

Climate change effects on farmers' economic performance

ENIKŐ ZITA VÍGH – IMRE FERTŐ

The agricultural sector is the most vulnerable to climate change, as the latter's effects are differentiated over time and space and can lead to various damages. Most research findings conclude that adverse weather events contribute to weak economic returns, while some authors challenge these results and others even assume positive effects. In this paper, we systematically reviewed articles published by peer-reviewed journals discussing the relationship between climate change and economic efficiency. Based on the PRISMA recommendations, we developed a protocol to assess the international embeddedness of the topic, as well as geographic coverage, key findings and the types of data sources used by the research studies under analysis. Based on the reviewed articles, we have found out that agricultural processes are most vulnerable to extreme climatic events, to changes in plant production and animal breeding development stages, to human resources' climate perception and coping with climate change, to changes in environmental and abiotic conditions and farm characteristics.

Keywords: agriculture, crop production, climate change, systematic review.

JEL codes: Q12, Q51, Q54.

A klímaváltozás hatása a mezőgazdasági termelők termelékenységére

VÍGH ENIKŐ ZITA¹ – FERTŐ IMRE²

A mezőgazdaság a klímaváltozás hatásainak leginkább kiszolgáltatott ágazat, a hatások időben és térben differenciáltan jelentkeznek és eltérő károkat okoznak. A legtöbb kutatási eredmény arra a következtetésre jut, hogy a negatív időjárási események hozzájárulnak a gyenge mezőgazdasági hozamokhoz, néhány tanulmány azonban megkérdőjelezi a negatív hatásokat, mások egyenesen pozitív eredményekkel számolnak.

Az elemzésben szisztematikus irodalmi áttekintés módszerével azokat a nemzetközileg elismert, lektorált folyóiratok hasábjain megjelent publikációkat vizsgáltuk, amelyek a klímaváltozás és a gazdasági hatékonyság közötti kapcsolatot tárgyalják. A Prisma-ajánlás alapján kialakított protokoll segítségével elemezzük a téma beágyazottságát a nemzetközi irodalomban, a vizsgálatban szereplő kutatások földrajzi lefedettségét, a kulcsmegállapításokat, valamint a felhasznált adatforrások típusait.

Az áttekintett cikkek alapján a mezőgazdasági folyamatokra az extrém klimatikus események közvetlen hatásai, a növények és állatok biológiai fejlődési fázisainak átalakulása, a humánerőforrás klímapercepciója és befolyása a gazdálkodásra, a környezeti és az abiotikus feltételek megváltozása, valamint az üzemi jellemzők hatnak a leginkább.

Kulcsszavak: mezőgazdaság, növénytermesztés, klímaváltozás, szisztematikus irodalmi áttekintés.

JEL kódok: Q12, Q51, Q54.

Bevezető

Az utóbbi évtizedekben jelentősen megnövekedett a mezőgazdasági szektorban született, a klímaváltozás hatásait értékelő cikkek száma, de a gazdasági hatások nagyságára és azok területi megoszlására még mindig nagy bizonytalanság jellemző. Trapp (2015) öt kutatási irányt különböztet meg: 1. hozam vagy agroökonómiai szimulációs módszerek (biofizikai modellek); 2. ökonometriai modellek (panel- vagy keresztmetszeti adatok felhasználásával); 3. parciális egyen-

¹ Tudományos segédmunkatárs, NAIK Agrárgazdasági Kutatóintézet, Környezeti Kutatások Osztály / tanársegéd, Partiumi Keresztény Egyetem, Gazdaságtudományi Tanszék, e-mail: vigh.eniko.zita@aki.naik.hu.

² PhD, tudományos tanácsadó, Közgazdaság- és Regionális Tudományi Kutatóközpont Közgazdaságtudományi Intézete / egyetemi tanár, Kaposvári Egyetem, a Gazdálkodás- és Szervezéstudományok Doktori Iskola vezetője, e-mail: ferto.imre@krtk.mta.hu.

súlyi elméletek; 4. általános egyensúlyi elméletek és 5. integrált megközelítések. Jelen cikkben a második kutatási irány eredményeivel foglalkozunk.

A tanulmányok jelentős része arra a következtetésre jut, hogy a negatív időjárás események hozzájárulnak a gyenge mezőgazdasági hozamokhoz (Chavas et al. 2009; Trnka et al. 2011; Spinoni et al. 2015; Hatfield-Prueger 2015). Míg néhány tanulmány megkérdőjelezi a negatív hatásokat, mások egyenesen pozitív (Deschenes–Greenstone 2007) eredményekkel számolnak. A legtöbb bizonytalanság forrása az elemzés során alkalmazott eltérő módszertanokból fakad. A divergáló következtetések felvetik annak szükségességét, hogy szisztematikusan áttekintsük az eddigi kutatások eredményeit, és megvizsgáljuk, hogy vajon mire vezethetők vissza ezek a különbségek a szakirodalomban.

A cikkben áttekintjük a téma nemzetközi szakirodalmát, az elmúlt húsz évben lektorált folyóiratok hasábjain megjelent cikkek alapján, figyelembe véve 1. a téma beágyazottságát a nemzetközi irodalomba, 2. a vizsgálatban szereplő földrajzi lefedettséget, 3. a kulcsmegállapításokat az öt legfontosabb téma érintésével és az eredmények nemzetközi összehasonlítását, 4. valamint a felhasznált adatforrások típusait.

A szisztematikus irodalmi áttekintés módszertana

Keresési és kiválasztási stratégia

A szisztematikus irodalmi áttekintés (*systematic review*) a szakirodalomból nyert információk tudományos módszerekkel történő szintézise, amelyek részletes, alapos kutatómunkára támaszkodva tartalmazzák a kiválasztott adatbázisokban megjelent tudományos igényű eredményeket egy adott témával kapcsolatban (Moher et al. 2009; Kamarási–Mogyorósy 2015). A cikkek beazonosítása, kiválasztása és elemzése az alábbi lépések mentén történt (1. ábra):

- Adatbázisok beazonosítása: az EBSCO, ScienceDirect és Springer elektronikusan elérhető, legismertebbek számítógépes adatbázisokra esett a választás. Az áttekintésben egyéb, releváns irodalmakat is beazonosítottunk.

- Keresési kulcsszavak kiválasztása: az elemzés során az alábbi kulcsszavakat vagy azok kombinációit használtuk: klímaváltozás, globális felmelegedés, technikai hatékonyság, mezőgazdaság, gazdálkodás, haszonállatok, növénytermesztés, termesztés, szántóföldi, kertészet. Mivel a felsorolt adatbázisok túlnyomórészt angol nyelvű publikációkat tartalmaznak, ezért a keresés során a kulcsszavak angol nyelvű változatait alkalmaztuk. A keresésben Boolean operátorokat

is felhasználtunk, amelyek segítségével a találati halmazok közötti kapcsolatokat határozhatjuk meg (*AND* = kifejezés pontos illeszkedését adja; *OR* = szinonimacsoportok közötti választás; „ ” = konkrét kifejezés keresése; * = tetszőleges számú karaktert helyettesít; () = keresési sorrend kialakítása). A keresőkifejezés a következő: („*climate change*” *OR* „*global warming*”) *AND* („*technical efficiency*”) *AND* („*agriculture*” *OR* „*farming*” *OR* „*livestock*” *OR* „*crop*” *OR* „*arable*” *OR* „*cultivation*” *OR* „*horticulture*”). Az elemzésben angol nyelvű, lektorált cikkeket vettünk figyelembe, amelyeket 2000 és 2019 között publikáltak. Ugyanakkor kizártuk az áttekintő irodalmi feldolgozást végző tanulmányokat, könyveket és könyvfejezeteket, konferenciaanyagokat és kutatási jelentéseket. Az elektronikus adatbázisokban a megfogalmazott keresési operátorok segítségével 1631, egyéb forrásból 28 cikket azonosítottunk, összesen 1659 közleményt.

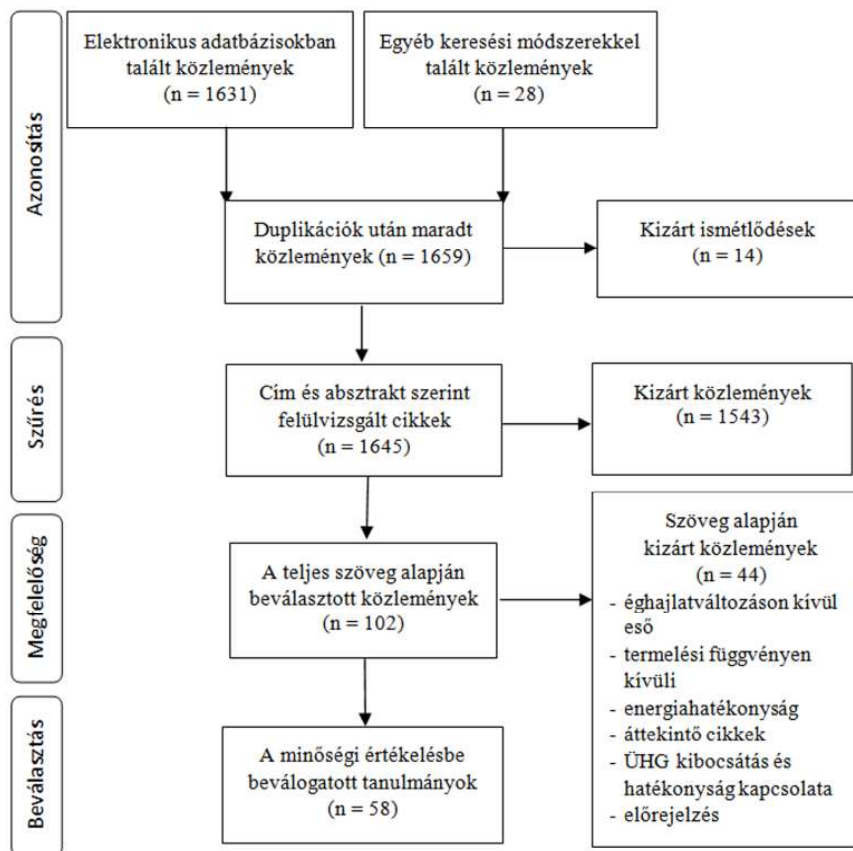
- Kizáró kritériumok megfogalmazása: ismétlődések, az éghajlatváltozás hatásain kívül eső tanulmányok, termelési függvény módszerén kívül eső cikkek, üzemek energiahatékonyságát vizsgáló elemzések, kizárólag üvegház gázkibocsátás és hatékonyság kapcsolatát vizsgáló értekezések és előrejelzések. A cím, az absztrakt és a kulcsszavak szűrése során 14 ismétlődést és 1543 témán kívül eső publikációt azonosítottunk.

