

A gyepgazdálkodásra alapozott állattartás ÜHG kibocsátásának számítási módszerei

Répas Máté István

Eötvös Loránd Tudományegyetem, Fizika Bsc, Biofizika
szakirány, Budapest
mateo911@vipmail.hu

ÖSSZEFOGLALÓ

A globális klímaváltozás megértése, valamint a megfékezésére alkalmas módszerek keresése korunk egyik legnagyobb tudományos kihívása, számos kutatás foglalkozik a mezőgazdaság, azon belül pedig az állattenyésztés klimatikus hatásainak vizsgálatával. Az állattenyésztés klimatikus hatását vizsgáló legelterjedtebb módszereket elemezve elmondhatjuk, hogy minden egyes módszernek megvannak a maga hiányosságai, gyakorlati alkalmazásuk sokszor nehézkes, eredményeik ellentmondásosak lehetnek. A gyepterületek CO₂ kibocsátását vizsgáló cikkekben gyakran találkozunk az alapvető természetbeni megfigyelésekkel is ellentmondó eredményekkel. Véleményem szerint a témával foglalkozó kutatásokban érdemes meghatározni mit értenek pontosan állattenyésztés alatt, hiszen nincs egységes fogalmi meghatározása, valamint a jövőben célszerű lenne kidolgozni egy módszert a kisméretű állattartó gazdaságok ÜHG kibocsátásának számítására.

SUMMARY

Understanding global climate change and finding ways to curb it is one of the greatest scientific challenges of our time, a number of studies examining the climatic effects of agriculture, including animal husbandry. Analyzing the most common methods of studying the climatic effects of animal husbandry, we can say that each method has its own shortcomings, their practical application is often difficult, and their results can be contradictory. In articles examining CO₂ emissions from grasslands, we often come across results that contradict basic in-kind observations. In my opinion, it is worthwhile to define exactly what is meant by animal husbandry in the research on the topic, as there is no uniform conceptual definition, and in the future it would be expedient to develop a method for calculating GHG emissions from small livestock farms.

BEVEZETÉS

A globális klímaváltozás korunk egyik legnagyobb kihívása, melynek megfékezésére számtalan nemzetközi egyezmény született, napjainkban is sorra alakulnak a klímaváltozás ellen küzdő mozgalmak, civil szervezetek, tudományos kutatócsoportok. Céljuk egyformán a klímasemlegesség elérése, vagy legalábbis a globális klímaváltozás folyamatának lassítása.

A klímaváltozás ellen küzdő csoportok számtalan tájékoztató anyagot juttatnak el az emberekhez, melyben tanácsokat adnak, hogyan élhetünk klímabarát módon, hogyan segítheti az egyén a klímasemlegesség, mint távlati cél elérését.

A klímasemlegesség eléréséhez az élet szinte minden területén változásra van szükség, nem lehet

kivétel a táplálkozási szokásaink újragondolása sem, hiszen jól megválasztott ételmisszervásárlási és fogyasztási szokásokkal jelentősen csökkenthetjük saját ökológiai lábnyomunkat. Magától értetődő, hogy a klímaváltozás ellen küzdő szervezetek és a témával foglalkozó kutatók ajánlásokat fogalmazzanak meg az érdeklődő lakosság számára, miképpen étkezhetnek klímabarát módon. A legtöbb ajánlás az állati termékek teljes vagy részleges elhagyását javasolja, az állattenyésztést rendkívül környezetszennyező tevékenységként mutatja be.

Ebben a tanulmányban áttekintem az állattenyésztés klímaváltozásra gyakorolt hatásának vizsgálati módszereit, különös tekintettel a gyepre alapozott állattenyésztésre.

