

Növényi eredetű szén alkalmazása állati takarmányban

Hans-Peter Schmidt^{1*}, Claudia Kamman², Achim Gerlach, Henning Gerlach³

1/ Ithaka Institute, Ancienne Englise 9, CH-1974 Arbaz, Svájc

2/ Geisenheim University Főiskola, AG Klimafolgenforschung für Spezialkulturen, Institut für Bodenkunde und Pflanzenernährung, Von-Lade-Str. 1, 65366 Geisenheim, Németország

3/ Tierarztpraxis Gerlach, Waldstrasse 78, D-25712 Burg (Dithmarschen), Németország

A cikk előzményei

A 'Biokohle' c. könyv (kiadó: Peter Quicker és Kathrin Weber, Springer Verlag 2016) azonos című fejezetének próbanyomása.

Nyomdába érkezett 2016. február 22-én, megjelent 2016. március 19-én.

Levelező tag, szerző: schmidt@ithaka-institut.org

Idézetképpen:

Schmidt HP, Kamman C, Gerlach H: Növényi eredetű szén alkalmazása állati takarmányban, Ithaka-Journal 2016, Arbaz, Svájc

ISSN 1663-0521, p 364-394, www.ithaka-journal.net/95

1. Bevezetés

Bioszén sorozatos használata az állattenyésztésben

A bioszén túl értékes és túl drága ahhoz, hogy csak egyszeri alkalommal használják. A növényi eredetű szénnek több mint 55-féle alkalmazási lehetősége van, s ezek a lehetőségek az építőipari, textil- és papíripari alkalmazásoktól egészen élelmiszerek tartósításáig, elektromos szerkezeti elemekben elektromágneses mezők árnyékolásáig, valamint akkumulátorok gyártásáig terjednek (Conte és mások, 2015; Schmidt, 2012). Csaknem minden ilyen alkalmazásnál a felhasznált bioszén az eredeti használati ciklus végén különböző más területeken tovább hasznosítható. Ennek a sorozatos használatnak a végén a bioszén – a tisztasági és dúsítási foktól függően – tápanyagokkal feldolgozható, vagy talajjavító szerként alkalmazható, illetve energetikai célokra is hasznosítható.

Jelenleg a legígéretesebb lehetőségnek látszik, ha a gazdasági és ökológiai előnyökkel járó, talajjavító szerként való alkalmazás előtt az állattartásban igyekeznek sorozatosan hasznosítani. A bioszén emellett silózott takarmányadalékként, állati takarmányként szalmaalomban, trágyalékezelésnél és komposzt-adalékanyagként is használható. Ezekben az alkalmazási területeken a bioszénnel nem csupán a végtermék minőségét szándékoznak javítani, gondolunk itt a silótakarmány minőségére, az állatok egészségére vagy a trágyalé és a komposzt trágyázási tulajdonságaira, hanem lehetőleg a tápanyagok klíma- és környezetkárosítás miatti veszteségét is igyekeznek csökkenteni. Hasznosítási foktól függően a növényi eredetű szénben valószínűleg több szerves tápanyag feldúsul és így értékes szerves

trágyát nyernek mezőgazdasági célokra (Schmidt és Shackley, 2016; Schmidt és mások, 2015).

Az állattartásban való hasznosítás következtében a bioszén kémiai és fizikai tulajdonságai megváltoznak. Akárcsak komposztálás esetén, a bioszén az emésztési folyamatban feltehetőleg gyorsított öregedésnek van kitéve, aminek során a bioszén elágazó felületein sokkal több funkcionális csoport keletkezhet (Joseph és mások, 2015b) és közben a redoxaktivitás is erősödik (Joseph és mások, 2015a; Kluepfel és mások, 2014). Várható, hogy ha a bioszén folyékony szerves tápanyaggal feldúsul az emésztési folyamatban, a szalmaalomban vagy a trágyalégyűjtő árokban, a pórusokban gazdag szén belső felületeit szerves réteg vonja be, amely a víztároló kapacitást és a tápanyagcsere-kapacitást egyaránt növeli (Conte és mások, 2013; Kammann és mások, 2015; Schmidt és mások, 2015). A gyakorlati tapasztalatok és a kísérleti eredmények azt mutatják, hogy a dúsított bioszén az állattartásban való sorozatos használat végén nagyon értékes szerves trágyává válhat, amely kémiai NPK műtrágyát pótolhat (Schmidt és mások, 2016) és így lehetőség nyílik arra is, hogy az állattartásból származó hulladékból értéknövelő trágyát készíthessenek (Schmidt és mások, 2015).

A bioszén hasznosítási lehetőségét az állattartásban csak néhány éve fedezték fel újra és ez az irányzat egyre erősödik (Gerlach és Schmidt, 2012). Egész sor, az elmúlt évszázadból származó állatorvosi értekezéstől eltekintve csak 2010 óta folytatnak tudományos kísérleteket a bioszén állati takarmányozási célra való hasznosítása területén, és csak azóta vizsgálják különböző állatfajták egészségére, a takarmányozás eredményességére és betegségekre gyakorolt hatást, valamint az állattartásban is megfigyelhető üvegház-hatást. A tudományos alapismeretek még mindig sok tudáshézagról árulkodnak és még mindig tisztázatlan kérdés, hogy miért fejlődnek ki az állati takarmányban használt bioszén miatt észlelhető pozitív vagy semleges hatások.

Sok gazdálkodó számára a tudományos magyarázatok még mindig alig jelentenek valamit, amíg (1) bizonyosak abban, hogy az állatok egészségére és a környezetre nincsenek negatív hatások és (2) biztosak abban is, hogy az állat egészségére és a termelékenységre gyakorolt pozitív hatások ellensúlyozzák a többletköltségeket és az időráfordítást. Mivel a saját eredmények és megfigyelések a növényi szenet tartalmazó takarmánynál igencsak meggyőzőek, így a növényi szenes takarmányt használó gazdák száma évről évre nő, úgy hogy az Európai Bioszén Alapítvány (EBC) által tanúsított bioszénnek több mint 80%-át állattartási célra értékesítik (Schmidt és Shackley, 2016). Ráadásul időközben a takarmánygyártók is egyre gyakrabban kevernek növényi szenet a kevert állateledelhez, anélkül, hogy ezt külön reklámoznák. Miután káros anyagtól mentes, megfelelően ellenőrzött növényi szenet hagytak jóvá takarmányként idevágó EU rendelet szerint (EU Bizottság, 2011), így nincs más hátra, mint az alkalmazás.

Az alábbiakban a bioszén takarmányban való alkalmazásával kapcsolatos eddigi ismereteinket kívánjuk összefoglalni. Történelmi áttekintés után rátérünk arra, hogyan működik a bioszén az állati takarmányban. A harmadik részben a káros anyagok és kórokozók adszorpciójáról lesz szó, míg a negyedik rész a takarmányozásnak a termelékenységre gyakorolt hatásával és a különböző haszonállatok egészségével foglalkozik. A befejező részekben az esetleges mellékhatásokról, az adagolási módokról, az üvegház-hatásról és ammóniát tartalmazó emissziókról, valamint az engedélyezési gyakorlatról és a minőségellenőrzésről tudhat meg többet az olvasó.

2. Történelmi áttekintés növényi eredetű szénnek állati eledelként vagy takarmányadalékként való alkalmazásáról

A faszén az egyik legrégebbi házi szer emésztési zavarokra, akár emberről, akár háziállatokról van szó (Cato, 70.§, 1935). Fűszerek és timföld mellett az állatok bizonyos belső és külső betegségeinek kezelésére az állattartók leggyakrabban faszénet használtak. Egyáltalán nem volt káros, sőt legtöbbször használt is (Derlet és Albertson, 1986). Míg a szénét némelyik állatfajtnak, mint pl. baromfinak és sertésnek tisztán adagolták, addig más állatoknak vajjal (szarvasmarha), tojással (kutya) vagy hússal (macska) keverve használták (O'Toole és mások, 2016).

Egy állattartásról szóló, 1906-ban megjelent tankönyvből idézve: „Úgy látszik, hogy a sertések függőségbe kerülnek természetellenes anyagokkal”. Különösen igaz ez a nagyon szűk ólakban tartott sertésekre. Az ilyen állat eléggé mohón megeszi akár a faszénet, hamut, barnaszénet, rothadó faanyagot stb. tartalmazó dolgokat is. Ezek közül némelyik anyag valószínűleg nem volt éppen jó hatással a sertések szervezetére, de ahhoz nem fér kétség, hogy a faszén, és a fahamu hatása egyértelműen pozitív és az állatok könnyebben megnyugodtak (Day, 1906).

A tizenkilencedik század végén és huszadik század elején megjelent mezőgazdasági és állattenyésztési szakfolyóiratok már részletesen tárgyalták a tehénekhez használt ún. „erősítőszereket”. Ezek elsősorban faszénből álltak, de tartalmaztak fűszereket, mint pl. borsot vagy keserű enciángyökeret. Ezeknek az erősítőszereknek a gyártói hangoztatták, hogy ők leginkább az emésztési zavarokat megszüntetni, az állatok étvágyát javítani és a tejhozamot növelni akarták (Pennsylvania State College, 1905).

Az USA-ban akkoriban faszénet használtak különösen takarmányadalékként a tej zsírtartalmának növelése érdekében. A huszadik század elején versengtek egymással a gazdák, hogy a tehéntej írotartalmát minél jobban tudják csökkenteni és ennek megfelelően sok gondot fordítottak a takarmányadagok összeállítására: „A gabonakeverék, amelyet a kísérleti fázisban takarmányozásra használtak, állt 50 kg szárított erjesztett gabonából, 25 kg búzapor-üszögből, 50 kg őrölt zabból, 50 kg kukoricapépből, 50 kg gyapotmag-lisztből... Tehát a faszén hiányzik, amit egyáltalán nem vagy csak ritkán adagoltak a marhatenyésztők” (Savage, 1917). Később Totusek és Beeson (1953) arról számolt be, hogy növényi szén tartalmazó termékeket már legalább 1880 óta alkalmaznak a sertésenyésztésben és 1940 óta pedig a baromfitenyésztők is használják állati takarmányként, ezt támasztja alá rengeteg cikk a huszadik század első feléből. Nagyjából ugyanabban az időszakban írja Steinegger és Menzi (1955) a következőket: „Svájcban teljesen általános szokás faszénet hozzákeverni baromfieleléshez és lisztet adni tojós tyúkoknak, hogy az emésztési problémákat megelőzzék és általában szabályozzák az emésztési folyamatot.”

