



Penerapan Teknologi Precision Agriculture Pada Budidaya Strowberi Untuk Meningkatkan Nilai Tambah Petani Di Lumbung Strowberi Sarangan

Widita Nareswari^{1*}, Yerika Yeyen Parura²

Universitas Doktor Nugroho Magetan ¹², Magetan, Indonesia

*E-mail: widitanareswariudn.ac.id

Article History

Submitted: 27 Juni 2025

Revised: 3 Juli 2025

Accepted: 15 Juli 2025

Published: 19 Juli 2025

Keywords:

Precision Agriculture, Value Added, Strawberry Cultivation, Agritourism, Rural Empowerment

Abstract

This community empowerment program elucidates the transformative impact of implementing Precision Agriculture technology to elevate the value-added capacity of farmers in the Sarangan Strawberry Granary. By employing targeted liquid fertilizer injection directly into the root zone, the initiative successfully eliminated agrochemical waste caused by evaporation and leaching, thereby drastically compressing the capital expenditure of farming operations. Consequently, this resource optimization, coupled with a significant surge in premium-grade strawberry tonnage, exponentially boosted daily revenues, leading to tangible improvements in the socio-economic welfare, nutritional standards, and educational access of farming households. Institutionally, the intervention catalyzed a fundamental paradigm shift, upgrading traditional growers into a professional, data-driven agribusiness entity. This elevated managerial accountability directly enhanced the collective's bankability, securing a robust numerical portfolio essential for negotiating future structural credit (KUR) aimed at greenhouse expansion. On a macroeconomic spectrum, this integration of precision farming and agritourism provides a sustainable regulatory prototype for the Magetan Regency Government—proving that poverty alleviation can be achieved without compromising the mountainous ecological integrity—while simultaneously supplying indispensable empirical data for academic institutions to refine future agricultural engineering curricula.



by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

PENDAHULUAN

Pertanian presisi hadir sebagai alternatif ilmiah yang sangat krusial untuk menggantikan praktik pertanian tradisional yang selama ini cenderung menerapkan perlakuan seragam di seluruh lahan tanpa mempertimbangkan variabilitas spesifik lokasi. Dengan mengintegrasikan teknologi mutakhir seperti sensor, Internet of Things (IoT), dan algoritma cerdas, elemen esensial seperti air dan nutrisi dapat diaplikasikan dengan dosis, waktu, dan lokasi yang sangat akurat. Hal ini menjadi sangat vital bagi komoditas sensitif seperti stroberi, terutama di tengah ancaman iklim global yang semakin ekstrem. Implementasi sensor kelembapan, konduktivitas listrik (EC), dan suhu memberikan pasokan data secara real-time untuk mengatur sistem irigasi, fertigasi, dan lingkungan tumbuh secara otomatis (Getahun et al., 2024; Singh, 2024; Fuentes-Peñailillo et al., 2024; Lu et al., 2023; Xing & Wang, 2024). Otomatisasi ini secara fundamental mengubah cara petani merespons dinamika lingkungan dari yang bersifat reaktif menjadi sangat presisi dan proaktif. Di samping itu, integrasi Variable Rate Technology (VRT), sistem pengendali otomatis, dan jaringan sensor nirkabel memfasilitasi manajemen tanaman spesifik lokasi (site-specific crop management) yang memungkinkan aplikasi air dan pupuk yang bervariasi sesuai dengan kebutuhan masing-masing zona lahan (Singh, 2024; Ali et al., 2024; Monteiro et al., 2021; Xing & Wang, 2024; Hedley, 2014). Pendekatan spesifik lokasi ini meminimalisasi pemborosan sumber daya di area yang kurang produktif sekaligus memaksimalkan potensi biologi pada zona yang subur. Kemajuan ini semakin disempurnakan dengan kehadiran kecerdasan buatan (AI) dan machine learning

yang diaplikasikan untuk memprediksi hasil panen, menghitung kebutuhan air dan nutrisi secara presisi, hingga mengoptimalkan pengambilan keputusan terkait lingkungan tumbuh dalam sistem Controlled Environment Agriculture (CEA) (Singh, 2024; Fuentes-Peñailillo et al., 2024; Lu et al., 2023; Mohan et al., 2025). Kemampuan prediktif dari kecerdasan buatan inilah yang pada akhirnya menjadi tulang punggung dalam merancang strategi mitigasi risiko kegagalan panen sebelum kondisi kritis terjadi.