RÖVID ÖSSZEFOGLALÓ A KLÍMAVÁLTOZÁSRÓL

A klímaváltozás (más néven éghajlatváltozás) az éghajlat tartós és jelentős mértékű megváltozását jelenti helyi vagy globális szinten. A földtörténet során bolygónk klímája számtalanszor változott, a manapság elterjedt szóhasználatban azonban a klímaváltozás szó alatt szinte kizárólag az utóbbi évszázadokban az emberi tevékenység által okozott éghajlatváltozást értjük. A globális éghajlatváltozás legszembetűnőbb – de nem egyedüli – hatása a globális felmelegedés, azaz a földi klíma átlagos hőmérsékletének tartós emelkedése, ideértve a felszíni vizek és a toposzféra hőmérsékletének tartós emelkedését is. A klímakutatók körében szinte teljes az egyetértés a tekintetben, hogyha a globális felmelegedés a jelenlegi ütemben folytatódik, az katasztrofális következményekkel járhat az egész emberi civilizációra. A Párizsi Éghajlatvédelmi Egyezmény – a világ első átfogó éghajlati megállapodása – célkitűzései:

- A globális átlaghőmérséklet emelkedésének jóval 2 °C alatt tartása az iparosodás előtti szinthez képest, majd az erőfeszítések folytatásaként a hőmérséklet emelkedésének 1,5 °C alatt tartása az iparosodás előtti szinthez képest, elismerve, hogy ez jelentősen csökkenti az éghajlatváltozás kockázatait és hatásait.
- Az éghajlatváltozás kedvezőtlen hatásaihoz történő alkalmazkodás képességének növelése, az éghajlatváltozással szembeni ellenálló képesség, és az alacsony üvegházhatású gázkibocsátással járó fejlődés elősegítése, miközben ezek a folyamatok nem fenyegetik az ételmisszervgyártást.

- A pénzáramlások következetessé tétele, hogy az alacsony üvegházhatású gázkibocsátással járó és az éghajlattal szemben rugalmas fejlődési lehetőségek felé haladjanak.

Napjainkban a globális klímaváltozás fő okozóinak az üvegházhatású gázokat (ÜHG) tartjuk, melyek közül az állattartás szempontjából a széndioxid, a metán és a dinitrogén-oxid játszik fontos szerepet (Soussana et al., 2010). Ha a mezőgazdaság klímára gyakorolt hatását vizsgáljuk, figyelembe kell vennünk mindegyik üvegházhatású gázt (Robertson et al., 2000). A széndioxid-egyenérték (CO₂E) fogalmának bevezetésével egyszerűen számszerűsíthetjük a kibocsátott ÜHG-k együttes klimatikus hatását, 1 kg N₂O = 298 kg CO₂E, 1 kg CH₄ = 25 kg CO₂E, 1 kg CO₂ = 1 kg CO₂E (IPCC, 2019).

AZ ÁLLATTENYÉSZTÉS RŐL ÁLTALÁBAN

Az állattenyésztés, mint fogalom sokféleképpen meghatározható, ha mint ágazatot szeretnénk vizsgálni – egységesen elfogadott meghatározás hiányában –, érdemes tisztázni pontosan mely tevékenységeket értjük állattenyésztés alatt. Az állattenyésztés együtt fejlődött az emberiséggel, mára az állati termékek előállításának számtalan módja létezik, melyek ugyanazon végtermék előállítása esetén is rendkívül különbözőek lehetnek. A magyar nyelvben számtalan kifejezést ismerünk az állattenyésztés módját illetően, manapság viszont a témával foglalkozó tudományos művek a következőképpen osztályozzák:

- Extenzív (szilaj, rideg, külterjes) állattenyésztés: az állatok idejük legnagyobb részét a szabad ég alatt töltik, az év nagy részében legeléssel/csipegetéssel/túrással maguk szerzik meg a szükséges táplálékot, védelmükről egyszerű épületek gondoskodhatnak.
- Félintenzív (félrideg pásztorkodás) állattenyésztés: az állatok az év egy részében extenzív körülmények között élnek, máskor viszont istállóban tartják az állatokat, gyakran iparilag előállított takarmányt fogyasztanak.
- Intenzív (belterjes) állattenyésztés: más néven iparszerű állattartás, az állatok mesterséges körülmények között élnek, iparilag előállított takarmányt fogyasztanak.

A fenti állattenyésztési formák épített környezete, energiaigénye, termelési technológiája olyan mértékben eltér egymástól, hogy a klímaváltozásra gyakorolt hatásukat érdemes külön-külön vizsgálni.

