PIPER, Volume 22 Nomor 2 Oktober 2026 p ISSN 1907-0403
http://jurnal.unka.ac.id/index.php/piper e ISSN 2775-5738

KOMBINASI ARANG SEKAM PADI DAN PUPUK ORGANIK CAIR BATANG PISANG: PENGARUHNYA TERHADAP PERTUMBUHAN DAN HASIL KECIPIR (*Psophocarpus tetragonolobus*)

COMBINATION OF RICE HUSK CHARCOAL AND LIQUID ORGANIC FERTILIZER FROM BANANA STEM: EFFECTS ON THE GROWTH AND YIELD OF WINGED BEAN (*Psophocarpus tetragonolobus*)

Markus Sinaga[1♥], Lois Stefi[2]
[1,2]Program Studi Agroteknologi, Universitas Kapuas, Sintang
[♥]Corresponding author email: markussinaga@unka.ac.id

Abstract. *Winged bean (Psophocarpus tetragonolobus) is a leguminous crop with potential for development as a vegetable; however, its productivity remains constrained by soil fertility limitations, particularly in Red Yellow Podzolic (Ultisol) soil. This study aimed to determine the effect of the combined application of rice husk charcoal and liquid organic fertilizer (LOF) derived from banana stem on the growth and yield of winged bean. The experiment was arranged in a factorial Randomized Block Design (RBD) with two factors: rice husk charcoal (600, 1,200, and 1,800 g m⁻²) and banana stem LOF (30, 60, and 90 ml m⁻²). The data were analyzed using the F-test, followed by Duncan's Multiple Range Test (DMRT) at the 5% significance level. The results showed that the combination of rice husk charcoal and banana stem LOF significantly affected stover weight, number of pods, and pod weight. The A3P3 treatment (rice husk charcoal at 1,800 g m⁻² + banana stem LOF at 90 ml m⁻²) produced the highest values for all parameters, namely a stover weight of 3.47 kg, 16.33 pods per plant, and a pod weight of 45.83 g per plant. This combination improved root conditions and increased nutrient availability, thereby supporting vegetative growth, the formation of generative organs, and pod filling in winged bean.*
Keywords*: banana pseudostem LOF; productivity; rice husk charcoal; winged bean.*

Abstrak. Kecipir (*Psophocarpus tetragonolobus*) merupakan tanaman kacang-kacangan yang berpotensi dikembangkan sebagai tanaman sayuran, tetapi produktivitasnya masih menghadapi kendala kesuburan tanah, khususnya pada tanah Podsolik Merah Kuning (PMK). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kombinasi pemberian arang sekam padi dan Pupuk Organik Cair (POC) batang pisang serta pengaruhnya terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman kecipir. Penelitian menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) faktorial dengan dua faktor, yaitu arang sekam padi (600, 1.200, dan 1.800 g m^{-2}) dan POC batang pisang (30, 60, dan 90 ml m^{-2}). Data dianalisis menggunakan uji F dan dilanjutkan dengan DMRT pada taraf 5%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi arang sekam padi dan POC batang pisang berpengaruh nyata terhadap bobot berangkasan, jumlah polong, dan bobot polong. Perlakuan A_3P_3 (arang sekam padi 1.800 g m^{-2} + POC batang pisang 90 ml m^{-2}) menghasilkan nilai tertinggi pada seluruh parameter, yaitu bobot berangkasan 3,47 kg, jumlah polong 16,33 polong per tanaman, dan bobot polong 45,83 g per tanaman. Kombinasi tersebut mampu memperbaiki kondisi perakaran dan meningkatkan ketersediaan unsur hara, sehingga mendukung pertumbuhan vegetatif, pembentukan organ generatif, dan pengisian polong kecipir.
Kata kunci: arang sekam padi; kecipir; POC batang pisang; produktivitas.

PENDAHULUAN

Pertanian merupakan salah satu sektor penting dalam pembangunan ekonomi Indonesia. Sektor ini penyumbang terbesar terhadap Produk Domestik Bruto (PDB) terutama dalam menyerap tenaga kerja. Salah satu bidang pertanian yang memiliki potensi besar dalam mendukung perekonomian dan konsumsi masyarakat adalah tanaman semusim berupa tanaman sayur-sayuran (BPS, 2025). Salah satu jenis tanaman sayuran yang dapat dikembangkan adalah kecipir.