- Szűrés során beválogatott közlemények kiválasztása: a kizáró kritériumok alapján 108 cikket választottunk ki részletes vizsgálatra.

- Az értékelésben részt vevő publikációk kiválasztása: a teljes átvizsgálás után 58 közleményt választottunk ki részletesebb elemzésre.

Adatkinyerés folyamata

A kiválasztott cikkek kvalitatív értékelése során a következő szempontokat vettük figyelembe: a szerzők neve, a közlés éve, a folyóirat megnevezése, az elemzés helyszíne (ország vagy földrajzi régió), majd a vizsgált alágazatok (növénytermesztés, állattenyésztés, mezőgazdaság). A cikkeket az alkalmazott termelési függvény módszerek típusai (Data Envelopment Analysis – Az adatok burkoltgörbe elemzése, DEA; Stochastic Frontier Analysis – Sztochasztikus határelemzés, SFA; Total Factor Productivity – Teljes tényező termelékenység, TFP), a vizsgált időintervallum és az adattípus (idősoros, panel, keresztmetszeti, egyesített keresztmetszeti) alapján csoportosítottuk. Végezetül a hatékonyság vizsgálatában alkalmazott és a meteorológiai változók adatainak forrását; a minta elemszámát és a minta egységét (üzem, ország, háztartás, tartomány, régió, adminisztratív egység, megye, rácspon, ültetvény) is figyelembe vettük.



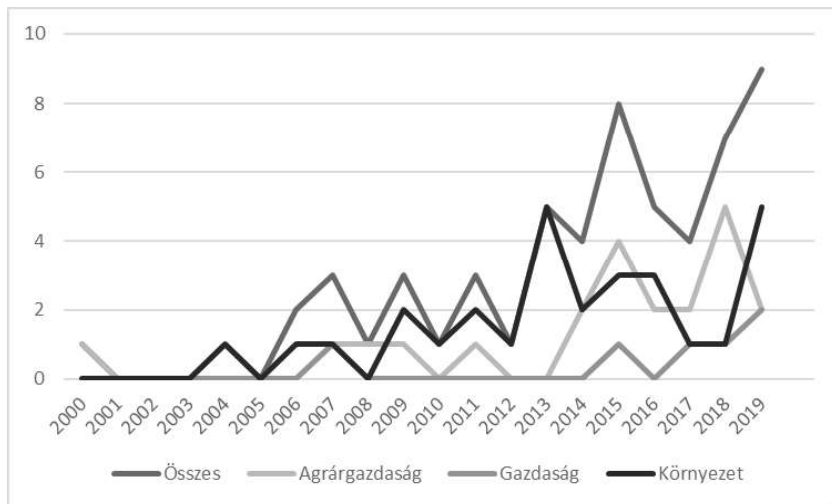
Forrás: Prisma-ajánlás alapján saját szerkesztés

1. ábra. A szisztematikus irodalmi áttekintés folyamatábrája

A szisztematikus irodalmi áttekintés eredményei

A nemzetközi hatékonyságelemzés általános jellemzői

A 2. ábra a hatékonyságelemzés és a klímaváltozás kutatása iránti érdeklődés növekedését mutatja be. A beválasztott cikkek alapján a vizsgált húszéves periódus elején csak néhány cikk jelent meg a témában, ugyanakkor a közlemények 57 százalékát az utóbbi öt évben közzétették, a téma beágyazottságát növekvő trend jellemzi. A téma irodalmát leggyakrabban a specializált agrárgazdasági és környezeti témájú folyóiratok közlik, az általános közgazdasági folyóiratokban lévő cikkek aránya alacsony.



Forrás: saját szerkesztés

2. ábra. A téma nemzetközi kutatásának fejlődése

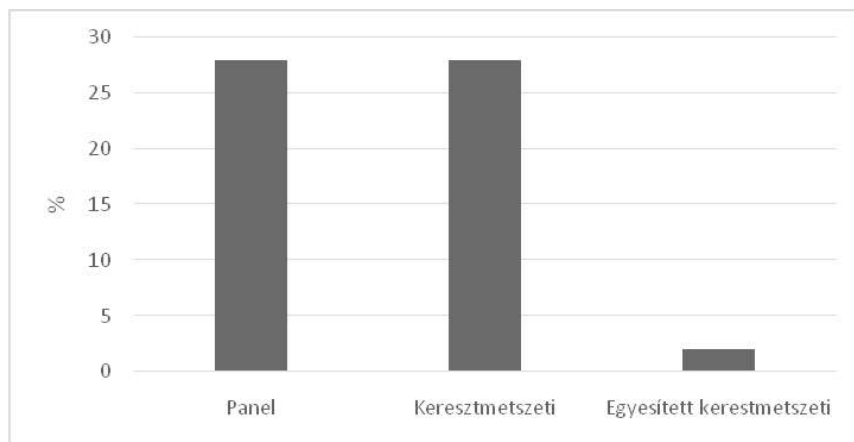
Az 1. táblázat a cikkek megoszlását mutatja a vizsgált 36 folyóiratban, figyelembe véve az elemzésben alkalmazott módszert. Az elemzések leggyakrabban a *Regional Environmental Change* (10,3 százalék), a *Land Use Policy* (8,6 százalék), a *Climatic Change* (6,9 százalék) és a *Journal of Cleaner Production* (6,9 százalék) folyóiratokban jelentek meg. A legtöbb folyóirat csak alkalmanként közöl cikkeket a témában. Az alkalmazott módszerek tekintetében a leggyakrabban a *stochasztikus határelemzés módszerét* (SFA) alkalmazták, összesen 26 esetben, míg az *adatok burkoltgörbe elemzését* (DEA) 12 alkalommal választották.

Wooldridge (2012) szerint a gazdasági elemzésekben alkalmazott adatok idősoros, panel, keresztmetszeti és egyesített keresztmetszeti szerkezetűek lehetnek. Az áttekintett cikkekben leggyakrabban alkalmazott adatszerkezet a panel és a keresztmetszeti szerkezet, néhány esetben pedig egyesített keresztmetszeti adat áll rendelkezésre (3. ábra). A paneladatok több időszakon keresztül szolgáltatnak adatot minden egyes megfigyelésről (Wooldridge 2012). Ez nem meglepő, hiszen a klímaváltozás vizsgálata hosszabb időszakot igényel.

1. táblázat. A vizsgált cikkek megoszlása a folyóiratokban az elemzésben alkalmazott módszer szerint

Folyóiratok	SFA	DEA	TFP	Egyéb	Összesen (%)
Agricultural and Food Economics	1	0	0	0	1 (1,7)
Agricultural and Forest Meteorology	1	0	0	0	1 (1,7)
Agricultural Sciences in China	1	0	0	0	1 (1,7)
Agricultural Systems	3	0	0	0	3 (5,2)
Agriculture, Ecosystems and Environment	2	0	0	0	2 (3,4)
Agronomy for Sustainable Development	0	0	0	1	1 (1,7)
American Economic Review	0	0	0	1	1 (1,7)
Climate Research	1	0	0	0	1 (1,7)
Climatic Change	1	0	1	2	4 (6,9)
Empirical Economics	0	0	1	0	1 (1,7)
Environment, Development and Sustainability	1	0	0	1	2 (3,4)
Environmental and Resource Economics	0	1	0	0	1 (1,7)
Environmental Economics and Policy Studies	0	0	0	1	1 (1,7)
Environmental Management	1	0	0	1	2 (3,4)
European Journal of Agronomy	0	0	0	1	1 (1,7)
European Journal of Operational Research	0	1	0	0	1 (1,7)
Food Policy	1	0	0	0	1 (1,7)
Industrial Crops and Products	0	1	0	0	1 (1,7)
International Journal of Disaster Risk Science	1	0	0	0	1 (1,7)
Irrigation and Drainage Systems	1	0	0	0	1 (1,7)
Journal of Cleaner Production	2	2	0	0	4 (6,9)
Journal of Dairy Science	1	0	0	0	1 (1,7)
Journal of Environmental Economics and Management	0	1	0	0	1 (1,7)
Journal of Environmental Management	0	1	0	0	1 (1,7)
Journal of Integrative Agriculture	1	0	0	0	1 (1,7)
Land Use Policy	3	0	0	2	5 (8,6)
Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change	1	0	0	0	1 (1,7)
Natural Hazards	0	1	0	0	1 (1,7)
Operational Research	0	1	0	0	1 (1,7)
Paddy and Water Environment	1	0	1	0	2 (3,4)
Regional Environmental Change	3	0	0	3	6 (10,3)
Science of the Total Environment	0	1	0	0	1 (1,7)
Small Ruminant Research	0	1	0	0	1 (1,7)
The International Journal of Life Cycle Assessment	0	1	0	0	1 (1,7)
Theoretical and Applied Climatology	1	0	0	0	1 (1,7)
Egyéb	0	0	2	0	2 (3,4)
Összesen	28	12	5	13	58 (100)

Forrás: saját szerkesztés



Forrás: saját szerkesztés

3. ábra. A vizsgált cikkek megoszlása az alkalmazott adatok típusa szerint

Az elemzésekben az Amerikai Egyesült Államok és Franciaország jelenik meg a leggyakrabban (2. táblázat), őket követi Kína. Az országok megjelenésének gyakorisága megmutatja, hogy a nemzetközi irodalom középpontjában az észak-amerikai, a kelet-ázsiai és a nyugat-európai régiók állnak. Az eredmények

