



HÜVELYES NÖVÉNYEK (FABELES) SZEREPE a növénytermesztésben és AZ ÜVEGHÁZHATÁSÚGÁZ-KIBOCSÁTÁS CSÖKKENTÉSÉBEN

^{1,3}KULMÁNY ISTVÁN MIHÁLY - ¹ENSZÖL ERZSÉBET - ¹VONA VIKTÓRIA -
²KOVÁCS BARNA - ¹MILICS GÁBOR

¹Széchenyi István Egyetem, Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar,
Mosonmagyaróvár

²Külgazdasági és Külügyminisztérium, Budapest

³Nemzeti Agrárkutatási és Innovációs Központ, Agrárgazdasági Kutatóintézet,
Budapest

ABSZTRAKT

A mezőgazdasági, erdőgazdálkodási és egyéb területhasználatok (*AFOLU* - *Agriculture, Forestry, and Other Land Use sectors*) által okozott antropogén üvegházhatásúgáz-kibocsátás (ÜHG-kibocsátás) a globális emisszió 24 százalékáért, 11,8 GtCO₂ mennyiségért volt felelős 2010-ben. A mezőgazdasági tevékenységből származó ÜHG volumene ebből 5,4 – 5,8 GtCO₂. A kibocsátott gázok közül a dinitrogén-oxid (N₂O), a metán (CH₄) és a szén-dioxid (CO₂) mennyisége a legnagyobb. A szántóföldi növénytermesztés szerepe a globális dinitrogén-oxid kibocsátásban jelenleg 70-75 százalék, de jelentősége az intenzív mezőgazdasági termelési rendszerek elterjedésével folyamatosan növekszik.

A gabonafélék termesztésére specializálódott növénytermesztési rendszerek mára túlsúlyba kerültek. Amennyiben az intenzív technológiával termesztett gabonafélék vetésforgóban betöltött szerepe a jövőben tovább fokozódik, akkor az drasztikus környezeti károk bekövetkezését eredményezheti. Ebből adódóan a kutatásunk

célkitűzésében a hüvelyesek (Fabales) üvegházhatású gázkibocsátás csökkentésében betöltött szerepe állt, amely elsősorban szakirodalmak áttekintésre támaszkodott.

Megállapítottuk, hogy a vetésforgó átalakításával mérsékelhető a talajok N_2O kibocsátása. A vetésforgóba illesztett hüvelyesek jelentik az egyik alternatív megoldását ezen cél elérésében, hiszen a fejlődésükhöz szükséges nitrogén egy részéhez biológiai nitrogén megkötés (Biological Nitrogen Fixation – BNF) révén jutnak hozzá, így csökkentve a kijuttatandó műtrágya mennyiségét. Az irodalmi adatok alapján kijelenthető, hogy a hüvelyes növények hektáronként 0-372 kg nitrogént képesek évente megkötni a levegőből, amely a teljes termelési ciklusra vetítve átlagosan 10-30 százalékkal mérsékelheti a talajok ÜHG-kibocsátását.

Kulcsszavak: üvegházhatásúgáz-kibocsátás, vetésforgó, hüvelyes növények, BNF, nitrogén megkötés

BEVEZETÉS ÉS IRODALMI ÁTTEKINTÉS

Mezőgazdaság szerepe az üvegházhatásúgáz-kibocsátásban

A mezőgazdasági, erdőgazdálkodási és egyéb területhasználatok (*AFOLU - Agriculture, Forestry, and Other Land Use sectors*) által okozott antropogén üvegházhatásúgáz-kibocsátás (ÜHG-kibocsátás) a globális emisszió 24 százalékáért, 11,8 GtCO₂ mennyiségért volt felelős 2010-ben (*IPCC 2014*). A mezőgazdasági tevékenységből származó antropogén ÜHG mennyisége az *AFOLU* kibocsátásának 40-54 százalékát (5,4-5,8 GtCO₂) tette ki, amely 0,9-1,6 százalékos éves átlagos növekedést eredményezett 1961 és 2010 között (*Montzka et al. 2011, Tubiello et al. 2013*). A növénytermesztés és állattartás során felhasznált üzemanyagok elégetése (2014-ben 0,4-0,8 GtCO₂, *Ceschia et al. 2010*) valamint a földhasználati rendszerek megváltozása (*land-use change*) az agrárium CO₂ kibocsátásából 20-25 százalékkal részesedik (*Bockisch 2010, IPCC 2014*). A mezőgazdasághoz kapcsolható ÜHG-kibocsátás jelentős részéért a kérődző haszonállatok emésztése, a trágya kezelése és felhasználása, a mezőgazdasági talajok művelése és a rizstermesztés tehető felelőssé (*U.S. EPA 2012*). A felsorolt mezőgazdasági tevékenység során a legnagyobb mennyiségben kibocsájtott üvegházhatású gáz a dinitrogén-oxid (N₂O), a metán (CH₄) és a szén-dioxid (CO₂) (*Duxbury 1994*).

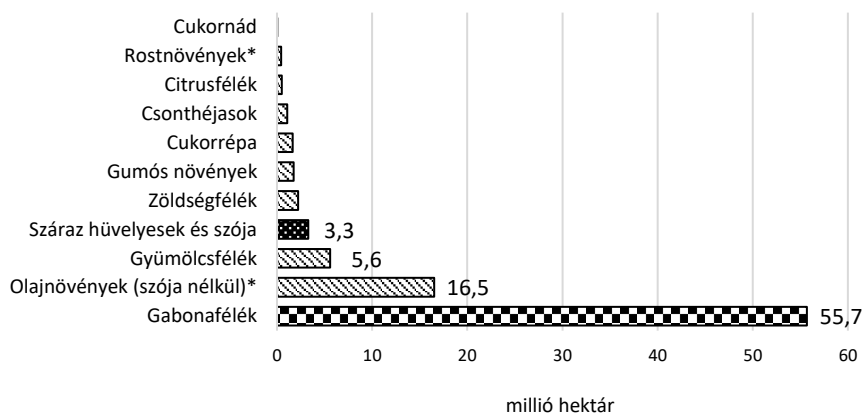
A globális N_2O kibocsátás 70-75 százalékáért az agrárium felel (Montzka et al. 2011). A N_2O fokozott felszabadulása a talajban található többlet nitrogén mikrobiológiai átalakulásával (nitrifikáció és denitrifikáció) hozható összefüggésbe (Firestone és Davidson 1989). A talajok megnövekedett nitrogén tartalmának elsődleges előidézői a mű- és szerves trágya felhasználás, valamint a biológiai nitrogénmegkötés (IPCC 1996). 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 és dinitrogén gáz (N_2) jut a légkörbe (Hutchinson és Davidson 1993). 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 (IPCC 2014). Az N_2O emissziójának csökkentésére Kroeze et al. már 1999-ben felhívták a figyelmet. Véleményük szerint a nitrogén műtrágya felhasználásának hatékonyságát növelő mezőgazdasági gyakorlatok alkalmazása (vetésforgó átalakítása, technológiai fejlesztések) hozzájárulnak a N_2O , NO és az ammónia (NH_3) kibocsátás mérsékléséhez.

Az agrárium 50-53 százalékkal járul hozzá a globális antropogén metánkibocsátáshoz (Montzka et al. 2011). Ezen kibocsátás meghatározó része (53 százalék) a kérődzők emésztőrendszeri fermentációjából (Leng 1993), 18 százaléka a rizs termesztéséből (Chhabra et al. 2009), 11 százaléka a trágyakezelésből és 18 százalék a mezőgazdasági egyéb tevékenységből származik (Naqvi és Sejian 2011).

Hüvelyesek (fabeles) szerepe a mezőgazdaságban

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 (Polhill et al. 1981). A hüvelyesek számítanak az ember által legkorábban házasított növénynek. Cohen (1977) azt írja, hogy az első feljegyzések szerint a lencsét (*Lens. esculenta* L.) Iránban, időszámításunk előtt (i.e.) 9500-8000 körül vonták termesztésbe, míg a bab (*Phaseolus vulgaris* L.) és a szójabab (*Glycine max*) házasítása Amerikában és Ázsiában az időszámításunk előtt 2000-3000 években egyidejűleg történhetett (Hymowitz és Singh 1987). A hüvelyesek által az utónövényre és a talajra kifejtett kedvező hatását elsőnek a római korban jegyezték fel i.e. 37-ben (Fred et al. 1933). Azóta számos megfigyelés igazolta az

akkori feltételezéseket (*Jensen és Hauggaard-Nielsen 2003, Paustian et al. 2016*). A hüvelyesek szerepe a világ szántóföldi növénytermesztésében az elmúlt öt évtizedben fokozatosan csökkent. Az amerikai, az argentin és a brazil szója ágazat erősödésének köszönhetően a hüvelyesek és a szója (továbbiakban: hüvelyesek) vetésterülete 6,8 százalékról 15,4 százalékra emelkedett a világ szántóterületein belül 1961-ről 2017-re. Az Európai Unióban (EU) termesztett hüvelyesek vetésterülete ugyanezen időszak alatt megfeleződött. A *FAO (2019)* adatai alapján ez 3,3 millió hektár (a szántóterület 3,1 százaléka) volt 2017-ben (*1. ábra*). A gabonanövények szerepe a vetéskörnyezetben állandósult, 1961-től a szántók 50-56 százalékán, 55-65 millió hektáron termesztették (*FAO 2019*).



*Az Egyesült Nemzetek Mezőgazdasági és Élelmezési Szervezetének (Food and Agriculture Organization of the United Nations; FAO) 2014-es adatai alapján

A hüvelyesek szerepének marginalizálódása a támogatási- és a gazdasági környezet megváltozásával, a mezőgazdasági termelési specializálódása és intenzívebbé válásával, valamint az Amerikai Egyesült Államok (USA) és az Európai Unió (korábban az Európai Gazdasági Közösség - EGK) között megkötött különböző kereskedelmi megállapodásokkal magyarázható az európai kontinensen.

1. ábra: A szántóföldi növények betakarított területe az EU-ban 2017-ben (Forrás: FAO 2019)

Figure 1: Harvested area of arable crops in EU in 2017 (Source: FAO 2019)

Támogatási környezet

A Római Szerződés 39. cikkelyének céljaival összhangban a Közös Agrárpolitika kialakítása az egységes piac szervezésével kezdődött meg az EGK-ban 1962-től (*Ott és Vos 2009*). Az agrárszabályozás egységesítésével húsznál is több termékcsoportra alakították ki közös piaci szerveződést 1967-ig (vagy az úgynevezett Közös Piaci

Rendtartást/Szervezetet), amelynek mintájaként a gabonapiaci rendtartás szolgált. A szabályozás fontos elemét az intervenciós árképzés jelentette, amely a világpiacon a magasabb garantált felvásárlási árat biztosított a termelőknek abban az esetben, ha a belpiaci árak túlkínálat esetén az intervenciós ár alá estek (*Tracy 1994*). A közösségi prioritások figyelembevételével az intervenciós árak árunövényenként eltérően kerültek meghatározásra, fokozva ezzel a szántóföldi területekért folytatott versenyt a kultúrák között (*Fennell 1997*). Ennek eredményeként az állati takarmányként szolgáló hüvelyesek területe lecsökkent (*Matthews 2015*). Az EGK a helyzet kezelésére kereskedelmi megállapodást kötött az USA-val, ahonnan ezután vámmentesen érkeztetett az olcsó importszója, felfuttatva ezzel az amerikai szójatermesztést. Ez ugyan kielégítette az állattenyésztés igényeit, de évekre visszavetette a hüvelyesek termesztését az EGK-ban.

