

Víz- és energiatakarékos precíziós mezőgazdasági vízgazdálkodás

Tamás János[®]

Debreceni Egyetem, Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar,
Víz- és Környezetgazdálkodási Intézet, Debrecen, Magyarország
Víz tudományi és Vízbiztonsági Nemzeti Laboratórium, Debrecen, Magyarország
E-mail: tamas@agr.unideb.hu

Beérkezett: 2025. április 27.; elfogadva: 2025. június 4.

Összefoglalás

Édesvízkészleteink a Kárpát-medencében – a világ többi tájához hasonlóan – nem állnak rendelkezésre korlátlanul és ingyenesen mezőgazdasági célokra. Az előrejelzések alapján a Kárpát-medence éghajlata középtávon a melegedés irányába tolódik el, és szárazabbá válik, így a mezőgazdálkodás kockázata tovább fog nőni. A hazai belvíz- és aszálygazdálkodási rendszerek közötti hidrológiai, irányítási kapcsolatok sokáig hiányosak voltak. Elkerülhetetlenné vált a paradigmaváltás az integrált vízgyűjtő-gazdálkodási gyakorlat megvalósításának jegyében. A precíziós mezőgazdasági vízgazdálkodás a mezőgazdasági technológiák legkorszerűbb megoldásait integrálja. Hazánkban négy évtizedes hagyománya van az autonóm lineár és körforgós szántóföldi öntözőrendszerek alkalmazásának. Nagyon jelentős automatizálási fejlődés ment végbe az intenzív kertészeti kultúrák öntözése területén is, ami ösztönzőleg hat a szántóföldi technikákra. A publikáció röviden áttekinti a mezőgazdasági vízgazdálkodás kockázatsökkentésének feladatait és lehetőségeit.

Kulcsszavak: öntözés, belvíz, kockázat

Water and energy efficient precision agricultural water management

János Tamás

University of Debrecen, Faculty of Agriculture, Food Science and Environmental Management,
Institute of Water and Environmental Management, Debrecen, Hungary
National Laboratory of Water Science and Water Safety, Debrecen, Hungary

Summary

In the Carpathian Basin, similarly to other parts of the world, our freshwater resources are not available unlimitedly or free of charge for agricultural purposes. Based on forecasts, the climate of the Carpathian Basin will shift towards warming in the medium term and become drier, so the risk of agriculture will increase further. There was no local hydrological, control connection between the inland water and the drought management system. A paradigm shift has become inevitable, characterised by the implementation of integrated river basin management practices. The success of crop adaptation to climate change is indicated by the fact that since the amount of annual precipitation has not drastically decreased in the recent period, but agricultural yields have increased significantly, while the sensitivity of crop production has increased significantly. The locally pre-treated and reclaimed water recycling will also increase to mitigate drought risk in the future. The rigid static management practice of distributing existing water resources must also be changed and a proactive-adaptive water management scheme must be developed.

With today's IT and technical background, water storage and governance should be modified more flexibly and with shorter reaction times. The precision agricultural water management integrates state-of-the-art solutions of autonomous linear and circular field irrigation technologies. Precision technology requires significant IT support. The group operation of the machines and their organization into a fleet provides a significant efficiency advantage for the user. This assumes machine-to-machine communication, which can be implemented in cloud-based systems. Machine controlling produces a huge amount of real time data, which requires new methods of data mining. Simulation models are used for irrigation planning and operation tasks at an early stage. In this area, the reliability of software prediction has improved a lot, partly due to the complexity of the algorithms and partly due to the improvement

of data quality. The previous scale dependency of hydrological calculations has been reduced, and the way of handling non-linear processes has also improved. In the case of drought and inland waters, risk assessment methods have been strengthened by the organization of Earth Observation (EO) satellite families into a system. In addition to passive EM sensors, active radar sensors and multispectral laser technologies are also playing an increasing role in agroecological impact assessment. Artificial intelligence also improves current training methods, significantly reducing the risks of irrigation farming. With the adaptation of industrial BIM technologies, intelligent greenhouse and broiler farming water supply systems are already able to control their own servicing and fault control in a virtual reality environment. The publication briefly reviews the tasks and possibilities of risk reduction in agricultural water management.

