

Közzététel: 2021. május 12.

A tanulmány címe:

A mezőgazdaság szerepe a klímaváltozásban – Nemzetközi kitekintés

Szerzők:

BALOGH JEREMIÁS MÁTÉ, a Budapesti Corvinus Egyetem egyetemi adjunktusa

E-mail: jeremias.balogh@uni-corvinus.hu

BORDA ÁRON, a Budapesti Corvinus Egyetem MSc-hallgatója

E-mail: aron.borda@stud.uni-corvinus.hu

DOI: <https://doi.org/10.20311/stat2021.5.hu0427>

Az alábbi feltételek érvényesek minden, a Központi Statisztikai Hivatal (a továbbiakban: KSH) Statisztikai Szemle c. folyóiratában (a továbbiakban: Folyóirat) megjelenő tanulmányra. Felhasználó a tanulmány vagy annak részei felhasználásával egyidejűleg tudomásul veszi a jelen dokumentumban foglalt felhasználási feltételeket, és azokat magára nézve kötelezőnek fogadja el. Tudomásul veszi, hogy a jelen feltételek megszegéséből eredő valamennyi kárért felelősséggel tartozik.

1. A jogszabályi tartalom kivételével a tanulmányok a szerzői jogról szóló 1999. évi LXXVI. törvény (Sztj.) szerint szerzői műnek minősülnek. A szerzői jog jogosultja a KSH.
2. A KSH földrajzi és időbeli korlátozás nélküli, nem kizárólagos, nem átadható, térítésmentes felhasználási jogot biztosít a Felhasználó részére a tanulmány vonatkozásában.
3. A felhasználási jog keretében a Felhasználó jogosult a tanulmány:
 - a) oktatási és kutatási célú felhasználására (nyilvánosságra hozatalára és továbbítására a 4. pontban foglalt kivétellel) a Folyóirat és a szerző(k) feltüntetésével;
 - b) tartalmáról összefoglaló készítésére az írott és az elektronikus médiában a Folyóirat és a szerző(k) feltüntetésével;
 - c) részletének idézésére – az átvevő mű jellege és célja által indokolt terjedelemben és az eredetihez híven – a forrás, valamint az ott megjelölt szerző(k) megnevezésével.
4. A Felhasználó nem jogosult a tanulmány továbbértékesítésére, haszonszerzési célú felhasználására. Ez a korlátozás nem érinti a tanulmány felhasználásával előállított, de az Sztj. szerint önálló szerzői műnek minősülő mű ilyen célú felhasználását.
5. A tanulmány átdolgozása, újra publikálása tilos.
6. A 3. a)–c.) pontban foglaltak alapján a Folyóiratot és a szerző(ke)t az alábbiak szerint kell feltüntetni:

„*Forrás: Statisztikai Szemle c. folyóirat 99. évfolyam 5. számában megjelent, Balogh Jeremiás Máté, Borda Áron által írt, 'A mezőgazdaság szerepe a klímaváltozásban – Nemzetközi kitekintés' című tanulmány (link csatolása)*”

7. A Folyóiratban megjelenő tanulmányok kutatói véleményeket tükröznek, amelyek nem esnek szükségképpen egybe a KSH vagy a szerzők által képviselt intézmények hivatalos álláspontjával.

Balogh Jeremiás Máté – Borda Áron

A mezőgazdaság szerepe a klímaváltozásban – Nemzetközi kitekintés*

Role of agriculture in climate change – A global perspective

BALOGH JEREMIÁS MÁTÉ, a Budapesti Corvinus
Egyetem egyetemi adjunktusa
E-mail: jeremias.balogh@uni-corvinus.hu

BORDA ÁRON, a Budapesti Corvinus Egyetem
MSc-hallgatója
E-mail: aron.borda@stud.uni-corvinus.hu

A klímaváltozás okozta környezeti hatások következményeinek orvoslása egyre sürgetőbb feladat napjainkban. Az üvegházhatású gázok (ÜHG-k) légköri koncentrációjának növekedését az iparosodás óta elsősorban az emberi tevékenység befolyásolja, a globális ÜHG-kibocsátás közel háromnegyedét az antropogén szén-dioxid-kibocsátás teszi ki. Nagy mennyiségű ÜHG (szén-dioxid, metán, dinitrogén-oxid) szabadul fel többek között a mezőgazdasági termelés során is, aminek hosszú távon negatív következményei lehetnek.

A szerzők kutatásának fő célja, hogy a földrajzi elhelyezkedést (a szennyezés földrajzi tényezőjét) is figyelembe véve, panel regressziós elemzés segítségével feltárja, milyen hatást gyakorolt globálisan az állattenyésztés, a növénytermesztés (termőterület, rizstermesztés), a mezőgazdaság fejlettsége és az agrárexport az egy főre jutó ÜHG-kibocsátásra az 1961 és 2016 közötti időszakban.

TÁRGYSZÓ: ÜHG-kibocsátás, agrárkereskedelem, földrajzi tényezők

Cutting greenhouse gases (GHGs) from human activities is urgent. Approximately three-quarters of global GHG emissions come from anthropogenic carbon dioxide emissions. Agricultural activities also release large amounts of greenhouse gases affecting adversely the Earth's climate. According to the researchers, one third of total methane emissions come from agricultural activities.

This study aims to explore the global effects of agriculture-related activities (animal husbandry, crop production [area of production, rice production], level of agricultural development, agricultural exports) on climate change along with the geographic factors of GHG emissions. A panel regression estimation is performed by the authors for the period of 1961–2016.

KEYWORD: greenhouse gas emissions, agricultural trade, geographical factors

* Az elemzés a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal 128 232-es és 134 668-as számú, „A nemzetközi agrárkereskedelem környezetszennyező hatásainak elemzése” című kutatási projektek támogatásával készült.

Az ipari forradalom óta az ÜHG-k légköri koncentrációja elsősorban az ember tevékenységének eredményeként emelkedik. Az ÜHG-kibocsátás közel háromnegyede (73,2%) az energiafelhasználásból (ipar, villamos energia, fűtés és szállítás), 18,4 százaléka a mezőgazdaságból és a földhasználat-változásból¹, míg a fennmaradó 8,4 százalék az ipari termelésből és a hulladékkezelésből származik (Ritchie–Rosser [2021]). A Föld növekvő népessége egyre nagyobb élelmiszer-keresletet támaszt, ami jelentős kihívást jelent a mezőgazdaság számára, a termelés bővülésével párhuzamosan ugyanakkor a mezőgazdasági környezetterhelés is fokozódik. Ha a jelenlegi fogyasztási szokások és az élelmiszer-pazarlás mértéke nem változik, a világ népességgyarapodásának hatására az élelmiszerek iránti kereslet 2050-re akár 50 százalékkal is növekedhet, amelynek következtében a mezőgazdaság globális felmelegedéshez való hozzájárulása is nagyobb mértékű lesz (SAPEA [2020] 18. old.).

Az egy főre jutó jövedelem emelkedésének következtében az 1960-as évektől kezdve lényegesen megváltoztak az élelmiszer-fogyasztási szokások. Az emberek a keményítőben gazdag ételekről egyre inkább a több zöldséget, gyümölcsöt, húst és tejterméket tartalmazó étrendre tértek át. Az utóbbi fél évszázadban ezáltal különösen a fejlődő országokban erősen megnövekedett a húsfogyasztás (Kozák [2015]), és ehhez kapcsolódóan számottevően bővült az állattartáshoz szükséges takarmányok, valamint a feldolgozott húskészítmények kereskedelme is (Kearney [2010]). Ritchie [2019] megállapítja, hogy a világ hústermelése napjainkban közel ötször nagyobb, mint az 1960-as években volt, a fejlődő országokban pedig egyes előrejelzések szerint (például Steinfeld *et al.* [2006] 20. old.) 2050-re az 1990-es évekbeli kétszeresére növekedhet. Elsősorban a nyugati társadalmakban (az Egyesült Államokban, Kanadában, Nyugat-Európában) magas az egy főre jutó (főleg marha- és bárány-) húsfogyasztás. A hús termelése azonban számottevő víz- és energiafelhasználással jár, valamint nagymértékben hozzájárul a szén-dioxid- és metánkibocsátáshoz, jelentős mezőgazdasági környezetterhelést okozva.

