

## Effect of Crude Extracts Fern Leaves as Biostimulants on Biomass and Nodulation of Soybean (*Glycine max* L.)

Arfa Iskhia Dilla<sup>1\*</sup>, Zozy Aneloi Noli<sup>1</sup>, Mansyurdin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Pascasarjana Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas, Padang, Indonesia;

### Article History

Received : November 03<sup>th</sup>, 2024

Revised : November 25<sup>th</sup>, 2024

Accepted : December 14<sup>th</sup>, 2024

\*Corresponding Author: **Arfa Iskhia Dilla**, Program Studi Pascasarjana Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas, Indonesia;  
Email: [arfaiskhiad@gmail.com](mailto:arfaiskhiad@gmail.com)

**Abstract:** Soybean (*Glycine max*) is a primary food commodity for the people in Indonesia, with most of its needs still dependent on imports. Efforts to increase local production require a sustainable strategy, including by use biostimulants. Natural biostimulants, such as fern leaf extract, is proven to be a solution in increasing the growth of plants. This study aims to evaluate the potential use of fern leaf extract as a biostimulant on biomass and the number of root nodules in soybean plants. The method used in this study was a factorial complete randomized design with 2 factors and 3 replications. Factor A is the source of crude extract of fern leaves, control, *Gleichenia linearis*, *Diplazium esculentum*, *Nephrolepis exaltata*, and *Blechnum orientale*. Factor B is the frequency of application extracts, namely 1 time and 2 times. The results showed that the application of *Diplazium esculentum* leaf extract with one application significantly increased the total number of root nodules, the number of effective root nodules and vegetative phase biomass. While in *Nephrolepis exaltata* with one time application can significantly increase the number of total root nodules and the number of effective root nodules. This increase is indicated by the content of bioactive compounds contained in the extract, so that it can increase the growth of soybean plants by stimulating the activity of soil microorganisms.

**Keywords:** Biomass, biostimulant, fern, nodulation, soybean.

### Pendahuluan

Indonesia merupakan salah satu negara dengan konsumsi kedelai tertinggi di dunia setelah Tiongkok. Permintaan kedelai dalam negeri diperkirakan sekitar 3 juta ton per tahun, namun produksi lokal hanya mampu menyuplai sekitar 300.000 ton, sehingga lebih dari 80% kebutuhan kedelai Indonesia dipenuhi dari impor terutama dari Amerika Serikat dan Brazil (Pusat Kajian Anggaran, Badan Keahlian Sekretariat Jenderal DPR RI, 2022).

Kedelai (*Glycine max*) merupakan salah satu bahan pangan utama masyarakat Indonesia setelah beras dan jagung. Seiring bertambahnya jumlah penduduk, kebutuhan akan pangan pun terus meningkat. Dengan permintaan yang terus meningkat, tantangan dalam menjaga pasokan

kedelai nasional menjadi semakin besar, terutama dalam upaya memenuhi kebutuhan pangan yang terus bertambah (Siregar *et al.*, 2024).

Kedelai merupakan tanaman polong-polongan berakar tunggang dari familia leguminase. Pada akar kedelai terdapat bintil akar yang disebabkan karena adanya simbiosis antara akar dan bakteri *Rhizobium* (Moretti *et al.*, 2024). Sebagai sumber protein nabati yang penting, kedelai berperan dalam kebutuhan pangan dan digunakan sebagai bahan dasar berbagai produk olahan, seperti susu, kecap, tahu, dan tempe (Mishra *et al.*, 2024).

Keberadaan bintil akar mendukung ketersediaan nitrogen didalam tanah dalam budidaya kedelai, yang esensial untuk pertumbuhan dan hasil tanaman tanpa bergantung

pada pupuk kimia (Jarecki *et al.*, 2024). Fiksasi nitrogen juga berkontribusi pada peningkatan biomassa tanaman kedelai, mencakup akar, batang, dan daun. Kedelai dengan biomassa optimal menunjukkan pertumbuhan yang lebih baik dan menghasilkan biji yang berkualitas (Belyshkina *et al.*, 2023).

