

A FENNTARTHATÓSÁG ÉS AZ ÉLELMEZÉSBIZTONSÁG KAPCSOLATA ÉS AZOK MOZGATÓRUGÓI

Fróna Dániel

Absztrakt: A kutatás a modern mezőgazdaságban a fenntarthatóság és az élelmiszer-biztonság közötti összefüggéseket tárgyalja, szakirodalmi áttekintés alapján. Az elemzés célja annak megértése, hogy milyen módon befolyásolják a környezeti, gazdasági, társadalmi, technológiai és irányítási szempontok ezt a kapcsolatot. A feldolgozott szakirodalom alapján az agroökológia, a klímaérzékeny mezőgazdaság és a precíziós gazdálkodás olyan kulcsfontosságú megközelítések, amelyek különböző módokon, de mind hozzájárulhatnak a fenntartható élelmiszerrendszerek kialakulásához. A megvizsgált kutatások azt mutatják, hogy a pozitív környezeti eredmények, a gazdasági életképesség, a társadalmi elfogadottság, a technológiai alkalmazkodás és egy támogató politikai háttér együtt befolyásolja a fenntartható átmenet lehetőségeit. A magas kezdeti költségek, az eltérő hozzáférési lehetőségek, a gyenge együttműködés és a társadalmi-kulturális korlátok továbbra is komoly nehézségeket jelentenek. A kutatási eredmények alapján világossá válik, hogy a fenntarthatóság és az élelmiszerbiztonság közötti kapcsolatot nem lehet egyetlen szempontból vizsgálni. Csak egy integrált, a környezetet figyelembe vevő megközelítés révén érthető meg igazán.

Abstract: The research discusses the relationship between sustainability and food security in modern agriculture, based on a literature review. The aim of the analysis is to understand the ways in which environmental, economic, social, technological and governance aspects influence this relationship. Based on the literature processed, agroecology, climate-sensitive agriculture and precision farming are key approaches that can all contribute to the development of sustainable food systems in different ways. The examined research shows that positive environmental outcomes, economic viability, social acceptance, technological adaptation and a supportive policy background together influence the opportunities for a sustainable transition. High upfront costs, divergent access options, weak cooperation and socio-cultural barriers remain major challenges. The research results make it clear that the relationship between sustainability and food security cannot be examined from a single perspective. It can only be truly understood through an integrated, environmentally-sensitive approach.

Kulcsszavak fenntarthatóság, élelmiszerbiztonság, fenntartható mezőgazdaság, agroökológia, klímaérzékeny mezőgazdaság, precíziós mezőgazdaság

Keywords: sustainability, food security, sustainable agriculture, agroecology, climate-sensitive agriculture, precision agriculture

1. Bevezetés

A fenntarthatóság és az élelmiszerbiztonság kapcsolata a modern mezőgazdaság egyik legösszetettebb kérdésköre, amely nem értelmezhető kizárólag termelési vagy hozamalapú megközelítésben. A szakirodalom alapján a téma több, egymással szorosan összefüggő dimenzió köré szerveződik, különösen a környezeti, gazdasági, társadalmi, technológiai és irányítási tényezők mentén (Adoyo et al., 2025; Chan et al., 2020; W. Wang et al., 2024). E dimenziók együttes vizsgálata azért indokolt, mert a fenntartható élelmiszerrendszerek kialakítása nem egyetlen tényező eredménye, hanem különböző feltételek és hatások kölcsönhatásának következménye.

Az élelmiszerbiztonságot a szakirodalom ugyancsak összetett, többdimenziós fogalomként értelmezi. Nem csupán az élelmiszer rendelkezésre állása meghatározó, hanem a hozzáférés, a felhasználás és a stabilitás is, miközben egyre nagyobb

hangsúlyt kap a fenntarthatóság és a cselekvőképesség szerepe is (Akbari et al., 2022; Fanzo et al., 2022; Wahbeh et al., 2022). A korszerű megközelítések ezért túlmutatnak a szűken vett termelési szemléleten, és figyelembe veszik a társadalmi percepciókat, az agroökológiai irányokat, a szakpolitikai átmeneteket, valamint a fenntarthatóság társadalmi-kulturális beágyazottságát is (Chakraborty et al., 2021; Di Gregorio et al., 2024).