Az állattenyésztés mellett a világ növénytermesztése is figyelemre méltó változáson ment keresztül: a termelés volumene az 1950-es/1960-as évektől kezdve számottevően növekedett az iparszerű termelési rendszerek elterjedésének és a Zöld Forradalomnak (Green Revolution) köszönhetően.

Az előbbieken túl fontos azt is hangsúlyozni, hogy a mezőgazdasági tevékenységek nemcsak jelentős ÜHG-kibocsátók, hanem egyben elnyelők is a talajban levő szer-

¹ A földhasználat-változás az a folyamat, amely során a Földön található természetes területeket az emberi tevékenység hatására gazdálkodási céllal átalakítják (például az erdőket kivágják, felégetik és termőfölddé, gyepterületté vagy legelővé alakítják).

ves anyagok és a biomasz szén-dioxid-tárolásának köszönhetően. Emellett a mezőgazdaságban és az erdőszetben termelődő biomasz energiaként vagy nyersanyagként történő felhasználásával szintén növelhető a biológiai úton megkötött szén mennyisége.

A 2015-ben aláírt Párizsi Éghajlatváltozási Egyezmény a globális felmelegedés mérséklésének és lassításának egyik mérföldköveként vált ismertté. Fő célja a világ figyelmének felhívása a klímaváltozás veszélyeire, és a globális átlaghőmérséklet emelkedésének jóval 2 °C, de lehetőség szerint 1,5 °C alatt tartása az iparosodás előtti szinthez képest (*UNFCCC* [2018]). A mezőgazdaság éghajlat-befolyásoló szerepére utalást – meghatározó jelentősége ellenére – azonban csak az egyezmény tárgyalási szövegeiben találhatunk, az ENSZ (Egyesült Nemzetek Szervezete) 2015. évi klímaváltozási konferenciáján elfogadott végleges változat az ágazatot meg sem említi.

Mindezek miatt elengedhetetlen azoknak az agráriumhoz köthető tényezőknek a vizsgálata, melyek leginkább szerepet játszanak a klímaváltozásban. Kutatásunkban a növénytermesztés (termőterület, rizstermesztés), az állattenyésztés (állatállomány nagysága, szervestrágyázás), a mezőgazdasági hozzáadott érték, valamint az agrárexport alakulása és az egy főre jutó ÜHG-kibocsátás közötti összefüggéseket tanulmányozzuk az 1961 és 2016 közötti időszak vonatkozásában, miközben figyelembe vesszük a környezetszennyezés földrajzi tényezőit is. Tanulmányunk egy kiegyensúlyozatlan panel adatbázisra épül.

1. Szakirodalmi háttér

Az ÜHG-kibocsátást az energiatermelés és a közlekedés után a mezőgazdaság befolyásolja leginkább, így hatásának vizsgálata népszerű kutatási területnek tekinthető, a témát tárgyaló szakirodalom pedig meglehetősen szerteágazó.

A Föld növekvő népességének élelmezése és a mezőgazdasági termelékenység javulása miatt az élelmiszer-termelés a XX. század közepe óta folyamatosan nő (*Burney–Davis–Lobell* [2010]). Az agrárium környezeti vonatkozásait több kutatás is elemezte (*Ozkan–Ozkan* [2012], *Bakhtiari–Hematian–Sharifi* [2015], *Asumadu–Sarkodie–Owusu* [2016], *Edoja–Aye–Abu* [2016], *Balogh–Jámbor* [2017], *Leitão* [2018], *Hongdou–Shiping–Hao* [2018]); ezek arra a következtetésre jutottak, hogy a mezőgazdasági termelés ÜHG-kibocsátása kedvezőtlenül befolyásolja az éghajlat és a természeti környezet változását. A tanulmányok egy része a mezőgazdaság teljes kibocsátását, valamint annak ágazatonkénti megoszlását vizsgálja. *Grace–Mitchard–Gloor* [2014] megállapítják, hogy a 2000 és 2005 közötti globális szén-dioxid-kibocsátás 7-14 százalékáért a mezőgazdaság volt felelős. Az *OECD* (Organisation for Economic Co-operation and Development – Gazdasági Együttműködési és Fejlesztési Szervezet) 2016-os számításai alapján az ÜHG-k 17 százaléka

közvetlenül a mezőgazdasági tevékenységek révén kerül a légkörbe, további 7-14 százalékot pedig a mezőgazdasági célú földhasználat-változás okoz. Az EU (Európai Unió) mezőgazdaságának hozzájárulása a klímaváltozáshoz körülbelül 10 százalékra tehető (EEA [2015]), az Egyesült Államoké 10,5 százalékra (USDA [2020]), míg Kínáé meghaladhatja a 15 százalékot is (Huang *et al.* [2019]).

A mezőgazdaság által kibocsátott ÜHG-k legnagyobb része – melyet elsősorban a metán és a dinitrogén-oxid alkot (EPA [2018]) – közvetlenül a termeléssel kapcsolatos tevékenységekből (például a túlzott föld-, gyom-, rovarirtószer- és műtrágyahasználatból, valamint az állattenyésztésből) származik, és számottevő környezetkárosító hatással bír (Hongdou–Shiping–Hao [2018] 24489 old.). Például a műtrágyák szántóföldi kijuttatása jelentős mértékben emeli a légkör dinitrogén-oxid-szintjét, míg az állattartásnak és hulladékainak a metán- és ammóniakibocsátásban van nagy szerepe (Li [2000], Parton *et al.* [2015]). A teljes metánkibocsátás csaknem egyharmadát azonban a növénytermesztés adja; többek között az elárasztott rizsföldek, valamint a biomassza elégetése terheli így a levegőt (Mosier *et al.* [1998]).

Egyes becslések szerint a haszonállat-állományhoz köthető globális ÜHG-kibocsátás (szén-dioxid-egyenértékben kifejezve) az összes antropogén kibocsátás körülbelül 14,5 százalékát teszi ki. A marhahús- és a (szarvasmarha-) tejtermelésből származik az ágazat kibocsátásának nagyobb, a sertés- és baromfihús-, valamint a tojástermelésből a kisebb része (FAO [2021]).

Egy másik, a mezőgazdasággal (földhasználat-változással) összefüggésben gyakran emlegetett tevékenység az erdőirtás. Az IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change – Éghajlatváltozási Kormányközi Testület) adatai alapján az AFOLU-szektor (agriculture, forestry, and other land use – mezőgazdaság, erdészet és egyéb földhasználat) az ÜHG-kibocsátás 24 százalékáért volt felelős 2010-ben (Smith *et al.* [2018]). Foley–Ramankutty–Brauman [2011] szerint a mezőgazdaság a trópusi erdőirtással és az állattenyésztési tevékenységgel összefüggő metánkibocsátás, a mezőgazdasági gépek használata, valamint a műtrágyázás révén a teljes ÜHG-emisszió 30-35 százalékát adja világszinten. Henders–Persson–Kastner [2015] és Leitão [2018] is kimutatták az intenzív mezőgazdasági tevékenység levegőszennyezést fokozó hatását az erdőirtások és a földhasználat változása következtében.

