

## **Peran Asam Salisilat dan Asam Jasmonat dalam Meningkatkan Toleransi Kekeringan pada Padi Gogo(*Oryza sativa* L.): sebuah Systematic Literature Review**

### ***The Role of Salicylic Acid and Jasmonic Acid to Enhancing Drought Tolerance in Upland Rice(*Oryza sativa* L.): A Systematic Literature Review***

**Ananda Rahman Ajr<sup>1\*</sup>, M. Taufik Fauzi<sup>2</sup>, A.A. Sudharmawan<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>(Program Studi Magister Pertanian Lahan Kering, Pascasarjana Universitas Mataram, Mataram, Indonesia.

\*corresponding author, email: [ajrrahman@gmail.com](mailto:ajrrahman@gmail.com)

#### **ABSTRAK**

Padi gogo merupakan alternatif budidaya padi pada lahan kering, namun produktivitasnya masih dibatasi oleh cekaman kekeringan. Prolin berperan sebagai osmoprotektan yang akumulasinya dapat dipicu oleh fitohormon eksogen, termasuk asam salisilat dan asam jasmonat, meskipun efektivitas keduanya pada padi gogo belum banyak dikaji. Penelitian ini bertujuan mensintesis bukti ilmiah mengenai pengaruh kedua fitohormon tersebut terhadap kandungan prolina pada tanaman padi di bawah cekaman kekeringan, menggunakan metode Systematic Literature Review mengacu pedoman PRISMA 2020. Dari 31 referensi yang teridentifikasi dalam rentang tahun 2020–2026, hanya 4 artikel eksperimental yang memenuhi kriteria inklusi. Hasil sintesis menunjukkan bahwa kedua hormon secara konsisten meningkatkan akumulasi prolina serta memperbaiki sejumlah parameter fisiologis terkait toleransi kekeringan, dengan asam salisilat cenderung lebih efektif dibandingkan asam jasmonat berdasarkan data yang tersedia. Temuan terpenting penelitian ini adalah belum ditemukannya satu pun studi yang mengevaluasi efek kedua hormon tersebut secara spesifik pada padi gogo, sehingga merupakan celah penelitian yang kritis. Penelitian eksperimental lanjutan pada padi gogo sangat diperlukan untuk mendukung pengembangan varietas toleran kekeringan berbasis fitohormon.

**Kata kunci:** fitohormon eksogen, osmoprotektan, toleransi cekaman abiotik, lahan kering

#### **ABSTRACT**

Upland rice is an alternative cultivation system for dryland areas, yet its productivity remains constrained by drought stress. Proline functions as an osmoprotectant whose accumulation can be induced by exogenous phytohormones, including salicylic and jasmonic acid, although their effectiveness in upland rice remains poorly studied. This study aimed to synthesize scientific evidence on the effects of these phytohormones on proline content in rice under drought stress, using a Systematic Literature Review approach guided by the PRISMA 2020 protocol. Of 31 references identified within the 2020–2026 timeframe, only 4 experimental articles met the inclusion criteria. The synthesis showed that both hormones consistently increased proline accumulation and improved several drought-related physiological parameters, with salicylic acid tending to be more effective than jasmonic acid based on available data. A key finding is that no studies were identified evaluating the effects of either hormone specifically in upland rice, representing a critical research gap. Further experimental research on upland rice is needed to support the development of drought-tolerant, phytohormone-based cultivation strategies.

**Keywords:** exogenous phytohormone; osmoprotectant; abiotic stress tolerance; dryland farming

## PENDAHULUAN

Padi (*Oryza sativa* L.) merupakan komoditas pangan strategis yang menjadi sumber kalori utama bagi sebagian besar penduduk Indonesia. Meningkatnya frekuensi kejadian kekeringan akibat perubahan iklim global menjadi ancaman serius bagi keberlanjutan produksi padi nasional (Fahad *et al.*, 2017). Dalam konteks keterbatasan air, padi gogo menjadi alternatif budidaya yang relevan karena diusahakan pada lahan kering tanpa genangan. Namun demikian, produktivitas padi gogo masih rendah akibat cekaman kekeringan yang terjadi selama periode pertumbuhan, dengan potensi kehilangan hasil mencapai lebih dari 50% pada kondisi defisit air yang parah (Pandey & Shukla, 2015; Wening *et al.*, 2021).