Kecipir (*Psophocarpus tetragonolobus*) merupakan salah satu

tanaman kacang-kacangan yang berpotensi dikembangkan di Kabupaten Sintang. Meskipun data produksi kecipir secara spesifik belum tersedia, tetapi merujuk kacang panjang (*Vigna sinensis*) masih tergolong rendah yaitu 0,84 ton/ha dibandingkan dengan potensi hasilnya yang dapat mencapai 18 ton/ha (BPS Sintang, 2023; Girsang & Yulianah, 2025). Rendahnya produksi ini disebabkan oleh beberapa faktor salah satunya adalah kesuburan tanah, yang mana secara umum wilayah Kalimantan Barat termasuk Sintang didominasi tanah Podsolik Merah Kuning (PMK) yang mencapai 9,257 juta hektar (Wiranata et al., 2022). Kendala utama dalam pengelolaan tanah ini sebagai lahan pertanian adalah karakter fisika dan kimia, serta biologi sebagai faktor pembatas (Abdillah et al., 2024; Afriyani et al., 2025; Jumin et al., 2026).

Sebagian besar petani meningkatkan produksi tanaman menggunakan pupuk anorganik. Penggunaan pupuk anorganik yang berkepanjangan akan menghambat kinerja dan perkembangan mikroorganisme tanah, yang pada akhirnya berdampak pada penurunan keanekaragaman hayati mikroba (Yang et al., 2024; Lin et al., 2026; Zhang et al., 2022; Zhang et al., 2017). Oleh sebab itu maka langkah yang dapat diambil untuk mengurangi pemakaian pupuk anorganik dan meningkatkan produktivitas tanah adalah pupuk organik. Pupuk organik kaya akan nutrisi alami, sehingga tidak meninggalkan residu yang dapat menggurangi kesuburan tanah dalam jangka panjang (Badar & Qureshi, 2014; Bonanomi et al., 2020; Dincă et al., 2022; Liu et al., 2023). Salah satu bahan organik yang dapat dijadikan sebagai pupuk adalah sekam padi dan batang pisang, terutama untuk memperbaiki sifat fisika, kimia dan biologi tanah yang miskin seperti tanah PMK.

Sekam padi mengandung silika, serat, dan nutrisi mikro yang memiliki peran dalam meningkatkan kesuburan tanah dan tanaman. Aisyah et al (2025) menyatakan bahwa arang sekam padi memiliki kandungan silika (SiO_2) 80,03%, K_2O 10,38%, CaO 5,16%, dan P_2O_5 3,07%. Arang sekam padi yang dipirolisis pada suhu tinggi menghasilkan kandungan abu, pH, karbon total, kalsium, magnesium, natrium, fosfor tersedia, dan silika yang lebih tinggi (Nwajiaku et al., 2018). Sedangkan hasil analisis komposisi yang dilakukan Balasubramanian & Chinnamuthu (2020) menunjukkan biochar sekam padi mengandung 64,31% karbon, 28,42% oksigen, dan 5,96% silika, dengan fosfor 0,20% dan kalium 0,25%.

Batang pisang mengandung nutrisi, terutama untuk bahan pupuk organik cair (POC). Prosesnya sederhana melalui fermentasi, menghasilkan pupuk organik

yang selaras dengan pelapukan sisa makhluk hidup. Rozen et al. (2023) menyatakan bahwa batang pisang mengandung 92,5% air, 0,35% protein, 4,4% karbohidrat, fosfor 135 mg per 100 gram, kalium 213 mg per 100 gram, dan kalsium 122 mg per 100 gram, dan nitrogen. Sedangkan Chan et al (2024) membuktikan bahwa kandungan bahan organik 83%, lignin dan selulosa 15-20%, serta hemiselulosa 14,6%.

