

PENINGKATAN PERTUMBUHAN DAN HASIL SAWI HIJAU (*BRASSICA CHINENSIS*) OLEH BAKTERI FOTOSINTETIK DALAM KONDISI LAPANGAN

Yovi Avianto

Faculty of Agriculture, Institut Pertanian STIPER Yogyakarta
yovi@instiperjogja.ac.id

ABSTRAK

In the 21st century, there has been a gradual shift in agricultural practices towards embracing organic concepts and harnessing the potential of beneficial bacteria to amplify crop production. Simultaneously, there is a heightened public awareness concerning the significance of integrating leafy vegetables into diets. A promising avenue to address these evolving concerns involves the adoption of photosynthetic bacteria as biofertilizers. This study sought to examine the extent to which pak choy plant yield is enhanced through the supplementation of photosynthetic bacteria (PSB). Furthermore, the investigation aimed to elucidate the underlying mechanisms by which photosynthetic bacteria contribute to the growth of mustard green plants and determine the optimal PSB dosage to achieve maximal production. Conducted between November and December 2022 at the Biotech Botanical Garden, the research employed a complete randomized block design incorporating various PSB treatment levels, including no PSB spray, a 10 mL/L dosage, a 50 mL/L dosage, and a 100 mL/L dosage. An array of growth indicators such as plant height, leaf count, leaf width, root length, fresh and dry shoot weight, fresh and dry root weight, relative water content, and consumption index, were meticulously observed. The study revealed noteworthy alterations in improved growth and yield (consumption index). The optimal PSB dosage, identified to maximize pak choy plant production, was determined to be 67.25 mL/L.

Keyword: aminolevulinic acid, biofertilizers, consumption index, leafy vegetables, NUE.

PENDAHULUAN

Menurut penilaian PBB baru-baru ini, populasi perkotaan global diperkirakan akan meningkat dari 53% pada tahun 2020 menjadi 70% pada tahun 2050. Pada saat yang sama, total populasi dunia diperkirakan akan mencapai 9,8 miliar pada periode ini. Pergeseran demografis ini menimbulkan implikasi signifikan terhadap sistem pertanian pangan, sehingga memerlukan peningkatan produksi pangan untuk menopang pertumbuhan penduduk perkotaan (FAO, 2022). Pola pikir masyarakat juga sudah berubah dari seberapa banyak jumlah pangan yang dibutuhkan, menjadi bagaimana meningkatkan keberagaman dan kualitas pangan. Salah satu kualitas yang dibutuhkan masyarakat saat ini adalah serat

bermanfaat, antioksidan, pewarna alami, mineral, dan vitamin dari sayuran berdaun (Prior & Cao, 2000).

Meningkatnya konsumsi sayur-sayuran mencerminkan peningkatan pendapatan konsumen, keinginan terhadap variasi makanan, dan peningkatan kesadaran akan manfaat nutrisi. Saat ini, konsumen menjadi semakin waspada terhadap masalah keamanan produk. Promosi produk nabati yang berorientasi kesehatan sejalan dengan meningkatnya fokus konsumen pada manfaat fungsional makanan (Ramya & Patel, 2019). Saat ini, pertanian secara bertahap mendekati metode organik dan berorientasi mikroba yang bermanfaat untuk mengatasi tantangan ini (Yadav et al., 2018). Salah satu penerapan pertanian berkelanjutan yang banyak diterapkan adalah pemanfaatan bakteri menguntungkan sebagai pupuk hayati, baik pada aplikasi tanah maupun daun.

Bakteri Fotosintetik (PSB) merupakan bakteri fototrofik yang mampu melakukan fotosintesis baik secara oksigen maupun non-oksigen (Lee et al., 2021). Bakteri fotosintetik tersebar luas, umumnya pada ekosistem perairan seperti danau, laut, sungai, sedimen, tanah lembab, dan lingkungan dengan salinitas tinggi (Takeuchi & Numata, 2019). Jenis bakteri fotosintetik yang banyak dikembangkan adalah *Rhodobacter sphaeroides* dan *Rhodopseudomonas palustris*. Kemampuan kedua bakteri ini disebabkan oleh kandungan alat pigmennya, baik klorofil, karotenoid maupun turunannya. PSB mampu tumbuh pada lingkungan aerobik dan anaerobik serta mampu memanfaatkan bahan organik dan anorganik untuk mensuplai N_2 dan CO_2 (George et al., 2020).

