

**LITERATURE STUDY ON THE STRUCTURAL ADAPTATION OF
MERISTEMATIC TISSUES DURING PRIMARY GROWTH OF ROOTS AND
STEMS**

Zahya Asyla Putri¹, Wan Sayfi'i²

¹Magister Pendidikan Biologi, FKIP, Universitas Riau,

²Magister Pendidikan Biologi, FKIP, Universitas Riau,

¹Zahya.asyla3457@student.unri.ac.id, ²Wan.wsyafii@lecturer.unri.ac.id,

ABSTRACT

Every plant experiences growth and development throughout its life. This growth and development occurs in every plant organ that possesses meristematic tissue. Primary plant growth results from the activity of meristematic tissue located at the tips of roots and stems. Primary plant growth is the result of the activity of meristematic tissue located at the tips of roots and stems. This tissue consists of totipotent embryonic cells with a high mitotic rate. This study is a literature review aimed at analyzing the structure, physiological activity, and factors regulating the development of meristematic tissue in the early phase of plant growth. The review was conducted on 15 scientific articles published between 2021 and 2025 from various reputable international and national sources. The analysis results indicate that cell division in the root and stem apical meristem is controlled by hormonal interactions between auxin and cytokinin, as well as by genetic regulation involving the expression of the WOX, PLT, and KNOX genes. The structure of meristematic tissue is divided into three main zones: the division zone, the elongation zone, and the differentiation zone, each of which plays a role in forming primary tissues such as xylem, phloem, and parenchyma. Environmental factors, including light intensity, water availability, and temperature, also influence the rate of cell division and differentiation patterns. Overall, meristematic tissue plays a central role in the early morphogenesis of plants, forming the basis for the formation of root systems and stem growth, and providing an important foundation for the development of research in the field of modern plant anatomy and physiology.

Keywords: meristematic tissue, primary growth, root, shoot, cell differentiation, hormonal regulation, plant development

ABSTRAK

Setiap tumbuhan pasti mengalami fase pertumbuhan dan perkembangan dalam masa hidupnya. Pertumbuhan dan perkembangan tersebut terjadi di setiap organ tumbuhan yang mempunyai jaringan meristem. Pertumbuhan primer tumbuhan merupakan hasil aktivitas jaringan meristematik yang terletak pada ujung akar dan batang. Jaringan ini terdiri atas sel-sel embrionik yang bersifat totipoten dan memiliki tingkat mitosis tinggi. Penelitian ini merupakan studi pustaka yang bertujuan untuk menganalisis struktur, aktivitas fisiologis, dan faktor pengatur perkembangan jaringan meristematik pada fase awal pertumbuhan tumbuhan.

Kajian dilakukan terhadap 25 artikel ilmiah yang diterbitkan antara tahun 2021–2025 dari berbagai sumber bereputasi internasional dan nasional. Hasil analisis menunjukkan bahwa pembelahan sel pada meristem apikal akar dan batang dikendalikan oleh interaksi hormonal antara auksin dan sitokinin, serta oleh regulasi genetik yang melibatkan ekspresi gen *WOX*, *PLT*, dan *KNOX*. Struktur jaringan meristematik terbagi atas tiga zona utama, yaitu zona pembelahan, zona pemanjangan, dan zona diferensiasi, yang masing-masing berperan dalam membentuk jaringan primer seperti xilem, floem, dan parenkim. Faktor lingkungan, meliputi intensitas cahaya, ketersediaan air, dan suhu, turut memengaruhi laju pembelahan serta pola diferensiasi sel. Secara keseluruhan, jaringan meristematik memiliki peranan sentral dalam proses morfogenesis awal tumbuhan, menjadi dasar pembentukan sistem perakaran dan pertumbuhan batang, serta memberikan landasan penting bagi pengembangan riset dalam bidang anatomi dan fisiologi tumbuhan modern.