A hüvelyesek vetésterülete 1973 után kezdett emelkedni az EGK-ban. Ekkor az Amerikai Egyesült Államok Mezőgazdasági Minisztériuma a nyersanyagok magas világpiacon árára és a tavaszi esőzések okozta hozamkiesés miatt felfüggesztette a szója exportját a Szovjetunió és az Európai Gazdasági Közösség irányába (*USITC 1983*). Az amerikai export felfüggesztése az európai állattenyésztési szektorban ellátási gondokat okozott. Az importszójától való függőség csökkentése érdekében a hatóságok újraindították a magas fehérjetartalmú hüvelyes (borsó, takarmánybab, csillagfűrt, csicseriborsó, szója) termesztését a közösségben (*Voisin et al. 2013, Meynard et al. 2013*). Az ártámogatás rendszerét 1974-ben a szójára, 1978-ban a borsóra, a takarmánybabra és a csillagfűrtre majd 1982 végére az élelmezési célra termesztett fehérjenövényekre terjesztették ki. Egyes speciális hüvelyesek, úgymint a csicseriborsó, a lencse és a borsóbükköny 300 ezer hektárig, hektáronként 75 ECU egységes területalapú támogatásban részesültek 1989-től (*Wright és Williams 1988*). A szubvenció hatására a hüvelyesek vetésterülete 18 százalékkal (legjelentősebben a szója és a borsó), 4,1 millió hektárra, a termés pedig 2,7 millió tonnáról 9,3 millió tonnára emelkedett 1973 és 1989 között (*2. ábra*). Az ártámogatás bevezetésének következtében az EGK belső termelése megnövekedett, amely a belső készletek drasztikus növekedését eredményezte. A világpiacon megjelenő EU-s termékek dömpingje okozta kereskedelmi viták és a támogatási rendszer túltermeléséből fakadó költségnövekedés az ártámogatást fenntarthatatlanná tette (*Matthews 2015*).

A kialakult helyzetre válaszul 1992-ben született meg a MacSharry reform, amely az ártámogatás rendszerét arányosan csökkentette, helyét fokozatosan terület alapú közvetlen támogatás vette át (Garzon 2006). Az új támogatási rendszerben az EU számára a gabonatermelésének védelme továbbra is prioritási terület volt, ugyanakkor megkönnyítette a fehérjenövények és az olajos magvak EU-ba történő vámmentes behozatalát. Ezt alátámasztja, hogy az új finanszírozási rendszerben a szóját a hüvelyesek közül az olajnövényekhez sorolták, amely termesztéséhez alacsonyabb (63 ECU/t) támogatást allokáltak. A magasabb fehérje tartalmú hüvelyesek (pl.: borsó, takarmánybab) termesztéséért ugyanakkor magasabb (79 ECU/t) terület alapú közvetlen támogatást folyósítottak a gazdáknak (LMC International 2009). A hüvelyesek európai termesztésének helyzetét tovább nehezítette az USA és az EU között 1992-ben megkötött Blair House megállapodás. Az egyezmény korlátozta a nem élelmiszeripari célú olajnövények termesztésére fordítható támogatás mértékét és a támogatott termőterület nagyságát 5.5 millió hektárban maximalizálta (USITC 1993). A KAP reformnak, valamint a Blair House kereskedelmi egyezménynek köszönhetően a hüvelyesek termesztése ismét visszaszorult, versenyhátrányba került a gabonanövényekkel és az amerikai importszójával szemben. A vetésterülete ennek hatására 2,45 millió hektárra csökkent az ezredfordulóra.

A 2000-2006 közötti pénzügyi ciklus Közös Agrárpolitikáját érintő 2003. évi reformja fundamentális változást hozott a támogatási rendszerben. Az új KAP függetlenítette a támogatást a termeléstől (*decoupling*), az árak csökkentésével azokat a világszertei árakhoz igazították, ezzel egyidejűleg a termelők helyzetét közvetlen jövedelem támogatásokkal (*direct payments*) stabilizálták. A változások leginkább a gabonanövényeket, az olajnövényeket, a fehérjenövényeket és a rosnövényeket érintette (Horváth, 2018). Hüvelyesek szempontjából az új KAP (a) szektorspecifikus kiegészítő nemzeti közvetlen kifizetést vagy a fő szántóföldi növények támogatásán belüli finanszírozást engedélyezett az újonnan csatlakozott tagországok számára; (b) az egységes támogatási rendszerben (SPS) nyújtott támogatáson felül úgynevezett fehérje prémiumot (55,57 EUR/ha) vezetett be maximum 1,65 millió hektár szántóterületre az EU-ban; (c) a tagországok számára az egységes támogatási rendszerben igényelhető támogatás 25 százalékáig továbbra is engedélyezte a gabona-, az olaj-, valamint a fehérjenövények termelésétől függő közvetlen támogatások nyújtását. A termelést ösztönző közvetlen támogatások fenntartása ellenére az európai borsótermesztők

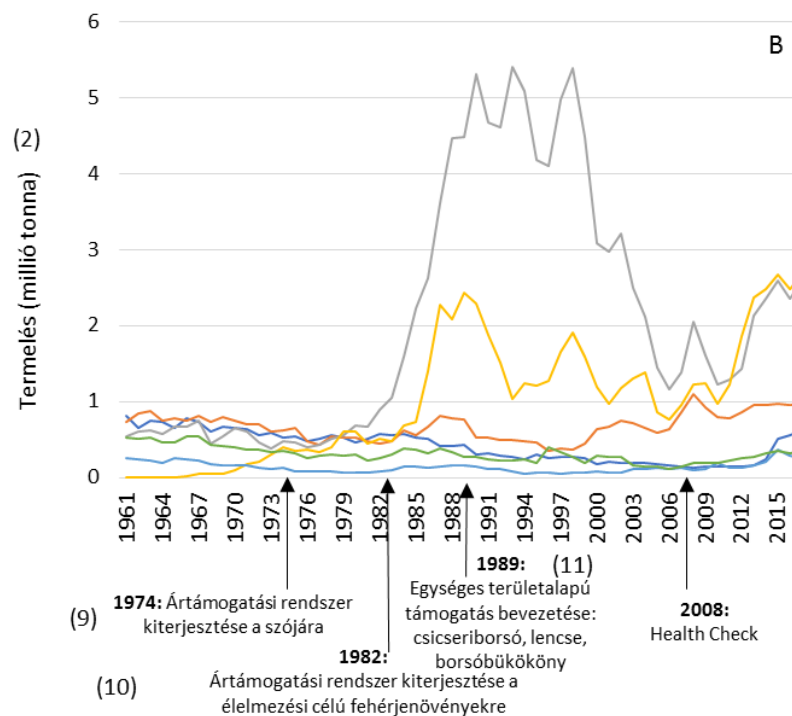
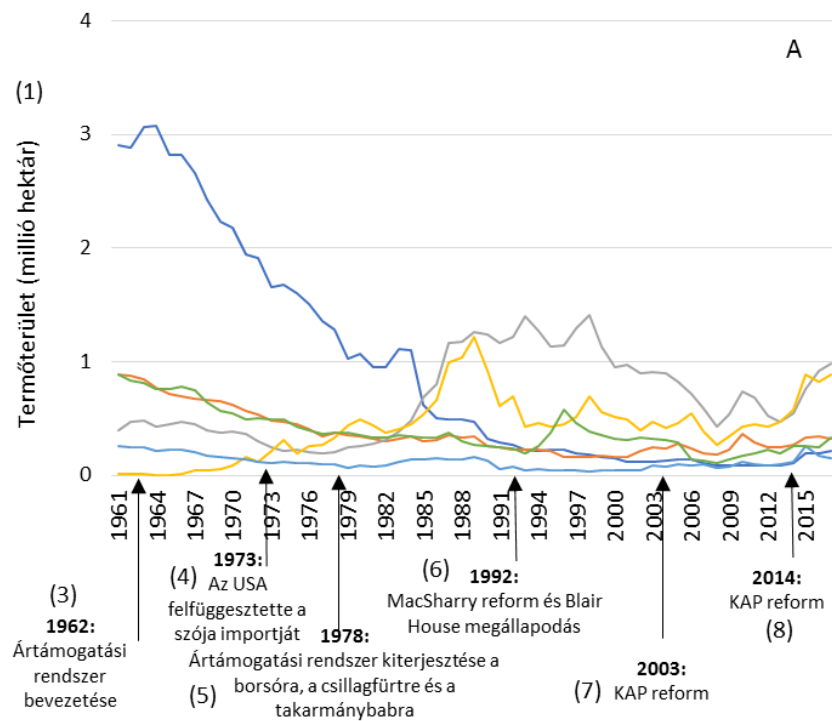
jövedelmezősége az 2003-as reform után szignifikánsan nem változott. A területre vetített kibocsátás az alacsony hozamú területek növekedésének köszönhetően tovább csökkent (*Kamp et al.* 2011). *Cavaillés* (2009) szintén hasonló következtetésre jutott a francia borsótermesztők jövedelmezőségét vizsgálva. Rámutatott arra, hogy a 15 százalékkal magasabb támogatás sem kompenzálta a borsótermesztők gazdasági versenyhátrányát a főként olaj-, és gabonanövények termesztésére szakosodott gazdákkal szemben.

Az Európai Unió 2007-2013 közötti támogatási időszakában a Közös Agrárpolitika 2008-as reformja, az úgynevezett „*egészségügyi állapotfelmérése*” újabb csapást mért a hüvelyesek termesztésére. A „*Health Check*”-ként is ismert felülvizsgálat megszüntette a termeléstől függő közvetlen kifizetéseket és a fehérjenövények termesztése után fizetett fehérjeprémiumot, azokat 2012-től az egységes támogatási rendszerbe integrálta (*Daughjerg és Swinbank* 2011). A támogatási rendszer átalakításával a hüvelyesek termesztésének kiemelt támogatása kikerült a Közös Agrárpolitika prioritási területei közül (*Schneider és Huyghe* 2015). Ennek eredményeként a hüvelyesek vetésterülete az ezredfordulóhoz képest 27 százalékkal, 1,8 millió hektárra esett az EU-ban 2013-ra (*2a. ábra*).

A Közös Agrárpolitika 2014-2020 költségvetési ciklusában a hüvelyes növények termesztésének ösztönzése forduloponthoz ért. Az új KAP első (A mezőgazdasági termelőknek nyújtott közvetlen támogatások) és második (Vidékfejlesztési támogatások) pillérébe beépített ösztönző eszközök a hüvelyesek termesztését támogatta a meglévő termelési szint fenntartásáig. Az új KAP lehetővé tette a tagországok számára, hogy a közvetlen kifizetésekre vonatkozó nemzeti felső összeghatáruk legfeljebb 8, vagy (egyves feltételek teljesülése esetén) 13 százalékaig termeléstől függő támogatást nyújtsanak sajátos helyzetű ágazataikban vagy régióikban, ahol meghatározott gazdálkodási típusok vagy mezőgazdasági ágazatok gazdasági, környezetvédelmi és/vagy társadalmi szempontból kiemelt fontosságúak. Ezen túlmenően, az állattenyésztési ágazat fehérjealapú autonómiájának kialakítására vagy fenntartására, a tagállamok a nemzeti felső összeghatáraik további, legalább 2 százalékaig fehérjenövények termesztésre fordíthatják (*Matthews* 2018). A támogatásoknak köszönhetően a hüvelyesek és a szója vetésterülete 41,7 százalékkal, 2,2 millió hektárról 3 millió hektár fölé emelkedett 2014-ről 2015-re (*Hart et al.* 2017).

Gazdasági környezet

A hüvelyesek termőterületének csökkenésében fontos szerepet játszott, hogy keményítőben gazdag gabonafélék termesztése komparatív előnyt élvez a fehérjében gazdag hüvelyes növények termesztésével szemben az Európai Unióban (*Frederick et al.* 2013). Ez elsősorban a vetésforgó egyszerűsödéséből és az egyre specializált termelési rendszerek megjelenésével (*Bouwer* 2006), valamint a hüvelyesek gyengébb termesztési (megdőlés; szárazság tűrés; gyomnövény-, kártevők- és betegségekkel szembeni ellenállóképesség) tulajdonságaival magyarázható (*Corre-Hellou és Crozat* 2005, *Wery és Ahlawat* 2007, *Geugeun et al.* 2008).