A GYEPGAZDÁLKODÁSRA ALAPOZOTT ÁLLATTARTÁS KLIMATIKUS HATÁSAIT VIZSGÁLÓ MÓDSZEREK

A gyepgazdálkodásra alapozott állattartás klímaváltozásra gyakorolt hatását többféle módszertan alapján elemezhetjük, melyek között komoly eltérések mutatkoznak. Az állattenyésztő üzemeket különböző szempontok szerint vizsgálhatjuk (pl: farm ÜHG mérleg, életciklus elemzés), a kibocsátás mértékét pedig különböző

egységekben adják meg (pl: egységnyi termőföldre vonatkozó kibocsátás, állategységre vonatkozó kibocsátás, egységnyi állati termékre vonatkozó kibocsátás (Schils et al., 2007).

Az IPCC 1996-2006 között javasolt módszertana szerint az állattartó gazdaságok ÜHG kibocsátásába kizárólag az állattartó gazdaságokban keletkezett ÜHG gázok CO₂E értékét kell figyelembe venni, az inputanyagok gyártása, szállítása, a mezőgazdasági gépek működése, épületek energiafogyasztása során keletkező CO₂E kibocsátást más szektoroknál kell elszámolni (IPCC, 2019).

A fenti számítási mód segítségével egy üzem klimatikus hatásáról csak közelítő adatokat kaphatunk, azonban semmiféle támpontot nem nyújt arról, hogy egy adott termék elkészítése összességében milyen klimatikus hatással jár. Ezen számítási mód meglehetősen ellentmondásos eredményekre vezet, ha különböző típusú mezőgazdasági üzemeket próbálunk meg összehasonlítani. Egy nagyméretű, intenzív állattartó telep rengeteg inputanyagot (nagyreszt iparilag gyártott takarmányt) vásárol, a telepen használt legtöbb gép belső égésű motorral működik, gázolajat éget el, a nyers állati termékeket vagy élő állatokat a telepről elszállítják, nagyipari üzemekben dolgozzák fel. Az IPCC 1996-2006 között javasolt módszertana a fent felsorolt termékek és tevékenységek ÜHG kibocsátását mind figyelmen kívül hagyja.

Egy egészen kisméretű tanyasi gazdaság szinte minden takarmányt maga állít elő, nagyon kevés inputanyagot vásárol, a terméket legtöbbször közvetlenül a végső fogyasztónak értékesíti. A tanyasi gazdaság tevékenysége sokkal összetettebb, szinte az egész termékpályát lefedi. Ha kizárólag az állattartó gazdaságon belül keletkezett ÜHG kibocsátást vesszük számításba, úgy tűnik, mintha a tanyasi gazdálkodás több ÜHG kibocsátással járna, mint az intenzív állattartó telepek működése.

Az életciklus-elemzés tartalmazza a mezőgazdaság közvetett kibocsátását is az inputanyagokon és más, az élelmiszerláncban belül felhasznált anyagokon keresztül. Ezzel a módszerrel számolva az állattenyésztés – az inputanyagoktól az állati eredetű késztermékekig – a globális CO₂E kibocsátás 18%-áért felelős (FAO, 2006). Az életciklus-elemzés segítségével egyszerű termékpályák esetében meg tudhatjuk, hogy egy adott állati eredetű termék előállítása összességében mennyi ÜHG kibocsátással járt. Egyszerű termékpályákkal ritkán találkozunk, legtöbbször egy haszonállat élelemiszerré és más állati eredetű termékeké váló feldolgozása során számtalan különböző termék keletkezik, egy termék több állatfaj felhasználásával készülhet. Az ilyen összetett termékek esetében nem tudjuk elosztani a termelési folyamatok teljes ÜHG kibocsátását a termékek között.

Kisebb állattenyésztő szervezetek, helyi kutatóintézetek számtalan további módszert használnak, ráadásul az állattenyésztés ÜHG mérlegében nagyon fontos szerepet játszó szénmegkötést gyakran nem veszik figyelembe (Soussana et al., 2010).

Ha az állattartó gazdaságra, mint ökológiai rendszerre tekintünk, vizsgálhatjuk annak szén-fluxusát (jele: F). A szén-fluxus meghatározásához először meg kell adnunk a szén-fluxus határfelületét, majd számításba venni az összes szénáramlással járó folyamatot, így megkapjuk a rendszer C mérlegét (angol rövidítése NCS) [$g C/m^2/év$] (Soussana et al., 2010).