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa pengaplikasian PSB dapat meningkatkan ketahanan tanaman terhadap cekaman abiotik, seperti: salinitas pada tanaman jagung (Feng et al., 2019); salinitas pada tanaman kacang-kacangan (Talaat, 2019) dan cekaman banjir pada tanaman kedelai (Kang et al., 2021). Beberapa jenis PSB yang juga berperan sebagai PGPR yang mampu menghasilkan metabolit sekunder lainnya seperti lipopeptida, siderofor, dan bahan polimer ekstraseluler (EPS) yang mampu menekan patogen jamur (Andreolli et al., 2019; Faria et al., 2020).

Penerapan bakteri fotosintetik pada tanaman sayuran daun telah banyak dilakukan. Hsu et al., (2015) melakukan percobaan penambahan bakteri *Rhodopseudomonas palustris* menjadi nutrisi hidroponik untuk menanam tanaman sawi hijau, sawi putih dan selada. Dampak penambahan bakteri tersebut adalah peningkatan hasil bobot segar dan penurunan kandungan nitrat dalam jaringan tanaman. Penerapan *Rhodopseudomonas palustris* pada tanah dengan input pupuk rendah juga menunjukkan peningkatan hasil yang signifikan (Wong et al., 2014). Penerapan inokulan PS3 secara konsisten, dengan dosis sekitar $4,0 \times 10^{-6}$ unit pembentuk koloni per gram tanah, setara dengan setengah jumlah pupuk konvensional, menghasilkan potensi pertumbuhan tanaman yang sebanding dengan yang dicapai dengan kesuburan 100%. Selain itu, pendekatan ini meningkatkan efisiensi pemanfaatan nitrogen dari nutrisi pupuk yang diterapkan. Penelitian lain pada tanaman bayam dan sawi menunjukkan peningkatan hasil yang signifikan setelah aplikasi *Rhodobacter sphaeroides* (Kondo dkk., 2008).

Dari literatur yang ada, belum pernah dilakukan penelitian terhadap tanaman sayuran daun khususnya sawi hijau pada tanah dengan kondisi optimal. Oleh karena itu, tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui seberapa besar peningkatan hasil tanaman sawi hijau setelah aplikasi bakteri fotosintetik, dan berapa dosis bakteri fotosintetik yang optimal sehingga dapat menghasilkan produksi tanaman sawi hijau yang maksimal.

METODE

Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan November – Desember 2022 di Kebun dan Pusat Penelitian Bioteknologi, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta, Indonesia (7° 41' 50.409" LS, 110° 23' 10.4886" BT, ketinggian 412 meter di atas permukaan laut). Benih sawi hijau disemai terlebih dahulu selama 2 minggu di nampan semai dengan komposisi tanah: pupuk kandang: sekam sangrai 1:2:1. Sementara itu, bedengan penelitian berukuran 1 m x 10 m juga disiapkan dengan menggunakan pupuk dasar yang sama dan pupuk tambahan untuk semua perlakuan. Setelah berumur 2 minggu, bibit sawi hijau yang pertumbuhannya seragam dipilih dan dipindahkan ke bedengan. Dalam 1 bedengan terdapat 72 tanaman sawi hijau. Untuk 1 kali perawatan dibutuhkan 2 bedengan dengan jumlah tanaman sebanyak 144 tanaman. Jadi, untuk 4 kali perlakuan diperlukan 576 tanaman sawi hijau. Setiap perlakuan diambil 10 sampel tanaman sawi hijau sehingga total tanaman sampel berjumlah 40 tanaman.

Pengumpulan Data Pertumbuhan

Tanaman sawi hijau ditanam dalam waktu 1 bulan setelah pindah tanam. Pada periode ini tidak dilakukan pengurangan jumlah daun. Pengendalian hama dan penyakit secara rutin dilakukan secara manual tanpa pestisida. Data pertumbuhan yang diambil adalah tinggi tanaman, jumlah daun, dan lebar daun nomor 5 (tengah tajuk). Pada umur HSPT 30 dilakukan pengamatan panjang akar primer, bobot segar pucuk, dan bobot segar akar sampel. Kemudian sampel dimasukkan ke dalam oven bersuhu 100°C untuk ditimbang berat kering pucuk dan akar serta dihitung kadar airnya.