— Veteménybab (*Phaseolus vulgaris* L.)
 — Borsó (*Pisum sativum* L.)
 — Csillagfürt (*Lupinus* L.)
 — Takarmánybab (*Vicia faba* L.)
 — Szója (*Glycine max* L.)
 — Csicsoriborsó (*Cicer erietinum* L.), Takarmánybüköny (*Vicia sativa* L.), és egyéb hüvelyes

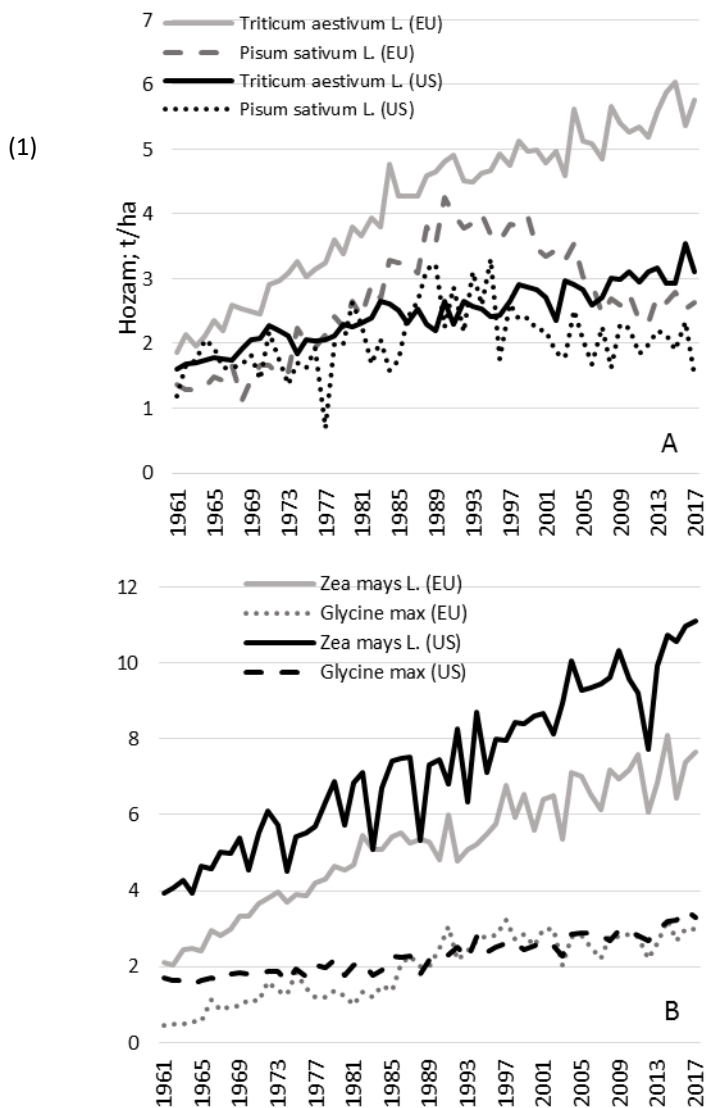
(1) crop land (million hectare), (2) production (million tons), (3) price supports scheme, (4) USA suspends the imports of soybean (5) extension of price support scheme to *Pisum Sstivum* L., *Lupinus* L. and *Vicia faba* L., (6) MacSharry reform and Blair House Agreement, (7-8) CAP reform, (9) extension of price support scheme to soybean, (10) extension of price support scheme to protein crops for food purposes, (11) Introduction of single area payment: *Cicer erietinum* L., *Lens culinaris* L., *Lathyrus clymenum* L.,

2.ábra: Hüvelyes növények vetésterületének (A) és termésmennyiségének (B) a változása az Európai Unióban (Forrás: FAO 2019, Saját szerkesztés)

Figure 2: Variability of production area and yield of legumes in European Union (Source: FAO 2019)

A FAO (2019) adatai szerint az európai és az amerikai szója (*Glycine max*), borsó (*Pisium sativum L.*), valamint amerikai búza hozamok (*Triticum aestivum L.*) jelentős volatilitás mellett 1-4 t/ha-os szinten mozogtak 1961 és 2017 között. Ezzel szemben az Európai Unióban termesztett búza hozama közel megháromszorozódva hektáronként 5,8 tonna volt 2017-ben, amely 0,07 t/ha-os éves átlagos növekedést jelentett 1961-től (3. ábra).

A hozamok volatilitása (Jeuffroy 2006) és az alacsony piaci árak miatt (Carrouée et al. 2012) a hüvelyesek termesztése népszerűtlen az európai gazdák körében von Richthofen et al. (2006) felmérése szerint. E tényezők hatására a gazdálkodók a gabonanövények termesztése felé fordultak, amellyel közel háromszor magasabb értéket tudnak előállítani az állandó költségeik fedezésére (Kamp et al. 2011), ezáltal magasabb jövedelmet realizálva (LMC International 2009). Ezt az állítást később Mahmood (2011) és Dequiedt és Moran (2015) is alátámasztotta a francia gabonaágazat, olajosnövények, valamint a hüvelyesek termesztésének jövedelmezőségének vizsgálata során. Megállapításuk szerint a hüvelyesek és a gabonanövények fedezeti hozzájárulása között meglévő ilyen jelentős eltérés jelenti az egyik legnagyobb gátját a hüvelyesek intenzívebb termesztésének az EU-ban.



(1) Yield (tons/ha)

3.ábra: A búza (*Triticum aestivum L.*) és borsó (*Pisum sativum L.*) (A), valamint a kukorica (*Zea mays L.*) és a szója (*Glycine max*) (B) hozamának változása az EU-ban és az USA-ban (Forrás: FAO 2019, Saját szerkesztés)

Figure 3: Yield variability of *Triticum aestivum L.*, *Pisum sativum L.* (A), and *Zea mays L.*, *Glycine max* (B) in EU and US

Specializáció és intenzifikáció

A vegyszer- és műtrágyafelhasználás fokozódásával, a géntechnológia központú kutatási területek erősödésével és a munkaszervezési folyamatok egyszerűsödésével, iparszerű, specializált termelési- és szervezési rendszerek terjedtek el az Európai Unió mezőgazdaságában (Cowan és Gunby 1996, Walford 2003).

A kialakult termelési rendszerben a termelékenység állandó fokozása mellett (Lowe et al. 1993), az agrárkörnyezeti szempontok kevésbé jelentek meg a mezőgazdasági gyakorlatban (Carlson 1962). A nagy mennyiségben rendelkezésre álló külső források (műtrágya, növényvédőszer, gépek) és egyes kultúrák megnövekedett hozamaiból eredő jövedelemtöbblet kárpótolta a gazdákat más kultúrák termesztésének felhagyásáért (LMC International 2009; Meynard et al. 2013).

A növénytermesztés és az állattenyésztés szétválásával a pillangós szálastakarmányok szinte teljesen eltűntek a legtöbb vetésforgóból az 1970-es évekre, míg a hüvelyesek marginális helyre szorultak (2. ábra) 1990-re (Lamine 2011). Az egyszerűsödő vetésforgó egyrészt növelte a kijuttatott növényvédőszer mennyiségét (Meynard és Girardin 1991, Wilson és Tisdell 2001), másrészt csökkentette a gabonafélék nitrogénfelvevő képességét, mely egyre magasabb műtrágya dózisok kijuttatását eredményezte (Schoeny et al. 2003). A vetésforgó átrendeződésével, valamint a szerveztrágya felhasználásának csökkenésével a felhasznált műtrágya mennyisége megemelkedett, hozzájárulva a növénytermesztés növekvő üvegházhatásúgáz-kibocsátásához (Voisin et al. 2013).

A hüvelyes növények szerepének marginalizálódásáért elsősorban az önmagát erősítő folyamatoknak köszönhető (Fares et al. 2012). A piaci, szervezési, technológiai, valamint a környezeti tényezőkhez való alkalmazkodással szemben hozott hosszútávú döntéseik gátolták meg a gazdákat alternatív, környezethez alkalmazkodó termelési rendszereket bevezetésében (Kallis és Norgaard 2010), hozzájárulva a hüvelyes növények vetésterületének további csökkenéséhez az Európai Unióban (Bouwer 2006).

Hüvelyesek szerepe az üvegházhatásúgáz-kibocsátás csökkentésében

Az éghajlaltatózás hatásainak mérséklése és az azokhoz való alkalmazkodás egyre fontosabbá válik a mezőgazdaságban. Ezen hatás elkerüléséhez egyszerre kell a mezőgazdasági eredetű üvegházhatásúgáz-kibocsátást csökkenteni és a szántóföldek

szénmegkötését fokozni. *Tilman* (1999) által elvégzett projekció szerint, az agrárium nitrogén szükséglete 2030-ig tovább fog nőni, amely jelentősen hozzájárul a környezet szennyezéséhez. Ez elsősorban a vetésforgóban túlsúlyban lévő gabona arányának köszönhető, amely drasztikus környezeti károk bekövetkezését eredményezheti (*Jahn et al.* 2015). Amennyiben a gazdálkodói gyakorlatok a növények (főleg a hüvelyesek) biológiai nitrogén megkötő képességét jobban hasznosítani tudnák - csökkentve ezzel a nitrogén műtrágyák felhasználását - akkor az agrárium környezeti lábnyoma jelentősen mérséklődhet (*Vance* 2001). A biológiai nitrogén megkötés (*BNF*) során a gyökérgumóban található baktériumok a levegő molekuláris nitrogénjét megkötik, vagyis ammóniává redukálják, amely már a „partner” növény számára is hasznosítható. *Rajala et al.* (2006) kutatási szerint a hüvelyesek hatása a klímaváltozásra nagyban összefügg a hüvelyesek biológiai nitrogénmegkötő képességével. Ezt a kijelentést *Graham és Vance* is alátámasztotta 2000-ben, akik szerint is a hüvelyesek biológiai nitrogénmegkötő képessége nyújtja a mezőgazdaság számára az egyik legnagyobb lehetőséget annak fenntarthatóvá tételére. *Postgate* már 1998-ban rávilágított arra, hogy hüvelyesek termesztésével egyszerre csökkenthető a tápanyagok talajból történő kimosódása és az ÜHG-kibocsátás. Véleménye szerint ezek egyrészt (i) a hüvelyesek légköri nitrogén megkötése révén az utónövény számára a talajban hátrahagyott szabadon felvehető nitrogénnek, másrészt (ii) a műtrágya felhasználás és előállításának csökkenéséből, valamint az alacsonyabb fosszilis energiahordozó felhasználásból eredő redukált ÜHG terhelésnek köszönhető. Később *Watson et al.* (2017) úgy fogalmazott, hogy a biológiai nitrogén megkötés kevesebb műtrágyafelhasználást és ezáltal az üvegházhatású gázkibocsátás csökkenését eredményezi.

Egyes becslések szerint az agrárium szempontjából fontos hüvelyesek évente átlagosan 44-66 millió tonna nitrogént (N_2) kötnek meg a levegőből (*Galloway et al.* 1995) míg mások szerint ez a mennyiség csupán 3-6 millió tonnára tehető (*Smil* 1999). *Giller* (2001) véleménye szerint a hüvelyesek nitrogén megkötése naponta 1-2 kg/ha -ra tehető a tenyészidőben, ezt azonban *Unkovich és Pate* (2000), valamint *van Kessel és Hartley* (2000) is lényegesen kevesebbre becsülte mind a takarmánybab, mind pedig a szója viszonylatában.