Tanaman kedelai memerlukan tanah yang kaya unsur hara agar dapat tumbuh dengan baik dan mencapai produksi yang tinggi (Sokolovska *et al.*, 2024). Untuk meningkatkan kesuburan tanaman kedelai perlu dilakukan penambahan biostimulan. Pengelolaan unsur hara organik melalui penerapan biostimulan dengan disemprot ke daun menjadi salah satu cara efektif untuk meningkatkan produktivitas kedelai sekaligus menjaga kesehatan tanah (Moinuddin *et al.*, 2024).

Penggunaan biostimulan alami berbahan dasar tumbuhan telah mendapat perhatian dalam beberapa tahun terakhir karena potensinya dalam meningkatkan kualitas tanaman secara berkelanjutan (Drobek *et al.*, 2019). Serta pada penelitian Aulya *et al.* (2018) ekstrak kasar paku resam 100 mg/L terbukti meningkatkan pertumbuhan dan hasil tanaman jagung. Beberapa penelitian telah mengkaji efektivitas ekstrak tumbuhan sebagai biostimulan. Hasil penelitian Zulfa *et al.*, (2017) menemukan bahwa ekstrak pegagan 25 mg/l dapat meningkatkan pertumbuhan vegetatif kedelai secara signifikan. Ummah *et al.* (2017) melaporkan bahwa ekstrak kasar kulit buah manggis 50 mg/l terbukti dapat meningkatkan berat basah akar pada tanaman padi gogo.

Beberapa jenis paku, seperti *Diplazium esculentum*, *Gleichenia linearis*, *Nephrolepis exaltata*, dan *Blechnum orientale*, mengandung senyawa bioaktif seperti flavonoid, steroid, alkaloid, tanin, dan terpenoid yang berpotensi sebagai biostimulan. Senyawa ini dapat merangsang aktivitas mikroorganisme tanah, proses metabolisme tanaman, serta meningkatkan biomassa dan pembentukan bintil akar pada kedelai. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi pengaruh ekstrak daun paku terhadap biomassa dan jumlah bintil akar kedelai, pada fase vegetatif dan fase generatif. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat mendukung pengembangan teknologi pertanian berkelanjutan, berbasis bahan alami dan ramah lingkungan.

## Bahan dan Metode

### Waktu dan tempat penelitian

Penelitian ini dimulai pada bulan November 2023 sampai dengan Maret 2024 di Laboratorium Fisiologi Tumbuhan dan Rumah Kaca, Jurusan Biologi, FMIPA, Universitas Andalas, Padang.

### Metode penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen (RAL) faktorial, yang terdiri dari 2 faktor dan 3 ulangan. Faktor a merupakan sumber ekstrak kasar terdiri dari 4 jenis sumber tumbuhan, yaitu *Gleichenia linearis*, *Diplazium esculentum*, *Nephrolepis exaltata*, dan *Blechnum orientale* dan 1 kontrol. Faktor b merupakan frekuensi aplikasi pemberian ekstrak tumbuhan paku terdiri dari 2 taraf yaitu 1 kali penyemprotan, dan 2 kali penyemprotan.

### Variabel pengamatan

Variabel pengamatan pada penelitian ini yaitu Biomassa, jumlah seluruh bintil akar dan jumlah bintil akar efektif merupakan parameter indikator untuk menilai pertumbuhan tanaman dan peningkatan hasil panen pada tanaman kedelai.

### Analisis data

Analisis data dilakukan menggunakan perangkat SPSS versi 25. Data dianalisis menggunakan ANOVA. Jika hasil ANOVA menunjukkan pengaruh perlakuan yang berbeda nyata, maka analisis dilanjutkan dengan uji lanjut DNMRT taraf 5%.