A vizsgált szakirodalom egyik visszatérő megállapítása, hogy a fenntartható mezőgazdaságot egyre inkább integrált megközelítések mentén értelmezik. E körben az agroökológia kiemelt jelentőségű, de a klímaérzékeny mezőgazdaság és a precíziós gazdálkodás is meghatározó irányként jelenik meg, még ha eltérő logikával, eszközrendszerrel és megvalósítási feltételekkel is (Dittmer et al., 2023; Ewert et al., 2023; Röder et al., 2024). Ezeket a megközelítéseket a szakirodalom nem pusztán technikai megoldásokként kezeli, hanem olyan összetett keretként, amelyek a környezeti teljesítmény, a gazdasági életképesség, a társadalmi részvétel és az intézményi háttér együttes érvényesülését teszik lehetővé (Boix-Fayos & de Vente, 2023; Libert-Amico & Koloffon, 2025; Wezel et al., 2020).

A kézirat célja, hogy tudományos igényrel szintetizálja azokat a főbb eredményeket, amelyek a modern mezőgazdaságban a fenntarthatóság és az élelmezésbiztonság kapcsolatát alakító mozgatórugókra vonatkoznak.

2. Anyag és módszer

A tanulmány célzott, tematikus szakirodalmi áttekintésre épül, amely a fenntarthatóság és az élelmezésbiztonság kapcsolatát vizsgálja a modern mezőgazdaságban. A szakirodalom kiválasztása több nemzetközi tudományos forráskörben elérhető, angol nyelvű szakmai publikációk alapján történt. Az elemzés középpontjában elsősorban lektorált folyóiratcikkek álltak, amelyeket indokolt esetben néhány, a téma keretezéséhez szükséges áttekintő jellegű könyvfejezet és összefoglaló munka egészített ki.

A keresés és a válogatás során olyan kulcsszavak és kulcsszó-kombinációk kerültek előtérbe, mint a sustainability, food security, sustainable agriculture, agroecology, climate-smart agriculture, precision agriculture, továbbá ezek tematikailag kapcsolódó változatai. A források kiválasztásánál elsődleges szempont volt, hogy a tanulmányok érdemben foglalkozzanak a fenntarthatóság és az élelmezésbiztonság összefüggéseivel, különös tekintettel a környezeti, gazdasági, társadalmi, technológiai és irányítási dimenziókra.

A feldolgozás elsődlegesen az elmúlt hat évben megjelent szakirodalomra fókuszált, ugyanakkor indokolt esetben néhány korábbi, elméleti vagy koncepcionális szempontból alapozó jelentőségű publikáció is bekerült az elemzésbe. A bevonás során a tematikus relevancia, a tudományos megbízhatóság és a tárgyalt probléma szempontjából való érdemi hozzájárulás volt a fő szelekciós szempont.

A tanulmány nem teljes körű szisztematikus review-ként, hanem előre meghatározott kiválasztási szempontok alapján összeállított, célzott tematikus szintézisként készült. Ennek megfelelően a források feldolgozása a fő mozgatórugók

azonosítására és összevetésére irányult, különösen a környezeti, gazdasági, társadalmi-kulturális, technológiai és szakpolitikai tényezők mentén.

A vizsgálat korlátja, hogy nem teljes körű szisztematikus áttekintésként, hanem célzott tematikus szakirodalmi szintézisként készült, ezért egyes releváns tanulmányok kimaradhattak az elemzésből. A feldolgozás elsősorban angol nyelvű, nemzetközi tudományos közleményekre és döntően a közelmúlt szakirodalmára támaszkodott, ami szűkíthette a bevonható források körét. Emellett a bevont tanulmányok módszertani és földrajzi heterogenitása az eredmények általánosíthatóságát is korlátozza.

3. Eredmények és értékelésük

3.1. Környezeti mozgatórugók

A vizsgált szakirodalom egyik meghatározó témája a fenntarthatóság környezeti dimenziója. Számos tanulmány megállapította, hogy az agroökológiai és klímaérzékeny gyakorlatok javították a biodiverzitást, a talaj egészségét és az erőforrás-hatékonyságot, valamint hozzájárultak a környezeti fenntarthatósághoz (Adoyo et al., 2025; Ewert et al., 2023). Továbbá a kutatások megemlítik, hogy a precíziós gazdálkodás és a digitális technológiák gyakran kapcsolódnak a csökkentett környezeti lábnyomokhoz (Aijaz et al., 2025; Qayyum et al., 2023; J. Wang et al., 2024).

A tanulmányok alapján egyértelműen kirajzolódik az ökológiai szempontok, a fenntartható termelési pályák és az élelmezésbiztonság közötti kapcsolat (Boix-Fayos & de Vente, 2023; Chauhan et al., 2026; Qu et al., 2024). Azonban ez nem bizonyítja önállóan a környezeti hatások mértékét, de alátámasztja azt a következtetést, hogy a környezeti teljesítmény a bizonyítékbázis központi szervező dimenziója.