Pengukuran Kadar Air Nisbi

Kadar air jaringan diukur dengan menggunakan metode (Smart & Bingham, 1974) pada saat tanaman dipanen (30 HSPT). Sebanyak 1 lembar daun sawi hijau diambil dari bagian tengah tajuk dan ditimbang bobot segarnya. Kemudian daun tersebut direndam dalam wadah berisi air hingga terendam seluruhnya selama 24 jam. Daun ditiriskan dan ditimbang hingga berat turgid. Kemudian daun dimasukkan ke dalam oven selama 24 jam pada suhu konstan 85 °C dan ditimbang berat keringnya. Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\text{RWC (\%)} = (\text{Berat Segar} - \text{Berat Kering}) / (\text{Berat Turgid} - \text{Berat Kering}) \times 100$$

Analisis data

Data yang diperoleh dianalisis dengan analisis varian dilanjutkan dengan HSD Tukey apabila terdapat perbedaan nyata antar aplikasi bakteri fotosintetik. Untuk variabel indeks konsumsi divisualisasikan menggunakan analisis regresi untuk mengukur dosis optimum bakteri fotosintetik. Proses analisis data ini dilakukan dengan menggunakan bantuan perangkat lunak R-software dan R-studio versi 4.3.0.

HASIL PEMBAHASAN

Hasil

Tabel 1. menunjukkan pengaruh penerapan PSB terhadap pertumbuhan tanaman sawi hijau. Tidak terdapat pengaruh nyata PSB terhadap variabel tinggi tanaman dan panjang akar primer sawi hijau. Sedangkan jumlah daun terbanyak ditunjukkan pada perlakuan 50 mL/L yaitu 16 per tanaman. Pada perlakuan 10 mL/L (15) dan kontrol (14,33) tidak terdapat perbedaan namun nyata pada perlakuan 100 mL/L (11,33). Berdasarkan tabel 1 variabel lebar daun dipengaruhi oleh dosis PSB dimana dosis 50 mL/L meningkatkan lebar daun tanaman sawi hijau menjadi 12,63 cm dan perlakuan ini berbeda nyata dengan perlakuan lainnya.

Berdasarkan tabel 2. Berat segar tajuk tertinggi terdapat pada tanaman sawi hijau yang diberi perlakuan PSB 50 mL/L (233,27 g), dilanjutkan dengan perlakuan 100 mL/L (135 g). perlakuan 10 mL/L (95 g) dan kontrol (74,83 g). Pola yang sedikit berbeda ditunjukkan pada variabel berat kering tajuk dimana tanaman sawi hijau yang mempunyai berat kering tertinggi diperoleh pada pemberian PSB dengan dosis 50 mL/L (11,13 g) diikuti kontrol (8,73 g).), dosis 10 mL/L (8,2 g) dan dosis 100 mL/L (4,83 g). Bobot segar dan bobot kering akar menunjukkan pola yang kurang lebih sama, yaitu nilai tertinggi diperoleh pada tanaman sawi hijau yang diaplikasikan pada dosis 50 mL/L (6,67 dan 0,91 g), 10 mL /L (4,8 dan 0,7 g), 100 mL/L (5 dan 0,51 g) dan kontrol (4,07 dan 0,47 g). Tidak terdapat perbedaan nyata antara perlakuan 50 dan 100 mL/L untuk variabel kadar air relatif (95,22 dan 96,42%). Kedua dosis ini berbeda nyata dengan dosis 10 mL/L dan kontrol (91,36 dan 88,3%). Gambar 1 menunjukkan hubungan kuadrat antara dosis PSB yang diberikan pada tanaman sawi hijau dengan indeks konsumsi yang dihasilkan. Persamaan yang diperoleh adalah $y = -0,0006x^2 + 0,0807x + 94,684$. Berdasarkan rumus tersebut diketahui nilai dosis PSB optimal yang perlu diterapkan adalah 67,25 mL/L dengan nilai indeks konsumsi maksimum sebesar 97,39%.

Tabel 1. Variabel pertumbuhan sawi hijau pada dosis penyemprotan PSB yang berbeda

Dosis Penyemprotan PSB	Tinggi Tanaman (cm)	Jumlah Daun	Lebar Daun (cm)	Panjang Akar (cm)
10 mL/L	21,67a	15.00 a	11.00b	13,67a
50 mL/L	23,67a	16.00 a	12,63a	14,17a
100 mL/L	25,00 a	11,33 b	10,67b	13,13a
Tidak Penyemprotan	Ada 20,00 a	14,33 a	10,83b	11,33a
CV (%)	19.38	6,49	10.32	17,00

Catatan: Angka yang ditampilkan adalah rata-rata. Huruf yang sama di sebelah mean menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji BNJ Tukey ($\alpha = 5\%$).