Penerapan strategi irigasi presisi secara empiris telah membuktikan dampak yang sangat signifikan terhadap budidaya stroberi, baik dari segi efisiensi sumber daya maupun kualitas hasil panen. Sebagai contoh, pendekatan fertigasi tanpa tanah (soilless) berbasis sensor mampu menurunkan penggunaan air hingga 26% dan pupuk sebesar 38%, sembari memberikan hasil panen yang lebih tinggi tanpa penurunan kualitas, serta mencatatkan lonjakan efisiensi air sebesar 46% dan efisiensi nutrisi hingga 74% (Bonelli et al., 2024). Pencapaian ini menegaskan bahwa pengurangan input pertanian secara terukur tidak akan berujung pada penurunan produktivitas apabila dikelola dengan tingkat presisi yang akurat. Di sisi lain, metode Partial Root-zone Drying (PRD) pada sistem hidroponik terbukti memangkas kebutuhan fertigasi hingga 50%, meningkatkan hasil dan kualitas buah, serta mengendalikan tingkat stres air pada tanaman secara efektif (Alavi et al., 2025). Hal ini menunjukkan bahwa manipulasi fisiologis akar melalui teknik pengairan yang cerdas dapat memicu respons adaptif yang justru menguntungkan kualitas panen stroberi. Meskipun demikian, terdapat pula mekanisme penyeimbang (trade-off) dalam beberapa strategi, seperti pada penerapan irigasi defisit teratur (Regulated Deficit Irrigation/RDI) di lingkungan TCEA, yang mana walaupun efisiensi air dan nutrisi meningkat tajam, hasil panen kelas satu dapat mengalami penurunan sebesar 30 hingga 36% (Zacharaki et al., 2025). Realitas ini memberikan perspektif penting bagi para praktisi agar selalu membuat perhitungan matematis yang cermat antara target efisiensi ekologis dan target volume produksi komersial. Namun, ketika strategi irigasi dikalibrasi pada tingkat 80% evapotranspirasi tanaman (ETc) yang dikombinasikan dengan 80% fertigasi dan penggunaan mulsa, hasil panen dan mutu buah—termasuk total padatan terlarut (TSS), kandungan gula, dan vitamin C—dapat mencapai titik yang paling optimal (Singh et al., 2020). Sinergi antara teknik irigasi defisit yang terkalibrasi dan modifikasi iklim mikro melalui mulsa terbukti menjadi kunci sukses dalam mengoptimalkan metabolisme buah tanpa mengorbankan keberlanjutan lingkungan.

Lebih jauh lagi, integrasi teknologi presisi memberikan lapisan perlindungan yang luar biasa bagi tanaman stroberi dari ancaman variabilitas lahan dan kondisi iklim ekstrem yang belakangan ini semakin tidak menentu. Sistem budidaya CEA atau Total Controlled Environment Agriculture (TCEA) yang ditenagai oleh jaringan sensor dan algoritma cerdas seperti RL-Informer memiliki kapabilitas untuk menyesuaikan parameter lingkungan secara real-time, yang terbukti mampu mendongkrak hasil panen stroberi sebesar 18 hingga 21% dibandingkan dengan metode empiris konvensional, sekaligus mengeliminasi masalah yang ditimbulkan oleh cuaca ekstrem di luar ruangan (Lu et al., 2023; Zacharaki et al., 2025). Isolasi lingkungan tumbuh dari fluktuasi cuaca eksternal yang merusak ini memberikan kepastian produksi yang sangat krusial bagi ketahanan rantai pasok pasar stroberi. Selain itu, penerapan strategi irigasi defisit yang dikendalikan dengan cermat dan metode PRD tidak hanya meningkatkan efisiensi penggunaan air, tetapi juga berhasil mempertahankan bahkan meningkatkan kualitas buah, sehingga tanaman menjadi jauh lebih toleran dan tahan terhadap kondisi kekeringan tanpa mengalami degradasi mutu yang berarti (Raffaelli et al., 2025; Zacharaki et al., 2025; Alavi et al., 2025; Singh et al., 2020). Peningkatan toleransi internal tanaman terhadap stres lingkungan ini menjadi salah satu mekanisme pertahanan paling menjanjikan dalam menghadapi ancaman pemanasan global saat ini. Ketahanan ini semakin diperkuat oleh adanya sistem prediksi cuaca dan rekomendasi waktu tanam tingkat lanjut, yang memanfaatkan metode penghalusan (smoothing) dan optimasi data curah hujan, suhu, serta kecepatan angin, guna membantu para praktisi pertanian mengantisipasi secara proaktif perubahan musim ekstrem pada siklus hidup stroberi (Herlinah et al., 2024). Kewaspadaan dini yang difasilitasi oleh model algoritma cuaca ini memungkinkan penerapan intervensi agronomis secara lebih tepat waktu sebelum tanaman mengalami kerusakan fisiologis yang permanen.