## Hasil dan Pembahasan

### Berat basah dan berat kering pada fase vegetatif

Analisis statistik menunjukkan bahwa pemberian ekstrak paku sayur *D. esculentum* dengan 1 kali pemberian ekstrak merupakan perlakuan terbaik yaitu dapat meningkatkan berat basah dan berat kering tanaman kedelai pada fase vegetatif (Tabel 1).

**Tabel 1.** Hasil Analisis Berat Basah dan Berat Kering Fase Vegetatif

Perlakuan	Berat Basah (g)	Berat Kering (g)
Tanpa ekstrak x 1	23,29b	3,62b
Tanpa ekstrak x 2	20,16b	3,97b
Ekstrak paku resam x 1	32,96ab	6,73ab
Ekstrak paku resam x 2	33,87ab	7,04ab
Ekstrak paku sayur x 1	35,98ab	9,34a
Ekstrak paku sayur x 2	39,87a	9,79a
Ekstrak paku pedang x 1	30,39ab	6,65ab
Ekstrak paku pedang x 2	31,63ab	7,16ab
Ekstrak paku lipan x 1	26,73ab	5,64b
Ekstrak paku lipan x 2	30,56ab	6,44b

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada baris yang sama menunjukkan bahwa hasil tidak berbeda nyata pada uji Duncan taraf 5%.

### Berat basah dan berat kering pada fase generatif

Hasil analisis statistik, bahwa pemberian ekstrak beberapa jenis daun paku, frekuensi pemberian ekstrak, dan interaksi keduanya tidak berbeda signifikan pada berat basah dan berat kering tanaman kedelai pada fase generatif (Tabel 2).

**Tabel 2.** Hasil Analisis Berat Basah dan Berat Kering Fase Generatif

Perlakuan	Berat Basah (g)	Berat Kering (g)
Tanpa ekstrak x 1	45,24 a	18,99 a
Tanpa ekstrak x 2	46,25 a	19,92 a
Ekstrak paku resam x 1	48,09 a	21,29 a
Ekstrak paku resam x 2	47,09 a	20,77 a
Ekstrak paku sayur x 1	51,89 a	22,70 a
Ekstrak paku sayur x 2	51,98 a	22,47 a
Ekstrak paku pedang x 1	49,87 a	21,49 a
Ekstrak paku pedang x 2	48,03 a	21,92 a
Ekstrak paku lipan x 1	47,28 a	20,48 a
Ekstrak paku lipan x 2	46,84 a	20,55 a

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada baris yang sama menunjukkan bahwa hasil tidak berbeda nyata pada uji Duncan taraf 5%.

### Jumlah seluruh bintil akar dan jumlah bintil akar

Analisis statistik menunjukkan bahwa pemberian ekstrak paku sayur *D. esculentum* dan paku pedang *N. exaltata* dengan 1 kali pemberian ekstrak merupakan perlakuan terbaik yaitu dapat meningkatkan jumlah bintil akar total dan bintil akar efektif pada tanaman kedelai (Tabel 3).

**Tabel 3.** Hasil Analisis Jumlah Seluruh Bintil Akar dan Jumlah Bintil Akar Efektif

Perlakuan	Bintil Akar Total	Bintil Akar Efektif
Tanpa ekstrak x 1	3,33 bc	1,00 bc
Tanpa ekstrak x 2	5,67 b	1,67 bc
Ekstrak paku resam x 1	18,00 ab	9,00 ab
Ekstrak paku resam x 2	15,67 ab	6,33 b
Ekstrak paku sayur x 1	52,00 a	32,33 a
Ekstrak paku sayur x 2	17,00 ab	11,33 ab
Ekstrak paku pedang x 1	42,00 a	22,33 a
Ekstrak paku pedang x 2	7,67 b	3,33 b
Ekstrak paku lipan x 1	6,67 ab	3,33 b
Ekstrak paku lipan x 2	9,00 ab	4,00 b

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada baris yang sama menunjukkan bahwa hasil tidak berbeda nyata pada uji Duncan taraf 5%.