Bizonyos mezőgazdasági termékek nagyüzemi előállítása különösen károsíthatja a természeti környezetet, és veszélyeztetheti a biodiverzitás megőrzését. Henders–Persson–Kastner [2015] megállapították, hogy marhahústermelésük, szójababtermesztésük, pálmaolaj- és faiparitermék-előállításuk miatt Argentína, Bolívia, Brazília, Paraguay, Indonézia, Malajzia és Pápua Új-Guinea volt felelős 2000 és 2011 között a teljes trópusi erdőirtás 40 százalékáért, mely tevékenységek egyébként jelentős szén-dioxid-kibocsátással járnak.

Appiah–Du–Poku [2018] és Balsalobre–Lorente–Driha–Bekun [2019] a feltörekvő BRICS-országok (Brazil, Russia, India, China, South Africa – Brazília, Oroszország, India, Kína, Dél-Afrika) mezőgazdasági termelésének és szén-dioxid-

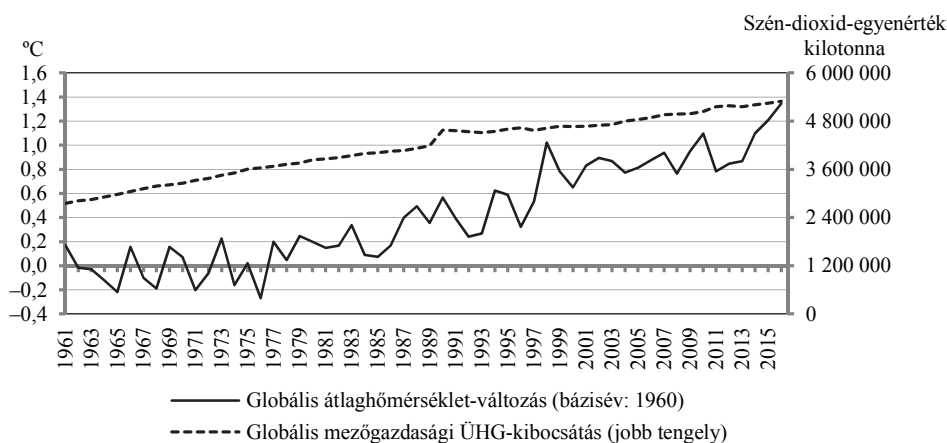
kibocsátásának összefüggéseit elemezve megállapították, hogy a növénytermesztésnek és az állattenyésztésnek betudható 1 százalékos gazdasági növekedés több mint 10 százalékkal fokozta a szén-dioxid-kibocsátást 1990 és 2014 között.

Az agrárkereskedelem bővülése a fejlődő országokban közvetett környezeti hatásokkal jár, mivel az exportpiacok keresletnövekedése erősen ösztönzi a kiinduló országok belföldi mezőgazdasági termelését. A világ különböző területeiről számos agrárterméket szállítanak légi úton Európába, ami az energiafelhasználáshoz kötődően ÜHG-kibocsátási kérdéseket is felvet (Harris [2004]). A mezőgazdaság karbonkibocsátásának mértéke azonban kontinensenként jelentősen eltérhet.

2. Kapcsolat a globális átlaghőmérséklet változása és egyes mezőgazdasági tevékenységek között

A mezőgazdaság éghajlatbefolyásoló szerepének meghatározásához érdemes megvizsgálni a globális átlaghőmérséklet és a mezőgazdasági ÜHG-kibocsátás alakulását az utóbbi 50-60 évben. A Föld átlaghőmérsékletének változása 1961 és 2016 között kis „kilengésekkel” növekvő trendet írt le. (Lásd az 1. ábrát.) Ezzel párhuzamosan a mezőgazdasági ÜHG-kibocsátás is emelkedett: 2016-ban 192 százalékkal haladta meg az 1961-es szintet, 2050-re pedig várhatóan 221 százalékkal lesz nagyobb az 1961-es évinél a FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations – az ENSZ Mezőgazdasági és Élelmezési Szervezete) (FAOSTAT [2018b]) előrejelzései alapján.

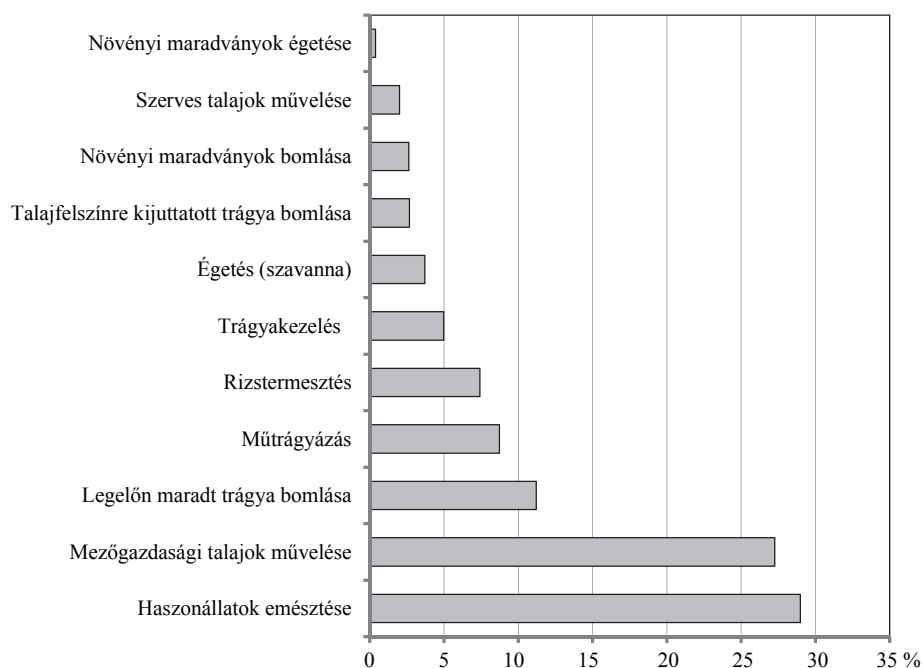
1. ábra. A globális átlaghőmérséklet-változás és a mezőgazdasági ÜHG-kibocsátás éves alakulása, 1961–2016 (Annual changes in global average temperature and agricultural greenhouse gas emissions, 1961–2016)



Forrás: FAOSTAT [2018b].

A mezőgazdaság ÜHG-kibocsátása 1990 és 2016 között legnagyobb arányban a haszonállatok emésztéséből (29%), a mezőgazdasági talajművelésből (27%) és a legelően maradt trágya bomlásából (11%) származott. (Lásd a 2. ábrát.)

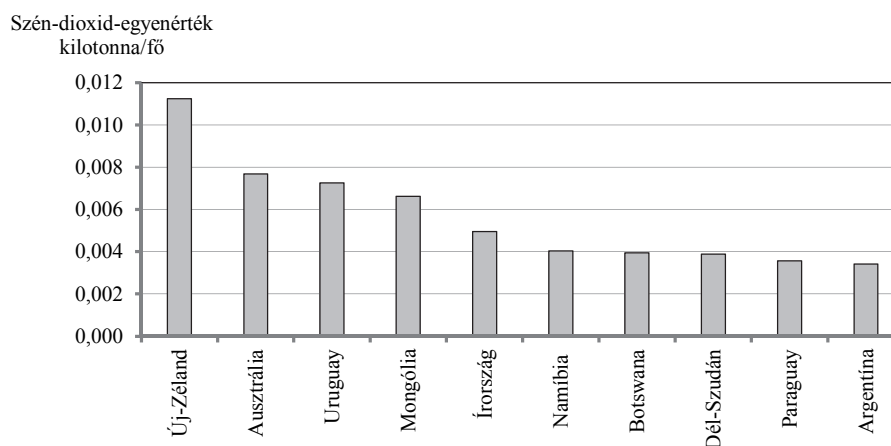
2. ábra. A mezőgazdasági ÜHG-kibocsátás főbb forrásai, 1990–2016
(Main sources of agricultural greenhouse gas emissions, 1990–2016)



Forrás: FAOSTAT [2018c].