Mekanisme PSB dalam Meningkatkan Pertumbuhan Sawi Hijau

Bakteri fotosintetik yang diaplikasikan secara foliar dan dikocor pada area perakaran tanaman sawi hijau mampu memfiksasi nitrogen melalui hubungan simbiosis dengan tanaman (Ainsworth & Bush, 2011). Di dalam tanah, bakteri fotosintetik tersebut mampu mengaktifkan gen pengangkut nitrat, sehingga distribusi nitrat pada organ tanaman sawi hijau akan lebih merata (S.-H. Hsu et al., 2021). Dengan tambahan nitrogen yang dihasilkan bakteri tersebut, tanaman akan mampu menghasilkan karbohidrat lebih banyak (Du et al., 2022). Enzim yang berperan dalam meningkatkan asimilasi nitrogen tanaman sawi hijau adalah enzim nitrat reduktase. Enzim ini merupakan enzim kunci untuk asimilasi nitrogen dalam tubuh tumbuhan. Beberapa penelitian menunjukkan hubungan positif antara kandungan N dalam jaringan tanaman dan aktivitas nitrat reduktase (Chamizo-Ampudia et al., 2017; Lavres Junior et al., 2010; Nawaz et al., 2017).

Ekspresi aktivitas fisiologis tanaman sawi hijau akan tercermin dalam bentuk pertumbuhan dan perkembangannya. Beberapa variabel pertumbuhan disajikan pada tabel 1. Pemberian PSB melalui daun tidak memberikan pengaruh terhadap tinggi tanaman maupun panjang akar primer tanaman sawi hijau. Hasil penelitian ini didukung oleh penelitian yang dilakukan oleh Kantachote et al., (2016) dimana penerapan bakteri PNSB tidak memberikan efek stimulan pertumbuhan pada tanaman padi. Meski demikian, banyak hasil penelitian yang menunjukkan efek positif PSB terhadap pertumbuhan tanaman padi (Kantha et al., 2015; Khuong et al., 2018; Yen et al., 2022). Respon positif juga ditunjukkan oleh djulis (Sundar et al., 2023), kacang tanah (Wang et al., 2021), wijen (Khuong et al., 2023), dan mentimun (Ge et al., 2017; Ge & Zhang, 2019).

Dari variabel jumlah daun tidak terdapat perbedaan antara perlakuan penyemprotan PSB dengan dosis 10 mL/L, 50 mL/L maupun kontrol, dan ketiga perlakuan tersebut berbeda dengan perlakuan 100 mL/L. Perbedaan ekspresi jumlah daun ini kemungkinan besar disebabkan oleh efek samping bakteri fotosintetik dosis tinggi. Efek samping ini juga dinyatakan dalam lebar daun yang bervariasi. Tanaman sawi hijau yang disemprot PSB dengan dosis 50 mL/L

mempunyai daun paling lebar dibandingkan tanaman sawi hijau dengan perlakuan lain. Hasil penelitian ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Hsu et al., (2021) dan Wong et al., (2014) pada tanaman sawi hijau. Pada kedua penelitian disebutkan bahwa tidak ada pengaruh pemberian PSB *Rhodopseudomonas palustris* pada jumlah daun, namun terjadi peningkatan luas daun yang signifikan karena peningkatan efisiensi penggunaan nitrogen oleh tanaman. Penelitian lain pada tanaman bayam menunjukkan hasil yang berbeda, dimana terjadi peningkatan jumlah daun dan luas daun (Kondo et al., 2004).

Tabel 2. Variabel biomassa dan hasil sawi hijau pada dosis penyemprotan PSB yang berbeda

Dosis Penyemprotan PSB	Berat Segar Tajuk (g)	Berat Kering Tajuk (g)	Berat Segar Akar (g)	Berat Kering Akar (g)	Kadar Air Nisbi (%)
10 mL/L	95,00 c	8,20 b	4,80 b	0,70 b	91,36 b
50 mL/L	233,27 a	11,13 a	6,67 a	0,91 a	95,22 a
100 mL/L	135,00 b	4,83 c	5,00 b	0,51 c	96,42 a
Tidak Ada Penyemprotan	74,83 d	8,73 ab	4,07 b	0,47 c	88,30 b
CV (%)	3,98	8,75	14,36	12,12	10,77

Catatan: Angka yang ditampilkan adalah rata-rata. Huruf yang sama di sebelah mean menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji BNJ Tukey ($\alpha = 5\%$).