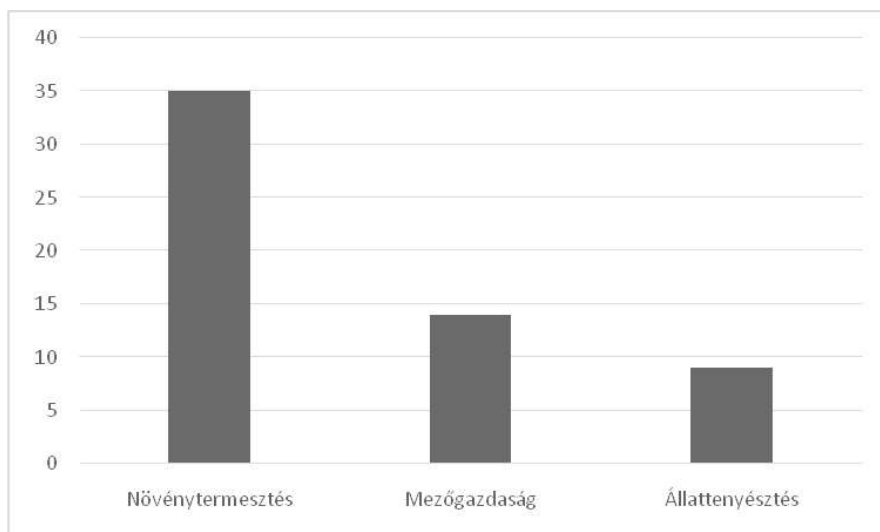
2. táblázat. A vizsgált cikkekben elemzett országok

Megjelenés gyakorisága	Ország
10	USA, Franciaország
9	Kína
7	Olaszország, Egyesült Királyság
6	Németország, Portugália, Spanyolország
5	Ausztria, Belgium, Görögország, Hollandia, Írország
4	Dánia, Finnország, Irán, Lengyelország, Magyarország, Svédország, Luxemburg
3	Ciprus, Csehország, Japán, Latin-Amerika, Málta, Románia, Svájc, Szlovákia
2	Ausztrália, Bulgária, Etiópia, Észtország, India, Izland, Kanada, Korea, Lettország, Litvánia, Nepál, Pakisztán, Szlovénia
1	Afrika, Banglades, Brazília, Costa Rica, Ghána, Indonézia, Kambodzsa, Nigéria, Norvégia, Örményország, Tanzánia, Törökország, Új-Zéland, Üzbegisztán

Forrás: saját szerkesztés

arra is rávilágítanak, hogy a kutatók mely régiók esetében ütköznek akadályokba az adatgyűjtést illetően, így mely régiók maradnak alulreprezentáltak a nemzetközi szakirodalomban. Az irodalomban figyelembe vett régiók alapján a közép-európai, kelet-európai, dél-amerikai és közép-ázsiai régiók erősen alulreprezentáltak.

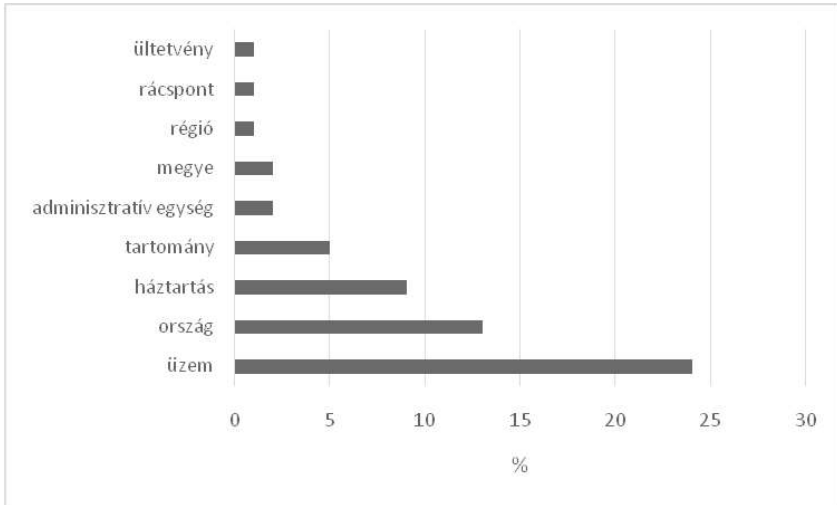
A kiválasztott cikkekben a növénytermesztésben bekövetkező hatások számszerűsítése a leggyakoribb (35 eset), ezt a teljes mezőgazdaságot vizsgáló értékelések követik (14 eset). A sort az állattenyésztési ágazat zárja, ahol a kutatók mindössze 10 alkalommal vizsgálták a klimatikus hatásokat, így az eredmények alapján kirajzolódik, hogy az állattenyésztési ágazat alulreprezentált (4. ábra).



Forrás: saját szerkesztés

4. ábra. A vizsgált cikkek megoszlása az elemzett ágazat szerint

A leggyakrabban alkalmazott módszerek megfigyelési egységét az üzemek reprezentálják, az esetek közel 24 százalékában ezt a mintaegységet alkalmazták az 5. ábra szerint. A második leggyakrabban alkalmazott egység az országos minta. Az ültetvényeken és rácspontokon végzett adatgyűjtést alkalmazták a legkevesebb esetben.



Forrás: saját szerkesztés

5. ábra. A vizsgált cikkek megoszlása az alkalmazott mintaegység szerint

A nemzetközi hatékonyságelemzés empirikus értékelése

Extrém események hatásai

Az extrém klimatikus események hatásait a 3. táblázat mutatja be. A vizsgált extrém klimatikus események hatásainak bemutatására a kutatók az ariditás, a tavaszi és nyári csapadékképek változékonysága, a növény-növekedési szakasz bekövetkezésének koraisága, a hőstressz és hátrányos természeti adottságok mutatóit alkalmazták. A kutató közösségek az aszály (Mishra et al. 2018) és az extrém hőmérsékleti események (Mishra et al. 2015) hatására romló hozamokról, az üzemek nagymértékű pénzügyi veszteségéről (Huang et al. 2013; Melkonyan–Asadoorian 2013) és a gazdaságok sérülékenységéről (Bouttes et al. 2018) számolnak be. A sérülékenység azokban a régiókban alacsonyabb, ahol a társadalmi és gazdasági fejlettség magasabb (Huang et al. 2013). A hátrányos természeti adottságokkal szembesülő területeken élő kisméretű gazdálkodók jövedelmei a hagyományos területeken élők jövedelmeinek mindössze felét érik el (Mutabazi et al. 2015).

Fejlesztési fázisok megváltozása

A klimatikus események fejlődési fázisokban bekövetkező hatásait a 4. táblázat mutatja be. A növekedési fázisban a hőstressz nagymértékben rontja a növény-

termesztési hozamokat (Arshad 2016) és a tejtermelők outputját (Qi et al. 2015). Kivétel ez alól a tavaszi és germinációs időszakban a hőmérséklet emelkedése, ami a tejtermelők outputját javította (Qi et al. 2015). A csapadékváltozás hatása nem egyértelmű, néhány szerző pozitív hatásokról (Jiang–Koo 2013; Arshad et al. 2016), mások negatív hatásokról számolnak be a vegetációs időszakban (Ochuondho et al. 2014) és a tavaszi-téli csapadéknövekedés (Qi et al. 2015) esetében. A szerzők a hőmérséklet esetében gyakrabban számolnak be szignifikáns eredményekről, mint a csapadékváltozás esetében, ezeknek az eredményeknek a mértéke is számottevőbb.

A humánerőforrás feltételeinek megváltozása

A klímaváltozás és a humánerőforrások kapcsolata hat a technikai hatékonyság változására, az eredményeket az 5. táblázat mutatja be. Néhány szerző a klímapercepció, valamint a gazdaságvezetők képzettsége és kora (Akhtar et al. 2018; Azumah et al. 2019) között pozitív kapcsolatot talált, míg mások a mezőgazdasági tapasztalat növekedése és a klímaváltozással kapcsolatos tudatosság közötti negatív kapcsolatról számoltak be (Fatuase 2017). Azok a családi gazdaságok, amelyek magasabb munkajövedelemmel rendelkeznek, nagyobb eséllyel tanúsítanak környezeti hatékonyságot (Jan et al. 2012). A klímaváltozással kapcsolatos információkhoz könnyen hozzájutó gazdaságok magasabb hatékonyságot produkálnak (Tang et al. 2015). A szerzők beszámolnak a fajok közötti hatékonyságkülönbségekről is: a rizstermesztők kevésbé, míg a kakaótermesztők nagymértékben kitettek az aszály káros hatásainak (Keil et al. 2008). Ezek a jellemzően háztartások szintjén működő gazdaságok még abban az esetben sem tudnak javítani a hatékonyságukon, ha adaptációs lépéseket vezettek be a klímaváltozás kezelésére. Ezzel szemben néhányan a hatékonyság javulását tapasztalták a háztartásokban megnövelt állatlétszám esetében (Bai et al. 2019).

A környezeti jellemzők megváltozásának hatásai

A nemzetközi irodalom alapján (6. táblázat) a hőmérséklet növekedésének hatására az üzemek hatékonysága csökkent, amit több kutató is megerősít (Deschenes–Greenstone 2007; Piot–Lepetit–Le Moing 2007; Reidsma et al. 2009; Solís–Letson 2013; Kunimitsu et al. 2016; Gadanakis–Areal 2018), ugyanakkor néhányan a hozamok csökkenésének hatására romló technikai hatékonyságról számolnak be (Bardaji–Iraizoz 2015; Lachaud et al. 2017; Giannakis–Bruggeman 2018; Njuki et al. 2019; de Medeiros-Silva et al. 2019). Ez a hatás azokban a régiókban szélsőségesebb, ahol az átlagos felszíni levegő-hőmérséklet magasabb.

Liang et al. (2017) szerint a hőmérséklet hatása a növénytermesztésben nem szignifikáns, az állattenyésztésben negatív és szignifikáns, míg Reidsma et al. (2009) a hőmérséklet-növekedés pozitív hatásairól számol be Görögország és a skandináv államok esetében. Power és Cacho (2014) eredményei szerint Ausztráliában a jelenlegi termelésszerkezet és gazdaságméret optimális a rendelkezésre álló abiotikus tényezők mellett, ugyanakkor ők is beszámolnak az extrém hőmérsékletek jelentette veszélyekről.

A csapadékképek átalakulásának hatásairól a szerzőknek eltérő véleményük van. A csapadék mennyiségének és gyakoriságának növekedése, valamint azok gyakoriságtól való eltérése növeli a nem hatékony működést (Bardaji–Iraizoz 2015; Gadanakis–Areal 2018; Lachaud et al. 2017). Bekchanov és Lamers (2016) a vízkínálat hatására romló jövedelmekről számol be. Galloway et al. (2018) szerint az éves összes csapadékmennyiség és a hatékonyság között nem létezik korreláció. Ezzel ellenkező eredményeket sorakoztat fel a kutatók egy nagy csoportja (Verburg et al. 2000; Reidsma et al. 2009; Solís–Letson 2013; Kunimitsu et al. 2016; de Medeiros-Silva et al. 2019), akik azt igazolták, hogy a csapadék növekedése a hozamok és a hatékonyság növekedését idézte elő. A legtöbb szerző egyetért abban, hogy a csapadékképek átalakulása alacsonyabb mértékű negatív hatást jelent a mezőgazdaság hatékonyságára, mint a hőmérséklet emelkedése.