Az egy főre jutó mezőgazdasági ÜHG-kibocsátás volumenét országonként érdemes elemezni. E mutató a FAO által közölt adatok (FAOSTAT [2018b]) alapján Mongólia mellett a csendes-óceáni, a dél-amerikai és az afrikai országokban volt a legmagasabb. (Lásd a 3. ábrát.) Ezeknek az országoknak (köztük Új-Zélandnak, Ausztráliának, Mongóliának és Argentínának) általában nagy a népességhez viszonyított haszonállat-állománya (Bell *et al.* [2014]).

3. ábra. A tíz legnagyobb mezőgazdasági ÜHG-kibocsátó ország egy főre jutó kibocsátása szén-dioxid-egyenértékben kifejezve, 1990–2016
(The ten largest agricultural greenhouse gas emitting countries' per capita emissions in terms of carbon dioxide equivalent, 1990–2016)



Forrás: FAOSTAT [2018b].

A következőkben a (szén-dioxid-egyenértékben kifejezett) egy főre jutó mezőgazdasági ÜHG-kibocsátást befolyásoló tényezőket panel regressziós elemzéssel vizsgáljuk.

3. A vizsgálat adatai és módszere

A környezeti modellekben általában a klímaváltozást, a globális felmelegedést kifejező függő változókat az összes vagy az egy főre jutó ÜHG-kibocsátással mérik szén-dioxid-egyenértékben kifejezve. Jelen tanulmányban országos szintű, hosszú idősoros makrostatisztikai adatok segítségével vizsgáljuk a Chertow [2001] és York–Rosa–Dietz [2003] elméletén alapuló, Hongdou–Shiping–Hao [2018] által empirikusan igazolt összefüggéseket a mezőgazdasági ÜHG-kibocsátást befolyásoló tényezők vonatkozásában.

Empirikus elemzésünkben egy ökonometriai modellt alkalmazunk a főbb mezőgazdasági ágazatok, valamint az agrárkereskedelem vizsgálatára. Az általunk elemzett adatbázis a világ országainak 55 évnyi panel adatait tartalmazza az 1961–2016-os időszakra vonatkozóan. Ezeket a FAO statisztikai adatbázisából, a FAOSTAT-ból [2018a], valamint a Világbank WDI- (World Development Indicators – Világ Fejlettségi

Mutatói) és WITS- (World Integrated Trade Solutions – Integrált Világkereskedelmi Megoldások) adatbázisaiból (*Worldbank* [2018a], [2018b]) gyűjtöttük.

A korábbi empirikus kutatásokhoz (*Foley–Ramankutty–Brauman* [2011], *Henders–Persson–Kastner* [2015], *Leitão* [2018]) hasonlóan mi is vizsgáljuk az állattenyésztési ágazat globális mezőgazdasági ÜHG-kibocsátásra gyakorolt hatását. Erre vonatkozó hipotézisünk a következő:

H1. Ha nagyobb az állattenyésztési ágazat aránya az agráriumban, nagyobb a mezőgazdaságból származó ÜHG-kibocsátás volumene is.

Az állattartás mellett a legelőn maradt trágya bomlását kísérő folyamatok, az elárasztott rizsföldeken és az állati eredetű trágya kezelésekor végbemenő anaerob folyamatok, valamint a biomassza égetése is a mezőgazdasági ÜHG-kibocsátás főbb forrásai közé tartoznak (*Mosier et al.* [1998]). *Muthu* [2014] kimutatta, hogy a gabonafélék közül a rizsnek van a legnagyobb ökológiai és vízlábnyoma, amelyet a búza és a kukorica követ. Második hipotézisünk ezért a rizstermesztés során keletkező ÜHG-k volumenére vonatkozik:

H2. A folyamatosan bővülő rizstermesztés növeli a mezőgazdaságból származó, egy főre jutó ÜHG-kibocsátás szintjét.

A mezőgazdaság fejlettségének (a mezőgazdasági bruttó hozzáadott érték) magasabb szintje nagyobb fokú környezetszennyezéssel járhat a fosszilis energiaforrások használata (*Henders–Persson–Kastner* [2015], *Baccini et al.* [2012], *Agboola–Bekun* [2019], *Prastiyo et al.* [2020]) és az intenzívebb műtrágyahasználat következtében (*Kerekes* [1998]):

H3. A mezőgazdasági bruttó hozzáadott érték bruttó hazai termékén (gross domestic product – GDP) belüli arányának és az egy főre jutó mezőgazdasági ÜHG-kibocsátásnak a változása között pozitív a kapcsolat.

A nagyobb egy főre jutó ÜHG-kibocsátással jellemezhető országokban – mint arról már szó volt – általában a népességhez viszonyított állatállomány aránya is nagyobb. Ezen országok egy része (például Új-Zéland és Ausztrália) elsősorban a csendes-óceáni térségben található (*Bell et al.* [2014]). Dél- és Délkelet-Ázsia mezőgazdasági eredetű ÜHG-kibocsátása főleg a rizstermesztéssel függ össze, a latin-amerikai országoké pedig (csakúgy, mint Óceánia országaié) az állattartással és az intenzív műtrágya-felhasználással (*Valin et al.* [2013]):

H4. Mivel mezőgazdaságukban az állattenyésztési ágazat nagyobb arányt képvisel, Amerika és Óceánia hozzájárulása az egy főre jutó globális mezőgazdasági ÜHG-kibocsátáshoz számottevőbb más térségekhez képest.

Többek között *Leitão* [2011], *Balogh–Jámbor* [2017], valamint *Wang–Ang* [2018] is rámutatott arra, hogy a nemzetközi agrárkereskedelem a mezőgazdaság és az élelmiszer-kereskedelem bővülésén keresztül jelentős szerepet tölt be az ÜHG-kibocsátás növekedésében. Az ezzel kapcsolatos hipotézisünk a következő:

H5. A mezőgazdasági export növekedése a belföldi mezőgazdasági termelés ösztönzése által fokozza a mezőgazdaságból származó, egy főre jutó ÜHG-emissziót.

Hongdou–Shiping–Hao [2018] nyomán az egy főre jutó mezőgazdasági ÜHG-kibocsátás és a mezőgazdasági tevékenység közötti kapcsolatot mérő lineáris panel regressziós egyenletet a következőképpen írhatjuk fel:

$$\begin{aligned} \ln_mzg_ÜHG_{it} = & \beta_0 + \beta_1 \ln_állatállomány_{it} + \beta_2 \ln_rizstermesztés + \\ & + \beta_3 \text{termőterület} + \beta_5 \text{mzg_hozzáadott_érték}_{it} + \\ & + \beta_6 \ln_agrálexport + \beta_7 \text{kontinens}_i + \varepsilon_{it}, \end{aligned}$$

ahol β_0 a konstanst, β_i a becsült panel együtthatót, ε_{it} a hibtagot, i az adott országot, t pedig az időt (évet) jelöli. Az általunk vizsgált változók részletes leírását az 1. táblázat tartalmazza.

