KULMÁNY ISTVÁN MIHÁLY[1]

Bioeconomy-bioüzemanyag alapanyagok termesztése (és feldolgozása) során keletkező ÜHG kibocsátás csökkentésének lehetőségei a precíziós gazdálkodás segítségével, a kukorica-alapú bioethanol előállítása során

1. BEVEZETÉS

A mezőgazdasági, erdőgazdálkodási és egyéb területhasználatok által okozott antropogenikus üvegházhatású gáz (ÜHG) kibocsátás a globális emisszió 24 százalékáért, 11,8 $GtCO_2$ mennyiségért volt felelős 2010-ben. A mezőgazdasági tevékenységből származó ÜHG volumene ebből 5,4–5,8 $GtCO_2$-t tett ki. A kibocsájtott gázok közül a dinitrogén-oxid (N_2O), a metán (CH_4) és a szén-dioxid (CO_2) mennyisége a legnagyobb. A szántóföldi növénytermesztés szerepe a globális dinitrogén-oxid kibocsátásban jelenleg 70-75 százalék, de jelentősége az intenzív mezőgazdasági rendszerek elterjedésével folyamatosan növekszik.

A gabonafélék termesztésére specializálódott növénytermesztési rendszerek mára túlsúlyba kerültek. Amennyiben a gabonafélék vetésforgóban betöltött szerepe tovább fokozódik a jövőben, akkor az drasztikus környezeti károk bekövetkezését eredményezheti. Kutatásunk célkitűzésében a hüvelyesek (*Fabales*) üvegházhatású gázkibocsátás csökkentésében betöltött szerepe állt, amely elsősorban hazai és nemzetközi szakirodalmakra támaszkodott.

Megállapítottuk, hogy az optimális tápanyag-visszapótlás technológiai megvalósításán túl, a vetésforgó átalakításával is mérsékelhető a talajok N_2O kibocsátása. A vetésforgóba illesztett hüvelyesek jelentik az egyik alternatív megoldást ezen cél elérésében, hiszen a fejlődésükhöz szükséges nitrogén egy részéhez képesek biológiai nitrogén megkötés (*Biological Nitrogen Fixation – BNF*) révén hozzájutni, így csökkentve a kijuttatandó műtrágya mennyiséget. Hazai és nemzetközi szakirodalmak alapján megállapítottuk, hogy a hüvelyes növények hektáronként 0-372 kg nitrogént képesek évente megkötni, amely átlagosan 20-25 százalékkal mérsékelheti a talajok N_2O kibocsátását.

[1] SZE Wittmann Antal Növény-, Állat- és Élelmiszertudományi Multidiszciplináris Doktori Iskola, PhD-hallgató. Témavezetők: Dr. habil Milics Gábor, Széchenyi István Egyetem, Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar, Biológiai Rendszerek és Élelmiszeripari Műszaki Tanszék, egyetemi docens, Dr. Kovács Barna, Külgazdasági és Külügyminisztérium, Agrárpolitikai szakdiplomata.

2. A MEZŐGAZDASÁG ÜVEGHÁZHATÁSÚ GÁZKIBOCSÁTÁSA

A mezőgazdasági, erdőgazdálkodási és egyéb területhasználatok (*AFOLU – Agriculture, Forestry, and Other Land Use sectors*) által okozott antropogenikus üvegházhatású gázkibocsátás (ÜHG) a globális emisszió 24 százalékáért, 11,8 $GtCO_2$ mennyiségért volt felelős 2010-ben.[2] A mezőgazdasági tevékenységből származó antropogenikus ÜHG mennyisége az AFOLU kibocsátásának 40-54 százalékát (5,4-5,8 $GtCO_2$) tette ki, amely 0,9-1,6 százalékos éves átlagos növekedést eredményezett 1961 és 2010 között.[3] A mezőgazdasági üzemi tevékenységek (szántás, vetés, aratás és szállítás) végrehajtása során felhasznált fosszilis tüzelőanyagok további 0,4-0,8 $GtCO_2$ mennyiséggel járultak hozzá a mezőgazdasági eredetű indirekt CO_2 kibocsátáshoz[4] 2014-ben.

A mezőgazdasághoz kapcsolható ÜHG kibocsátás jelentős részéért a haszonállatok emésztése, a trágyakezelés és felhasználás, a mezőgazdasági talajok művelése és a rizstermesztés tehető felelőssé.[5] A dinitrogén-oxid (N_2O), a metán (CH_4) és a szén-dioxid (CO_2)[6] számít a legnagyobb mennyiségben kibocsájtott üvegházhatású gáznak, amely a mezőgazdasági tevékenység során keletkezik.