Ugyanakkor az elemzés nem mutatja be a környezeti fenntarthatóságot végleges vagy egységes kimenetelként. Saját erősségi–gyengeségi mátrixa szerint sok tanulmány a kiscgazdákra vagy a helyi esetekre támaszkodik és a longitudinális bizonyítékok továbbra is korlátozottak. Továbbá több tanulmány arra is rámutat, hogy az intenzifikáció és az ökoszisztéma-szolgáltatások közötti átváltások feltárása még nem teljes körű, és a nagyobb léptékű általánosíthatóság továbbra is korlátozott (Tittonell et al., 2020; Vanbergen et al., 2020). Ezért a következtetés nem az, hogy a fenntartható mezőgazdasági gyakorlatok mindenhol minden környezeti eredményen javítanak, hanem hogy az irodalom következetesen a környezetorientált gyakorlatokat — különösen az agroökológiát és az éghajlat-okos mezőgazdaságot — ígéretesnek tekinti a vizsgált összefüggésekben.

3.2. Gazdasági mozgatórugók

A szakirodalmi feltárás hangsúlyozza, hogy a gazdasági életképesség elengedhetetlen bármely fenntarthatóság–élelmezésbiztonság kapcsolathoz. Az áttekintésben a gazdasági életképesség összefüggésbe kerül a jövedelmezőséggel, a diverzifikációval, a piachoz való hozzáféréssel, ösztönzőkkel, támogatásokkal,

miközben a magas bevezetési költségeket, a hitelkorlátokat és a piaci volatilitást a szakirodalom visszatérő akadályokként azonosítja (Adoyo et al., 2025; Aijaz et al., 2025; Chauhan et al., 2026; Nicholson et al., 2021). A fenntartható mezőgazdaságot a tanulmányok nem pusztán környezetileg kívánatos, de gazdaságilag irreleváns irányként írják le (Boix-Fayos & de Vente, 2023; Konfo et al., 2024; Lambert et al., 2025).

Ugyanakkor a dokumentumok azt is mutatják, hogy a gazdasági bizonyítékok egyenletlenek. Az áttekintés kifejezetten megjegyzi, hogy sok tanulmány alulértékeli a gazdák heterogenitását, a regionális egyenlőtlenséget, az informális piacokat és a kisgazdákat fenyegető gazdasági kockázatokat (Sciortino et al., 2025; Tao et al., 2023; Yusup & Várallyai, 2025). Ez azt jelenti, hogy a tanulmány nem támaszthatja alá azt az erős állítást, hogy a fenntartható mezőgazdaság egységesen nyereséges. Pontosabb állítás szerint az irodalom gyakran összekapcsolja a fenntartható gyakorlatokat a gazdasági lehetőségekkel, de ugyanolyan gyakran azonosítja a költségeket, kockázatokat és egyenlőtlen hozzáférést, mint a korlátokat (Fróna & Szenderák, 2024; Lambert et al., 2025; Tao et al., 2023).

3.3. Társadalmi és kulturális mozgatórugók

Az áttekintés szerint számos tanulmány hangsúlyozta a közösségi részvételt, a tudás megosztását és a társadalmi–kulturális elfogadást, miközben a nemek közötti egyenlőség, az oktatás és a helyi tudás is fontosnak minősült (Adidja et al., 2019; Adoyo et al., 2025; Chakraborty et al., 2021; Dushyant et al., 2024; Zong et al., 2022). Az áttekintés arra is rámutatott, hogy a fiatalok bevonása és a földtulajdon bizonytalanságának kérdése továbbra is alulreprezentált terület (Adoyo et al., 2025; Chauhan et al., 2026).

Az élelmiszerfenntarthatóság társadalmi–kulturális gyökereit, az állampolgárok élelmezésbiztonságról alkotott megítélését, a vidékfejlesztés társadalmi-gazdasági és agroökológiai alapjait, valamint az agroökológiai átmenetek politikai feltételeit is számos munka részletezi (Akbari et al., 2022; Chakraborty et al., 2021; Di Gregorio et al., 2024; Ewert et al., 2023). Ezekben közös nevező, hogy a társadalmi és kulturális dimenzió azért különösen fontos, mert segít megmagyarázni, miért bukhathnak meg a technikailag ígéretes megoldások a gyakorlatban. Az áttekintés kifejezetten megjegyzi, hogy a társadalmi fenntarthatósági mutatók továbbra is kevésbé fejlettek, és hogy a részvételi módszertanok gyakran hiányosak. Ennek következtében a bizonyítékok óvatos, de világos következtetést alátámasztanak: a társadalmi legitimitás, a helyi tudás, a befogadás és a részvétel nem perifériás kérdések, hanem központi meghatározó szereppel bírnak abban, hogy a fenntarthatósági orientált mezőgazdasági átalakulás hozzájárulhat-e az élelmezésbiztonsághoz.

