

**REVIEW POTENSI DAN MEKANISME BIOSTIMULAN EKSTRAK DAUN KELOR
(*Moringa oleifera*) DALAM MENINGKATKAN PERTUMBUHAN AWAL TANAMAN SAYURAN**

**A REVIEW OF THE BIOSTIMULANT POTENTIAL AND MECHANISMS OF MORINGA LEAF
EXTRACT IN ENCHANCING EARLY GROWTH OF VEGETABLE CROPS**

Alin Robiah Al Adawiah*

Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Siliwangi
Jl. Mugarsari, Kec. Tamansari, Kota Tasikmalaya, Jawa Barat 46196

Corresponding email: alinrobiahadawiah@unsil.ac.id

ABSTRAK

Kata kunci:
Biostimulan
Ekstrak daun
Pertumbuhan
awal

Biostimulan alami semakin banyak dikaji sebagai alternatif untuk meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan sistem pertanian. Salah satu sumber biostimulan alami yang potensial adalah ekstrak daun kelor (*Moringa oleifera* leaf extract, MLE) yang mengandung senyawa bioaktif seperti sitokinin, asam amino, vitamin, mineral, dan antioksidan. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji potensi dan mekanisme kerja MLE terhadap perkecambahan dan pertumbuhan awal tanaman melalui metode *narrative literature review*. Kajian dilakukan terhadap 25 artikel ilmiah yang dipublikasikan dalam rentang waktu 10 tahun terakhir (2014–2024) dan diperoleh dari basis data ilmiah bereputasi. Analisis dilakukan secara deskriptif-kualitatif dengan membandingkan parameter pertumbuhan awal tanaman yang dilaporkan dalam masing-masing penelitian. Hasil kajian menunjukkan bahwa aplikasi MLE pada konsentrasi optimal mampu meningkatkan persentase dan kecepatan perkecambahan, vigor bibit, panjang akar dan tunas, serta bobot biomassa awal tanaman. Tanaman yang menunjukkan respon positif terhadap aplikasi MLE meliputi selada, tomat, cabai, mentimun, bawang merah, sawi, pare dan kacang polong. Peningkatan pertumbuhan awal tanaman dipengaruhi oleh peran MLE dalam menstimulasi hormon pertumbuhan, meningkatkan efisiensi penyerapan unsur hara, serta melindungi tanaman dari stres oksidatif pada fase awal pertumbuhan. Dengan demikian, MLE berpotensi dikembangkan sebagai biostimulan alami yang ramah lingkungan dan mendukung penerapan pertanian berkelanjutan.

ABSTRACT

Keywords:
Biostimulants
Early growth
Leaf extract

Natural biostimulants have been increasingly studied as an alternative to improve the efficiency and sustainability of agricultural systems. One promising source of natural biostimulants is moringa leaf extract (*Moringa oleifera* leaf extract, MLE), which contains various bioactive compounds such as cytokinins, amino acids, vitamins, minerals, and antioxidants. This study aims to review the potential and mechanisms of action of MLE on seed germination and early plant growth through a *narrative literature review* approach. The review was conducted on 25 scientific articles published over the last 10 years (2014–2024) and obtained from reputable scientific databases. A descriptive–qualitative analysis was performed by comparing early growth parameters reported in each study. The results indicate that the application of MLE at optimal concentrations can enhance germination percentage and rate, seedling vigor, root and shoot length, as well as early biomass accumulation. Plant species that showed positive responses to MLE application include lettuce, tomato, chili pepper, cucumber, shallot, mustard greens, bitter gourd, and pea. The improvement in early plant growth is attributed to the role of MLE in stimulating growth hormones, enhancing nutrient uptake efficiency, and protecting plants against oxidative stress during the early growth stages. Therefore, MLE has strong potential to be developed as an environmentally friendly natural biostimulant that supports the implementation of sustainable agriculture.

PENDAHULUAN

Sektor hortikultura saat ini menghadapi tantangan untuk meningkatkan produktivitas guna memenuhi kebutuhan pangan global. Hal ini dikarenakan proyeksi pertumbuhan populasi dunia dari sekitar 7,7 miliar menjadi 9,6 miliar jiwa pada tahun 2050 (Kojo *et al.*, 2024). Selain itu, tantangan lainnya yaitu hampir satu miliar penduduk masih mengalami kekurangan gizi (Foley *et al.*, 2011), serta perubahan iklim yang mempengaruhi stabilitas produksi hortikultura di berbagai wilayah (Wheeler & von-Braun, 2013).

Pertanian berkelanjutan saat ini menjadi fokus utama dalam sistem produksi hortikultura modern melalui pemanfaatan bahan alami sebagai alternatif input sintetis. Hal tersebut disebabkan ketergantungan terhadap pupuk dan pestisida sintetis dapat menimbulkan berbagai dampak negatif. Beberapa dampaknya yaitu penurunan tingkat kesuburan tanah, gangguan mikroorganisme tanah, akumulasi residu kimia, serta pencemaran air dan ekosistem sekitarnya (Meena *et al.*, 2020; Qiu *et al.*, 2025). Selain itu, pada tingkat kritis dampak input kimia dapat menyebabkan resistensi hama dan patogen, serta potensi risiko kesehatan manusia akibat paparan residu agrokimia pada produk hortikultura. Oleh karena itu, diperlukan transisi menuju pendekatan berbasis

input hayati dan ramah lingkungan (Carvalho, 2017; Damalas & Koutroubas, 2018). Pemanfaatan sumber daya hayati seperti ekstrak tanaman, mikroorganisme bermanfaat, dan biostimulan alami dinilai sebagai pendekatan yang ramah lingkungan karena mampu meningkatkan produktivitas tanaman. Fungsi lainnya yaitu dapat menjaga keseimbangan ekosistem tanah dan lingkungan secara berkelanjutan (Rouphael & Colla, 2020; du Jardin, 2022).

Biostimulan mencakup berbagai senyawa yang mampu meningkatkan proses fisiologis tanaman sehingga mendorong pertumbuhan dan perkembangan. Aplikasi biostimulan juga dapat mengurangi penggunaan pupuk sintetis tanpa menurunkan produktivitas tanaman (Bulgary *et al.*, 2015; Khan *et al.*, 2017; El-Mageed *et al.*, 2017). Tanaman kelor (*Moringa oleifera*) yang sering dijuluki sebagai “*miracle tree*” memiliki potensi sebagai biostimulan alami karena mengandung antioksidan yang tinggi (Amalia *et al.*, 2024). Kandungan tersebut berpotensi menekan stres oksidatif pada tanaman selama tahap perkecambahan dan pertumbuhan awal. Kandungan senyawa fenolik dan antioksidan dalam ekstrak daun kelor berperan dalam menstimulasi pembentukan akar dan tunas, serta meningkatkan keseimbangan fisiologis tanaman muda (Yuniati *et al.*, 2022). Ekstrak daun kelor atau *Moringa Leaf Extract* (MLE) dapat berinteraksi

secara sinergis dengan proses biokimia tanaman, sehingga memperkuat respons pertumbuhan dan ketahanan terhadap stres lingkungan.