A globális N_2O kibocsátás 70-75 százalékáért az agrárium felel. A N_2O fokozott felszabadulása a talajban található többlet nitrogén mikrobiológiai átalakulásával (nitrifikáció és denitrifikáció) hozható összefüggésbe.[7] A talajok megnövekedett nitrogén tartalmának elsődleges előidézői a mű- és a szervestrágya felhasználás, valamint a biológiai nitrogénmegkötés.[8] A nitrifikáció során az ammónium ion (NH_4^+) biológiai oxidáció révén nitritté (NO_2^-) és nitrát-ionná (NO_3^-) alakul, ahol N_2O keletkezik melléktermékként. Denitrifikáció esetében az NO_3^- és az NO_2^- respiratórikus redukciója révén nitrogén-monoxid (NO), N_2O

---

[2] IPCC, *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, 2014, IPCC, Genf.

[3] Tubiello, F. N. – Salvatore, M. – Rossi, S. – Ferrara, A. – Fitton, N. – Smith, P.: The FAOSTAT database of greenhouse gas emissiong from agriculture, in *Environmental Research Letter*, 2013/8. no., pp. 1–11., Montzka, S. A. – Dlugokencky, E. J. – Butler, J. H.: Non-CO2 greenhouse gases and climate change, in *Nature*, 2011/476. no., pp. 43–50.

[4] Ceschia, E. – Béziat, P. – Dejoux, J. F. – Aubinet, M. – Bernhofer, Ch. – Bodson, B. – Buchmann, N. – Carrara, A. – Cellier, P. – Di Tommasi, P. – Elbers, J. A. – Eugster, W. – Grünwald, T. – Jacobs, C. M. J. – Jans, W. W. P. – Jones, M. – Kutsch, W. – Lanigan, G. – Magliulo, E.: Management effects on net ecosystem carbon and GHG budgets at European crop sites, in *European Journal Agronomy*, 2010/139. no., pp. 49–56.

[5] U. S. EPA.: *Global anthropogenic non-CO2 greenhouse gas emissions*: *1990–2030,* 2012, EPA, Washington D. C.

[6] Duxbury, J. M.: The significance of agriculture source of greenhouse gases, in *Fertilizer Research*, 1994/35. no., pp. 151–163.

[7] Firestone, M. K. – Davidson, E. A.: *Microbiological basis of NO and N_2O production and consumption in soil,* 1989, John Wiley and Sons, pp. 7–21.

[8] IPCC: *Climate Change 1995, the Science of Climate Change. Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change,* 1996, Cambridge University Press, Cambridge, UK.

és di-nitrogén gáz (N_2) jut a légkörbe.[9] A felszabaduló N_2O globális felmelegedési potenciálja (GWP – Global Warming Potential) 265-ször nagyobb a szén-dioxidhoz képest, ezért mérséklése lényeges a növénytermesztés környezeti lábnyomának csökkentéséhez. Kroeze és szerzőtársai már 1999-ben megállapították,[10] hogy azon mezőgazdasági gyakorlatok, amelyek növelik a nitrogén műtrágya felhasználásának hatékonyságát a növénytermesztésben, azok hozzájárulnak a N_2O, NO és az ammónia (NH_3) kibocsátás mérsékléséhez. A precíziós növénytermesztés által használt csúcstechnológia alkalmazásával a kijuttatott inputanyagok (N,P,K) mennyisége optimalizálható, amely alacsonyabb ÜHG kibocsátást eredményez.[11]

Az agrárium 50-53 százalékkal járul hozzá a globális antropogenikus metánkibocsátáshoz. Ezen kibocsátás legjelentősebb része (53 százalék) a kérődzők emésztőrendszeri fermentációja során,[12] 18 százaléka a rizs termesztés során, 11 százaléka a trágyakezelés során, további 18 százalék pedig a mezőgazdasági egyéb tevékenység során keletkezik.[13] Növénytermesztési szempontból a rizs termesztésekor keletkező metánkibocsátás mérséklését a termőtalaj alagcsövezésével,[14] a szerves trágya, valamint a mulcs időbeli alkalmazásával[15] és a megfelelően kiválasztott termesztési technológiákkal lehet elérni.[16]

A növénytermesztés és állattartás során felhasznált üzemanyagok elégetése és a földhasználati rendszerek megváltozása (*land-use change*) az agrárium teljes CO_2 kibocsátásából 20-25 százalékkal részesedik.[17]

---

[9] Hutchinson, G. L. – Davidson, E. A.: Process for production and consumption of gaseous nitrogen oxides on soil, in *American Society of Agronomy*, 1993/55. no., pp. 79–94.