A hüvelyesek környezetre gyakorolt pozitív hatását a vetésforgóban megtakarított nitrogén mennyiségével és az így megtakarított üvegházhatásúgáz-kibocsátás csökkenésével szemléltetik a gyakorlatban. *Reckling et al.* (2016) modellszámítások

alapján megállapította, hogy a borsó és a takarmánybab vetésforgóba illesztése 17-40 százalékkal csökkenti a nitrogén felhasználást, amely 12-30 százalékkal kevesebb N₂O kibocsátást eredményez. *Gan et al.* (2011) számításai szerint a durumbúza – hüvelyes növény (lencse, csicseriborsó, borsó) egymás utáni termesztése 28 százalékkal alacsonyabb karbonlábnyommal rendelkezik a durumbúza - gabona termesztéséhez képest. *Jeuffroy et al.* (2013) megállapítása szerint, hüvelyes növény egy hároméves vetésforgóba illesztése 20-25 százalékkal kevesebb üvegházhatásúgáz-kibocsátást (a talaj N tartalmának növekedése mellett) eredményez elsősorban a nitrogénmegkötésnek, másodsorban a fosszilis energiafelhasználás csökkenésének köszönhetően. Ez a kijelentés összhangban van *Nemecek et al.* (2008) vizsgálatának eredményével, ahol 14 százalékos ÜHG megtakarítást mutattak ki, ha a kalászos gabonát borsóval helyettesítették a vetésforgóban.

Peoples et al. (2009) összehasonlítva a borsó, az árpa és a szálás takarmánynövények termesztése során felhasznált fosszilis energiafordozók mennyiségét. Kutatásukban megállapították, hogy az árpa termesztéshez képest a borsónál 55 százalékkal míg a takarmánynövényeknél 41 százalékkal kevesebb fosszilis energiát használtak fel Dániában. Ez a hüvelyesek légköri nitrogénmegkötő képességének köszönhető, amellyel saját tápanyagszükségletét képes kiegyenlíteni így csökkentve a kijuttatni kívánt műtrágya mennyiségét. *Köpke és Nemecek* 2010-ben kiadott cikkében szintén megerősítette, hogy a takarmánybab és a borsó termesztése során 25 százalékkal kevesebb energiát használtak fel Svájcban az olajrepce, 36 százalékkal kevesebbet a búza és 60 százalékkal kevesebbet a kukorica termesztéséhez képest. *Rathke et al.* (2007) az észak-amerikai szója és borsó termesztését vizsgálva arra jutottak, hogy a búza, valamint a kukorica termesztése 39-45 százalékkal nagyobb energiát igényel, mint a hüvelyes növények termesztése.

A hüvelyesek légköri nitrogénmegkötő-képességét befolyásoló tényezők

A légköri nitrogénmegkötő képességet a szárazság, a talaj savassága, a genotípus a nitrogén műtrágya mennyisége és különböző tápanyagok hiánya okozza, világított rá *Sinclair et al.* 1987-ben. A takarmánybab (*Vicia faba L.*), borsó (*Pisum sativum L.*) és szója (*Glycine max*) légköri nitrogénmegkötő képességének egyik leginkább befolyásoló tényezője a termesztésbe vont **genotípus** (*Guffy et al.* 1989, *Yang et al.* 2017, *Ingraffia et al.* 2019). Az egyes genotípusokat érintő kutatások fókuszpontjában

eddig a hozamok mennyiségi és minőségi tulajdonságainak, valamint a fehérjetartalom növelése és a betegségekkel szembeni ellenálló képesség fokozás állt (Micke 1993, Warkentin et al. 2015). A gazdálkodási feltétek (pl.: környezeti) szigorodásával a hüvelyes fajták légköri nitrogénmegkötő képességének mennyiségi javítása új nemesítési irányként jelenhet meg (Herridge és Rose 2000). A genotípusban rejlő lehetőségeket az alkalmazott művelési módszer pozitív, illetve negatív irányba is befolyásolhatja (Schweiger et al. 2012, Ingrassia et al. 2019), azonban a növénytermesztési rendszerek hatása a hüvelyesek légköri nitrogénmegkötésére nem egyértelmű. Borsó esetében a kereskedelmi forgalomban kapható fajták konvencionális körülmények között nagyobb arányban kötik meg a légköri nitrogént, mint organikus művelés esetén. Organikus termesztésnél megfigyelhető nagyobb gyomosodási hajlam kedvezőtlenül hat a BNF-re. Az őshonos tájfajtáknál a helyzet ellentétes, organikus termelésnél a BNF képessége hasonló vagy szignifikánsan magasabb, mint konvencionális termesztés esetében (Ntatsi et al. 2018). Szója főnövényként történő termesztésénél a növénytermesztési rendszer és a légköri nitrogénmegkötés között azonban már nem mutatható ki szignifikáns különbség (Oberson et al. 2007). Szójánál a csökkentett talajművelés kedvezően hat a növény légköri nitrogénmegkötésére, ellentétben a hagyományos talajművelési rendszerek alkalmazásával (Kihara et al. 2011). A sortáv és tőtávolság módosítás viszont pozitívan befolyásolja a levegőből történő nitrogén megkötését (Tribouillois et al. 2012). Kermah et al. (2018) megfigyelte, hogy kedvezőtlen adottságú termőterületeken a köztes növényként (szója-kukorica) termesztett szója BNF képessége magasabb, mint jó termőterületen történő termesztés esetén.

A **környezeti- és a talajtényezők** szintén szignifikánsan befolyásolják a hüvelyesek BNF értékét (Yang et al. 2017, Ruisi et al. 2017, Ciampitti és Salvagiotti 2018). A főnövényként vetett hüvelyeseknél a tavaszi túlzott csapadékos időjárás, valamint az erős szárazság (vízstressz) is kedvezőtlenül befolyásolhatja a növény BNF képességét (López-Bellido et al. 2006). A talaj kedvezőtlen kémhatása (lúgos) és az alacsony mikroelem tartalom (pl.: Fe, P) a növény és a rhyzobium baktérium közötti szimbiotikus kapcsolat akadályozásával csökkenti a növény BNF képességét (Kennedy és Cocking 1997, Yang et al. 2017). A talajtényezők közül a talaj felső 30 centiméterének magas N tartalma szintén negatívan befolyásolja a fő- vagy köztes növényként termesztett hüvelyesek BNF képességét. Yang et al. 2017 szerint, ha a talaj nitrogén tartalma

kevesebb mint 40 kg/ha akkor késlelteti míg hektáronként 50kg-nál nagyobb nitrogéntartalom megszünteti a gyökérben a gumóképződést, így meggátolva a növény BNF képességét. Köztestermesztésű hüvelyeseknél a főnövény műtrágyázása kedvezőtlenül hat a fejlődésre és ezáltal a légköri nitrogén megkötésre. A borsó korai fejlődési fázisában a nitrogén műtrágyázás csökkentette a BNF képességét, amely később emelkedett, de elmaradt a nem műtrágyázott köztes növényként vetett borsó állományához képest. A késői növekedési fázisban használt műtrágya a hüvelyesek BNF értékét nagyobb arányban csökkenti, amely a betakarításig már nem is képes regenerálódni. Köztestermesztésű, nem műtrágyázott borsónál a hőfoknapok emelkedésével a kumulatív BNF érték fokozatosan 90 százalékgig emelkedett (Hauggaard-Nielsen et al. 2009, Naudin et al. 2010).

Jelen szemleciikk célja, hogy feltárja az Európai Unióban a legnagyobb termőterületen termesztett szója (*Glycine max*), takarmánybab (*Vicia faba L.*) és borsó (*Pisium sativum L.*) nitrogénmegkötésében rejlő különbségeket, amely Watson et al. 2017 szerint a legfontosabb tényező a növénytermesztés üvegházhatásúgáz-kibocsátásának csökkentésében.

ANYAG ÉS MÓDSZER

Adatbázis felépítése

Az adatbázis 22 tudományos szakirodalmat tartalmaz, amelyből kilenc a szója (*Glycine max*), nyolc a takarmánybab (*Vicia faba L.*) további hét pedig a borsó (*Pisium sativum L.*) főnövényként és köztes vetésként történő termesztésére vonatkozik. Az adatbázis 5 kontinens (Amerika, Európa, Afrika, Ázsia, Ausztrália), 28 országában elvégzett szántóföldi kísérletek adatait tartalmazza (1. táblázat).

Tényező meghatározása és kiértékelése

A kiválasztott szakirodalmakból a légköri nitrogénmegkötés mennyisége (Ndfa, kg/ha) és a légköri nitrogénmegkötés aránya (Ndfa, %) került kigyűjtésre. Az elemzéshez szükséges adatok többsége a szakirodalmakban található táblázatokból, míg kisebb része az ábrákon szereplő értékekből került meghatározásra. A teljes nitrogénmegkötés minden esetben a

$$Teljes\ nitrogénmegkötés = Ndfa \left(\frac{kg}{ha} \right) * \frac{100}{Ndfa\%} \quad (1)$$

képlettel (1) lett meghatározva. A kapott adatokat a Dell Statistica 13.2 programmal értékeltük ki, ahol páronkénti kétmintás statisztikai F- és t-próbát végeztünk a szója (*Glycine max*), a takarmánybab (*Vicia faba L.*) és a borsó (*Pisium sativum L.*) sokasági átlagai között fennálló szignifikáns különbségek megállapításához. Az adatok grafikai megjelenítéséhez a Microsoft Excel 16.16.10 programot használtuk.

1.táblázat: A metaanalízishez használt adatbázis felépítése

Table 1: The database used for meta-analysis

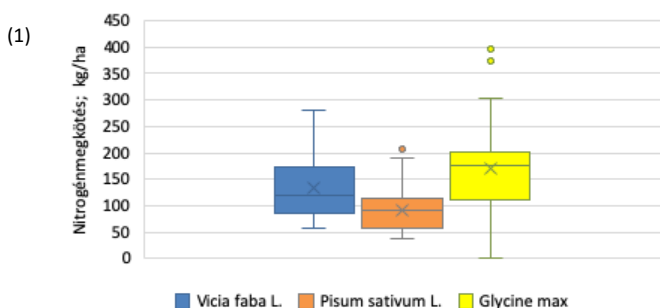
Sorsz.	Ország	Szerző	Főnövény	Köztesvetés
1.	Argentína	Collino et al. (2015)	<i>Glycine max</i>	-
2.	Németország	Zimmer et al. (2016)	<i>Glycine max</i>	-
3.	USA	Guffy et al. (1989)	<i>Glycine max</i>	-
4.	Svájc	Oberson et al. (2007)	<i>Glycine max</i>	-
5.	USA, Kína, Thaiföld, Argentína, Ausztrália... összesen 20 ország	Ciampitti és Salvagiotti (2018)	<i>Glycine max</i>	-
6.	Kenya	Kihara et al. (2011)	-	<i>Glycine max</i> – <i>Zea mays L.</i>
7.	Franciaország	Tribouillois et al. (2012)	-	<i>Glycine max</i> – <i>Helianthus annuus L.</i>
8.	Nepál	Clément et al. (1992)	-	<i>Glycine max</i> – <i>Zea mays L.</i>
9.	Ghána	Kermah et al. (2018)	-	<i>Glycine max</i> – <i>Zea mays L.</i>
10.	Spanyolország	López-Bellido et al. (2006)	<i>Vicia faba L.</i>	-

11.	Dánia	<i>Hauggaard-Nielsen et al. (2007)</i>	<i>Vicia faba L.</i>	<i>Vicia faba L.</i> - <i>Hordeum vulgare L.</i> ; <i>Pisum sativum L.</i> - <i>Hordeum vulgare L.</i>
12.	Olaszország	<i>Ruisi et al. (2017)</i>	<i>Vicia faba L.</i>	-
13.	Kanada	<i>Hossain et al. (2016)</i>	<i>Vicia faba L.</i> , <i>Pisum sativum L.</i>	
14.	Portugália	<i>Carranca et al. (1999)</i>	<i>Vicia faba L.</i>	-
15.	Kína	<i>Fan et al. (2006)</i>	-	<i>Vicia faba L.</i> – <i>Zea mays L.</i>
16.	Olaszország	<i>Ingraffia et al. (2019)</i>	-	<i>Vicia faba L.</i> - <i>Triticum durum L.</i>
17.	Kína	<i>Li et al. (2009)</i>	-	<i>Vicia faba L.</i> – <i>Zea mays L.</i>
18.	Franciaország	<i>Naudin et al. (2010)</i>	-	<i>Pisum sativum L.</i> – <i>Triticum aestivum L.</i>
19.	Dánia, Egyesült Királyság, Franciaország, Németország, Olaszország	<i>Hauggaard-Nielsen et al. (2009)</i>	<i>Pisum sativum L.</i>	<i>Pisum sativum L.</i> - <i>Hordeum vulgare L.</i>
20.	USA	<i>McCauley et al. (2012)</i>	<i>Pisum sativum L.</i>	-
21.	Görögország	<i>Ntatsi et al. (2018)</i>	<i>Pisum sativum L.</i>	-
22.	Kanada	<i>Yang et al. (2017)</i>	<i>Pisum sativum L.</i>	-

EREDMÉNYEK

Teljes nitrogénmegkötés

A főnövényként vetett takarmánybab (*Vicia faba L.*), borsó (*Pisum sativum L.*) és szója (*Glycine max*) teljes nitrogénmegkötésének adatsokaságára vonatkozó információkat az 4. ábra mutatja be. Az ábrán a medián, az átlag, az interkvartilis terjedelem, a szélső- és a kiugró értékek lettek ábrázolva. A három hüvelyes növény teljes nitrogénmegkötése különböző intervallumok között mozog. Takarmánybab (56 – 280 kg/ha) és szója (0-395 kg/ha) teljes nitrogénmegkötésének esetében a nagyobb az ingadozás mértéke, a borsó esetében (36 – 207,51 kg/ha) ez lényegesen alacsonyabb.