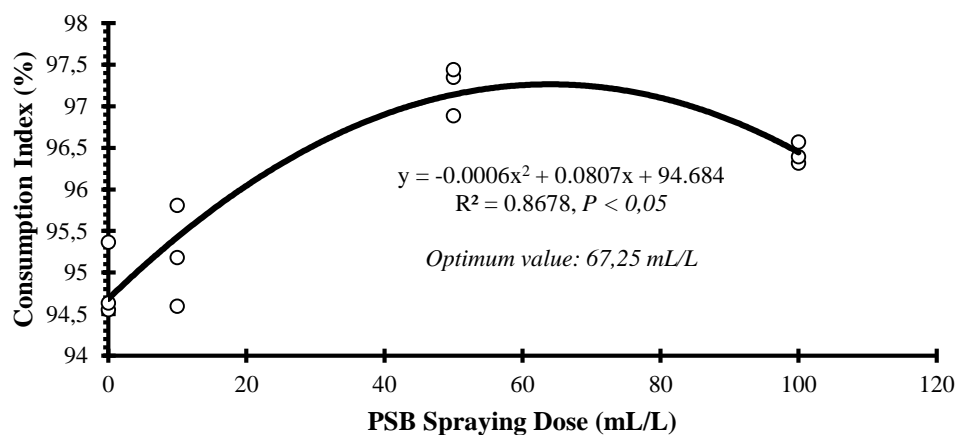
Biomassa dan Indeks Konsumsi Tanaman sawi hijau

Pertumbuhan dan perkembangan tanaman akan menyebabkan penambahan biomassa tanaman yang dapat ditandai dengan variabel bobot segar dan bobot kering. Berdasarkan tabel 2, terdapat pengaruh yang signifikan penerapan PSB pada tanaman sawi hijau pada beberapa variabel. Tanaman sawi hijau yang diberi PSB dosis 50 mL/L menghasilkan nilai tertinggi pada variabel bobot segar tajuk, bobot segar akar, bobot kering tajuk, bobot kering akar, dan kadar air nisbi. Untuk variabel bobot segar pucuk pada perlakuan 50 mL/L mengalami peningkatan sebesar 211,73% dibandingkan perlakuan kontrol. Terjadi peningkatan masing-masing sebesar 80,4 dan 26,95% pada perlakuan 100 dan 10 mL/L.

Untuk variabel berat kering tajuk, perlakuan 50 mL/L menunjukkan nilai tertinggi dan nilai terendah terdapat pada perlakuan 100 mL/L. Hasil ini kemungkinan menunjukkan distribusi asimilat yang tidak efisien di tajuk (Lawlor & Paul, 2014). Selain itu perlakuan dengan PSB dosis 100 mL/L juga memberikan pengaruh terhadap peningkatan kemampuan tanaman dalam menyerap air yang ditunjukkan oleh variabel kadar air nisbi (Tabel 2). Pemberian PSB dalam dosis tinggi kemungkinan dapat menyebabkan penurunan pembentukan asimilat namun dapat meningkatkan kemampuan tanaman dalam menyerap air.

Dari Tabel 2 juga terlihat bahwa penerapan PSB dapat mempengaruhi biomassa akar pada variabel berat akar segar dan kering. Pada variabel berat segar akar, hanya perlakuan PSB dosis 50 mL/L yang berbeda nyata dengan perlakuan

lainnya. Sedangkan pada variabel berat kering akar terdapat pola yang sedikit berbeda. Perlakuan PSB dosis 50 mL/L masih merupakan dosis terbaik, disusul dosis 10 mL/L, dan dosis 100 mL/L serta kontrol. Peningkatan biomassa akar tanaman sayuran disebabkan oleh peningkatan efisiensi penyerapan dan penggunaan nitrogen oleh akar tanaman (Kondo et al., 2004). Wong et al., (2014) dalam penelitiannya pada tanaman sawi hijau juga menemukan adanya peningkatan bobot akar kering dan segar setelah penerapan PSB. strain *R.palustris* PS3.



