

Ekofisiologi Tumbuhan sebagai Bagian dari Pertanian Berkelanjutan

Talitha Widiatningrum¹, Sucihatiningsih Dian Wisika Prajanti², Dhea Rizky Amelia²

¹Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang

²Ekonomi Pembangunan, Fakultas Ekonomi, Universitas Negeri Semarang

talitha_widiatningrum@mail.unnes.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.15294/ie.v3i1.302>

P-ISSN 2829-3843 | QRCBN 62-6861-9234-468

ABSTRAK

Pertanian berkelanjutan menuntut strategi yang mampu meningkatkan produktivitas sekaligus menjaga keseimbangan ekologis. Artikel ini membahas peran penting ekofisiologi tumbuhan dalam mendukung pertanian berkelanjutan, dengan menekankan bagaimana tumbuhan merespons faktor lingkungan seperti: suhu, cahaya, curah hujan, angin, ketersediaan air dan nutrisi. Pemahaman ekofisiologis memungkinkan optimalisasi proses fotosintesis, transpirasi, dan penyerapan nutrisi, serta adaptasi tanaman terhadap cekaman lingkungan. Di samping itu, pendekatan ini juga berkontribusi pada upaya domestikasi tanaman pangan dan pemilihan varietas unggul yang tahan terhadap kondisi ekstrem. Melalui integrasi ilmu fisiologi dan ekologi tumbuhan, ekofisiologi menyediakan landasan untuk pengelolaan agronomi yang efisien, adaptif dan berkelanjutan dalam menghadapi tantangan perubahan iklim dan ketahanan pangan global.

PENDAHULUAN

Jumlah populasi penduduk terus tumbuh secara eksponensial (Samways, 2022). Namun demikian, tidak untuk sumber daya alam, termasuk hasil tanaman, dimana

permintaan pangan terus meningkat, terutama kebutuhan akan pangan bergizi (Reyes dkk, 2021). Oleh karena itu, diperlukan lebih banyak upaya untuk perkebangbiakan pertanian yang berkelanjutan, sehingga menjadi lebih produktif, sehat dan bebas limbah.

Permasalahan tersebut mendorong berbagai pihak terkait untuk mengembangkan suatu strategi untuk mengatasi masalah pangan, yang salah satunya berupa domestikasi tanaman (Ross-Ibarra dkk, 2007). Domestikasi tanaman pangan sangat penting bagi populasi manusia yang terus bertambah. Namun, hal itu juga menyebabkan gangguan tersendiri terhadap keragaman genetik tanaman yang tentunya memberikan pengaruh lebih lanjut terhadap ketahanan pangan global dan pertanian berkelanjutan (Allaby dkk, 2021). Oleh karena itu, memahami genetika domestikasi tanaman pangan dan mempercepat proses domestikasi dapat membantu memecahkan banyak masalah dalam pertanian *modern*.

Domestikasi tanaman adalah hasil dari proses seleksi yang mengarah pada peningkatan adaptasi tanaman terhadap budidaya dan penggunaan manusia (Purugganan, 2022). Proses ini didasarkan pada penerapan program pemuliaan melalui seleksi dan modifikasi spesies tanaman liar yang bertujuan untuk memilih sifat tanaman yang berguna untuk kebutuhan manusia. Peningkatan produk tanaman secara konsisten telah menjadi salah satu tujuan terpenting selama proses domestikasi untuk menyediakan sediaan pangan yang terus menerus dan konstan (Fuller dkk, 2023). Hal ini tentunya menjadi suatu faktor yang perlu diperhatikan, karena sumber karbon terbatas yang dihasilkan oleh fotosintesis dialokasikan untuk proses pertumbuhan atau pertahanan untuk memaksimalkan strategi adaptasi tanaman (Hussain dkk, 2021). Jika tanaman memfokuskan energinya pada pertumbuhan, maka secara otomatis kemampuan adaptasinya dalam menghadapi berbagai jenis stres menjadi menurun. Sementara itu, tanaman hasil domestikasi umumnya harus berjuang terlebih dahulu dalam adaptasi, sehingga energi untuk bertumbuh menjadi kurang optimal (Dos Santos dkk, 2022).