### Pembahasan

#### Biomassa tanaman kedelai pada fase vegetatif

Berdasarkan tabel 1, dapat diketahui bahwa perlakuan ekstrak paku sayur *D. esculentum* pada 1 kali pemberian merupakan kombinasi terbaik yaitu menghasilkan rata-rata berat basah dan berat kering pada tanaman kedelai. Rata-rata berat basah pada kombinasi ekstrak paku sayur *D. esculentum* dengan 2 kali pemberian merupakan kombinasi terbaik yakni 39,87 gram (1,71 kali lipat) lebih tinggi dibanding dengan kontrol. Sedangkan pada rata-rata berat kering pada tanaman kedelai yaitu 9,39 gram pada kombinasi ekstrak paku sayur *D. esculentum* dengan 1 kali pemberian (2,59 kali lipat), sedangkan kombinasi ekstrak paku sayur *D. esculentum* dengan 2 kali pemberian yakni 9,79 gram (2,70 kali lipat) lebih tinggi dibandingkan dengan kontrol.

Kombinasi ekstrak daun paku sayur *D. esculentum* dengan 1 kali pemberian merupakan kombinasi terbaik, karena dapat meningkatkan rata-rata berat basah dan kering pada tanaman kedelai. Pada kombinasi ini dapat memberikan ketersediaan unsur hara dalam tanah, sehingga mampu merangsang pertumbuhan dan mengoptimalkan aktifitas mikroorganisme pengikat nitrogen yang hidup bersimbiosis dengan tanaman kedelai, sehingga dapat membentuk bintil akar dengan kemampuan memfiksasi N<sup>2</sup>-atmosfer. Ketersediaan unsur Nnitrogen dalam tanah berperan penting dalam pembentukan klorofil sehingga mempengaruhi

laju fotosintesis. Peningkatan hasil fotosintesis menghasilkan senyawa organik yang ditranslokasikan ke seluruh organ tanaman sehingga meningkatkan berat kering tanaman (Wang *et al.*, 2024). Peningkatan biomassa mencerminkan ketersediaan nutrisi yang mencukupi. Nutrisi yang memadai mendorong pertumbuhan akar yang sehat untuk menyerap air dan nutrisi dengan lebih efisien. Kondisi ini mendukung perkembangan tanaman bagian vegetatif di atas permukaan tanah, seperti daun dan batang, yang esensial untuk pertumbuhan tanaman secara keseluruhan (Abriz & Golezani, 2023).

Berat segar tanaman mencakup karbohidrat dan air, sedangkan berat kering mencerminkan asimilasi karbon dioksida serta akumulasi senyawa organik selama pertumbuhan tanaman (Glenn, 2016). Berat segar mencerminkan kondisi fisiologis tanaman, seperti tingkat hidrasi dan kemampuan menyerap air, yang relevan untuk mengamati respon tanaman terhadap ketersediaan air dan stres kekeringan. Disisi lain, berat kering mencerminkan biomassa tanpa kandungan air, yang mencakup hasil asimilasi karbon dioksida dan akumulasi senyawa organik seperti karbohidrat, lignin, dan protein. Berat kering menjadi indikator terhadap produktivitas tanaman, terutama untuk menilai potensi hasil panen seperti biji atau buah (Huang *et al.*, 2019).

Secara keseluruhan peningkatan biomassa menunjukkan kemampuan tanaman dalam memanfaatkan sumber daya, seperti cahaya, air, dan nutrisi, untuk mendukung proses metabolisme (Lima *et al.*, 2017). Tanaman kedelai dengan biomassa lebih tinggi mampu mengembangkan akar, batang, dan daun yang lebih kokoh, sehingga meningkatkan efisiensi fotosintesis dan produksi energi. Proses ini juga mendukung pengembangan benih dengan kualitas tinggi, yang ditandai dengan ukuran yang lebih besar, kandungan protein lebih tinggi, dan tingkat viabilitas yang lebih baik. (Ciampitti *et al.*, 2021).