Modellünkben a függő változó az egy főre jutó mezőgazdasági ÜHG-kibocsátás szén-dioxid-egyenértékben; az erre vonatkozó adatok a *FAO* adatbázisából [2018a] származnak. Az egyenletben olyan, mezőgazdasági tevékenységet jellemző magyarázó változók szerepelnek, mint az állatállomány nagysága, a rizstermőterület, a mezőgazdasági termőterület nagysága, a mezőgazdaság, erdészet és halászat bruttó hozzáadott értéke az ország GDP-jének százalékában, az agrárexport volumene, illetve a földrajzi elhelyezkedést mérő *kontinens* bináris változó. *Breusch–Pagan* [1980] Lagrange-féle multiplikatorteszt-eredményei alapján ($p = 0,000$) a véletlenhatás panel becslés hatásosabb a legkisebb négyzetek módszerével (ordinary least squares, OLS) végzett becslésnél. *Hausman* [1978] szerint az országspecifikus sajátosságokat figyelembe vevő fixhatás panel becslés konzisztensebb, mint a véletlenhatás panel becslés, de mivel a fix hatás esetén a bináris változók a becslés sajátossága miatt kiesnek, így ez esetben a földrajzi változók nem szerepelnek a modellben. A *Wooldridge*-teszt [2002] igazolta az autokorrelációt a panel adatainkban ($p = 0,007$), ezért indokolt a dinamikus panel becslés alkalmazása.

1. táblázat

A vizsgált modellváltozók és a felhasznált adatforrások bemutatása
(Model variables examined in the study and the used data sources)

Változó		Felhasznált adatforrás
neve	leírása	
Függő változó		
<i>ln_mzg_ÜHG_per.fő</i>	Egy főre jutó mezőgazdasági eredetű ÜHG-kibocsátás szén-dioxid-egyenértékben, kilotonna (ezer tonna)/főben kifejezve, logaritmizálva	<i>FAOSTAT</i> [2018a]
Magyarázó változó		
<i>ln_állatállomány</i>	Állatállomány nagysága a főbb haszonállatfajokat számításba véve, LSU-ban kifejezve, logaritmizálva	<i>FAOSTAT</i> [2018a]
<i>ln_rizstermesztés</i>	Rizstermőterület nagysága hektárban kifejezve, logaritmizálva	<i>FAOSTAT</i> [2018a]
<i>termőterület</i>	Mezőgazdasági termőterület (növénytermesztés) aránya az adott ország teljes területéhez viszonyítva, százalékban kifejezve	<i>FAOSTAT</i> [2018a]
<i>mzg_hozzáadott_érték</i>	Mezőgazdaság, erdészet és halászat együttes bruttó hozzáadott értéke az adott ország GDP-jének százalékában	<i>Worldbank</i> [2018a]
<i>ln_agárexport</i>	Agrárexport volumene kilogrammban kifejezve, logaritmizálva	<i>Worldbank</i> [2018b]
<i>kontinens</i>	1, ha az ország az adott kontinenshez (Amerika, Afrika, Ázsia, Európa, Óceánia) tartozik; 0, ha nem	<i>CEPII</i> [2018]

Megjegyzés. LSU (livestock unit): az EU számosállategysége, amely referenciaegységként megkönnyíti a különféle fajokhoz tartozó állatok összehasonlítását. A számosállategység együtthatóit az egyes állatfajok takarmányozási igényei alapján (takarmánykiegészítők nélkül) határozzák meg. 1 LSU = egy évente 3 000 kg tejet termelő, kifejlett fejőstehén legeltetési egyenértéke.

Az előzetes tesztek eredményeire tekintettel fixhatás panel becslést (Stata: xtregfe), egyesített OLS-becslést (pooled OLS, xtsc; *Driscoll–Kraay* [1988]), illetve *Arellano–Bond*-féle [1991] dinamikus panel becslést (xtdpdsys) végeztünk, heteroszkedasztikus hibtagokat feltételezve. A részletes leíró statisztikákat és az elemzéshez használt panel egységgyökteszteket a Függelék ismerteti.

4. A regressziós becslés eredményei

Vizsgálatunk alapján a becült modellek robusztusnak tekinthetők. Mindháromban az előző fejezetben már említett magyarázó változóknak – az állatállomány nagyságának, a rizstermőterületnek, a mezőgazdasági termőterület adott ország területéhez viszonyított arányának, a mezőgazdasági, erdészeti és halászati bruttó hozzáadott érték GDP-n belüli arányának, az agrárexport volumenének – a koefficiensei szignifikáns kapcsolatot mutatnak az egy főre jutó mezőgazdasági ÜHG-kibocsátással (*ln_mzg_ÜHG per fő*). Az ÜHG-kibocsátást leginkább az állatállomány nagysága befolyásolja (becült regressziós együtthatói: 0,047–0,262), melyet csökkenő sorrendben a rizstermőterület (0,022–0,055) és az agrárexport (0,0003–0,024) követ. A modellben kizárólag a mezőgazdasági termőterület koefficiensei voltak negatív előjelűek. (Lásd a 2. táblázatot.)

2. táblázat

A panel regressziós becslés eredményei, 1961–2016
(Results of the panel regression estimation, 1961–2016)

Változó	<i>ln_mzg_ÜHG per fő</i>		
	(1) xtregfe	(2) xtsc	(3) xtdpdpsys
<i>ln_mzg_ÜHG per fő</i>			0,785*** (0,016)
<i>ln_állatállomány</i>	0,262*** (0,013)	0,097*** (0,011)	0,047*** (0,009)
<i>ln_rizstermelés</i>	0,022*** (0,005)	0,055*** (0,004)	0,023*** (0,005)
<i>termőterület</i>	–0,024*** (0,003)	–0,048*** (0,002)	–0,008*** (0,003)
<i>mzg_hozzáadott_érték</i>	0,008*** (0,000)	0,019*** (0,002)	0,003*** (0,000)
<i>ln_agrárexport</i>	0,006** (0,002)	0,024** (0,008)	0,0003 (0,003)
<i>Afrika</i>		4,490*** (0,078)	0,196*** (0,041)
<i>Amerika</i>		5,272*** (0,064)	0,365*** (0,056)
<i>Ázsia</i>		4,310*** (0,049)	0,310*** (0,049)

(A táblázat folytatása a következő oldalon)

(Folytatás)

Változó	<i>ln_mzg_ÜHG per fő</i>		
	(1) xtregfe	(2) xtsc	(3) xtdpdpsys
<i>Európa</i>		5,096*** (0,074)	0,243*** (0,056)
<i>Óceánia</i>		6,314*** (0,124)	0,667*** (0,076)
Konstans	2,745*** (0,210)	0,101 (0,110)	0,165 (0,142)
Megfigyelések száma	1 912	1 757	1 757
R^2	0,198	0,482	
Országok száma	102	92	92
F -próba p -értéke	0,0000	0,0000	
χ^2 p -értéke			0,0000

*** $p < 0,01$; ** $p < 0,05$; * $p < 0,1$.

Megjegyzés. (1) xtregfe: fixhatás panel becslés; (2) xtsc: egyesített OLS-becslés; (3) xtdpdpsys: dinamikus panel becslés. A becslt standard hibákat zárójelben tüntettük fel. Az *ln_mzg_ÜHG per fő* időben 1 évvel késleltetett függő változó. Mivel az adatbázis nem kiegyensúlyozott panel adatokat tartalmaz, a regressziós modell futtatásakor kiestek azok a megfigyelések, melyek adatai hiányoznak valamelyik év vagy ország esetében.