Gambar 1. Indeks konsumsi vs dosis penyemprotan PSB

Kadar air nisbi berperan penting dalam menentukan bobot panen tanaman sayuran daun. Semakin tinggi kandungan air pada jaringan tanaman dapat meningkatkan tingkat kesegaran sayuran daun (Gil, 2016). Berdasarkan tabel 2 diketahui bahwa pada variabel kadar air relatif perlakuan PSB dosis 50 dan 100 mL/L tidak berbeda nyata namun signifikan terhadap perlakuan 10 mL/L dan kontrol. Penelitian yang dilakukan oleh De Oliveira Siqueira Lino et al., (2023) menunjukkan bahwa penerapan PNSB pada daun *R.palustris* pada kultivar mangga "Keitt" dapat meningkatkan efisiensi penggunaan air tanaman dan merangsang fotosintesis.

Indeks konsumsi merupakan nilai yang menggambarkan berapa persen bagian tanaman yang dapat dikonsumsi dibandingkan dengan total berat segar. Gambar 1 menunjukkan dampak PSB terhadap indeks konsumsi tanaman sawi hijau. Hubungan kedua variabel tersebut bersifat kuadrat dan diketahui titik dosis PSB optimal adalah 67,25 mL/L. Apabila dosis yang diberikan melebihi dosis optimal maka akan terjadi penurunan nilai indeks konsumsi. Perhitungan dosis optimal juga menjelaskan mengapa pada perlakuan PSB dengan dosis 100 mL/L tanaman sawi hijau menunjukkan adanya penurunan jumlah daun, lebar daun, bobot segar tajuk, bobot kering tajuk, bobot segar akar, dan bobot kering akar.

KESIMPULAN

Bakteri fotosintetik mempengaruhi aktivitas fisiologis, pertumbuhan, pembentukan biomassa dan hasil tanaman sawi hijau. Beberapa variabel yang dapat menggambarkan pengaruh tersebut adalah kadar N jaringan, kadar klorofil A dan B, aktivitas nitrat reduktase, jumlah daun, lebar daun, biomassa akar, biomassa tajuk, kadar air relatif dan indeks konsumsi. Untuk mencapai hasil tanaman sawi hijau yang maksimal, dosis PSB optimal yang dibutuhkan adalah 67,25 mL/L.

DAFTAR PUSTAKA

- Ainsworth, E. A., & Bush, D. R. (2011). Carbohydrate export from the leaf: A highly regulated process and target to enhance photosynthesis and productivity. *Plant Physiology*, 155(1), 64–69. <https://doi.org/10.1104/pp.110.167684>
- Andreolli, M., Zapparoli, G., Angelini, E., Lucchetta, G., Lampis, S., & Vallini, G. (2019). *Pseudomonas protegens* MP12: A plant growth-promoting endophytic bacterium with broad-spectrum antifungal activity against grapevine phytopathogens. *Microbiological Research*, 219, 123–131. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2018.11.003>
- Chamizo-Ampudia, A., Sanz-Luque, E., Llamas, A., Galvan, A., & Fernandez, E. (2017). Nitrate reductase regulates plant nitric oxide homeostasis. *Trends in Plant Science*, 22(2), 163–174. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2016.12.001>
- De Oliveira Siqueira Lino, J., Delmondes Mudo, L. E., Texeira Lobo, J., Lucena Cavalcante, Í. H., De Luna Souto, A. G., Guimarães Sanches, L., & Borges De Paiva Neto, V. (2023). Application of *Rhodospseudomonas palustris* Moderates Some of the Crop Physiological Parameters in Mango Cultivar 'Keitt.' *Erwerbs-Obstbau*, 65(5), 1633–1645. <https://doi.org/10.1007/s10341-023-00863-2>
- Du, B., Shukla, M. K., Ding, R., Yang, X., & Du, T. (2022). Biofertilization with photosynthetic bacteria as a new strategy for mitigating photosynthetic acclimation to elevated CO₂ on cherry tomato. *Environmental and Experimental Botany*, 194, 104758. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2021.104758>
- FAO. (2022). *The future of food and agriculture – Drivers and triggers for transformation*. FAO. <https://doi.org/10.4060/cc0959en>
- Faria, D. R., Sakita, K. M., Capoci, I. R. G., Arita, G. S., Rodrigues-Vendramini, F. A. V., De Oliveira Junior, A. G., Soares Felipe, M. S., Bonfim De Mendonça, P. D. S., Svidzinski, T. I. E., & Kioshima, E. S. (2020). Promising antifungal activity of new oxadiazole against *Candida krusei*. *PLoS ONE*, 15(1), e0227876. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0227876>
- Feng, K., Cai, Z., Ding, T., Yan, H., Liu, X., & Zhang, Z. (2019). Effects of potassium-solubilizing and photosynthetic bacteria on tolerance to salt stress in maize. *Journal of Applied Microbiology*, 126(5), 1530–1540. <https://doi.org/10.1111/jam.14220>