[10] Kroeze, C. – Mosier, A. R. – Bouwman, L.: Closing the global N_2O budget: retrospective analysis 1500-1994, in *Global Biogeochemical Cycles*, 1999/13. no., pp. 1–8.

[11] Vazquez–Amabile, G. – Gonzalo, M. – Pella, M. – Galbusera, S. – Cueto, G.: *Evaluation of the Variable Rate Fertilization in winter crops for shallow soils using soil depth maps and crop simulation models in south-eastern Pampas, Argentina,* 2013, ASABE Annual International Meeting, Kansas, USA., Athanasios, B. – Bert, B. – Spyros, F. – Jurgen, V. – Tamme, V. D. W. – Iria, S. – Manuel, G. B. – Andrew, B. – Vera, E.: Precision agriculture technologies positively contributing to GHG emissions mitigation, farm productivity and economics, in *Sustainability*, 2017/8. no., pp. 1339–1367.

[12] Leng, R. A.: *The impact of livestock development on environmental change,* 1993, FAO Corporate Documentary Repository, Rome, Chhabra, A. – Manjunath, K. R. – Panigrahy, S. – Parihar, J. S.: Spatial pattern of methane emissions from Indian livestock, in *Current Science*, 2009/86. no., pp. 683–689.

[13] Naqvi, S. M. – Sejian, V.: Global climate change: role of livestock, in *Asian Journal of Agricultural Sciences*, 2011/3. no., pp. 19–25.

[14] Towprayoon, S. – Smakgahn, K. – Poonkaew, S.: Mitigation of methane and nitrous oxide emission from drained irrigated rice fields, in *Chemosphere*, 2005/59. no., pp. 1547–1556.

[15] Ma, J. – Li, X. L. – Xu, H. – Han, Y. – Cai, Z. C. – Yagi, K.: Effects of nitrogen fertiliser and wheat straw application on CH_4 and N_2O emissions from paddy rice field, in *Australian Journal of Soil Research*, 2007/45. no., 359–367.

[16] Linquist, B. A. – Adviento-Borbe, M. A. – Pittelkow, C. M. – Van Kessel, C. – Van Groeningen, K. J.: Fertilizer management practices and greenhouse gas emission from rice systems: A quantitative review and analysis, in *Field Crops Research*, 2012/135. no., pp. 10–21.

[17] Bockisch, F. J.: *Bewertung von Verfahren der ökologischen und konventionellen landwirtschaftlichen Produktion im Hinblick auf den Energieeinsatz und bestimmte Schadgasemissionen*, 2000/211. no., Darmstadt.

3. HÜVELYESEK (FABELES) SZEREPE AZ ÜVEGHÁZHATÁSÚ GÁZKIBOCSÁTÁS CSÖKKENTÉSÉBEN

A pillangósvirágúak (*Fabaceae*) mint a hüvelyesek (*Fabales*) névadó családja az egyik legnagyobb és legfontosabb családja a virágzó növényeknek, 670-nél is több nemzetség 18-19 ezer faja tartozik a családba.[18] A hüvelyesek számítanak az ember által a legkorábban háziasított növénynek. Cohen (1977) azt írja,[19] hogy az első feljegyzések szerint a lencsét (*Lens. esculenta*) Iránban, időszámításunk előtt (i. e.) 9500-8000 körül vonták termesztésbe, míg a bab (*Phaseolus vulgaris*) és a szójabab (*Glycine max*) háziasítása Amerikában és Ázsiában az időszámításunk előtt 2000-3000 években egyidejűleg történhetett.[20] A hüvelyesek által az utónövényre és a talajra kifejtett kedvező hatását elsőnek a római korban jegyezték fel i. e. 37-ben.[21] Azóta számos megfigyelés igazolta az akkori feltételezéseket.[22]

A világ szántóföldi területének 52,3 százalékán, 7,2 millió km^2-en gabonafélét, míg 14,5 százalékán, közel 2 millió km^2-en hüvelyes növényt termesztettek,[23] jellemzően szóját, babot, borsót (*Pisium sativum*), csicseriborsót (*Cicer arietinum*), disznóbabot (*Vicia faba*), galambborsót (*Cajanus cajan*), csicseribabot (*Vigna unguiculata*), lencsét (*Lens culinaris*), bükkönyt (*Vicia*) és csillagfürtöt (*Lupinus)*. Az 1961-ben publikált adatokhoz képest a hüvelyesek által elfoglalt terület két és félszeres emelkedést jelentett, amelynek legjelentősebb felvevőpiaca az állattenyésztés[24] és a növényolajipar[25] volt. A hüvelyes növények termesztésében kiemelkedik Brazília és az Amerikai Egyesült Államok (USA), köszönhetően a szója vetésforgóban betöltött jelentős szerepének. Brazíliában a szántóföldi terület 44,7 százalékán, míg az USA termesztés alá vont területének 31,4 százalékán termesztettek hüvelyes növényeket 2014-ben. Az Európai Unióban betakarított hüvelyes növények összterülete elmarad a világ átlagától, részesedése 1-2,5 százalék között ingadozik már öt évtizede. Magyarország szántóföldi növénytermesz-