Keywords: irrigation, inland water, risk

Bevezetés

A mezőgazdasági tevékenység a világon mindenütt jelentősen ki van téve a klímaváltozás okozta kockázatoknak. Napjainkban elfogadott tény, hogy a klímaváltozás és a népesedési folyamatok sok helyen globális vízválsággal fenyegetnek, rendkívüli kihívások elé állítva a területi vízgazdálkodást. Általánosan megfogalmazható, hogy a „sok víz, kevés víz és szennyezett víz” problémakör regionálisan, vízgyűjtőről vízgyűjtőre számos minőségleg új feladatot ad a szakembereknek.

Édesvízkészleteink a Kárpát-medencében – a világ többi tájához hasonlóan – nem állnak rendelkezésre korlátlanul, ingyenesen, bármikor és bármilyen felhasználási céllal. A klímaváltozási folyamatokat az ezredforduló után számos tudományos elemzés értékelte. A különböző klíma-modellszámítások eredményei alapján a hőmérséklettel kapcsolatos szélsőségek egyértelműen és szignifikánsan a melegedés irányába mozdulnak el: a fagyos napok száma csökkenni, a nyári napok és a hóhullámos napok előfordulása növekedni fog (Bartholy et al. 2014). A csapadék éves összegében nem számíthatunk nagy változásokra, az eddigi évszakos eloszlás viszont nagy valószínűséggel átrendeződik (Izsák et al. 2024). A nagy mennyiségű és intenzív csapadékos jelenségek várhatóan elsősorban ősszel lesznek gyakoribbak, a száraz időszakok hossza pedig nyáron fog leginkább növekedni (Pongrácz et al. 2010). A klímaváltozás közvetlen mezőgazdasági vízgazdálkodási hatásai között a szélsőséges időjárási jelenségek, így az aszály és a belvíz gyakoriságának, hosszának és súlyosságának növekedésével kell számolni – gyakran ugyanabban az esztendőben, ugyanazon a területen (Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia 2018). Az előrejelzések alapján a Kárpát-medence éghajlata középtávon a melegedés irányába tolódik el, és szárazabbá válik, így várhatóan a hasznosítható vízkészletek is tovább csökkennek, térben és időben egyre kevésbé előre jelezhető módon.

Az aszály- és belvígazdálkodás stratégiai átalakulása

Az aszály az általánosan ismert, legegyszerűbb meghatározás szerint tartós vízhiányt és vele járó magas hőmérsékletet jelent. Azonban korántsem egyszerű, hanem

komplex fogalomról van szó. Fontos tisztázni, hogy milyen értelemben kívánjuk használni. Az „aszály” fogalma gyakran keveredik a szárazsággal. Az aszály időben átmeneti jellegű, míg a szárazság tartós. A vízhiányt, amely az emberi tevékenységből származó túlzott vízfelhasználás eredménye, szintén eltérően kell értelmeznünk, amikor felkészülünk az aszály kezelésére. Ez utóbbi magában foglalja az aszály monitoringját, az aszálykárok mérséklését és csökkentését. Diszciplínaként is jelentős eltéréseket tapasztalhatunk az aszály fogalmi rendszerére vonatkozóan. Wilhite és Glantz aszálydefiníciókkal foglalkozó írásukban több, mint százötven definíciót említenek, amelyek száma a szerteágazó és egyre újabb célú használatok következtében folyamatosan nő (Wilhite–Glantz 1985). A definíciók különböző aszályjelenségeket írnak le, amelyek főbb csoportjai a következők: meteorológiai, hidrológiai, mezőgazdasági, gazdasági, társadalmi (Tamás 2017).

A hazai mezőgazdasági vízgazdálkodás rendkívül összetett, nehezen kiismerhető másik vízgazdálkodási jelensége a belvíz, amelynek értékelését többek között Bíró végezte el (Bíró 2017). A belvíz elleni védekezés is a magyar vízgazdálkodás meghatározó feladata. A veszélyeztetettség területi arányát tekintve hazánk rendkívül kockázatos helyzetben van Európában.

