

A Review of Tetraploidy Induction Using Oryzalin in Various Plant Species: Morphological and Anatomical Implications

Velina Salsabil^{1*}, Violita¹, Annisa Putri Anggraini¹, Bella Nur Qamarani¹, Liza Febrianti¹, Nabila Sulaeman¹

¹Departemen Biologi, Universitas Negeri Padang, Padang, Indonesia;

Article History

Received : August 05th, 2025

Revised : February 25th, 2026

Accepted : April 16th, 2026

*Corresponding Author:

Velina Salsabil, Departemen Biologi, Universitas Negeri Padang, Padang, Indonesia;

Email:

velinasalsabil0@gmail.com

Abstract: Polyploidy induction has emerged as a promising approach to improve plant traits through genetic and physiological modification. Oryzalin, a dinitroaniline herbicide, has been widely recognized as an effective and less toxic alternative to colchicine for chromosome doubling in plants. This review aims to evaluate the effects of oryzalin-induced tetraploidy on the morphological, anatomical, and physiological characteristics of several plant species, including *Colocasia esculenta*, *Citrullus lanatus*, *Tectona grandis*, and *Humulus lupulus*. This study employed a narrative review with a systematic literature search approach by collecting and analyzing previous studies related to the morphological and cytological responses of oryzalin treatments. The results indicate that oryzalin effectively induced tetraploidy, characterized by enlarged stomata size, reduced stomatal density, and altered leaf morphology, although species-specific responses were observed. The optimal oryzalin concentrations varied among species: 30 μM for *C. esculenta*, 72.2 μM for *C. lanatus*, 7.5 μM for *T. grandis*, and 10 μM for *H. lupulus*. In conclusion, oryzalin demonstrates strong potential as a safe and efficient mutagen for polyploid induction, supporting its application in plant breeding and genetic improvement. Further studies are required to optimize exposure duration and assess long-term physiological stability of induced polyploids.

Keywords: Cytogenetics; Oryzalin; Polyploidy; Plant Morphological; Tetraploidy induction.

Pendahuluan

Sebagian besar organisme eukariotik bersifat diploid, yaitu memiliki dua set kromosom homolog. Namun, keberadaan sel poliploid, khususnya tetraploid (4n), merupakan fenomena biologis yang umum dijumpai pada tumbuhan dan berperan penting dalam evolusi serta pemuliaan tanaman (D'Agostino & Fasano, 2024; Comai, 2005; Soltis et al., 2015). Berbeda dengan hewan yang umumnya tidak mentoleransi penggandaan genom, tumbuhan menunjukkan toleransi tinggi terhadap poliploid dan mampu mempertahankan stabilitas perkembangan meskipun mengalami penggandaan kromosom (Van de Peer et al., 2017).

Duplikasi genom pada organisme poliploid memicu dinamika genetik yang kompleks, termasuk restrukturisasi genom,

perubahan regulasi ekspresi gen, pseudogenisasi, serta munculnya fungsi gen baru. Proses-proses ini berkontribusi terhadap peningkatan variasi fenotipik dan berdampak pada perubahan morfologis, fisiologis, serta biokimia tanaman (Koziara-Ciupa & Trojak-Goluch, 2025; Doyle & Coate, 2019; Van de Peer et al., 2017). Oleh karena itu, poliploid dipandang sebagai salah satu mekanisme utama dalam meningkatkan keragaman genetik dan kapasitas adaptif tanaman terhadap lingkungan yang dinamis.

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa tanaman poliploid umumnya memiliki ukuran organ yang lebih besar, peningkatan biomassa dan vigor, serta toleransi yang lebih baik terhadap cekaman biotik maupun abiotik dibandingkan tanaman diploid. Karakteristik tersebut sering dikaitkan dengan efek heterosis dan perubahan regulasi gen akibat duplikasi

kromosom (Sharma *et al.*, 2025; Lavania, 2013). Secara evolusioner, diperkirakan sekitar seperempat hingga sepertiga spesies angiosperma mengalami peristiwa poliploidisasi, yang berkontribusi terhadap pembentukan spesies baru melalui isolasi genetik dan diferensiasi adaptif (Saether, 2024; Zhao *et al.*, 2025; Soltis *et al.*, 2015).