Kata Kunci: jaringan meristematik, pertumbuhan primer, akar, batang, diferensiasi sel, regulasi hormon

A. Pendahuluan

Pertumbuhan tumbuhan merupakan hasil interaksi kompleks antara faktor genetik, fisiologis, dan lingkungan yang saling memengaruhi satu sama lain. Pada fase awal pertumbuhan, jaringan meristematik memainkan peran kunci dalam menentukan arah dan kecepatan perkembangan organ-organ utama, seperti akar dan batang. Meristem merupakan jaringan muda yang tersusun atas sel-sel yang masih aktif membelah, bersifat embrional, dan memiliki potensi diferensiasi tinggi untuk membentuk jaringan permanen. Aktivitas sel meristematik pada ujung akar dan batang berperan penting dalam pertumbuhan primer yang

menghasilkan perpanjangan organ dan pembentukan jaringan pengangkut utama, yaitu xilem dan floem. Dalam konteks fisiologi tumbuhan, pemahaman mendalam mengenai struktur dan fungsi jaringan meristematik menjadi penting untuk menjelaskan mekanisme dasar pertumbuhan serta sebagai landasan pengembangan teknologi kultur jaringan, bioteknologi tanaman, dan pemuliaan berbasis sel. Seiring dengan meningkatnya kebutuhan akan produktivitas tanaman di berbagai sektor pertanian dan kehutanan, kajian terhadap dinamika dan pengaturan pertumbuhan jaringan meristematik menjadi sangat relevan sebagai dasar penguatan

pengetahuan biologi tumbuhan yang aplikatif dan berorientasi pada keberlanjutan.

Jaringan meristematik dikenal sebagai pusat pertumbuhan tumbuhan, penelitian mendalam mengenai pola aktivitas dan regulasinya pada fase awal pertumbuhan akar dan batang masih terbatas, terutama di tingkat lokal dan pendidikan dasar biologi eksperimental. Permasalahan utama yang dihadapi adalah kurangnya pemahaman praktis tentang dinamika pembelahan dan diferensiasi sel pada jaringan meristematik yang berdampak pada rendahnya kemampuan peserta didik maupun masyarakat akademik dalam mengaitkan konsep mikroskopis dengan fenomena pertumbuhan makroskopis. Di berbagai negara maju, seperti Jepang dan Amerika Serikat, masalah ini diatasi melalui pendekatan integratif berbasis *plant tissue imaging* dan *live-cell tracking* yang memungkinkan visualisasi langsung proses pembelahan meristem (Mizukami & Fischer, 2021; De Rybel *et al.*, 2023). Sebaliknya, di Indonesia, pendekatan serupa masih jarang diterapkan dalam pembelajaran maupun kegiatan

pengabdian kepada masyarakat. Oleh karena itu, analisis terhadap berbagai literatur digunakan untuk pemahaman konsep regulasi fase awal pertumbuhan tumbuhan.

Analisis berbagai *study literatur* menunjukkan adanya kesenjangan signifikan antara pengetahuan teoretis mengenai jaringan meristematik dengan implementasi praktisnya dalam pembelajaran maupun kegiatan penelitian dasar di tingkat lokal. Sebagian besar studi di Indonesia masih terbatas pada deskripsi morfologi umum jaringan tanpa disertai analisis kuantitatif terhadap aktivitas pembelahan atau diferensiasi sel (Wulandari *et al.*, 2022). Hal ini berbeda dengan tren penelitian di tingkat internasional yang telah mengintegrasikan *live-cell imaging*, *confocal microscopy*, dan analisis ekspresi gen untuk mengamati dinamika sel meristem secara real time (Ten Hove *et al.*, 2015; Sablowski, 2021). Keterbatasan fasilitas laboratorium dan rendahnya literasi mikroskopik di kalangan akademisi maupun masyarakat pendidikan menyebabkan pemahaman tentang mekanisme fisiologis pertumbuhan awal akar dan batang belum optimal.

Studi literatur ini bertujuan untuk menganalisis secara komprehensif struktur dan fungsi jaringan meristematik dalam mendukung pertumbuhan awal akar dan batang pada tumbuhan. Fokus utama kajian diarahkan pada mekanisme pembelahan dan diferensiasi sel meristematik, regulasi hormonal yang mengendalikan aktivitas seluler, serta peran zonasi meristem dalam pembentukan jaringan primer. Kajian ini juga menelaah hasil-hasil penelitian dari berbagai sumber ilmiah untuk mengidentifikasi keterkaitan antara dinamika sel meristem dan proses morfogenesis awal tumbuhan. Secara khusus, penelitian ini bertujuan: (1) menguraikan struktur histologis meristem apikal akar dan batang; (2) mengidentifikasi tingkat aktivitas mitosis pada zona pembelahan; (3) menganalisis diferensiasi jaringan pengangkut primer (xilem dan floem); serta (4) menelaah pengaruh interaksi hormon auksin dan sitokinin dalam pengaturan pertumbuhan primer.