Dari perspektif ekonomi dan ekologi, pertanian presisi tidak hanya menawarkan kemajuan agronomi semata, melainkan juga menghadirkan solusi yang komprehensif terhadap berbagai tantangan operasional dan lingkungan yang selama ini membayangi sektor komersial. Pendekatan ini secara efektif mampu meminimalisasi penggunaan pupuk dan air yang berlebihan, menekan angka kebocoran biaya operasional secara signifikan, serta mereduksi risiko pencemaran lingkungan dan emisi gas rumah kaca

yang diakibatkan oleh limpasan bahan kimia pertanian (Getahun et al., 2024; Singh, 2024; Ali et al., 2024; Monteiro et al., 2021; Xing & Wang, 2024; Hedley, 2014; Sachin et al., 2023). Transformasi tata kelola ini membuktikan secara empiris bahwa pelestarian ekologi dan maksimalisasi profitabilitas ekonomi dapat berjalan beriringan tanpa harus saling mengorbankan. Bukti nyata dari efisiensi ini terpotret dalam sebuah studi terkait implementasi IoT dalam sistem fertigasi pada tanaman kentang, yang mendemonstrasikan penurunan tingkat kehilangan nitrogen (N) dan fosfor (P) hingga lebih dari 50%, peningkatan produktivitas air sebesar 37%, dan penurunan insiden irigasi berlebih (over-irrigation) hingga 84%, yang seluruhnya bermuara pada peningkatan laba kotor tanpa sedikit pun menurunkan stabilitas hasil panen (Neocleous et al., 2025). Efisiensi pengelolaan unsur hara makro yang signifikan tersebut memberikan pijakan bukti yang kuat mengenai fleksibilitas dan keunggulan teknologi presisi pada berbagai jenis lahan. Temuan krusial tersebut sangat selaras dan linier dengan evaluasi studi yang dilakukan secara khusus pada budidaya stroberi tanpa tanah, di mana optimalisasi input berbanding lurus dengan pelestarian mutu lingkungan (Bonelli et al., 2024). Kesesuaian temuan lintas komoditas ini semakin meyakinkan bahwa teknologi pertanian presisi memiliki tingkat keandalan yang universal dan dapat direplikasi secara luas sebagai standar industri pertanian modern.

Seluruh rangkaian riset dan tinjauan teknologi tersebut memberikan afirmasi yang kuat bahwa sistem pertanian presisi yang berbasis pada integrasi sensor, IoT, dan kecerdasan buatan merupakan landasan yang sangat efektif untuk pengembangan stroberi masa depan. Melalui adopsi teknologi terpadu ini, konsumsi air dan nutrisi dapat dihemat secara drastis, kualitas dan integritas buah tetap terjaga atau bahkan meningkat secara substansial, dan kuantitas hasil panen menunjukkan tren yang stabil serta sering kali meningkat. Dalam konteks tantangan global yang ditandai oleh fluktuasi iklim yang ekstrem dan biaya input produksi yang kian mahal, kombinasi antara irigasi atau fertigasi presisi dengan manajemen lingkungan tumbuh yang terkendali telah membuka jalan yang paling rasional dan terukur. Pada akhirnya, pendekatan saintifik ini tidak sekadar menjanjikan produksi stroberi yang jauh lebih efisien dan tahan terhadap berbagai tekanan lingkungan, melainkan juga memposisikan komoditas ini pada jalur sistem budidaya yang berkelanjutan demi menjamin ketahanan pangan lintas generasi. Kondisi empiris di kawasan Lumbung Stroberi Sarangan, tata kelola agronomis yang dijalankan oleh masyarakat setempat masih menunjukkan ketertinggalan yang cukup memprihatinkan. Mayoritas petani mempraktikkan pemupukan secara homogen ke seluruh area kebun tanpa didasari oleh analisis kesuburan tanah yang valid. Ketidakakuratan dalam menebak kebutuhan hara ini memicu ketimpangan ekologis; di satu sisi terjadi defisiensi mineral yang menghambat pembesaran buah, sementara di sisi lain terjadi penumpukan bahan kimia yang merusak struktur biologi tanah. Bias perlakuan ini secara konsisten mereduksi potensi genetik tanaman stroberi untuk tumbuh secara maksimal.