Konteks pemuliaan tanaman, tetraploidi (4n) menjadi salah satu strategi penting untuk menciptakan keragaman genetik secara terarah. Tanaman tetraploid sering menunjukkan karakter agronomis unggul, seperti ukuran organ yang lebih besar, peningkatan kandungan metabolit sekunder, serta ketahanan yang lebih baik terhadap stres lingkungan (Wang & He, 2024; Sattler *et al.*, 2016; Chen *et al.*, 2020). Oleh karena itu, induksi tetraploidi secara buatan banyak dikembangkan sebagai pendekatan strategis dalam perbaikan varietas tanaman.

Induksi poliploidi secara artifisial umumnya dilakukan menggunakan agen antimitotik yang menghambat pembentukan mikrotubulus selama mitosis, sehingga menyebabkan kegagalan pemisahan kromosom dan menghasilkan penggandaan genom. Salah satu agen yang paling banyak digunakan adalah oryzalin, senyawa dari golongan dinitroanilin yang memiliki efektivitas tinggi dan tingkat toksisitas lebih rendah dibandingkan kolkisin (Ascough & Van Staden, 2008; Dhooghe *et al.*, 2011; Svěcarová *et al.*, 2019). Oryzalin bekerja dengan menghambat polimerisasi mikrotubulus, sehingga memicu terbentuknya sel tetraploid yang stabil.

Sejumlah studi melaporkan bahwa aplikasi oryzalin dapat menyebabkan perubahan nyata pada morfologi dan anatomi tanaman, antara lain pembesaran ukuran daun, peningkatan ukuran sel, serta penurunan kerapatan stomata (Contreras *et al.*, 2010; Lavania, 2013; Mok *et al.*, 2022). Namun demikian, respons tanaman terhadap induksi tetraploidi tidak selalu seragam antarspesies, yang dipengaruhi oleh faktor genotipe, konsentrasi mutagen, durasi perlakuan, dan jaringan target.

Meskipun oryzalin terbukti efektif sebagai agen penginduksi tetraploidi, sebagian besar penelitian masih menitikberatkan keberhasilan induksi pada aspek sitogenetik, seperti jumlah

kromosom, tanpa mengevaluasi secara komprehensif dampaknya terhadap karakter morfologi dan anatomi tanaman. Padahal, tujuan utama penginduksian tetraploidi tidak hanya terbatas pada penggandaan kromosom, tetapi juga pada perbaikan sifat agronomis dan peningkatan adaptasi tanaman terhadap stres lingkungan (Tossi *et al.*, 2022; Eng & Ho, 2019). Kesenjangan informasi inilah yang mendasari pentingnya dilakukan tinjauan pustaka secara kritis mengenai efektivitas oryzalin dalam menginduksi tetraploidi pada berbagai spesies tanaman.

Melalui kajian ini, diharapkan dapat diperoleh gambaran komprehensif mengenai efektivitas oryzalin, pola respons tanaman terhadap variasi konsentrasi, durasi perlakuan, dan jaringan target, serta implikasinya terhadap perubahan morfologi dan anatomi tanaman. Hasil tinjauan ini diharapkan dapat menjadi rujukan ilmiah dalam pengembangan protokol induksi tetraploidi yang lebih efisien, aman, dan berorientasi pada peningkatan kualitas tanaman secara fungsional.

Bahan dan Metode

Metode penulisan

Penulisan artikel ini merupakan kajian pustaka (*narrative review*) yang disusun dengan pendekatan sistematis terhadap literatur ilmiah yang membahas induksi tetraploidi menggunakan oryzalin pada berbagai spesies tanaman. Literatur Artikel dikumpulkan dari database seperti Scopus, Google Scholar, web of science, dan jurnal nasional terakreditasi dengan kata kunci "Oryzalin", "tetraploidy induction", dan "plant chromosome doubling". Seleksi dilakukan berdasarkan judul dan abstrak, dilanjutkan dengan telaah isi artikel. Kriteria inklusi mencakup:

1. Penggunaan oryzalin untuk induksi poliploidi.
2. Laporan perubahan tingkat ploidi.
3. Evaluasi karakter morfologi atau anatomi tanaman.