Dalam rangka mendukung pertanian berkelanjutan dan

domestikasi tanaman, maka diperlukan suatu pemahaman yang mendalam untuk dapat mencari hubungan dinamis antara pertumbuhan dan adaptasi tumbuhan, yang salah satunya adalah melalui pemahaman pengaruh lingkungan pada ekofisiologi tumbuhan.

METODE

Metode penulisan dalam artikel ini menggunakan studi literatur untuk mendukung penyajian gagasan terkait Ekofisiologi Tumbuhan sebagai Bagian dari Pertanian Berkelanjutan secara komprehensif.

PEMBAHASAN

Ekofisiologi tumbuhan, atau fisiologi ekologi tumbuhan, merupakan cabang ilmu yang mempelajari bagaimana tumbuhan merespons dan menyesuaikan diri terhadap faktor-faktor lingkungan di sekitarnya. Ilmu ini berada pada irisan antara fisiologi tumbuhan dan ekologi, mengkaji proses-proses fisiologis yang terjadi dalam tumbuhan dalam kaitannya dengan variabilitas lingkungan seperti: cahaya, suhu, air, nutrisi, angin dan tekanan biotik (Sánchez-Moreiras dan Reigosa, 2018).

Tumbuhan, sebagai organisme autotrof, tidak memiliki kemampuan untuk berpindah tempat. Oleh karena itu, adaptasi terhadap perubahan lingkungan menjadi kunci utama kelangsungan hidup dan produktivitasnya (Zhou dkk, 2025). Ekofisiologi membantu kita memahami bagaimana tumbuhan mengatur mekanisme seperti: fotosintesis, transpirasi, respirasi, dan penyerapan air dalam berbagai kondisi lingkungan. Pendekatan ini penting dalam menjawab tantangan perubahan iklim, degradasi lahan, dan ketahanan pangan global (Chandel, 2024).

Kajian ekofisiologi tidak hanya terbatas pada tumbuhan alami di ekosistem liar, tetapi juga sangat relevan dalam konteks pertanian, kehutanan dan restorasi lingkungan. Melalui pendekatan ekofisiologis, kita dapat memilih jenis tanaman yang lebih adaptif terhadap lingkungan tertentu, merancang sistem budidaya yang efisien, serta memahami dampak interaksi lingkungan terhadap produktivitas tanaman

(Valliere dkk, 2022). Dengan demikian, ilmu ini menjadi sangat penting dalam pengelolaan sumber daya hayati yang berkelanjutan, khususnya dalam menghadapi dinamika perubahan lingkungan global yang semakin kompleks.

Tumbuhan tumbuh dan berkembang dalam suatu lingkungan yang kompleks dan dinamis. Lingkungan ini terdiri atas berbagai faktor abiotik yang secara langsung maupun tidak langsung memengaruhi proses fisiologis dalam tumbuhan. Di antara faktor-faktor tersebut, iklim, ketersediaan air dan nutrisi tanah merupakan elemen kunci yang sangat menentukan keberhasilan adaptasi, produktivitas, dan distribusi geografis tumbuhan (Puglielli dkk, 2023).



Gambar 1.1. Interaksi Tumbuhan dan Lingkungan: Faktor Iklim, Air dan Nutrisi (dibuat dengan AI, 2025).

Faktor Iklim

Iklim mencakup parameter-parameter seperti: suhu, intensitas cahaya matahari, kelembaban udara, curah hujan dan kecepatan angin. Suhu berperan penting dalam mengatur aktivitas enzimatik, laju metabolisme, serta proses pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan. Cahaya diperlukan dalam proses fotosintesis, tetapi intensitas dan lama penyinaran yang berlebihan dapat menyebabkan stres cahaya. Selain itu, perubahan iklim global, seperti: peningkatan suhu rata-rata dan perubahan pola curah hujan, berpotensi

besar memengaruhi fisiologi tanaman secara signifikan (Hudik, 2023).

1. Suhu

Suhu lingkungan memengaruhi laju reaksi biokimia dalam tumbuhan, terutama yang dikatalisis oleh enzim. Setiap tumbuhan memiliki rentang suhu optimum untuk pertumbuhan, misalnya ketika suhu terlalu rendah dapat memperlambat metabolisme dan pertumbuhan, suhu terlalu tinggi dapat merusak protein, mengganggu fotosintesis, dan meningkatkan respirasi berlebihan. Adaptasi terhadap suhu ekstrem bisa berupa dormansi, perubahan komposisi membran sel, atau ekspresi protein tahan panas (*heat-shock proteins*) (Slot dan Winter, 2016).

2. Cahaya Matahari

Cahaya merupakan sumber energi utama dalam proses fotosintesis. Tiga aspek cahaya, yakni: intensitas, durasi (fotoperiodisme) dan kualitasnya, memiliki pengaruh penting dalam berbagai aspek pertumbuhan tanaman. Intensitas cahaya yang tinggi dapat meningkatkan laju fotosintesis, namun jika berlebihan dapat menimbulkan stres cahaya. Sementara itu, fotoperiodisme berperan dalam mengatur fase-fase penting seperti pembungaan dan dormansi pada banyak jenis tanaman. Beberapa tanaman, seperti yang bersifat heliotropik, akan mengikuti arah cahaya matahari, sedangkan tanaman skototropik justru tumbuh ke arah yang lebih teduh (van Zanten, 2021).

3. Curah Hujan

Curah hujan memengaruhi ketersediaan air tanah yang sangat penting bagi tanaman, terutama dalam proses transpirasi, penyerapan nutrisi dan menjaga tekanan turgor sel. Saat curah hujan rendah, tanaman dapat mengalami stres air yang menyebabkan stomata menutup dan pertumbuhan menjadi terhambat. Sebaliknya, curah hujan yang berlebihan dapat membuat tanah menjadi jenuh air, sehingga akar kekurangan oksigen dan rentan terhadap serangan penyakit. Pola curah hujan musiman, seperti perbedaan antara musim hujan dan kemarau, juga mendorong terbentuknya strategi adaptasi pada tanaman, misalnya melalui fase dormansi atau perubahan fenologi (Lombardini dan Rossi, 2019).

4. Angin

Angin memengaruhi transpirasi, penyerbukan dan morfologi tanaman. Angin sedang dapat membantu dispersi polen dan biji, serta sirkulasi udara di sekitar daun, sementara angin kencang dapat menyebabkan kerusakan mekanis, peningkatan laju transpirasi dan dalam jangka panjang memicu pertumbuhan batang yang lebih kokoh (reaksi thigmomorfogenesis). Tanaman di daerah berangin sering menunjukkan struktur yang lebih pendek dan kuat sebagai bentuk adaptasi (Zhdanov, 2021).

Faktor Air

Air adalah komponen vital bagi tumbuhan. Ia berperan sebagai medium reaksi kimia, pelarut ion dan senyawa organik, serta agen transportasi dalam jaringan tanaman. Ketersediaan air di lingkungan memengaruhi tekanan air (*water potential*), yang selanjutnya memengaruhi pengambilan air oleh akar dan transpirasi melalui stomata. Kondisi kekeringan dapat memicu mekanisme adaptif seperti penutupan stomata, pengurangan luas daun, dan peningkatan osmotik sel untuk mempertahankan turgor (Lombardini dan Rossi, 2019).

1. Ketersediaan Air

Respons tanaman terhadap kelangkaan air bersifat kompleks, melibatkan perubahan adaptif dan/atau efek yang merugikan. Dalam kondisi lapangan, respons ini dapat dimodifikasi secara sinergis atau antagonis oleh superimposisi stres lainnya. Strategi tanaman untuk mengatasi kekeringan biasanya melibatkan campuran penghindaran stres dan 'strategi' toleransi yang bervariasi menurut genotipe. Respons awal terhadap stres air membantu kelangsungan hidup segera, sedangkan aklimatisasi, yang memanfaatkan kemampuan metabolik dan struktural baru yang dimediasi oleh ekspresi gen yang berubah, membantu meningkatkan fungsi tanaman di bawah stres. Beberapa respons ini terjadi pada tingkat daun sebagai respons terhadap rangsangan yang dihasilkan di daun itu sendiri atau di tempat lain di tanaman. Mereka memiliki pengaruh negatif pada asimilasi dan pertumbuhan karbon. Namun, respons terpadu pada tingkat keseluruhan tanaman, termasuk asimilasi karbon dan alokasi fotoasimilat ke berbagai

bagian tanaman dan kemampuan reproduksi, yang akhirnya menentukan kelangsungan hidup dan ketahanan terhadap tekanan lingkungan (Chaves dkk, 2002).

Kekeringan memicu serangkaian peristiwa pada tanaman di tingkat morfologi, fisiologi, biokimia dan molekuler. Rangkaian reaksi ini meningkatkan atau menurunkan ekspresi gen tertentu yang membantu tanaman menjadi toleran terhadap kondisi yang merugikan. Dalam keadaan seperti itu, tanaman menghasilkan senyawa tertentu yang biasanya tidak disintesis dan dapat berdampak negatif pada fungsi tanaman dan terlibat pada tingkat fisiologis dan morfologis. Perubahan ini dapat berupa berkurangnya turgiditas, penutupan stomata, terganggunya potensi air dan integritas membran, terbatasnya pertumbuhan vegetatif bersama dengan proses perkembangan lainnya. Namun, tingkat perubahan ini bergantung pada durasi stres, tahap pertumbuhan tanaman, vigor tanaman, umur tanaman, kondisi fisikokimia tanah dan lingkungan eksternal. Pada paparan stres, kaskade pensinyalan dimulai yang memicu ekspresi gen protein responsif terhadap stres. Beberapa senyawa, yaitu: prolin, glisin betain, fitohormon, protein yang melimpah pada embriogenesis akhir (LEA), antioksidan, dll. disintesis untuk menjaga keseimbangan osmotik dan integritas membran (Kaur dkk, 2021).

2. Serapan Akar (Penyerapan Air oleh Akar)

Serapan akar adalah kemampuan sistem perakaran tanaman untuk menyerap air dari tanah. Faktor-faktor yang mempengaruhi serapan akar terdiri dari struktur dan luas akar, kondisi tanah, dan mikroorganisme tanah. Terkait dengan struktur akar, maka akar yang luas dan bercabang akan lebih efisien menyerap air. Untuk kondisi tanah, maka tekstur tanah, porositas dan kadar air memengaruhi kemampuan akar menyerap air. Sementara itu, mikroorganisme tanah, seperti mikoriza dapat membantu akar menyerap air dan unsur hara. Lebih lanjut, arsitektur sistem akar (RSA) menentukan kemampuan tanaman untuk mendapatkan nutrisi dan air. Panjang akar, luas permukaan akar, dan volume akar secara langsung memengaruhi kemampuan tanaman untuk menyerap dan mengangkut nutrisi dan air. Untuk sistem akar, akar utama dan lateral memiliki ujung akar. Ujung akar adalah bagian

paling aktif dari kehidupan akar dan memainkan peran penting dalam menyerap nutrisi. Setelah rambut akar mati, zona pemanjangan akan menghasilkan rambut akar baru untuk melengkapi dan mengubah posisi akar di dalam tanah untuk menyerap nutrisi. Pembentukan rambut akar sangat meningkatkan area tempat akar menyerap nutrisi, tetapi rambut akar rentan terhadap ketersediaan air tanah dan berkembang buruk di tanah kering (Wang dkk, 2019).

Akar juga akan memberikan pengaruh terhadap pertumbuhan karena mengatur (a) efisiensi penyerapan air dan hara, yang mana ketika akar sehat dan aktif, maka penyerapan air dan hara akan lebih meningkat yang kemudian mendukung pertumbuhan optimal; (b) ketahanan terhadap cekaman air, karena tanaman dengan sistem akar dalam dan luas lebih tahan terhadap kekeringan, serta (c) distribusi biomassa yang mana penyerapan air yang baik mendorong pertumbuhan daun, batang dan buah karena distribusi air dan nutrisi merata.

Faktor Nutrisi

Nutrisi makro dan mikro yang tersedia dalam tanah dibutuhkan untuk mendukung berbagai fungsi fisiologis. Unsur-unsur seperti: nitrogen, fosfor, kalium, kalsium dan magnesium diperlukan dalam jumlah besar, sedangkan unsur mikro seperti: besi, mangan, dan seng tetap esensial meskipun dibutuhkan dalam jumlah kecil. Defisiensi atau toksisitas nutrisi dapat mengganggu proses fisiologis seperti: sintesis protein, pembentukan klorofil dan pembelahan sel. Secara keseluruhan, interaksi antara tumbuhan dan faktor-faktor lingkungan tersebut bersifat dinamis dan kompleks. Tumbuhan tidak hanya bereaksi terhadap kondisi saat ini, tetapi juga menunjukkan kemampuan aklimatisasi dan adaptasi terhadap perubahan jangka panjang. Pemahaman yang mendalam tentang interaksi ini menjadi dasar penting dalam pengelolaan sumber daya tanaman, peningkatan hasil pertanian, dan konservasi ekosistem di tengah perubahan lingkungan.

IMPLIKASI EKOFISIOLOGI TERHADAP PRODUKTIVITAS DAN STABILITAS TANAMAN PANGAN

Ekofisiologi atau fisiologi tumbuhan dalam konteks lingkungan, memiliki implikasi besar terhadap produktivitas dan stabilitas tanaman pangan. Ekofisiologi menjadi kunci untuk meningkatkan produktivitas sekaligus menjaga stabilitas tanaman pangan dalam jangka panjang. Dengan mengintegrasikan pemahaman fisiologis tanaman dan respons lingkungan, kita bisa mengembangkan sistem pertanian yang efisien, adaptif dan berkelanjutan, sebagaimana penjelasan dibawah ini.

Implikasi Ekofisiologi terhadap Produktivitas Tanaman Pangan

1. Pemahaman Respon Tanaman terhadap Lingkungan

Ekofisiologi membantu kita memahami bagaimana tanaman memanfaatkan sumber daya alam seperti: cahaya, air dan nutrisi. Dengan pemahaman ini, kita bisa mengelola lingkungan tumbuh (seperti irigasi atau pemupukan) agar sesuai dengan kebutuhan fisiologis tanaman, sehingga produktivitas meningkat.

2. Optimalisasi Fotosintesis dan Pertumbuhan

Pengetahuan tentang bagaimana faktor lingkungan mempengaruhi fotosintesis, transpirasi dan respirasi digunakan untuk meningkatkan efisiensi penggunaan cahaya dan air (*Water Use Efficiency*). Hasilnya, biomassa tanaman bertambah dan produktivitas tanaman pangan meningkat.

3. Pemilihan dan Pemuliaan Varietas Unggul

Ekofisiologi digunakan dalam seleksi varietas yang mampu beradaptasi dengan kondisi lingkungan ekstrem (misal: varietas tahan kekeringan atau tahan salinitas). Hal ini sangat penting untuk menjaga produktivitas di lahan marginal.

Implikasi Ekofisiologi terhadap Stabilitas Tanaman Pangan

1. Ketahanan terhadap Cekaman Lingkungan

Ilmu ekofisiologi tumbuhan memberikan pemahaman mendalam mengenai bagaimana tanaman merespons dan menyesuaikan diri terhadap berbagai jenis stres abiotik, seperti: kekeringan, suhu yang sangat tinggi atau rendah,

kelebihan air akibat banjir, serta kadar garam (salinitas) yang tinggi di tanah. Setiap bentuk stres lingkungan tersebut dapat mengganggu proses fisiologis tanaman, seperti: penyerapan air, fotosintesis dan pertumbuhan secara keseluruhan. Melalui kajian ekofisiologi, kita dapat mengenali mekanisme pertahanan alami tanaman, misalnya dengan menutup stomata untuk mengurangi kehilangan air saat kekeringan, atau memproduksi senyawa pelindung saat menghadapi suhu ekstrem. Pemahaman ini sangat penting untuk diterapkan dalam praktik budidaya, seperti dengan mengatur waktu tanam agar tanaman tidak tumbuh pada periode cuaca yang ekstrem, serta memilih varietas yang telah terbukti mampu bertahan di lingkungan tertentu. Dengan pengelolaan yang tepat berdasarkan prinsip-prinsip ekofisiologi, petani dapat menjaga kestabilan hasil panen dari satu musim ke musim berikutnya, meskipun terjadi perubahan iklim atau kondisi lingkungan yang tidak menentu.

2. Prediksi Dampak Perubahan Iklim

Studi dalam bidang ekofisiologi tumbuhan memberikan wawasan penting untuk memprediksi bagaimana perubahan iklim—seperti: peningkatan suhu global, perubahan pola curah hujan dan frekuensi kejadian cuaca ekstrem—akan memengaruhi proses pertumbuhan dan hasil panen tanaman. Dengan memahami respons fisiologis tanaman terhadap kondisi lingkungan yang berubah, para peneliti dan praktisi pertanian dapat merumuskan strategi yang lebih tepat sasaran untuk mengurangi dampak negatif yang mungkin timbul. Informasi ini sangat berguna bagi petani dalam menentukan tindakan adaptif, seperti merotasi jenis tanaman yang ditanam agar lebih sesuai dengan pola iklim yang baru, atau mengganti varietas tanaman dengan jenis yang lebih tahan terhadap cekaman lingkungan tertentu. Selain itu, temuan dari studi ekofisiologi juga mendukung pengambilan keputusan di tingkat kebijakan, sehingga perencanaan sektor pertanian dapat dilakukan secara lebih proaktif dan berkelanjutan dalam menghadapi tantangan perubahan iklim.

3. Manajemen Agronomi yang Tepat Guna

Penerapan praktik agronomi seperti: penanaman, pemupukan dan pengairan yang dirancang berdasarkan

prinsip-prinsip ekofisiologi tumbuhan dapat meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan dalam sistem pertanian. Dengan memahami bagaimana tanaman merespons faktor-faktor lingkungan secara fisiologis, petani dapat menyesuaikan teknik budidaya agar lebih selaras dengan kebutuhan tanaman pada kondisi lingkungan tertentu. Misalnya, pemupukan dapat dilakukan berdasarkan fase pertumbuhan dan kemampuan akar menyerap nutrisi, sementara pengairan dapat diatur sesuai dengan kebutuhan air aktual tanaman dan kemampuan tanah menyimpan air. Pendekatan ini memungkinkan sistem produksi pertanian tetap produktif dan stabil, bahkan ketika terjadi perubahan lingkungan seperti: pergeseran musim, fluktuasi suhu, atau ketersediaan air yang tidak menentu. Dengan demikian, integrasi ekofisiologi ke dalam praktik agronomi tidak hanya meningkatkan hasil panen, tetapi juga mendukung ketahanan sistem pertanian dalam jangka panjang.

PENUTUP

Ekofisiologi tumbuhan memainkan peran kunci dalam mendukung pertanian berkelanjutan melalui pemahaman mendalam mengenai interaksi antara tumbuhan dan lingkungan. Dengan memahami respons fisiologis tanaman terhadap faktor abiotik seperti: suhu, cahaya, air, angin, dan nutrisi, kita dapat mengelola sistem pertanian yang lebih adaptif terhadap perubahan iklim dan kondisi lingkungan ekstrem. Penerapan prinsip-prinsip ekofisiologi tidak hanya membantu meningkatkan produktivitas melalui optimalisasi fotosintesis dan efisiensi penggunaan sumber daya, tetapi juga menjaga stabilitas hasil pertanian dalam jangka panjang. Selain itu, pemahaman ini penting dalam upaya domestikasi tanaman, pemuliaan varietas unggul, serta pengembangan manajemen agronomi yang lebih tepat guna. Dengan demikian, ekofisiologi menjadi fondasi ilmiah yang strategis untuk mewujudkan pertanian yang produktif, tangguh dan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Samways, D., 2022. Population and sustainability: Reviewing the relationship between population growth and environmental change. *The Journal of Population and Sustainability*, 6(1), pp.15-41.
- Reyes, L.I., Constantinides, S.V., Bhandari, S., Frongillo, E.A., Schreinemachers, P., Wertheim-Heck, S., Walls, H., Holdsworth, M., Laar, A., Nguyen, T. and Turner, C., 2021. Actions in global nutrition initiatives to promote sustainable healthy diets. *Global Food Security*, 31, p.100585.
- Ross-Ibarra, J., Morrell, P.L. and Gaut, B.S., 2007. Plant domestication, a unique opportunity to identify the genetic basis of adaptation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(suppl_1), pp.8641-8648.
- Allaby, R.G., Stevens, C.J., Kistler, L. and Fuller, D.Q., 2021. Genetic revelations of a new paradigm of plant domestication as a landscape level process. *Plant breeding reviews*, 45, pp.321-343.
- Purugganan, M.D., 2022. What is domestication?. *Trends in ecology & evolution*, 37(8), pp.663-671.
- Fuller, D.Q., Denham, T. and Allaby, R., 2023. Plant domestication and agricultural ecologies. *Current Biology*, 33(11), pp.R636-R649.
- Hussain, S., Ulhassan, Z., Brestic, M., Zivcak, M., Zhou, W., Allakhverdiev, S.I., Yang, X., Safdar, M.E., Yang, W. and Liu, W., 2021. Photosynthesis research under climate change. *Photosynthesis Research*, 150, pp.5-19.
- Dos Santos, P., Brilhante, M.Â., Messerschmid, T.F., Serrano, H.C., Kadereit, G., Branquinho, C. and De Vos, J.M., 2022. Plant growth forms dictate adaptations to the local climate. *Frontiers in Plant Science*, 13, p.1023595.
- Sánchez-Moreiras, A.M. and Reigosa, M.J. eds., 2018. *Advances in plant ecophysiology techniques* (Vol. 497). Cham, Switzerland: Springer.
- Zhou, L., Ma, X., Luo, Q., Qiao, F., Xie, H., Wang, L., Sun, W., Liu, Y. and Ma, Y., 2025. Differential diversity and structure of autotrophs in agricultural soils of Qinghai Province. *Microbiology Spectrum*, 13(2), pp.e02693-24.
- Chandel, N., Kumar, A. and Kumar, R., 2024. Towards