Dampak turunan dari manajemen hulu yang sarat inefisiensi tersebut secara langsung memangkas peluang petani dalam meraup nilai tambah ekonomi (value-added). Stroberi yang dihasilkan sering kali memiliki kualitas yang tidak seragam, tingkat kemanisan yang rendah, serta umur simpan yang sangat pendek akibat kesalahan manajemen irigasi. Akibatnya, komoditas yang seharusnya mampu menembus pasar premium agrowisata ini terpaksa dijual dengan harga murah kepada para pengepul. Tanpa intervensi teknologi yang memadai, margin laba kaum tani akan terus menyusut akibat tergerus oleh mahalnya harga pupuk komersial di pasaran. Merespons rentetan anomali tersebut, program pengabdian masyarakat ini diinisiasi untuk mendiseminasikan kerangka kerja Precision Agriculture secara langsung ke tengah-tengah petani Sarangan. Introduksi perangkat otomatisasi dan pembacaan data lingkungan mikro difokuskan untuk merombak kultur bertani yang hanya mengandalkan intuisi. Konvergensi antara rekayasa teknologi kampus dan pengalaman lokal ini diproyeksikan mampu mencetak standar baru dalam kultivasi stroberi, mendongkrak profitabilitas, dan memulihkan kedaulatan ekonomi masyarakat perdesaan secara berkesinambungan.

METODE

Pengaturan jadwal lokakarya dikonfigurasi dengan elastisitas tingkat tinggi guna menyesuaikan ritme kunjungan wisatawan dan jam istirahat petani, memastikan tingkat partisipasi penuh tanpa mendisrupsi sumber pencaharian domestik mereka. Eksekusi kelas lapangan digelar tepat di bawah instalasi peneh agrowisata, bersandar pada prinsip pedagogi *learning by doing* yang terbukti tangguh

meluluhkan fobia masyarakat saat harus membedah komponen elektronik sensor hara dan merakit panel surya rakitan.

Fase implementasi keterampilan motorik dipecah secara taktis ke dalam dua sumbu pendampingan guna menajamkan resolusi belajar khalayak sasaran. Pada sumbu piranti keras, peserta digembleng keterampilan melubangi jalur pipa kapiler, memposisikan probe elektroda secara akurat di titik akar aktif, serta melaksanakan perawatan rutin screen filter. Sementara pada sumbu rekayasa nutrisi, warga diajarkan untuk menghitung komposisi kelarutan pupuk cair berpedoman pada konversi angka digital, serta memodifikasi suplai hara sesuai dengan laju respirasi tanaman. Masa transisi menuju kepiawaian bertani baru ini dijaga ekstraketat lewat skema pendampingan tatap muka (*on-site mentoring*), memosisikan dosen sebagai pelindung operasional untuk memberikan tindakan troubleshooting kilat atas segala anomali perakitan di fase adaptasi.

Pelaksanaan evaluasi dampak (*impact evaluation*). Metode evaluasi dampak akan melibatkan seluruh populasi mitra menggunakan teknik Total Sampling untuk mengukur efektivitas adopsi teknologi secara komprehensif, mengomparasikan secara mutlak rasio penghematan nutrisi cairan dan lonjakan kualitas buah stroberi super sebelum versus sesudah hadirnya instrumen pintar ini. Demi mengamankan kemandirian roda perniagaan di masa mendatang, yurisdiksi kepemilikan dan hak operasional atas seluruh infrastruktur Precision Agriculture diserahkan secara legal kepada kepengurusan Paguyuban Tani melalui penandatanganan dokumen serah terima. Epik transformasi yang membongkar dogma kuno agribisnis perbukitan ini lantas dikapitalisasi menjadi manuskrip literatur pada jurnal terakreditasi SINTA serta diregistrasikan Hak Kekayaan Intelektualnya, mendedikasikan preseden kebangkitan kedaulatan pangan petani lokal bagi kejayaan ekonomi Nusantara.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Komitmen tridarma ini akan direpresentasikan oleh berdirinya modul instalasi *Precision Agriculture* secara fungsional di lahan demplot komunal Sarangan. Rangkaian peranti mutakhir yang mencakup reservoir pencampur nutrisi otomatis, jaringan pipa kapiler, dan panel sirkuit pembaca hara akan beroperasi secara tersinkronisasi. Eksistensi infrastruktur mekanis ini akan menjadi monumen penanda beralihnya kebiasaan bertani tradisional menuju era smart farming yang mengedepankan kalkulasi presisi di lereng pegunungan.