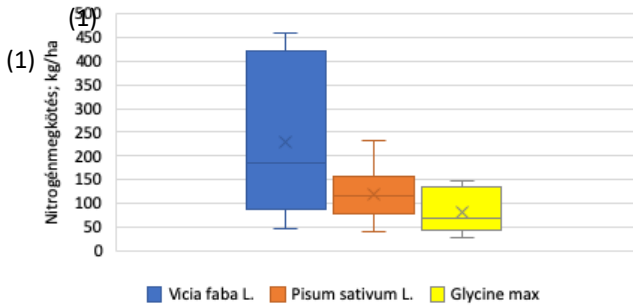


(1) Total nitrogen fixation (kg/ha)

4. ábra: Teljes nitrogénmegkötés mennyisége főnövényként vetett takarmánybab (*Vicia faba L.*), borsó (*Pisum sativum L.*) és szója (*Glycine max*) esetében.

Figure 4: Amounts of total nitrogen fixation of *Vicia Faba L.*, *Pisum sativum L.* and *Glycine max* in main cropping system

A köztes növényként termesztett takarmánybab és borsó teljes nitrogénmegkötése nagyobb, mint főnövényként történő termesztés esetén (5. ábra). A köztes növényként vetett takarmánybagnál a teljes nitrogénmegkötés 46 – 460 kg/ha között, borsónál 40 – 232 kg/ha között és a szójánál 26 – 147 kg/ha között változott.



(1) Total nitrogen fixation (kg/ha)

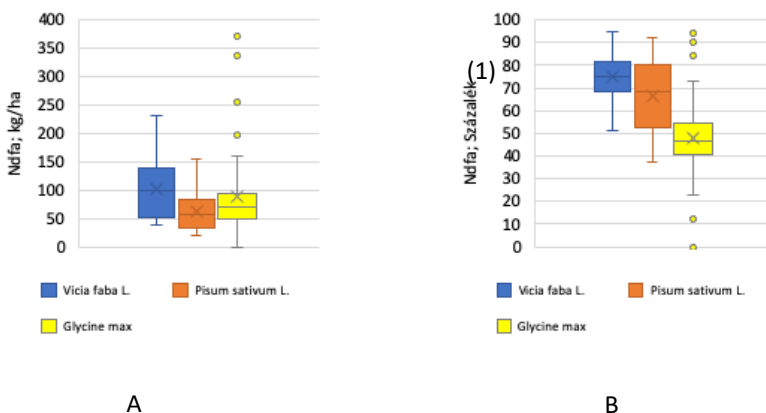
5. ábra: Teljes nitrogénmegkötés mennyisége köztes növényként vetett takarmánybab (*Vicia faba L.*), borsó (*Pisum sativum L.*) és szója (*Glycine max*) esetében.

Figure 5: Amounts of total nitrogen fixation of Vicia Faba L., Pisum sativum L. and Glycine max in intercropping system

Légköri nitrogénmegkötés

A) Főnövényként történő vetés esetén

A főnövényként vetett takarmánybab (*Vicia faba L.*), borsó (*Pisum sativum L.*) és szója (*Glycine max*) légköri nitrogénmegkötésének (Ndfa) hektáronkénti mennyisége (6a. ábra) 0 és 372 kg között ingadozik, de az egyes növényeknél eltérés tapasztalható. A takarmánybab által a légkörből megkötött nitrogén mennyisége hektáronként 39,2 – 230 kg, borsónál 21– 154 kg, míg szójánál 0 – 372 kg közötti intervallumban ingadozott. A takarmánybab esetében a legnagyobb légköri nitrogénmegkötés aránya 51-95 százalék (CV%=15,8; s=11,8kg/ha), amelyet a borsó 37-92 százalékkal (CV%=24,4; s=16,11 kg/ha) és a szója 0-94 százalékkal (CV%=36,2; s=17,3 kg/ha) követ (6b. ábra). A főnövényként vetett szója, takarmánybab és borsó légköri nitrogénmegkötés arányainak sokasági átlagai között 95 százalékos valószínűségi szinten szignifikáns ($P < 0,005$) eltérés mutatható ki.



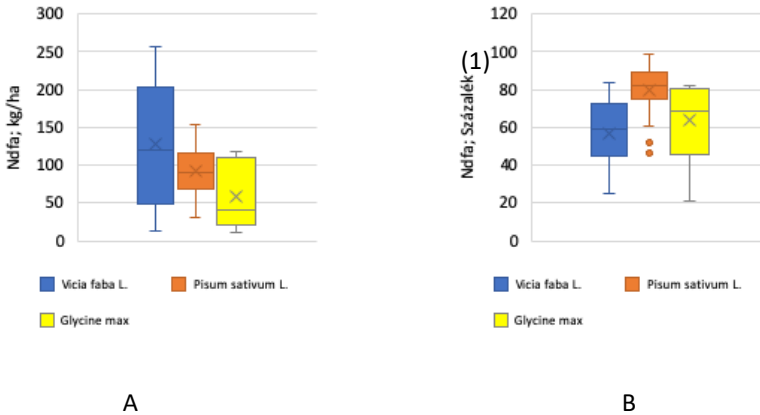
(1) Ndfa; percentage

6.ábra: A légköri nitrogénmegkötés (Ndfa) mennyisége (A) és aránya (B) a főnövényként vetett takarmánybab (*Vicia faba L.*), borsó (*Pisum sativum L.*) és szója (*Glycine max*) esetében.

Figure 6: Amounts (A) and proportion (B) of nitrogen fixation from air (Ndfa) of *Vicia Faba L.*, *Pisum sativum L.* and *Glycine max*. in main cropping system

B) Köztes vetés esetén

A köztes vetésű takarmánybab (*Vicia faba L.*), borsó (*Pisum sativum L.*) és szója (*Glycine max*) légköri nitrogénmegkötésének (Ndfa) hektáronkénti mennyisége (7a. ábra) eltérő. Míg a takarmánybab 13 – 256 kg közötti nitrogént köt meg a légkörből hektáronként, addig a borsó 31,7 – 154 kg-ot és a szója 11 – 118 kg-ot. A takarmánybab által megkötött légköri nitrogénmennyiség a teljes nitrogénmegkötésnek a 25–84 százalékát (CV%=31; s=17,6kg/ha) jelenti, borsó esetében 46-99 százalékot (CV%=15,4; s=12,3kg/ha), szójánál 21–80 százalékot (CV%=28,9; s=18,3kg/ha) tesz ki (7B. ábra). A főnövényként vetett szója és a borsó, valamint a takarmánybab és szója légköri nitrogénmegkötés arányainak sokasági átlagai között 95 százalékos valószínűségi szinten szignifikáns ($P < 0,005$) eltérés mutatható ki.



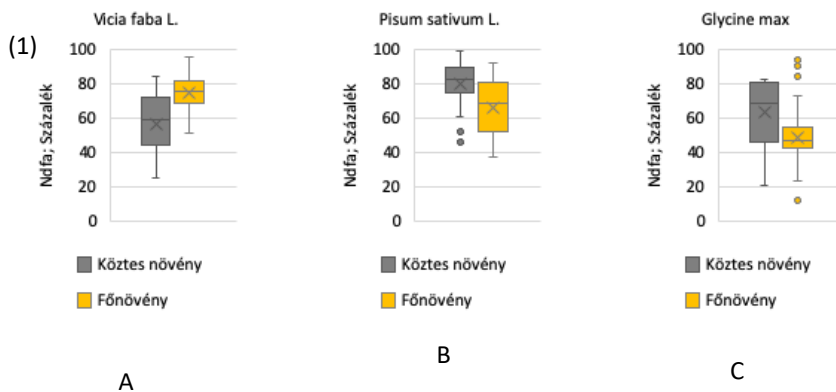
7.ábra: A légköri nitrogénmegkötés mennyisége és a teljes nitrogénmegkötés mennyisége között fennálló kapcsolat a főnövényként vetett takarmánybab (*Vicia faba L.*), borsó (*Pisum sativum L.*) és szója (*Glycine max*) esetében.

Figure 7: Amounts (A) and proportion (B) of nitrogen fixation from air of *Vicia Faba L.*, *Pisum sativum L.* and *Glycine max* in intercropping system

C) Főnövényként vagy köztes növényként vetett takarmánybab (*Vicia faba L.*), borsó (*Pisum sativum L.*) és szója (*Glycine max*) légköri nitrogénmegkötésének aránya

A köztes növényként vetett takarmánybab (A), borsó (B) vagy szója (C) légköri nitrogénmegkötés arányának átlaga (x-el jelölve) kizárólag a takarmánybab esetében alacsonyabb a főnövényként történő termesztéshez képest (8. ábra).

A köztes- vagy főnövényként vetett takarmánybab (A), borsó (B) vagy szója (C) légköri nitrogénmegkötés arányainak sokasági átlagai között 95 százalékos valószínűségi szinten szignifikáns ($P < 0,005$) eltérés mutatható ki.



(1) Ndfa; percentage

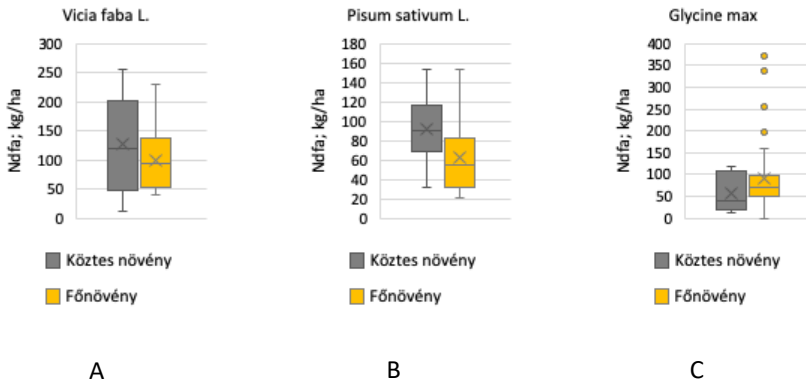
8.ábra: A főnövényként vagy köztes növényként vetett (A) takarmánybab (*Vicia faba* L.), (B) borsó (*Pisum sativum* L.) és (C) szója (*Glycine max*) légköri nitrogénmegkötésének aránya (Ndfa%)

Figure 8: Proportion (B) of nitrogen fixation from air (Ndfa%) of *Vicia Faba* L (A), *Pisum sativum* L. (B) and *Glycine max* (C) in inter- and main cropping system

D) Fő- vagy köztes növényként vetett takarmánybab (*Vicia faba* L.), borsó (*Pisum sativum* L.) és szója (*Glycine max*) légköri nitrogénmegkötésének mennyisége.