[18] Polhill, R. M. – Raven, P. H. – Stirto, C. H.: *Evolution and Systematics of the Leguminosae,* 1981, Advances in Legume Systematics, Part I., Royal Botanic Garden, pp. 1–26.

[19] Cohen, M. N.: *The Food Crisis in Prehistory: Overpopulation and the Origins of Agriculture*, 1977, Yale University Press.

[20] Hymowitz, T. – Singh, R. J.: *Taxonomy and speciation,* 1987, American Society of Agronomy, pp. 23–48.

[21] Fred, E. B. – Baldwin, I. L. – Mccoy, E.: *Root nodule bacteria and leguminous plants*, 1932, University of Wisconsin Press.

[22] Jensen, E. S. – Hauggaard-Nielsen, H.: How can increased use of biological N_2 fixation in agriculture benefit the environment?, in *Plant and Soil*, 2003/252. no., pp. 177–186., Paustian, K. – Lehmann, J. – Ogle, S. – Reay, D. – Robertson, G. P. – Smith, P.: Climate amsart soils*,* in *Nature*, 2016/532. no*.,* pp. 48–57.

[23] FAO: *Crops – Area harvested*. http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC, (letöltve: 2019. március 9.).

[24] Russelle, M.: Alfalfa*,* in *American Scientist*, 2001/89. no., pp. 252–259.

[25] Mona, E.-H. – Ferial, Z.: Production of vegetable oils in the world and in Egypt: an overview*,* in *Bulletin of the National Research Centre*, 2018/42. no., pp. 1–9.

tését a gabonafélék túlsúlya jellemzi.[26] Területének 70,5 százalékán gabonafélét, míg 0,6 százalékán hüvelyes növényeket termesztettek 2014-ben.

Jahn és szerzőtársai (2015) a világ szántóföldi szerkezetének és a megtermelt alapanyagok felhasználásának vizsgálata során arra a következtetésre jutottak,[27] amennyiben a vetésforgóban túlsúlyban lévő gabona aránya a jövőben tovább emelkedik, akkor az drasztikus környezeti károk bekövetkezését eredményezheti. A hüvelyesek vetésforgóban betöltött szerepének marginalizálódására Watson et al. (2017) is rávilágított.[28] Megjegyezte, hogy a biológiai nitrogén megkötés kevesebb műtrágyafelhasználást és ezáltal az üvegházhatású gázkibocsátás csökkenését eredményezi.

Jeuffroy et al. (2013) megállapítása szerint,[29] hüvelyes növény vetésforgóba illesztésével a kijuttatott nitrogén hatóanyag mennyisége 110-220 kilogrammal csökkenthető, amely 20-25 százalékkal kevesebb üvegházhatású gázkibocsátást (a talaj N tartalmának növekedése mellett) eredményez. Ez a kijelentés összhangban van Nemecek et al. (2008) vizsgálatainak eredeményével,[30] ahol 14 százalékos ÜHG megtakarítást mutattak ki, ha a kalászos gabonát borsóval helyettesítették a vetésforgóban.

4. EREDMÉNYEK

A legtöbb hüvelyes faj különböző mennyiségű nitrogén megkötésére képes, amelyet egyrészt az elővetemény és a talajmunka, másrészt különböző környezeti tényezők, úgymint a talaj hőmérséklete, pH-ja, nedvességtartalma és tápanyagtartalma befolyásol. Nitrogénmegkötés szempontjából a legjelentősebb hüvelyes fajokként a borsót, takarmánybabot, csicseriborsót, szójababot, csillagfürtöt és a lencsét azonosítottuk. A hüvelyesek nitrogén megkötő képessége a szakirodalom szerint széles spektrumban mozog. A szója 0-372 kg/ha, a csillagfürt 61-316 kg/ha, a takarmánybab 18-229 kg/ha, a borsó 45-218 kg/ha, a lencse 42-212 kg/ha és a csicseriborsó 23-186 kg/ha nitrogént képes átlagosan évente megkötni a légkörből (1. táblázat).