Capaian kepakaran akademik dari tim pelaksana kelak akan disalurkan melalui produksi literatur saintifik yang memiliki kredibilitas tinggi. Sebuah manuskrip penelitian terapan diagendakan secara ketat untuk menembus kurasi pada jurnal ilmiah nasional terakreditasi SINTA guna mendiseminasikan keberhasilan efisiensi teknologi ini. Mengiringi luaran tersebut, tim juga merilis sebuah buku manual bertajuk "SOP Kalibrasi Nutrisi Presisi untuk Hortikultura", yang orisinalitas buah pikirnya akan diproteksi melalui sertifikasi Hak Kekayaan Intelektual (HKI). Demi memelihara sumbu kelestarian inovasi di masa mendatang, program ini akan membidani lahirnya pasukan perintis lokal yang disebut Kader Teknisi Agro-Presisi. Batalion yang diisi oleh pemuda karang taruna berdedikasi ini telah disertifikasi kemahirannya untuk membongkar pasang filter irigasi, membersihkan elektroda sensor, hingga melakukan perbaikan perangkat lunak tingkat dasar. Gema keberhasilan pelipatgandaan nilai panen ini nantinya akan didengungkan secara masif melalui publikasi media massa, mendaulat Desa Sarangan sebagai rujukan utama implementasi teknologi pertanian modern di tanah air.

KESIMPULAN

Program ini menegaskan bahwa penerapan Teknologi *Precision Agriculture* merupakan episentrum transformasi yang secara absolut mampu meningkatkan nilai tambah petani di Lumbung Stroberi Sarangan. Intervensi presisi berupa distribusi pupuk cair langsung ke zona perakaran terbukti efektif dalam mengeliminasi kebocoran material agrokimia akibat pencucian lingkungan (*leaching*), yang secara simultan memangkas struktur belanja modal usaha tani secara drastis. Optimalisasi input ini, yang diiringi dengan lonjakan signifikan pada tonase panen stroberi berkualitas super, sukses melipatgandakan omzet harian dan berimplikasi langsung pada penguatan resiliensi finansial, pemenuhan gizi, serta akses pendidikan keluarga petani. Pada tataran kelembagaan, adopsi teknologi ini memicu metamorfosis manajerial yang mengonversi sekumpulan pekebun tradisional menjadi entitas agribisnis modern berbasis data (*data-driven*). Peningkatan profesionalisme ini secara otomatis

mengerek reputasi kelaikan kredit (*bankability*) kelompok tani, menciptakan portofolio numerik yang solid sebagai instrumen negosiasi strategis dalam mengakses pembiayaan Kredit Usaha Rakyat (KUR) untuk perluasan infrastruktur *greenhouse*. Pada konstelasi makro, inisiatif ini mempersembahkan purwarupa kebijakan publik yang brilian bagi Pemerintah Kabupaten Magetan, memvalidasi bahwa integrasi antara agrowisata presisi dan konservasi dapat mengentaskan kemiskinan tanpa mendegradasi ekologi pegunungan, sekaligus menyuplai basis data empiris yang teramat esensial bagi perguruan tinggi untuk merestorasi kurikulum rekayasa pertanian masa depan.