Faszén, bioszén, , aktív szén

Alapjában véve az összes faszén és aktív szén bioszénnek is számít. Míg a növényi eredetű szén nagyon sokféle, nem szennyezett növényi biomasszából állíthatják elő, addig a faszén kizárólag fából és nem másféle biomasszából készül. Az Európai Biochar Certificate (EBC) tanúsítvány szerint a növényi szén széntartalmának meg kell haladnia az 50%-ot, ami teljesen kizárja többféle szekunder biomassza (marhatrágya, derített iszap, csontok stb.)

használatát kiindulási anyagként. Már a kiindulási anyagként használt fa is sok szenet tartalmaz (kb. 50%), ezért a faszén rendszerint magasabb széntartalmat ad ($C > 80\%$), mint azok a növényi szenek, amelyek pl. vágott zöldtakarmányból, takarmánytörkölyből, Miscanthus-füvből, szalmából vagy gabonahéjből készülnek; itt a széntartalom általában magasabb, mint 60%, de nem éri el a 80%-ot. A dióhéjból vagy bambuszból készített növényi szenek viszont akár 80% feletti széntartalmat is mutathatnak.

A fogalmát Németországban sajnos még mindig a bioszén szinonimájaként szokás használni. A kifejezést nem specifikus és köznyelvi gyűjtőfogalomként használják különböző gyártási eljárásokhoz (lásd Kammann és mások, Kasten 1, 'Szén módszertana' c. fejezetben). A bioszenek kapcsán főleg az energetikai célú felhasználási területre asszociálnak, ahol más elszenesítési eljárásokkal, mint pl. finomítással, elgázosítással vagy hidrotermikus karbonizálással (HTC) is dolgoznak.

Az EBC szerinti definíciója a növényi eredetű szénnek a következő: „A bioszén egy heterogén anyag, amelyet pirolízis útján állítanak elő folyamatosan kinyert biomasszából; elsősorban poliaromás szénhidrogéneket és hamut tartalmaz. Bioszén alkalmazása a széntartalom csökkenéséhez vezet, energia kinyerése céljából elégetni nem érdemes.” (EBC, 2012).

Aktív szenet elő lehet állítani bármilyen bioszénből, ilyenkor a pirolíziseshez egy aktiválási folyamatot is hozzákapcsolnak. A továbbiakban ezt aktivált bioszénnek nevezzük. Aktiválási folyamat során a növényi szenet magasabb hőmérsékleten savakkal, bázisokkal, fémekkel vagy 800°C-nál forróbb vízgőzzel kezelik, aminek következtében a növényi szenek fajlagos felülete akár 1000 m²/g fölé is növekedhet és az adszorpciós kapacitás is nagyobb lesz. Ahhoz, hogy az aktív szén széntartalmát maximálni, a hamutartalmát pedig csökkenteni lehessen, az aktív szenet általában savval mossák. Így például az E153 élelmiszeradalék (bioszén) engedélyezéséhez 95% széntartalmat írnak elő, ami csak ilyen savas utókezeléssel érhető el.

Az Európában piacon értékesített aktív szén túlnyomó részét laza környezetvédelmi követelmények és hiányos minőség-ellenőrzés mellett állítják elő. Kiindulási anyagként itt többnyire barnaszén használnak, az aktiválásnál használt nehézfémek (elsősorban cink) kritikus környezeti egyensúlyhoz vezetnek. Az Európában jelenleg aktív szénre érvényes minőségellenőrzések rendkívül hiányosak. Az EBC tanúsítvánnyal rendelkező bioszén esetétől eltérően más a helyzet olyan aktív szeneknél, amelyeket például ivóvíz szűréséhez használnak, eddig részletes leírások erre vonatkozóan nem találhatók, hanem csupán határértékeket adnak meg kiválasztott, vízzel extrahált nehézfémekre és a vízben oldódó részekre, amelyeknél a PAK értékek alacsonyabban (DIN EN 12903).

Általában az aktivált és a nem aktivált bioszén teljesen azonos adszorpciós tulajdonságokkal rendelkezik, ahol az aktivált növényi szemek hatékonyabbak és ennek megfelelően már kisebb mennyiségben is elérhető a kívánt hatás.

3. (Aktivált) bioszén működése a takarmányban

3.1. Adsorpció

Mielőtt növényi szenet vizsgáltak és alkalmaztak volna takarmányként a 2000-es évek elején, aktivált növényi szenet már régóta használtak állatgyógyszerként emésztési zavarok és mérgezések esetén. A faszén ugyancsak több évszázada ismert szer állatok (és emberek) sürgős kezelésére bizonyos mérgezések esetén (Decker és Corby, 1971).

A nagy adszorpciós kapacitás miatt a növényi szenet, illetve az aktív szenet többféle mérge ellen használják. A tudományos kísérletek tárgya itt elsősorban a mikotoxinok, növényi mérgek, rovarirtó szerek, valamint kórokozók mérgező anyagcseretermékei adszorpciója volt. Az ún. adszorpciós terápia, amelynél aktivált növényi szenet nem emészthető hordozóanyagként használják, az egyik legfontosabb módszer orálisan bevitt mérgek különféle egészségkárosító vagy akár halálos hatásainak megelőzésére (McKenzie, 1991; McLennan és Amos, 1989).

Toxikológiai szempontból a növényi szenek hatása a következő mechanizmusokon alapszik: adszorpció, együttes adszorpció, kompetitív hatás, kemoszorpció, adszorpció azt követő kémiai reakcióval és deszorpció (Gerlach és Schmidt, 2012). Természetesen itt az adszorpció időtől függő folyamatai is fontosak. Az állatok emésztőrendszerében a vizsgált mérgező anyagok eloszlását, biológiai transzformációját és kiválasztását szintén vizsgálni és osztályozni kell.

Ulf Schirrmann (1984) egyik 1984-ben megjelent „Aktív szén és annak hatása baktériumokra és mérgeanyagokra” c. disszertációjában leírja, hogy milyen hatással van az aktív szén baktériumokra és mérgeanyagokra az emésztőrendszerben:

- Proteinek, aminok és aminosavak adszorpciója
- Az emésztőrendszer enzimjeinek adszorpciója, valamint bakteriális exo-enzimek koncentrációja az aktív szénen
- Mobil, speciális kötési mechanizmuson keresztül rendelkezésre álló csírák adszorpciója kemotaxis útján
- A bioszén specifikus betelepülése gram-negatív csírákkal fokozott anyagcsere-működés miatt, ami egyrészt kevesebb reszorbeálódó endotoxin keletkezéséhez, másrészt viszont a mérgeanyagoknak a szénen történő gyorsabb adszorpciójához vezet.

Bioszén alkalmazásának egy további nagy előnye, hogy lehetőség nyílik „bélcsatornai dialízisre”. Ez azt jelenti, hogy a már ebszorbeált toxinok a szén segítségével eltávolíthatók a vérplazmából, s így a szén nagy adszorpciós képessége a belek kedvező áteresztőképességével együttes hatást biztosít (Schirrmann, 1984). Az adszorpció sebessége valószínűleg függ az aktív szén pórusnagyságától (Gerlach és Schmidt, 2012).

Susan Pond (1986) korábbi tanulmányában különböző mechanizmusokról tesz említést, amelyek alapján a bioszén képes a szervezetből a mérgező anyagokat eltávolítani. Először, a bioszén az enterohepatikus keringést (máj vérellátása) szakítja meg és megakadályozza, hogy az epe ne tudja felvenni az olyan vegyületeket, mint ösztrogén és progeszteron, digitoxin, szerves higany- és arzénvegyületek, valamint az indometacint se. Másodszor, bizonyos vegyületek, mint pl. a digoxin, amelyek aktívan működnek a bélben, kiürülnek. Harmadszor,

a petidin és más hasonló vegyületek adszorbeálódnak és passzív módon diffundálnak a bélbe. Negyedszer, a bioszén olyan vegyületeket képes felvenni, amelyek egy ún. koncentrációs gradiens mentén diffundálnak a bélvérzés és primer vizelet között.

3.2. Redoxpotenciál, elektronátadás és mikrobiális környezet

Ameddig az adszorpciós kapacitás a leggyakrabban vizsgált és legismertebb hatásmechanizmusa a bioszénnek, addig nemigen lehet jól magyarázni a megfigyelt jelenségeket, ha kizárólag erre a funkcióra korlátozzuk figyelmünket. Csak nemrég óta foglalkoznak a bioszén egyéb fontos funkcióival, mint a biológiailag aktív rendszerekben megfigyelhető elektromos-biokémiai kölcsönhatásokkal. Az 550°C-nál magasabb hőmérsékleten előállított növényi szenek nem csak jó elektromos vezetők (Mochidzuki és mások, 2003; Yu és mások, 2015), hanem kémiai és mikrobiális redox-reakcióban elektron-közvetítő (electron mediator) szerepük is van, tehát elektronokat tudnak felvenni és leadni (Husson, 2012; Joseph és mások, 2015a; Kluepfel és mások, 2014; Liu és mások, 2012; Van der Zee és Cervantes, 2009, Yu és mások, 2015). Növényi szenek elektromos vezetőképessége nem folyamatos elektronátadással magyarázható, mint mondjuk egy rézhuzal esetében, hanem szakaszos elektron-átugrásokról van szó (Kastening és mások, 1997), ami az elektronok közvetítésében jelent fontos szerepet.

Az emésztőrendszerben és különösen az anaerob bendőben a szerves anyagok mikrobiális lebomlásakor a baktériumok arra kapnak utasítást, hogy leadjanak elektronokat, amelyek szerves anyag bomlásakor főlegben vannak. Ez komplett redox-reakció keretében történik. Aminek során a molekulák vagy atomok elektronokat adnak le (donor), míg más molekulák vagy atomok elektronokat vesznek fel (akceptor). Ahhoz, hogy ezek az emésztési folyamatok létrejöhessenek, ezeknek a redox reakcióknak sorozatosan végbe kell menniük, mert csak így cserélődhetnek az elektronok, amelyek nem „lebeghetnek” szabadon az emésztőfolyadékban, hanem minden esetben atomokhoz, illetve molekulákhoz kötődnek és mindig csak egy atomról (kötési állapot) tudnak egy másikra átmenni.