- Ge, H., Liu, Z., & Zhang, F. (2017). Effect of *Rhodopseudomonas palustris* G5 on seedling growth and some physiological and biochemical characteristics of cucumber under cadmium stress. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 816. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2017.v29.i11.1327>
- Ge, H., & Zhang, F. (2019). Growth-Promoting Ability of *Rhodopseudomonas palustris* G5 and Its Effect on Induced Resistance in Cucumber Against Salt Stress. *Journal of Plant Growth Regulation*, 38(1), 180–188. <https://doi.org/10.1007/s00344-018-9825-8>
- George, D. M., Vincent, A. S., & Mackey, H. R. (2020). An overview of anoxygenic phototrophic bacteria and their applications in environmental biotechnology for sustainable Resource recovery. *Biotechnology Reports*, 28, e00563. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2020.e00563>
- Gil, M. I. (2016). Preharvest factors and fresh-cut quality of leafy vegetables. *Acta Horticulturae*, 1141, 57–64. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2016.1141.6>
- Hsu, S. H., Lo, K. J., Fang, W., Lur, H.-S., & Liu, C.-T. (2015). Application of phototrophic bacterial inoculant to reduce nitrate content in hydroponic leafy vegetables. *Crop, Environment & Bioinformatics*, 12(1), 30–41.
- Hsu, S.-H., Shen, M.-W., Chen, J.-C., Lur, H.-S., & Liu, C.-T. (2021). The photosynthetic bacterium *Rhodopseudomonas palustris* strain PS3 exerts plant growth-promoting effects by stimulating nitrogen uptake and elevating auxin levels in expanding leaves. *Frontiers in Plant Science*, 12, 573634. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.573634>
- Kang, S.-M., Adhikari, A., Khan, M. A., Kwon, E.-H., Park, Y.-S., & Lee, I.-J. (2021). Influence of the Rhizobacterium *Rhodobacter sphaeroides* KE149 and Biochar on Waterlogging Stress Tolerance in *Glycine max* L. *Environments*, 8(9), 94. <https://doi.org/10.3390/environments8090094>
- Kantachote, D., Nunkaew, T., Kantha, T., & Chaiprapat, S. (2016). Biofertilizers from *Rhodopseudomonas palustris* strains to enhance rice yields and reduce methane emissions. *Applied Soil Ecology*, 100, 154–161. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2015.12.015>
- Kantha, T., Kantachote, D., & Klongdee, N. (2015). Potential of biofertilizers from selected *Rhodopseudomonas palustris* strains to assist rice (*Oryza sativa* L. subsp. Indica) growth under salt stress and to reduce greenhouse gas emissions. *Annals of Microbiology*, 65(4), 2109–2118. <https://doi.org/10.1007/s13213-015-1049-6>
- Khuong, N. Q., Kantachote, D., Onthong, J., Xuan, L. N. T., & Sukhoom, A. (2018). Enhancement of rice growth and yield in actual acid sulfate soils by potent acid-resistant *Rhodopseudomonas palustris* strains for producing safe rice. *Plant and Soil*, 429(1–2), 483–501. <https://doi.org/10.1007/s11104-018-3705-7>