Kombinasi antara arang sekam padi dan POC batang pisang diharapkan dapat saling melengkapi, di mana arang sekam padi berperan memperbaiki sifat fisik dan kimia tanah PMK, sementara POC batang pisang menyediakan hara yang siap diserap tanaman. Interaksi dari kedua bahan ini diharapkan mampu memperbaiki kesuburan lahan PMK serta meningkatkan pertumbuhan dan hasil tanaman kecipir. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pemberian arang sekam padi dan POC batang pisang, secara tunggal maupun kombinasi beserta pengarunya terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman kecipir. Variabel pada penelitian ini terdiri dari dosis kombinasi arang sekam padi dengan POC batang pisang sebagai vaiabel bebas. Bobot berangkasan, jumlah dan bobot polong sebagai variabel terikat.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di Kecamatan Kelam Permai Kabupaten Sintang, dimulai April-Juli 2026. Metode penelitian eksperimen lapangan dan menggunakan rancangan lingkungan Rancangan Acak Kelompok (RAK) dengan dua faktor yaitu Arang Sekam Padi (A) dan POC batang pisang (P), masing-masing faktor terdiri dari tiga (3) taraf, yaitu: 600 g arang sekam m^{-2} (A_1), 1200 g arang sekam m^{-2} (A_2), dan 1800 g arang sekam m^{-2} (A_3). 30 ml POC batang pisang m^{-2} (P_1), 60 ml POC batang pisang m^{-2} (P_2), dan 90 ml POC batang pisang m^{-2} (P_3). Diperoleh 9 kombinasi perlakuan, dan masing-masing diulang 3 kali.

Penelitian diawali dengan persiapan lahan melalui pembersihan gulma dan sisa tanaman, pengolahan serta penggemburan tanah, kemudian dibuat 27 plot berukuran 1 × 1 m. Setelah bedengan siap, setiap petak diberi plang sesuai perlakuan. Pupuk organik cair (POC) batang pisang dibuat dari 15 kg batang pisang yang dicacah dan difermentasi menggunakan larutan 1 kg gula merah, 20 liter air, dan 500 ml EM4 hingga menghasilkan ciri fermentasi yang baik. Arang sekam padi diaplikasikan 7 hari sebelum tanam sesuai dosis perlakuan, sedangkan POC batang pisang diberikan sebanyak delapan kali, yaitu 7 hari sebelum

tanam, saat tanam, dan pada 7, 14, 21, 28, 35, serta 42 HST. Penanaman kecipir dilakukan secara langsung dengan jarak tanam 60 × 60 cm, sebanyak dua benih per lubang, umur 14 HST dilakukan seleksi dengan menyisakan satu tanaman terbaik setiap lubang. Pemeliharaan meliputi penyiraman, pengendalian gulma secara manual, serta pengendalian hama secara mekanis. Pemanenan dilakukan mulai umur 60 HST sebanyak empat kali dengan interval tiga hari, yaitu pada 60, 63, 66, dan 69 HST. Data hasil penelitian dianalisis dengan uji F kemudian dilanjutkan dengan DMRT pada taraf kepercayaan 95%.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bobot Berangkasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa aplikasi dari kombinasi arang sekam padi dan POC batang pisang berpengaruh nyata terhadap bobot berangkasan.

Tabel 1. Uji DMRT Kombinasi Arang Sekam Padi dan POC Batang Pisang Terhadap Bobot Berangkasan (kg)

Perlakuan	Rerata
A_1P_1	1,28a
A_2P_1	1,82b
A_3P_1	1,92b
A_1P_2	2,28b
A_2P_2	2,51c
A_1P_3	1,90cd
A_3P_2	2,00de
A_2P_3	2,05e
A_3P_3	3,47f

Hasil uji DMRT pada Tabel 1 menunjukkan bahwa kombinasi perlakuan arang sekam padi dan POC batang pisang memberikan pengaruh yang berbeda nyata. Bobot berangkasan tertinggi diperoleh pada perlakuan A_3P_3 (arang sekam padi 1.800 g m^{-2} + POC batang pisang 90 ml m^{-2}) dengan rerata 3,47 kg yang berbeda nyata dengan seluruh perlakuan lainnya. Hal ini dikarenakan kombinasi dari kedua perlakuan menyebabkan perbaikan sifat fisik tanah dan peningkatan ketersediaan hara. Arang sekam padi menyebabkan tanah menjadi porous memperbaiki aerasi, porositas, dan kemampuan menahan air tanah, yang menyebabkan akar tanaman berkembang dengan optimal sehingga akar dapat melakukan respirasi dengan baik sehingga oksigen di zona perakaran tersedia dengan cukup. Selain itu, arang sekam juga berfungsi menjerap hara sehingga tidak mudah tercuci dan tetap tersedia secara bertahap (*slow release*) bagi tanaman (Gamage et al., 2016; Pratiwi & Shinogi, 2016; Singh Karam et al., 2022). Sedangkan POC batang pisang menyumbang unsur hara bagi tanaman. Jothimani et al., (2025) menyatakan bahwa batang pisang mengandung N, P, dan K. Handayani et al., (2021) juga menyatakan bahwa pemberian pupuk organik cair secara konsisten meningkatkan populasi bakteri menguntungkan di zona perakaran. Kombinasi arang sekam dan POC batang