A hátrányos adottságú és a magasabban fekvő területeken működő gazdaságok kedvezőtlenebb feltételekkel indulnak az éghajlatváltozás hatásaival szembeni küzdelemben (Galanopoulos et al. 2011). A klíma változékonyságának hatására a növénytermesztés a leginkább érzékeny szektor, ezt követi az állattenyésztés és az erdészet.

A farmspecifikus tulajdonságok hatásai

A gazdálkodási mód és az üzemi jellemzők a technikai hatékonyság változásának fontos összetevői. A nemzetközi irodalom főbb megállapításait a 7. táblázat mutatja be. Azok a farmerek, akik figyelemmel kísérik az éghajlati változásokról rendelkezésre álló információkat, magasabb technikai hatékonyságot érnek el a nem gazdasági érdekek előnyben részesítése során (Barnes 2006; Li et al. 2008).

A költségek növekedése nélkül, a gazdálkodási módszerek átalakításával javítható a hatékonyság, pl. a fenntartható, organikus és talajkímélő gyakorlatok bevezetésével, diverz fajtaválasztékkal, hatékonyabb tápanyag-utánpótlással és a vetésidő átütemezésével (Capalbo et al. 2004; Ma et al. 2014; Mohammadi et al. 2015; Yaqubi et al. 2016; Mayberry et al. 2017; Bouttes et al. 2018; Khanal et al. 2018).

Az eredmények rávilágítanak arra, hogy a környezeti állapot javítása és a termelékenység növelése együtt is lehetséges (Yao et al. 2016). Regan et al. (2019) szerint azokban az országokban, ahol alacsony az adaptációs kapacitás, a terméshozamok nagy része elveszhet, míg ahol magas, csak alacsony mértékű csökkenés következhet be az éghajlati változások hatására. Néhány esetben az új kormányzati intézkedések hatására (főleg öntözési jellegű beruházások esetében) a hatékonyság sokkal magasabb a programban nem résztvevőkkel szemben (Makombe et al. 2007), míg néhány új intézkedés hatására a hatékonyság romlott, vagy csak rövid távon eredményezett változást (Mayberry et al. 2017; Mohan et al. 2019).

A DEA elemzés nemzetközi összehasonlítása

A 8. táblázat az éghajlatváltozás mezőgazdasági hatásait értékelő, burkolófelület-elemzést alkalmazó nemzetközi eredményeket mutatja be, amelyben megjelenik a vizsgált földrajzi régió, a szerzők megnevezése és a megjelenés éve, az alkalmazott minta elemszáma, a vizsgálati egységek, a burkolófelület-elemzésben használatos inputok és outputok, valamint az átlagos technikai hatékonysági mutató. A táblázat alapján a vizsgálatokban alkalmazott minta elemszáma 30–376 egység között mozog. A mintában a leggyakrabban output-orientált DEA-t alkalmazták, a kiválasztott outputok között pedig a hozam, munkaerő, jövedelem, bruttó hozzáadott érték, termőföld, Fisher-index, valamint negatív outputok (veszteség és ÜHG-kibocsátás) szerepeltek. A vizsgálat helyszíne alapján elkülönített eredmények szerint a legmagasabb átlagos technikai hatékonysági mutatót a nyugat-európai és észak-európai régiók produkálták, ezzel bebizonyosodott az a feltevés, hogy azokban a régiókban, ahol magasabb az átlagjövedelem, magasabb a technikai hatékonyság is.

Adatforrások

Az empirikus elemzés legnagyobb kihívása a rendelkezésre álló adat minősége és hozzáférhetősége, ezért a vizsgálatba bevont cikkek adatforrásait a 9. táblázatban foglaltuk össze. A kutatók 29 esetben a nemzeti hivatalok és ügynökségek által gyűjtött adatokat alkalmazták, 23 esetben a szerzők primer adatgyűjtést végeztek, míg 18 alkalommal nemzetközi adatbázisokban rendelkezésre álló adatokat használtak. A közlemények 10 alkalommal szekunder adatokat alkalmaztak, korábbi kutatások alapján.

A leggyakrabban igénybe vett nemzeti hivatalok adatai főleg a statisztikai hivatalok adatközléseire támaszkodnak. A nemzetközi adatok az Európai Bizottság (Eurostat, FADN), az OECD, a World Bank, illetve az OPEC gyűjtéseiből származnak.

3. táblázat. Az extrém klimatikus események hatásai

Szerző(k) és megjelenés éve	Ország/régió	Termelési függvény	Legfontosabb megállapítások
Bouttes et al. 2018	Franciaország	Egyéb	A klímaváltozást leíró kitettség mutatók (pl. a tavaszi és nyári csapadékképek változékonysága, a növénynövekedési szakasz bekövetkezésének koraisága és a hőstressz) és a gazdálkodási gyakorlatok korrelálnak a gazdaságok sérülékenységeivel. Az organikus gazdálkodásra való áttérés hatására a sérülékenység a gazdálkodási gyakorlatoktól függ a leginkább.
Dalgaard et al. 2015	Európai országok, Kelet-Ázsia	Cobb–Douglas	A megfigyelt extrém klimatikus események hatására a termelékenység 5%-kal csökkent.
Deschenes–Greenstone 2007	USA	Hedonikus megközelítés	A klímaváltozás hatására a mezőgazdasági szektor profitrátája 4%-kal fog növekedni.
Huang et al. 2013	Kína	Döntéshozatali egység	A vizsgált tartományok az aszály hatására nagymértékű gazdasági veszteséget szenvedtek el. A gazdaságilag fejlettebb tartományok nagyobb kapacitással néznek szembe a katasztrófákkal, itt a gazdaságban mért hatások is szerényebbek, így ezek a régiók kevésbé sebezhetőek az időjárási kockázatokkal szemben.
Melkonyan–Asadoorian 2013	Örményország	Hasznossági függvény	A 2006-os aszály hatására a piaci veszteségek elérték a 7 milliárd USD-t, a kereslet-kínálat modell alapján a hasonló években a fő mezőgazdasági kultúrák 90%-os veszteséget szenvedhetnek el.
Mishra et al. 2015	Banglades	Translog	Az aszály negatívan, a csapadék pozitívan hat a hozamokra. A magas hőmérséklet önmagában nem, az extrém hőmérsékleti események nagymértékben befolyásolják a hozamkiesést. Az aszály és az árvizek rontják a technikai hatékonyságot a rizstermesztők esetében.
Mishra et al. 2018	Kambodzsa	Cobb–Douglas	Az aszályos területeken fekvő rizstermesztők technikai hatékonysága alacsonyabb. A talajminőség pozitívan hat a technikai hatékonyságra. A száraz évszakban termesztők hatékonysága magasabb (74%) a csapadékos évszakban termesztő társaiknál.
Mutabazi et al. 2015	Tanzánia	Egyéb	A magas természeti potenciállal rendelkező területeken lévő egy főre eső jövedelmek kétszer magasabbak a hátrányos természeti adottságokkal rendelkező területeken lévő jövedelmeknél.

Forrás: saját szerkesztés

4. táblázat. A klimatikus események fejlődési fázisokban bekövetkező hatásai

Szerző(k) és megjelenés éve	Ország/régió	Termelési függvény	Legfontosabb megállapítások
Arshad 2016	Pakisztán	Egyéb	A növekedési fázisban a 30°C feletti hőstíriesszes napok számának növekedése 35%-kal, a virágzás fázisában a növényeket érő 34°C feletti 230%-kal rontja a hozamokat. A csapadék hatása pozitív és szignifikáns.
Jiang–Koo 2014	USA	Egyéb	A kumulatív hőmérséklet-emelkedés a növekedési fázisban hatással van a hozamokra. Az időszakos negatív hőmérsékletek csak az USA közép- és keleti részén hatnak a hozamokra. A csapadék pozitívan hat a hozamokra a növekedési fázisban, kivételt képeznek azok az államok, ahol nedves klimatikus hatások állnak fenn.
Ochudho et al. 2014	Kanada	Stochasztikus termelési függvény	Az éghajlatváltozás hatásait kezelő tavaszi talajművelés pozitív-szignifikánsan hat a burgonyahozamokra. A hőmérséklet jobban befolyásolja a hozamokat, mint a csapadék. A vegetációs időszak növekedése hátrányos a burgonyahozamok esetében.
Qi et al. 2015	USA	Cobb–Douglas	A hőmérséklet emelkedése tavasszal és télen pozitívan, nyáron és ősszel negatívan hat a tejtermelők outputjára. A nyári és őszi csapadékmennyiség növekedése nincs kapcsolatban az outputokkal, a tavaszi és téli emelkedés káros a tejtermelőkre.

Forrás: saját szerkesztés

5. táblázat. A klímaváltozás és a humán erőforrások kapcsolata

Szerző(k) és megjelenés éve	Ország/régió	Termelési függvény	Legfontosabb megállapítások
Akhtar et al. 2018	Pakisztán	Hasznossági függvény	A klimatikus változások érzékelése magasabb az idősebb korú gazdálkodók, a kis családi vállalkozások és a gazdaságon kívüli jövedelemszerzés esetében.
Azumah et al. 2019	Ghána	Translog	Az öntözést végző gazdaságok hatékonyságuk a hagyományos farmoknál. A fiatalabb korú, női és magasabb tanulmányi háttérrel rendelkező gazdaságvezetők esetében csökken a hatékonyság.
Bai et al. 2019	Kína	Translog	A felsívatagi régiókban lévő háztartások technikai hatékonysága a klimatikus tényezők miatt alacsony. Az adaptációs lépések között, a magasabb állatlétszám növelte a háztartások technikai hatékonyságát.
Fatuase 2017	Nigéria	Cobb–Douglas	A tanulmányi évek számának növekedése, a meteorológiai információkhoz való hozzáfutás és az adaptációs eszközök számának bővülése negatív-szignifikánsan hat a nem hatékony működésre. A mezőgazdasági tapasztalat és a klímaváltozással kapcsolatos tudatosság előjele szintén negatív.
Giannakis–Bruggemann 2018	Több ország	Egyéb	A víz által előidézett talajerózió hatására a magasabb mezőgazdasági munkaerő-termelékenység esélye csökken. A hagyományos, esőre alapozott búzahozamok hatása pozitív, de statisztikailag nem szignifikáns.
Jan et al. 2012	Svájc	Egyéb	Azokban a gazdaságokban, ahol a családi munkaerő munkajövedelme magasabb, általában nagyobb valószínűséggel tanúsítanak ökohatékonyságot.
Keil et al. 2008	Indonézia	Cobb–Douglas	Az éghajlatváltozás hatására megváltozó rizskínálat csak korlátozottan hat a regionális piacokra. Az aszályal sújtott háztartások jelentős bevételkiesést tapasztalnak, még abban az esetben is, ha erőforrás-hatékony adaptációs lépéseket tesznek. A rizstermesztők kevésbé, míg a kakaótermesztők nagymértékben kitéttek az aszály káros hatásainak.
Tang et al. 2015	Kína	Translog	A gazdálkodók érzékelése az elérhető víz szűkösségéről, a víz áráról és az öntözési infrastruktúráról növeli, a termőföld tagoltsága csökkenti az öntözés allokációs hatékonyságát. A magasabb vízáruk miatti jövedelemkiesés pótolható az öntözés vízfelhasználás-hatékonyságának növelésével.