MLE mengandung senyawa pemacu pertumbuhan utama di antaranya zeatin, yaitu sitokinin alami yang berperan sebagai hormon pertumbuhan tanaman (Sadak *et al.*, 2024). Aktivitas biostimulan tersebut diperkuat oleh keberadaan asam giberelat dan fitohormon penting lainnya (Yuniati *et al.*, 2022). Beberapa penelitian telah membuktikan bahwa pemberian MLE pada daun maupun benih tanaman dapat meningkatkan perkecambahan, pertumbuhan akar, pembentukan klorofil, serta vigor bibit pada tanaman selada, tomat, bayam, dan jagung (Basra *et al.*, 2016; Yasmeen *et al.*, 2013; Elzaawely *et al.*, 2017; Mashamaite *et al.*, 2022). Pengaruh positif tersebut disebabkan oleh sinergi antara fitohormon alami dan senyawa antioksidan yang terkandung dalam ekstrak daun kelor sebagai pengatur aktivitas metabolik dan proses perkembangan awal tanaman.

Popularitas MLE sebagai biostimulan alami semakin meningkat karena dapat meningkatkan ketahanan tanaman terhadap stres lingkungan (Batoool *et al.*, 2020; Latif & Mohamed, 2016). Namun, penerapannya secara luas pada aktivitas budidaya masih terbatas. Perbedaan metode ekstraksi, konsentrasi larutan, serta jenis tanaman uji sering kali menghasilkan variasi hasil penelitian

(Amalia *et al.*, 2024; Mirsaberi *et al.*, 2024). Selain itu, kajian tentang mekanisme fisiologis dari senyawa aktif kelor terhadap perkembangan awal bibit tanaman sayuran masih terbatas. Disisi lain, tanaman ini berperan penting dalam ketahanan pangan dan gizi manusia secara global (FAO, 2024; Liu *et al.*, 2023).

Berdasarkan tinjauan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji potensi dan mekanisme kerja MLE terhadap perkecambahan dan pertumbuhan awal tanaman melalui metode *narrative literature review*. Keberhasilan perkecambahan dan pertumbuhan awal menjadi kunci utama untuk keberhasilan pertumbuhan dan produksi tanaman (Finch-Savage & Bassel, 2016). Selain itu, tinjauan ini juga mengidentifikasi arah penelitian masa depan guna mendukung standarisasi serta penerapan praktis biostimulan berbasis kelor dalam produksi hortikultura berkelanjutan.

BAHAN DAN METODE

Penelitian ini merupakan tinjauan pustaka naratif (*narrative literature review*). Fokus penelitian yaitu mengkaji potensi serta mekanisme kerja ekstrak daun kelor sebagai biostimulan alami dalam meningkatkan perkecambahan dan pertumbuhan awal tanaman sayuran. Proses penelusuran dan seleksi literatur mengikuti prinsip *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA). Proses ini dilakukan

untuk menjamin transparansi dan keterulangan proses kajian.

Tahap identifikasi dilakukan dengan menelusuri artikel ilmiah melalui basis data bereputasi seperti Google Scholar, Scopus, dan ScienceDirect. Beberapa kata kunci yang digunakan di antaranya “*Moringa oleifera leaf extract*”, “biostimulant”, “seed germination”, dan “early plant growth”. Pada tahap awal diperoleh sejumlah artikel yang relevan, kemudian dilakukan penyaringan (*screening*) berdasarkan tahun publikasi (10 tahun terakhir), kesesuaian topik, dan ketersediaan teks lengkap. Selanjutnya, artikel yang terduplikasi dan tidak relevan dieliminasi.

Tahap kelayakan (*eligibility*) dilakukan dengan menelaah isi artikel secara menyeluruh untuk memastikan kesesuaian dengan tujuan kajian. Berdasarkan proses tersebut, sebanyak 25 artikel dipilih dan dianalisis secara deskriptif-kualitatif. Artikel yang dipilih berkaitan dengan pola respons tanaman, mekanisme fisiologis, serta potensi penerapan MLE sebagai biostimulan alami.

Melalui pendekatan tinjauan pustaka naratif (*narrative literature review*), penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi penting dalam memahami potensi dan mekanisme ekstrak daun kelor. Pendekatan ini tidak hanya berfokus pada peningkatan produktivitas tanaman melalui stimulasi

fisiologis dan biokimia, tetapi juga berkontribusi terhadap pertanian berkelanjutan. Hasil tinjauan ini diharapkan dapat menjadi dasar ilmiah dalam pengembangan aplikasi praktis biostimulan berbasis kelor yang efektif dan ramah lingkungan. Biostimulan tersebut dapat digunakan terutama untuk budidaya hortikultura pada lahan kering yang dipengaruhi oleh stress lingkungan. Setiap metode atau rumus dicantumkan sumber pustakanya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Komposisi Kimia dan Kandungan Mineral Ekstrak Daun Kelor

Ekstrak daun kelor diketahui mengandung beragam senyawa fitokimia. Efektivitasnya dapat dipengaruhi oleh jenis pelarut yang digunakan dalam proses ekstraksi (Brockman *et al.*, 2017). Profil komposisi kimia ekstrak daun kelor dipengaruhi oleh kondisi bahan baku dan proses ekstraksi. Ekstrak daun kering umumnya menunjukkan konsentrasi senyawa bioaktif seperti fenolik dan flavonoid yang berbeda dibandingkan daun segar. Hal tersebut akibat perubahan kadar air dan stabilitas fitokimia selama pengolahan (Oliveira *et al.*, 2025)

Pilihan pelarut berperan penting dalam menentukan jenis senyawa yang terekstraksi. Pelarut etanol terbukti efektif mengekstraksi senyawa semi-polar seperti flavonoid dan fenolik dengan jumlah yang lebih tinggi. Pelarut air

cenderung lebih efektif untuk ekstraksi senyawa polar seperti asam fenolik dan glikosida. Perbandingan antara kedua pelarut tersebut menunjukkan bahwa etanol mampu melarutkan spektrum metabolit sekunder lebih luas. Selain itu, etanol dapat menghasilkan profil bioaktif lebih banyak dibandingkan air (Ghada *et al.*, 2025; Oktaviana *et al.*, 2022).