Salah satu respons adaptif tanaman terhadap kekeringan adalah akumulasi prolin, yaitu asam amino yang berperan dalam penyesuaian osmotik, perlindungan membran sel, dan penangkapan radikal bebas (Szabados & Savouré, 2010). Akumulasi prolin yang tinggi berkorelasi positif dengan tingkat toleransi tanaman terhadap defisit air sehingga menjadi parameter fisiologis penting dalam penelitian toleransi kekeringan (Kaur & Asthir, 2015).

Upaya peningkatan akumulasi prolin secara eksogen dapat dilakukan melalui aplikasi fitohormon. Asam salisilat (SA) dan asam jasmonat (JA) merupakan dua hormon sinyal yang dilaporkan mampu menginduksi akumulasi prolin serta memperbaiki status fisiologis tanaman di bawah cekaman kekeringan (Khan *et al.*, 2015; Wasternack & Song, 2017). Meskipun efektivitas kedua hormon ini telah banyak dikaji pada padi sawah dan tanaman lain, kajian yang secara spesifik mengevaluasi pengaruh SA dan JA terhadap prolin pada padi gogo di kondisi kekeringan masih sangat terbatas.

Kesenjangan penelitian tersebut menjadi dasar urgensi kajian ini. Penelitian ini bertujuan mensintesis bukti ilmiah terkini mengenai peran SA dan JA dalam memodulasi kandungan prolin dan respons fisiologis padi di bawah cekaman kekeringan, sekaligus mengidentifikasi kesenjangan penelitian yang membutuhkan kajian eksperimental lanjutan. Sintesis dilakukan menggunakan metode Systematic Literature Review (SLR) berbasis pedoman PRISMA 2020.

## BAHAN DAN METODE

### Pendekatan Penelitian: Systematic Literature Review

Penelitian ini menggunakan pendekatan Systematic Literature Review (SLR) yang mengacu pada pedoman PRISMA 2020, dipilih karena mampu menghasilkan sintesis pengetahuan yang komprehensif, transparan, dan dapat direplikasi. Berbeda dengan SLR ideal yang menelusuri ratusan artikel primer secara ekstensif dari basis data, penelusuran pada penelitian ini bersifat pragmatis, yakni berbasis pada sumber-sumber yang dikutip dalam naskah. Dengan demikian, jumlah artikel dalam alur PRISMA (Gambar 1) mencerminkan seluruh referensi yang teridentifikasi dari teks dan daftar pustaka penelitian ini, bukan hasil pencarian basis data mandiri yang ekstensif.

### Sumber dan Strategi Penelusuran

Penelusuran literatur dilakukan melalui dua cara, yaitu pencarian sistematis pada basis data Scopus, ScienceDirect, dan Google Scholar menggunakan kombinasi kata kunci terstruktur ("*salicylic acid*" OR SA) AND ("*jasmonic acid*" OR JA) AND (proline OR P5CS) AND ("drought stress" OR "water deficit") AND (rice OR "upland rice" OR "*Oryza sativa*"), serta penelusuran seluruh referensi yang dikutip dalam teks sebagai sumber tambahan. Rentang waktu publikasi dibatasi tahun 2020–2026 untuk memperoleh literatur yang mutakhir, dan seluruh referensi yang teridentifikasi dikelola menggunakan perangkat lunak Mendeley untuk penghapusan duplikat.