Míg a regressziós eredmények szerint az állatállomány 1 százalékos növekedése globális szinten az egy főre jutó évi mezőgazdasági ÜHG-kibocsátás 0,047–0,262 százalékos emelkedésével járt együtt 1961 és 2016 között ($H1$ hipotézis), addig a mezőgazdasági termőterület (növénytermesztési ágazat) 1 százalékos növekedése az egy főre jutó évi mezőgazdasági ÜHG-kibocsátás 0,008–0,048 százalékos csökkenésével. A rizstermesztés esetében beigazolódott a levegőterhelést fokozó hatás ($H2$ hipotézis), ugyanis a rizstermesztés 1 százalékos bővülése az emisszió 0,022–0,055 százalékos emelkedésével párosult.

A mezőgazdasági hozzáadott érték becslt, pozitív előjelű regressziós koefficiensai (0,0003–0,019) arra világítanak rá, hogy a magasabb hozzáadott értéket előállító, intenzívebb mezőgazdasági termelés, a magasabb fokú gépesítés és az ezzel összefüggő nagyobb mennyiségű műtrágya felhasználása nagyobb ÜHG-kibocsátással jár együtt ($H3$ hipotézis).

A kontinensek/térségek közül Óceánia (regressziós koefficiens: 0,667–6,314), Amerika (0,365–5,272) és Európa (0,243–5,096) 1 főre jutó mezőgazdasági ÜHG-kibocsátása volt 1961 és 2016 között a legmagasabb ($H4$ hipotézis), Ázsiáé pedig a legalacsonyabb (0,310–4,310). Az utóbbi eredmény a földrész nagy átlagos népességével és a lakosság növényekben és halakban gazdag étrendjével magyarázható.

Végezetül azt is megállapíthatjuk, hogy az agrárexport növekedése – bár viszonylag kisebb mértékben, de – szignifikánsan hozzájárult a mezőgazdaságból szár-

mazó, egy főre jutó ÜHG-kibocsátás növekedéséhez a vizsgált időszakban (*H5* hipotézis). (Az agrárexport 1 százalékos növekedésével párhuzamosan az emisszió évente átlagosan 0,0003–0,024 százalékkal emelkedett.) A távoli országokba főleg légi úton szállított, nagy mennyiségű élelmiszernek ezért a helyben termelt és elfogyasztott élelmiszerekhez képest számottevőbb klímaváltozást befolyásoló hatása van.

5. Következtetések és a vizsgálat korlátai

Tanulmányunkban 1961 és 2016 közötti panel adatok alapján vizsgáltuk több, mezőgazdasággal összefüggő tényezők klímaváltozásra gyakorolt hatását. Az állattenyésztés és a rizstermőterület nagyságára, a mezőgazdasági termőterület vizsgált országok teljes területéhez viszonyított arányára, a mezőgazdaság, halászat és erdészet bruttó hozzáadott értékére, az agrárexport volumenére, valamint az ÜHG-kibocsátás földrajzi tényezőire (kontinensekre/térségekre) vonatkozóan végzett makroszintű regresszióelemzés a mezőgazdasági termőterületet kivéve minden változó esetén emisszióemelkedést mutatott ki.

Véleményünk szerint ezért a mezőgazdasági ÜHG-kibocsátás szintjének csökkentése részben az állattenyésztési szektor növekedési ütemének mérséklésével, fajlagos hozamainak növelésével (kevesebb állatállomány, hatékonyabb hús- és tejtermelés), ÜHG-kibocsátást mérséklő (például tengeri algával történő) takarmányozással, részben pedig fenntartható és talajkímélő növénytermesztéssel – szántáselhagyás, direktvetés, csökkentett műtrágyahasználat, hatékonyabb trágyakezelési rendszerek alkalmazása (például biogázüzemek építése, trágyatakarás) – lenne elérhető. A növénytermesztésen belül az ökológiai, bio- és/vagy fenntartható gazdálkodási módok arányának emelése különösen az intenzív mezőgazdasági termelést folytató, fejlett országokban kisebb levegőterheléssel járna, segítene a biodiverzitás megőrzésében.

Ezeken túl a magas egy főre jutó ÜHG-kibocsátással rendelkező óceániai (Új-Zéland, Ausztrália) és amerikai országok (Egyesült Államok, Uruguay, Argentína) lakossága az élelmiszer-fogyasztási szokásainak megváltoztatásával, így különösen a marha- és bányahús, valamint a tejtermékek fogyasztásának és fogyasztási gyakoriságának visszafogásával tehetne a klímaváltozás ellen.

Mint ahogy azt a vizsgálati eredményeink alapján megállapítottuk, a távoli országok közötti élelmiszer-kereskedelem is felelősnek tekinthető az egyre nagyobb mezőgazdasági ÜHG-kibocsátásért. Ezért a helyi mezőgazdasági termékek fogyasztásának támogatásával, a termelői piacok működésének ösztönzésével és a rövid ellátási láncok kedvezőbb környezeti hatásainak kihasználásával elősegíthető lenne a globális levegőterhelés, valamint a szállítási és a kereskedelmi költségek csökkentése. Ezek mellett a modern mezőgazdasági technológiák (mint például a precíziós növény-

termesztés/állattenyésztés vagy a fejlett öntözési és trágyakijuttatási [ún. injektáló] rendszerek) alkalmazása is mérsékelheti az energia-, víz-, növényvédőszer- és műtrágya-felhasználást.

Az ázsiai és dél-amerikai kontinenseken a fenntartható mezőgazdasági gyakorlatok követésével, a természetvédelmi területek arányának növelésével, a kisebb ÜHG-kibocsátással járó gabonanövény-termesztésre való áttéréssel, valamint fajtaváltásokkal és fajtán belüli intenzív szelekciós, nemesítő munkával lehetne kisebbé tenni a mezőgazdaságból származó ÜHG-kibocsátás mértékét. Mivel a mezőgazdasági rendszer összetett, így csak a földrajzi sajátosságokat figyelembe vevő, a fenntartható gazdálkodást is ösztönző, komplex (minden mezőgazdasági tevékenységet érintő) agrárpolitikai intézkedések lehetnek hosszú távon sikeresek a környezet-szennyezés visszafogásában.

Jelen elemzés korlátai között meg kell említeni, hogy tanulmányunk a mezőgazdasági eredetű ÜHG-kibocsátás ágazati tényezőit makroszinten vizsgálta, szekunder forrásból származó, nemzetgazdasági szinten aggregát adatokat használva. Modellünkben a demográfiai és az élelmiszer-keresletre ható, mezőgazdaságon kívüli tényezőket exogénnek tekintettük. A jövőben ezért egy újabb kutatási irány lehetne az ÜHG-kibocsátás jelenleginél részletesebb, a növénytermesztést és állattenyésztést külön-külön is görcső alá helyező, gazdaságszintű tanulmányozása.