Fase vegetatif berperan penting dalam produksi biomassa secara keseluruhan. Pada Fase ini perkembangan daun, batang, dan akar meningkat secara signifikan, mendukung penyerapan nutrisi dan proses fotosintesis. Hal ini pada akhirnya berdampak pada peningkatan

produktivitas tanaman khususnya tanaman kedelai dalam kondisi pertumbuhan yang optimal (Molata *et al.*, 2021).

### **Biomassa tanaman kedelai pada fase generatif**

Berdasarkan Tabel 2, dapat diketahui bahwa pemberian ekstrak beberapa jenis daun paku, frekuensi pemberian ekstrak serta interaksi keduanya tidak memberikan pengaruh berbeda nyata terhadap berat basah dan berat kering pada tanaman kedelai. Saat memasuki pasca panen, sebagian besar hasil asimilasi dari proses fotosintesis diteruskan ke organ generatif seperti polong dan biji tanaman (Cho *et al.*, 2023). Pertumbuhan vegetatif tanaman cenderung melambat seperti pertumbuhan daun akan terhambat yang ditandai dengan daun mulai menguning dan mulai rontok (Widiastuti & Latifah, 2016).

Masa generatif (panen) adalah tahap kritis dalam siklus hidup tanaman. Pada fase generatif tanaman memfokuskan energi pada produksi biji, sehingga ketersediaan nutrisi maupun struktur tanah tidak menjadi faktor utama dalam pertumbuhan tanaman (Hirpara *et al.*, 2020). Oleh karena itu, perbedaan berat basah dan berat kering tajuk dan akar tidak terlihat pada masa generatif (panen) karena pada saat tanaman memasuki fase generatif, unsur hara akan lebih dimanfaatkan untuk proses pembungaan dan pembentukan biji.

### **Jumlah seluruh bintil akar dan jumlah bintil akar efektif**

Data pada tabel 3, dapat diketahui bahwa perlakuan ekstrak paku sayur *D. esculentum* dan paku pedang *N. exaltata* pada 1 kali pemberian merupakan kombinasi terbaik yaitu menghasilkan rata-rata jumlah bintil akar total dan jumlah bintil akar efektif pada tanaman kedelai. Rata-rata jumlah bintil akar total pada kombinasi ekstrak paku sayur dengan 1 kali pemberian (15,62 kali lipat), dan diikuti oleh paku pedang *N. exaltata* pada 1 kali pemberian (12,61 kali lipat) lebih tinggi dibanding kontrol. Pada rata-rata jumlah bintil akar total pada kombinasi ekstrak paku sayur dengan 1 kali pemberian (32,33 kali lipat), dan diikuti oleh paku pedang *N. exaltata* pada 1 kali pemberian (22,33 kali lipat) lebih tinggi dibanding kontrol.

Ekstrak paku sayur *D. esculentum* dan paku pedang *N. exaltata* dengan 1 kali pemberian merupakan kombinasi terbaik terhadap parameter jumlah seluruh bintil akar dan jumlah bintil akar efektif, hal ini disebabkan karena paku sayur mengandung senyawa bioaktif berupa flavonoid, steroid, dan terpenoid, sedangkan pada paku pedang mengandung alkaloid, flavonoid, steroid, dan terpenoid. Senyawa flavonoid, steroid, terpenoid, dan alkaloid dalam ekstrak paku sayur dan paku pedang yang dimanfaatkan sebagai biostimulan berperan penting dalam mendukung pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Senyawa ini memiliki sifat antioksidan dan anti-inflamasi, memodulasi pensinyalan seluler, serta meningkatkan ketahanan terhadap stres biotik dan abiotik. Dampaknya, pembentukan nodul akar lebih optimal, fiksasi nitrogen dan penyerapan nutrisi meningkat, sehingga performa tanaman secara keseluruhan menjadi lebih baik (Allegra, 2019).