### Kriteria Inklusi dan Eksklusi

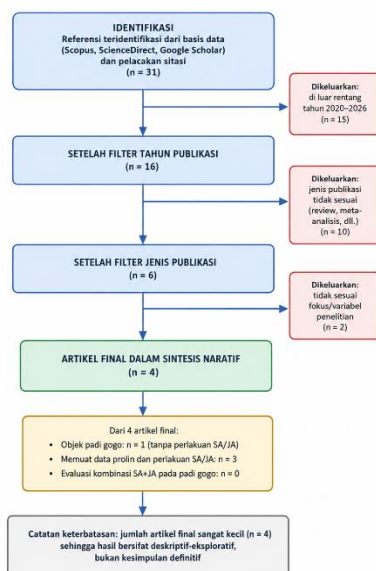
Artikel yang diikutsertakan dalam sintesis dibatasi pada artikel eksperimental primer (percobaan pot, rumah kaca, atau lapangan) yang diterbitkan tahun 2020–2026, memuat data kuantitatif kandungan prolin atau parameter fisiologis terukur (RWC, klorofil, MDA, aktivitas SOD/CAT/POD), menggunakan perlakuan asam salisilat (SA) dan/atau asam jasmonat (JA) sebagai variabel bebas, dilakukan pada tanaman padi (*Oryza sativa* L.) atau tanaman sereal/legum lain dengan mekanisme fisiologis serupa, melibatkan kondisi cekaman kekeringan yang terukur (misalnya persentase field capacity, potensial air, atau withholding water terstruktur), serta ditulis dalam bahasa Inggris atau Indonesia.

Sebaliknya, artikel dikeluarkan dari sintesis apabila berupa artikel review, meta-analisis, systematic review, book chapter, atau prosiding tanpa peer-review ketat; diterbitkan sebelum tahun 2020; tidak mencantumkan data

prolin atau parameter fisiologis yang dapat dikuantifikasi; tidak menggunakan SA/JA sebagai variabel utama; dikaji pada tanaman dengan mekanisme yang sangat berbeda (misalnya xerofit, sukulen, atau pohon); tidak melibatkan kondisi cekaman kekeringan; atau teks lengkapnya tidak dapat diakses. Artikel review dan textbook tetap digunakan sebagai referensi latar belakang dan mekanisme, namun tidak dimasukkan ke dalam critical appraisal maupun meta-sintesis kuantitatif.

### Alur Seleksi Artikel: PRISMA

Seleksi artikel dilakukan melalui empat tahap PRISMA, yaitu identifikasi, eliminasi duplikat, penyaringan berdasarkan kriteria inklusi/eksklusi, dan penentuan artikel final, sebagaimana divisualkan pada diagram alir berikut (Gambar 1).



Gambar 1. Diagram alir PRISMA 2020 seleksi artikel dalam penelitian ini

Dari 31 referensi yang teridentifikasi, 15 artikel dikeluarkan karena berada di luar rentang tahun publikasi yang ditetapkan, menyisakan 16 artikel. Sebanyak 10 artikel selanjutnya dikeluarkan karena tidak sesuai jenis publikasi yang disyaratkan, dan 2 artikel dikeluarkan karena tidak sesuai fokus/variabel penelitian, sehingga diperoleh 4 artikel final yang digunakan dalam sintesis naratif. Dari keempat artikel tersebut, hanya 1 artikel yang menggunakan padi gogo sebagai objek penelitian — tanpa perlakuan SA maupun JA; 3 artikel memuat data prolin dan perlakuan SA/JA, namun pada padi sawah atau spesies lain; dan tidak satu pun mengevaluasi kombinasi SA+JA pada padi gogo. Kondisi ini juga mencerminkan komposisi literatur yang teridentifikasi secara keseluruhan, yaitu mayoritas berupa artikel review (32%) atau artikel eksperimental yang diterbitkan sebelum 2020 (48%), sedangkan hanya 13% yang memenuhi seluruh kriteria inklusi.

Perlu ditegaskan bahwa jumlah artikel final yang sangat terbatas ( $n = 4$ ) merupakan keterbatasan utama penelitian ini. Ukuran sampel artikel yang kecil ini membatasi kekuatan generalisasi temuan, sehingga hasil sintesis bersifat deskriptif-eksploratif dan bukan merupakan kesimpulan definitif. Pada sisi lain, kondisi ini sekaligus menjadi temuan yang bermakna karena menegaskan kelangkaan literatur eksperimental yang secara spesifik mengkaji efek SA dan/atau JA terhadap prolin pada tanaman padi, terutama padi gogo.