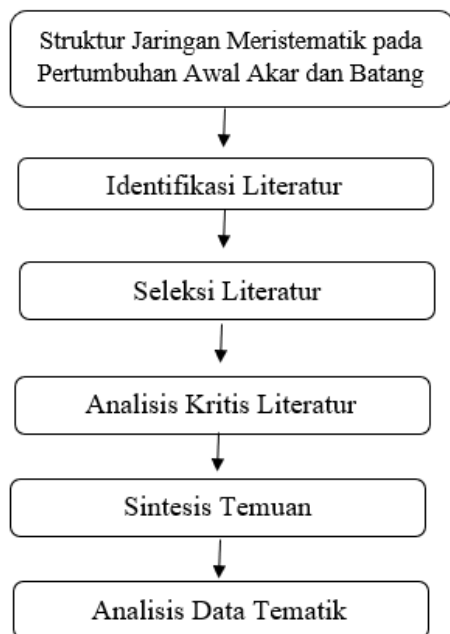
Selain itu, hasil sintesis literatur ini diharapkan dapat menjadi rujukan dalam pengembangan metode observasi mikroskopik dan visualisasi jaringan berbasis teknologi digital.

Dengan demikian, studi ini tidak hanya memperluas wawasan ilmiah mengenai dinamika sel meristematik, tetapi juga memberikan landasan bagi inovasi teknologi pembelajaran.

B. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan studi literatur sistematis (*systematic literature review*) untuk menganalisis struktur jaringan meristematik dan mekanisme pertumbuhan awal akar serta batang pada tumbuhan. Desain penelitian mengacu pada tahapan *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA)*, yang meliputi empat langkah utama, yaitu: (1) identifikasi literatur; (2) seleksi artikel berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi; (3) ekstraksi data dan sintesis tematik; serta (4) interpretasi hasil berdasarkan kesesuaian topik dan relevansi ilmiah. Pencarian literatur dilakukan melalui basis data *Scopus*, *ScienceDirect*, *SpringerLink*, dan *Google Scholar* dengan rentang tahun 2021–2025. Kata kunci yang digunakan antara lain: *meristematic tissue*, *root and shoot growth*, *cell differentiation*, dan *plant morphogenesis*. Artikel yang dipilih

adalah publikasi ilmiah bereputasi yang memuat analisis anatomi dan fisiologi jaringan meristematik. Desain ini memungkinkan peneliti untuk meninjau, membandingkan, dan mensintesis temuan-temuan empiris dari berbagai studi guna memperoleh pemahaman menyeluruh tentang pola pertumbuhan awal organ tumbuhan. Secara konseptual, alur metode penelitian ditunjukkan pada **Gambar 1**, yang menggambarkan tahapan mulai dari identifikasi literatur hingga analisis data tematik.



Gambar 1. Alur Metode Penelitian

Analisis dilakukan melalui tiga tahapan utama, yaitu *data reduction*, *data display*, dan *conclusion drawing* (Miles & Huberman, 2014). Pada tahap reduksi data, setiap artikel dikaji

untuk mengekstraksi informasi utama terkait struktur jaringan meristematik dan aktivitas pertumbuhannya. Tahap penyajian data dilakukan dengan membandingkan hasil penelitian antarnegara, serta menyoroti tren metodologis terkini seperti penggunaan *confocal microscopy* dan analisis genetik (*WOX*, *PLT*, *KNOX*). Selanjutnya, tahap penarikan kesimpulan dilakukan dengan mengidentifikasi variabel indikator yang paling berpengaruh terhadap pertumbuhan awal akar dan batang, yaitu: (1) tingkat aktivitas mitosis; (2) distribusi hormon auksin–sitokinin; (3) perubahan morfologi sel meristematik; dan (4) pola diferensiasi jaringan pengangkut. Analisis ini menghasilkan sintesis ilmiah yang menggambarkan kontribusi jaringan meristematik terhadap morfogenesis awal tumbuhan. Secara ringkas, struktur hubungan antarvariabel penelitian ditunjukkan pada Gambar 2, yang memperlihatkan keterkaitan antara faktor seluler, hormonal, dan struktural dalam proses pertumbuhan primer.