Flavonoid bertindak sebagai molekul sinyal yang menarik bakteri *Rhizobium* ke zona akar melalui chemotaxis, sekaligus menginduksi ekspresi gen nodulasi, yang esensial untuk pembentukan bintil akar (Kumar, 2024). Fiksasi nitrogen, hasil aktivitas bakteri *Rhizobium japonicum* di bintil akar, dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti defisit tekanan uap musiman dan lamanya siklus pertumbuhan tanaman. Defisit tekanan uap memengaruhi efisiensi penyerapan air dan nutrisi, sementara siklus pertumbuhan yang lebih panjang memberikan waktu lebih lama bagi tanaman memanfaatkan nitrogen (Ciampitti et al., 2021).

Penggunaan ekstrak paku sayur tidak hanya berdampak positif jangka pendek pada tanaman kedelai, tetapi juga berkontribusi pada keberlanjutan ekosistem tanah. Senyawa bioaktifnya meningkatkan populasi mikroba tanah seperti bakteri fiksasi nitrogen, memperbaiki struktur tanah, retensi air, dan sirkulasi nutrisi, sehingga mendukung produktivitas dan keberlanjutan sistem pertanian jangka panjang (Adedayo & Babalola, 2024).

Kedelai tumbuh optimal di tanah yang kaya nutrisi karena ketersediaan nutrisi mendukung perkembangan tanaman, termasuk akar yang kuat dan tajuk yang subur. Selain itu, kedelai memiliki kemampuan unik untuk bersimbiosis dengan bakteri penambat nitrogen,

yang memungkinkan tanaman ini berkontribusi pada kesuburan tanah dengan menambah nitrogen melalui proses fiksasi biologis (Zabarna & Cheresnyuk, 2024).

Pembentukan nodul akar yang lebih banyak meningkatkan fiksasi nitrogen dengan menyediakan lebih banyak ruang bagi *Rhizobia* untuk membentuk hubungan simbiotik dengan tanaman kacang-kacangan, sehingga mengoptimalkan pasokan nitrogen yang tersedia dan meningkatkan efisiensi pengikatan nitrogen atmosfer (Lindstrom & Mousavi, 2020). Proses ini mendukung pertumbuhan vegetatif dan generatif tanaman, serta meningkatkan hasil panen, termasuk bobot dan kandungan protein biji kedelai. Dengan demikian, penggunaan ekstrak paku sayur tidak hanya meningkatkan produktivitas tetapi juga kualitas hasil pertanian secara keseluruhan.

## Kesimpulan

Ekstrak *Diplazium esculentum* dan *Nephrolepis exaltata* terbukti meningkatkan biomassa tanaman kedelai pada fase vegetatif, baik berat basah maupun berat kering tajuk dan akar. Kombinasi ekstrak adalah pemberian ekstrak *D. esculentum* sebanyak satu kali, yang secara signifikan meningkatkan biomassa dibandingkan dengan kontrol. Pada fase generatif, pengaruh ekstrak tidak signifikan terhadap biomassa, karena hasil asimilasi difokuskan pada organ generatif seperti biji. Selain itu, pemberian ekstrak meningkatkan jumlah bintil akar efektif dan total, yang mendukung fiksasi nitrogen dan pertumbuhan tanaman. Kandungan bioaktif dalam ekstrak seperti flavonoid, steroid, terpenoid, dan alkaloid berperan penting dalam meningkatkan fotosintesis, efisiensi penyerapan nutrisi, dan hasil panen. Dengan demikian, penggunaan ekstrak daun paku sayur berpotensi sebagai biostimulan alami untuk meningkatkan produktivitas dan kualitas tanaman kedelai.

## Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan kontribusi dalam penelitian ini, baik dalam bentuk dukungan moral ataupun moral.