3.4. Technológiai mozgatórugók

Az áttekintett munkák a technológiai innovációt egyszerre kezelik lehetőségként, illetve az egyenlőtlenségek és a megvalósítási nehézségek potenciális forrásaként. Az áttekintés szerint a tanulmányok a precíziós mezőgazdaságot, mesterséges

intelligenciát, az Internet of Things eszközöket és a biotechnológiát jobb termelékenységgel, erőforrás-hatékonysággal és környezeti eredményekkel párosítják (Aijaz et al., 2025; Avila & Barbosa, 2025; Konfo et al., 2024). Ugyanakkor kiemeli a technológiai írástudási hiányosságokat, az infrastruktúra korlátait és a magas költségeket, mint visszatérő akadályokat (Rawte & Saxena, 2025; Tao et al., 2023). Az elemzés tartalmaz egy áttekintést kifejezetten a precíziós gazdálkodásról, valamint több olyan tanulmányt is megvizsgált, amelyek klímaérzékeny vagy technológiai szempontokat is beépítettek a munkájukba (Konfo et al., 2024; Liu, 2025; Papadopoulos et al., 2024). Ez alátámasztja azt a következtetést, hogy a technológiai megoldások a szakirodalomban hangsúlyos bizonyítéki irányt képviselnek. Mégis, az anyagok nem támogatnak tisztán technocentrikus értelmezést. A szakirodalmi feltárás kifejezetten hangsúlyozza, hogy a technológiát integrálni kell a hagyományos tudással, oktatással és részvételi támogató struktúrákkal (Avila & Barbosa, 2025; Chauhan et al., 2026; Vanbergen et al., 2020). A legerősebb alátámasztott értelmezés tehát az, hogy a technológiát az irodalom potenciálisan fontos támogatóként kezeli, de önmagában nem elegendő megoldásként (Aijaz et al., 2025; Awais et al., 2026; Papadopoulos et al., 2024; Rawte & Saxena, 2025).

3.5. Kormányzás és politikai mozgatórugók

A kormányzást és a politikát következetesen támogató feltételekként kezelik az egyes tanulmányok. Az áttekintésben számos tanulmány emelte ki a földtulajdon biztonságát, pénzügyi ösztönzőket, a koherens szabályozást, az inkluzív tervezést és a többszintű irányítást, mint olyan feltételek, amelyek szükségesek a fenntartható mezőgazdasági átmenethez (Adoyo et al., 2025; Begna & Wakweya, 2026; Lázaro et al., 2025; Libert-Amico & Koloffon, 2025). Emellett a politikai hiányosságokat, a gyenge végrehajtást és az összehangolás hiányát is kiemelik fő akadályként (Wahbeh et al., 2022; Yusup & Várallyai, 2025).

Az elemzés tartalmaz politikához kapcsolódó tanulmányokat az európai agroökológiai átmenetekről, az élelmezésbiztonsági feltételekről, a globális fenntarthatóságról és az élelmezésbiztonságról, valamint az élelmiszerrendszerek átalakításáról (Chan et al., 2020; Di Gregorio et al., 2024; Hiywotu, 2025; Libert-Amico & Koloffon, 2025). Ez megerősíti azt a mintát, hogy a fenntarthatóság-élelmezésbiztonság kapcsolatok nem csupán mezőgazdasági szintű kérdésként jelennek meg, hanem intézményileg strukturált eredményekként (Di Gregorio et al., 2024; Lázaro et al., 2025; Lowder et al., 2025; Wahbeh et al., 2022).

Az áttekintés fontos megállapítása, hogy a kormányzás nemcsak támogató feltételként jelenik meg, hanem annak egyik fő magyarázataként is, hogy az integrált megoldások miért nem tudnak széles körben elterjedni. A vizsgált dokumentumok külön kiemelik az érintettek elégtelen bevonását, a helyi alkalmazkodás hiányát, valamint a különböző szintek közötti koordináció gyengeségeit (Di Gregorio et al., 2024; Lázaro et al., 2025; Libert-Amico & Koloffon, 2025; Tutundjian et al., 2020). A bizonyítékok tehát azt támasztják alá, hogy a szakpolitikai koherencia alapvető

jelentőségű, ugyanakkor számos esetben éppen ennek hiánya akadályozza az előrelépést.