Az elektronokat leadó és felvevő reakciók (redox reakciók) közvetlen csatolása egy ún. elektron-közvetítő (electron mediator) segítségével történhet, ahol az egyik helyen a kémiaileg reagáló molekula vagy atom elektronokat vesz fel, míg egy másik helyen egy másik molekula vagy atom leadja azokat. Számos ilyen elektron-közvetítő anyag létezik, ilyen pl. a tannin, a metilkék vagy kvinon, de különösen hatékony elektron-közvetítőnek számítanak a huminsav, a faecet és a bioszén (Bhatta és mások, 2012; Kluepfel és mások, 2014, Liu és mások, 2012; van der Zee és mások, 2003).

Kiegyensúlyozott állati táplálkozás esetén természetes, hogy nagyon sok elektronközvetítő anyagot tartalmaz a takarmány, mégsem mindig kielégítő az összetétel, ha intenzív, energiában gazdag táplálás a cél (Sophal és mások, 2013). Ha inert vagy más, nem mérgező elektron-közvetítőket (pl. bioszén, faecet vagy huminsav) adnak hozzá a takarmányhoz, nyilvánvalóan több redox reakció mehet végbe, ami valószínűleg az energia hasznosítását és így a táplálás hatékonyságát is elősegíti (Leng és mások, 2013a; Liu és mások, 2012).

Különböző állatok emésztőrendszerében csaknem minden takarmány mikroorganizmusok (lásd algák, archaea, ciliátok) által indított lebontó reakciókon megy keresztül. Ilyen esetben a mikrobiális sejtek gyakran működnek elektron-közvetítőként, mivel az intercelluláris vegyületek csak egy bizonyos mennyiségben tudnak elektronokat felvenni, a felesleges töltést

pedig kénytelenek leadni. Ezek a töltéelosztások és –közvetítések gyakran olyan biofilm rétegen keresztül történik, amellyel az emésztésre váró takarmány-részecskék bevonódnak. A bakteriális biofilmek nem éppen a legjobb elektromos vezetők, úgy hogy a mikrobiális redox-reakciók más, elektronokat közvetítő anyagokkal, mint pl. huminsavval vagy éppen bioszénrel optimalizálhatók. Lényegében az aktivált növényi szenek elektromos vezetőképessége 100-szor, sőt 1000-szer is nagyobb lehet, mint a bakteriális csoportoké (Liu és mások, 2012).

A nem aktivált növényi szenek vezetőképessége lényegesen alacsonyabb ugyan, mégis ki tudták mutatni (Chen és mások, 2014), hogy a bioszén elektronokat szállíthat bakteriális sejtek között (angolul ezt a jelenségre az „electron shuttling” kifejezést használják). A bioszén elektron-közvetítő képességének köszönhetően ugyanazon részecske egyik oldalán egy elektron leadására, míg egy másik helyen elektron felvételére kerül sor. A bioszén itt majdnem akkumulátorként működik, amelynél igény szerint a reakcióközpontok feltöltődnek vagy éppen kisülnek (Liu és mások, 2012). A bioszén tehát megkönnyíti az elektronátvitelt különböző mikrobiális fajták között (angolul az erre vonatkozó szakkifejezés: „direct interspecies electron transfer” (DIET)) vagy különböző fajtájú mikrobiális csoportok között (Chen és mások, 2014). Nagyon valószínű, hogy ezáltal a takarmányok biológiai lebomlásának hatékonysága javul és így az emésztés energiahatékonysága és a takarmány hasznosítási foka is nő. Ron A., Leng és mások (2012) azt feltételezték, hogy ha bioszénrel etetnek szarvasmarhákat, akkor a metán emissziója csökkenhet (lásd a 6. fejezetben később).

Ennek alapján az is valószínű, hogy az emésztőrendszerben a bioszén közvetlenül redox-kerékként funkcionál (redox wheel) és FeIII – FeII típusú kerékhez hasonlóan elektron-akceptorként és elektron-donorként viselkedik (Davidson és mások, 2003; Joseph és mások, 2015a; Quin és mások, 2015). A tulajdonképpeni poli-aromás vázon kívül a bioszén illékony és/vagy kimosható szerves szénvegyületeket is tartalmaz (VOC, DOC, Graber és mások, 2014; Spokas és mások, 2011), amelyek általában erős elektron-akceptorok, vagy mint a kvinon esetében, redox-kerékként működhetnek (van der Zee és mások, 2003). Yu és mások (2015) redox-akzív funkcionális csoportoknak nevezték (RAM). Feltételezhető, hogy az emésztőrendszerben egy bioszéndarabon sokféle RAM csoport vagy redox-kerék, illetve egyidejűleg különböző mikroorganizmusok kölcsönhatása figyelhető meg. A bioszén felülete a közvetlen környezetben kiegyenlítheti a redoxpotenciált és különböző mikroorganizmusoknál stabil mikro-élőhelyet nyújthat különböző redox-pH környezet mellett (Yu és mások, 2015). Ráadásul a bioszén más, anyagcsere folytán természetesen keletkező anyagokat, így pl. tannint, fenolt vagy tionint képes adszorbeálni, amelyek elektron-akceptorként működnek és így esetleg elektronok kiegyenlítése következhet be, miközben az emésztés még tovább javul. A bioszén adszorpció útján tehát nem csak mérgező anyagokat semlegesít, hanem a redoxpotenciált is befolyásolja és javítja a saját „akkumulátor-teljesítményét”.

Akárcsak a huminsavnál és a pirolízisnél keletkező faecetnél, úgy a bioszén is redox-pufferként funkcionál (Husson, 2012; Kluepfel és mások, 2014), ami többek között azt is magyarázza, miért érünk el egészen hasonló hatásokat huminsavval, faecettel és bioszénrel adalékolt takarmánnyal, és miérterősödnek fel egyes hatások, ha növényi szenet felváltva, vegyesen adagolnak (Gerlach és mások, 2014b; Watarai és mások, 2008).

A bioszén a folyékony adalékokkal ellentétben stabil, megnövelt felületű vázat ad, így a szerves folyadékok a legkisebb térben a lehet legnagyobb felületet érhetik el (organic coating), elsősorban a makro-pórus tartományban alakulnak ki mikrobiális rétegek. A redox-

puffer hatásnak köszönhetően az emésztőrendszerben a redoxpotenciál baktériumokra különösen káros ingadozások mérséklődnek, ami ismét egyes mikroorganizmusok aktivitását segíti, amelyek az adott tartományokban optimális mennyiségben fordulhatnak elő (Cord-Ruwisch és mások, 1988; Kalachniuk és mások, 1978). A legkisebb bioszénrészecskék közelében mikrobiális kritikus pontok (hotspot) és stabilabb redox-reakció központok alakulhatnak ki. Ráadásul az is valószínű, hogy a redoxpotenciál kiegyenlítése és az elektron-közvetítés különböző mikrobafélék között szelektív, környezetet alakító kritériumnak tekinthető, amely funkcionális csoportok képződését vagy bizonyos típus-spektrumok kialakulását gyorsíthatja (Kalachniuk és mások, 1978). Talán ez a magyarázata annak, hogy miért foglalkozik egyre többet a szakirodalom a tejsavbaktériumok számának növekedésével és a gram-negatív baktériumok számának csökkenésével (Choi és mások, 2009; Naka és mások, 2001).

Az emésztésre takarmányadalékok által gyakorolt elektrokémiai hatásokkal a tudomány csak mostanában kezdett foglalkozni, de az eddig szerzett elektrokémiai ismeretek alapján (Gregory és mások, 2004; Konsolakis és mások, 2015; Nevin és mások, 2010) biztosan feltételezhető, hogy a bioszén közvetlen elektrokémiai hatással van az emésztési folyamatokra, és hogy ez az egyik oka, ha nem a fő oka a különböző típusú növényi szenek különböző hatásainak. Az eredetileg felhasznált biomasszától, a pirolízis hőmérsékletétől és a pirolízis egyéb feltételeitől függően egy adott bioszén elektromos vezetőképessége, redoxpotenciálja, elektron-kiegyenlítése és elektron-átadása jelentős mértékben változhat (Yu és mások, 2015). Minél magasabb a hőmérséklet és minél kisebb a kondenzálódott rész, annál jobb a vezetőképesség és az elektron-kiegyenlítés (Joseph és mások, 2015a), ahol az ásványianyag-tartalomnak is döntő szerepe van. Ezért a jövőben várható alkalmazási lehetőségek igencsak korlátozottak, amennyiben a törvényhozók csak a csekély hamutartalmú növényi szenet merik ajánlani.

A következő fejezetben leírjuk, hogyan funkcionálhat a bioszén káros anyagok adszorbeneként. Az utána következő fejezet azt vizsgálja, hogy javítható-e különböző állatok teljesítőképessége és egészsége, ha a takarmányhoz rendszeresen kevernek hozzá növényi szenet.

4. Káros anyagok adszorpciója

4.1. Mikotoxinok adszorpciója

Az állati takarmány mikotoxin-terhelése világszerte súlyos probléma. Mézes és mások (201) véleménye szerint a világ takarmánytermelésének 25%-a biztosan mikotoxinnal szennyezett. Ezek a toxinok főleg penészgombától származnak, amelyek keletkezése a friss és a raktározott takarmányra is jellemző, különösen nedves klíma kedvező és nehéz megakadályozni ezek elszaporodását. Mikotoxinnal szennyezett takarmány a haszonállatok megbetegedését okozhatják. Az állatok védelmére legtöbbször adszorbeáló szert adagolnak a takarmányhoz, hogy a mikotoxinokat minél hamarabb lekössék. A gyakran adagolt alumínium-szilikátok mellett aktív szenet és speciális polimert is használnak (Huwig és mások, 2001).

Leginkább elterjedt mikotoxin az aflatoxin, talán éppen ezért tárgyalják a szakirodalomban modellként, amikor a bioszén adszorpciós viselkedését vizsgálják. Bioszén alkalmazásával a toxin kémiai lekötését kívánják elősegíteni (kompleképzés) aminek következtében a mérgező anyag felvétele az emésztőrendszerben, illetve a toxin bejutása a vérbe és tejbe

viasszaszorítható (Galvano és mások, 1996b). Galvano és munkatársai (1996b) 2% aktív szén hozzáadásakor azt tapasztalták, hogy aflatoxinnal szennyezett takarmányban az aflatoxin-koncentráció a takarmányban 74%-ig, tejben pedig 45%-ig csökkent. Különböző aktív szenek nem szisztematikus összehasonlítása azt mutatta, hogy az adszorpció hatékonysága tekintetében igen nagy különbségek adódtak a különböző minőségű növényi szenek között.