A főnövényként vetett takarmánybab (A) és borsó (B) által a légkörből megkötött nitrogén mennyiségének az átlaga (x- el jelölve) alacsonyabb a köztes növényként történő termesztéshez képest. Szója (C) főnövényként történő termesztésénél átlagosan nagyobb mértékben köt meg nitrogént a légkörből, mint köztestermesztés esetében (9. ábra).

A minta átlagok közötti látszólag eltérés ellenére, kizárólag a köztes- és főnövényként termesztett borsó (B) légköri nitrogénmegkötés mennyiségének sokasági átlagai között mutattunk ki 95 százalékos valószínűségi szinten szignifikáns ($P < 0,005$) különbséget.

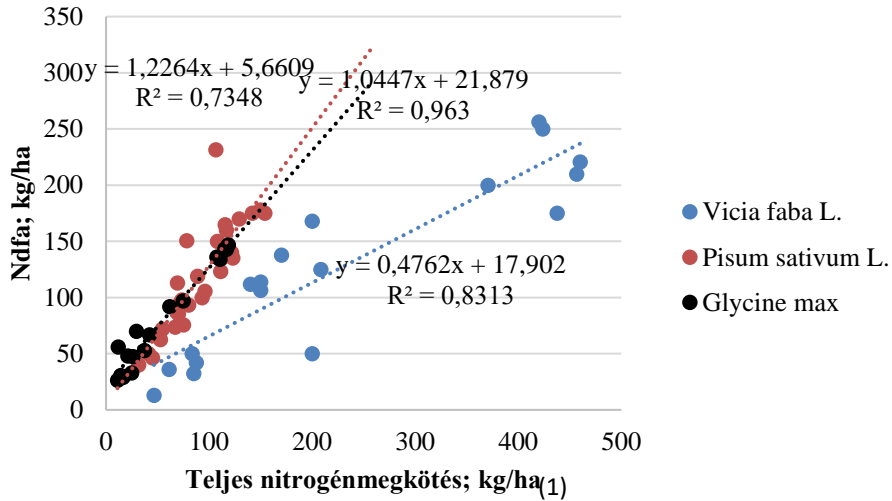


9.ábra: A főnövényként vagy köztes növényként vetett (A) takarmánybab (*Vicia faba* L.), (B) borsó (*Pisum sativum* L.) és (C) szója (*Glycine max*) légköri nitrogénmegkötésének mennyisége

Figure 9: Amounts (B) of nitrogen fixation from air (Ndfa%) of *Vicia Faba* L (A), *Pisum sativum* L. (B) and *Glycine max* (C) in inter- and main cropping system

Teljes nitrogénmegkötés és a légköri nitrogénmegkötés kapcsolata

A főnövényként (10. ábra) vagy köztes növényként (11. ábra) termesztett borsó (*Pisum sativum* L.) és szója (*Glycine max*) esetében a légkörből megkötött nitrogén mennyisége és a teljes nitrogénmegkötés között erős összefüggést találtunk. Főnövényként vetett takarmánybabsnál ($r= 0,9400$, $n=20$), borsónál ($r=0,8955$, $n=48$) és a szójánál ($r=0,8990$, $n=48$) a légköri nitrogénmegkötés pozitív, erős korrelációt mutat a teljes nitrogénmegkötéssel. A determinációs koefficiens értelmében a főnövényként vetett takarmánybab teljes nitrogénmegkötés összvarianciájának 88,3 százalékát, borsó esetében 80,2 százalékát míg szója esetében 77,3 százalékát magyarázza a légköri nitrogénmegkötés mennyisége (10. ábra).



(1) Total nitrogen fixation, kg/ha

11. ábra: A légköri nitrogénmegkötés mennyisége és a teljes nitrogénmegkötés mennyiség között fennálló kapcsolat a köztes növényként termesztett takarmánybab (*Vicia faba L.*), borsó (*Pisum sativum L.*) és szója (*Glycine max*) esetében.

Figure 1.: Correlation between amounts of total nitrogen fixation and nitrogen fixation from air (*Ndfa*) of *Vicia Faba L.*, *Pisum sativum L.* and *Glycine max* in intercropping system

4. KÖVETKEZTETÉSEK

Bedoussac et al. (2015) állítása, miszerint a főnövényként vetett hüvelyesek átlagosan nagyobb mennyiségű nitrogént kötnek meg a levegőből, mint köztes termesztés esetén, addig a köztes növényként termesztett hüvelyesek nagyobb arányban kötik meg a levegőben található nitrogént a kiválasztott szakirodalmak metaanalízise alapján nem támasztható egyértelműen alá. Vizsgálataink alapján a mennyiségi kitételnek kizárólag a szója (*Glycine max*) által megkötött légköri nitrogén mennyisége felel meg (9c. ábra). A légköri nitrogénmegkötés aránya tekintetében a borsó (*Pisum sativum L.*, 8b. ábra) és a szója (*Glycine max*, 8c. ábra) támasztotta alá *Bedoussac et al.* 2015 megállapítását. Az eltérést magyarázza, hogy a takarmánybab, és a szója köztesnövényként történő termesztése a fejlett, iparosodott országokban szinte teljesen eltűnt (*Zhang et al.*, 2004), kizárólag organikus gazdálkodást folytató gazdaságok

vetésforgójában kap helyet (*Jensen* 2006). Ennek megfelelően a gabona-szója, és a gabona-takarmánybab köztestermesztésére kizárólag kínai, nepáli és ghánai konvencionális gazdálkodási gyakorlatok állnak rendelkezésre, ahol szűkebb spektrumú kultúrnövény szortiment áll a termesztők rendelkezésére, amelyek nitrogénmegkötő képessége elmarad a fejlettebb országok kultúrnövény-változataihoz képest. Európában kizárólag Olaszországban (*Ingraffia et al.* 2019) és Franciaországban (*Tribouillois et al.* 2012) azonosítottunk olyan példákat, ahol a takarmánybab, valamint szója köztes növényként történő termesztésének fókuszpontjában a légköri nitrogénmegkötő képesség vizsgálata állt.

Elemzésünk alapján erős szignifikáns lineáris korrelációt állapítottunk meg a főnövényként vagy köztes növényként vetett takarmánybab, borsó és szója légköri nitrogénmegkötő képessége és a teljes nitrogénmegkötés között, amely *Anglade és munkatársai* (2015), valamint *Saia és munkatársai* (2016) vizsgálati eredményeivel egyezik meg. A determinációs koefficiens értelmében a főnövényként vetett takarmánybab teljes nitrogénmegkötés összvarianciájának 88,3 százalékát, borsó esetében 80,2 százalékát míg szója esetében 77,3 százalékát magyarázza meg a légköri nitrogénmegkötés mennyisége (*10. ábra*). Ezzel szemben a köztes növényként termesztett takarmánybab teljes nitrogénmegkötés összvarianciájának 88,1 százalékát, borsó esetében 73,5 százalékát míg szója esetében 96,3 százalékát magyarázza meg a légköri nitrogénmegkötés mennyisége (*11. ábra*).

THE ROLE OF LEGUMES (FABALES) IN THE MITIGATION OF GREENHOUSE GAS EMISSION AND IN CROP PRODUCTION

**^{1,3}ISTVÁN MIHÁLY KULMÁNY - ¹ERZSÉBET ENZSÖL - ¹VIKTÓRIA VONA -
²BARNA KOVÁCS - ¹GÁBOR MILICS**

¹Széchenyi István University, Faculty of Agricultural and Food Sciences,
Mosonmagyaróvár

²Ministry of Foreign Affairs and Trade, Budapest

³National Agricultural Research and Innovation Centre, Research Institute of
Agricultural Economics, Budapest

ABSTRACT

Agriculture, Forestry, and Other Land Use (*AFOLU*) sectors have been responsible for 24 percent of the global anthropogenic greenhouse gas emission (GHG emission) in 2010. GHG emission from agricultural production were estimated at 5,4 – 5,8 GtCO₂ in 2010. The volume of nitrous oxide (N₂O), methane (CH₄) and carbon dioxide (CO₂) are the most relevant in agricultural GHG emission. Almost three quarters of global nitrous oxide emission derives from the crop production but its importance is going to increase due to the spreading of intensive agriculture activities.

Cereal-based arable farming systems had become the dominating agriculture production system. If the role of technology intensive cereals production system increases further in crop rotation in the future, it might result occurrence of serious environmental liability. The objective of this review article is to reveal the role of legumes in the reduction of GHG emission based on overview of research papers.

On the basis of literature data, it has been noted that the nitrogen oxide's emission of arable land can be mitigated by adopting modified crop rotations. Framing the legumes into the crop rotation is one of the alternative ways to achieve this mitigation goals. The legumes are able to fix their nitrogen needs from air through biological nitrogen fixation (BNF), thus reduce the application of artificial fertilizers and the fossil fuel consumption. Therefore, it can be concluded that the legumes fix 0-372 kilograms of

nitrogen annually from air, which is equivalent to 10-30 percent GHG emissions in savings considering the whole production cycle.

Keywords: greenhouse gas emission, crop rotation, legumes, BNF, nitrogen fixation

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatást az EFOP-3.6.3-VEKOP-16-2017-00008 számú „Innovatív tudományos műhelyek a hazai agrár felsőoktatásban” című projekt, valamint a Nemzeti Tehetség Program, NTP-SZKOLL-19-0053 pályázat támogatta.

IRODALOMJEGYZÉK

Anglade, J. - Billen, G. - Garnier, J. (2015): Relationships for estimating N₂ fixation in legumes: incidence for N balance of legume-based cropping systems in Europe. Ecosphere. 6, (3) 1-24.

Bedoussac, L. - Journet, E. P. - Hauggaard-Nielsen, H. - Naudin, C. - Corre-Hellou, G. - Jensen, E. S. - Prieur, L. - Justes, E. (2015): Ecological principles underlying the increase of productivity achieved by cereal-grain legume intercrops in organic farming. A review. Agronomy for Sustainable Development. 35, 911-935.

Bockisch, F. J. (2010): Bewertung von Verfahren der ökologischen und konventionellen landwirtschaftlichen Produktion im Hinblick auf den Energiewinsatz und bestimmte Schadgasemissionen: Studie als Sondergutachten im Auftrag des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft. Braunschweig Bundesforschungsanst für Landwirtschaft, Darmstadt.

Bouwer, F. (2006): Main trends in agriculture. In: Agriculture for sustainable development: a dialogue on societal demand, pressures and options for policy. LEI Agricultural Economics Research Institute, Wageningen.

Carlson, R. (1962): Silent Spring. Houghton Mifflin Company, Cambridge.

Carranca, C. - de Varennes, A. - Rolston, D. (1999): Biological nitrogen fixation by faba bean, pea and chickpea, under field conditions, estimated by the ¹⁵N isotope dilution technique. European Journal of Agronomy. 10, 49-56.