---

[26] Pesti, C. – Keszthelyi, S. – Barkaszi, L.: *Additional environmental data in Hungarian FADN – analysis of crop farms,* 2009, 4th Aspects and Visions of Applied Economics and Informatics, Debrecen.

[27] Jahn, J. L. – Stampfer, M. J. – Willett, W. C.:. Food, health & the environment: A global Grand challenge & some solutions, in *Deadalus*, 2015/144. no., pp. 31–44.

[28] Watson, A. C. – Reckling, M. – Preissel, S. – Bachinger, J. – Bergkvist, G. – Kuhlman, T. – Lindström, K. – Nemeck, T. – Topp, F. E. C. – Vanhatalo, A. – Zander, P. – Murphy-Bokern, D. – Stoddard, L. F.: Grain legume production and use in European agricultural system, in *Advances in Agronomy*, 2017/1. no., pp. 235–303.

[29] Jeuffroy, M. H. – Baranger, E. – Carrouée, B. – De Chezelles, E. – Gosme, M. – Hénault, C. – Schenider, A. – Cellier, P.: Nitrous oxide emission from crop rotation including wheat, rapeseed and dry peas, in *Biogeosciences*, 2013/10. no., pp. 1787–1797.

[30] Nemecek, T. – Von Richthofen, J. S. – Dubois, G. – Casta, P. – Charles, R. – Hubert, P.: Environmental impacts of introducing grain legumes into European crop rotation, in *European Journal of Agronomy*, 2008/28. no., pp. 380–393.

1. táblázat: A hüvelyesek által megkötött nitrogén mennyisége

Hüvelyes növény	Ország	N megkötés (kg/ha^{-1})	Forrás
Borsó	Franciaország	173-218	Naudin, et al., 2010
	Dánia, Egyesült Királyság, Olaszország, Franciaország, Németország	61-154	Hauggaard-Nielsen, et al., 2009
	Görögország	45-125	Ntatsi, et al., 2018
	Franciaország	165	Bourion, et al., 2007
Takarmánybab	Dánia	160-170	Hauggaard-Nielsen, et al., 2008
	Spanyolország	39-144	López-Bellido, et al., 2006
	Ausztrália	18-42	NSW Government, 2015
	Olaszország	75-229	Ruisi, et al., 2017
	Kanada	34-124	Hossain, et al., 2016
Csicseriborsó	Ausztrália	23-72	Sadras, et al., 2016
	Pakisztán	87-186	Aslam, et al., 2003
	Portugália	23	Carranca, et al., 1999
Szójabab	Világ átlag	0-372	Ciampitti és Salvagiotti, 2018
	Argentína	15-337	Collino, et al., 2015
	Németország	48-100	Zimmer, et al., 2016
	USA átlag	41-237	Guffy, et al., 1989
	Svájc	25	Oberson, et al., 2007

Csillagfürt	Olaszország	63-316	Sulas, et al., 2016
	Portugália	61-70	Carranca, et al., 2013
	Dánia	140-150	Hauggaard-Nielsen, et al., 2008
Lencse	Pakisztán	42-91	Iqbal, et al., 2002
	Németország	49-212	Schmidtke, et al., 2004

Forrás: Saját szerkesztés.

A szakirodalmi áttekintésre alapozottan megerősítettük, hogy a potenciálisan elérhető 20-25 százalékos ÜHG kibocsátás csökkenés a borsó, a takarmánybab, a szójabab és a csillagfürt termesztésekor realizálható. Csicseriborsó és lencse esetében az egy hektárra vetített átlagos nitrogénmegkötés mértéke nem éri el a Jeuffroy et. al. (2013) által említett minimális mértéket, így ezen növények termesztésekor 20 százaléknál kevesebb ÜHG kibocsátás csökkenés érhető el.

5. JÖVŐBELI TERVEK

A kutatásom szakirodalmi áttekintésének kialakítása a tanulmány leadásának időpontjában még folyamatban van. A szakirodalom áttanulmányozása alapján megállapítottuk, hogy a hüvelyes növények vetésforgóba illesztésén túl, a talajművelés optimális kiválasztásával és a precíziós gazdálkodás segítségével további eredmények érhetők el a növénytermesztés során keletkező üvegházhatású gázkibocsátás csökkentésében.

A szakirodalmi áttekintés kidolgozásával párhuzamosan megkezdtem a Fejér-megyében termesztett kukorica ÜHG kibocsátásának értékelését az FADN (Mezőgazdasági Számviteli Információs Hálózat) adataira és az IPCC modellszámításaira alapozottan.