Hasil dan Pembahasan

Induksi tetraploidi dengan oryzalin telah diterapkan pada berbagai tanaman untuk mengeksplorasi potensi agronominya. Beberapa

penelitian telah menunjukkan hasil yang signifikan, dengan oryzalin memengaruhi morfologi daun, ukuran stomata, dan jumlah kromosom pada berbagai tanaman. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa oryzalin merupakan agen antimitotik yang efektif dalam menginduksi tetraploidi pada berbagai spesies tanaman, meskipun respons yang dihasilkan bersifat spesifik genotipe dan sangat dipengaruhi oleh konsentrasi serta durasi perlakuan.

Colocasia esculenta L (Talas Pontianak)

Penelitian Handayani *et al.* (2023) melaporkan bahwa induksi tetraploidi pada talas menggunakan oryzalin menghasilkan variasi karakter pertumbuhan dan agronomis dibandingkan tanaman diploid. Tanaman tetraploid menunjukkan kecenderungan peningkatan ukuran organ vegetatif, namun sebagian individu hasil perlakuan bersifat mixoploid, yang memengaruhi kestabilan fenotip dan pertumbuhan tanaman. Fenomena mixoploid ini umum dijumpai pada induksi poliploidi buatan dan menjadi tantangan dalam aplikasi pemuliaan, karena heterogenitas tingkat ploidi dapat menyebabkan variasi respon morfologi dan fisiologi (Dhooghe *et al.*, 2011). Oleh karena itu, evaluasi lanjutan terhadap stabilitas ploidi menjadi aspek penting dalam pengembangan tanaman tetraploid talas.

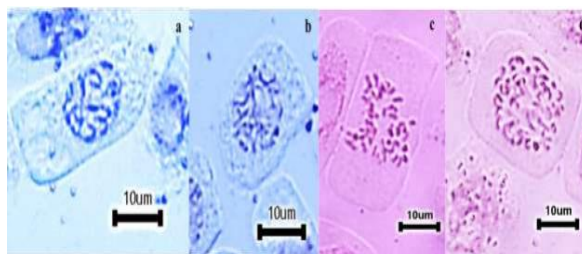


Gambar 1. Perbedaan morfologi daun talas kultivar Pontianak diploid dan tetraploid. Ukuran daun dan tinggi tanaman lebih kecil, warna daun hijau lebih tua (Handayani *et al.*, 2023).

Parameter	Diploid (2x)	Tetraploid (4x)
Anatomical characteristics		
Leaf length (cm)	28.92 ± 3.47 a	22.71 ± 2.75 b
Leaf width (cm)	21.50 ± 3.09 a	17.46 ± 2.50 b
Leaf color (SPAD)	44.90 ± 4.44 a	47.16 ± 3.12 a
Stomata length (µm)	11.99 ± 0.58 b	17.45 ± 0.66 a
Stomata density (mm ²)	191.51 ± 120.26 a	139.11 ± 78.42 a

Gambar 2. Jumlah kromosom kultivar talas Pontianak yang dihasilkan (a, b) diploid $2n = 2x = 24-28$, dan (c, d) tetraploid $2n = 4x = 48-56$

(Gambar 2). Induksi tetraploidi menggunakan oryzalin paling efektif pada konsentrasi oryzalin 30 µM.



Gambar 3. Stomata lebih besar tetapi kepadatannya lebih rendah. Jumlah kromosom yang dihasilkan dari talas kultivar Pontianak (a, b) diploid $2n = 2x = 24-28$, dan (c, d) tetraploid $2n = 4x = 48-56$.