- Carrouée, B. - Schneider, A. - Flénet, F. - Jeuffroy, M. H. - Nemecek, T.* (2012): Introduction of dry pea crop in rotations of cereals and rapeseed: impact on the economic and environmental performances. *Innovations agronomiques*. **25**, (1) 125-142.
- Cavaillès, E.* (2009): La rélande des légumineuses dans le cadre d'un plan protéine: Quels bénéfices environnementaux? Commissariat Général au Développement Durable, Paris.
- Ceschia, E. - Béziat, P. - Dejoux, J. F. - Aubinet, M. - Bernhofer, C. H. - 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.* (2010): Management effects on the net ecosystem carbon and GHG budgets at European crop sites. *European Journal Agronomy*. **139**, (3) 363-383.
- Chhabra, A. - Manjunath, K. R. - Panigraphy, S. - Parihar, J. S.* (2009): Spatial pattern of methane emissions from Indian livestock. *Current Science*. **96**, (5) 683-689.
- Ciampitti, I. A. és Salvagiotti, F.* (2018): New insight into soybean biological nitrogen fixation. *Agronomy Journal*. **110**, (4) 1185-1196.
- Clément, A. - Chalifour, F. P. - Bharati, M. P. és Gendron, G.* (1992): Nitrogen and light partitioning in a maize/soybean intercropping system under a humid subtropical climate. *Canadian Journal of Plant Science*. **72**, 69-82.
- Cohen, M. N.* (1977): *The Food Crisis in Prehistory: Overpopulation and the Origins of Agriculture*. Yale University Press, New Haven
- Collino, D. J. - Salvagiotti, F. - Perticari, A. - Piccinetti, C. - Ovando, G. - Urquiaga, S. - Racca, R. W.* (2015): Biological nitrogen fixation in soybean in Argentina: relationships with crop, soil, and meteorological factors. *Plant and Soil*. **392**, (1-2) 239-252.
- Corre-Hellou, G. és Crozat, Y.* (2005): N₂ fixation and N supply in organic pea (*Pisum sativum* L.) cropping systems as affected by weeds and pea weevil (*Sitona lineatus* L.). *European Journal of Agronomy*. **22**, (4) 449-458.
- Cowan, R. és Gunby, P.* (1996): Sprayed to death: path dependence, lock-in and pest control strategies. *The Economic Journal*. **106**, (436) 521-542.
- Daugbjerg, C. és Swinbank, A.* (2011): Explaining the 'Health Check' of the Common Agricultural Policy: budgetary politics, globalisation and paradigm change revisited. *Journal of Policy Studies*. **32**, (2) 127-141.

- Dequiedt, B. és Moran, D.* (2015): The cost of emission mitigation by legume crops in French agriculture. *Ecological Economics*. **110**, (1) 51-60.
- Duxbury, J. M.* (1994): The significance of agriculture source of greenhouse gases. *Fertilizer research*. **35**, (2) 151-163.
- Fan, F. - Zhang, F. - Song, Y. - Sun, J. - Bao, X. - Guo, T. - Li, L.* (2006): Nitrogen fixation of faba bean (*Vicia faba L.*) interacting with a non-legume in two contrasting intercropping systems. *Plant and Soil*. **283**, 275-286.
- FAO* (2019): Crops - Area harvested and yield. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC> [Hozzáfézés dátuma: 2019 március 9.].
- Fares, M. - Magrini, M. B. - Triboulet, P.* (2012): Agroecological transition, innovation and lock-in effects: the impact of the organizational design of supply chains. *Cahiers Agricultures*. **21**, (1) 34-45.
- Fennell, R.* (1997): "The Common Agricultural Policy - Continuity and Change". Clarendon Press, Oxford.
- Firestone, M. K. - Davidson, E. A.* (1989): Microbiological basis of NO and N₂O production and consumption in soil. In: *Andreae M. O. és Schimel D. S. (szerk.): Exchange of trace gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere: report of the Dahlem workshop on exchange of trace gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere*. Wiley, New York. 7-21.
- Fred, E. B. - Baldwin, I. L. - McCoy, E.* (1933): Root nodule bacteria and leguminous. *Soil Science*. **35**, (2) 167.
- Frederick, L. S. - Bues, A. - Preissel, S. - Reckling, M.* (2013): The environmental role of protein crops in the new Common Agricultural Policy. European Parliament, Directorate-General for Internal policies, Brussels.
- Galloway, J. N. - Schlesinger, W. H. - Levy, H. II - Michaels, A. - Schnoor, J. L.* (1995): Nitrogen fixation: Anthropogenic enhancement- environmental response. *Global Biogeochemistry Cycles*. **9**, 235-252.
- Gan, Y. - Liang, C. - Wang, X. - McConkey, B.* (2011): Lowering carbon footprint of durum wheat by diversifying cropping system. *Field Crops Research*. **122**, (1) 199-206.
- Garzon, I.* (2006): The MacSharry Reform (1992). In: *Reforming the Common Agricultural Policy*. Palgrave Studies in European Union Politics. Palgrave Macmillan, London. 61-75.

Geugeun, J. - Duc, G. - Boutin, J. P. - Dronne, Y. - Munier-Jolian, N. - Séve, B. - Tivoli, B. (2008): La filière protéagineuse, quels défis pour la recherche? Rencontre au Salon International de l'Agriculture. INRA, Paris.

Giller, K. E. (2001): Nitrogen fixation in tropical cropping systems. CABI Publishing, Wallingford.

Graham, P. H. és Vance, C. P. (2000): Nitrogen fixation in perspective: an overview of research and extension needs. *Field Crops Research*. **65**, (1) 93-106.

Guffy, R. D. - Vanden Heuvel, R. M. - Vasilas, B. L. - Nelson, R. L. - Frobish, M. A. - Hesketh, J. D. (1989): Evaluation of the N₂-fixation capacity of four soybean genotypes by several methods. *Soil Biology and Biochemistry*. **21**, (3) 339-342.

Hart, K. - Allen, B. - Keenleyside, C. - Nanni, S. - Maréchai, A. - Paquel, K. - Nesbit, M. - Ziemann, J. (2017): The consequences of climate change for EU agriculture. Follow-up to the COP21 - UN Paris climate change conference. DG for Internal Policies, Agriculture and Development, Brussels.

Hauggaard-Nielsen, H. - Jornsagaard, B. - Kinane, J. - Jensen, E. S. (2007): Grain legume-cereal intercropping: The practical application of diversity, competition and facilitation in arable and organic cropping systems. *Renewable Agriculture and Food Systems*. **23**, (1) 3-12.

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. (2009): Pea-barley intercropping for efficient symbiotic N₂-fixation, soil N acquisition and use of other nutrients in European organic cropping systems. *Field Crops Research*. **113**, (1) 64-71.

Herridge, D. és Rose, I. (2000): Breeding for enhanced nitrogen fixation in crop legumes. *Field Crops Research*. **65**, 229-248.

Horváth J. (2018): Az Európai Unió Agrárpolitikája. Szegedi Tudomány Egyetem, Hódmezővásárhely.

Hossain, Z. - Wang, X. - Hamel, C. - Knight, J. D. - Morrison, M. J. - Gan, Y. (2016): Biological nitrogen fixation by pulse crops on semiarid Canadian prairies. *Canadian Journal of Plant Science*. **97**, 119-131.

Hutchinson, G. L. és Davidson, E. A. (1993): Process for production and consumption of gaseous nitrogen oxides on soil. *American Society of Agronomy*. **55**, 79-94.

- Hymowitz, T. és Singh, R. J.* (1987): Taxonomy and speciation. In: *Wilcox J. R. (szerk.) Soybean: Improvement, Production and Uses.* American Society of Agronomy, Madison. 23-48.
- Ingraffia, R. - Amato, G. - Frenda, A. S. - Giambalvo, D.* (2019): Impacts of arbuscular mycorrhizal fungi on nutrient uptake, N₂ fixation, N transfer, and growth in a wheat/faba bean intercropping system. *Plos one.* **14**, (3) 1-16.
- IPCC* (1996): *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. Cambridge University Press, Cambridge.
- IPCC* (2014): *Climate Change 2014, Synthesis Report.* Contribution of Working Group I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Genova.
- Jahn, J. L. - Stampfer, M. J. - Willett, W. C.* (2015): Food, health and the environment: A global grand challenge and some solutions. *Deadalus.* **144**, (4) 31-44.
- Jensen, E. S. és Hauggaard-Nielsen, H.* (2003): How can increased use of biological use of biological N₂ fixation in agriculture benefit the environment? *Plant and Soil.* **252**, (1) 177-186.
- Jensen, E. S.* (2006): *INTERCROP - Intercropping of cereals and grain legumes for increased production, weed control, improved product quality and prevention of N-losses in European organic farming systems.* Final Report. EC project QLK5-CT-2002-02352, Roskilde.
- Jeuffroy, M. H.* (2006): *The ecological services of protein crops: the basis of sustainable farming systems.* National Institute of Agricultural Research at the International Agricultural Show, Paris.
- Jeuffroy, M. H. - Baranger, E. - Carrouée, B. - De Chezelles, E. - Gosme, M. - Hénault, C. - Schenider, A. - Cellier, P.* (2013): Nitrous oxide emission from crop rotation including wheat, rapeseed and dry peas. *Biogeosciences.* **10**, (3) 1787-1797.
- Kallis, G. és Norgaard, R. B.* (2010): Coevolutionary ecological economics. *Ecological Economics.* **69**, (4) 690-699.
- Kamp, J. - van Berkum, S. - Timmer, R. - van Reeuwijk, P.* (2011): *Verkenning naar de mogelijkheden van eiwithoudende teelten in Europa.* Wageningen UR, Wageningen.
- Kennedy, I. R. és Cocking, E. C.* (1997): *Biological Nitrogen Fixation: The Global Challenge and Future Needs.* Sun Fix Press, Sydney.

- Kermah, M. - Franke, A. C. - Adjei-Nsiah, S. - Ahiabor, B. D. K. - Abaidoo, R. C. - Giller, K. E.* (2018): N₂-fixation and N contribution by grain legumes under different soil fertility status and cropping systems in the Guinea savanna of northern Ghana. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. **261**, 201-210.
- Kihara, J. - Martius, C. - Bationo, A. - Vlek, P. L. G.* (2011): Effects of tillage and crop residue application on soybean nitrogen fixation in a tropical ferralsol. *Agriculture*. **1**, 22-37.
- Köpke, U. és Nemecek, T.* (2010): Ecological services of faba bean. *Field Crops Research*. **115**, (1) 217-233.
- Kroeze, C. - Mosier, A. R. - Bouwam, L.* (1993): Closing the global N₂O budget: retrospective analysis 1500-1994. *Global Biogeochemical Cycles*. **13**, (1) 1-8.
- Lamine, C.* (2011): Transition pathways towards a robust ecologization of agriculture and the need for system redesign. Cases from organic farming and IPM. *Journal of Rural Studies*. **27**, (2) 209-219.
- Leng, R. A.* (1993): The impact of livestock development on environmental change. FAO, Rome.
- Li, Y. Y. - Yu, C. B. - Cheng, X. - Li, C. J. - Sun, J. H. - Zhang, F. S. - Lambers, H. - Li, L.* (2009): Intercropping alleviates the inhibitory effect of N fertilization on nodulation and symbiotic N₂ fixation of faba bean. *Plant and Soil*. **323**, 295-308.
- LMC International* (2009): Evaluation of measures applied under the common agricultural policy to the protein crop sector. LMC International, New York/Oxford/Kuala Lumpur.
- López-Bellido, L. - López-Bellido, R. J. - Redondo, R. - Benítez, J.* (2006): Faba bean nitrogen fixation in a wheat-based rotation under rainfed Mediterranean conditions: Effect of tillage system. *Field Crops Research*. **98**, 253-260.
- Lowe, P. - Murdoch, J. - Marsden, T. - Munton, R. - Flynn, A.* (1993): Regulating the new rural spaces: the uneven development of land. *Journal of Rural Studies*. **9**, (3) 205-222.
- Mahmood, F.* (2011): Analysis of the conditions for the development of grain legumes in the Midi-Pyrénées region (France), using the APES-FSSIM-indicators modelling chain. PhD. értekezés, Montpellier.