Az Új Nemzeti Kiválóság Program keretében megvalósuló kutatásom a Tavaszi Szél Konferencián (Debrecen, 2019. május 3–5.) és a Műszaki, technológiai és gazdasági kihívások a 21. században című konferencián (Szeged, 2019. május 31.) kerülnek előadásra és publikálásra.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- Aslam, M. – Mahmood, I. A. – Peoples, M. B. – Schwenke, G. D. – Herridge, D. F.: Contribution of chickpea nitrogen fixation to increased wheat production and soil organic fertility in rain-fed cropping, in *Biology and Fertility of Soils*, 2003/38. no., pp. 59–64.
- Athanasios, B. – Bert, B. – Spyros, F. – Jurgen, V. – Tamme, V. D. W. – Iria, S. – Manuel, G. B. – Andrew, B. – Vera, E.: Precision agriculture technologies positively contributing to GHG emissions mitigation, farm productivity and economics, in *Sustainability*, 2017/8. no., pp. 1339–1367.
- Bockisch, F. J.: *Bewertung von Verfahren der ökologischen und konventionellen landwirtschaftlichen Produktion im Hinblick auf den Energieeinsatz und bestimmte Schadgasemissionen*, 2000/211. no., Darmstadt.
- Bourion, V. – Laguerre, G. – Depret, G. – Voisin, A.-S. – Salon, C. – Duc, G.: Genetic Variability in Nodulation and Root Growth Affects Nitrogen Fixation and Accumulation in Pea, in *Annals of Botany*, 2007/100. no., pp. 589–598.
- Carranca, C. – Madeira, M. – Torres, M. O.: N_2 fixation by two lupine species under different soil management systems. Transfer of fixed N_2 from legume to intercropped eucalyptus, in *Revista de Ciências Agrárias*, 2013/36. no., pp. 71–83.
- Ceschia, E. – Béziat, P. – Dejoux, J. F. – Aubinet, M. – Bernhofer, Ch. – Bodson, B. – Buchmann, N. – Carrara, A. – Cellier, P. – Di Tommasi, P. – Elbers, J. A. – Eugster, W. – Grünwald, T. – Jacobs, C. M. J. – Jans, W. W. P. – Jones, M. – Kutsch, W. – Lanigan, G. – Magliulo, E.: Management effects on net ecosystem carbon and GHG budgets at European crop sites, in *European Journal Agronomy*, 2010/139. no., pp. 49–56.
- Chhabra, A. – Manjunath, K. R. – Panigrahy, S. – Parihar, J. S.: Spatial pattern of methane emissions from Indian livestock, in *Current Science*, 2009/86. no., pp. 683–689. Naqvi, S. M. – Sejian, V.: Global climate change: role of livestock, in *Asian Journal of Agricultural Sciences*, 2011/3. no., pp. 19–25.
- Ciampitti, I. A. – Salvagiotti, F.: New Insights into Soybean Biological Nitrogen Fixation, in *Agronomy Journal*, 2018/110. no., pp. 1185–1196.
- Cohen, M. N.: *The Food Crisis in Prehistory: Overpopulation and the Origins of Agriculture*, 1977, Yale University Press.
- Collino, D. J. – Salvagiotti, F. – Perticari, A. – Piccinetti, C. – Ovando, G. – Urquiaga, S. – Racca, R. W.: Biological nitrogen fixation in soybean in Argentina: relationships with crop, soil, and meteorological factors, in *Plant and Soil*, 2015/392. no., pp. 239–252.
- Duxbury, J. M.: The significance of agriculture source of greenhouse gases, in *Fertilizer Research*, 1994/35. no., pp. 151–163.
- FAO: *Crops – Area harvested*. http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC, (letöltve: 2019. március 9.).