Diaz és mások (2003) egy in vitro kísérlet során kimutatták, hogy négy különböző aktív szén 99% aflatoxin B anyagot képes adszorbeálni 0,5%-os aflatoxin B oldatból. Diaz egy évvel később in vivo kísérlet során 0,25% aktív szenet adott hozzá aflatoxin B anyaggal szennyezett takarmányhoz, amivel tejelő teheneket etettek, és ő nem észlelte az aflatoxin B mennyiségének jelentősebb csökkenését a tejben (Diaz és mások, 2004). Az in-vivo kísérletnél csak nem kielégítően definiálható aktív szenet adagoltak a teljes takarmányhoz képest 0,25% koncentrációban, míg a legtöbb in-vivo kísérletnél 1-3% arányban adtak hozzá növényi szenet.

Galvano (1996b) ugyancsak in-vivo körülmények között vizsgálta különböző aktív szenek adszorpciós kapacitását és mikotoxin ochratoxin A (OA) vagy deoxi-nivalenol (DON) esetében is azt állapította meg, hogy aktív szénnel az OA 0,80-99,86%-át, míg a DON 1,83-98,93%-át lehet adszorbeálni, amivel sikerült bizonyítani, hogy mennyire fontos a bioszén tulajdonságainak módszeres leírása és osztályozása, valamint mennyire fontos ismerni a bioszén hatását, amikor állati takarmányhoz használják. Galvano és munkatársai arra következtettek, hogy sem az aktív szén jellemzésére szolgáló klasszikus jód-szám, sem a fajlagos BET felület nem alkalmazható adszorpciós kapacitás tekintetében erre a mikotoxinra, a metilénkék index azonban már megbízhatóbb eredményt adott. Galvano és munkatársai vizsgálták bioszén adagolása mellett az adszorpcióra gyakorolt hosszú távú hatásokat létfontosságú táplálékok esetében.

Di Natale és mások (2009) különböző természetes és szintetikus takarmányadalékokat hasonlítottak össze tejelő teheneknél és úgy találták, hogy a tejben az aflatoxin-tartalom csökkent. Az aktivált bioszén adta a legnagyobb mértékű csökkenést (>90% aflatoxinra nézve, ami 1 kg takarmányra számítva már csak 0,5 g aflatoxin előfordulását jelenti). A tej analitikai vizsgálatai azt mutatták, hogy a bioszén enyhe, de kifejezetten pozitív hatással van szerves savak, laktóz, kloridok összetételére, a protein-tartalomra és a pH értékre. Di Natale és társszerzői nagy adszorpciós kapacitásról számolnak be nagy fajlagos felület keletkezése közben, ha kedvező mikropórus-eloszlású növényi szenet használtak és szerintük az aflatoxin nagy affinitást mutatott arra, hogy adszorbeálódjon a bioszén poliaromás felületén. A növényi szenek összehasonlításakor az ugyancsak elterjedten alkalmazott bentonit kis mértékben csökkentette az adszorpciós kapacitást, ugyanakkor azonban a tejre vonatkozó analitikai értékeket ez kevésbé befolyásolta (Di Natale és mások, 2009).

Bueno és mások (2005) aktivált növényi szenek különböző koncentrációjú adagolása (0,1, 0,25, 0,5, 1%) mellett vizsgálták az adszorpciós kapacitást és ZEA (cearalenon) esetén veszélyes ösztrogén anyagcserét figyeltek meg fusarium fajtájú penészgomba jelenlétében, aminek megakadályozására addig még nem ismertek megfelelő szert. In-vitro kísérlet során mind a négyféle adagolásnál azt tapasztalták, hogy a bioszén az összes ZEA anyagot megköti. In-vivo kísérlet során, ahol különböző mikotoxinok és sok más szerves molekula „állnak versenyben” azért, hogy a bioszén szabad adszorpciós felülete meglegyen és az egyes molekuláknál ne lehessen annyira nagy adszorpciós sebességeket elérni. Így az in-vitro kísérletek a mikotoxinok és növényi szenek erős affinitását igazolták, ami valószínűvé teszi, hogy az állatok emésztőrendszerében nagyon sokféle mikotoxin fordulhat elő.

Holsteini tejelő teheneknél Peter Erickson irányítása mellett folytatott kísérletsorozatban (Erickson és mások, 2011) azt kutatták, hogy penészgombával szennyezett takarmánysiló negatív hatása mérsékelhető-e, ha aktivált növényi szenet adagolnak (0,20 vagy 40g a napi adaghoz). Azok a tehenek, amelyek a szennyezett silóból kapták a takarmányt magasabb takarmány-felvételt és NDF (neutrális detergens rost) jobb emészthetőségét mutatták, több félcellulózhoz és nyers proteinhez jutottak hozzá, a tej zsírtartalma növekedett és jobb volt az általános egészségi állapotuk. Ha azonos mennyiségű növényi szenet adagoltak nem szennyezett minőségi silótakarmányhoz, akkor az emésztési viselkedésben, a tejminőségben vagy az állatokra gyakorolt hatásokban nem lehetett észlelni változást. A szerzők arra a megállapításra jutottak, hogy jó minőségű takarmány esetén bioszén hozzáadására nincs is szükség, de ha mégis adnak hozzá, az sem árt.

Míg Piva és mások (2005) 1% koncentrációban adagoltak növényi szenet a malacok eledeleéhez és nem tudták az állatokat megvédeni gombás fertőzések ellen, addig Nageswara és Chopra (2001) 1% növényi szenet adagolt tejelő kecskének és úgy találták, hogy a tejben az aflatoxin B1 (100 ppb) tartalom (aflatoxin M1) 76%-kal csökkent. Az aktivált bioszén hatékonysága lényegesen nagyobb volt, mint a bentonité (65,2%). Egyik adszorbens sem befolyásolta a kecsketej összetételét, sem pedig a tejtermelés átlagos hozamát.

Míg a sertések emésztőfolyadékával folytatott in-vitro kísérletek nagy adszorpciós sebességeket adtak fusarium toxinra, mint pl. deoxinivalenolra (67%) és ceralenonra (100%), valamint deoxinivalenolra (61%) és nivalenolra (21%), amikor aktivált növényi szenet adagoltak (Avantaggiato és mások, 2005; Döll és mások, 2007), addig Jarczyk és mások (2008) kg-onként 10% aktivált bioszén (TM) folytatott in-vivo kísérleteknél nem észlelhettek jelentős hatásokat. Sem a vérszérumban, sem a vesében, a májban vagy az izomszövetben nem értek el csökkenést az ochratoxin koncentrációban, amikor nem minősített, ipari minőségű növényi szenet használtak (Jarczyk és mások, 2008). Ugyanakkor azonban káros hatást sem tapasztaltak.

Neuvonen és Olkkola (1988) az „Oral Activated Charcoal in the Treatment of Intoxications” („Orálisan aktivált faszén mérgezések kezelésében”) c. munkájukban kijelentették, hogy in-vitro kísérletek csak nehezen értelmezhetőek át a klinikai gyakorlatra: „Embereknél az aktivált növényi szenek megelőző hatását konkrét pácienseken vizsgálták és az eredményeket értékelték.” Ezt a kijelentést állatorvosi szempontból is csak helyeselni lehet. Amint az már régóta ismeretes, az emésztőrendszeri tartalom igenis befolyásolja bizonyos mérgezőanyagok adszorpcióját, ha növényi szenet is adnak hozzá (Andersen, 1948).

Baromfinál a mikotoxinok súlyos májkárosodást okoznak. Emiatt már az 1980-as években próbálta A. Ademoyero és R. Dalvi (1983) meghatározni, hogy milyen hatással van aktivált bioszénnek takarmányhoz való adagolása (naponta a testsúly 0,02%-ának megfelelő mennyiségben). Más cikkekből a szerzők azt írták, hogy a meghatározó májenzimek aktivitását hozzáadagolt bioszénnek jelentős mértékben sikerült növelni (Ademoyero és Dalvi, 1983a; Dalvi és Ademoyero, 1984). Míg az aflatoxin (10 ppm) a takarmány-felvételt és a súlygyarapodást hizlalt tyúkknál csökkentette, addig 0,1% (súly-%) bioszén adagolása után a trend fordítottá vált (Dalvi és McGowan, 1984).

Két tanulmányt (1990 és 2006) összehasonlítva, amelyek aktivált bioszén hatását vizsgálták timföld termék esetén (hidratált nátrium- kalcium- alumínium-szilikát), azt tapasztalták, hogy a timföld a máj- és vér-eredményeket lényegesen javította az aflatoxin B anyaggal (0, 40, 80

µg AFB1 kg takarmányra számítva) szennyezett takarmánynál, amit hizlalt tyúkoknak adtak, de nem ez történt 0,25% ill. 0,5% aktivált bioszén hozzáadásakor (Denli és Okan, 2007; Kubena és mások, 1990). Ennek ellent mondanak Edrington és mások (1996), akik úgy találták, hogy az aktivált bioszén az aflatoxin B koncentrációját hizlalt tyúkok ürülékében csökkentette, de csak akkor, ha a növényi szenet a takarmánytól elkülönítve használták. Toth és Dou (2015) egyik cikkükben további ellentmondásra mutatnak rá, mivel szerintük a bioszénrel kevert takarmány a mikotoxin mérgezés hatásait enyhíti is, meg nem is. A legtöbb korábbi munkából kitűnik, hogy többnyire csak a kereskedelmi forgalomban kapható aktív szeneket használták anélkül, hogy előtte leírták és osztályozták volna. Egy ilyen eljárás már túlmutat az adott szakterületen, ezen a téren akadémiai szintű kutatás igen ritka és a kapott eredmények módszeres osztályozása szintén szerény keretek között történik csak. Ráadásul a szerzők többségének az a véleménye, hogy az adszorbens takarmányadalékok (pl. bioszén) in-vitro vizsgálata csak komoly fenntartással értelmezhető az in-vivo teszteredményekre. A szisztematikus rendszerezéshez további komoly kutatómunkára van szükség.