- Khuong, N. Q., Thuc, L. V., Giang, C. T., Xuan, L. N. T., Thu, L. T. M., Isao, A., & Jun-Ichi, S. (2023). Improvement of Nutrient Uptake, Yield of Black Sesame (*Sesamum indicum* L.), and Alluvial Soil Fertility in Dyke by Spent Rice Straw from Mushroom Cultivation as Biofertilizer Containing Potent Strains of *Rhodopseudomonas palustris*. *The Scientific World Journal*, 2023, 1–14. <https://doi.org/10.1155/2023/1954632>
- Kondo, K., Nakata, N., & Nishihara, E. (2004). Effect of Purple Nonsulfur Bacteria (*Rhodobacter sphaeroides*) on the Growth and Quality of Komatsuna under Different Light Qualities. *Environment Control in Biology*, 42(3), 247–253. <https://doi.org/10.2525/ecb1963.42.247>
- Kondo, K., Nakata, N., & Nishihara, E. (2008). Effect of purple non-sulfur bacterium (*Rhodobacter sphaeroides*) application on the growth and quality of spinach and komatsuna. *J. Jpn. Soc. Agric. Technol. Manag.*, 14, 198–203.
- Lavres Junior, J., Santos Junior, J. D. D. G. D., & Monteiro, F. A. (2010). Nitrate reductase activity and spad readings in leaf tissues of guinea grass submitted to nitrogen and potassium rates. *Revista Brasileira de Ciência Do Solo*, 34(3), 801–809. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000300022>
- Lawlor, D. W., & Paul, M. J. (2014). Source/sink interactions underpin crop yield: The case for trehalose 6-phosphate/SnRK1 in improvement of wheat. *Frontiers in Plant Science*, 5. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00418>
- Lee, S.-K., Lur, H.-S., & Liu, C.-T. (2021). From Lab to Farm: Elucidating the Beneficial Roles of Photosynthetic Bacteria in Sustainable Agriculture. *Microorganisms*, 9(12), 2453. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9122453>
- Nawaz, M. A., Wang, L., Jiao, Y., Chen, C., Zhao, L., Mei, M., Yu, Y., Bie, Z., & Huang, Y. (2017). Pumpkin rootstock improves nitrogen use efficiency of watermelon scion by enhancing nutrient uptake, cytokinin content, and expression of nitrate reductase genes. *Plant Growth Regulation*, 82(2), 233–246. <https://doi.org/10.1007/s10725-017-0254-7>
- Prior, R. L., & Cao, G. (2000). Antioxidant Phytochemicals in Fruits and Vegetables: Diet and Health Implications. *HortScience*, 35(4), 588–592. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.35.4.588>
- Ramya, V., & Patel, P. (2019). Health benefits of vegetables. *International Journal of Chemical Studies*, 7(2), 82–87.
- Smart, R. E., & Bingham, G. E. (1974). Rapid estimates of relative water content. *Plant Physiology*, 53(2), 258–260. <https://doi.org/10.1104/pp.53.2.258>
- Sundar, L. S., Chang, Y.-T., & Chao, Y.-Y. (2023). Unveiling the novel effect of *Rhodopseudomonas palustris*-derived extracellular 5-aminolevulinic acid on the growth and yield of *Chenopodium formosanum* Koidz under field conditions [Preprint]. In Review. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2826581/v1>
- Takeuchi, M. H., & Numata, K. (2019). Marine Purple Photosynthetic Bacteria as Sustainable Microbial Production Hosts. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 7, 258. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2019.00258>

- Talaat, N. B. (2019). Effective microorganisms: An innovative tool for inducing common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) salt-tolerance by regulating photosynthetic rate and endogenous phytohormones production. *Scientia Horticulturae*, 250, 254–265. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.02.052>
- Wang, Y., Peng, S., Hua, Q., Qiu, C., Wu, P., Liu, X., & Lin, X. (2021). The Long-Term Effects of Using Phosphate-Solubilizing Bacteria and Photosynthetic Bacteria as Biofertilizers on Peanut Yield and Soil Bacteria Community. *Frontiers in Microbiology*, 12, 693535. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.693535>
- Wong, W.-T., Tseng, C.-H., Hsu, S.-H., Lur, H.-S., Mo, C.-W., Huang, C.-N., Hsu, S.-C., Lee, K.-T., & Liu, C.-T. (2014). Promoting Effects of a Single *Rhodopseudomonas palustris* Inoculant on Plant Growth by *Brassica rapa chinensis* under Low Fertilizer Input. *Microbes and Environments*, 29(3), 303–313. <https://doi.org/10.1264/jsme2.ME14056>
- Yadav, S. K., Soni, R., & Rajput, A. S. (2018). Role of Microbes in Organic Farming for Sustainable Agro-Ecosystem. In D. G. Panpatte, Y. K. Jhala, H. N. Shelat, & R. V. Vyas (Eds.), *Microorganisms for Green Revolution* (Vol. 7, pp. 241–252). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-7146-1_12
- Yen, K. S., Sundar, L. S., & Chao, Y.-Y. (2022). Foliar Application of *Rhodopseudomonas palustris* Enhances the Rice Crop Growth and Yield under Field Conditions. *Plants*, 11(19), 2452. <https://doi.org/10.3390/plants11192452>