pisang saling menndukung dalam memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologi tanah, yang pada akhirnya mendukung pertumbuhan tanaman secara optimal.

Jumlah Polong

Kombinasi arang sekam padi dan POC batang pisang terbukti meningkatkan jumlah polong kecipir. Hasil uji DMRT dari berbagai taraf kombinasi ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Uji DMRT Kombinasi Arang Sekam Padi dan POC Batang Pisang Terhadap Jumlah Polong (polong)

Perlakuan	Rerata
A_1P_1	1,00 a
A_2P_1	4,00 b
A_3P_1	4,00 b
A_1P_2	5,00 c
A_2P_2	7,33cd
A_1P_3	8,00de
A_3P_2	9,00 e
A_2P_3	10,00 f
A_3P_3	16,33 g

Uji DMRT menunjukkan bahwa kombinasi arang sekam padi 1.800 g m^{-2} + POC batang pisang 90 ml m^{-2} (A_3P_3) menghasilkan jumlah polong tertinggi yaitu rata-rata 16,33 polong per tanaman, sedangkan jumlah polong paling rendah pada kombinasi 600 g arang sekam m^{-2} + 30 ml POC batang pisang m^{-2} (A_1P_1) dengan rata-rata 1,00 polong per tanaman. Meningkatnya jumlah polong pada A_3P_3 karena kombinasi tersebut mampu memperbaiki kondisi perakaran dan meningkatkan ketersediaan hara. Arang sekam membantu memperbaiki aerasi dan kelembapan media, sedangkan POC menyediakan unsur hara yang mendukung fotosintesis dan pembentukan organ generatif. Kondisi tersebut meningkatkan produksi dan distribusi fotosintat ke bunga dan polong sehingga pembentukan polong menjadi lebih optimal. Hal ini didukung oleh penelitian Xiu et al (2021) yang membukitkan bahwa biochar dapat memperbaiki sifat-sifat tanah sehingga unsur hara dapat diserap secara optimal oleh akar tanaman karena akar berkembang baik sehingga jangkauannya lebih baik dalam memenuhi kebutuhan nutrisi selama proses fisiologis tanaman. Pemberian POC batang pisang juga mampu memperbaiki dan meningkatkan produktivitas tanah sehingga dapat menyediakan unsur hara yang dibutuhkan oleh tanaman dalam melaksanakan aktivitas pertumbuhannya. Pupuk organik cair banyak mengandung materi organik yang berperan dalam memperbaiki sifat fisika, kimia dan biologi tanah yang pada akhirnya kesuburan tanah menjadi lebih baik (Fitri et al., 2024; Itamah et al., 2025; Mujiono et al., 2021). Sebaliknya, dosis yang lebih rendah pada A_1P_1 diperkirakan mempengaruhi tersedianya hara yang kurang optimal, sehingga pembentukan bunga dan polong menjadi lebih rendah

Bobot Polong

Kombinasi arang sekam padi dan POC batang pisang pada berbagai taraf mampu meningkatkan bobot polong kecipir. Hal ini terlihat melalui hasil uji DMRT yang ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 2. Uji DMRT Kombinasi Arang Sekam Padi dan POC Batang Pisang Terhadap Bobot Polong (g)

Perlakuan	Rerata
A_1P_1	2,33 a
A_2P_1	6,83 b
A_3P_1	8,58 b
A_1P_2	9,83 b
A_2P_2	17,00 c
A_1P_3	18,67cd
A_3P_2	22,00de
A_2P_3	25,67 e
A_3P_3	45,83 f