Penelitian Brockman *et al.* (2017) menunjukkan bahwa penggunaan metode ekstraksi bertahap dengan etanol terbukti meningkatkan hasil gabah 12% dan biomassa 11% dibandingkan ekstrak berbasis air. Selain mengandung unsur

hara mineral, MLE juga memiliki hormon pemacu pertumbuhan yang berperan dalam meningkatkan pertumbuhan dan hasil tanaman (Latif *et al.*, 2016; Saini *et al.*, 2016). Komposisi kimia dan kandungan mineral MLE disajikan pada **Tabel 1** dan **Tabel 2**.

MLE diketahui mengandung berbagai unsur hara mikro yang dibutuhkan tanaman seperti mangan (Mn), seng (Zn), dan kobalt (Co). Unsur hara tersebut berperan pada proses metabolisme tanaman dan sintesis karbohidrat (Biel *et al.*, 2017; Mashamaite *et al.*, 2022).

Tabel 1. Kandungan mineral MLE

Komponen Unsur hara makro	Nilai	Referensi
Nitrogen (N)	17,81 g 100 g ⁻¹ DW	Hala <i>et al.</i> (2017)
	27,34 mg g ⁻¹ DW	Nouman <i>et al.</i> (2014)
	12,36 mg g ⁻¹ DW	Ali <i>et al.</i> (2018)
	13,23 mg g ⁻¹ DW	El-Serafy & El-Sheshtawy (2020)
Fosfor (P)	9,70 mg 100 g ⁻¹ DW	Hala <i>et al.</i> (2017)
	2,87 mg g ⁻¹ DW	Nouman <i>et al.</i> , (2014)
	8,10 mg g ⁻¹ DW	Rehman <i>et al.</i> , (2017)
	3,82 mg g ⁻¹ DW	Ali <i>et al.</i> , (2018)
	3,18 mg g ⁻¹ DW	El-Serafy & El-Sheshtawy (2020)
Kalium (K)	2,80 mg 100 g ⁻¹ DW	Hala <i>et al.</i> (2017)
	8,76 mg g ⁻¹ DW	Nouman <i>et al.</i> , (2014)
	25,10 mg g ⁻¹ DW	Rehman <i>et al.</i> (2017)
	13,78 mg g ⁻¹ DW	Ali <i>et al.</i> (2018)
	12,45 mg g ⁻¹ DW	El-Serafy & El-Sheshtawy (2020)
Magnesium (Mg)	3,50 mg 100 g ⁻¹ DW	Hala <i>et al.</i> , (2017)
	6,70 mg g ⁻¹ DW	Rehman <i>et al.</i> (2017)
	3,96 mg g ⁻¹ DW	Ali <i>et al.</i> (2018)
	2,98 mg g ⁻¹ DW	El-Serafy & El-Sheshtawy (2020)
Kalsium (Ca)	1,28 mg 100 g ⁻¹ DW	Hala <i>et al.</i> , (2017)
	28,00 mg g ⁻¹ DW	Rehman <i>et al.</i> (2017)
	15,92 mg g ⁻¹ DW	Ali <i>et al.</i> (2018)
	8,76 mg g ⁻¹ DW	El-Mageed <i>et al.</i> (2017)
	17,08 mg g ⁻¹ DW	El-Serafy & El-Sheshtawy (2020)

Unsur hara mikro		
Besi (Fe)	1,18 mg 100 g ⁻¹ DW	Hala <i>et al.</i> (2017)
	1,60 mg g ⁻¹ DW	Rehman <i>et al.</i> (2017)
	0,38 mg g ⁻¹ DW	Ali <i>et al.</i> (2018)
	0,41 mg g ⁻¹ DW	El-Serafy & El-Sheshtawy (2020)
Tembaga (Cu)	0,87 mg 100 g ⁻¹ DW	Hala <i>et al.</i> (2017)
	0,03 mg g ⁻¹ DW	Nouman <i>et al.</i> (2014)
	0,14 mg g ⁻¹ DW	Rehman <i>et al.</i> (2017)
	0,03 mg g ⁻¹ DW	Ali <i>et al.</i> (2018)
Seng (Zn)	0,27 mg g ⁻¹ DW	Rehman <i>et al.</i> (2017)
	0,05 mg g ⁻¹ DW	Ali <i>et al.</i> (2018)
	0,06 mg g ⁻¹ DW	El-Serafy & El-Sheshtawy (2020)
Mangan (Mn)	0,84 mg g ⁻¹ DW	Rehman <i>et al.</i> (2017)
	0,03 mg g ⁻¹ DW	Nouman <i>et al.</i> (2014)
Boron (Br)	0,02 mg g ⁻¹ DW	Nouman <i>et al.</i> (2014)
Sulfur (S)	0,001 mg g ⁻¹ DW	Nouman <i>et al.</i> (2014)

Tabel 2. Komposisi kimia MLE

Komposisi kimia	Nilai	Referensi
Air	5,90 mg 100 g ⁻¹ DW	Abdalla (2014)
Protein	27,20 mg 100 g ⁻¹ DW	Abdalla (2014)
Serat	19,20 mg 100 g ⁻¹ DW	Abdalla (2014)
Total gula	38,60 mg 100 g ⁻¹ DW	Abdalla (2014)
Lipid	17,10 mg 100 g ⁻¹ DW	Abdalla (2014)
Antioksidan		
Total fenol	1,63 mg g ⁻¹ DW	Ali <i>et al.</i> (2018)
	1,70 mg g ⁻¹ DW	El-Serafy & El-Sheshtawy (2020)
Fenol terlarut	6,20 mg g ⁻¹ DW	Rehman <i>et al.</i> (2017)
Total klorofil	4,38 mg g ⁻¹ DW	Ali <i>et al.</i> (2018)
	3,86 mg g ⁻¹ DW	El-Serafy & El-Sheshtawy (2020)
Total karoten	3,10 mg 100 g ⁻¹ FW	Rehman <i>et al.</i> (2017)
	2,24 mg 100 g ⁻¹ DW	Abdalla (2014)
	1,72 mg g ⁻¹ DW	Ali <i>et al.</i> (2018)
	1,65 mg g ⁻¹ DW	El-Serafy & El-Sheshtawy (2020)
Asam askorbat	8,47 mg g ⁻¹ FW	Ali <i>et al.</i> (2018)
	2,25 mmol AsA g ⁻¹ DW	El-Mageed <i>et al.</i> (2017)
	3,26 mg 100 g ⁻¹ DW	Abdalla (2014)
a-Tocopherol	26,5 mg g ⁻¹ DW	El-Mageed <i>et al.</i> 2017
Glutathione	0,46 mmol GSH g ⁻¹ DW	El-Mageed <i>et al.</i> 2017
DPPH radical-scavenging activity	78,4%	El-Mageed <i>et al.</i> 2017
Superoxide dismutase (SOD)	190,74 IU min ⁻¹ mg ⁻¹ protein	Iqbal <i>et al.</i> (2020)
	214,36 unit mg ⁻¹ protein	Nouman <i>et al.</i> (2014)
Peroksida	20,43 IU min ⁻¹ mg ⁻¹ protein	Iqbal <i>et al.</i> (2020)
Catalase (CAT)	72,77 unit mg ⁻¹ protein	Nouman <i>et al.</i> (2014)