Egy teljes állattartó gazdaságra, főleg egy termékpályára szinte lehetetlen ilyen határfelületet megadni. Minden mérőeszköz befolyásolja a mért rendszert, a mérőeszköz fejlesztése során arra kell törekednünk, hogy a mért rendszer lehető legkisebb zavarása mellett a lehető legnagyobb pontosságot érjük el. Mindenki számára egyértelmű, hogy nem zárhatunk buborékba egy állattartó gazdaságot, hogy annak szén-fluxusát megmérhessük, továbbá nem létezik a szénáramlással járó folyamatok mérésére megfelelő technológia. Az állattartó gazdaság egyes részegységeinek szén-fluxusát a legtöbbször külön vizsgálják, végül a fluxusok összege adja a gazdaság C mérlegét.

A szén átvitele különböző helyszínek között nagyon gyakori a mezőgazdasági üzemeknél. A legtöbb tanulmány nem követi a kaszált területekről lekerülő termény (széna, szilázs) sorsát, egyszerűen a kimenő C fluxushoz számolja el azok C tartalmát. Ebből úgy tűnhet, mintha az adott évben keletkezett takarmány teljes széntartalma még abban az évben a légkörbe kerülne, azonban a valóságban nem ez a helyzet. A réteken, kaszálókon keletkező takarmányt a gazdaság állatai fogyasztják el, az emészthető szén az állatokba, az emészthetetlen a trágyába kerül. A trágyát általában a gazdaság földterületeire juttatják ki, ezzel növelve a terület szénkészletét (Soussana et al., 2010).

Az európai éghajlat- és ökológiai viszonyok figyelembevételével a szénmérleg számításához szükséges egyenlet füves vegetációjú területeken, azaz legelőkön, kaszálókon (Allard et al., 2007):

$$NCS = (F_{CO_2} - F_{CH_4}) + (F_{trágya} - F_{betakarítás} - F_{állattitermék}) - F_{kimosódás}$$

A fenti egyenlet csak a legelőkre, kaszálókra vonatkozik, nem a teljes gazdaságokra.

A szén fluxus számítás összetett ökológiai rendszerekben a határfelület megadásának nehézsége és a mérési technológia hiánya miatt nem végezhető el direkt mérési adatokból. Egy ökológiai rendszer szén fluxusát nem tudjuk megmérni, viszont jól megválasztott elméleti-matematikai modellezés segítségével igen pontosan meghatározhatjuk.

Magyarországon az állattenyésztés klimatikus hatását Koncz és munkatársai (2017) tanulmányozták átfogóan. Egy magyar szürke szarvasmarhát, külterjes legeltetési rendszerben tartó gazdaságot vizsgáltak a Kiskunsági Nemzeti Park területén. Terepi mérési eredményekre alapozott modelljükben a legelők, a kaszálók, és a szarvasmarhák ÜHG kibocsátását számították ki, kiegészítve az állatok téli szálláshelyen történő etetésével.

A számítások során a rendszer szén mérlegét (NECB), valamint ÜHG mérlegét (NGHG) vették figyelembe. A 3 éves kutatás figyelembe vette az éghajlati tényezőket is, megmutatta, hogy a vizsgált gazdaság ÜHG mérlege jelentősen változik az éves csapadékmennyiség, illetve csapadékeloszlás függvényében. Az alkalmazott modell összetett, matematikai reprezentációja meglehetősen bonyolult, a vizsgált rendszer C fluxusa és CO_2 fluxusa időnként nem elkülöníthető (Koncz et al., 2017).

AZ EGYES ÜHG GÁZOK FLUXUSÁNAK MÉRÉSE, SZÁMÍTÁSA

Ebben a fejezetben szeretném összefoglalni, milyen ÜHG forrásokat és nyelőket lenne célszerű figyelembe venni egy állattartó gazdaság ÜHG fluxusának kiszámításához.