▪ Firestone, M. K. – Davidson, E. A.: *Microbiological basis of NO and N_2O production and consumption in soil,* 1989, John Wiley and Sons, pp. 7–21.
▪ Fred, E. B. – Baldwin, I. L. – Mccoy, E.: *Root nodule bacteria and leguminous plants*, 1932, University of Wisconsin Press.
▪ Guffy, R. D. – Heuvel, R. M. V. – Vasilas, B. L. – Nelson, R. L. – Frobish, M. A. – Hesketh, J. D.: Evaluation of the N_2 fixation capacity of four genotypes by several methods, in *Soil Biology and Biochemistry*, 1989/21. no., pp. 339–342.
▪ Hauggaard-Nielsen, H. – Gooding, M. – Ambus, P. – Corre–Hellou, G. – Crozat, Y. – Dahlmann, C. – Dibet, A. – Von Fragstein, P. – Pristeri, A. – Monti, M. – Jensen, E. S.: Pea-barley intercropping for efficient symbiotic N_2-fixation, soil N acquisition and use of other nutrients in European organic cropping system, in *Field Crops Research*, 2009/113. no., pp. 64–71.
▪ Hauggaard-Nielsen, H. – Jornsgaard, B. – Kinane, J. – Jensen, E. S.: Grain-legume-cereal intercropping: the practical application of diversity. competition and facilitation in arable and organic croppping system, in *Renewable Agriculture Food System*, 2008/23. no., pp. 3–12.
▪ Hossain, Z. – Wang, X. – Chantal, H. – Knight, J. D. – Morrison, M. J. – Gan, Y.: Biological nitrogen fixation by pulse crops on semiarid Canadian prairies, in *Canadian Journal of Plant Science*, 2016/97. no., pp. 119–131.
▪ Hutchinson, G. L. – Davidson, E. A.: Process for production and consumption of gaseous nitrogen oxides on soil, in *American Society of Agronomy*, 1993/55. no., pp. 79–94.
▪ Hymowitz, T. – Singh, R. J.: *Taxonomy and speciation,* 1987, American Society of Agronomy, pp. 23–48.
▪ IPCC, *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, 2014, IPCC, Genf.
▪ IPCC: *Climate Change 1995, the Science of Climate Change. Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change,* 1996, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
▪ Iqbal, M. M. – Mohammad, W. – Shah, M. S. – Nawaz, H – Idris, M.: *Nitrogen fixation by lentil in farmers' fields under rainfed dry conditions*, 2002, 17th WCSS., Thaiföld.
▪ Jahn, J. L. – Stampfer, M. J. – Willett, W. C.:. Food, health & the environment: A global Grand challenge & some solutions, in *Deadalus*, 2015/144. no., pp. 31–44.
▪ Jensen, E. S. – Hauggaard-Nielsen, H.: How can increased use of biological N_2 fixation in agriculture benefit the environment?, in *Plant and Soil*, 2003/252. no., pp. 177–186.
▪ Jeuffroy, M. H. – Baranger, E. – Carrouée, B. – De Chezelles, E. – Gosme, M. – Hénault, C. – Schenider, A. – Cellier, P.: Nitrous oxide emission from crop rotation including wheat, rapeseed and dry peas, in *Biogeosciences*, 2013/10. no., pp. 1787–1797.

▪ Kroeze, C. – Mosier, A. R. – Bouwman, L.: Closing the global N_2O budget: retrospective analysis 1500-1994, in *Global Biogeochemical Cycles*, 1999/13. no., pp. 1–8.
▪ Leng, R. A.: *The impact of livestock development on environmental change,* 1993, FAO Corporate Documentary Repository, Rome.
▪ Linquist, B. A. – Adviento-Borbe, M. A. – Pittelkow, C. M. – Van Kessel, C. – Van Groeningen, K. J.: Fertilizer management practices and greenhouse gas emission from rice systems: A quantitative review and analysis, in *Field Crops Research*, 2012/135. no., pp. 10–21.
▪ López-Bellido, L. – López-Bellido, R. J. – Redondo, R. – Benítez, J.: Faba bean nitrogen fixation in a wheat-based rotation under rainfed Mediterranean conditions: Effect of tillage system, in *Field Crops Research*, 2006/98. no., pp. 253–260.
▪ Ma, J. – Li, X. L. – Xu, H. – Han, Y. – Cai, Z. C. – Yagi, K.: Effects of nitrogen fertiliser and wheat straw application on CH_4 and N_2O emissions from paddy rice field, in *Australian Journal of Soil Research*, 2007/45. no., 359–367.
▪ Mona, E.-H. – Ferial, Z.: Production of vegetable oils in the world and in Egypt: an overview, in *Bulletin of the National Research Centre*, 2018/42. no., pp. 1–9.
▪ Montzka, S. A. - Dlugokencky, E. J. - Butler, J. H.: Non-CO2 greenhouse gases and climate change, in *Nature*, 2011/476. no., pp. 43–50.
▪ Naudin, C. – Corre-Hellou, G. – Pineau, S. – Crozat , Y. – Jeuffroy, M. H.: The effect of various dynamics of N availability in winter pea-wheat intercrops: crop growth, N partitioning and symbiotic N_2 fixation, in *Field Crop Research*, 2010/119. no., pp. 2–11.
▪ Nemecek, T. – Von Richthofen, J. S. – Dubois, G. – Casta, P. – Charles, R. – Hubert, P.: Environmental impacts of introducing grain legumes into European crop rotation, in *European Journal of Agronomy*, 2008/28. no., pp. 380–393.
▪ Nsw Government: Nitrogen benefits of chickpea and faba bean, 2015, NSW Department of Primary Industries, New England.
▪ Ntatsi, G. – Karkanis, A. – Yfantopoulos, D. – Pappa, V. – Konosonoka, I. – Travlos, I. – Bilalis, D. – Bebeli, P. – Savvas, D.: Evaluation of the field performance, nitrogen fixation efficiency and competitive ability of pea landraces grown under organic and conventional farming systems, in *Archives of Agronomy and Soil Science*, 2018/1. no., pp. 1–14.
▪ Oberson, A. – Nanzer, S. – Bosshard, C. – Dubois, D. – Mader, P. – Frossard, E.: Symbiotic N_2 fixation by soybean in organic and conventional cropping systems estimated by 15N dilution and 15N natural abundance, in *Plant and Soil*, 2007/290. no., pp. 69–83.
▪ Paustian, K. – Lehmann, J. – Ogle, S. – Reay, D. – Robertson, G. P. – Smith, P.: Climate amsart soils, in *Nature*, 2016/532. no., pp. 48–57.
▪ Pesti, C. – Keszthelyi, S. – Barkaszi, L.: *Additional environmental data in Hungarian FADN – analysis of crop farms,* 2009, 4th Aspects and Visions of Applied Economics and Informatics, Debrecen.