Osmoprotektan		
Asam amino	106,20 mg g ⁻¹ DW	Rehman <i>et al.</i> , (2017)
	387,72 mg g ⁻¹ DW	Ali <i>et al.</i> (2018)
	130,00 mg g ⁻¹ DW	El-Mageed <i>et al.</i> (2017)
Total gula	352,28 mg g ⁻¹ DW	Ali <i>et al.</i> (2018)
	34,16 mg g ⁻¹ DW	El-Serafy & El-Sheshtawy (2020)
	38,60 mg 100 g ⁻¹ DW	Abdala (2014)
Prolin	21,00 mg g ⁻¹ DW	Rehman <i>et al.</i> (2017)
	33,65 mg g ⁻¹ DW	Ali <i>et al.</i> (2018)
	30,00 mg g ⁻¹ DW	El-Mageed <i>et al.</i> (2017)
Total gula terlarut	248,70 mg g ⁻¹ DW	Rehman <i>et al.</i> (2017)
	170,00 mg g ⁻¹ DW	El-Mageed <i>et al.</i> (2017)
Fitohormon		
Auksin (Indole-3-acetic acid)	0,83 mg g ⁻¹ DW	Rehman <i>et al.</i> (2017)
	0,72 mg g ⁻¹ FW	Ali <i>et al.</i> (2018)
Giberelin	0,74 mg g ⁻¹ DW	Rehman <i>et al.</i> (2017)
	0,65 mg g ⁻¹ FW	Ali <i>et al.</i> (2018)
	2,80 mg g ⁻¹ DW	El-Mageed <i>et al.</i> (2017)
Sitokinin	0,63 mg g ⁻¹ FW	Ali <i>et al.</i> (2018)
	2,24 mg g ⁻¹ DW	El-Mageed <i>et al.</i> (2017)
Zeatin	0,96 mg g ⁻¹ DW	Rehman <i>et al.</i> (2017)
Asam salisilat	1,87 mg g ⁻¹ FW	Ali <i>et al.</i> (2018)
	82,4 mg g ⁻¹ DW	El-Mageed <i>et al.</i> (2017)
Asam jasmonat	0,20 mg g ⁻¹ FW	Ali <i>et al.</i> (2018)
Asam absisat	0,29 mg g ⁻¹ DW	Rehman <i>et al.</i> (2017)
	0,13 mg g ⁻¹ FW	Ali <i>et al.</i> (2018)

Unsur-unsur tersebut diperlukan tanaman dalam mendukung pertumbuhan optimal, meningkatkan sintesis karbohidrat, serta memperkuat ketahanan terhadap serangan penyakit (Biel *et al.*, 2017; Mashamaite *et al.*, 2022). Keberadaan nutrisi mineral dalam ekstrak daun kelor dapat melengkapi kebutuhan nutrisi tanaman hortikultura. Kondisi tersebut juga dapat mengurangi jumlah pupuk kimia yang diberikan. Selain mineral, MLE juga mengandung antioksidan termasuk senyawa fenolik, karotenoid, dan asam askorbat serta

osmoprotektan seperti asam amino, gula terlarut, dan K. Seluruh kandungan tersebut dapat membantu memperkuat ketahanan terhadap stress oksidatif (Vats & Gupta, 2017; Fatisa *et al.*, 2023). Aktivitas penetralan radikal DPPH yang tinggi dalam MLE mampu melindungi membran sel dari kerusakan lipid akibat stres oksidatif (Fachriyah *et al.*, 2020; Vats & Gupta, 2017).

Berdasarkan **Tabel 2**, menunjukkan bahwa MLE mengandung hormon auksin, giberelin, sitokinin, asam salisilat, dan asam jasmonat (Abdalla *et al.*, 2013; Zia *et*

al., 2021). Hormon-hormon tersebut berperan dalam mengatur pembelahan dan ekspansi sel, merangsang perkecambahan, pembungaan, dan meningkatkan toleransi terhadap stres abiotik. Oleh karena itu, MLE dapat dijadikan sebagai biostimulan *foliar* efektif untuk meningkatkan pertumbuhan dan hasil tanaman (Zia *et al.*, 2021).

Penggunaan MLE sebagai stimulan pertumbuhan tanaman telah dilaporkan memberikan hasil lebih baik dibandingkan zat pengatur tumbuh (ZPT) sintetis seperti benziladenina (Abdel-Rahman & Abdel-Kader, 2020) maupun asam salisilat (Khan *et al.*, 2017b). Hal yang sama jika dibandingkan dengan biostimulan alami berbasis tanaman lain seperti ekstrak air sorgum (Afzal *et al.*, 2020). Basra & Lovatt (2016) melaporkan keberadaan berbagai nukleosida sitokinin seperti iPA, t-ZR, c-ZR, dan dhZR dalam daun kelor berperan sebagai perantara dalam biosintesis sitokinin. Hormon penghambat pertumbuhan seperti ABA juga ditemukan, meskipun dalam jumlah kecil. Kehadiran ABA dalam MLE, selain tidak menghambat pertumbuhan tanaman tomat, justru akan meningkatkan aktivitas antioksidan dan kadar prolin tanaman.

Dampak positif MLE terhadap pertumbuhan tanaman tidak hanya disebabkan kandungan hormon tanaman, tetapi juga oleh tingginya kadar protein. Kandungan tersebut berperan penting dalam pembentukan dan ekspansi

protoplasma sel (Iqbal *et al.*, 2020). Komposisi kimia MLE sangat bervariasi tergantung metode ekstraksi, varietas, musim pengambilan, dan kondisi pengelolaan tanaman. Penelitian tentang variasi musiman pada daun kelor mencatat bahwa kandungan mineral dan senyawa fitokimia berubah secara signifikan antar musim. Hal tersebut menunjukkan perlunya optimasi waktu panen dan metode ekstraksi untuk memaksimalkan pengaruh biostimulan (Ramachandran *et al.*, 2021).