Gyepterületek ÜHG fluxusa

A gyepterületek saját művelési ágat alkotnak, nagyrészt évelő pázsitfűfélék és pillangósok találhatóak a gyepek növénytakarulásában. A gypalkotó növények életműködésük során CO_2 -t nyelnek el és bocsátanak ki. A gyepterületek talaján és a talaj sekély rétegeiben számtalan rovar, gomba és mikroorganizmus él, melyek szintén hozzájárulnak a gyepterületek szén ciklusához. Számos tanulmány bonyolódik bele a gazdaságon belüli szénáramlás modellezésébe, ami igen nehéz feladat, könnyen eshetünk a túlzott egyszerűsítés hibájába, vagy éppen ellenkezőleg, hosszasan foglalkozunk a természetes szén-körforgás olyan elemeivel, amik nem játszanak szerepet az ÜHG kibocsátásban. Fontosnak tartom megemlíteni a tényt, hogy szénatom csak magfizikai folyamatok során keletkezhet, a biokémiai folyamatok során szénatom nem jön létre és nem is semmisül meg, azaz a biokémiai folyamatok az – adott folyamat számára – elérhető szénkészlettel működnek. A szénáramlással járó folyamatok nem jelentenek automatikusan CO_2 kibocsátást, a legtöbb esetben a szénátvitel során a szénatomok stabil szerves kötésben helyezkednek el, vagy olyan biokémiai folyamat részei, mely átviszi a szénatomot egyik stabil szerves molekulából a másikba. A legtöbb ilyen folyamat nem jár CO_2 kibocsátással. Számos tanulmány jutott arra a következtetésre, hogy egy gyepterület CO_2 fluxusa – a legelő emlősök és madarak kibocsátását nem számolva – pozitív, azaz a gyepterület évről évre több CO_2 -t bocsát ki, mint amennyit elnyel. A gyepterületek minden élőlénye – nagyrészt – szénvegyületekből épül fel, a pázsitfűfélék és a pillangós növények is évről évre újra létre kell hogy hozzák talaj feletti részeit, ez a folyamat rengeteg szénatomot igényel.

Pozitív CO_2 fluxus csak akkor lehetséges, ha a gyepterület évről évre a talaj szénkészletének felhasználásával marad életben, azaz a gyepterület csak addig létezhetne, amíg ki nem meríti a talaj teljes szénkészletét. Ilyesmit nem tapasztalunk, a gyepterület tartósan megmarad.

A talaj szerves szén tartalma általában magasabb füves területeken (Jones and Donnelly, 2004), az egyre mélyebb talajrétegekben a mélység növekedésével csökken a megkötött szerves szén mennyisége, azonban a mélyebb rétegekben megkötött szén több ezer évig kötött állapotban marad (Six et al., 2002; Bossuyt et al., 2005). A fentiekből levonhatjuk a következtetést, hogy egy gyepterület csak akkor maradhat fenn tartósan, ha a CO₂ fluxus kisebb, mint nulla, azaz a gyepterület több CO₂-t nyel el, mint amennyit kibocsát.

Számos kutatás mért pozitív CO₂ fluxust gyepterületeken, az általam ismert esetekben az adott mérést olyan módszerrel végezték, ami jelentősen megváltoztatta a mért rendszer viselkedését. A gyepterület felett fóliabuborékot helyeztek el, mely üvegházként viselkedett, vagy éppen ellenkezőleg, a mérőeszköz teljesen átlátszatlan volt. A gyepterület egy összetett ökológiai rendszer, a fenti mérőeszközök olyan nagymértékben megváltoztatják annak biokémiai működését – és ezen keresztül CO₂ fluxusát –, hogy a mérés jó eséllyel valótlán eredményre vezet. A Kiskunság száraz gyepterületein végzett mérések alapján, 2003-ban az aszály sújtotta gyepek éves CO₂ kibocsátása 80 g/m²/év volt, ugyanezek a gyepek egy csapadékos évben 188 g/m²/év CO₂-t nyeltek el (Nagy et al., 2007). Az aszályos évben tapasztalt CO₂ kibocsátás, amennyiben a talaj szénkészletének csökkenésével jár, kapcsolatban lehet az elsivatagosodással. Az elsivatagosodó gyepterület nem marad fenn tartósan, itt mérhetünk pozitív CO₂ kibocsátást.