4.2. Kórokozók (baktériumok, paraziták, vírusok) adszorpciója és azok anyagcsere-termékei

Aktivált és nem aktivált faszén alkalmazása az állat egészségi állapotának javítására már a huszadik század elején elterjedt módszer volt, a német állatorvosok is javasolták. 1914 óta jelennek meg cikkek a faszén emésztőrendszerben levő toxinokra gyakorolt adszorbeáló hatására vonatkozóan (Skutetzky és Starkenstein, 1914), az első ilyen jellegű kísérletekre bakteriális toxinoknál (pl. clostridium tetani és clostridium botulinum) vagy diftéria toxin esetében került sor (Jacoby, 1919). Különösen L. Wiechowski végzett itt úttörő munkát és ő hívta fel a szakma figyelmét arra, hogy mennyire fontos a szén minősége és mennyire különböző hatás érhető el különböző szenek használatával (Wiechowski, 1914). Mangold (1936) részletesen leírta, hogy milyen hatással van a faszén az állati takarmányozásra és végül erre következett: „A faszén megelőző és terápiás hatása fertőzésekkel szemben vagy a táplálkozással összefüggő hasmenéses tüneteket figyelembe véve mindenképpen javasolható megelőző szerként fiatal állatok esetében.” Volkmann (1935) leírása szerint bizonyos váladékképződés (nyirkosság spóráktól, parazitáktól) hatásosan csökkenthető faszén hozzáadásával, ha a háziállatok gombás fertőzésnek vannak kitéve.

Gerlach és mások (2014) ki tudták mutatni, hogy napi 400 g nem aktivált bioszén adagolása négy héten át szarvasmarhánál az antitest koncentráció a Botox által termelt clostridium botulinum kórokozóval szemben a vérben jelentősen csökkent a kiindulási értékhez képest. Abból következett erre, hogy az állatok emésztőrendszerében a neurotoxin koncentrációt a bioszénrel sikerült csökkenteni. A csupán napi 200 g bioszén takarmányhoz keverésével ugyanazt az eredményt érték el. Ha viszont ezt a szerény adagot még 500 ml savanyú káposztával keverték, hasonló mértékben csökkent a C. botulinum antitestek mennyisége a vérben.

Knutson és mások (2006) juhoknak adagolták, amelyek escherichia coli és salmonella typhimurium fertőzést kaptak. Állatonként és naponta 77 g aktivált növényi szenet adagoltak. Jóllehet Nake és mások (2001) in-vitro kísérletekben bemutatták, hogy E-coli O157:H7 (EHEC) sejszámot sikerült 800 alá visszaszorítani, Knutson és munkatársai viszont in-vivo kísérlet során sem E. coli, sem salmonella typhomurium baktériumot nem tudtak megkötni juhok esetén. A szerzők arra gyanakodtak, hogy a bioszén kötési helyén vagy az egyszerre

jelenlevő anyagok vagy az emésztőrendszerben levő baktériumok foglalják el, de az is lehet, hogy a fertőzés és a bioszén adagolása közötti időtartam túl hosszú volt.

Schirrmann (1984) már korábban rámutatott arra, hogy a bioszén nyilvánvalóan jobban kedvez a gram-negatív baktériumok (pl. *E. coli*) számára, ha erősebb az anyagcsere-aktivitás (lásd még a 8. fejezetben: a növényi szenek mellékhatásai).

A marhatrágya gyakran tartalmaz *E. coli* O157:H7 (EHEC) baktériumokat, amelyek a vizet és a talajt szennyezik és így az emberi táplálékláncba is beszivároghatnak (Diez-Gonzalez és mások, 1998). A növényi eredetű szénnek nem csupán arra van kapacitása, hogy *E. coli* és más mérgező anyagcsere-termékeket adszorbeáljanak, hanem trágyalé hozzáadásával a vízben és talajban összegyűlt baktériumok terjedését is gátolja. Gurtler és mások (2014) különböző növényi szenek talajban levő *E. coli* O157:H7 (EHEC) inaktiválására gyakorolt hatását vizsgálták. Minden olyan növényi szer, amit gyors vagy lassú pirolízis útján vesszőszálakból, lótrágyából vagy keményfából állítottak elő, képes volt az EHEC koncentráció jelentős mértékű csökkentésére, miközben a gyors pirolízissel tölgyfából nyert bioszén adta a legjobb eredményt szennyezett talajkeverékben és EHEC 4 hét múlva már nem volt fellelhető (Gurtler és mások, 2014).

Abit és mások (2012) azt vizsgálták, hogy milyen eloszlást mutat az *E. coli* O157:H7 és *salmonella enterica* vízzel telített talajrétegekben, amely finom homokból és homokos iszaptól állnak, ha a talajrétegeket 2% bioszénrel keverték; a növényi szenek ismét különböző biomasszákból és különböző hőmérsékleteken készültek. Míg a 350°C-on előállított bioszén az említett két baktérium megkötését nem javította, addig a 750°C-on készült bioszén jelentős mértékben meg tudta akadályozni a baktériumok továbbterjedését. Egy későbbi cikkben a szerzők jelentős különbséget észleltek a vizsgált két baktériumtörzs mozgékonyaságát illetően és feltételezték, hogy a baktériumok felületi tulajdonságai is fontos szerepet játszanak abban, hogy a baktériumok a bioszénhez kötődjenek (Abit és mások, 2014).

Mivel a marhacsordán belül az *E. coli* fertőzéseket valószínűleg az etető vályún keresztül terjed, ezért a bioszén megelőző hatását közelebbről érdemes megvizsgálni.

Egy japán cikkben (Watarai és Tana, 2005) a takarmánynak 1-1,5% bambusz-szénrel való keverésével az *E. coli* és *salmonella* baktériumok koncentrációja könnyen, de hatásosan csökkenthető. Egy szabadalmaztatott faszén-, faecet-termék (nekka-Rich – Besnier, 2014) segítségével, amelynek összetétele nem teljesen pontosan definiálható, igen nagy mértékben csökkentette a *salmonella* koncentrációt tyúkok ürülékében. Az említett cikkben azt is kijelentették, hogy a faszén-, faecet-termék a mérgező gram-negatív *salmonella enterica* baktériumok számát is csökkentette, de a bélflórában található nem mérgező, gram-pozitív *enterococcus faecium* baktériumokra ez nem igaz (Watarai és Tana, 2005).

0,3% bambusz-eredetű bioszénrel sertéseknél sikerült a fekáliából származó gram-negatív coliform baktériumok és a gram-negatív *salmonella* baktériumok számát 20-1100-szorosan csökkenteni a kontroll mintákhoz képest, amelyek nem tartalmaztak növényi szenet (Choi és mások, 2009). A bioszénnek az említett baktériumfajtákra gyakorolt hatása ugyanolyan nagyságrendű volt, mint az antibiotikumoké. Az antibiotikumos kezeléshez viszonyítva a bioszénrel kevert takarmány 190-szer magasabb számban biztosítja a hasznos bélbaktériumokat és 48-szoros mértékben a tejsav-baktériumokat (Choi és mások, 2009).

Clark és mások (1998) az in-vitro kísérletek során azt tapasztalták, hogy a növényi szenek és a timföld termékek egyaránt hatásosan kötik meg a szarvasmarhák rota- és koronavírusait (79 – 99,99%). Mivel a vírus-részecskék átmérője nagyobb, mint a bioszén pórusátmérője, ezért a szerzők feltételezték, hogy a vírusos felületi proteinek bioszénhez való kötődése valóban végbement.

Az in-vitro és in-vivo kísérletek borjúknál azt mutatták, hogy a bioszén, különösen faecettel kombinálva, a parazita cryptosporidium parvum által okozott fertőzéseket, illetve a hasmenéseket egy napon belül meg tudta állítani.

Az ürülékben levő oozyst baktériumok száma már egy nap után csökkenthető és 5 nap múlva már nyomokban sem található a borjúk ürülékében. Hasonló eredményeket kaptak Paraud és mások (2011), amikor kereskedelmi forgalomban kapható bioszén / faecet összetételű terméket használtak fiatal kecskéknél (Obionekk, Obione, Charentay, Franciaország). A naponta kétszer vagy háromszor adagolt keverék enyhítette a hasmenés klinikai tüneteit és a baktériumok száma az ürülékben szintén csökkent. A vizsgálatok ideje alatt a fiatal kecskék halandósági aránya 20%, a kezelt kontroll-csoportban csak 6,7% volt.

Van és mások (2006a) megfigyelték, hogy kecskéknél a bioszénrel kevert takarmány a castodes bélgiliszta előfordulását és a Coccidia-oozyst baktériumok számát csökkentette.

4.3. Méreganyagok adszorpciója

Az 1980-as években számos humán-orvosi vizsgálatot végeztek aktív szén mérgezések ellen való alkalmazásával kapcsolatban, de ezekből sokat lehetett következtetni az állati takarmányokra gyakorolt hatásokra is (Erb és mások, 1989). Aktív szenek adszorbeáló hatása számos gyógyszer és toxin emésztőrendszeri felvétele megakadályozására szolgálhat (neuvonen és Olkkola, 1988), ahol a bioszénrel kezelés általában hatásosabb, mint a gyomortartalom kipumpálása. Az aktivált bioszén sorozatos bevitele javítja a toxikológiailag igen hatásos anyagok (mint pl. aszpirin, Carbamazepin, Dapson, Dextropropoxyphen, szívre ható digoxin és Digitoxin, Meproamat – napjainkban használatos nyugtató, a benzodiazepin előfutára), Phenobarbiton (Fenobarbital is), Phenytoin (három legutóbbi anyag nyugtató és altató alkotórésze, epilepszia elleni szer) és Teophyllin (egyféle Metilxantin (aszma elleni szerek csoportjából) hatásának megszüntetését. Azonkívül gyorsítja többféle ipari és környezetszennyező mérgező távozását is. Akut mérgezés esetén felnőtteknél 50-100 g aktivált bioszén, gyermekeknél kb. 1 g / testsúly-kg-onként ajánlott (Neuvonen és Olkkola, 1988). A szerzők arra is felhívják a figyelmet, hogy tévedésből adagolásnál sincsenek komolyabb mellékhatások. A finn orvosok javasolják a bioszén sorozatos alkalmazását olyan kockázat megelőzésére, hogy az emésztőrendszeren áthaladva a toxin ne képezhessen a szénrel olyan komplexet, amely visszakerülhet a szervezetbe deszorpció útján (Olkkola és Neuvonen, 1989). Általánosan igaz, hogy a növényi szenek sorozatos adagolás fokozza a hatékonyságot (Crome és mások, 1977; Dawling és mások, 1978).