Penelitian tentang perbedaan varietas tanaman kelor yang dilakukan oleh Farooq *et al.* (2019) terhadap lima varietas Moringa berbeda yaitu *Conventional*, *PKM-1*, *PKM-2*, *Jaffna*, dan *ODC*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa varietas *Jaffna* memiliki kandungan total fenolik dan flavonoid tertinggi. Selain itu, varietas tersebut memiliki aktivitas antioksidan paling kuat berdasarkan uji DPPH dan ABTS. Temuan ini diperkuat oleh penelitian Jain *et al.* (2020) bahwa aplikasi *foliar* MLE 5% dari varietas *Jaffna* pada tanaman *Stevia rebaudiana* mampu meningkatkan seluruh parameter pertumbuhan, serta pada kadar sativoside dan zeatin (Abdel-Rahman & Abdel-Kader, 2020). Selain faktor genetik, kualitas dan efektivitas MLE juga sangat dipengaruhi kondisi penyimpanan. Penyimpanan MLE dalam jangka waktu lama atau pada suhu tinggi menyebabkan penurunan aktivitas biostimulan. Hal ini berdampak pada

penurunan viabilitas dan vigor benih gandum, serta berkurangnya bobot segar, bobot kering, dan panjang kecambah. Penurunan manfaat MLE selama penyimpanan diduga akibat degradasi metabolit sekunder sehingga menghambat pertumbuhan tanaman (Khan *et al.*, 2017).

Peran MLE pada Fase Perkecambahan dan Pertumbuhan Awal

Perkecambahan merupakan proses fisiologis yang diawali oleh imbibisi air oleh benih sehingga menyebabkan aktivasi metabolisme sel setelah fase dormansi. Tahap awal perkecambahan menentukan keberhasilan pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Aplikasi *seed priming* pada perkecambahan seringkali dilakukan sebagai upaya meningkatkan persentase benih berkecambah. Perlakuan tersebut bertujuan untuk meningkatkan kecepatan dan keseragaman perkecambahan, vigor bibit, serta

keberhasilan pembentukan tanaman pada fase awal pertumbuhan (Paparella *et al.*, 2015; Finch-Savage & Bassel, 2016).

Penggunaan bahan alami sebagai agen *seed priming* semakin banyak dikaji dengan pendekatan pertanian berkelanjutan. MLE menjadi salah satu agen *seed priming* alami yang potensial karena mengandung senyawa bioaktif seperti sitokinin (zeatin), asam amino, vitamin, mineral, dan antioksidan. Kandungan tersebut berperan dalam meningkatkan aktivitas enzim perkecambahan, merangsang pembelahan dan pemanjangan sel, serta melindungi jaringan embrio dari stres oksidatif, sehingga mampu memperbaiki kinerja perkecambahan dan mendukung pertumbuhan awal bibit secara lebih vigor dan seragam (Yakhin *et al.*, 2017; Rouphael & Colla, 2020).

Tabel 3. Perlakuan priming MLE pada fase perkecambahan tanaman hortikultura

Jenis tanaman	Konsentrasi	Hasil	Referensi
Bawang merah (<i>Allium cepa</i> var. <i>shallot</i>)	MLE 37,5%	meningkatkan vigor kecambah dan pertumbuhan awal tanaman bawang merah	Mantja <i>et al.</i> (2023)
Pare pahit (<i>Momordica charantia</i>)	MLE 5%	memberikan hasil terbaik pada perkecambahan, panjang akar, biomassa, dan kandungan klorofil	Haider <i>et al.</i> (2024)
Tomat	MLE 0,5–2%	meningkatkan indeks vigor bibit dan efisiensi fotosintesis di tahap awal pertumbuhan	Sultana <i>et al.</i> (2020)
Sawi hijau	MLE 1%	memperbaiki kecepatan tumbuh kecambah serta menurunkan tingkat abnormalitas bibit	Ali <i>et al.</i> (2023)
Kacang polong	MLE 3%	meningkatkan perkecambahan benih dan indeks vigor	Wagan <i>et al.</i> (2025)

Tabel 4. Perlakuan MLE secara *foliar* ada fase pertumbuhan awal tanaman hortikultura

Jenis Tanaman	Metode aplikasi MLE	Parameter yang ditingkatkan	Referensi
Mentimun (<i>Cucumis sativus</i>)	<i>foliar</i> MLE (rasio 1:20, 1:30, 1:40)	aplikasi <i>foliar</i> MLE meningkatkan panjang sulur, jumlah daun, dan hasil panen mentimun dibanding kontrol	Sunusi <i>et al.</i> (2025)
Selada	<i>foliar</i> MLE 1% pada fase semai	meningkatkan kandungan klorofil hingga 25% dan mempercepat pembentukan daun sejati pertama	Yaseen <i>et al.</i> (2023)
Tomat (<i>Solanum lycopersicum</i>)	<i>foliar</i> MLE di bawah stres salinitas	MLE meningkatkan toleransi tomat terhadap salinitas dengan memperbaiki aktivitas antioksidan dan status ionik tanaman	Bello <i>et al.</i> (2024)
Cabai (<i>Capsicum annuum</i>)	<i>foliar</i> MLE 1,5%	mempercepat pembentukan tunas dan memperbesar luas daun hingga 30% dibanding kontrol, terutama di lingkungan bersuhu tinggi	Rady <i>et al.</i> (2015)

Aplikasi MLE pada perlakuan benih terbukti meningkatkan daya kecambah, vigor, kecepatan, keserempakan, dan keseragaman perkecambahan. Selain itu, MLE juga dapat memperkuat pertumbuhan bibit yang berdampak positif terhadap parameter pertumbuhan tanaman.

Penggunaan MLE sebagai agen *seed priming* memiliki efektivitas yang tinggi terhadap pertumbuhan tanaman. Namun, input biayanya relatif rendah. Yasmeen *et al.* (2013b) melaporkan bahwa perendaman benih menggunakan MLE dapat meningkatkan pertumbuhan dan vigor bibit secara signifikan. Pada tanaman *cowpea*, perlakuan *seed priming* dengan MLE menunjukkan efektivitas tertinggi

dalam meningkatkan daya muncul benih dibandingkan teknik *on-farm priming*, *hydropriming*, atau *halopriming*. Hal ini berkaitan dengan kandungan zeatin dan unsur hara di dalam MLE (Iqbal, 2015). Efektivitas *seed priming* MLE bergantung pada lama waktu perendaman. Nouman *et al.* (2012b) melaporkan bahwa perendaman benih selama 8 jam menghasilkan panjang akar, kadar klorofil a, β -karoten, dan kandungan mineral tertinggi dibandingkan perlakuan selama 16 dan 24 jam. Hal ini menunjukkan bahwa durasi perlakuan *seed priming* berpengaruh terhadap efektivitas fisiologis MLE dalam menstimulasi pertumbuhan awal tanaman.