A bugacpusztai száraz gyepen, átlagos években CO₂ elnyelést mérhettünk, 2003 aszályos nyarán a terület CO₂ kibocsátóvá változott, azonban éves átlagban kismértékű elnyelést tapasztalhattunk. A CO₂ elnyelés mértéke átlagosan 220 g/m²/év (Nagy et al., 2005).

A füves területek talajának metán kibocsátása elhanyagolható (Soussana et al., 2010). A füves területek talajának felső rétegeiben élő metanotróf baktériumok képesek felvenni a metánt a légkörből, ezért a talaj a metán fontos elnyelője (Tóth, 2018). Magyarország száraz gyepterületein a talaj éves metán elnyelése CO₂-ben számolva 3-4 g/m²/év (Koncz et al., 2017). A talajban nitrifikációs-denitrifikációs folyamatok játszódnak le, a N₂O kibocsátása/elnyelése elsősorban a talaj víztartalmától, N tartalmától, hőmérsékletétől függ. Magyarországon az átlagos N₂O talajfluxus -0,6 kg N₂O/ha/év (Grosz, 2010).

A gazdaságban megjelenő további ÜHG fluxusok

A trágyázott gyepterületek fontos szerepet töltenek be a N₂O kibocsátásban (Beek et al., 2010), nem szabad megfeledkeznünk a legelőterületek N₂O kibocsátásáról sem, hiszen a legelő állatok trágyát hullajtának el legelés közben. Hollandia száraz gyepterületeinek átlagos N₂O kibocsátása a területre

kijuttatott trágya N tartalmának 8,3%-a (Beek et al., 2010). A gazdaságban keletkező trágya jelentős ÜHG kibocsátó, kibocsátásának számításakor figyelembe kell venni az állatfajt, valamint a trágyakezelés, tárolás, kijuttatás technológiáját is.

Minden állat a légzése során CO₂-t termel, a kérődző állatok emésztési folyamatai során metán jön létre, mindkét ÜHG gáz fluxusa hozzájárul a gazdaság teljes ÜHG fluxusához. Napjainkban a legkisebb gazdaságokban is általános a mezőgazdasági gépek – traktorok és a hozzájuk kapcsolt munkaeszközök – alkalmazása. A mezőgazdasági gépek szinte kivétel nélkül belső égésű motorral működnek, az elektromos vagy hidrogén meghajtású mezőgazdasági gépek fejlesztése folyamatban van, de széles körben még nem elérhetőek. A belső égésű motorok működése jelentős CO₂ kibocsátással jár.

AZ EREDMÉNYEK ÖSSZEFOGLALÁSA

Az állattenyésztés fogalmára nincs egységes meghatározás, ezért minden, a témával foglalkozó tanulmányban célszerű lenne tisztázni, a szerző mit ért pontosan állattenyésztés alatt. Az állattenyésztés tartási technológiái annyira eltérőek, hogy az állattenyésztést összességében vizsgálni sokszor túlzott általánosításnak tűnik. Az állattenyésztés ÜHG kibocsátásának meghatározására két nemzetközileg elfogadott számítási módszer ismert, melyek igen különbözőek. Láthattuk, hogy több kutató is felhívta már a figyelmet ezen modellek hiányosságaira, javaslatokat tettek a modellek javítására.

A gyepterületekre alapozott állattartás vizsgálata során modelleznünk kell az egyes ÜHG gázok fluxusát a gyepterületen, valamint a haszonállatok és a trágya ÜHG kibocsátását. A pontosabb számítások érdekében célszerű figyelembe venni a gazdaságban végzett tevékenységek ÜHG kibocsátását is.

KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

Nehéz dolga van annak, aki szeretné meghatározni egy állati eredetű termék vagy éppen egy állattartó gazdaság ÜHG kibocsátását. Nehéz eldönteni, melyik számítási módot használjuk, vagy hogy elfogadjunk-e ellentmondásos kísérletekből származó mérési adatokat. Mind az IPCC, mind a FAO az intenzív, iparszerű állattartás ÜHG kibocsátásának meghatározására törekszik, a jövőben érdemes lehet kidolgozni egy, a kisméretű, külterjes állattartó gazdaságok ÜHG kibocsátásának számítására alkalmas módszert.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ez a cikk nem jöhetett volna létre a feleségem, Répásné Mudra Regina a szerkesztésben és formázásban nyújtott nélkülözhetetlen segítségével.