4.4. Rovarirtó szerek és környezetkárosító mérgek

Növényi szenek kiváló adszorpciós tulajdonságai számos rovarirtó szernél és gyomirtó szerbél is jól érvényesülnek (Graber és mások, 2012; Mesa és Spokas, 2010; Wang és mások, 2010), amelyek nyomai gyakran megtalálhatók az állati takarmányban (Shehata és mások,

2012), ami még fontosabb érv a bioszén használata mellett. Különös jelentősége van itt a Glyphosat nevű gyomirtó szer adszorpciójának, mivel ez a Dél-Amerikában leggyakrabban importált takarmány egyik jellemző alkotórésze; ez a szer génmódosított kukoricát, repcét és szóját is tartalmaz. További oka a vizsgálatnak, hogy Németországban 2014 májusa óta tilos a használata, noha egyes országokban még engedélyezik a gabona betakarítása előtti időszakban (Brändli és Reinacher, 2012). A magnézium és cink „nem mozdíthatósága” mellett a Glyphosat termék erős antibiotikus hatással van (amerikai szabadalom 7,771,736, EP0001017636, megadva 2010-ben) és erős a gyanú, hogy krónikus botulizmust okozhat vagy segíthet elő (Gerlach és Schmidt, 2012; Shehata és mások, 2012). Amint arra Herath és mások (2016) is rámutattak, az aktivált növényi szenek, amelyeket 700°C-nál magasabb hőmérsékleten állították elő, nagyon jó adszorpciós tulajdonságokat mutatnak a Glyphosat számára savas közegben. pH = 4 mellett a vízben oldott Glyphosat 82%-át lehet adszorbeálni bioszénrel.

Gerlach és mások (2014a) összesen 380 tejlő tehénél vizsgálták, hogyan tudja minimumra csökkenteni a bioszénrel kevert takarmány a takarmánnyal együtt felvett Glyphosat gyomirtó szer káros hatását. A szerzők igazolták, hogy a huminsavak (120g/nap) és a napi adagolása 200g bioszén és 500g savanyú káposzta keverékének 4 héten át a Glyphosat koncentrációját jelentősen csökkenti a vizeleten keresztül. A huminsavval és bioszénrel adagolt takarmány segítségével kedvezően alakul az enzimaktivitás és a véreredmény. Általánosan javul az állat egészségi állapota és immunreakciója, valamint kevesebb antitest fordul elő clostridium botulinum elleni kezelés után. Bioszénrel lehetőség van bizonyos gyomirtó szerekkel szennyezett takarmányok kezelésére és a gazdák meg tudnak felelni jobban a piaci igényeknek, mert nem árulnak és használnak szennyezett takarmányt.

Gyomirtó szerek adszorpciójára alkalmas bioszén legelső vizsgálataira még az 1970-es években került sor (Humphreys és Ironside, 1989). Szerves foszfort tartalmazó rovarirtó szerek birkáknál gyomorhurutot okoztak, de 50g aktivált bioszénrel (1 kg takarmányra számítva) ez a hatás mérsékelhető (Smalley és mások, 1971). Wilson és Cook (1970) arról számolt be, hogy aktív bioszénrel eredményesen adszorbeálhatók gyomirtó szerek a szarvasmarhák, juhok és kecskék emésztőrendszerében és a gyomirtó szerek a megfelelő szerveken át kiválaszthatók. Hasonló kísérleteket végeztek baromfinál, de tojás és szövetanyag maradványértékei tekintetében nem észleltek jelentős hatást (Foster és mások, 1972). Dieldrin termékkel szennyezett takarmányhoz növényi szenet adagolva sertéseknél sikerült jelentősen csökkenteni a Dieldrin koncentrációt az állatok zsírjában (Dobson és mások, 1971). Fries és mások (1970) tizennégy napon át adagoltak 1 kg aktivált növényi szenet marhánként és naponta, de nem észlelték a Dieldrin, DDD és DDT koncentrációjának csökkenését a tejszírszárban. Ezzel szemben Wilson és mások azt tapasztalták, hogy Dieldrin termékkel és DDT-vel szennyezett takarmány bioszénrel való összekeverése után (900g állatonként és naponta) a Dieldrin felvétele 43%-kal, a DDT felvétele 24%-kal csökkent, de nem úgy, mint amikor a szennyezett takarmányt és a növényi szenet elkülönítve adagolták. Természetesen Dieldrin és DDT felvétele már a nyálkahártyán keresztül is megtörténik, nem csak az emésztőrendszerben. Aktivált növényi szenek in-vitro kísérletnél igen jó adszorpciós tulajdonságokat mutattak az EU-ban 2007 óta betiltott, de az USA-ban és más országokban még engedélyezett Paraquat gyomirtó szernél (Gaudreault és mások, 1985; Okonek és mások, 1982).

Mivel a zsírban oldódó szerves klórvegyületek (pl. dibenzo-p-dioxin – PCDD, dibenzofurán – PCDF és dioxinhoz hasonló PCB vegyületek) károsak a környezetre, így az állattenyésztésben is veszélyt jelentenek, vagyis állatok és emberek zsírszövetében is feldúsulhatnak.

Különösen Japánban ismerték fel korán az aktivált növényi szenek vizsgálatait során, hogy ezeknek az anyagoknak az adszorpciója bioszénrel megoldható (Kamimura és mások, 2009; Takekoshi és mások, 2005; Takenaka és mások, 1991; Yoshimura és mások, 1986). Minden kísérlet alkalmával tapasztalható volt a szerves klórvegyületek erős affinitása aktivált bioszénrel szemben (Iwakiri és mások, 2007). Fujita és mások (2012) átfogó kísérleteket folytattak 24 tojós tyúkkal, ahol a felhasznált takarmány a fent említett szerves klórvegyületeket tartalmazta és 0,5% bioszénrel vagy anélkül etették az állatokat 30 héten keresztül. A továbbiakban ugyanezek a takarmányok képviseltek egy kontroll csoportot szerves klórvegyületek nélkül, ugyancsak bioszénrel és anélkül. Míg a növényi szenek adagolása megfigyelés szerint nem okozhattak negatív mellékhatásokat (lásd bővebben 8. fejezetben: Növényi szenek mellékhatásai), addig a szerves klórvegyületek az izmokban, hasi zsírszövetekben és a tojásokban jelentős mértékben csökkenthetők bioszén adagolásával. A szerves klórvegyületek szerkezetétől és aromás jellegétől függően a PCDD/PCDF, non-orto-PCB és mono-orto-PCB koncentrációja a szövetekben és tojásban több mint 90%-kal, 80%-kal, illetve 50%-kal csökkenthető (Fujita és mások, 2012). A különböző szerves klórvegyületek eltérő erősséggel kötődnek a bioszénhez, ezt már megfigyelték korábbi kutatók is, akik a szennyezett halolaj viselkedését vizsgálták (Kawashima és mások, 2009). Általánosan igaz: minél magasabb fokú az aromás jelleg az adszorbens aromás vegyületnél, annál erősebb az affinitása bioszénrel szemben és ennek megfelelően az adszorpciós képesség is nagyobb; ugyanez vonatkozik PCDD és PCB vagy PAK vegyületekre is.

Növényi szenek rendszeres felvétele Olkkola és Neuvonen (1989) szerint elősegíti bizonyos ipari és környezetkárosító mérgezőanyagok (mint pl. dioxin, PCB és néhány nehézfém, beleértve azok radioaktív izotópjait is).

4.5. Növényi toxinok méregtelenítése

Növényi szenek rendszeres bevételének további haszna a szekunder növényi tartalmi anyagok (tannin, amely sok takarmányban előfordul) negatív hatásainak enyhítése (Struhsaker és mások, 1977). A tanninok komplex vegyületek és rendkívül sokfélék lehetnek, részben hasznos, részben viszont káros a visszavásárló számára. A tanninok hajlamosak proteint termelni a bendőben, ami pozitív hatással lehet a súlygyarapodásra, mivel a tanninhoz kötődő protein így bejuthat a vastagbélbe, ahol az állat a tápanyagot hasznosítani tudja. Sokszor a tannin proteinben gazdag takarmányt biztosít, tartalmaz hüvelyeseket is, amiket az állat nem annyira szeret, és a súlygyarapodás visszaesik (Naumann és mások, 2013). Több kutató is vizsgálta, hogy a bioszénrel kevert takarmány hogyan változtatja meg a tannin hatását. Van és mások (2006) úgy találták, hogy kecskéknél 50-100g bambusz-eredetű bioszén hozzáadásakor (kg-onként, csersavban gazdag akáclevél-étrend, azonos mennyiségűnél a napi felvétel 44-ről 53 g-ra emelkedett). A szerzők megállapították, hogy a nyers protein emésztése és a nitrogén-átalakítás lényegesen javult. Nyilvánvalóan volt egy optimális adag: míg 50 és 100g bambusz-eredetű bioszén hasonló súlygyarapodást segített elő kecskénél, addig a 150 g bioszénrel kevert, azonos mennyiségű takarmány viszont nem hozott javulást a kontroll csoporthoz képest. Stuhsaker és mások (1997) azt tapasztalták, hogy Zanzibár faszén-fogyasztása (red colobus majom) csersavban gazdag indiai mandula- és mangó-levél adalékokkal növekedett. Banner és mások (2000) úgy találták, hogy a 10-25 g aktivált növényi szenet tartalmazó keveréket (naponta és birkánként) még rozssal is dúsították, ami a csersavban és terpénben gazdag zsályacserje felvételét is növelte. Hasonló eredményeket kaptak Rogosic és mások (2006, 2009), miközben Villalba és mások (2002) nem figyelhetek meg birkáknál olyat, hogy szokásosnál több cserjét fogyasztottak volna.

Télen, amikor alig áll rendelkezésre friss legelő, a birkák megeszik a sárga tárncsot is, amely tartalmaz mérgező hatású szeszkviterpén-laktont. Poage és mások (2006) számos sárga tárncsot tartalmazó takarmányt megvizsgáltak, aminek során 0 – 0,5 ... 1 – 1,5 g növényi szenet adagoltak birkánként és naponta. Míg a birkák a sárga tárncsot tartalmazó, de növényi fehérje nélküli takarmányt elutasították, addig nagyon szívesen fogyasztották a bioszénrel kevert és legfeljebb 26,4% sárga tárncsot tartalmazó eledelt.