Sementara itu, aplikasi MLE secara *foliar* pada fase pertumbuhan awal mampu meningkatkan laju fotosintesis, aktivitas enzim antioksidan, efisiensi penggunaan air, serta hasil tanaman. Lebih lanjut, MLE dapat memperkuat ketahanan terhadap stres abiotik seperti kekeringan dan salinitas (El-Mageed *et al.*, 2017; Latif & Mohamed, 2016). Kandungan fitohormon alami yang terkandung dalam MLE seperti zeatin berperan penting dalam merangsang pembelahan dan pemanjangan sel, sehingga mempercepat perkembangan tunas dan sistem perakaran pada fase awal pertumbuhan tanaman (Saras, 2023; Rady *et al.*, 2015). Selain itu, MLE mengandung asam amino, vitamin, dan mineral esensial yang mendukung sintesis protein serta meningkatkan aktivitas enzim. Akibatnya MLE mampu berkontribusi terhadap peningkatan vigor bibit dan akumulasi biomassa awal (Yakhin *et al.*, 2017; Howladar, 2014). Kombinasi senyawa bioaktif tersebut menjadikan MLE efektif dalam memperbaiki performa pertumbuhan awal bibit dan meningkatkan kualitas tanaman pada fase awal perkembangan.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa MLE merupakan biostimulan alami yang berpotensi meningkatkan daya kecambah, vigor bibit, serta pertumbuhan awal berbagai tanaman sayuran. Efektivitas

tersebut berkaitan dengan kandungan senyawa bioaktif, khususnya sitokinin dan asam amino. Temuan ini menegaskan bahwa MLE dapat dimanfaatkan secara aplikatif pada tahap pra-tanam dan pembibitan melalui teknik perendaman benih maupun aplikasi semprot. Teknologi ini juga sebagai alternatif ramah lingkungan untuk mengurangi ketergantungan terhadap input sintetis dalam sistem budidaya modern.

DAFTAR PUSTAKA

- Abd El-Mageed, T. A., Semida, W. M., & Rady, M. M. (2017). Moringa leaf extract as biostimulant improves water use efficiency, physio-biochemical attributes of squash plants under deficit irrigation. *Agricultural Water Management*, 193, 46-54. Retrieved from: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.08.004>
- Abdalla, M. M. (2013). The potential of Moringa oleifera extract as a biostimulant in enhancing the growth, biochemical and hormonal contents in rocket (*Eruca vesicaria* subsp. *sativa*) plants. *International Journal of Plant Physiology and Biochemistry*, 5(3), 42-49. Retrieved from: <https://doi.org/10.5897/IJPPB2012.026>
- Abdalla, M. M., (2014). Boosting the growth of rocket plants in response to the application of *Moringa oleifera* extracts as a bio stimulant. *Life Science Journal*, 11(11), 1113-1121. Retrieved from: <http://www.lifesciencesite.com>.
- Abdel-Rahman, S. S. A., & Abdel-Kader, A. A. S. (2020). Response of Fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) plants to foliar application of moringa leaf extract and benzyladenine (BA).

- South African Journal of Botany*, 129, 113–122. Retrieved from: <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2019.01.037>.
- Afzal, I., Akram, M. W., Rehman, H. U., Rashid, S., & Basra, S. M. A., (2020). Moringa leaf and sorghum water extracts and salicylic acid to alleviate impacts of heat stress in wheat. *South African Journal of Botany*, 129, 169–174. Retrieved from: <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2019.04.009>.
- Amalia, R., Fardhani, D. M., & Syarifah, S. M. (2024). Biostimulant effects of Moringa oleifera on growth and antioxidant activity in red amaranth (*Amaranthus tricolor* L.) microgreens. *BIO Web of Conferences*, 127, 01005). Retrieved from: <https://doi.org/10.1051/bioconf/202412701005>.
- Ali, E. F., Hassan, F. A. S., & Elgimabi, M. (2018). Improving the growth, yield, and volatile oil content of *Pelargonium graveolens* L. Herit by foliar application with moringa leaf extract through motivating physiological and biochemical parameters. *South African Journal of Botany*, 119, 383–389. Retrieved from: <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2018.10.003>.
- Ardianti, A. A., Athallah, F. N. F., Wulansari, R., & Wicaksono, K. S. (2022). Hubungan antara sifat kimia tanah dengan serapan hara tanaman teh di PTPN VI Jambi. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, 9(1), 181–191. Retrieved from: <https://doi.org/10.21776/ub.jtsl.2022.009.1.20>.
- Basra, S. M., & Lovatt, C. J. (2016). Exogenous applications of moringa leaf extract and cytokinins improve plant growth, yield, and fruit quality of cherry tomato. *HortTechnology*, 26(3), 327–337. Retrieved from: <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.26.3.327>.
- Batool, S., Khan, S., & Basra, S. M. A. (2020). Foliar application of moringa leaf extract improves the growth of moringa seedlings in winter. *South African Journal of Botany*, 129, 347–353. Retrieved from: <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2019.08.040>.
- Bello, A. S., Huda, S., Alsafran, M., Abu-Dieyeh, M. H., Chen, Z. H., & Ahmed, T. (2024). Enhancing eggplant (*Solanum melongena* L.) yield and water use efficiency through optimized irrigation and nitrogen practices in open field conditions. *Journal of Agriculture and Food Research*, 18, 101527. Retrieved from: <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101527>.
- Biel, W., Jaroszewska, A., & Łysoń, E. (2017). Nutritional quality and safety of moringa (*Moringa oleifera* Lam., 1785) leaves as an alternative source of protein and minerals. *Journal of Elementology*, 22(2), 569–579. Retrieved from: <https://doi.org/10.5601/jelem.2016.21.3.1249>.
- Brockman, H. G., & Brennan, R. F. (2017). The effect of foliar application of Moringa leaf extract on biomass, grain yield of wheat and applied nutrient efficiency. *Journal of Plant Nutrition*, 40(19), 2728–2736. Retrieved from: <https://doi.org/10.1080/01904167.2017.1381723>.
- Bulgari, R., Cocetta, G., Trivellini, A., Vernieri, P. A. O. L. O., & Ferrante, A. (2015). Biostimulants and crop responses: a review. *Biological Agriculture & Horticulture*, 31(1), 1–17. Retrieved from: <https://doi.org/10.1080/01448765.2014.964649>.
- Carvalho, F. P. (2017). Pesticides, environment, and food safety. *Food and Energy Security*, 6(2), 48–60. Retrieved from: <https://doi.org/10.1002/fes3.108>.
- Damalas, C. A., & Koutroubas, S. D. (2018). Farmers' behaviour in pesticide use:

- A key concept for improving environmental safety. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 4, 27-30. Retrieved from: <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2018.07.001>.
- du Jardin, P. (2015). Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia horticulturae*, 196, 3-14. Retrieved from: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021>.
- El-Serafy, R. S., & El-Sheshtawy, A. A. (2020). Effect of nitrogen fixing bacteria and moringa leaf extract on fruit yield, estragole content and total phenols of organic fennel. *Scientia Horticulturae*, 265, 109209. Retrieved from: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109209>.
- Elzaawely, A. A., Ahmed, M. E., Maswada, H. F., & Xuan, T. D. (2017). Enhancing growth, yield, biochemical, and hormonal contents of snap bean (*Phaseolus vulgaris* L.) sprayed with moringa leaf extract. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 63(5), 687-699. Retrieved from: <https://doi.org/10.1080/03650340.2016.1234042>.
- Fachriyah, E., Kurniawati, N., & Nugroho, W. (2020). DPPH radical scavenging activity of Moringa oleifera leaves extract with various solvents. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 475, 012042. Retrieved from: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/475/1/012042>.
- FAO. (2024). *The state of food security and nutrition in the world 2024. Financing to end hunger, food insecurity and malnutrition in all its forms*. Retrieved from: <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/cd1254en>.
- Farooq, M., Hussain, M., Imran, M., Ahmad, I., Atif, M., & Alghamdi, S. S. (2019). Improving the productivity and profitability of late sown chickpea by seed priming. *International Journal of Plant Production*, 13, 129-139. Retrieved from: <https://doi.org/10.1007/s42106-019-00041-z>.
- Finch-Savage, W. E., & Bassel, G. W. (2016). Seed vigour and crop establishment: Extending performance beyond adaptation. *Journal of Experimental Botany*, 67(3), 567-591. Retrieved from: <https://doi.org/10.1093/jxb/erv490>.
- Foley, J. A., Ramankutty, N., Brauman, K. A., Cassidy, E. S., Gerber, J. S., Johnston, M., ... & Zaks, D. P. (2011). Solutions for a cultivated planet. *Nature*, 478(7369), 337-342. Retrieved from: <https://doi.org/10.1038/nature10452>.
- Ghada, B. K., Marwa, R., Shah, T. A., Dabiellil, M., Dawoud, T. M., Bourhia, M., & Chiraz, C. H. (2025). Phytochemical composition, antioxidant potential, and insecticidal activity of *Moringa oleifera* extracts against *Tribolium castaneum*: a sustainable approach to pest management. *BMC Plant Biology*, 25(1), 579. Retrieved from: <https://doi.org/10.1186/s12870-025-06626-3>.
- Haider, N., Noor, A., Zeb, M. M., Abro, M., Hussain, S., Baloch, G., & Wahocho, S. A. (2024). Evaluating the effect of priming with moringa leaf extract on seed germination and seedling growth of bitter melon (*Momordica charantia* L.). *Journal of Horticulture and Agricultural Sciences*, 1(01), 1-14. Retrieved from: <https://doi.org/10.63459/jhas.2024.1.01>.
- Hala, H. A. E. N., El-Noor, A., & Ewais, N. A. (2017). Effect of *Moringa oleifera* leaf extract (MLE) on pepper seed germination, seedlings improvement, growth, fruit yield and its quality. *Middle East Journal of Agricultural Resources*, 6(2), 448-463.
- Howladar, S. M. (2014). A novel *Moringa oleifera* leaf extract can mitigate the stress effects of salinity and cadmium in bean (*Phaseolus vulgaris*

- L.) plants. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 100, 69-75. Retrieved from: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2013.11.022>.
- Iqbal, J., Irshad, J., Bashir, S., Khan, S., Yousaf, M., & Shah, A. N., (2020). Comparative study of water extracts of *Moringa* leaves and roots to improve the growth and yield of sunflower. *South African Journal of Botany*, 129, 221-224. Retrieved from: <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2019.06.032>.
- Iqbal, M. A., (2015). Improving germination and seedling vigour of cowpea (*Vigna unguiculata* L.) with different priming techniques. *Environmental Science*, 15, 265-270. Retrieved from: <https://doi.org/10.5829/idosi.aejes.2015.15.2.12508>.
- Jain, P., Farooq, B., Lamba, S., & Koul, B., (2020). Foliar spray of *Moringa oleifera* Lam. leaf extracts (MLE) enhances the stevioside, zeatin and mineral contents in *Stevia rebaudiana* Betoni. *South African Journal of Botany*, 132, 249-257. Retrieved from: <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2020.03.026>.
- Khan, S., Basra, S. M. A., Afzal, I., & Wahid, A. (2017). Screening of moringa landraces for leaf extract as biostimulant in wheat. *International Journal of Agriculture and Biology*, 19, 999-1006. Retrieved from: <https://doi.org/10.17957/IJAB/15.0372>.
- Khan, S., Basra, S. M. A., Afzal, I., Nawaz, M., & Rehman, H. U., (2017a). Growth promoting potential of fresh and stored *Moringa oleifera* leaf extracts in improving seedling vigor, growth and productivity of wheat crop. *Environment Science and Pollution Research*, 24, 27601-27612. Retrieved from: <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0336-0>.
- Kojo, G. E., ElSayed, Z., Kropczynski, J., Awinsongya, Y. M., & Elsayed, N. (2024). Agricultural 4.0 leveraging on technological solutions: study for smart farming sector. *arXiv e-prints*, arXiv-2401. Retrieved from: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2401.00814>.
- Latif, H. H., & Mohamed, H. I. (2016). Exogenous applications of moringa leaf extract effect on retrotransposon, ultrastructural and biochemical contents of common bean plants under environmental stresses. *South African journal of botany*, 106, 221-231. Retrieved from: <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2016.07.010>.
- Liu, Y., Kai, Y., Huang, D., Liu, S. Q., & Lu, Y. (2025). A Comprehensive review of germination impact on moringa seeds and sprouts: physiological and biochemical changes, bioactive compounds, health benefits, and food applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 24(6), e70296. Retrieved from: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.70296>.
- Mantja, K., Syam'un, E., & Faried, M. (2023). Potensi ekstrak daun kelor (*Moringa oleifera*) sebagai agen priming pada performa perkecambahan biji bawang merah. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 28(3), 465-471. Retrieved from: <https://doi.org/10.18343/jipi.28.3.465>.
- Mashamaite, C., Ngcobo, B., Manyevere, A., Bertling, I., & Fawole, O. (2022). Assessing the usefulness of *Moringa oleifera* leaf extract as a biostimulant to supplement synthetic fertilizers: a review. *Plants*, 11(17), 2214. Retrieved from: <https://doi.org/10.3390/plants11172214>.
- Meena, R. S., Kumar, S., Datta, R., Lal, R., Vijayakumar, V., Brtnicky, M., & Marfo, T. D. (2020). Impact of agrochemicals on soil microbiota