IRODALOM

- Allard, V.-Soussana, J. F.-Falcimagne, R.-Berbigier, P.-Bonnefond, J. M.-Ceschia, E. ... & Pinares-Patino, C. (2007): The role of grazing management for the net biome productivity and greenhouse gas budget (CO₂, N₂O and CH₄) of semi-natural grassland. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 121(1-2): 47-58.
- Beek, C. L.-Pleijter, M.-Jacobs, C. M. J.-Velthof, A. G. L.-Groenigen, J. W.-Kuikman, P. J. (2010): Emissions of N₂O from fertilized and grazed grassland on organic soil in relation to groundwater level. *Nutr Cycl Agroecosyst* 86: 331-340.
- Bossuyt, H.-Six, J.-Hendrix, P. F. (2005): Protection of soil carbon by microaggregates within earthworm casts. *Soil Biology and Biochemistry*, 37(2): 251-258.
- FAO (2006): Food and Agriculture Organization of the United Nations: The State of Food and Agriculture
- Grosz B. P. (2010): Üvegház hatású gázok (CO₂, N₂O, CH₄) talajfluxusainak meghatározása magyarországi mezőgazdasági és erdőszűlt területeknél. Országos Meteorológiai Szolgálat, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Kémiai Intézet, Kémiai Doktori Iskola
- IPCC (2019): Intergovernmental panel on climate change, Climate Change and Land, An IPCC Special Report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems
- Jones, M. B.-Donnelly, A. (2004): Carbon sequestration in temperate grassland ecosystems and the influence of management, climate and elevated CO₂. *New Phytologist* 164: 423-439.
- Koncz, P.-Pintér, K.-Balogh, J.-Papp, M.-Hidy, D.-Csintalan, Zs.-Molnár, E.-Szaniszló, A.-Kampfl, Gy.-Horváth, L.-Nagy, Z. (2017): Extensive grazing in contrast to mowing is climate-friendly based on the farm-scale greenhouse gas balance. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Volume 240, 1 March 2017, Pages 121-134.
- Nagy, Z.-Czobel, Sz.-Balogh, J.-Horvath, L.-Foti, Sz.-Pinter, K.-Weidinger, T.-Csintalan, Zs.-Tuba, Z. (2005): Carbon balance of Hungarian grasslands in years with contrasting weather conditions. *Acta Biologica Szegediensis*, Volume 49(1-2): 131-132.
- Nagy, Z.-Pinter, K.-Czobel, Sz.-Balogh, J.-Horvath, L.-Foti, Sz.-Barcza, Z.-Weidinger, T.-Csintalan, Zs.-Dinh, N. Q.-Grosz, B.-Tuba, Z. (2007): The carbon budget of semi-arid grassland in a wet and a dry year in Hungary. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 121, 21-29.
- Robertson, G. P.-Paul, E. A.-Harwood, R. R. (2000): Greenhouse gases in intensive agriculture: contributions of individual gases to the radiative forcing of the atmosphere. *Science, New Series*, Vol. 289, No. 5486 (Sep. 15, 2000), pp. 1922-1925 (4 pages).
- Schils, R. L. M.-Olesen, J. E.-del Prado, A.-Soussana, J. F. (2007): Review of a farm-level modelling approach for mitigating greenhouse gas emissions from ruminant livestock systems. *Livestock Science*, Volume 112, Issue 3, December 2007, Pages 240-251.
- Six, J.-Callewaert, P.-Lenders, S.-De Gryze, S.-Morris, S. J.-Gregorich, E. G.-Paul, E. A.-Paustian, K. (2002): Measuring and understanding carbon storage in afforested soils by physical fractionation. *Soil Science Society of America Journal* 66, 1981-1987.
- Soussana, J. F.-Tallec, T.-Blanfort, V. (2010): Mitigating the greenhouse gas balance of ruminant production systems through carbon sequestration in grasslands. *Animal* 4(3): 334-350.
- Tóth A. (2018): A metán légköri koncentrációjának alakulása Magyarország felett. Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest