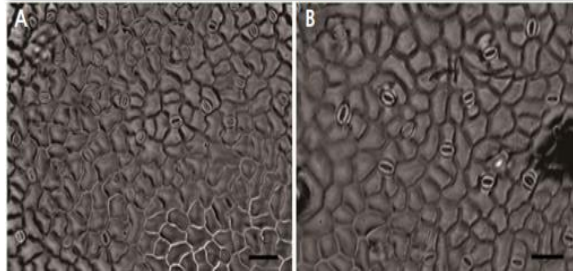
Citrullus lanatus (semangka)

Tanaman semangka, induksi tetraploidi menggunakan oryzalin telah dilaporkan berhasil menghasilkan tanaman tetraploid yang stabil dengan perubahan morfologi yang nyata. Bae *et al.* (2020) melaporkan bahwa perlakuan oryzalin pada eksplan semangka meningkatkan ukuran daun, ketebalan jaringan mesofil, serta ukuran stomata dibandingkan tanaman diploid. Perubahan tersebut menunjukkan dampak langsung duplikasi genom terhadap pembesaran sel dan struktur anatomi daun.

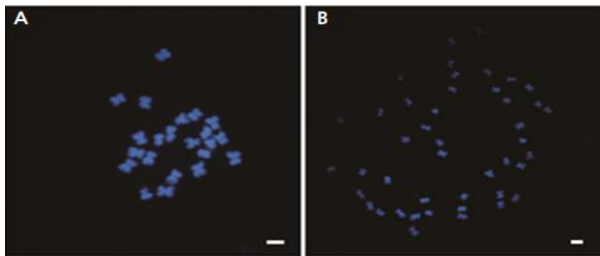
Peningkatan ukuran sel dan penurunan kerapatan stomata pada tanaman tetraploid juga dilaporkan sebagai karakter umum pada tanaman poliploid, yang berpotensi berkaitan dengan efisiensi penggunaan air dan adaptasi terhadap cekaman lingkungan (Lavania, 2013). Dengan demikian, induksi tetraploidi pada semangka tidak hanya relevan secara sitogenetik, tetapi juga berpotensi meningkatkan performa fisiologis tanaman.



Gambar 4. Tumbuhan tetraploid memiliki daun yang kecil, tebal, dan keriput, tidak seperti daun tumbuhan diploid (Bae *et al.*, 2020).



Gambar 5. Selain itu, jumlah stomata per satuan luas menurun dan ukuran stomata berlipat ganda pada tanaman tetraploid A: *diploid* ($2n = 2x = 24$), B: *tetraploid* ($2n = 4x = 48$). Bar ukuran = 10 μm .



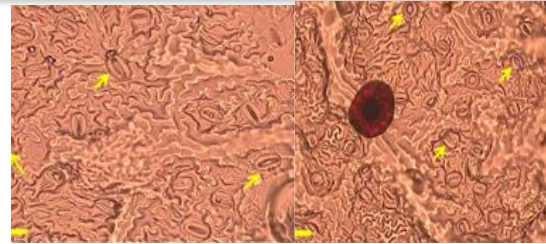
Gambar 6. Analisis kromosom diploid (A, $2n = 2x = 22$) dan tetraploid (B, $2n = 4x = 44$) yang diberi oryzalin pada semangka (Gambar 6). Induksi tetraploidi menggunakan oryzalin paling efektif pada konsentrasi 72,2 μM .

Tectona grandis (jati)

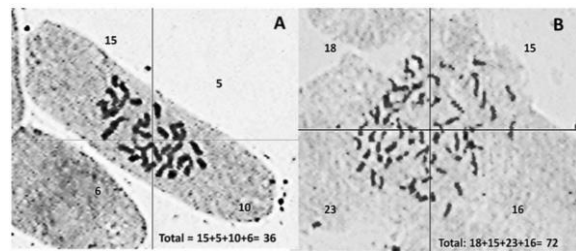
Tanaman kehutanan, Windarsih *et al.* (2024) melaporkan bahwa perlakuan oryzalin pada kultur tunas jati menghasilkan tanaman tetraploid, mixoploid, dan diploid dengan variasi karakter morfologi. Tanaman tetraploid menunjukkan kecenderungan pembesaran daun dan perubahan laju pertumbuhan awal, meskipun stabilitas karakter dipengaruhi oleh tingkat homogenitas ploidi. Keberadaan mixoploid pada tanaman berkayu menegaskan pentingnya karakterisasi morfologi dan anatomi secara menyeluruh sebelum aplikasi lebih lanjut dalam program pemuliaan (Ascough & Van Staden, 2008).