## Referensi

- Abriz, S.F. & Golezani, K.G. (2023). Nutrient Availability Regulates Root System Behavior, pp. 96-119. John Wiley & Sons.  
<https://doi.org/10.1002/9781119803041>
- Adedayo A.A & Babalola O.O. (2023) The Potential of Biostimulants on Soil Microbial Community. *Frontiers*, 1: 1308641. DOI: <https://doi.org/10.3389/finmi.2023.1308641>
- Allegra, M. (2019). Antioxidant and anti-inflammatory properties of plants extract. *Antioxidants*, 8(11), 549. <https://doi.org/10.3390/antiox8110549>
- Aulya, N.R., Noli, Z.A., Bakhtiar, A. & Mansyurdin, M. (2018). Effect of Plant Extracts on Growth and Yield of Maize (*Zea mays* L.). *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science*, 41(3): 36-41. <https://doi.org/10.25077/jbioua.8.2.36-40.2020>
- Belyshkina, M. E., Kobozeva, T. P., Ananyeva, T. V., Popova, N. P., & Romanovskaya, A. Y. (2023, June). Biological nitrogen contribution to the increased forage value of soybean grains in the Non-Chernozem zone of Russia. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1206, No. 1, p. 012012). IOP Publishing. <http://doi.org/10.1088/17551315>.
- Cho, Y. B., Stutz, S. S., Jones, S. I., Wang, Y., Pelech, E. A., & Ort, D. R. (2023). Impact of pod and seed photosynthesis on seed filling and canopy carbon gain in soybean. *Plant physiology*, 193(2), 966-979. <https://doi.org/10.1093/plphys/kiad324>
- Ciampitti, I. A., de Borja Reis, A. F., Córdova, S. C., Castellano, M. J., Archontoulis, S. V., Correndo, A. A., ... & Moro Rosso, L. H. (2021). Revisiting biological nitrogen fixation dynamics in soybeans. *Frontiers in Plant Science*, 12, 727021. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.727021>.
- Drobek, M., Fraç, M., & Cybulska, J. (2019). Plant biostimulants: Importance of the quality and yield of horticultural crops and the improvement of plant tolerance to abiotic stress—A review. *Agronomy*, 9(6), 335. <https://doi.org/10.3390/agronomy9060335>
- Glenn, D. M. (2016). Dry matter partitioning and photosynthetic response to biennial bearing and freeze damage in ‘Empire’ apple. *Scientia Horticulturae*, 210, 1-5. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.06.042>.
- Hirpara, A. B., Sapovadiya, M. H., Patel, J. B., Chauhan, K. P., & Babariya, P. A. (2020). Effect of harvesting stages on seed quality of soybean (*Glycine max* L.) Varieties. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 9(2), 2348-2350.
- Huang, W., Ratkowsky, D. A., Hui, C., Wang, P., Su, J., & Shi, P. (2019). Leaf fresh weight versus dry weight: which is better for describing the scaling relationship between leaf biomass and leaf area for broad-leaved plants?. *Forests*, 10(3), 256. <https://doi.org/10.3390/f10030256>
- Jarecki, W., Borza, I. M., Rosan, C. A., Vicas, S. I., & Domuța, C. G. (2024). Soybean Response to Seed Inoculation with *Bradyrhizobium japonicum* and/or Nitrogen Fertilization. *Agriculture*, 14(7), 1025. <https://doi.org/10.3390/agriculture14071025>.
- de Freitas Lima, M., Eloy, N. B., de Siqueira, J. A. B., Inzé, D., Hemerly, A. S., & Ferreira, P. C. G. (2017). Molecular mechanisms of biomass increase in plants. *Biotechnology Research and Innovation*, 1(1), 14-25. <https://doi.org/10.1016/j.biori.2017.08.001>.
- Lindström, K., & Mousavi, S. A. (2020). Effectiveness of nitrogen fixation in rhizobia. *Microbial biotechnology*, 13(5), 1314-1335. <https://doi.org/10.1111/17517915.13517>
- Mishra, R., Tripathi, M. K., Sikarwar, R. S., Singh, Y., & Tripathi, N. (2024). Soybean (*Glycine max* L. Merrill): A Multipurpose Legume Shaping Our World. *PLANT CELL BIOTECHNOLOGY AND MOLECULAR BIOLOGY*, 25(3-4), 17-37. <https://doi.org/10.56557/pcbmb/2024/v25i3-48643>.