Függelék

F1. táblázat

Leíró statisztikák
(Descriptive statistics)

Változó	Megfigyelések száma	Változó			
		átlaga	szórása	minimuma	maximuma
<i>ln_mzg_ÜHG per fő</i>	11 434	6,27	1,37	-6,13	11,28
<i>ln_állatállomány</i>	11 342	13,27	2,93	3,92	19,45
<i>ln_rizstermesztés</i>	6 454	11,70	3,17	0,69	19,17
<i>termőterület</i>	9 128	4,47	8,45	0,00	66,67
<i>mzg hozzáadott érték</i>	7 171	17,53	14,97	0,03	93,98
<i>ln_agrárexport</i>	3 562	20,45	3,06	0,69	34,56
<i>Afrika</i>	8 848	0,30	0,46	0,00	1,00
<i>Amerika</i>	8 848	0,22	0,42	0,00	1,00
<i>Ázsia</i>	8 848	0,22	0,42	0,00	1,00
<i>Európa</i>	8 848	0,15	0,36	0,00	1,00
<i>Óceánia</i>	8 848	0,08	0,27	0,00	1,00

F2. táblázat

A vizsgált változók korrelációs mátrixa
(Correlation matrix of the studied variables)

Változó	$\ln_mzg_ÜHG_per$ fő	$\ln_állatállomány$	$\ln_rizstermesztés$	$termőterület$	$mzg_hozzáadott_$ érték	$\ln_agrárexport$
$\ln_mzg_ÜHG_per\ fő$	1					
$\ln_állatállomány$	0,5271*	1				
$\ln_rizstermesztés$	0,2084*	0,6394*	1			
$termőterület$	-0,3072*	-0,4759*	0,0278*	1		
$mzg_hozzáadott_$ érték	0,0619*	0,0531*	-0,0001	0,0454*	1	
$\ln_agrárexport$	0,3862*	0,6946*	0,4653*	-0,2832*	-0,2508*	1
<i>Afrika</i>	-0,0444*	-0,0347*	-0,3513*	-0,0886*	0,4301*	-0,3074*
<i>Amerika</i>	0,1353*	-0,0123	0,0142	0,0169	-0,2474*	0,0481*
<i>Ázsia</i>	-0,2344*	0,1465*	0,4956*	-0,0743*	-0,0245	0,0404*
<i>Európa</i>	0,1687*	0,1812*	-0,0238	-0,0789*	-0,3032*	0,2799*
<i>Óceánia</i>	0,0290*	-0,3669*	-0,1784*	0,3755*	0,0322*	-0,0636*

* $p < 0,05$.

F3. táblázat

Fisher-féle egységgyökteszt (ADF-teszt) eredményei
a függő változóra ($\ln_mzg_ÜHG\ per\ fő$)
(Results of the Fisher unit root test [ADF test] for
the dependent variable [$\ln_mzg_ÜHG\ per\ person$])

Teszt	Időbeli késleltetés	
	0 év	1 év
	p -érték	
Inverz khi-négyzet (458)	0,0000	0,0000
Inverz normális	0,0000	0,0000
Inverz logit t (1 149)	0,0000	0,0000
Módosított inverz khi-négyzet	0,0000	0,0000

Irodalom

- AGBOOLA, M. O. – BEKUN F. V. [2019]: Does agricultural value added induce environmental degradation? Empirical evidence from an agrarian country. *Environmental Science and Pollution Research*. Vol. 26. June. pp. 27660–27676 <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05943-z>
- APPIAH, K. – DU, J. – POKU, J. [2018]: Causal relationship between agricultural production and carbon dioxide emissions in selected emerging economies. *Environmental Science and Pollution Research*. Vol. 25. July. pp. 24764–24777. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2523-z>
- ARELLANO, M. – BOND, S. [1991]: Some tests of specification for panel data: Monte Carlo evidence and an application to employment equations. *Review of Economic Studies*. Vol. 58. No. 2. pp. 277–297. <https://doi.org/10.2307/2297968>
- ASUMADU-SARKODIE, S. – OWUSU, P. A. [2016]: The relationship between carbon dioxide and agriculture in Ghana: A comparison of VECM and ARDL model. *Environmental Science and Pollution Research*. Vol. 23. No. 11. pp. 10968–10982. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-6252-x>
- BACCINI, A. – GOETZ, S. J. – WALKER, W. S. – LAPORTE, N. T. – SUN, M. – SULLA-MENASHE, D. – HACKLER, J. – BECK, P. S. A. – DUBAYAH, R. – FRIEDL, M. A. – SAMANTA, S. – HOUGHTON, R. A. [2012]: Estimated carbon dioxide emissions from tropical deforestation improved by carbon-density maps. *Nature Climate Change*. Vol. 2. No. 3. pp. 182–185. <http://dx.doi.org/10.1038/nclimate1354>
- BAKHITIARI, A. A. – HEMATIAN, A. – SHARIFI, A. [2015]: Energy analyses and greenhouse gas emissions assessment for saffron production cycle. *Environmental Science Pollution*. Vol. 22. No. 20. pp. 16184–16201. <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-015-4843-6>
- BALOGH, J. M. – JÁMBOR, A. [2017]: Determinants of CO₂ emission: A global evidence. *International Journal of Energy Economics and Policy*. Vol. 75. No. 5. pp. 217–226. <https://www.econjournals.com/index.php/ijeep/article/view/5450/3328>
- BALSALOBRE-LORENTE, D. – DRIHA, O. M. – BEKUN, F. V. [2019]: Do agricultural activities induce carbon emissions? The BRICS experience. *Environmental Science and Pollution Research*. Vol. 26. August. pp. 25218–25234. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05737-3>
- BELL, M. J. – CLOY, J. M. – REES, R. M. [2014]: The true extent of agriculture’s contribution to national greenhouse gas emissions. *Environmental Science & Policy*. Vol. 39. May. pp. 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2014.02.001>
- BREUSCH, T. S. – PAGAN, A. R. [1980]: The Lagrange multiplier test and its applications to model specification in econometrics. *Review of Economic Studies*. Vol. 47. No. 1. pp. 239–253. <https://doi.org/10.2307/2297111>
- BURNEY, J. A. – DAVIS, S. J. – LOBELL, D. B. [2010]: Greenhouse gas mitigation by agricultural intensification. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. Vol. 107. June. pp. 12052–12057. <https://doi.org/10.1073/pnas.0914216107>
- CHERTOW, M. R. [2001]: The IPAT equation and its variants: Changing views of technology and environment impact. *Journal of Industrial Ecology*. Vol. 4. No. 4. pp. 13–29. <https://doi.org/10.1162/10881980052541927>

- DRISCOLL, J. C. – KRAAY, A. C. [1998]: Consistent covariance matrix estimation with spatially dependent panel data. *Review of Economics and Statistics*. Vol. 80. No. 4. pp. 549–560. <https://doi.org/10.1162/003465398557825>
- EDOJA, P. E. – AYE, G. C. – ABU, O. [2016]: Dynamic relationship among CO2 emission, agricultural productivity and food security in Nigeria. *Cogent Economics & Finance*. Vol. 4. Issue 1. pp. 1–13. <https://doi.org/10.1080/23322039.2016.1204809>
- FOLEY, J. A. – RAMANKUTTY, N. – BRAUMAN, K. A. [2011]: Solutions for a cultivated planet. *Nature*. Vol. 478. October. pp. 338. <https://doi.org/10.1038/nature10452>
- GRACE, J. – MITCHARD, E. – GLOOR, E. [2014]: Perturbations in the carbon budget of the tropics. *Global Change Biology*. Vol. 20. Issue 10. pp. 3238–3255. <https://doi.org/10.1111/gcb.12600>
- HAUSMAN, J. A. [1978]: Specification tests in econometrics. *Econometrica*. Vol. 46. No. 6. pp. 1251–1271. <https://doi.org/10.2307/1913827>
- HENDERS, S. – PERSSON, U. M. – KASTNER, T. [2015]: Trading forests: Land-use change and carbon emissions embodied in production and exports of forest-risk commodities. *Environmental Research Letters*. Vol. 10. No. 12. pp. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/12/125012>
- HARRIS, J. M. [2004]: *Trade and the Environment. A GDAE Teaching Module on Social and Environmental Issues in Economics*. Global Development and Environment Institute, Tufts University. Medford.
- HONGDOU, L. – SHIPING, L. – HAO, L. [2018]: Existing agricultural ecosystem in China leads to environmental pollution: An econometric approach. *Environmental Science and Pollution Research*. Vol. 25. June. pp. 24488–24499. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2461-9>
- HUANG, X. – XU, X. – WANG, Q. – ZHANG, L. – GAO, X. – CHEN, L. [2019]. Assessment of agricultural carbon emissions and their spatiotemporal changes in China, 1997–2016. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. Vol. 16. No. 17. 3105. pp. 1–15. <https://doi.org/10.3390/ijerph16173105>
- KEARNEY, J. [2010]: Food consumption trends and drivers. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. Vol. 365 No. 1554. pp. 2793–2807. <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0149>
- KEREKES S. [1998]: *A környezetgazdaságtan alapjai*. Aula Kiadó. Budapest.
- KOZÁK J. [2015]: A világ hústermelésének, kereskedelmének és fogyasztásának tendenciái. *Gazdálkodás*. 59. évf. 1. sz. 20–34. old.
- LEITÃO, N. C. [2011]: Environmental change and agriculture: The role of international trade. *African Journal of Agricultural Research*. Vol. 6. No. 17. pp. 4065–4068. <https://doi.org/10.5897/AJAR11.1384>
- LEITÃO, N. C. [2018]: The relationship between carbon dioxide emissions and Portuguese agricultural productivity. *Studies in Agricultural Economics*. Vol. 120. November. pp. 143–149. <https://doi.org/10.7896/j.1812>
- LI, C. S. [2000]: Modelling trace gas emissions from agricultural ecosystems. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. Vol. 58. No. 1. pp. 259–276. <https://doi.org/10.1023/A:1009859006242>
- MOSIER, A. – KROEZE, C. – NEVISON, C. – OENEMA, O. – SEITZINGER, S. – CLEMPU, O. V. [1998]: Closing the global atmospheric N2O budget: Nitrous oxide emissions through the agricultural nitrogen cycle; OECD/IPCC/IEA phase II development of IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. Vol. 52. Nos. 2–3. pp. 225–248. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1009740530221>