Különböző szerzők igazolni tudták, hogy a legelőre járó szarvasmarhák és juhok szívesen fogyasztanak egy vadrózsafélét (*Lantana camara*), amely mérgezést okozhat, elsősorban a májukat támadja meg, de ez kezelhető, ha 1 kg testsúlyra számítva 5g növényi szenet adagolnak az eledelükhöz (McLennan és Amos, 1989; Pass és Stewart, 1989). Míg az aktivált bioszénrel kezelt hat birkából öt a kezelés után a „vadrózsa-mérgezésből” kigyógyult, addig hatból öt borjú elpusztult a szerves szénnel való kezelés nélkül. Bentonitos kezeléssel hasonló gyógyulási arányt értek el, de a teljes gyógyuláshoz kétszer hosszabb időre volt szükség (McKenzie, 1991). Hasonlóan jó eredményt kaptak aranyfüstre is (*Moraea pallida*) – szarvasmarhákra ez mérgező (Snyman és mások, 2009), az oleander pedig birkákra mérgező (Ozmaie, 2011; Tiwary és mások, 2009).

5. Bioszén rendszeres adagolása a takarmányhoz az állatok teljesítőképessége és egészségi állapota javítására

Míg a bioszén terápiás adagolás már régóta bevált gyakorlat és már 50 éve vizsgálják, sőt rengeteg tünetre és betegségre javasolják, addig a rendszeres takarmányozás a teljesítőképesség, a gazdaságosság, a tápanyag-hasznosítás és az állat általános egészségi állapota javítása céljából csak 2010 óta merült fel újra tudatosan. A haszonállatok bioszénrel kevert takarmánnyal etetése és az ilyen növényi szenek előállítására a gazdák saját tapasztalat alapján elsősorban Németországban, Svájcban, Ausztriában és Ausztráliában terjedt el leginkább. Az említett országokban rendszeres tudományos vizsgálatoknak vetik alá a különböző növényi szenes takarmányokat, de még eléggé ritkán. Ennek fő oka, hogy az állatgyógyászat és a növénykutatás két olyan szakterület, amelyek néha egymással ütköznek. A kutatási módszerek és a terminológia sem mutat sok közös vonást. Ezért is nehéz pontosan leírni a takarmányok vizsgálatához használt növényi szeneket, eredeti nevüket használják olykor és fekete terméknek is nevezik. A növényi szenekkel kapcsolatban tehát további kutatómunka szükséges, a különböző fajtákra más és más adagolási mennyiségeket kell betartani.

- Növényi szenek tulajdonságainak sokrétűsége miatt ennek a heterogén anyagnak néhány központi tulajdonságát érdemes kiemelni. Valamilyen káros hatás hiányában a gyakran semleges hatások mellett a különböző tanulmányokban és szakmai jelentésekben a növényi szenet tartalmazó takarmányok következő pozitív hatásait állapították meg:
 - Táplálékfelvétel növekszik
 - Súlygyarapodás
 - Takarmány hatékonysága növekszik
 - Tojástermelés nő és tojásmínőség javul a baromfinál
 - Immunrendszer erősödik
 - Hús minősége javul
 - Istálló, ól higiénijája javul, szagterhelés csökken

- Köröm, pata és lábbütyök betegségei visszaszorulnak
- Állattartási költségek csökkennek.

Állatfajok szerint csoportosítva a következő fejezetek a szakirodalmat, a közép- és hosszú távú takarmányozás tapasztalatait foglalják össze az állat egészségi állapotának, teljesítőképességének javítása céljából, figyelembe véve különböző állattartási rendszereket.

5.1. Szarvasmarha

Az észak-német állatorvos, Achim Gerlach, 2011 óta etet marhacsordákat naponta 100 – 400 g növényi szenet adagolva marhánként és naponta, miközben semmiféle negatív mellékhatást nem észlelt (Gerlach, közlemény szóban, 2015). Egy 2012-ben feltett körkérdésre adott választ 21 gazda, akik Achim Gerlach látószögében működnek és egyöntetű volt a válasz, hogy az állatok általános egészségi állapota és vitalitása a növényi szenek alkalmazása óta látványosan javult. A tej sejtszáma csökkent, a tejfehérje és tejsír-tartalom növekedett. Ha abbahagyták a növényi szenes takarmány adagolását, elég gyorsan újra emelkedett a sejtszám és csökkent az állat teljesítőképessége. Továbbá azt is megállapították, hogy a körömmel és patával kapcsolatos problémák megoldódtak és a születés utáni egészség stabilizálódott. A növényi szenes takarmány adagolásának megkezdése után 1-2 nappal a hasmenéses tünetek mérséklődtek és az ürülék szilárdabb lett. A halandósági ráta és az állatorvosi költségek egyaránt csökkentek. Az állati vizelet viszkozitása lényegesen javult és a szagterhelés enyhült (Gerlach és Schmidt, 2012). A bioszénnel kevert takarmány hasznosságára jellemző mutatónak tekinthető, hogy a gazdák már hosszabb idő óta havi 1000 € alatti önköltségen tudnak tartani 150 tehénből álló csordát.

Leng és mások (2013b) 98 napon keresztül etettek négy szarvasmarhát 0,5% (takarmány száraz tömegére vonatkoztatva) hántolatlan rizsből készült bioszénnel kevert takarmánnyal. Az ilyen keverékekkel etetett állatoknál a súlygyarapodás 25%-kal nagyobb értékű volt, mint a kontroll csoportban. Kim és Kim (2005) ezzel szemben csak 2% növényi szenet adagolt a takarmányhoz, ami nemigen befolyásolta az állatok súlygyarapodását és véreredményét (Hanwoo bikák).

Calvelo Pereira és mások (2014a) különböző mennyiségben (0 – 21 – 42 – 81 – 186 g/kg fű vagy siló) és különböző fajta szerint (fenyőfa és kukoricaszalma) vizsgáltak 350°C-on és 550°C-on pirolízissel előállított növényi szenet in-vitro kísérleti körülmények között, marhabendőn belül. A különböző növényi szenek és különböző mennyiségben adagolt szenek nem befolyásolták jelentősen a vizsgált paramétereket, mint pl. a siló minőségét, nem voltak negatív hatással a bendőfolyadékra. A szerzők arra a megállapításra jutottak, hogy a negatív hatások kizárása mellett a bioszénnel kevert takarmány hatásos módszer a hagyományos eledelek feljavítására. Már 2010-ben felhívta Marc McHenry a figyelmet arra a lehetőségre, hogy növényi szenet kellene használni a takarmányhoz az etetés hatékonyságának növelése és a tápanyag jobb elérhetősége, valamint a talajvíz és felszíni vizek védelme, valamint a talajban levő szén zárolása érdekében (McHenry, 2010). A takarmányhoz módszeresen adagolva a növényi szeneket nem csupán az állat teljesítőképességének és egészségi állapotának javulását eredményezi, hanem az ökológiai rendszer működését is jobba teszi. Utóbbi években egyes szerzők sokat vitatták ezt a témát (O'Toole és mások, 2016a; Schmidt és Shackley, 2016; Schmidt, 2012; Shackley, 2014). A sorozatos használat kérdését Stephen Joseph és munkatársai vizsgálták Ausztráliában (Joseph és mások, 2015b). 2011 óta az egyik ausztráliai farmon 60 szarvasmarhát etetnek jarrah-fából készült bioszénnel adagolt (330 g

naponta) takarmánnyal, amihez még 100 g melaszt is keverték. 2011-től 2015-ig nőtt a talajban a humusztartalom, a pH érték (CaCl₂), a Colwell-P, Colwell-K érték, az elektromos vezetőképesség és a cserélhető kationok száma (Joseph és mások, 2015b). Bioszén vizsgálata marhaürülékben kétségtelenül azt igazolta, hogy a növényi eredetű szenek nagyon sokféle tápanyagot adszorpcióját segítik a szarvasmarha emésztőrendszerében. Ezek a tápanyagok (elsősorban nitrogén és foszfor) a bioszén porózus szerkezetében maradtak egészen a talajba kerülésig és növényi formában álltak később már rendelkezésre. A szerzők arra következtettek, hogy a megemésztett tápanyagoknak a bioszénben való megőrzésével a marhaürülék trágyázó hatása annyira megnő, hogy később a legelőgazdálkodás előnyére is válik, s ezért a gazdasági előny akkor is vitathatatlan, ha az állat teljesítőképességére és jó egészségi állapotára várt pozitív hatások elmaradnának.

2012 óta német és svájci gazdák rendszeresen használnak növényi szenet a takarmánysilóhoz, hogy a tejsav érlelését stabilizálják és a hiányos erjedést elkerüljék. Gombásodás és mikotoxin keletkezésének veszélye ennek következtében elkerülhető. Ecetsav és főként vajsav alacsonyabb koncentrációja várható, tehát a clostridium baktériumok előfordulásának kockázata minimális. A bioszén magas víztároló kapacitása feltehetőleg javítja az erjesztési minőséget, különösen akkor, ha a silózásra váró biomasszát túl nyers vagy túl friss állapotban viszik be. Összességében a tároló képességet ez a kiegyenlítő hatás egyenlíti ki, a fermentációs folyadékok pedig kisebb mennyiségben keletkeznek (O'Toole és mások, 2016).

Annak ellenére, hogy a mezőgazdasági gyakorlatban a növényi szenet elsősorban a marhatenyésztők használják és így nekik van a legtöbb tapasztalatuk e téren, mégis nagyon kevés tudományos cikk jelent meg a témában. Ennek oka, hogy nehéz, költséges munka a nagyméretű jóságok folyamatos vizsgálata. Lovaknál a bioszén gyártóinak már van kellő tapasztalata, gondolunk itt elsősorban svájci és német lótenyésztőkre, de általunk ismert tudományos cikkekre nem tudunk hivatkozni.

5.2. Kecske és birka

12 héten át folytattak kísérleteket 42 fiatal kecskével (Van és mások, 2006b), aminek során 1 kg testsúly-kg-ra számítva 1 g bambusz-eredetű növényi szenet adagoltak a takarmányhoz és így lényegesen magasabb nyersprotein-felvételt állapítottak meg és ennek megfelelően a vizelet és az ürülék kisebb koncentrációban tartalmazott nyers proteint. Az 1 g bambusz-eredetű növényi szenet tartalmazó takarmánnyal etetett 21 állat testsúlya naponta 53 g-nyit növekedett, míg a kontroll csoportban ez az érték csak napi 44 g volt; statisztikailag szignifikáns különbség tehát 20%. A kecskék alapeledele nagyjából csersavban gazdag akáclevélből állt.