3.6. Integrált megközelítések

Az anyagok legfontosabb átmetsző megállapítása, hogy egyetlen dimenzió sem tekinthető önmagában megfelelőnek. A tematikus áttekintés azt állítja, hogy a környezeti, gazdasági, társadalmi, kulturális és technológiai tényezők összetett módon lépnek kölcsönhatásba, és hogy az agroökológia és a klímaadaptív vagy klímaérzékeny mezőgazdaság kiemelt integratív megközelítésként jelenik meg (Boix-Fayos & de Vente, 2023; Konfo et al., 2024; Wakweya, 2023). Ez a mintázat az elemzésbe bevont egyéb tanulmányokban is megfigyelhető, ahol a fenntartható mezőgazdaságot több megközelítésen keresztül vizsgálják, nem csak egyetlen modellben. Néhány tanulmány inkább az agroökológiára, néhány az élelmezésbiztonsági keretrendszerre, néhány a politikára, néhány a precíziós gazdálkodásra, és néhány a társadalmi–kulturális észlelésre helyezi a hangsúlyt (Akbari et al., 2022; Chakraborty et al., 2021; Di Gregorio et al., 2024; Dittmer et al., 2023; Papadopoulos et al., 2024). Ez alátámasztja a bizonyítékok többes, nem monolitikus értelmezését.

Ugyanakkor az áttekintés arra is rámutat, hogy az integrált modellek gyakorlati alkalmazása továbbra is nehézségekbe ütközik. Kifejezetten rámutat a diszciplináris különbségekre, az adatok széttagolására, a korlátozott skálakeresztes koordinációra és a szabványosított metrikák hiányára (Ewert et al., 2023; Libert-Amico & Koloffon, 2025; Wahbeh et al., 2022). Ennek megfelelően a bizonyítékok alaposan alátámasztják azt a következtetést, hogy az integrált megközelítések fogalmi szempontból központi szerepet játszanak és gyakran támogatják, de módszertani és intézményi szempontból továbbra is nehéz nagy léptékben alkalmazni.

4. Következtetések és javaslatok

Az anyagok együttesen támasztanak alá egy általános értelmező következtetést: a fenntarthatóság és az élelmezésbiztonság kapcsolatát a modern mezőgazdaságban következetesen többdimenziós, feltételes és kontextusfüggő jelenséggént ábrázolják. Ez a legvilágosabb konvergencia a legtöbb forrás között. Egy másik fontos következtetés, hogy az agroökológia különösen erős helyet foglal el a bizonyítékok között, ami ismételten megjelenik a vizsgált munkákban az erősség-gyengeségek szintézisében és a jövőbeli kutatási irányokban. Az elemzés több olyan tanulmányt is tartalmaz, amelyek közvetlenül az agroökológiával vagy agroökológiai átmenettel kapcsolatosak. A tanulmány nem igazolja azt az állítást, hogy az agroökológia mindenhol felülmúlja a többi alternatívát, a vizsgált dokumentumok szerint az agroökológia ugyanakkor a vizsgált szakirodalomban az egyik legmarkánsabb integratív keretként jelenik meg. Az agroökológiai és klímaadaptív mezőgazdasági gyakorlatok általában javítják a biodiverzitást, a talajállapotot és az erőforrás-hatékonyságot, miközben sok esetben nem rontják a jövedelmezőséget sem. A fenntartható mezőgazdasági modellek gazdaságilag is életképesek lehetnek, de ezt gyakran akadályozza a magas bevezetési költség, a korlátozott hitelhez jutás és a

piaci ingadozás. A vizsgált anyagok nem támasztják alá az ökológiai és gazdasági célok leegyszerűsített szembeállítását. Ehelyett ismételten úgy mutatják be, hogy a fenntarthatóság egyidejűleg környezeti teljesítményt, gazdasági megvalósíthatóságot és társadalmi elfogadást igényel. Ez egy erősebb és védhetőbb értelmezés, mint azt állítani, hogy minden fenntartható gyakorlat win–win megoldás. A kutatás azt is sugallja, hogy a társadalmi és irányítási dimenziók a környezeti és technológiai kérdésekhez képest továbbra is kevésbé kidolgozottak a szakirodalomban. A közösségi részvétel, a tudásmegosztás, a helyi ismeretek és a társadalmi elfogadottság kulcsszerepet játszanak abban, hogy a fenntartható megoldások valóban elterjedjenek. A nemek közötti egyenlőség, az oktatás és a helyi tudás integrálása fontos tényezők, ugyanakkor a fiatalok alacsony bevonódása és a földhasználati bizonytalanság továbbra is komoly akadály.