Forrás: saját szerkesztés

6. táblázat. A környezeti jellemzők megváltozásának hatásai

Szerzők és megjelenés éve	Ország/régió	Termelési függvény	Legfontosabb megállapítások
Bardaji–Iraizoz 2015	Franciaország, Olaszország, Spanyolország, Németország, Portugália	Translog	Átlagosan a hőmérséklet-emelkedés 7-25%-kal, a csapadékemelkedés 2%-kal rontotta a hozamokat minden vizsgált régióban. A melegebb régiókban a hőmérséklet emelkedése nagyobb mértékben rontja a hozamokat, mint a hidegebb régiókban.
Bekchanov–Lamers 2016	Üzbegisztán	Egyéb	A vízkínálat csökkenésének hatására Üzbegisztán jövedelmei 4,3-6,6%-kal, a nemzeti jövedelem 3,6-4,3%-kal csökkenhetnek.
Benedetti et al. 2019	Olaszország	Cobb–Douglas	A paradicsomtermesztés víz- és energiahatékonysága a legmagasabb más növénykultúrákhoz viszonyítva. Ez a technikai hatékonyság növekedését is előidézi, ezzel az olasz régiók az ágazat kiemelkedő szereplőivé válhatnak.
de Medeiros-Silva et al. 2019	Brazília	Egyéb	A hőmérséklet 1 °C-os növekedésének a hatására a cukorrépa-termelés 5,68%-kal csökkent, míg a csapadékmennyiség 1%-os növekedése a hozamok 2,77%-os növekedését idézte elő.
Dakpo–Lansink 2019	Franciaország	Távolsági függvény	A környezetre káros outputokat (pl. ÜHG) nem lehet figyelmen kívül hagyni. Az eredmény azt mutatja, hogy a hatékonyság jelentősen eltér a szennyezést generáló beruházási technológiák kigazistási költségeinek elszámolásakor.
Deschenes–Kolstad 2011	USA	Egyéb	A napi hőmérséklet 1 °C-os növekedése az átlaghoz képest 0,01-0,02 dollárral csökkenti az egy holdra eső profitot. A profitra mért klimatikus hatások becslése a napi átlaghőmérséklet növekedésére alapozva bonyolult és nem hoz egyértelmű eredményeket.
Gadanakis–Areal 2018	Egyesült Királyság	Egyéb	A gazdaságok által nem befolyásolható abiotikus tényezők figyelembevétele (pl. csapadékmennyiség, vegetációs időszak hossza) hat a technikai hatékonyság alakulására, ezáltal hozzájárul a gazdálkodók között felállított rangsor kialakításához.

Szerzők és megjelenés éve	Ország/régió	Termelési függvény	Legfontosabb megállapítások
Galanopoulos et al. 2011	Görögország	Döntés-hozatali egység	A hegyvidékeken működő, kedvezőtlen természeti adottságokkal rendelkező területek juh- és kecskeltartó gazdaságainak hatékonysága alacsony, 53%-os fejlesztési rés áll fenn. A vizsgált gazdaságok között csak két üzem bizonyult tökéletesen hatékonynak. A támogatások hatására csak a leggyengébben teljesítő (TE < 0,3) gazdaságok hatékonysága javult.
Galloway et al. 2018	Afrika	Döntés-hozatali egység	A tápanyag-felhasználás hatékonysága korrelál a teljes technikai hatékonysággal. Az éves összes csapadékmennyiség és a hatékonyság között nem létezik korreláció. Hatékonyságot növelő tényező az öntözött legelőrendszerek százalékos arányának növekedése.
Giannakis–Bruggeman 2018	EU	Egyéb	A mediterrán országok lényegesen alacsonyabb hozamokat produkálnak az északi országokhoz képest, ami a technikai hatékonyság romlását is előidézi. A déli országokban szintén magasabb a kedvezőtlen adottságú területek aránya.
Hoang–Coelli 2011	Több ország	Döntés-hozatali egység	A vizsgált években a legtöbb ország a környezeti problémák kezelését is beültette a politikai döntéshozatalba.
Khanjarpanah et al. 2017	Irán	Döntés-hozatali egység	Figyelembe véve a kritikus abiotikus tényezőket (pl. a talaj pH-értéke, éves csapadékmennyiség, éves átlagos napi középhőmérséklet), India Khouzestan és Fars régiói bizonyultak a leghatékonyabb vészös köles termesztő tartományoknak.
Kunimitsu et al. 2016	Japán	Malmquist	A legtöbb vizsgált adminisztratív egységben a hőmérséklet emelkedése rontotta a TFP-t. Az árvizek konstans negatív értéket vesznek fel, amelynek hatására a jövőben várható extrém csapadékesemények rontják a rizshozamokat.
Lachaud et al. 2017	Több ország	Cobb–Douglas	A hőmérséklet középértékének évközi variabilitása a maximum értéktől romlja a termelést. A csapadék évközi eltérése pozitívan hat az outputokra, ez az eredmény nem szignifikáns. A havi csapadékgyakorlás negatívan és szignifikánsan hat az outputokra.

Szerzők és megjelenés éve	Ország/régió	Termelési függvény	Legfontosabb megállapítások
Liang et al. 2017	USA	Egyéb	A TFP-változásra az 1951–1980-as időszak klimatikus hatásai nem szignifikánsak, míg 1981–2010-re ez a hatás drasztikus mértékben megváltozik a növekedési fázisban. A nyári időszak hidegbb hőmérséklete pozitívan hat az USA mezőgazdasági központjában. Az optimális küszöb feletti hőmérséklet a legfontosabb gabonák hozamaira károsan hat. A hőstressz a kötött állattartásban tartott állatokra is negatívan hat, megnövelve a termelési költségeket és a tökélerfordításokat, csökkentve a hús- és tejhozamokat, valamint az utódhozás mértékét.
Njuki et al. 2019	USA	Translog	A hőmérséklet marginális növekedése és a csapadék változékonysága az outputok csökkenését idézi elő. A hőmérséklet varianciájának növekedése növeli az outputokat.
Piot-Lepetit–Le Moing 2007	Franciaország	Malmquist	A sertéstartásban tapasztalt, 1997-ben bevezetett környezetvédelmi szabályozások rontották a termelési méretet és a hatékonyságot.
Poudel–Kotani 2013	Nepál	Sztochasztikus termelési függvény	A középhőmérséklet 10%-os emelkedése a rizshozamokat $-0,82\%$ -kal alakítja. A nyári középhőmérséklet és annak variabilitása negatívan, a tavaszi középhőmérséklet és annak variabilitása pozitívan hat a hozamokra. A magasabb területeken fekvő üzemek, szemben az alacsonyabban fekvőkkel, a hőmérséklet-növekedés hatására magasabb hozamokat produkálnak.
Power–Cacho 2014	Ausztrália	Sztochasztikus termelési függvény	A jelenleg rendelkezésre álló vízmennyiséghez igazodva a gazdaságok mérete optimális. A vegetációs időszak termelését a csapadék időzítése és mennyisége, az átlag- és extrém hőmérséklet, illetve a sugárzás mennyisége vesélyezteti.
Reidsma et al. 2009	Több ország	Translog	A hőmérséklet és csapadék hatása a mezőgazdasági termelésre regionális szinten eltérő, pl. Görögország és a skandináv államok esetében pozitív, Franciaországban negatív. A csapadék a legtöbb országban pozitívan hat a termelésre, kivéve a Benelux államokat, a skandináv államokat és az Egyesült Királyságot. Ezek a hatások az idő előrehaladtával növekednek.

Szerzők és megjelenés éve	Ország/régió	Termelési függvény	Legfontosabb megállapítások
Solano et al. 2006	Costa Rica	Sztochasztikus termelési függvény	A tejtermelők eltérő természeti környezeti feltételeik, pl. a talajtermékenység, a legelőminőség és a betegségek előfordulásának hatására a hatékonysági mutatók eltérők. A termelői profilok nem hatnak a hatékonyság alakulására.
Solís–Letson 2013	USA	Translog	A klimatikus változók figyelembevétele befolyásolja a technikai hatékonyság eredményeit. A klimatikus változékonyság hatására a növénytermesztés a leginkább érzékeny szektor, ezt követi az állattenyésztés és az erdőszet. A csapadéknövekedés hatása pozitív a növénytermesztésben és az állattenyésztésben egyaránt.
Verburg et al. 2000	Kína	Cobb–Douglas	A rizstermesztés esetében a hőmérséklet és a gépesítés között negatív, míg a munkaerő-intenzitás között pozitív korreláció áll fenn. A növekvő csapadék csökkenti, a magasabb csapadék növeli a hatékonyságot.
You et al. 2009	Kína	Cobb–Douglas	A hőmérséklet növekedése Kína tartományában negatívan hatott a búzázomokra. A vizsgált periódusban a vegetációs fázisban tapasztalt hőmérséklet-emelkedés 5–18 °C között alakult, aminek hatására a hozamok esőkkénese 5,6–20%.

