, D., Annapurna, K., Al-sadi, A. M. 2021. Biochar and Arbuscular mycorrhizal fungi mediated enhanced drought tolerance in okra (*Abelmoschus esculentus*) plant growth, root morphological traits and physiological properties. *Saudi J. Biol. Sci.* 28(10), 5490-5499.
  11. Khan, A., Singh, A. V. 2021. Multifarious effect of ACC deaminase and EPS producing *Pseudomonas* sp. and *Serratia marcescens* to augment drought stress tolerance and nutrient status of wheat. *World J. Microb. Biotech.* 37(12), 198.
  12. Kumar, A., Verma, J. P. 2018. Does plant - Microbe interaction confer stress tolerance in plants: a review. *Microbiol Res.* 207, 41-52.
  13. Liu, H. W., Laura, E. B., Zhiguang, Q., Brajesh, K. S. 2020. Microbiomemediated stress resistance in plants. *Trends Plant Sci.* 25(8), 733-743. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2020.03.014>
  14. Ma, X., Xu, Z. C., Lang, D. Y. 2011. Comprehensive physiological, transcriptomic, and metabolomic analyses



reveal the synergistic mechanism of *Bacillus pumilus* G5 combined with silicon alleviate oxidative stress in drought-stressed *Glycyrrhiza uralensis* Fisch. Front. Plant Sci. 13, 1033915.

15. Sandhya, V., Ali, S. Z., Grover, M.

2009. Alleviation of drought stress effects in sunflower seedlings by the exopolysaccharides producing *Pseudomonas putida* strain GAPP45. Biol. Fertil. Soils 46(1), 17-26.

# The Study on the Application of Microorganisms to Alleviate Drought Stress in Crops

Sheng-Chi Chu<sup>1\*</sup>, Yu-Ren Lin<sup>2</sup> and Jeng-Hsien Tsai<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Associate Researcher and Chief, Crop Environment Section, Miaoli District Agricultural Research and Extension Station, Ministry of Agriculture, Miaoli, Taiwan, ROC.

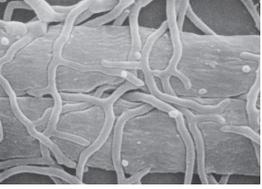
<sup>2</sup> Assistant Researcher, Crop Environment Section, Miaoli District Agricultural Research and Extension Station, Ministry of Agriculture, Miaoli, Taiwan, ROC.

<sup>3</sup> Associate Researcher, Crop Environment Section, Miaoli District Agricultural Research and Extension Station, Ministry of Agriculture, Miaoli, Taiwan, ROC.

\* Corresponding author, e-mail: 7124@mdares.gov.tw

## ABSTRACT

As global climate change intensifies, drought has become a significant threat to food security. According to the IPCC report, global warming is expected to increase the frequency and severity of extreme weather events, with drought posing a growing threat to food production. With the global population projected to exceed 9 billion by 2050, food production must increase by nearly 50% to meet demand, making improving crop drought resistance a crucial task for global agriculture. While plants have evolved various mechanisms to cope with drought, such as morphological, physiological, biochemical, and molecular adjustments, these mechanisms are often insufficient in severe drought conditions. Therefore, exploring new drought-resistant strategies is essential. Recent research highlights the role of root-zone microorganisms in drought conditions. These microorganisms influence the interaction between plants and soil, promoting nutrient absorption, regulating immune responses, and enhancing productivity and stress resistance, thus helping plants cope with drought stress. Studies show that drought conditions alter the diversity, composition, and structure of root-zone microbial communities, which can profoundly affect plant drought resistance. By understanding the interactions between microorganisms and plants and improving soil structure and water retention, scientists hope to discover new methods to enhance crop drought resistance, such as the use of microbial inoculants and soil amendments. These technological advances offer new ideas and solutions for mitigating crop drought stress. However, the application of microbial technologies to enhance plant drought resistance still faces challenges, including understanding the interaction mechanisms between microorganisms and plants, improving the efficacy and stability of inoculants, and conducting environmental risk



assessments. Future research should focus on these issues to ensure that microbial technologies effectively enhance crop drought resistance and contribute to global food security.

**Keywords:** Climate change, Drought resistance, Rhizosphere microorganisms, Food security, Microbial technology