- Moinuddin, A.K., Bankoti, P., Khan, F.A. & Narayan, S. (2024). Influence of Foliar Applications with Organic Sources of Nutrients on Growth and Yield of Soybean (*Glycin max* L.) A research review. *International Journal of Research in Agronomy*, 7(6):181-186. <https://doi.org/10.33545/2618060X.2024.v7.i6c.869>
- Molata, T.R., Mosebi, P., Oluremi, O.I.A. & Molapo, S. (2021). Vegetative Biomass of Maize, Soybean, Lablab and Grazing Vetch Under Different Tillage and Mulch Practices in the Foothills Agroecological Zone of Lesotho. *African Journal of Agricultural Research*. 17(5): 743-749. <https://doi.org/10.5897/AJAR2021.15562>
- Moretti, L. G., Crusciol, C. A. C., Leite, M. F. A., Momesso, L., Bossolani, J. W., Costa, O. Y. A., ... & Kuramae, E. E. (2024). Diverse bacterial consortia: key drivers of rhizosoil fertility modulating microbiome functions, plant physiology, nutrition, and soybean grain yield. *Environmental Microbiome*, 19(1), 50. <https://doi.org/10.1186/s40793-024-00595-0>
- Pusat Kajian Anggaran, Badan Keahlian Sekretariat Jenderal DPR RI. (2022). *Penyebab Ketergantungan Indonesia Terhadap Impor Kedelai. Budget Issue Brief*, 2(3), ISSN2775-796X. <https://berkas.dpr.go.id/pa3kn/analisis-tematik-apbn/public-file/bib-public-100.pdf>. (Accessed on Oktober 27, 2024).
- Siregar, I. A., Nofitasari, R., & Sandra, I. K. (2024). Analysis of Determinants and Factors Affecting Indonesian Soybean Imports. *JIA (Jurnal Ilmiah Agribisnis): Jurnal Agribisnis dan Ilmu Sosial Ekonomi Pertanian*, 9(3), 266-274. <https://doi.org/10.37149/jia.v9i3.204>
- Sokolovska, I.M., Mashchenko, Y.U. & Zharko, D.A. (2024). Productivity of Soybean Depending on the Predecessor and Fertilization System in the Conditions of the Steppe of Ukraine. *Tavrijs'kij naukovej visnik*, 2(136):142-150. DOI <https://doi.org/10.32782/22260099.2024.136.2.18>
- Ummah, K. K., Noli, Z. A., & Bakhtiar, A. Mansyurdin.(2017). Effect of Certain Plant Crude Extracts on the Growth of Upland Rice (*Oryza sativa* L.). *Int. J. Curr. Res. Biosci. Plant Biol*, 4(9), 1-6. <https://doi.org/10.20546/ijcrbp.2017>
- Wang, Q., Li, S., Li, J., & Huang, D. (2024). The utilization and roles of nitrogen in plants. *Forests*, 15(7), 1191. <https://doi.org/10.3390/f15071191>
- Widiastuti, E., & Latifah, E. (2016). Keragaan pertumbuhan dan biomassa varietas kedelai (*Glycine Max* (l)) di lahan sawah dengan aplikasi pupuk organik cair. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 21(2), 90-97. <https://doi.org/10.24002/biota.v4i2.2470>
- Zabarna, T.A. & Chereschnyuk, V.V. (2024). Agroecological Aspects of Soybean (*Glycine max* L.) Cultivation in Ukraine. *Agroecological journal*, 1:108-116. <https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2024.299945>
- Zulfa, Z., Suliansyah, I., & Bakhtiar, A. (2017). Effect of Crude Extracts of Six Plants on Vegetative Growth of Soybean (*Glycine max*Merr.). *International Journal of Advances in Agricultural Science and Technology*, 4(7), 1-12. <https://ijaast.com/2017.v4.i7>