Forrás: saját szerkesztés

7. táblázat. Az üzemi jellemzők hatásai

Szerzők és megjelenés éve	Ország/régió	Termelési függvény	Legfontosabb megállapítások
Barnes 2006	Egyesült Királyság	Döntéshozatali egység	Skócia nagyobb méretű állattalománnyal rendelkező üzemei magasabb hatékonysági szinten működnek kisebb méretű társaiknál. Azoknak az üzemeknek, amelyek a profitmaximalizáció és a beruházásnövelés mellett döntöttek, a technikai hatékonyságuk magasabb, mint azon gazdálkodók esetében, akik a nem gazdasági érdekeket tartják szem előtt.
Bouttes et al. 2018	Franciaország	Egyéb	A féltérmezetes gyepeken legeltetést végző állattartók gazdasági hatékonysága magasabb. Az organikus tejtermelők termelékenysége sérülékenyebb a klímatiszeszélyek hatására.
Capalbo et al. 2004	USA	Farmszintű lehetőség-költség	A gazdálkodók ösztönzése a rövid távú talaj szemcsejártó képességét elősegítő, ugyanakkor kevésbé jövedelmező gyakorlatok átállítására önfenntartó programmá válhat, mivel később hosszú távon elvezethetik a talajszerkezet növekedésének pozitív hatásait.
Khanal et al. 2018	Nepál	Cobb–Douglas	A klímaváltozás hatásainak leginkább kitétt dombos területeken az üzemvezető értékesítési tapasztalata, a magasabb termelési értéket előállítók és a diverz fajtaválaszték csökkentik a termésromlás kockázatát és javítják a hatékonyságot.
Li et al. 2008	Kína	Cobb–Douglas	Az éghajlatváltozás hatásainak kitétt felszárász régiókban a kevésbé képzett lakosság, a nem megfelelő mezőgazdasági beruházások romlják a leginkább a mezőgazdasági üzemek termelékenységét.
Ma et al. 2014	Kína	Translog	A vizsgált gazdaságok tápanyag-gazdálkodásának hatékonysága negatív kapcsolatban van az üzemi hatékonysággal. A klimatikus kockázati attritúd hatására a gazdálkodók hatékonyabb tápanyag-utánpótlást végeznek, szívesebben alkalmaznak új fajtákat és gazdálkodási eszközöket.
Makombe et al. 2007	Etiópia	Translog	Az öntözést alkalmazó gazdálkodók tízszer hatékonyabbak a hagyományos esőalapú gazdálkodóknál. A hagyományos gazdaságok alacsony hatékonysága azt mutatja, hogy a hatékonyság növelése nem a meglévő termelési rendszerekben, hanem új beavatkozások bevezetésében rejlik.

Szerzők és megjelenés éve	Ország/régió	Termelési függvény	Legfontosabb megállapítások
Mayberry et al. 2017	Etiópia, India	Cobb–Douglas	Az indiai hagyományos és öntözött gazdaságok hozamai nem mutatnak nagymértékű eltérést. A genetikai állomány és a tápanyag-utánpótlás elegendő a hozamkiesés pótlására. A takarmányalapú gazdaságok esetében a beavatkozások sikeressége a klimatikus hatások miatt korlátozott.
Mohammadi et al. 2015	Irán	Döntés-hozatali egység	A rizstermesztés esetében a talajkezelésben alkalmazott kibocsátás-csökkenő eszközök rendelkeznek a legnagyobb potenciállal. A tavaszi termesztési rendszerek technikai hatékonysága magasabb a nyári időzítési rendszerekkel szemben.
Mohan et al. 2019	Több ország	Cobb–Douglas	A magasabb területeken működő gazdaságok magasabb hatékonysággal jellemezhetők. A természeti katasztrófák után adott közberuházások és külföldi tőke csak rövid távon javíthatja a termelés hatékonyságát. Az átlagos esapadék és hőmérséklet nem hat a hatékonyságra.
Pourzand–Bakhshoodeh 2014	Irán	Cobb–Douglas, Translog	Azokban a régiókban, ahol a fenntarthatóság feltételei jobban teljesülnek, a technikai hatékonyság is magasabb értéket ér el a nem fenntartható régiókkal szemben. Az inputfelhasználás hatékonyságának javítása, pl. a túlzott műtrágya-felhasználás elkerülése javíthatja a hatékonyságot.
Regan et al. 2019	USA	Egyéb	Az adaptációs kapacitás előre jelzi a hozamokat. Azokban az országokban, ahol alacsony, a terméshozamok 47%-a elveszhet, míg ahol magas, csak 13%-os csökkenés következhet be a többéves aszály hatására.
Yao–Li 2010	Kína	Egyéb	A lejtős földtalakítási program indulásától a régió TFP-mértéke csökkent. A csökkenést nem a program hatásai okozták, helyette hozzájárultak annak növekedéséhez. Az eredmények rávilágítanak arra, hogy a környezeti állapot javítása és a termelékenység növelése együtt is lehetséges.
Yaqubi et al. 2016	Irán	Távolsági függvény	A vizsgált gazdaságok esetében szignifikáns és számottevő mértékű változókonyság figyelhető meg a technikai hatékonyságban. A költségek növekedése nélkül, a gazdálkodási gyakorlatok átalakításával van helye a hatékonyság javításának. Az alkalmazott rizsfajták megváltoztatása jelen helyzetben nem növeli a hatékonyságot.

Forrás: saját szerkesztés

8. táblázat. A burkoltgömbbe elemzés eredményei

Vizsgált régió	Szerzők	Minta elemszám	Vizsgálati egység	Inputok	Outputok	Átlagos TH
Észak-Európa	Barnes 2006	61 üzem	Állománypótlások, legeltetési terület, takarmány, munkaerő, műtrágya, gépköltségek		Tejhozam	0,840
	Gadanakis-Areal 2018	245 üzem	Megművelt terület, munkaórák, vetőmagköltség, termesztési időszak, április-augusztus közötti csapadék		Bruttó hozzáadott érték	0,750
	Hoang 2013	30 ország	Munkaerő, gépköltségek, vízfelhasználás, takarmánymennyiség, termőterület, tápanyag-utánpótlás		Fisher mennyiségi index	0,723
Dél-Európa	Galanopoulor et al. 2011	320 üzem	Állatlétszámok, legeltetési napok száma, fejesi napok száma, Szálastakarmány aránya		Bruttó hozzáadott érték támogatással és támogatás nélkül	0,495
	Hoang 2013	30 ország	Munkaerő, gépköltségek, vízfelhasználás, takarmánymennyiség, termőterület, tápanyag-utánpótlás		Fisher mennyiségi index	0,723
	Dakpo-Lansink 2019	170 üzem	Tőkeállomány, bruttó termelési érték, számosság egység, működési költségek		Termőföld, munkaerő	0,860
Nyugat-Európa	Hoang 2013	30 ország	Munkaerő, gépköltségek, vízfelhasználás, takarmánymennyiség, termőterület, tápanyag-utánpótlás		Fisher mennyiségi index	0,723
	Jan et al. 2012	56 üzem	Nem megújuló energiaforrás, eutrofizációs potenciál, vízi toxicitási potenciál, emberi toxicitási potenciál, földhasználat		Családi munkaerő jövedelme	0,350
	Piot-Lepetit-Le Moing 2007	320 üzem	Termőföld, munkaerő, gépek és berendezések értéke, épületek és területfejlesztések, folyó termelőfelhasználás és állományméret		Megtermelt húsmennyiség élő súlyban, ÜHG-kibocsátás mennyisége	0,853

Vizsgált régió	Szerzők	Minta elemszám	Vizsgálati egység	Inputok	Outputok	Átlagos TH
	Hoang 2013	30 ország		Munkaerő, gépkölségek, vízfelhasználás, takarmánymennyiség, termőterület, tápanyag-utánpótlás	Fisher mennyiségi index	0,723
Nyugat-Ázsia	Khanjarpanah et al. 2017	28 tartomány		Termőföldérték	Éves csapadékmennyiség, vízi erőforrások, sivatagos és félsivatagos területek, megművelt terület, népesség, munkanélküliség, üzemanyag-mennyiség	0,452
	Mohammadi et al. 2015	82 üzem		Munkaerő, gépbereendezés működési ideje, felhasznált üzemanyag, vízmennyiség, elektromos áram, kemikáliák, tápanyagok és vetőmag	Rizstermés	0,755
	Yaqubi et al. 2016	376 üzem		Betakarított terület, munkaerő, gépek működési ideje, vetőmag, műtrágya és növényvédő szerek	Betakarított rizstermés, nettó felmelegedési index, nitrogénfelesleg	0,917
Kelet-Ázsia	Hoang 2013	30 ország		Munkaerő, gépkölségek, vízfelhasználás, takarmánymennyiség, termőterület, tápanyag-utánpótlás	Fisher mennyiségi index	0,723
	Huang et al. 2013	31 tartomány		Környezeti háttérállapot	Természeti katasztrófa miatti veszteség	0,838
Afrika	Galloway et al. 2018	43 üzem		Takarmány, állomány nagyság, öntözött terület, tápanyag-utánpótlás	Energiakorrigált tejtermelés	0,830
Kanada						
Kelet-Európa	Hoang 2013	30 ország		Munkaerő, gépkölségek, vízfelhasználás, takarmánymennyiség, termőterület, tápanyag-utánpótlás	Fisher mennyiségi index	0,723
Észak-Amerika						
Dél-Amerika						

Forrás: saját szerkesztés

9. táblázat. A vizsgált cikkek adatforrásai

Megjelenés gyakorisága	Adatforrás típusa	Konkrét források
29	Nemzeti hivatalok	African National Resource Inventory, Agri-Business Promotion and Statistics Division (ABPSD), Agriculture and Agri-Food Canada (AAFC), Armenian National Rescue Service (ANRS), Armenian State Hydrometeorological and Monitoring Service (ASHMS), Australian Bureau of Meteorology (BOM), Bangladesh Agricultural Research Council (BRAC), Center for Economic Research of Uzbekistan, Ethiopian Institute of Agricultural Research (EIAR), French National Institute of Agricultural Research (INRA), Government of Nepal, Institute for Natural Resources and Regional Planning, Institute of Geography and Statistics (IBGE), Istat, Japan Statistics Bureau of Ministry of Public Management, Forestry and Fishery (MAFF), Local Statistical Yearbook, Ministry of Agriculture, National Bureau of Statistics of China, National Statistical Service of Republic of Armenia (NSSRA), Nepal Ministry of Environment, State Statistics Yearbook (1979–2002) and China's Rural Statistical Yearbook (1979–2002), Statistical Yearbook of Bangladesh, USDA National Agriculture Statistics Service
23	Szerzők primer adatgyűjtése	Szerzők által gyűjtött adatok különböző formákban
18	Nemzetközi adatbázisok	Eurostat, FADN, FAO Clim-net, FAOSTAT, OECD, Word Bank Development indicator database, Word Bank Knowledge Portal, International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT), Organization of the Petroleum Exporting Countries (OPEC), World Penn
10	Egyéb kutatások szekunder forrásai	Agricultural Production System Simulator (APSIM), Household income and expenditure survey (HIES), Néesség – McEvedy and Jones (1978), Notre Dame Global Adaptation Initiative (ND-GAIN), Programme de Maîtrise de la Pollution d'Origine Agricole (PMPOA), Social Sciences Division of the International Rice Research Institute (IRRI), Spatial Climate Analysis Service at Oregon State University for the National Oceanic and Atmospheric Administration, Major Land Resource Area (MLRA), University of Wisconsin-Madison Center for Dairy Profitability (AgFA), Woodlands Dairy's Sustainability Project

Forrás: saját szerkesztés

A különböző forrásból származó adatok rávilágítanak arra, hogy számos kihasználatlan adat áll rendelkezésre a téma kutatására. Ugyanakkor, jellemzően a fejlődő országokban: Pakisztán (Akhtar et al. 2018), Ghána (Azumah et al. 2019), Nigéria (Fatuase 2017), Indonézia (Keil et al. 2008), Nepál (Khanal et al. 2018), Etiópia (Makombe et al. 2007), Tanzánia (Mutabazi et al. 2015) esetében a szerzők saját adatgyűjtést végeztek az adott régióban rendelkezésre álló adathiány kezelésére. Az adatok típusai alapján is elkülöníthető adatforrásminták rajzolódnak ki. Míg a gazdasági adatok főleg nemzeti adatbázisokon és primer gyűjtéseken alapulnak, addig a vizsgált terület biofizikai jellegű adatai (meteorológiai és talajminőségi változók) szekunder adatok meglétét feltételezik.

A kutatók a saját primer adatgyűjtésből származó eredményeiket kiegészíthetik a nemzetközi adatbázisokban jegyzett adatokkal, annak érdekében, hogy közös adatbázisokat hozzanak létre, ezzel segítve az egyébként sem túl gyakori nemzetközi összehasonlítások számának növekedését.

Összegzés, korlátok és jövőbeni kutatási javaslatok

Jelen tanulmányban a klímaváltozásnak a mezőgazdasági termelők teljesítményére gyakorolt hatását vizsgáló kutatásokat bemutató, 2000 és 2019 között publikált cikkeket tekintettük át. Ezek alapján megállapíthatjuk, hogy a mezőgazdasági folyamatokra az extrém klimatikus események közvetlen hatásai, a fejlődési fázisok átalakulása, a humán erőforrás klímapercepciója és befolyása a gazdálkodásra, a környezeti és az abiotikus feltételek megváltozása, valamint az üzemek jellemzői hatnak a leginkább.

A téma relevanciáját a megjelent cikkek számának növekedése mutatja, a vizsgált közel húszéves periódusban a közlemények 57 százalékát az utóbbi öt évben közölték. A cikkek leggyakrabban környezeti témákkal foglalkozó folyóiratokban jelentek meg. Az esetek több mint 96 százalékában a kutatók üzemi szintű adatokon keresztül vizsgálták a mezőgazdasági termelők szintjén bekövetkező változásokat.

Az elemzés alapján a rendelkezésre álló irodalom földrajzi hatókörét is megismerhetjük. A leggyakrabban vizsgált területek az USA, Ázsia, Nyugat-Európa és Dél-Európa országaiból származnak, a közép-kelet-európai régiók alulkutatottak maradtak. A téma további kutatását indokolja, hogy a klíma-előrejelzések szerint a legnagyobb bizonytalanság ezekben a régiókban jellemző.

A növénytermesztésben bekövetkező hatások számszerűsítése a leggyakoribb, ezt a teljes mezőgazdaságot vizsgáló értékelések követik, a sort az állattenyésztési ágazat zárja. Ez nem meglepő, hiszen Solís és Letson (2013) szerint a klimatikus változékonyság hatására a növénytermesztés a leginkább érzékeny szektor, ezt követi az állattenyésztés és az erdőszet.

Az eredmények szerint a legmagasabb átlagos érték a nyugat-európai és észak-európai régiókban volt.

Az áttekintésnek számos korlátja van. A kereső stratégia első körében csak a cikkek címe, absztraktja és kulcsszavai kerültek szűrésre, ami azt jelenti, hogy néhány releváns irodalom kikerülhetett a fókuszról. A keresési stratégia erőteljes tudományos fókusszal rendelkezik, amely alapján elsősorban a lektorált és az említett adatbázisokban megjelent cikkek kiválasztása történt meg, ezzel együtt kikerülhettek olyan közlemények is, amelyek jelenleg még a szürke irodalom vagy nem vizsgált adatbázisok részét képezik (Dalgaard et al. 2015; Kunimitsuet al. 2016; Liang et al. 2017). A keresés során csak az angol nyelvű cikkeket vettük figyelembe, ezért más nyelven íródott releváns tanulmányokat kizártunk a keresésből.

A téma heterogén kutatási irányainak szűkítése miatt az éghajlatváltozás témakörén kívül eső, a termelési függvény módszerén kívüli, az energiahatékonyságot vizsgáló, az áttekintő (review), az üvegházhatású gázok kibocsátása és a hatékonyság közötti kapcsolat feltárását végző, valamint az előrejelzést alkalmazó témák sem képezik részét jelen áttekintésnek.

Irodalomjegyzék

Akhtar, S.–Li, G.–Ullah, R.–Nazir, A.–Iqbal, M. A.–Raza, M. H.–Iqbal, N.–Faisal, M. 2018. Factors influencing hybrid maize farmers' risk attitudes and their perceptions in Punjab Province, Pakistan. *Journal of Integrative Agriculture* 17(6), 1454–1462.

Arshad, M.–Amjath-Babu, T. S.–Krupnik, T. J.–Aravindakshan, S.–Abbas, A.–Kaechele, H.–Müller, K. 2016. Climate variability and yield risk in South Asia's rice–wheat systems: emerging evidence from Pakistan. *Paddy Water Environment* 15, 249–261.

Azumah, S. B.–Donkoh, S. A.–Awuni, J. A. 2019. Correcting for sample selection in stochastic frontier analysis: Insights from rice farmers in Northern Ghana. *Agricultural and Food Economics* 7(1), 9–23.

Bai, Y.–Deng, X.–Jiang, S.–Zhao, Z.–Miao, Y. 2019. Relationship between climate change and low-carbon agricultural production: A case study in Hebei Province, China. *Ecological Indicators* 105, 438–447.

Bardaji, I.–Iraizoz, B. 2015. Uneven responses to climate and market influencing the geography of high-quality wine production in Europe. *Regional Environmental Change* 15(1), 79–92.

Barnes, A. P. 2006. Does multi-functionality affect technical efficiency? A non-parametric analysis of the Scottish dairy industry. *Journal of Environmental Management* 80, 287–294.

Bekchanov, M.–Lamers, J. P. A. 2016. Economic costs of reduced irrigation water availability in Uzbekistan (Central Asia). *Regional Environmental Change* 16, 2369–2387.

Benedetti, I.–Branca, G.–Zucaro, R. 2019. Evaluating input use efficiency in agriculture through a stochastic frontier production: An application on a case study in Apulia (Italy). *Journal of Cleaner Production* 236(2), 117609.

Bouttes, M.–San Cristobal, M.–Martin, G. 2018. Vulnerability to climatic and economic variability is mainly driven by farmers' practices on French organic dairy farms. *European Journal of Agronomy* 94, 89–97.

Capalbo, S.–Antle, J.–Mooney, S.–Paustiand, K. 2004. Sensitivity of Carbon Sequestration Costs to Economic and Biological Uncertainties. *Environmental Management* 33(S1), 238–251.

Chavas, D. R.–Izaurrealde, R. C.–Thomson, A. M.–Gao, X. 2009. Long-term climate change impacts on agricultural productivity in eastern China. *Agricultural and Forest Meteorology* 149(6–7), 1118–1128.

Dakpo, K. H.–Lansink, A. O. 2019. Dynamic pollution-adjusted inefficiency under the by-production of bad outputs. *European Journal of Operational Research* 276(1), 202–211.

Dalgaard, C.–Hansen, C. W.–Kaarsen, N. 2015. Climate Shocks and (Very) Long-Run Productivity. *SSRN Electronic Journal* <https://doi.org/10.2139/ssrn.2665151>.

de Medeiros-Silva, W. K.–de Freitas, G. P.–Coelho, L. M. J.–de Almeida Pinto, P. A. L.–Abrahão, R. 2019. Effects of climate change on sugarcane production in the state of Paraíba (Brazil): a panel data approach (1990-2015). *Climatic Change* 154, 195–20.

Deschenes, O.–Greenstone, M. 2007. The Economic Impacts of Climate Change: Evidence from Agricultural Output and Random Fluctuations in Weather. *The American Economic Review* 97(1), 354–385.

Deschenes, O.–Kolstad, C. 2011. Economic impacts of climate change on California agriculture. *Climatic Change* 109, 36–386.

Fatuase, A. I. 2017. Climate change adaptation: A panacea for food security in Ondo State, Nigeria. *Theoretical and Applied Climatology* 129(3–4), 939–947.

Gadanakis, Y.–Areal, F. J. 2018. Accounting for rainfall and the length of growing season in technical efficiency analysis. *Operational Research* (2018) <https://doi.org/10.1007/s12351-018-0429-7>.

Galanopoulos, K.–Abas, Z.–Laga, V.–Hatziminaoglou, I.–Boyazoglu, J. 2011. The technical efficiency of transhumance sheep and goat farms and the effect of EU subsidies: Do small farms benefit more than large farms? *Small Ruminant Research* 100(1), 1–7.

Galloway, C.–Conradie, B.–Prozesky, H.–Esler, K. 2018. Are private and social goals aligned in pasture-based dairy production? *Journal of Cleaner Production* 175, 402–408.

Giannakis, E.–Bruggeman, A. 2018. Exploring the labour productivity of agricultural systems across European regions: A multilevel approach. *Land Use Policy* 77, 94–106.

Hatfield, J. L.–Prueger, J. H. 2015. Temperature extremes: Effect on plant growth and development. *Weather and Climate Extremes* 10, 4–10.

Hoang, V. N.–Coelli, T. 2011. Measurement of agricultural total factor productivity growth incorporating environmental factors: A nutrients balance approach. *Journal of Environmental Economics and Management* 62, 462–474.

Hoang, V.-N. 2013. Analysis of productive performance of crop production systems: An integrated analytical framework. *Agricultural Systems* 116, 16–24.

Huang, J.–Liu, Y.–Ma, L.–Su, F. 2013. Methodology for the assessment and classification of regional vulnerability to natural hazards in China: The application of a DEA model. *Natural Hazards* 65(1), 115–134.

Jan, P.–Dux, D.–Lips, M.–Alig, M.–Dumondel, M. 2012. On the link between economic and environmental performance of Swiss dairy farms of the alpine area. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 17(6), 706–719.

Jiang, Y.–Koo, W. W. 2014. Estimating the local effect of weather on field crop production with unobserved producer behavior: a bioeconomic modeling framework. *Society for Environmental Economics and Policy Studies* 16(3), 279–302.

Kamarási, V.–Mogyorósy, G. 2015. Szisztematikus irodalmi áttekintések módszertana és jelentősége. *Orvosi Hetilap* 156(38), 1523–1531.

Keil, A.–Zeller, M.–Wida, A.–Sanim, B.–Birner, R. 2008. What determines farmers' resilience towards ENSO-related drought? An empirical assessment in Central Sulawesi, Indonesia. *Climatic Change* 86(3–4), 291–307.

Khanal, U.–Wilson, C.–Lee, B.–Hoang, V.-N. 2018. Do climate change adaptation practices improve technical efficiency of smallholder farmers? Evidence from Nepal. *Climatic Change* 147(3–4), 507–521.

Khanjarpanah, H.–Pishvaei, M. S.–Seyedhosseini, S. M. 2017. A risk averse cross-efficiency data envelopment analysis model for sustainable switchgrass cultivation location optimization. *Industrial Crops and Products* 109, 514–522.

Kunimitsu, Y.–Kudo, R.–Iizumi, T.–Yokozawa, M. 2016. Technological spillover in Japanese rice productivity under long-term climate change: Evidence from the spatial econometric model. *Paddy and Water Environment* 14(1), 131–144.

Lachaud, M. A.–Bravo-Ureta, B. E.–Ludena, C. E. 2017. Agricultural productivity in Latin America and the Caribbean in the presence of unobserved heterogeneity and climatic effects. *Climatic Change* 143(3–4), 445–460.

Li, X. L.–Luo, Y. Z.–Gao, Q.–Dong, S. C.–Yang, X. S. 2008. Farm Production Growth in the Upper and Middle Parts of the Yellow River Basin, China, During 1980–1999. *Agricultural Sciences in China* 7(3), 344–355.

- Liang, X.-Z.–Wu, Y.–Chambers, R. G.–Schmoldt, D. L.–Gao, W.–Liu, C.–Liu, Y.–A.–Sun, C.–Kennedy, J. A. 2017. Determining climate effects on US total agricultural productivity. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 114(12), E2285–E2292.
- Ma, L.–Feng, S.–Reidsma, P.–Qu, F.–Heerink, N. 2014. Identifying entry points to improve fertilizer use efficiency in Taihu Basin, China. *Land Use Policy* 37, 52–59.
- Makombe, G.–Kelemework, D.–Aredo, D. 2007. A comparative analysis of rainfed and irrigated agricultural production in Ethiopia. *Irrigation and Drainage Systems* 21(1), 35–44.
- Mayberry, D.–Ash, A.–Prestwidge, D.–Godde, C. M.–Henderson, B.–Duncan, A.–Blummel, M.–Ramana Reddy, Y.–Herrero, M. 2017. Yield gap analyses to estimate attainable bovine milk yields and evaluate options to increase production in Ethiopia and India. *Agricultural Systems* 155, 43–51.
- Melkonyan, A.–Asadoorian, M. O. 2014. Climate impact on agroecology in semiarid region of Armenia. *Environment, Development and Sustainability* 16, 393–414.
- Mishra, A. K.–Bairagi, S.–Velasco, M. L.–Mohanty, S. 2018. Impact of access to capital and abiotic stress on production efficiency: Evidence from rice farming in Cambodia. *Land Use Policy* 79, 215–222.
- Mishra, A. K.–Mottaleb, Kh. A.–Khanal, A. R.–Mohanty, S. 2015. Abiotic stress and its impact on production efficiency: The case of rice farming in Bangladesh. *Agriculture, Ecosystems Environment* 199, 146–153.
- Mohammadi, A.–Rafiee, S.–Jafari, A.–Keyhani, A.–Dalgaard, T.–Knudsen, M. T.–Nguyen, T. L. T.–Borek, R.–Hermansen, J. E. 2015. Joint Life Cycle Assessment and Data Envelopment Analysis for the benchmarking of environmental impacts in rice paddy production. *Journal of Cleaner Production* 106, 521–532.
- Mohan, P. S.–Spencer, N.–Strobl, E. 2019. Natural Hazard-Induced Disasters and Production Efficiency: Moving Closer to or Further from the Frontier? *International Journal of Disaster Risk Science* 10(2), 166–178.
- Moher, D.–Liberati, A.–Tetzlaff, J.–Altman, D. G.–The PRISMA Group 2009. Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. *PLoS Med* 6(7): e1000097.
- Mutabazi, K. D.–Sieber, S.–Maeda, C.–Tscherning, K. 2015. Assessing the determinants of poverty and vulnerability of smallholder farmers in a changing climate: The case of Morogoro region, Tanzania. *Regional Environmental Change* 15(7), 1243–1258.
- Njuki, E.–Bravo-Ureta, B. E.–O'Donnell, C. J. 2019. Decomposing agricultural productivity growth using a random-parameters stochastic production frontier. *Empirical Economics* 57(3), 839–860.
- Ochuodho, T. O.–Olale, E.–Van Damboise, A. L. J.–Daigle, J. L.–Meng, F. R.–Li, S.–Chow, T. L. 2014. How do soil and water conservation practices influence climate change impacts on potato production? Evidence from eastern Canada. *Regional Environmental Change* 14, 1563–1574.
-

Piot-Lepetit, I.–Le Moing, M. 2007. Productivity and environmental regulation: the effect of the nitrates directive in the French pig sector. *Environmental and Resource Economy* 38, 433–446.

Poudel, S.–Kotani, K. 2013. Climatic impacts on crop yield and its variability in Nepal: do they vary across seasons and altitudes? *Climatic Change* 116, 327–355.

Pourzand, F.–Bakhshoodeh, M. 2013. Technical efficiency and agricultural sustainability–technology gap of maize producers in Fars province of Iran. *Environment, Development and Sustainability* 16, 671–688.

Power, B.–Cacho, O. J. 2014. Identifying risk-efficient strategies using stochastic frontier analysis and simulation: An application to irrigated cropping in Australia. *Agricultural Systems* 125, 23–32.

Qi, L.–Bravo-Ureta, B. E.–Cabrera, V. E. 2015. From cold to hot: Climatic effects and productivity in Wisconsin dairy farms. *Journal of Dairy Science* 98(12), 8664–8677.

Regan, P. M.–Kim, H.–Maiden, E. 2019. Climate change, adaptation, and agricultural output. *Regional Environmental Change* 19, 113–123.

Reidsma, P.–Oude Lansink, A.–Ewert, F. 2009. Economic impacts of climatic variability and subsidies on European agriculture and observed adaptation strategies. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 14(1), 35–59.

Solano, C.–León, H.–Pérez, E.–Tole, L.–Fawcett, R. H.–Herrero, M. 2006. Using farmer decision-making profiles and managerial capacity as predictors of farm management and performance in Costa Rican dairy farms. *Agricultural Systems* 88(2), 395–428.

Solis, D.–Letson, D. 2013. Assessing the value of climate information and forecasts for the agricultural sector in the Southeastern United States: Multi-output stochastic frontier approach. *Regional Environmental Change* 13(S1), 5–14.

Spinoni, J.–Naumann, G.–Vogt, J.–Barbosa, P. 2015. European drought climatologies and trends based on a multi-indicator approach. *Global and Planetary Change* 127, 50–57.

Tang, J.–Folmer, H.–Xue, J. 2015. Technical and allocative efficiency of irrigation water use in the Guanzhong Plain, China. *Food Policy* 50, 43–52.

Trapp, N. 2014. *The Economic Impacts of Climate Change and Options for Adaptation: A Study of the Farming Sector in the European Union*. Max Planck Institute for Meteorology, Hamburg. <http://ediss.sub.uni-hamburg.de/volltexte/2014/7069/>, letöltve: 2016. 02. 10.

Trnka, M.–Olesen, J. E.–Kersebaum, K. C.–Skjelvåg, A. O.–Eitzinger, J.–Seguin, B.–Peltonen-Sainio, P.–Rötter, R.–Iglesias, A.–Orlandini, S.–Dubrovský, M.–Hlavinka, P.–Balek, J.–Eckersten, H.–Cloppet, E.–Calanca, P.–Gobin, P.–Vučetić, V.–Nejedlik, P.–Kumar, S.–Lalic, B.–Mestre, A.–Rossi, F.–Kozyra, J.–Alexandrov, V.–Semerádová, D.–Žalud, Z. 2011. Agroclimatic conditions in Europe under climate change. *Global Change Biology* 17(7), 2298–2318.

Verburg, P. H.–Chen, Y.–Veldkamp, T. A. 2000. Spatial explorations of land use change and grain production in China. *Agriculture, Ecosystems Environment* 82(1), 333–354.

Wooldridge, J. M. 2012. Introductory econometrics: a modern approach. Mason, OH: South-Western Cengage Learning.

Yao, S.–Li, H. 2010. Agricultural Productivity Changes Induced by the Sloping Land Conversion Program: An Analysis of Wuqi County in the Loess Plateau Region. *Environmental Management* 45, 541–550.

Yaqubi, M.–Shahraki, J.–Sabouhi Sabouni, M. 2016. On dealing with the pollution costs in agriculture: A case study of paddy fields. *Science of The Total Environment* 556, 310–318.

You, L.–Rosegrant, M. W.–Wood, S.–Sun, W. 2019. Impact of growing season temperature on wheat productivity in China. *Agricultural and Forest Meteorology* 149, 1009–1014.