- and management: a review. *Land*, 9(2), 34. Retrieved from: <https://doi.org/10.3390/land9020034>.
- Mirsaberi, Z., Soleimanizadeh, M., & Yadollahi, A. (2024). Evaluation of the effect of *Moringa oleifera* L. medicinal plant extract and zeatin on in vitro culture of phalaenopsis orchid plant. *Agricultural Biotechnology Journal*, 16(4), 1-32. Retrieved from: <https://doi.org/10.22103/jab.2024.23849.1585>
- Nouman, W., Maqsood, S., & Basra, A., (2014). Seed priming improves the emergence potential, growth and antioxidant system of *Moringa oleifera* under saline conditions. *Plant Growth Regulation*, 73, 267–278. Retrieved from: <https://doi.org/10.1007/s10725-014-9887-y>.
- Nouman, W., Siddiqui, M. T., Basra, S. M. A., Afzal, I., & Rehman, H. U. (2012b). Enhancement of emergence potential and stand establishment of *Moringa oleifera* Lam. by seed priming. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 36, 227–235. Retrieved from: <https://doi.org/10.3906/tar-1103-39>.
- Okaviana, S. M., Hajrin, W., & Hanifa, N. I. (2022). Solvent optimization of flavonoid extraction from *Moringa oleifera* L. using simplex lattice design. *Acta Pharmaciae Indonesia: Acta Pharm Indo*, 10(1), 5271-5271. Retrieved from: <https://doi.org/10.20884/1.api.2022.10.1.5271>
- Oliveira, I. S. T. D., Fernandes, T., Santos, A. R. D., González Aquino, C., Vega Britez, G. D., & Vargas Junior, F. M. D. (2025). Phytochemical composition and effects of aqueous extracts from *Moringa oleifera* leaves on in vitro ruminal fermentation parameters. *Ruminants*, 5(1). Retrieved from: <https://doi.org/10.3390/ruminants5010004>
- Paparella, S., Araújo, S. S., Rossi, G., Wijayasinghe, M., Carbonera, D., & Balestrazzi, A. (2015). Seed priming: State of the art and new perspectives. *Plant Cell Reports*, 34, 1281–1293. Retrieved from: <https://doi.org/10.1007/s00299-015-1784-y>.
- Rady, M. M., Varma, C. B., & Howladar, S. M. (2015). Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seedlings overcome NaCl stress as a result of presoaking in moringa leaf extract. *Scientia Horticulturae*, 184, 114–119. Retrieved from: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.12.036>
- Ramachandran, C., Peter, K. V., & Gopalakrishnan, P. K. (2021). Seasonal variation in the phytochemical and mineral composition of *Moringa oleifera* leaves. *Industrial Crops and Products*, 169, 113646. Retrieved from: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113646>.
- Rehman, H. U., Basra, S., Rady, M. M., & Ghoneim, A. M. (2017). Moringa leaf extract improves wheat growth and productivity by affecting senescence and source-sink relationship. *International Journal of Agriculture & Biology*, 19(3). Retrieved from: <https://doi.org/10.17957/IJAB/15.0316>.
- Rouphael, Y., & Colla, G. (2020). Biostimulants in agriculture. *Frontiers in plant science*, 11, 40. Retrieved from: <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00040>.
- Sadak, M., El-lethy, S., & Hanafy Amin, R. S. (2024). Assessing the usefulness of *Moringa oleifera* leaf extract and zeatin as a biostimulant in enhancing growth, phytohormones, antioxidant enzymes and osmoprotectants of wheat plant under salinity stress. *Egyptian Journal of Botany*, 64(3), 183-196. Retrieved from:

- <https://doi.org/10.21608/ejbo.2024.252447.2587>.
- Saini, R. K., Sivanesan, I., & Keum, Y. S. (2016). Phytochemicals of *Moringa oleifera*: a review of their nutritional, therapeutic and industrial significance. *3 Biotech*, 6(2), 203. Retrieved from: <https://doi.org/10.1007/s13205-016-0526-3>.
- Saras, T. (2023). *The miraculous moringa: exploring the wonders of the moringa leaf*. Tiram Media.
- Vats, S., & Gupta, T. (2017). Evaluation of bioactive compounds and antioxidant activity of *Moringa oleifera* leaves. *Annals of Phytomedicine*, 6(2), 98–104. Retrieved from: <https://doi.org/10.21276/ap.2017.6.2.12>.
- Wheeler, T., & von-Braun, J. (2013). Climate change impacts on global food security. *Science*, 341(6145), 508–513. Retrieved from: <https://doi.org/10.1126/science.1239402>.
- Yakhin, O. I., Lubyantov, A. A., Yakhin, I. A., & Brown, P. H. (2017). Biostimulants in plant science: A global perspective. *Frontiers in Plant Science*, 7, 2049. Retrieved from: <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.02049>.
- Yasmeen, A., Basra, S., Wahid, A., Nouman, W., & Rehman, H. (2013). Exploring the potential of *Moringa oleifera* leaf extract (mle) as a seed priming agent in improving wheat performance. *Turkish Journal of Botany*, 37(3), 512–520. Retrieved from: <https://doi.org/10.3906/bot-1205-19>.
- Yuniati, N., Kusumiyati, K., Mubarak, S., & Nurhadi, B. (2022). The role of moringa leaf extract as a plant biostimulant in improving the quality of agricultural products. *Plants*, 11(17), 2186. Retrieved from: <https://doi.org/10.3390/plants11172186>.
- Qiu, D., Wang, Y., Xu, N., Chen, B., Zhu, Y., Zhang, Z., & Qian, H. (2025). Global variation in plant-beneficial bacteria in soil under pesticide stress. *Nature Communications*, 16(1), 10685. Retrieved from: <https://doi.org/10.1038/s41467-025-65719-7>.
- Zia, A., Rady, M. M., & Mohamed, G. F. (2021). Hormonal and physiological responses of tomato plants to *Moringa oleifera* leaf extract under abiotic stress. *Plant Physiology Reports*, 26, 783–794. Retrieved from: <https://doi.org/10.1007/s40502-021-00605-8>.