Mindkét jelenséget sokáig a károk elleni küzdelem, a védekezés és a kárhelyzet mérséklése dominálta. A belvígazdálkodás területén gazdasági okok miatt az általánosan használt gravitációs vízkormányzás fő célja napjainkig a vizek gyors elvezetése volt. Az elvezetett vízkészlet hiánya a nyári hőségnapokon azonban sokszor még súlyosabb aszálykárokat okozott. A két rendszer közötti hidrológiai kapcsolat és a ráépülő döntési mechanizmus hiányos volt, az ebből származó konfliktusokat a vízügyi döntéshozatal szétdaraboltsága és a koordináció esetlegessége pedig csak tovább mélyítette.

Napjainkban a továbblépéshez elkerülhetetlenné vált a szemlélet- és az ezen alapuló paradigmaváltás, amelyet az integrált vízgyűjtő-gazdálkodási gyakorlat megvalósítása határoz meg. Így a jövőben a belvizekre nem egyfajta küzdelem tárgyaként, hanem értékes erőforrásként kell számítani. A területi vízgazdálkodást jelenleg hátráltatja a táj vízmegtartó képességének folyamatos romlása. Gondolkodásunkat a többletvizek teljes levezetése helyett az ökológiai-gazdasági célú tájképi vízvisszatartás-

nak kell jellemeznie. Ehhez szükség van a belvív-veszélyeztetettség valós idejű változásának értékelésére, tározási vízkormányzási rendszerek fejlesztésére, alkalmazkodóbb földhasználati és birtokszerkezet kialakítására. Ezek az eszközök a vízgyűjtőkön, illetve az alföldi területeken aszály esetén is hatékonyan alkalmazhatók. Ugyanakkor a vízhasználatokat csak kompromisszumok mentén lehet koordinálni. Jó példa erre Európa egyik legnagyobb összefüggő, négy vármegyére kiterjedő, 15 ezer négyzetkilométeres vízgazdálkodási rendszere, a TIKEVIR. Az elmúlt időszakban felgyorsultak a TIKEVIR-t érintő vízkivételek, és összetettebbé váltak a lakossági, ipari, mezőgazdasági és tájhasználati vízhasználatok, valamint 2023-ban elkezdődött az ország egyik legnagyobb ökológiai vízpótlást biztosító programja (CIVAQUA) (Tamás et al. 2024).

Mezőgazdasági vízfelhasználás

A mezőgazdasági vízhasználat mértéke regionálisan jelentősen eltér; míg Európában 21 százalék, ebből Nyugat-Európában 5 százalék, addig Dél-Ázsiában 91 százalék (FAO Aquastat 2024). Az intenzív mezőgazdasági termelés vízfelhasználása alacsonyabb, mint az extenzív, és nagymértékben függ az éghajlattól és a mezőgazdaságnak a gazdaságban elfoglalt helyétől.

Az öntözött területek nemzetközi összehasonlítását nehezíti, hogy a különböző országokban eltérő módszertant használnak a statisztikai adatgyűjtésre, és a vízügyi irányítás is számos szervezet között oszlik meg. A FAO adatbázisának módszertanát Siebert és szerzőtársai publikálták (Siebert et al. 2005). Növénytermesztési statisztikák szerint Magyarországon az öntözésre felszerelt terület 451 000 hektárral 1974-ben érte el a maximumát, amikor üzembe helyezték a kiskörei gátat és a békési gátat (Ligetvári et al. 2006).

Az öntözés aktuális hazai szerkezetét az AKI 2022-es aszályos évre vonatkozó öntözésjelentése alapján mutatom be (Öntözésjelentés 2023). 2022 az elmúlt 122 év harmadik legmelegebb éve volt. 2022 nyarán az Alföld jelentős részén 30–35 hőhullámos napot regisztráltak, a legtöbbet (35–40 napot) Csongrád-Csanád vármegyében. A gazdálkodók az öntözött terület 85 százalékát felszíni vízzel öntözték, és csupán 13,7 százalékát felszín alatti vizekből. Az öntözés számára a vízkivétel és a vízszállítás szempontjából alapvető a gravitációs megoldás; az energiaigényes felszín alatti szivattyúzás kevésbé elterjedt. Ez azt is jelenti, hogy a termelők az értékes felszín alatti vízbázisokat kevésbé terhelik. Az öntözött 71 559 hektár szántóföldből 20,9 százalék kukorica, 19,5 százalék csemegekukorica, 10,1 százalék napraforgó és 29 százalék vetőmag volt. A gyümölcsösök 5641 hektár területéből meghatározó az alma 2390 hektárral és az őszibarack 1514 hektáros aránya. A vízfelhasználás jelentős arányát teszik ki a halastavak, ahol 17 731 hektáron 230 426 m³-t használtak fel.

A klímaváltozáshoz való természeti alkalmazkodás sikerét jelzi, hogy miközben a csapadék éves mennyisége az elmúlt időszakban nem csökkent drasztikusan, és a mezőgazdasági hozamok az alap- és alkalmazott mezőgazdasági kutatások eredményeként jelentősen növekedtek, a növénytermesztés vízgazdálkodási kiszolgáltatottsága is jelentősen megnőtt. Míg az 1950-es években 1 tonna kukoricára átlagosan 91 mm/év csapadék jutott, addig a megnövekedett hozamok miatt napjainkban csak 34 mm/év (Ragán et al. 2024). A szántóföldi víztakarékos okszerű technológiák alkalmazásához szükséges információk terjedését segíti az OVF által létrehozott Operatív Vízhány Értékelő és Előrejelző Rendszer.

A mezőgazdasági vízhasználat az állattenyésztés esetében is jelentős. A vízlábnym (liter víz/kg termék) a húsmarhánál a legnagyobb (15 415 l/kg). Ezt a juh és a kecske követi (8763 l/kg), majd a sertés (5988 l/kg), a brojler (4325 l/kg), a tojótyúk (3265 l/kg) és végül a tehén (1020 l/kg) (Mekonnen–Hoekstra 2012). Meg kell jegyezni, hogy ennek a víznek a döntő része (93 %-l/kg) a földbe beszivárgott csapadékvíz, amit a növények felhasználnak, illetve elpárolog, és így visszajut a körforgásba. Az előzőekben felsorolt állatfajok által közvetlenül felhasznált friss felszín alatti és fölötti víz mennyisége elenyésző, sorrendben 550, 457, 459, 313, 244 és 86 liter/kg.

Mekonnen és szerzőtársai 1960 és 2016 között vizgálták a különböző gazdasági állatfajok vízfogyasztását (Mekonnen et al. 2019). Az összes állattenyésztési termék víztermelékenysége – vagyis az egységnyi felhasznált vízre jutó termék mennyisége, ami akkor javul, ha nő az érték – 1960-tól 2016-ig jelentősen nőtt. A legnagyobb növekedés a tehéntejnél figyelhető meg (4,9-szeres), ezt követi a sertéshús (3,8-szoros), majd a brojlercsirke, a pulykahús és a tojás (3,2-szeres), végül a marhahús (kétszeres). A jelentős javulás több tényező együttes eredménye: javult az állatok teljesítménye, terjed a digitális tartástechnológia, javult a takarmányértékesítés, és nőtték a takarmánynövények hozamai. Szendrő és munkatársai, valamint Horn kutatási eredményei egyértelműen bizonyítják, hogy a nagy termelésre képes állatoknak – egységnyi termékre (1 kg hús, 1 liter tej, 1 tojás) vetítve – kisebb a környezeti és vízlábnyma (Szendrő et al. 2022; Horn 2018).

A természetes vízkészletek mellett a jövőben növekedni fog a helyileg előkezelt vizek újrahasznosítása is, különösen a körforgásos gazdálkodás terjedésével. Izraelben a szennyvíz 70 százalékát újrahasznosítják részleges kezelés után: ezzel a vízzel körülbelül 20 000 hektár földterületet lehet öntözni, ami Izrael teljes vízszükségletének több mint 16 százalékát teszi ki. A szennyvíz-újrahasznosítási módszerek iránti igény országonként eltérően, de világszerte növekszik. A kereslet növekedése a különböző földrajzi régióktól függően is változik: nagyon jelentős, 40–60 százalékos a növekedés az erősen vízhiányos övezetekben (Spanyolország, Ausztrália, Olaszország, a Földközi-tenger környéke), illetve az

intenzív urbanizációval jellemezhető régiókban (Kína). Az iparosodott országokban szintén jelentős (kb. 25 százalék) (Molle et al. 2014). Magyarországon 1,7–2 százalék a tisztított víz újrahásznosítási aránya. A vízhiányos, homokos talajon gazdálkodó nyírbátori öntözésfejlesztés jó példa arra, hogy az alternatív vízhasználat hatékonyan összekapcsolható a precíziós öntözéstechnológiával (Nxumalo et al. 2024).

Változtatni kell a meglévő vízkészletek szétosztásának eddigi merev, statikus gyakorlatán is, és egy proaktív–adaptív vízkormányzási üzemrendet kell kialakítani. Jelenleg az öntözési vízigényeket már az előző évben le kell kötni, ami a következő évben – amennyiben egy nedvesebb év következik – sok esetben nem kerül felhasználásra. Így gyakori a víztúligénylés, ami más termelőknél hiányként jelentkezik. Sokkal szorosabb és a termelő részéről is felelősségteljesebb vízgazdálkodási kapcsolatra van szükség a szolgáltató és a termelő között. A mai informatikai és műszaki háttér mellett a vízszállítás és a vízkormányzás rugalmasabban, rövidebb reakcióidővel is módosítható. A víz visszatartásához szükség van tározásra alkalmas területek biztosítására a tájban. A kiterjedt csatornahálózatok a szivárgási veszteségek felülvizsgálata után maguk is alkalmasak a vízkészletek átmeneti tárolására. A kis tározók biztonsággal csak nagy folyóink hektikusan változó vízkészleteit képesek betárolni, amihez azonban az Alföld számára nélkülözhetetlen a régóta tervezett csongrádi duzzasztó megépítése a Tiszán. Végül vízkészlet-gazdálkodásunk szempontjából mindenképpen meg kell említeni a talajt mint a legnagyobb tárolórendszert, amelyet helyes talajvédő technológiával folyamatosan karban kell tartani ahhoz, hogy betölthesse ezt a funkcióját.

Precíziós mezőgazdasági vízgazdálkodás

A precíziós mezőgazdasági vízgazdálkodás (PMV) a mezőgazdasági technológiák legkorszerűbb megoldásait integrálja. Négy évtizedes hagyománya van az autonóm lineár és körforgós szántóföldi öntözőberendezések alkalmazásának. Nagyon jelentős automatizálási fejlődés tapasztalható az intenzív kertészeti kultúrák öntözése területén, amely ösztönzőleg hat a szántóföldi technikákra (Szabó et al. 2021). Azonban napjainkban a víznyeréstől a víz szétosztásáig ezek a rendszerek is folyamatosan átalakulnak.

A GNSS-technológiák nemcsak abszolút mozgásokat, hanem geodéziailag relatív mozgásokat is képesek térben és időben vezérelni, akár centiméteres pontossággal. Műszakilag az általánosan elérhető, száz fölötti GNSS vevői csatornaszám lehetővé teszi négy GNSS-rendszer (GPS, Galileo, GLONASS, BEIDOU) jelkövetését. Az EGNOS, OMNISTAR műholdas jelkorrekció mellett már hazánkban is legalább hat szolgáltató cég foglalkozik RTK jelkiegészítéssel.

A homogén öntözési zónák tervezésekor a talajok vízháztartása nemcsak a növény vízellátásának lehetőségeit szabja meg, hanem a talaj anyag- és energiaforgalmát is befolyásolja (Makó et al. 2019; Tóth et al. 2024). Ennek a komplex víz–talaj–növény-rendszernek az optimalizálásához a PMV nagyon részletes és folyamatos állapotértékelést és automatizált vezérlést igényel.

A hiperspektrális szenzorok a lefolyási, beszívargási és párolgási viszonyok méréséhez nagy felbontású spektrális adatokat biztosítanak a táblán, a domborzati modellezéshez pedig a lézerszkennelt pontfelhő-adatok járulnak hozzá. Az állapotértékelésben a dróntechnológia és a fotogrammetriai képfeldolgozás már a gyakorlatban is terjed. A drónok teljesítménykorlátait a műholdas távérzékelés adattárházainak adatai segítenek leküzdeni.

A precíziós technológia jelentős IT-támogatást feltételez. A gépek csoportos üzemeltetése, flottába szervezése számottevő hatékonysági előnyt biztosít az alkalmazónak. Ez feltételezi a gép–gép közötti kommunikációt, amely felhőalapú rendszerekben valósítható meg. A gépi szenzorálás folyamatosan óriási adattömeget állít elő, ami az adatbányászat újabb módszereit kívánja meg. Az öntözés tervezési és üzemeltetési feladataihoz már korai szakaszban is használnak szimulációs modelleket. Ezen a területen sokat javult a szoftveres predikció megbízhatósága részben az algoritmusok összetettsége (pl. SWAT, HEC-RAS, DSSAT, CROPWAT), részben az adatminőség javulása következtében. A hidrológiai számítások korábbi léptékfüggősége csökkent, és a nem lineáris folyamatok kezelésének módja is javult számos új technika bevezetésének köszönhetően (pl. Fuzzy, Bayes, Dempster-Schafer, Fraktál). Az aszály és a belvíz esetében a földfigyelési műholdcsaládok rendszerbe szervezésével megerősödtek a kockázatértékelési módszerek. Az állapotértékelésben a passzív szenzorok mellett nő a szerepük az aktív radarszenzoroknak és a multispektrális lézertechnológiáknak.

A mesterséges intelligencia a jelenlegi tanítási módszereket is továbbfejleszti, jelentősen csökkentve az öntözéses gazdálkodás kockázatait. Az ipari BIM-technológiák adaptálásával az intelligens üvegházi és brojlertenyésztő vízellátó rendszerek a munkavégzés mellett már ma is képesek vezérelni saját szervizelésüket és hibakontrolljukat egy virtuális valóság környezetben.

Összegzés

A vízgyűjtő-modellezés és a kapcsolódó precíziós öntözéstechnológia sokat fejlődött az elmúlt időszakban, azonban éppen az eredmények validálása terén nem lehet eltekinteni a terepi mérésektől. Kutatási szempontból továbbra is fontos, hogy a lehető legtöbb irányból vizsgált és értékelt, azonos koncepció mentén koordinált munka folyjon. Az első ilyen munkában meghatározó szerepe volt Németh Tamás akadémikusnak az MTA Nemzeti Vízudományi Kutatási Program megtervezé-

sével és elindításával, amelyet az MTA elnöksége 2016. június 28-án fogadott el. Ennek a szerteágazó munkának fontos célja volt „a növekvő mezőgazdasági vízigények – beleértve az öntözést – kielégítése; a belvizek és az aszálykárok következményeinek csökkentése”.

Köszönetnyilvánítás

A kutatást a Széchenyi Plusz RRF 2.3.1 21 2022 00008 projekt támogatta.

Irodalomjegyzék

- Bartholy J., Pongrácz R. & Pieczka I. (2014) Hogyan változik az éghajlat ebben az évszázadban? Magyar Földrajzi Értesítő, Vol. 63. No. 1. pp. 55–67.
- Bíró T. (2017) Amikor sok víz van a területen – belvíz. Magyar Tudomány, Vol. 178. No. 10. pp. 1216–1227.
- FAO Aquastat (2024) FAO globális vízügyi és mezőgazdasági információs rendszere. <https://www.fao.org/aquastat/en> [Letöltve: 2025. 04. 04.]
- Horn P. (2018) A mezőgazdasági termelés jövőjét meghatározó néhány fontos kérdéskör. Gazdálkodás, Vol. 62. No. 5. pp. 385–405. <https://ageconsearch.umn.edu/record/279712> [Letöltve: 2025. 04. 03.]
- Izsák B., Szentes O., Bihari Z., Bokros K. & Lakatos M. (2024) Reprezentatív meteorológiai adatok biztosítása a múlt és a jelen éghajlatának megismerésére. Légkör, Vol. 69. (különszám). pp. 4–11.
- Ligetvári, F., Cselotei, L., Kiss, K., Dimény, J., Szilárd, G., Takács-György, K., Kis, S., Helyes, L., Pekár, F. & Bozán, C. (2006) Country report from Hungary. In: Dirksen, W. & Huppert, W. (eds.) Irrigation sector reform in Central and Eastern European countries. GTZ, Eschborn, Germany. pp. 161–250.
- Makó, A., Szabó, B., Rajkai, K. et al. (2019) Evaluation of soil texture determination using soil fraction data resulting from laser diffraction method. International Agrophysics, Vol. 33. No. 4. pp. 445–454.
- Mekonnen, M. M. & Hoekstra, A. Y. (2012) A Global Assessment of the Water Footprint of Farm Animal Products. Ecosystems, Vol. 15. pp. 401–415. <https://doi.org/10.1007/s10021-011-9517-8>
- Mekonnen, M. M., Neale, C. M. U., Ray, C. et al. (2019) Water Productivity in Meat and Milk Production in the US from 1960 to 2016. Environment International, Vol. 132. Article No. 105084. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105084>
- Molle, B., Tomas, S., Audouard, M., Condom, N. & Labails, J.-D. (2014) Turf and landscape. Can waste water be reused for irrigation? Irrigazette, November–December 2014. pp. 39–43. <https://irrigazette.com/en/news/can-waste-water-be-reused-irrigation>
- Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia (2018) Innovációs és Technológiai Minisztérium, Budapest. 23/2018. (X. 31.) Országgyűlési határozat. <https://mkogy.jogtar.hu/jogszabaly?docid=A18H0023.OGY>
- Nxumalo, G., Kiss, N. É., Fehér, Z. Z., Magyar, T., Bódi, E., Szabó, A., Pásztor, D., Tamás, J. & Nagy, A. (2024) Optimizing of alternative water resources reutilization on extreme sandy soil. EGU General Assembly, Vienna, Austria, 14–19 April, 2024. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu24-18763>
- Öntözésjelentés (2023) Statisztikai jelentések. Öntözésjelentés, 2022. év. Agrárközgazdasági Intézet, Budapest. <https://www.aki.gov.hu/termek/ontozesjelentes-2022-ev>
- Pongrácz R., Bartholy J., Pieczka I. & Torma Cs. (2010) Az ELTE regionális klímamodelljei: PRECIS és RegCM. In: Lakatos M. (szerk.) 36. Meteorológiai Tudományos Napok: Változó éghajlat és következményei a Kárpát-medencében. Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest. pp. 102–112.
- Ragán P., Rátónyi T., Széles A., Nagy J. & Tamás A. (2024) Az agrotechnikai paraméterek és az évjárat hatásának vizsgálata a kukorica (*Zea mays* L.) termésére polifaktoriális tartamkísérleti adatok felhasználásával. Növénytermelés, Vol. 73. No. 2. pp. 77–100.
- Siebert, S., Döll, P., Hoogeveen, J., Faures, J., Frenken, K. & Feick, S. (2005) Development and validation of the global map of irrigation areas. Hydrology and Earth System Sciences, Vol. 9. No. 5. pp. 535–547. <https://doi.org/10.5194/hess-9-535-2005>
- Szabó, A., Tamás, J. & Nagy, A. (2021) The influence of hail net on the water balance and leaf pigment content of apple orchards. Scientia Horticulturae, Vol. 283. Article No. 110112. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110112>
- Szendró Zs., Horn P. & Kovács M. (2022) Állattenyésztés 1. Miért mindig az állattenyésztés a bűnös? Magyar Tudomány, Vol. 183. No. 10. pp. 1265–1275. <https://doi.org/10.1556/2065.183.2022.10.5>
- Tamás J. (2017) Az aszály. Magyar Tudomány, Vol. 178. No. 10. pp. 1228–1238. <https://doi.org/10.1556/2065.178.2017.10.6>
- Tamás J., Nagy A. & Kiss N. É. (2024) Területi és települési vízgazdálkodás integrációs feladatainak áttekintése a Tisza–Körös-völgyi Együttműködő Vízgazdálkodási Rendszer (TIKEVIR) hatásterületén. Hidrológiai Közlöny, Vol. 104. No. 4. pp. 63–67.
- Tóth, F. A., Magyar, T., Tamás, J. & Nagy, P. T. (2024) Developing soil conditioner composites for enhancing nitrogen mineralization to mitigate the negative effects of climate change in a sandy soil. Soil Science Annual, Vol. 75. No. 2. Article No. 189547. <https://doi.org/10.37501/soilsa/189547>
- Willhite, D. A. & Glantz, M. H. (1985) Understanding the Drought Phenomenon: The Role of Definitions. Water International, Vol. 10. No. 3. pp. 111–120. <https://doi.org/10.1080/02508068508686328>