### Critical Appraisal: Penilaian Kualitas Artikel

Penilaian kualitas terhadap keempat artikel yang lolos seleksi PRISMA dilakukan menggunakan kriteria yang diadaptasi dari CASP (Critical Appraisal Skills Programme) untuk studi eksperimental, meliputi desain studi, jenis perlakuan SA/JA, metode induksi cekaman kekeringan, parameter yang diukur, jumlah ulangan, serta relevansi dengan padi gogo. Berdasarkan penilaian tersebut, tiga artikel — Urmí *et al.* (2023), Zandalinas *et al.* (2021), dan Riemann *et al.* (2015) — dikategorikan berkualitas tinggi karena menggunakan rancangan terkontrol dengan ulangan memadai serta metode analisis yang tervalidasi (spektrofotometri, RT-qPCR, Western blot). Adapun Wening *et al.* (2021) dikategorikan berkualitas sedang karena bersifat observasional lapang dan tidak memuat perlakuan SA/JA maupun data prolin, sehingga hanya relevan sebagai konteks agronomis padi gogo. Riemann *et al.* (2015) disertakan sebagai referensi mekanistik pendukung meskipun diterbitkan di luar rentang tahun inklusi 2020–2026.

## Ekstraksi Data dan Metode Sintesis

Data yang diekstraksi dari setiap artikel meliputi spesies tanaman, dosis dan metode aplikasi SA/JA, tingkat keparahan cekaman kekeringan, parameter yang diukur, persentase perubahan prolin dan parameter fisiologis lainnya, fase pertumbuhan tanaman, serta kesimpulan utama. Mengingat keterbatasan jumlah artikel primer ( $n = 4$ ), meta-analisis statistik formal tidak dilakukan; sebagai gantinya, sintesis dilakukan melalui pendekatan naratif yang diperkuat perbandingan semi-kuantitatif, dengan kisaran dan kecenderungan efek disajikan secara deskriptif serta mengacu eksplisit pada sumber datanya.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pengaruh Asam Salisilat dan Asam Jasmonat terhadap Akumulasi Prolin

Dari 4 artikel yang lolos kriteria inklusi, 2 artikel memuat data kandungan prolin setelah perlakuan SA (Urmi *et al.*, 2023; Riemann *et al.*, 2015), sedangkan JA dievaluasi secara langsung pada padi hanya oleh Riemann *et al.* (2015), didukung data spesies non-padi dari Zandalinas *et al.* (2021). SA secara konsisten meningkatkan kandungan prolin sebesar 28–62% (rerata  $\approx 50\%$ ): Urmi *et al.* (2023) menggunakan SA 0,5 mM secara foliar spray pada padi sawah dalam kondisi cekaman sedang (50% field capacity, PEG 6000) dan melaporkan peningkatan prolin +62% pada fase vegetatif, disertai perbaikan RWC (+15%), klorofil (+18%), serta aktivitas SOD (+35%) dan CAT (+28%) dibandingkan kontrol stres; sementara Riemann *et al.* (2015\*) melaporkan peningkatan +47% pada kondisi cekaman  $-0,5$  MPa. Zandalinas *et al.* (2021) menambahkan bukti pada kedelai, jagung, dan Arabidopsis, di mana SA 0,1–1,0 mM menghasilkan peningkatan +28–55% tergantung spesies.

JA meningkatkan prolin dengan kisaran yang sedikit lebih rendah, yaitu 22–48% (rerata  $\approx 35\%$ ). Riemann *et al.* (2015\*) melaporkan peningkatan +42% pada padi sawah menggunakan metil jasmonat (MeJA) 50  $\mu\text{M}$  dalam kondisi cekaman  $-0,5$  Mpa, satu-satunya data JA yang diuji langsung pada tanaman padi. Zandalinas *et al.* (2021) melaporkan peningkatan +22–48% pada kedelai, jagung, dan Arabidopsis menggunakan JA 25–100  $\mu\text{M}$ . Karena kedua hormon tidak diuji secara paralel pada tanaman yang sama dalam artikel yang sama, perbandingan langsung efektivitas SA vs JA perlu diinterpretasikan secara hati-hati. Sebagai catatan penting, Wening *et al.* (2021) satu-satunya artikel yang menggunakan padi gogo sebagai objek penelitian tidak melibatkan perlakuan SA maupun JA, sehingga tidak dapat dinilai dalam konteks kedua hormon ini.