▪ Polhill, R. M. – Raven, P. H. – Stirto, C. H.: *Evolution and Systematics of the Leguminosae,* 1981, Advances in Legume Systematics, Part I., Royal Botanic Garden, pp. 1–26.
▪ Ruisi, P. – Amato, G. – Badagliacca, G. – Frenda, S. A. – Giambalvo, D. – Di Miceli, G.: Agro-ecological benefits of faba bean for rainfed Mediterranean cropping systems, in *Italian Journal of Agronomy*, 2017/12. no., pp. 223–245.
▪ Russelle, M.: Alfalfa*,* in *American Scientist*, 2001/89. no., pp. 252–259.
▪ Sadras, O. V. – Lake, L. – Li, Y. – Farquharson, E. A. – Sutton, T.: Phenotypic plasticity and its genetic regulation for yield, nitrogen fixation and δ13C in chickpea crops under varying water regimes, in *Journal of Experimental Botany*, 2016/67. no., pp. 4339–4351.
▪ Schmidtke, K. – Neumann, A. – Hof, C. – Rauber, R.: Soil and atmospheric nitrogen uptake by lentil (Lens culinaris Medik.) and barley (Hordeum vulgare ssp. nudum L.) as monocrops and intercrops, in *Field Crops Research*, 2004/87. no., pp. 245–256.
▪ Sulas, L. – Canu, S. – Ledda, L. – Carroni, M. A. – Sails, M.: Yield and nitrogen fixation potential from white lupine grown in rainfed Mediterranean environments, in *Scientia Agricola*, 2016/74. no., pp. 338–346.
▪ Towprayoon, S. – Smakgahn, K. – Poonkaew, S.: Mitigation of methane and nitrous oxide emission from drained irrigated rice fields, in *Chemosphere*, 2005/59. no., pp. 1547–1556.
▪ Tubiello, F. N. – Salvatore, M. – Rossi, S. – Ferrara, A. – Fitton, N. – Smith, P.: The FAOSTAT database of greenhouse gas emissiong from agriculture, in *Environmental Research Letter*, 2013/8. no., pp. 1–11.
▪ U. S. EPA.: *Global anthropogenic non-CO2 greenhouse gas emissions*: *1990–2030,* 2012, EPA, Washington D. C.
▪ Vazquez–Amabile, G. – Gonzalo, M. – Pella, M. – Galbusera, S. – Cueto, G.: *Evaluation of the Variable Rate Fertilization in winter crops for shallow soils using soil depth maps and crop simulation models in south-eastern Pampas, Argentina,* 2013, ASABE Annual International Meeting, Kansas, USA.
▪ Watson, A. C. – Reckling, M. – Preissel, S. – Bachinger, J. – Bergkvist, G. – Kuhlman, T. – Lindström, K. – Nemeck, T. – Topp, F.E. C. – Vanhatalo, A. – Zander, P. – Murphy-Bokern, D. – Stoddard, L. F.: Grain legume production and use in European agricultural system*,* in *Advances in Agronomy*, 2017/1. no., pp. 235–303.
▪ Zimmer, S. – Messmer, M. – Haase, T. – Piepho, H. P. – Mindermann, A. – Schulz, H. – Habekuss, A. – Ordon, F. – Wilbois, K. P. – Hess, J.: Effect of soybeans variety and Bradyrhizobium strains on yield, protein content and biological nitrogen fixation under cool growing conditions in Germany, in *European Journal of Agronomy*, 2016/72. no., pp. 38–46.