Kombinasi A_3P_3 secara signifikan meningkatkan bobot polong per tanaman rata-rata 45,83 g, ini disebabkan karena membaiknya kondisi fisik, kimia, dan biologi tanah, sehingga akar tanaman berkembang dan bekerja optimal dalam menyerap unsur hara. Kondisi ini sejalan dengan temuan Kang et al (2025) bahwa kombinasi dari pupuk organik mampu meningkatkan kesuburan tanah yang dibuktikan dengan meningkatnya kandungan Nitrogen dan Fosfor tersedia bagi tanaman. Mon et al (2024) membuktikan bahwa pupuk organik menghasilkan senyawa organik, mampu membentuk agregat tanah lebih stabil, sehingga kualitas tanah dan ketersediaan unsur hara menjadi meningkat. Arang sekam padi yang memiliki struktur berpori mampu meningkatkan retensi air dan mempertahankan unsur hara di sekitar perakaran, sedangkan POC batang pisang menyediakan unsur hara yang mendukung pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Kondisi tersebut memungkinkan penyerapan air dan hara berlangsung lebih optimal, sehingga meningkatkan fotosintesis dan pembentukan asimilat yang selanjutnya ditranslokasikan ke organ generatif. Akibatnya, proses pembentukan dan pengisian polong berlangsung lebih optimal sehingga menghasilkan bobot polong kecipir yang lebih tinggi.

KESIMPULAN

Kombinasi arang sekam padi dan POC batang pisang berpengaruh nyata terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman kecipir yang ditunjukkan oleh bobot berangkasan, jumlah polong, dan bobot polong. Kombinasi perlakuan arang sekam padi 1.800 g m^{-2} dan POC batang pisang 90 ml m^{-2} (A_3P_3) memberikan hasil tertinggi pada seluruh parameter yang diamati, dengan bobot berangkasan sebesar 3,47 kg, jumlah polong sebanyak 16,33 polong per tanaman, dan bobot polong sebesar 45,83 g per tanaman. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kombinasi arang sekam padi dan

POC batang pisang mampu menciptakan kondisi perakaran yang lebih baik serta meningkatkan ketersediaan unsur hara, sehingga mendukung pertumbuhan vegetatif, pembentukan organ generatif, dan pengisian polong tanaman kecipir.

DAFTAR PUSTAKA

Abdillah, M. H., Handika, L. R., Iswahyudi, H., Lukmana, M., Rahmawati, L., Indriani, I., & Widiyastuti, D. A. (2024). Kompos Tandan Kosong Kelapa Sawit, Hubungannya dengan Karakter Tanah dan Hasil Tanaman Terong Ungu. *Jurnal Pertanian*, *15*(2), 108–122. https://doi.org/10.30997/jp.v15i2.13717

Afriyani, A., Martinus, A., & Fratiwi, I. (2025). Utilization of coal burning waste fly ash as a soil improving material in red yellow podsolic soil. *Jurnal Lahan Suboptimal : Journal of Suboptimal Lands*, *14*(2), 210–215. https://doi.org/10.36706/jlso.14.2.2025.727

Aisyah, N. A., Trisnawati, I., Muryono, M., & Sen, T. T. H. (2025). The potential of rice husk-derived biochar as a bio-silica source in the agricultural area of Tuban, East Java. *BIO Web of Conferences*, *202*, 01003. https://doi.org/10.1051/bioconf/202520201003

Badan Pusat Statistik. (n.d.). *Booklet Sakernas Februari 2025*. Retrieved 13 September 2026, from https://www.bps.go.id/id/publication/2025/07/14/90a6b20c25c63176d23ab46c/booklet-sakernas-februari-2025.html

Badar, R., & Qureshi, S. A. (2014). Composted Rice Husk Improves the Growth and Biochemical Parameters of Sunflower Plants. *Journal of Botany*, *2014*(1), 427648. https://doi.org/10.1155/2014/427648

Balasubramanian, P., & Chinnamuthu, C. R. (2020). Enriched Charred Rice Husk to Improve the Nutrient Management in Rainfed Groundnut. *Indian Journal Of Agricultural Research*, (Of). https://doi.org/10.18805/IJARe.A-4927