- Matthews, A.* (2015): "Food Security as a Driver of Integration in Europe.". In: *L. Brennan és P. Murray (szerk.): Drivers of Integration and Regionalism in Europe and Asia: Comparative Perspectives.* Routledge, London. 148-163.
- Matthews, A.* (2018): The EU's Common Agricultural Policy Post 2020: Directions of Change and Potential Trade and Market Effects. FAO és ICTSD, Geneva.
- McCauley, A. M. - Jones, C. A. - Miller, P. R. - Burgess, M. H. - Zabinski, C. A.* (2012): Nitrogen fixation by pea and lentil green manures in a semi-arid agroecoregion: effect of planting and termination timing. *Nutrient Cycling in Agroecosystems.* **92**, 305-314.
- Meynard, J. M. és Girardin, P.* (1991): Produire autrement. *Courrier de la cellule environnement.* INRA. **15**, (15) 1-19.
- Meynard, J. M. - Messéan, A. - Charlier, A. - Charrier, F. - Farés, M. - Le Bail, M. - Magrini, M. B. - Savini, I. - Réchauchère, O.* (2013): Crop diversification: obstacles and levers Study of farms and supply chains. INRA, Paris.
- Micke, A.* (1993): Mutation breeding of grain legumes. *Plant and Soil.* **152**, 81-85.
- Mona, E. H. - Ferial, Z.* (2018): Production of vegetable oils in the world and Egypt: an overview. *Bulletin of the National Research Centre.* **42**, (19) 1-9.
- Montzka, S. A. - Dlugokencky, E. J. - Butler, J. H.* (2011): Non-CO₂ greenhouse gases and climate change. *Nature.* **476**, 43-50.
- Naqvi, S. M. és Sejian, V.* (2011): Global climate change: role of livestock. *Asian Journal of Agricultural Sciences.* **3**, (1) 19-25.
- Naudin, C. - Corre-Hellou, G. - Pineau, S. - Crozat, Y. - Jeuffroy, M. H.* (2010): The effect of various dynamics of N availability on winter pea-wheat intercrops: Crop growth, N partitioning and symbiotic N₂ fixation. *Field Crops Research.* **119**, (1) 2-11.
- Nemecek, T. - von Richthofen, J. S. - Dubois, G. - Casta, P. - Charles, R. - Hubert, P.* (2008): Environmental impacts of introducing grain legumes into European crop rotation. *European Journal of Agronomy.* **28**, (3) 380-393.
- Ntasi, G. - Karkanis, A. - Yfantopoulos, D. - Pappa, V. - Konosonoka, I. H. - Travios, I. - Bilalis, D. - Bebeli, P. - Savvas, D.* (2018): Evaluation of the field performance, nitrogen, fixation efficiency and competitive ability of pea landraces grown under organic and conventional farming systems. *Archives of Agronomy and Soil Science.* **65**, (3) 294-307.

- Oberson, A. - Nanzer, S. - Bosshard, C. - Dubois, D. - Mader, P. - Frossard, E.* (2007): Symbiotic N₂ fixation by soybean in organic and conventional cropping systems estimated by ¹⁵N dilution and ¹⁵N natural abundance. *Plant and Soil*. **290**, 69-83.
- Ott, A. és Vos, E.* (2009): Fifty Years of European Integration: Foundations and Perspectives. T.M.C. Asser Press, Maastricht.
- Paustian, K. - Lehmann, J. - Ogle, S. - Reay, D. - Robertson, G. P. - Smith, P.* (2016): Climate-smart soils. *Nature*. **532**, (7597) 49-57.
- Peoples, M. B. - Hauggaard-Nielsen, H. - Jensen, E. S.* (2009): The potential environmental benefits and risks derived from legumes in rotations. In: *Emerich, D. W. – Krishnan, H. B. (szerk.): Agronomy Monograph 52. Nitrogen Fixation in Crop Production.* American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, Madison. 349-385.
- Polhill, R. M. - Raven, P. H. - Stirto, C. H.* (1981): Evolution and Systematics of leguminosae. In: *Polhill, R. M. - Raven, P. H. (szerk.): Advances in legume systematics, Part I.* Royal Botanic Garden, Kew. 1-26.
- Postgate, J.* (1998): Nitrogen fixation. Cambridge University Press, Cambridge. 112.
- Rajala, J. - Leinonen, P. - Schepel, I.* (2006): Ravinnekierröt ja ravinnehuolto luonnonmukaisessa viljelyssä (In English: Nutrient cycle and maintenance in organic farming). In: *Rajala, J. (szerk.): Luonnonmukainen maatalous.* Helsingin yliopisto, Maaseudun tutkimus- ja koulutuskeskus, Helsinki. 123-248.
- Rathke, G. W. - Wienhold, B. J. - Wilhelm, W. W. - Diepenbrock, W.* (2007): Tillage and rotation effect on corn–soybean energy balances in eastern Nebraska. *Soil Tillage*. **97**, (1) 60-70.
- Reckling, M. - Bergkvist, G. - Watson, A. C. - Stoddard, F. L. - Zander, P. M. - Walker, R. L. - Pristeri, A. - Toncea, I. - Bachinger, J.* (2016): Trade-off between economic and environmental impacts of introducing legumes into cropping systems. *Frontiers Plant Science*. **7**, (1) 669-684.
- Ruisi, P. - Amato, G. - Badagliacca, G. - Frenda, A. S. - Giambalvo, D. - Di Miceli, G.* (2017): Agro-ecological benefits of faba bean for rainfed Mediterranean cropping systems. *Italian Journal of Agronomy*. **12**, (865) 233-245.
- Saia, S. - Urso, V. - Amato, G. - Frenda, A. S. - Giambalvo, D. - Ruisi, P. - Di Miceli, G.* (2016): Mediterranean forage legumes grown alone or in mixture with annual ryegrass:

biomass production, N₂ fixation, and indices of intercrop efficiency. *Plant and Soil*. **402**, 395-407.

Schneider, A. - Huyghe, C. (2015) Les légumineuses pour des systèmes agricoles et alimentaires durables. Editions Quae, Paris.

*Schoeny, A. - Devienne-Barret, F. - Jeuffroy, M. H. - Lucas, P. (2003): Effect of take-all root infections on nitrate uptake in winter wheat. *Plant Pathology*. **52**, (1) 52-59.*

*Schweiger, P. - Hofer, M. - Hartl, W. - Wanek, W. - Vollmann, J. (2012): N₂ fixation by organically grown soybean in Central Europe: Method of quantification and agronomic effects. *European Journal of Agronomy*. **41**, 11-17.*

*Sinclair, T. R. - Muchow, R. C. - Bennet, J. M. - Hammond, L. C. (1987): Relative sensitivity of nitrogen and biomass accumulation to drought in field-grown soybean. *Agronomy Journal*. **79**, (1) 986-991.*

*Smil, V. (1999): Nitrogen in crop production. *Global Biogeochemical Cycles*. **13**, (1) 647-662.*

*Tilman, D. (1999): Global environmental impacts of agricultural expansion: the need for sustainable and efficient practices. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. **96**, (1) 5995-6000.*

Tracy, M. (1994): Élelmiszertermelés és mezőgazdaság a piacgazdaságban. Pannon Agrártudományi Egyetem Georgikon Mezőgazdaságtudományi Kar, Keszthely.

Tribouillois, H. - Christante, P. - Estragnat, A. - Champclou, D. - Vericel, G. - Lande, N. - Bedoussac, L. - Justes, E. (2012): Is sunflower-soybean intercropping an efficient solution for increasing natural resources use efficiency and yield production? 18th International Sunflower Conference, Mar del Plata.

*Tubiello, F. N. - Salvatore, M. - Rossi, S. - Ferrara, A. - Fitton, N. - Smith, P. (2013): The FAOSTAT database of greenhouse gas emission from agriculture. *Environmental Research Letter*. **8**, 1-11.*

U.S. EPA (2012): Global anthropogenic non-CO₂ greenhouse gas emissions: 1990-2030. EPA, Washington D.C.

*Unkovich, M. J. és Pate, J. S. (2000): An appraisal of recent field measurements of symbiotic N₂ fixation by annual legumes. *Field Crops Research*. **65**, (1) 211-222.*

USITC (1983): U.S. Embargoes on agricultural exports: Implications for the U.S. agricultural industry and U.S. exports, United States International Trade Commission, Whashington.

USITC (1993): The year in trade: Operation of the trade agreements program, 44th report. USITC, Washington, DC.

van Kessel, C. és Hartley, C. (2000): Agricultural management of grain legumes: Has it led to an increase in nitrogen fixation? *Field Crops Research*. **65**, (1) 165-181.

Vance, C. P. (2001): Symbiotic nitrogen fixation and phosphorus acquisition: plant nutrition in a world of declining renewable resources. *Plant Physiology*. **127**, (1) 390-397.

Voisin, A. S. - Guéguen, J. - Huyghe, C. - Jeuffroy, M. H. - Magrini, M. B. - Meynard, J. M. - Mougél, C. - Pellerin, S. - Pelzer, E. (2013): Legumes for feed, food, biomaterials and bioenergy in Europe: a review. *Agronomy for Sustainable Development*. **34**, (2) 361-380.

von Richthofen, J. S. - Pahl, H. - Bouttet, D. - Casta, P. - Cartrysse, C. - Charles, R. - Lafarga, A. (2006): What do European farmers think about grain legumes? *Grain Legumes*. **45**, (1) 14-15.

Walford, N. (2003): A past and a future for diversification on farms? Some evidence from large-scale, commercial farms in South East England. *Geografiska Annaler - Human Geography*. **85**, (1) 51-62.

Warkentin, D. T. - Smykal, P. - Coyne, J. C. - Weeden, N. - Domoney, C. - Bing, D. J. - Leonforte, A. - Xuxiao, Z. - Dixit, P. G. - Boros, L. - McPhee, E. K. - McGee, J. R. - Burstin, J. - Ellis, N. T. H. (2015): Pea. In: De Ron, M. A. (szerk.) *Grain legumes*. Springer, New York. 37-83.

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. (2017): Grain legume production and use in European agricultural system. *Advances in Agronomy*. **1**, 235-303.

Wery, J. és Ahlawat, I. P. S. (2007): Analysing and improving the role of grain legumes in cropping system's sustainability: a system approach illustrated on chickpea in India and Europe. In: Karkwal, M. C. (szerk.): *Food Legumes for Nutritional Security and Sustainable Agriculture*. Indian Society of Genetics and Plant Breeding, New Delhi. 820-836.

Wilson, C. és Tisdell, C. (2001): Why farmers continue to use pesticides despite environmental, health and sustainability costs. *Ecological Economics*. **39**, (3) 449-462.

Wright, B. D. és Williams, J. C. (1988): The Incidence of market-stabilising price support schemes. The Economic Journal. 98, (1) 1183-1198.

Yang, C. - Hossein, Z. - Warkentin, T., (2017): Evaluation of growth and nitrogen fixation of pea nodulation mutants in western Canada. Canadian Journal of Plant Science. 97, 1121-1129.

Zhang, F. - Shen, J. - Li, L. - Liu, X. (2004): An overview of rhizosphere process related with plant nutrient in major crop system in China. Plant and Soil. 260, 89-99.

Zimmer, S. - Messmer, M. - Haase, T. - Piepho, H. P. - Mindermann, A. - Schulz, H. - Habekuss, A. - Ordon, F. - Wilbois, K. P. - Hess, J. (2016): Effects of soybean variety and Bradyrhizobium strains on yield, protein content and biological nitrogen fixation under cool growing conditions in Germany. European Journal of Agronomy. 72, 38-46.

A szerző levélcíme – Address of the author:

Kulmány István Mihály

Nemzeti Agrárkutatási és Innovációs Központ, Agrárgazdasági Kutatóintézet

1093 Budapest, IX. Zsil utca 3-5.

E-mail cím: kulmany.istvan@aki.naik.hu

Dr. habil. Milics Gábor

Széchenyi István Egyetem, Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar

9200 Mosonmagyaróvár Vár tér 2.

E-mail cím: milics.gabor@sze.hu

Dr. Enzsöl Erzsébet

Széchenyi István Egyetem, Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar

9200 Mosonmagyaróvár Vár tér 2.

E-mail cím: enzsol.erszebet@sze.hu

Dr. Kovács Barna

Külgazdasági és Külügyminisztérium

1027 Budapest, Bem rakpart 47.

E-mail cím: Barna.Kovacs@mfa.gov.hu

Vona Viktória

Széchenyi István Egyetem, Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar

9200 Mosonmagyaróvár Vár tér 2.

E-mail cím: vonaviki@gmail.com