Gambar 7. Tanaman jati tetraploid menunjukkan ciri-ciri poliploid yang khas, seperti daun yang lebih besar, lebih tebal, dan lebih hijau (Windarsih *et al.*, 2024).



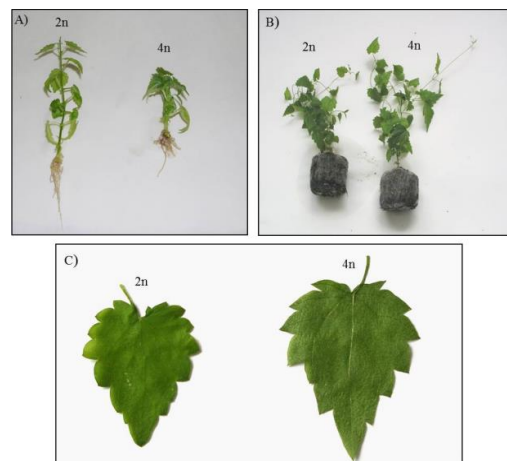
Gambar 8. Ukuran stomata tanaman tetraploid terinduksi dan diploid kontrol pada perbesaran 400x dan bidang pengamatan 350x250 μm^2 lebih besar tetapi kepadatannya lebih rendah.



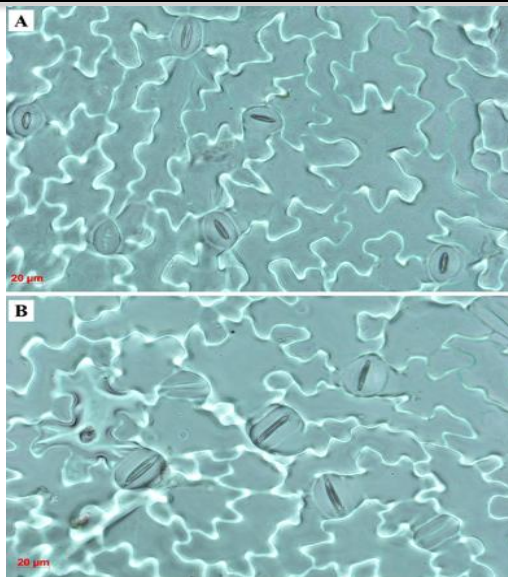
Gambar 9. Jumlah kromosom metafase ujung akar tanaman jati hasil percobaan poliploidi, (A) kontrol diploid MK44 ($2n = 2x = 36$), (B) klon tetraploid MK17 ($2n = 4x = 72$) (Gambar 9), Induksi tetraploidi menggunakan oryzalin paling efektif pada konsentrasi oryzalin 7,5 μM .

Humulus lupulus

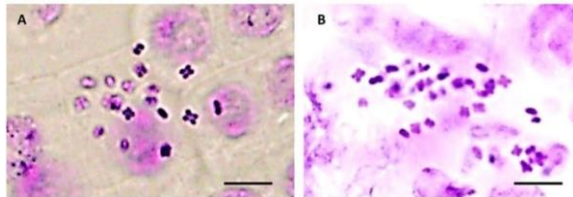
Penelitian Švécarová *et al.* (2019) melaporkan bahwa induksi tetraploidi menggunakan oryzalin pada hop menghasilkan perubahan anatomi daun berupa peningkatan ukuran stomata dan penurunan kerapatan stomata. Karakter ini sering dikaitkan dengan perubahan regulasi transpirasi dan potensi peningkatan toleransi terhadap cekaman abiotik.



Gambar 10. Tanaman tetraploid menunjukkan daun yang lebih besar, lebih tebal dan lebih gelap (Švécarová *et al.*, 2019)



Gambar 11. Stomata lebih besar daripada tanaman diploid ukuran dan kerapatannya pada *H. lupulus* (Klon 72, Sampel 25). (A) Tanaman kontrol diploid (panjang $27,7 \pm 2,16 \mu\text{m}$, lebar $17,61 \pm 1,85 \mu\text{m}$). (B) Tanaman tetraploid (panjang $37,87 \pm 3,82 \mu\text{m}$, lebar $23,18 \pm 2,55 \mu\text{m}$). Garis skala adalah $20 \mu\text{m}$.