Bonanomi, G., De Filippis, F., Zotti, M., Idbella, M., Cesarano, G., Al-Rowaily, S., & Abd-ElGawad, A. (2020). Repeated applications of organic amendments promote beneficial microbiota, improve soil fertility and increase crop yield. *Applied Soil Ecology*, *156*, 103714. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2020.1037

BPS Sintang. (2023). *Produksi Tanaman Sayur-Sayuran di Kabupaten Sintang—Tabel Statistik*. Badan Pusat Statistik Kabupaten Sintang. https://sintangkab.bps.go.id/id/statistics-table/2/MTY2IzI=/produksi-tanaman-sayur-sayuran-di-kabupaten-sintang-.htm

Chan, S. R. O. S., Achmad, B. S., Ferdinant, & Fambari, R. L. (2024). Analysis Nutrient Content of Stem Banana Compost as Organic Fertilizer. *JURNAL AGRONOMI TANAMAN TROPIKA (JUATIKA)*, *6*(1), 149–154. https://doi.org/10.36378/juatika.v6i1.337

Dincă, L. C., Grenni, P., Onet, C., & Onet, A. (2022). Fertilization and Soil Microbial Community: A Review. *Applied Sciences*, *12*(3), 1198. https://doi.org/10.3390/app12031198

Fitri, Y., Zahrah, S., & Sabli, T. E. (2024). *Uji aplikasi biochar sekam padi dan poc tithonia untuk peningkatan pertumbuhan dan produksi tanaman kacang tanah (Arachis hypogaea L.)*.

Gamage, D. N. V., Mapa, R. B., Dharmakeerthi, R. S., & Biswas, A. (2016). Effect of rice-husk biochar on selected soil properties in tropical Alfisols. *Soil Research*, *54*(3), 302–310. https://doi.org/10.1071/SR15102

Girsang, T. P., & Dr. Izmi Yulianah, S. P. (2025). *Evaluasi Beberapa Famili Kecipir (Psophocarpus Tetragonogolobus L.) F5 Pada Karakter Umur Pendek Dan Potensi Hasil Tinggi* [Sarjana, Universitas Brawijaya]. https://repository.ub.ac.id/id/eprint/254399/

Handayani, T., Dewi, T. K., Martanti, D., Poerba, Y. S., Antonius, S., & Witjaksono, W. (2021). Application of inorganic and liquid organic bio-fertilizers affects the vegetative growth and rhizobacteria populations of eight banana cultivars. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, *22*(3). https://doi.org/10.13057/biodiv/d220323

Itamah, E., Bello, T. K., & Waziri, S. M. (2025). Production and characterization of liquid bio-fertiliser from orange peels, banana peels, and eggshell. *Discover Agriculture*, *3*(1), 174. https://doi.org/10.1007/s44279-025-00342-0

Jothimani, P., Sathyan, S., Raja, S., Muthusamy, S., Chidambaram, P., Paraval, N., & Subramaniyan, R. (2025). Bioconversion of Banana Pseudostem into Value Added Bio Manure. *International Journal of Environment and Climate Change*, *15*(11), 386–399. https://doi.org/10.9734/ijecc/2025/v15i115121

Jumin, H. B., . M., . E., . S., & Sutiana, S. (2026). Physiological Indicator for Egg Plant Growth in Red Yellow Podzol Soil with Beneficial Reuse of Pollutant Materials. *Agricultural Science Digest - A Research Journal*, (Of). https://doi.org/10.18805/ag.DF-824

Kang, Y.-G., Lee, J.-Y., Choi, J., Kim, J.-H., Kim, J.-H., Yun, Y.-U., & Oh, T.-K. (2025). Effects of Organic Fertilizer Combined with Rice Husk Biochar on Soil Quality and Crop Productivity. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, *44*, 180–187. https://doi.org/10.5338/KJEA.2025.44.19

Lin, D., Ma, Q.-X., Ye, Y.-Q., Wanek, W., Gregory, A. S., Jones, D. L., Graham, D. W., Zhu, D., Penuelas, J., & Zhu, Y.-G. (2026). Nutrient balance regulates soil microbial health under long-term fertilization. *Cell Reports*, *45*(4), 117274. https://doi.org/10.1016/j.celrep.2026.117274