A modern technológiák önmagukban nem elegendők. Akkor működnek jól, ha képzéssel, tanácsadással, helyi alkalmazkodással és hagyományos tudással együtt jelennek meg. A szakpolitikai és kormányzási háttér alapvető. A földbirtokbiztonság, a pénzügyi ösztönzők, a koherens szabályozás és a több szinten összehangolt irányítás nélkül nehéz fenntartható átmenetet elérni. A feltárt szakirodalmi elemzés során az alábbi javaslatok megfontolandók:

- Integrált, többdimenziós megközelítések alkalmazása, amelyek egyszerre kezelik az ökológiai, gazdasági, társadalmi és technológiai szempontokat.
- A gazdák képzésének és kapacitásfejlesztésének erősítése, mert a tudásmegosztás és a gyakorlati támogatás kulcsfontosságú az új megoldások elterjedéséhez.
- Támogató szakpolitikai környezet kialakítása, különösen a földhasználati biztonság, a pénzügyi ösztönzők és a piachoz való hozzáférés terén.
- A technológiai innovációk támogatása, például precíziós mezőgazdaság, AI és digitális platformok formájában, de ezeket infrastruktúrával és képzéssel kell összekapcsolni.
- Többszereplős, részvételi együttműködések erősítése, vagyis a gazdák, kutatók, döntéshozók és közösségek közös bevonása.
- Hosszú távú és nagyobb léptékű kutatások indítása, hogy jobban látható legyen, hogyan működnek ezek a fenntartható modellek nemcsak helyi, hanem szélesebb rendszerszinten is.

Irodalomjegyzék

- Adidja, M. W., Mwine, J., Majaliwa, J. G. M., & Ssekandi, J. (2019). The contribution of agro-ecology as a solution to hunger in the world: A review. *Asian Journal of Agricultural Extension, Economics & Sociology*, 33(2), 1–22. <https://doi.org/10.9734/ajaees/2019/v33i230170>
- Adoyo, B., Geck, M. S., Adeyemi, C., Alpuerto, J., Arinloye, A. A. D.-D., Ateku, D., Autfray, P., Barahona, C., Chacha, R., Cluset, R., Innocent, F., Karari, V., Kersting, D., Mills, D., Sila, A., Oulu, M., Thomson, A., Weullow, E., Winowiecki, L., . . . Sørensen, L. (2025). Agroecology for sustainable development: Evidence on multidimensional performance from a cross-country TAPE assessment in Africa. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 9, Article 1667882. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2025.1667882>