### Sintesis Parameter Fisiologis Terkait

Selain prolin, kedua hormon juga memperbaiki sejumlah parameter fisiologis berdasarkan data yang tersedia dari artikel yang dianalisis (Urmi *et al.*, 2023; Riemann *et al.*, 2015; Zandalinas *et al.*, 2021). Kandungan air relatif (RWC), yang menurun pada kondisi cekaman tanpa perlakuan, meningkat +8–22% pada perlakuan SA dan +6–15% pada perlakuan JA. Kandungan klorofil, yang mengalami degradasi akibat cekaman, meningkat +12–30% dengan SA dan +8–25% dengan JA. Kadar malondialdehida (MDA) sebagai indikator peroksidasi lipid membran menurun 20–40% pada perlakuan SA dan 15–35% pada perlakuan JA. Aktivitas enzim antioksidan turut membaik, dengan SOD meningkat +25–60% dan CAT +22–55% pada perlakuan SA (data dilaporkan oleh Urmi *et al.*, 2023), disertai kenaikan +20–50% (SOD) dan +18–45% (CAT) pada perlakuan JA. Pada level molekuler, ekspresi gen OsP5CS terinduksi kuat oleh SA dan sedang oleh JA (Riemann *et al.*, 2015; Zandalinas *et al.*, 2021).

Perlu ditekankan bahwa tidak satu pun dari keempat artikel yang dianalisis mengukur parameter-parameter di atas secara khusus pada padi gogo, sehingga seluruh data tersebut berasal dari padi sawah dan spesies lain. Ketiadaan data ini menegaskan bahwa ekstrapolasi hasil ke padi gogo harus dilakukan dengan sangat hati-hati, mengingat perbedaan genetik, morfologi perakaran, dan mekanisme adaptasi antara padi gogo dan padi sawah.

### Perbandingan Efektivitas SA vs JA: Analisis Kritis

Pertanyaan mengenai hormon mana yang lebih efektif antara SA dan JA memerlukan jawaban yang berbasis data, bukan sekadar deskriptif. Secara jalur biosintesis, SA berasal dari jalur fenilpropanoid (fenilalanin melalui PAL), sedangkan JA berasal dari jalur oktadekanoid (asam  $\alpha$ -linolenat melalui LOX–AOS–AOC). Pada level target molekuler, SA menginduksi prolin melalui aktivasi NPR1 yang secara langsung menginduksi gen P5CS sekaligus menghambat ProDH, sementara JA bekerja melalui aktivasi MYC2 yang menginduksi gen respons stres termasuk P5CS serta turut mengatur penutupan stomata. Berdasarkan data yang tersedia, kisaran peningkatan prolin oleh SA (+28–62%, rerata  $\approx 50\%$ ; Urmi 2023 & Riemann 2015) sedikit lebih tinggi dibandingkan JA (+22–

48%, rerata  $\approx 35\%$ ; Riemann 2015 & Zandalinas 2021), dengan dosis optimal yang dilaporkan masing-masing 0,5 mM secara foliar spray (Urmi *et al.*, 2023) dan 50  $\mu\text{M}$  MeJA (Riemann *et al.*, 2015\*). SA tampak lebih responsif pada kondisi cekaman sedang (50% FC), sedangkan JA tetap efektif pada cekaman sedang hingga berat melalui mekanisme regulasi stomata yang lebih cepat. Dalam hal interaksi dengan ABA, SA bersifat sinergis dalam induksi P5CS namun umumnya antagonis terhadap JA pada respons biotik meski keduanya cenderung koordinatif pada respons abiotik sedangkan JA bersifat sinergis dengan ABA dalam penutupan stomata. Baik SA maupun JA sama-sama belum memiliki data pengujian pada padi gogo dalam artikel yang dianalisis.