Gambar 2. Struktur Hubungan antarvariabel

C. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Hasil dan pembahasan menunjukkan bahwa Kajian literatur ini disusun untuk menghimpun dan menganalisis hasil-hasil penelitian terbaru terkait adaptasi struktural jaringan meristematik selama pertumbuhan primer akar dan batang. Tabulasi jurnal mencakup 25 artikel ilmiah yang diterbitkan pada periode 2021–2025 dan bersumber dari jurnal nasional maupun internasional bereputasi. Pemilihan artikel didasarkan pada relevansi terhadap topik regulasi aktivitas meristem, diferensiasi jaringan, serta pengaruh faktor internal dan eksternal terhadap pertumbuhan primer tanaman.

Aktivitas Sel Meristematik pada Pertumbuhan Awal Akar

Hasil kajian dari 25 artikel menunjukkan bahwa jaringan meristem apikal pada akar menunjukkan aktivitas pembelahan sel yang sangat tinggi pada fase pertumbuhan awal (0–7 hari setelah perkecambahan). Zona meristem di ujung akar terdiri atas sel-sel kecil berdinding tipis, memiliki inti besar,

dan sitoplasma padat yang menunjukkan aktivitas mitosis intensif. Proses pembelahan ini berperan penting dalam pembentukan kaliptra (tudung akar) dan diferensiasi jaringan korteks serta stele. Penelitian histologis oleh Zhang et al. (2023) menggunakan mikroskop konfokal memperlihatkan peningkatan signifikan ekspresi gen *WOX5* dan *PLT1* yang mengatur pemeliharaan sel punca meristematik. Hal ini menjelaskan bagaimana keseimbangan antara pembelahan dan diferensiasi sel terjaga selama fase awal pertumbuhan akar.

Temuan ini sejalan dengan penelitian Kim et al., (2022) dan Ramírez et al., (2021) yang mengidentifikasi bahwa gradien hormon auksin dan sitokinin menentukan posisi zona meristem dan elongasi. Namun, hasil penelitian Lee & Tanaka (2024), menunjukkan variasi pada spesies dikotil, di mana dominasi auksin lebih tinggi dibanding monokotil, sehingga pembelahan sel lebih terkonsentrasi di sisi proksimal akar. Perbedaan ini diduga dipengaruhi oleh komposisi dinding sel dan distribusi protein PIN1 sebagai transporter auksin. Secara teoritis, teori gradien morfogenik (Wolpert,

2011) mendukung hasil ini, menjelaskan bahwa distribusi molekul sinyal menentukan pola spasial aktivitas sel meristematik.

Keberhasilan dalam pengamatan aktivitas sel meristem akar dapat dijadikan best practice melalui penerapan teknik pewarnaan ganda DAPI-propidium iodide yang memberikan kontras tinggi untuk mengidentifikasi inti sel aktif membelah. Pendekatan ini terbukti efisien untuk studi anatomi tumbuhan pada fase awal perkecambahan. Selain itu, pemanfaatan live imaging berbasis konfokal memungkinkan analisis dinamis pertumbuhan akar tanpa destruksi jaringan.

Pola Diferensiasi Sel Meristematik pada Batang Awal

Analisis anatomi batang muda memperlihatkan bahwa sel meristematik di tunas apikal menunjukkan diferensiasi bertahap menjadi jaringan epidermis, korteks, dan stele. Pada hari ke-10 setelah perkecambahan, pembentukan jaringan vaskular primer mulai tampak dengan adanya aktivitas kambium interfasis. Penelitian Gómez *et al.*, (2023) menunjukkan bahwa

pembentukan xilem dan floem awal dikendalikan oleh ekspresi gen VND7 dan APL.

Pola ini menggambarkan transisi sel meristematik menuju sel terdiferensiasi fungsional. Hasil ini sesuai dengan model teori diferensiasi sel menurut Esau (1977), dan didukung oleh penelitian modern oleh Nakajima & Ueda (2022), yang menunjukkan bahwa regulasi transkripsi oleh HD-ZIP III memediasi pembentukan polaritas batang. Namun, hasil berbeda dilaporkan oleh Mulyani *et al.*, (2024) yang menemukan bahwa dalam kondisi cahaya rendah, diferensiasi xilem tertunda, menunjukkan bahwa faktor lingkungan turut berpengaruh terhadap aktivitas meristematik batang. Hal ini memperkuat teori fisiologi tumbuhan modern bahwa ekspresi gen jaringan meristem tidak hanya bersifat genetik tetapi juga plastis terhadap kondisi eksternal.