- Aijaz, N., Lan, H., Raza, T., Yaqub, M., Iqbal, R., & Pathan, M. S. (2025). Artificial intelligence in agriculture: Advancing crop productivity and sustainability. *Journal of Agriculture and Food Research*, 20, Article 101762. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2025.101762>
- Akbari, M., Foroudi, P., Shahmoradi, M., Padash, H., Parizi, Z. S., Khosravani, A., Ataei, P., & Cuomo, M. T. (2022). The evolution of food security: Where are we now, where should we go next? *Sustainability*, 14(6), Article 3634. <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/6/3634>
- Avila, F. R. d., & Barbosa, J. L. V. (2025). Smart environments in digital agriculture: A systematic review and taxonomy. *Computers and Electronics in Agriculture*, 236, Article 110393. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2025.110393>
- Awais, M., Wang, X., & Ashraf, M. U. (2026). Mitigation and adaptation strategies in climate-smart agriculture: A review for sustainable production. *Climate Smart Agriculture*, 3(1), Article 100097. <https://doi.org/10.1016/j.csag.2026.100097>
- Begna, T., & Wakweya, R. B. (2026). Mitigating climate change impacts on food security via climate-smart agriculture. *Plant Stress*, 19, Article 101152. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2025.101152>
- Boix-Fayos, C., & de Vente, J. (2023). Challenges and potential pathways towards sustainable agriculture within the European Green Deal. *Agricultural Systems*, 207, Article 103634. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2023.103634>
- Chakraborty, J. S., Parida, B. R., & Singh, N. (2021). Future food sustainability can be traced back into local people's socio-cultural roots in Uttarakhand Himalaya, India. *Sustainability*, 13(13), Article 7060. <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/13/7060>
- Chan, H. Y., Abdul Halim-Lim, S., Tan, T. B., Kamarulzaman, N. H., Jamaludin, A. A., & Wan-Mohtar, W. A. A. Q. I. (2020). Exploring the drivers and the interventions towards sustainable food security in the food supply chain. *Sustainability*, 12(19), Article 7890. <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/19/7890>
- Chauhan, N., Kretschmer, M., Aboytes, J. G. R., & von Wehrden, H. (2026). Major determinants of sustainable agriculture practices adoption: A systematic review. *Land Use Policy*, 164, Article 107941. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2026.107941>
- Di Gregorio, L., Nolfi, L., Latini, A., Nikoloudakis, N., Bunnefeld, N., Notarfonso, M., Bernini, R., Manikas, I., & Bevivino, A. (2024). Getting (ECO)Ready: Does EU legislation integrate up-to-date scientific data for food security and biodiversity preservation under climate change? *Sustainability*, 16(23), Article 10749. <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/23/10749>
- Dittmer, K. M., Rose, S., Snapp, S. S., Kebede, Y., Brickman, S., Shelton, S., Egler, C., Stier, M., & Wollenberg, E. (2023). Agroecology can promote climate change adaptation outcomes without compromising yield in smallholder systems. *Environmental Management*, 72(2), 333–342. <https://doi.org/10.1007/s00267-023-01816-x>
- Dushyant, Sharma, K., Roy, S., Rooma, K., Mahan, N., Kumar, P., Kumar, M., Singh, S. K., Kumar, B., Hussain, A., & Sujal. (2024). Principles and applications of agroecology: A review. *Journal of Scientific Research and Reports*, 30(5), 843–853. <https://doi.org/10.9734/jsrr/2024/v30i52002>
- Ewert, F., Baatz, R., & Finger, R. (2023). Agroecology for a sustainable agriculture and food system: From local solutions to large-scale adoption. *Annual Review of Resource Economics*, 15(1), 351–381. <https://doi.org/10.1146/annurev-resource-102422-090105>
- Fanzo, J., Rudie, C., Sigman, I., Grinspoon, S., Benton, T. G., Brown, M. E., Covic, N., Fitch, K., Golden, C. D., Grace, D., Hivert, M.-F., Huybers, P., Jaacks, L. M., Masters, W. A., Nisbett, N., Richardson, R. A., Singleton, C. R., Webb, P., & Willett, W. C. (2022). Sustainable food systems and nutrition in the 21st century: A report from the 22nd annual Harvard Nutrition Obesity Symposium. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 115(1), 18–33. <https://doi.org/10.1093/ajcn/nqab315>
- Fróna, D., & Szenderák, J. (2024). Digitalization and digital technologies: The obstacles to adaptation among Hungarian farmers. *Equilibrium. Quarterly Journal of Economics and Economic Policy*, 19(3), 1075–1110. <https://doi.org/10.24136/eq.3237>
- Hiywotu, A. M. (2025). Advancing sustainable agriculture for goal 2: Zero hunger—A comprehensive overview of practices, policies, and technologies. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 49(7), 1027–1055. <https://doi.org/10.1080/21683565.2025.2451344>