Secara keseluruhan, SA lebih efektif menginduksi prolin (+50% rata-rata) dibandingkan JA (+35% rata-rata) berdasarkan data yang tersedia. Perbedaan ini kemungkinan disebabkan oleh: (1) SA mengaktifkan P5CS secara lebih langsung melalui jalur NPR1, sedangkan JA melewati lebih banyak titik regulasi melalui MYC2; dan (2) SA juga secara aktif menghambat ProDH sehingga akumulasi prolin berlangsung dua arah yang meningkatkan sintesis sekaligus menurunkan degradasi sementara efek JA pada ProDH kurang terdokumentasi (Hayat *et al.*, 2012; Wasternack & Song, 2017). Namun demikian, pada kondisi cekaman berat (di bawah 30% FC), jalur JA melalui pengaturan stomata memberikan manfaat tambahan berupa pengurangan kehilangan air melalui transpirasi, sehingga JA cenderung lebih unggul secara keseluruhan pada kondisi stres berat meskipun untuk induksi prolin secara spesifik SA masih lebih kuat (Riemann *et al.*, 2015; Zandalinas *et al.*, 2021). Zandalinas *et al.* (2021) juga menunjukkan bahwa dalam konteks toleransi abiotik, SA dan JA tidak bersifat antagonis seperti pada respons biotik, melainkan dapat berkoordinasi melalui mediasi ABA yang menginduksi P5CS secara independen dan memperkuat efek kedua hormon. Implikasinya, kombinasi SA+JA berpotensi menghasilkan akumulasi prolin yang lebih tinggi dibandingkan perlakuan tunggal, meskipun hal ini belum pernah diuji pada padi gogo.

### Kesenjangan Penelitian (Research Gap)

Dari 31 artikel yang teridentifikasi dalam penelitian ini, tidak satu pun yang mengevaluasi efek SA dan/atau JA terhadap kandungan prolin secara spesifik pada padi gogo dalam kondisi cekaman kekeringan sehingga dapat menjadi sebuah kesenjangan penelitian yang kritis. Secara rinci, efek SA terhadap akumulasi prolin baru dikaji pada padi sawah melalui 2 artikel (Urmi *et al.*, 2023; Riemann *et al.*, 2015), yang membuktikan efek positif SA namun tidak satu pun mengevaluasi padi gogo. Efek JA hanya dikaji secara langsung pada padi melalui 1 artikel (Riemann *et al.*, 2015), yang diterbitkan tahun 2015 di luar rentang inklusi 2020–2026, sehingga tidak ada studi terbaru yang menggunakan JA pada padi. Respons fisiologis (RWC, klorofil, MDA, antioksidan) terhadap SA/JA telah dikaji pada padi sawah, kedelai, dan jagung melalui 3 artikel, namun tidak satu pun memuat data untuk padi gogo dalam rentang 2020–2026. Interaksi kombinasi SA+JA dikaji oleh Zandalinas *et al.* (2021), namun pada spesies non-padi dan tidak berfokus pada prolin sebagai variabel utama. Yang paling kritis, dari seluruh 31 artikel yang teridentifikasi, tidak ada satu pun yang mengevaluasi perlakuan SA dan/atau JA terhadap kandungan prolin secara spesifik pada padi gogo di kondisi cekaman kekeringan; Wening *et al.* (2021) merupakan satu-satunya artikel padi gogo yang teridentifikasi, namun tanpa perlakuan hormonal apa pun.

### KESIMPULAN

Sintesis terhadap empat artikel eksperimental menunjukkan bahwa asam salisilat (SA) dan asam jasmonat (JA) berpotensi meningkatkan toleransi tanaman terhadap cekaman kekeringan melalui peningkatan akumulasi prolin dan perbaikan respons fisiologis. SA meningkatkan kandungan prolin sebesar 28–62% (rerata  $\approx 50\%$ ), sedangkan JA sebesar 22–48% (rerata  $\approx 35\%$ ). Kedua fitohormon juga berkontribusi terhadap peningkatan kandungan air relatif, klorofil, dan aktivitas enzim antioksidan serta penurunan malondialdehid. Berdasarkan data yang tersedia, SA menunjukkan kecenderungan lebih kuat dalam meningkatkan akumulasi prolin, sedangkan JA memberikan respons yang lebih baik pada kondisi cekaman berat melalui regulasi stomata.