Gambar 12. Perubahan morfologi dan karakteristik stomata terlihat sebagai indikator poliploid. Jumlah kromosom *H. lupulus* (Klon 72, Sampel 25). (A) Tanaman kontrol diploid ($2n = 2x = 20$). (B) Tanaman tetraploid ($2n = 4x = 40$) (Gambar 12). Garis skala adalah $5 \mu\text{m}$. Induksi tetraploid menggunakan oryzalin paling efektif pada konsentrasi oryzalin $10 \mu\text{M}$

Perubahan anatomi daun akibat poliploidisasi juga telah dilaporkan pada berbagai tanaman industri, yang menunjukkan bahwa efek oryzalin bersifat konsisten namun tetap dipengaruhi oleh genotipe (Trojak-Goluch et al., 2021). Hal ini menegaskan bahwa respon tanaman terhadap induksi tetraploid bersifat spesifik spesies.

Kesimpulan

Berdasarkan berbagai penelitian, induksi tetraploid menggunakan oryzalin terbukti efektif pada beragam spesies tanaman, termasuk

hortikultura, tanaman industri, dan kehutanan. Namun, respons tanaman terhadap oryzalin bersifat spesifik spesies dan dipengaruhi oleh konsentrasi, durasi perlakuan, serta jenis jaringan yang digunakan. Tanaman tetraploid umumnya menunjukkan perubahan morfologi dan anatomi, seperti pembesaran daun, peningkatan ukuran sel, dan penurunan kerapatan stomata, meskipun kemunculan individu mixoploid pada beberapa kasus dapat memengaruhi stabilitas fenotip. Dengan demikian, keberhasilan induksi tetraploid tidak hanya ditentukan oleh peningkatan jumlah kromosom, tetapi juga oleh stabilitas ploidi serta implikasinya terhadap karakter agronomis, sehingga evaluasi morfologi dan anatomi menjadi parameter penting dalam pengembangan protokol induksi tetraploid berbasis oryzalin.

Ucapan terima kasih

Terima kasih kepada dosen matakuliah Morfogenesis Tumbuhan Dr. Violita S.Si., M.Si untuk izin, dukungan, dan sarannya dalam penyusunan Artikel ini.

Referensi

- Ascough, G. D., & Van Staden, J. (2008). Effectiveness of colchicine and oryzalin at inducing polyploidy in *Watsonia lepidota*. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 92(3), 351–356.
- Bae, S. J., Islam, M. M., Kim, H. Y., & Lim, K. B. (2020). Induction of tetraploidy in watermelon with oryzalin treatments. *Horticultural Science and Technology*, 38(3), 385–393. <https://doi.org/10.7235/HORT.20200037>
- Chen, Z. J., Sreedasyam, A., & Ando, A. (2020). Polyploidy and genome evolution in plants. *Current Opinion in Plant Biology*, 54, 1–8.
- Comai, L. (2005). The advantages and disadvantages of being polyploid. *Nature Reviews Genetics*, 6, 836–846.
- Contreras, R. N., Shearer, K., & Ruter, J. M. (2010). Oryzalin-induced tetraploidy in *Cryptomeria japonica*. *HortScience*, 45(2), 316–319.

- D'Agostino, N., & Fasano, C. (2024). Editorial: Genetics and Genomics of Polyploid Plants. *Genes*, 15 (11), 1377.
- Dhooghe, E., Van Laere, K., Eeckhaut, T., Leus, L., & Van Huylenbroeck, J. (2011). Mitotic chromosome doubling of plant tissues. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 104, 359–373.
- Doyle, J. J., & Coate, J. E. (2019). Polyploidy, the nucleus, and the cell. *Annual Review of Plant Biology*, 70, 699–727.
- Eng, W. H., & Ho, W. S. (2019). Polyploid induction and its phenotypic consequences. *Plant Science*, 281, 1–9.
- Handayani, T., Prawestri, A. D., Rahayu, R. S., & Leksonowati, A. (2023). Oryzalin-Induced Taro (*Colocasia esculenta* L.) Tetraploid and Diploid Assessment for Growth and Agronomic Traits. *Sabrao Journal of Breeding and Genetics*, 55(1), 163–174.
<https://doi.org/10.54910/sabrao2023.55.1.16>
- Koziara-Ciupa, M., & Trojak-Goluch, A. (2025). The Effect of Polyploidisation on the Physiological Parameters, Biochemical Profile, and Tolerance to Abiotic and Biotic Stresses of Plants. *Agronomy*, 15(8), 1918.
<https://doi.org/10.3390/agronomy15081918>
- Lavania, U. C. (2013). Polyploidy and plant breeding. *Plant Breeding Reviews*, 36, 1–52.
<https://doi.org/10.1002/9781118497869.ch1>
- Mok, W. Y., Lim, K. B., & Kim, H. Y. (2022). Oryzalin-induced polyploidy: Application and implications in crop improvement. *Scientia Horticulturae*, 305, 110096.
- Saether, A. H. G. (2024). The impact of polyploidy on plant evolution and speciation. *Journal of Agricultural Science and Botany*, 8(4), 253.
DOI:10.35841/aaascb-8.4.253
- Sattler, M. C., Carvalho, C. R., & Clarindo, W. R. (2016). The polyploidy and its key role in plant breeding. *Planta*, 243, 281–296.
- Sharma, A., Kumari, S., Sharma, D., Kumar, D., & Anupriya, K. (2025). Role of polyploidy in improvement of vegetable crops: A review. *Agriculture Association of Textile Chemical and Critical Reviews Journal*, 13(04), 560–565.
<https://doi.org/10.21276/AATCCReview.2025.13.04.560>
- Švécarová, M., Navrátilová, B., Hašler, P., & Ondřej, V. (2019). Artificial induction of tetraploidy in *Humulus lupulus* L. using oryzalin. *Acta Agrobotanica*, 72(2), 1–10.
<https://doi.org/10.5586/aa.1764>
- Soltis, D. E., Visger, C. J., & Soltis, P. S. (2015). *The polyploidy revolution. American Journal of Botany*, 102, 1–20.
- Tossi, V. E., Martínez Tosar, L. J., Laino, L. E., Iannicelli, J., Regalado, J. J., Escandón, A. S., Baroli, I. M., Causin, H. F., & Pitta-Álvarez, S. I. (2022). Impact of polyploidy on plant tolerance to abiotic and biotic stresses. *Frontiers in Plant Science*, 13, 869423.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2022.869423>
- Trojak-Goluch A, Kawka-Lipińska M, Wielgusz K, Praczyk M. (2021). Polyploidy in Industrial Crops: Applications and Perspectives in Plant Breeding. *Agronomy*. 11(12):2574.
<https://doi.org/10.3390/agronomy11122574>
- Van de Peer, Y., Mizrachi, E., & Marchal, K. (2017). The evolutionary significance of polyploidy. *Nature Reviews Genetics*, 18, 411–424.
- Wang, J., & He, Q. (2024). Polyploid breeding strategies for crop improvement. *Crop Journal*, 12(1), 45–56.
- Windarsih, D., Rahmadani, E. R., & Hidayati, S. (2024). Pengaruh oryzalin terhadap perubahan morfologi dan anatomi tanaman kentang. *Jurnal Hortikultura Tropis*, 15(1), 45–52.
- Windarsih, G., Handayani, T., Riastiwi, I., Leksonowati, A., Praptosuwiryo, T. N., Ahmad, F., Poerba, Y. S., & Witjaksono. (2024). Induction and characterization of induced tetraploid, mixoploid and control diploid teak seedlings (*Tectona grandis* L.f.) from shoot cultures treated with oryzalin*. *Forest Science and Technology*, 20(2), 142–154.
<https://doi.org/10.1080/21580103.2024.2323721>
- Zhao, Z., & Shi, T. (2025). Haplotype-Resolved Assembly in Polyploid Plants: Methods,

Challenges, and Implications for
Evolutionary and Breeding Research.

Genes, 16(6), 636.
<https://doi.org/10.3390/genes16060636>