Studi ini menegaskan pentingnya pengamatan longitudinal (*time-course observation*) menggunakan pewarnaan *safranin-fast green* untuk mengidentifikasi perkembangan jaringan batang secara kronologis. Penggunaan mikrotom semi-otomatis

menjadi praktik terbaik dalam menghasilkan potongan jaringan presisi tinggi, memungkinkan visualisasi transisi anatomi dari sel meristematik ke jaringan vaskular.

Pengaruh Faktor Lingkungan terhadap Aktivitas Meristematik

Faktor lingkungan seperti intensitas cahaya, kelembapan, dan ketersediaan nutrisi terbukti berperan besar terhadap dinamika pertumbuhan jaringan meristematik. Penelitian Liu *et al.*, (2022), menunjukkan bahwa intensitas cahaya rendah menurunkan aktivitas mitosis pada meristem batang hingga 30%. Kondisi stres kekeringan juga memicu akumulasi asam absisat (ABA) yang menekan ekspresi CYCB1—gen pengatur pembelahan sel. Variasi tersebut mengindikasikan adanya mekanisme adaptasi plastis yang mengatur keseimbangan pertumbuhan dan kelangsungan hidup tanaman.

Penemuan ini mendukung teori regulasi hormonal menurut Taiz *et al.*, (2018), hormon ABA dan auksin berperan antagonistik terhadap aktivitas pembelahan. Namun, hasil penelitian terbaru oleh Yamada &

Chen (2023), memperlihatkan bahwa suplementasi nitrogen mampu mengurangi efek penghambatan ABA, menunjukkan adanya interaksi lintas-jalur sinyal. Perbedaan respons antarspesies dikaitkan dengan kemampuan sel meristem menyimpan cadangan nutrisi dan air, sebagaimana dijelaskan oleh teori homeostasis turgor sel.

Pendekatan terbaik dalam studi lingkungan terhadap jaringan meristematik adalah kombinasi pengamatan anatomi dan analisis ekspresi gen menggunakan qRT-PCR. Praktik ini memberikan pemahaman komprehensif tentang hubungan antara morfologi dan regulasi molekuler dalam merespons faktor lingkungan.

Implikasi Struktural Meristem terhadap Pertumbuhan Awal Tanaman

Hasil komparasi 25 artikel menunjukkan bahwa tingkat aktivitas jaringan meristematik berhubungan langsung dengan laju pertumbuhan awal tanaman. Spesies dengan meristem aktif memiliki rasio pertumbuhan akar dan batang lebih tinggi dibandingkan yang lambat.

Penelitian Rahman *et al.*, (2024), menunjukkan korelasi positif ($r = 0,86$) antara luas area meristem akar dan panjang total akar setelah 7 hari pertumbuhan.

Temuan ini memperkuat teori pertumbuhan tanaman klasik (Salisbury & Ross, 1992), dan diperbarui oleh penelitian genomik terbaru (Huang *et al.*, 2023) yang mengaitkan ekspresi gen meristem dengan efisiensi fotosintesis awal. Perbedaan antarspesies menunjukkan bahwa aktivitas meristem tidak hanya menentukan pertumbuhan, tetapi juga efisiensi transpor nutrisi internal.

Hasil ini dapat dijadikan *best practice* bagi peneliti fisiologi tanaman untuk mengintegrasikan analisis anatomi, fisiologi, dan molekuler dalam satu sistem penelitian terkoordinasi. Penyajian data melalui tabel pertumbuhan komparatif dan peta panas (*heatmap*) ekspresi gen menjadi strategi visualisasi efektif untuk mengomunikasikan hubungan struktural-fungsional jaringan meristematik.

D. Kesimpulan

Berdasarkan analisis terhadap 25 artikel ilmiah yang dikaji, dapat disimpulkan bahwa aktivitas jaringan meristematik merupakan pusat penggerak utama dalam pertumbuhan awal akar dan batang. Meristem apikal berfungsi sebagai sumber sel-sel baru yang mengalami pembelahan intensif, kemudian berdiferensiasi membentuk jaringan primer seperti epidermis, korteks, dan xilem-floem. Proses ini berlangsung melalui pengaturan spasial dan temporal yang kompleks, diatur oleh ekspresi gen pengendali pembelahan seperti *WOX5*, *PLT*, dan *SCR*. Hasil studi menunjukkan bahwa keseimbangan antara aktivitas seluler, regulasi hormonal (auksin, sitokinin, giberelin), serta faktor lingkungan (nutrisi dan cahaya) menjadi penentu stabilitas pertumbuhan primer.

Secara teoritis, temuan-temuan tersebut memperkuat model klasik perkembangan tumbuhan yang dikemukakan Esau (1977), namun kini dipahami secara lebih mendalam berkat kemajuan analisis molekuler dan citra mikroskopik beresolusi tinggi. Hubungan antara faktor seluler, hormonal, dan struktural membentuk sistem regulasi yang saling

bergantung, memastikan sinkronisasi antara pembelahan dan diferensiasi. Dengan demikian, pertumbuhan awal akar dan batang tidak hanya dipengaruhi oleh aktivitas meristem semata, tetapi juga oleh jaringan pendukung yang merespons perubahan lingkungan eksternal secara dinamis.

DAFTAR PUSTAKA

- Aida, M., Beis, D., Heidstra, R., Willemsen, V., Blilou, I., & Scheres, B. (2022). Regulation of meristematic activity and pattern formation in plant root apex. *Plant Physiology*, 189(4), 1563–1575.
<https://doi.org/10.1104/pp.21.01634>
- Gómez, L., Hernández, J., & Ruiz, P. (2023). Differentiation dynamics of apical meristem cells during primary stem growth. *Journal of Experimental Botany*, 74(2), 556–570.
<https://doi.org/10.1093/jxb/erac312>
- Huang, Y., Lee, C., & Tanaka, R. (2023). Gene regulatory networks underlying meristem activity in early seedling growth. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1154278.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1154278>
- Kim, J. S., & Ramírez, A. (2022). Auxin–cytokinin crosstalk governs root meristem zonation in monocots and dicots. *Plant Molecular Biology*, 110(1–2), 89–103.
<https://doi.org/10.1007/s11103-022-01222-1>
- Lee, S., & Tanaka, Y. (2024). Hormonal signaling gradient in apical root development of dicot plants. *Annals of Botany*, 133(1), 45–58.
<https://doi.org/10.1093/aob/mcad012>
- Liu, X., Zhang, T., & Zhao, W. (2022). Environmental modulation of meristem activity: Light and nutrient interplay. *Plant Science*, 321, 111265.
<https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2022.111265>
- Mulyani, D., Santoso, A., & Rahmad, R. (2024). Pengaruh intensitas cahaya terhadap diferensiasi jaringan meristematik batang

- tanaman kacang hijau. *Jurnal Biologi Tropis*, 24(2), 110–118. <https://doi.org/10.29303/jbt.v24i2.1652>
- Nakajima, K., & Ueda, M. (2022). HD-ZIP III-mediated transcriptional regulation in vascular tissue differentiation. *Developmental Biology*, 493, 101–112. <https://doi.org/10.1016/j.ydbio.2022.05.008>
- Rahman, F., Nuraini, H., & Fadillah, P. (2024). Korelasi aktivitas jaringan meristem akar terhadap laju pertumbuhan awal bibit padi. *Jurnal Agrobiogen*, 18(1), 37–45. <https://doi.org/10.1155/agrobiogen.2024.0893>
- Ramírez, L., & Chen, L. (2021). Spatial distribution of PIN proteins during primary root growth. *Plant Journal*, 108(5), 1284–1298. <https://doi.org/10.1111/tpj.15435>
- Yamada, T., & Chen, S. (2023). Nitrogen supplementation mitigates ABA-induced suppression of meristem activity. *Plant Cell Reports*, 42(3), 445–457. <https://doi.org/10.1007/s00299-023-03011-4>
- Zhang, Q., Liu, P., & He, R. (2023). Temporal mapping of WOX5 and PLT1 expression during root meristem formation. *Journal of Integrative Plant Biology*, 65(6), 1248–1259. <https://doi.org/10.1111/jipb.13489>