Meskipun demikian, tidak ditemukan penelitian yang secara spesifik mengevaluasi pengaruh SA dan/atau JA terhadap kandungan prolin pada padi gogo di bawah cekaman kekeringan. Kondisi tersebut menunjukkan adanya kesenjangan penelitian yang penting dan membatasi generalisasi hasil dari padi sawah maupun spesies lain terhadap padi gogo. Oleh karena itu, penelitian eksperimental pada padi gogo diperlukan untuk menguji respons terhadap SA dan JA, baik secara tunggal maupun kombinasi, pada berbagai tingkat cekaman kekeringan serta mengevaluasi mekanisme fisiologis dan molekulernya. Penelitian tersebut penting sebagai dasar pengembangan strategi peningkatan toleransi kekeringan padi gogo berbasis fitohormon.

---

**DAFTAR PUSTAKA**

- Fahad, S., Bajwa, A. A., Nazir, U., Anjum, S. A., Farooq, A., Zohaib, A., & Huang, J. (2017). Crop production under drought and heat stress: Plant responses and management options. *Frontiers in Plant Science*, 8, Article 1147. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01147>
- Hayat, S., Hayat, Q., Alyemeni, M. N., Wani, A. S., Pichtel, J., & Ahmad, A. (2012). Role of proline under changing environments: A review. *Plant Signaling & Behavior*, 7(11), 1456–1466. <https://doi.org/10.4161/psb.21949>
- Kaur, G., & Asthir, B. (2015). Proline: A key player in plant abiotic stress tolerance. *Biologia Plantarum*, 59(4), 609–619. <https://doi.org/10.1007/s10535-015-0549-3>
- Khan, M. I. R., Fatma, M., Per, T. S., Anjum, N. A., & Khan, N. A. (2015). Salicylic acid-induced abiotic stress tolerance and underlying mechanisms in plants. *Frontiers in Plant Science*, 6, Article 462. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00462>
- Pandey, V., & Shukla, A. (2015). Acclimation and tolerance strategies of rice under drought stress. *Rice Science*, 22(4), 147–161. <https://doi.org/10.1016/j.rsci.2015.04.001>
- Riemann, M., Dhakarey, R., Hazman, M., Miro, B., Kohli, A., & Nick, P. (2015). Exploring jasmonates in the hormonal network of drought and salinity responses. *Frontiers in Plant Science*, 6, Article 1077. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.01077>
- Szabados, L., & Savouré, A. (2010). Proline: A multifunctional amino acid. *Trends in Plant Science*, 15(2), 89–97. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2009.11.009>
- Urmi, T. A., Islam, M. M., Zahan, K. N., Hasan, M. M., Hossain, M. A., & Muta, T. (2023). Combined effect of salicylic acid and proline mitigates drought stress in rice (*Oryza sativa* L.) through the modulation of physiological attributes and antioxidant enzymes. *Antioxidants*, 12(7), Article 1438. <https://doi.org/10.3390/antiox12071438>
- Wasternack, C., & Song, S. (2017). Jasmonates: Biosynthesis, metabolism, and signaling by proteins activating and repressing transcription. *Journal of Experimental Botany*, 68(6), 1303–1321. <https://doi.org/10.1093/jxb/erw443>
- Wening, S., Rumanti, I. A., Satoto, Hairmansis, A., Kusdianan, D., & Nugraha, Y. (2021). Improved upland rice varieties for adaptation to climate change in Indonesia. *Agronomy*, 11(3), Article 592. <https://doi.org/10.3390/agronomy11030592>
- Zandalinas, S. I., Fritsch, F. B., & Mittler, R. (2021). Signal transduction networks during stress combination. *Plant Physiology*, 186(1), 31–48. <https://doi.org/10.1093/plphys/kiab026>