- sustainable agriculture: Integrating agronomic practices, environmental physiology and plant nutrition. *Int. J. Plant Soil Sci*, 36(6), pp.492-503.
- Valliere, J.M., Ruscalleda Alvarez, J., Cross, A.T., Lewandrowski, W., Riviera, F., Stevens, J.C., Tomlinson, S., Tudor, E.P., Wong, W.S., Yong, J.W. and Veneklaas, E.J., 2022. Restoration ecophysiology: an ecophysiological approach to improve restoration strategies and outcomes in severely disturbed landscapes. *Restoration Ecology*, 30, p.e13571.
- Puglielli, G., Laanisto, L., Gori, A. and Cardoso, A.A., 2023. Woody plant adaptations to multiple abiotic stressors: Where are we?. *Flora*, 299, p.152221.
- Hu, Y., Sperotto, R.A., Koubouris, G., Stojnić, S. and Bellaloui, N., 2023. Tree ecophysiology in the context of climate change. *Journal of Forestry Research*, 34(1), pp.1-5.
- Slot, M. and Winter, K., 2016. The effects of rising temperature on the ecophysiology of tropical forest trees. *Tropical tree physiology: Adaptations and responses in a changing environment*, pp.385-412.
- van Zanten, M., Ai, H. and Quint, M., 2021. Plant thermotropism: an underexplored thermal engagement and avoidance strategy. *Journal of Experimental Botany*, 72(21), pp.7414-7420.
- Lombardini, L. and Rossi, L., 2019. Ecophysiology of plants in dry environments. *Dryland ecohydrology*, pp.71-100.
- Zhdanov, O., 2021. *Wind influence on plants: ecophysiological, biomechanical, and aerodynamic aspects* (Doctoral dissertation, University of Glasgow).
- Chaves, M.M., Pereira, J.S., Maroco, J., Rodrigues, M.L., Ricardo, C.P.P., Osório, M.L., Carvalho, I., Faria, T. and Pinheiro, C., 2002. How plants cope with water stress in the field? Photosynthesis and growth. *Annals of botany*, 89(7), p.907.
- Kaur, H., Kohli, S.K., Khanna, K. and Bhardwaj, R., 2021. Scrutinizing the impact of water deficit in plants: Transcriptional regulation, signaling, photosynthetic efficacy, and management. *Physiologia Plantarum*, 172(2), pp.935-962.
- Wang, W., Ding, G.D., White, P.J., Wang, X.H., Jin, K.M., Xu, F.S.

and Shi, L., 2019. Mapping and cloning of quantitative trait loci for phosphorus efficiency in crops: opportunities and challenges. *Plant and Soil*, 439, pp.91-112.