Liu, W., Yang, Z., Ye, Q., Peng, Z., Zhu, S., Chen, H., Liu, D., Li, Y., Deng, L., Shu, X., & Huang, H. (2023). Positive Effects of Organic Amendments on Soil Microbes and Their Functionality in Agro-

Ecosystems. *Plants*, *12*(22), 3790. https://doi.org/10.3390/plants1222 3790

Mon, W. W., Toma, Y., & Ueno, H. (2024). Residual Effects of Rice Husk Biochar and Organic Manure Application after 1 Year on Soil Chemical Properties, Rice Yield, and Greenhouse Gas Emissions from Paddy Soils. *Soil Systems*, *8*(3), 91. https://doi.org/10.3390/soilsystems 8030091

Mujiono, M., Widarawati, R., & Supono, B. (2021). Pengaruh Aplikasi Arang Sekam dan Pupuk Organik Cair terhadap Pertumbuhan Tanaman Pakcoy (Brasicca rapa L.). *Proceedings Series on Physical & Formal Sciences*, *2*, 139–144. https://doi.org/10.30595/pspfs.v2i. 185

Nwajiaku, I. M., Olanrewaju, J. S., Sato, K., Tokunari, T., Kitano, S., & Masunaga, T. (2018). Change in nutrient composition of biochar from rice husk and sugarcane bagasse at varying pyrolytic temperatures. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, *7*(4), 269–276. https://doi.org/10.1007/s40093- 018-0213-y

Pratiwi, E. P. A., & Shinogi, Y. (2016). Rice husk biochar application to paddy soil and its effects on soil physical properties, plant growth, and methane emission. *Paddy and Water Environment*, *14*(4), 521–532. https://doi.org/10.1007/s10333- 015-0521-z

Rozen, N., Kasim, M., Kusumawati, A., Ikram, H., & Sholihat, I. (2023). The early heading growth stage of rice plants in using the SRI method by giving liquid organic fertilizer of coconut husk and banana stems. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *1160*(1), 012006. https://doi.org/10.1088/1755- 1315/1160/1/012006

Singh Karam, D., Nagabovanalli, P., Sundara Rajoo, K., Fauziah Ishak, C., Abdu, A., Rosli, Z., Melissa Muharam, F., & Zulperi, D. (2022). An overview on the preparation of rice husk biochar, factors affecting its properties, and its agriculture application. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, *21*(3), 149–159. https://doi.org/10.1016/j.jssas.2021 .07.005

Wiranata, N., Warganda, W., & Ruliyansyah, A. (2022). Respon pertumbuhan bibit kelapa sawit di main nursery akibat kombinasi pupuk kotoran ayam dan npk pada tanah PMK. *Perkebunan dan Lahan Tropika*, *12*(2), 67. https://doi.org/10.26418/plt.v12i2.6 0051

Xiu, L., Zhang, W., Wu, D., Sun, Y., Zhang, H., Gu, W., Wang, Y., Meng, J., & Chen, W. (2021). Biochar can improve biological nitrogen fixation by altering the root growth strategy of soybean in Albic soil. *Science of The Total Environment*, *773*, 144564. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv. 2020.144564

Yang, Y., Huang, X., Li, Y., Liu, Y., Zhang, Y., Zhu, H., Xiong, H., Zhang, S., & Jiang, T. (2024). Characteristics of the Soil Microbial Community Structure under Long-Term Chemical Fertilizer Application in Yellow Soil Paddy Fields.

Agronomy, *14*(6), 1186. https://doi.org/10.3390/agronomy14061186

Zhang, S., Li, X., Chen, K., Shi, J., Wang, Y., Luo, P., Yang, J., Wang, Y., & Han, X. (2022). Long-term fertilization altered microbial community structure in an aeolian sandy soil in northeast China. *Frontiers in Microbiology*, *13*. https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.979759

Zhang, Y., Shen, H., He, X., Thomas, B. W., Lupwayi, N. Z., Hao, X., Thomas, M. C., & Shi, X. (2017). Fertilization Shapes Bacterial Community Structure by Alteration of Soil pH. *Frontiers in Microbiology*, *8*. https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.01325