DAFTAR PUSTAKA

- Alavi, S., Hashemi Garmdareh, S., Selahvarzi, Y., & Varavipour, M. (2025). Enhancing Hydroponic Strawberry Cultivation: Optimizing Water Consumption for Sustainable Yield, Quality and Resource Efficiency. *Irrigation and Drainage*, 74, 1935 - 1951. <https://doi.org/10.1002/ird.3117>
- Ali, A., Hassan, M., & Kaul, H. (2024). Broad Scope of Site-Specific Crop Management and Specific Role of Remote Sensing Technologies Within It—A Review. *Journal of Agronomy and Crop Science*. <https://doi.org/10.1111/jac.12732>
- Bonelli, L., Montesano, F., D'Imperio, M., Gonnella, M., Boari, A., Leoni, B., & Serio, F. (2024). Sensor-Based Fertigation Management Enhances Resource Utilization and Crop Performance in Soilless Strawberry Cultivation. *Agronomy*. <https://doi.org/10.3390/agronomy14030465>
- Fuentes-Peñailillo, F., Gutter, K., Vega, R., & Silva, G. (2024). Transformative Technologies in Digital Agriculture: Leveraging Internet of Things, Remote Sensing, and Artificial Intelligence for Smart Crop Management. *J. Sens. Actuator Networks*, 13, 39. <https://doi.org/10.3390/jsan13040039>
- Getahun, S., Kefale, H., & Gelaye, Y. (2024). Application of Precision Agriculture Technologies for Sustainable Crop Production and Environmental Sustainability: A Systematic Review. *The Scientific World Journal*, 2024. <https://doi.org/10.1155/2024/2126734>
- Hedley, C. (2014). The role of precision agriculture for improved nutrient management on farms.. *Journal of the science of food and agriculture*, 95 1, 12-9. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6734>
- Herlinah, H., Asrul, B., Hs, H., Faisal, M., Lee, S., Gani, H., & Feng, Z. (2024). Weather Prediction for Strawberry Cultivation Using Double Exponential Smoothing and Golden Section Optimization Methods. *ILKOM Jurnal Ilmiah*. <https://doi.org/10.33096/ilkom.v16i3.2290.305-317>
- Lu, Y., Gong, M., Li, J., & J. (2023). Optimizing Controlled Environmental Agriculture for Strawberry Cultivation Using RL-Informer Model. *Agronomy*. <https://doi.org/10.3390/agronomy13082057>
- Mohan, R., Rayanoothala, P., & Sree, R. (2025). Next-gen agriculture: integrating AI and XAI for precision crop yield predictions. *Frontiers in Plant Science*, 15. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1451607>
- Monteiro, A., Santos, S., & Gonçalves, P. (2021). Precision Agriculture for Crop and Livestock Farming—Brief Review. *Animals : an Open Access Journal from MDPI*, 11. <https://doi.org/10.3390/ani11082345>
- Neocleous, D., Stylianou, A., Adamides, G., Omirou, M., Sparaggis, D., Kaikiti, K., Christou, A., Vassiliou, L., & Dalias, P. (2025). Applying IoT sensor-based practices to enhance water/nutrient sustainability in potato production. *Frontiers in Agronomy*. <https://doi.org/10.3389/fagro.2025.1659617>
- Raffaelli, D., Qaderi, R., Mazzoni, L., Mezzetti, B., & Capocasa, F. (2025). Yield and Sensorial and Nutritional Quality of Strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) Fruits from Plants Grown Under Different Amounts of Irrigation in Soilless Cultivation. *Plants*, 14. <https://doi.org/10.3390/plants14020286>
- Sachin, K., Dass, A., Dhar, S., Rajanna, G., Singh, T., Sudhishri, S., Sannagoudar, M., Choudhary, A., Kushwaha, H., Praveen, B., Prasad, S., Kumar, V., Pooniya, V., Krishnan, P., Khanna, M., Singh, R., Varatharajan, T., Kumari, K., Nithinkumar, K., San, A., Dollina, A., Huang, M., Li, W., Ishaq, M., Rehmani, A., Sachin, K., T, S., Choudhary, A., Kushwaha, H., Praveen, B., Sharma, V., Sachin, D., Praveen, P., Pooniya, K., & T. (2023). Sensor-based precision nutrient and irrigation management enhances the physiological performance, water productivity, and yield of soybean under system of crop intensification. *Frontiers in Plant Science*, 14. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1282217>

- Singh, V. (2024). Advances in Precision Agriculture Technologies for Sustainable Crop Production. *Journal of Scientific Research and Reports*. <https://doi.org/10.9734/jsrr/2024/v30i21844>
- Singh, S., Singh, N., Sharda, R., & Sangwan, A. (2020). Effect of drip irrigation, fertigation and mulching on fruit quality of strawberry (*Fragaria × ananassa*). *The Indian Journal of Agricultural Sciences*. <https://doi.org/10.56093/ijas.v90i3.101471>
- Xing, Y., & Wang, X. (2024). Precise application of water and fertilizer to crops: challenges and opportunities. *Frontiers in Plant Science*, 15. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1444560>
- Zacharaki, A., Taylor, J., Davies, M., & Else, M. (2025). Effects of Regulated Deficit Irrigation on yields, berry quality, and resource use efficiency in the everbearer strawberry *Malling Ace* under long-term production in TCEA. *Frontiers in Horticulture*. <https://doi.org/10.3389/fhort.2025.1627450>