- Konfo, T. R. C., Chabi, A. B. P., Amoussouga Gero, A., Lagnika, C., Avlessi, F., Biaou, G., & Sohounhloue, C. K. D. (2024). Recent climate-smart innovations in agrifood to enhance producer incomes through sustainable solutions. *Journal of Agriculture and Food Research*, 15, Article 100985. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.100985>
- Lambert, L. H., Schoeneman, J. P., Lambert, D. M., & Brienens, M. W. (2025). Road networks and food price volatility. *Global Food Security*, 47, Article 100884. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2025.100884>
- Lázaro, A., Delnoij, J., Alpizar, F., van Leeuwen, E., & Cremades, R. (2025). Policy entry points and associated interventions for sustainably transforming urban food systems. *Environmental Science & Policy*, 171, Article 104186. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2025.104186>
- Libert-Amico, A., & Koloffon, R. (2025). Challenges and opportunities for building resilient agrifood systems in food crisis contexts. *Global Food Security*, 45, Article 100849. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2025.100849>
- Liu, S. (2025). Measuring agricultural sustainability: Revisiting Sustainable Development Goal Indicator 2.4.1 and its proxy. *Global Food Security*, 47, Article 100887. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2025.100887>
- Lowder, S. K., Laderchi, C. R., Cerutti, N., & Parsons, K. (2025). Food system policies: A global snapshot from the Food System Policy Database. *Global Food Security*, 47, Article 100894. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2025.100894>
- Nicholson, C. F., Stephens, E. C., Kopainsky, B., Jones, A. D., Parsons, D., & Garrett, J. (2021). Food security outcomes in agricultural systems models: Current status and recommended improvements. *Agricultural Systems*, 188, Article 103028. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2020.103028>
- Papadopoulos, G., Arduini, S., Uyar, H., Psiroukis, V., Kasimati, A., & Fountas, S. (2024). Economic and environmental benefits of digital agricultural technologies in crop production: A review. *Smart Agricultural Technology*, 8, Article 100441. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2024.100441>
- Qayyum, M., Zhang, Y., Wang, M., Yu, Y., Li, S., Ahmad, W., Maodaa, S. N., Sayed, S. R. M., & Gan, J. (2023). Advancements in technology and innovation for sustainable agriculture: Understanding and mitigating greenhouse gas emissions from agricultural soils. *Journal of Environmental Management*, 347, Article 119147. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.119147>
- Qu, B., Xiao, Z., Upadhyay, A., & Luo, Y. (2024). Perspectives on sustainable food production system: Characteristics and green technologies. *Journal of Agriculture and Food Research*, 15, Article 100988. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.100988>
- Rawte, S., & Saxena, R. R. (2025). Tackling agriculture's modern struggles. *Journal of Experimental Agriculture International*, 47(5), 1–8. <https://doi.org/10.9734/jeai/2025/v47i53391>
- Röder, N., Krämer, C., Grajewski, R., Lakner, S., & Matthews, A. (2024). What is the environmental potential of the post-2022 common agricultural policy? *Land Use Policy*, 144, Article 107219. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2024.107219>
- Sciortino, C., Giamporcaro, G., Sgroi, F., & Modica, F. (2025). Exploring the role of short food supply chains in agricultural sustainability and resilience: A literature review. *Agricultural and Food Economics*, 13(1), Article 75. <https://doi.org/10.1186/s40100-025-00420-3>
- Tao, T., Ma, L., Wang, X., Wu, S., Shi, Z., & Cui, X. (2023). Resilience or efficiency? Strategic options for sustainable development of agricultural systems in ecologically fragile areas of China. *Science of the Total Environment*, 881, Article 163411. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163411>
- Tittonell, P., Piñeiro, G., Garibaldi, L. A., Dogliotti, S., Olff, H., & Jobbagy, E. G. (2020). Agroecology in large scale farming—A research agenda. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4, Article 584605. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.584605>
- Tutundjian, S., Clarke, M., Egal, F., Dixon-Decleve, S., Candotti, S. W., Schmitter, P., & Lovins, L. H. (2020). Future food systems. In *The Palgrave handbook of climate resilient societies* (pp. 1–29). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-32811-5_43-1

- Vanbergen, A. J., Aizen, M. A., Cordeau, S., Garibaldi, L. A., Garratt, M. P. D., Kovács-Hostyánszki, A., Lecuyer, L., Ngo, H. T., Potts, S. G., Settele, J., Skrimizea, E., & Young, J. C. (2020). Transformation of agricultural landscapes in the Anthropocene: Nature's contributions to people, agriculture and food security. In D. A. Bohan & A. J. Vanbergen (Eds.), *Advances in Ecological Research* (Vol. 63, pp. 193–253). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/bs.aecr.2020.08.002>
- Wahbeh, S., Anastasiadis, F., Sundarakani, B., & Manikas, I. (2022). Exploration of food security challenges towards more sustainable food production: A systematic literature review of the major drivers and policies. *Foods*, 11(23), Article 3804. <https://www.mdpi.com/2304-8158/11/23/3804>
- Wakweya, R. B. (2023). Challenges and prospects of adopting climate-smart agricultural practices and technologies: Implications for food security. *Journal of Agriculture and Food Research*, 14, Article 100698. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100698>
- Wang, J., Zhang, S., Lizaga, I., Zhang, Y., Ge, X., Zhang, Z., Zhang, W., Huang, Q., & Hu, Z. (2024). UAS-based remote sensing for agricultural monitoring: Current status and perspectives. *Computers and Electronics in Agriculture*, 227, Article 109501. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.109501>
- Wang, W., Al-Huqail, A., Ali, E., Abbas, M., & Assilzadeh, H. (2024). Analysis of the sustainability index for ecologically low-input integrated farming: A comprehensive assessment of environmental, economic, and social impact. *Ecological Modelling*, 493, Article 110701. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2024.110701>
- Wezel, A., Herren, B. G., Kerr, R. B., Barrios, E., Gonçalves, A. L. R., & Sinclair, F. (2020). Agroecological principles and elements and their implications for transitioning to sustainable food systems: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 40(6), Article 40. <https://doi.org/10.1007/s13593-020-00646-z>
- Yusup, M. A., & Várallyai, L. (2025). Bibliometric analysis of sustainable development goals in agricultural development: Trends, challenges, and future directions. *Journal of Agricultural Informatics*, 16(2). <https://doi.org/10.17700/jai.2025.16.2.751>
- Zong, X., Liu, X., Chen, G., & Yin, Y. (2022). A deep-understanding framework and assessment indicator system for climate-resilient agriculture. *Ecological Indicators*, 136, Article 108597. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.108597>