- MUTHU, S. S. (ed.) [2014]: *Assessment of Carbon Footprint in Different Industrial Sectors, Volume 1*. Springer Nature Switzerland AG. Cham. <http://dx.doi.org/10.1007/978-981-4560-41-2>
- OECD (ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT) [2016]: *OECD Meeting of Agricultural Ministers. Agriculture and Climate Change: Towards Sustainable Productive and Climate-Friendly Agricultural Systems*. https://www.oecd.org/agriculture/ministerial/background/notes/4_background_note.pdf
- OZKAN, F. – OZKAN, O. [2012]: An analysis of CO₂ emissions of Turkish industries and energy sector. *Regional and Sectoral Economic Studies*. Vol. 12. No. 2. pp. 65–85. <https://www.usc.gal/economet/reviews/eers1227.pdf>
- PARTON, W. J. – GUTMANN, M. P. – MERCHANT, E. R. – HARTMAN, M. D. – ADLER, P. R. – MCNEAL, F. M. – LUTZ, S. M. [2015]: Measuring and mitigating agricultural greenhouse gas production in the US Great Plains, 1870–2000. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. Vol. 112. No. 32. pp. 4681–4688. <https://doi.org/10.1073/pnas.1416499112>
- PRASTIYO, S. E. – IRHAM, M. A. – HARDYASTUTI, S. – JAMHARI, J. [2020]: How agriculture, manufacture, and urbanization induced carbon emission? The case of Indonesia. *Environmental Science and Pollution Research*. Vol. 27. November. pp. 42092–42103. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10148-w>
- RITCHIE, H. [2019]: Which countries eat the most meat? *BBC News*. 4 February. <https://www.bbc.com/news/health-47057341>
- RITCHIE, H. – ROSER, M. [2021]: *Emissions by Sector*. Our World in Data. <https://ourworldindata.org/emissions-by-sector>
- SAPEA (SCIENCE ADVICE FOR POLICY BY EUROPEAN ACADEMIES) [2020]: A sustainable food system for the European Union. *Evidence Review Report*. No. 7. Berlin. <https://doi.org/10.26356/sustainablefood>
- SMITH, P. – BUSTAMANTE, M. – AHAMMAD, H. – CLARK, H. – DONG, H. – ELSIDDIG, E. A. – HABERL, H. – HARPER, R. – HOUSE, J. – JAFARI, M. – MASERA, O. – MBOW, CH. – RAVINDRANATH, N. J. – RICE, CH. W. – ABAD, C. R. – ROMANOVSKAYA, A. – SPERLING, F. – TUBIELLO, F. N. [2018]: Agriculture, forestry and other land use (AFOLU). In: *Edenhofer, O. – Pichs-Madruga, R. – Sokona, Y. – Minx, J. C. – Farahani, E. – Kadner, S. – Seyboth, K. – Adler, A. – Baum, I. – Brunner, S. – Eickemeier, P. – Kriemann, B. – Savolainen, J. – Schlömer, S. – von Stechow, C. – Zwickel, T. – Minx, J. C. (eds.): Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. Cambridge, New York. pp. 811–922. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_chapter11.pdf
- STEINFELD, H. – GERBER, P. – WASSENAAR, T. – CASTEL, V. – ROSALES, M. – DE HAAN, C. [2006]: *Livestock's Long Shadow – Environmental Issues and Options*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. <http://www.europarl.europa.eu/climatechange/doc/FAO%20report%20executive%20summary.pdf>
- UNFCCC (UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE) [2018]: *What is the Paris Agreement?* <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/what-is-the-paris-agreement>

- VALIN, H. – HAVLIK, P. – MOSNIER, A. – HERRERO, M. – SCHMID, E. – OBERSTEINER, M. [2013]: Agricultural productivity and greenhouse gas emissions: Trade-offs or synergies between mitigation and food security? *Environmental Research Letters*. Vol. 8. No. 3. 035019. pp. 1–9. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/3/035019>
- WANG, H. – ANG, B. W. [2018]: Assessing the role of international trade in global CO2 emissions: An index decomposition analysis approach. *Applied Energy*. Vol. 218. May. pp. 146–158. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.02.180>
- WOOLDRIDGE, J. M. [2002]: *Econometric Analysis of Cross Section and Panel Data*. MIT Press. Cambridge.
- YORK, R. – ROSA, E. A. – DIETZ, T. [2003]: STIRPAT, IPAT and ImPACT: Analytic tools for unpacking the driving forces of environmental impacts. *Ecological Economics*. Vol. 46. No. 3. pp. 351–365. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(03\)00188-5](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(03)00188-5)

Internetes források

- CEPII (CENTRE D'ETUDES PROSPECTIVES ET D'INFORMATIONS INTERNATIONALE) [2018]: http://www.cepii.fr/CEPII/en/bdd_modele/presentation.asp?id=19
- EPA (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY) [2018]: *Greenhouse Gas Emission Data*. <https://www.epa.gov/ghgemissions/global-greenhouse-gas-emissions-data>
- EEA (EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY) [2015]: *Agriculture and Climate Change*. <https://www.eea.europa.eu/signals/signals-2015/articles/agriculture-and-climate-change>
- FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS) [2021]: *Major Cuts of Greenhouse Gas Emissions from Livestock Within Reach. Key Facts and Findings*. <http://www.fao.org/news/story/pt/item/197623/icode/>
- FAOSTAT [2018a]: *Database*. <http://www.fao.org/faostat/en/#home>
- FAOSTAT [2018b]: *Agri-Environmental Indicators*. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/GT>
- FAOSTAT [2018c]: *Agricultural Emissions Data*. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/EM>
- USDA (U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE, ECONOMIC RESEARCH SERVICE) [2020]: *Agricultural Greenhouse Gas Emissions*. <https://www.ers.usda.gov/topics/natural-resources-environment/climate-change/>
- WORLD BANK [2018a]: *World Development Indicators*. <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators>
- WORLD BANK [2018b]: *World Integrated Trade Solution (WITS)*. <https://wits.worldbank.org/>