Egy Nepálban folytatott kísérletnél Schmidt és Pandit (2016, előkészületben) négy anyakecskét és négy gidáját 10 héten át etetett naponta 15 g növényi szenet tartalmazó takarmánnyal és a súlygyarapodásukat összehasonlították a kontroll csoport állataival. A szoptatási időszak végére az anyakecske keveset veszített testsúlyából, 8 hét után is csak 2%-os volt a súlycsökkenés, míg a kontroll csoportban az anyakecske súlyvesztése elérte a 6%-ot. A fiatal állatokra kapott adatok hatásosak és kifejező erejűek voltak. A növényi szenet tartalmazó eledelt fogyasztó fiatal állatok 8 hét alatt 266%-os súlygyarapodást értek el, a kontroll csoportban ez az érték csak 185% volt. A bioszénrel kevert takarmányt fogyasztó fiatal állatoknál a relatív súlygyarapodás általában 80%-kal volt nagyobb, mint a bioszén nélküli eledelt fogyasztók csoportja.

5.3. Sertés

A dél-koreai Gyo Moon Chu és munkatársai 2013-ban többféle alapkutatót végeztek olyan sertéseken, amelyek bambusz-eredetű bioszénrel kevert eledelt fogyasztottak. Az éppen 5 hónapos sertések (N=12) 42 napig kapták a normál hizlaló takarmányt (kukorica, búza, szójaliszt), naponta pedig 30, ill. 60g növényi szenet adagoltak minden 1 kg takarmányra számítva. A kísérleti időszakban az átlagos súlygyarapodás 750 g volt naponta bioszén hozzáadása nélkül és 877 g volt naponta 0,3% bioszén hozzáadása mellett. A különbség szignifikáns: 17,5%. A 0,3% és 0,6% adagolás közötti különbség statisztikailag nem jelentős. Míg a leukocita, eritrocita, hemoglobin, hematokrit és vérlemezkék értéke a kísérleti csoportok között nem mutattak jelentős különbséget, addig a bioszénrel kevert etetési csoportban pozitív hatások érvényesültek a teljes proteintartalmat, albumin, koleszterin, HDL-koleszterin és LDL-koleszterin értékeket illetően. Ráadásul a kortizol szint lényegesen alacsonyabb volt, ami stressz iránti kisebb érzékenységre utal (Chu és mások, 2013c). Egy későbbi vizsgálat során a szerzők úgy találták, hogy a 0,3% és 0,6% bambusz-eredetű bioszén adagolása a takarmányhoz javította a vágási minőséget és a hízók zsírsav-összetételét, a telítetlen zsírsavak mennyisége növekedett, a telített zsírsavaké csökkent (Chu és mások, 2013b). Egy harmadik kísérletnél a szerzők azt vizsgálták, hogy mennyire tudná a bioszénrel kevert takarmány növekedést serkentő antibiotikumok hatását pótolni. Egy rendkívül nagy részletességgel leírt tanulmányban (Chu és mások, 2013a) arra az eredményre jutottak, hogy 0,3% bambusz-eredetű bioszénrel kevert takarmány ugyanakkora növekedést eredményezett hízósertéseknél, mint a szabványosan előírt mennyiségben adagolt antibiotikumok esetén. Mindezt anélkül, hogy negatív mellékhatások jelentkeztek volna.

A szintén dél-koreai Choi és munkatársai (2012) összesen 420 hízósertést vizsgáltak, de a szokásos eledelhez különböző koncentrációkban növényi szenet és Stevia terméket kevertek hozzá. Sem a 30g bioszén, sem a 30g Stevia (1 kg takarmányra számítva) nem mutatott önmagában jelentős hatást, de a 30g bioszén + 30g Stevia kombináció magasabb napi súlygyarapodást és erősebb immunreakciókat eredményezett, mialatt a húsminőség és a hústermékek tároló kapacitása szintén javult (Choi és mások, 2012; Lee és mások, 2011).

Mekbungwan és mások (2004) egy japán gazdaságban fiatal malacoknak egyre nagyobb koncentrációban adagoltak 4:1 arányban bioszén / faecet keveréket. Ebből a keverékből 0, 1, 3 és 5% hozzáadásával az eledel nem gyakorolt statisztikailag szignifikáns hatást a testsúlyra és a táplálkozás hatékonyságára, ha összehasonlítjuk a kontroll csoport állataival. 1%-ra és 3%-ra azonban az eredmények valamivel jobbák voltak, ami a bélbolyhok vizsgálata során be is igazolódott. Ugyanezek a szerzők négy évvel később azonos bioszén / faecet keverékkel és 1% ill. 3% adagolással azt észlelték, hogy a bioszén a negatív hatásokat fehérjében gazdag borsót tartalmazva meg tudta akadályozni. A bioszénrel kevert takarmánnyal etetett állatok az összes vizsgált paraméter esetében jobb értékeket mutattak, mint a kontroll csoportban levők.

5.4. Baromfi

A növényi szenek teljesítményfokozó alkalmazásáról szóló cikkek nagy többsége nem véletlenül a baromfi vizsgálatokra összepontosít, hiszen a kisebb méretű csirkék vizsgálata egyszerűbben és olcsóbban végrehajtható. Az egyik leggyakrabban emlegetett cikket Jean Raphael Kana és munkatársai jelentették meg, ők két különböző növényi szenet vizsgáltak, az

egyik kukoricacsövekből, a másik pedig Canarium fából állt. Különböző koncentrációkban, 0-tól 1%-ig adagoltak ebből minden 1 kg hizlalt tyúknak való takarmányhoz (Kana és mások, 2010).

Sajnos a bioszén hagyományos előállításáról nincs pontos leírás, de a magas hamutartalom (47% ill. 25%) arra utal, hogy a kiindulási biomassza jelentős része pirolíziskor elégett. Ennek ellenére a leggyakrabban látható kép: mindkét bioszénből 0,6% koncentrációig adagolva nagyobb, többnyire szignifikáns súlygyarapodás volt elérhető, míg a nagyobb arányú adagolás további súlygyarapodáshoz vezetett, de a súlycsökkenés mindig kisebb volt, mint a kontroll csoportban. Sem a máj súlyát, sem a hasi zsírtartalmat vagy a bélhosszúságot, sem a belek súlyát nem lehetett bioszén hozzáadásával befolyásolni. Ez a munka nem utolsó sorban fontos mutatószám a nem fatartalmú biomasszából nyert bioszén szempontjából és magasabb hamutartalom esetén is alkalmas állatetetésre. Egy későbbi cikkben ugyanazt a két növényi szenet vizsgálták annak megállapítására, hogy proteinben gazdag marhaborsót tartalmazó növényi szenet tyúkoknak adagolva általában nehezebben emésztik-e a marhaborsó miatt. Kukoricacsövből álló, magas hamutartalmú növényi szenet hozzáadva az alapeledelhez a hizlalt tyúkok súlygyarapodása ugyanolyan mértékű volt, mint a kontroll csoportban. Az alacsonyabb hamutartalmú magból készített növényi szenek itt nem mutattak ugyanolyan hatást (Kana és mások, 2012).

Bakr (2007) citromfából készített növényi szenet használt, amit Nablus-ban, a helyi piacon szerzett be és eléggé nagy koncentrációban (q, 2, 4 és 8%) adagolta a hagyományos takarmányhoz. 2% koncentrációnál az első három héten az anyag jelentősen befolyásolta a testsúlyt, a táplálékfelvételt és a táplálkozás hatékonyságát a kontroll csoporthoz képest, utána már a változások ugyanakkorák voltak. Különösen figyelemre méltó ennél a munkánál, hogy igen nagy adagolásnál (8%) a bioszén minősége nem váltott ki negatív hatást. Kutlu és mások (2001) ugyancsak nagy koncentrációban (10%) adagolták az aktivált növényi szenet és azt tapasztalták, hogy az első 28 napon mindegyik adag növelte a táplálékfelvételt, a súlygyarapodást és a táplálkozás hatékonyságát, mégpedig mind a hizlalt tyúkok, mind pedig a tojós tyúkok esetében, később azonban már nem volt statisztikailag szignifikáns a növekedés.

A Teresa Majewska irányításával dolgozó lengyel munkacsoport 2000 és 2012 között több cikket jelentetett meg hizlalt és tojós tyúkok etetésével kapcsolatban, ahol egyértelműen pozitív eredményt kaptak 0,3% keményfa-eredetű bioszén hozzáadásakor (Majewska és Pudyszak, 2011; Majewska és mások, 2009, 2002). Nem csak nagyobb súlygyarapodást és jobb hatékonyságot tapasztaltak, hanem magasabb proteintartalmat nyertek a mellizomban és főleg a halandósági ráta lett alacsonyabb a kontroll csoporthoz képest. Majewska és munkatársai ezeket a javulásokat (1) a takarmány-összetevők méregtelenítésével, (2) az emésztőrendszerben a felületi feszültség csökkenésével és (3) a májban jobb zsírlebonntással magyarázták.

Több kutatócsoportnak is sikerült kimutatni, hogy növényi szenekkel kevert takarmány használatával lényegesen javult a tyúkok hújának minősége (Cai és mások, 2011; Kim és mások, 2011; Yamauchi és mások, 2010, 2014). Jiya és mások (2013, 2014) megfigyelték, hogy kókuszdióhéjből előállított, aktivált növényi szenet 0,5% adagban hozzákeverve a normál eledelhez nem lépett fel jelentős súlygyarapodás, de az SGOT (szérum glutamin, oxalo-ecet-transzamináz), az SGPT (szérum glutamin foszfát transzamináz), az albumin, koleszterin és triglicerid értékek, akárcsak az érzékelői értékelés és a hasi zsír súlya, a szív és lép értékei lényegesen javultak, miközben a koleszterinszint csökkent. 2% bioszénnel vagy bambusz-eredetű bioszén és faccet keverékével folytatott másik kísérletnél nem adódott

jelentősebb különbség húsmínőség terén, a kontroll csoporthoz viszonyítva (Fanchiotti és mások, 2010; Rattanawut, 2014; Sung és mások, 2006). Park és Kim (2001) azt tapasztalta, hogy a sütnivaló csirke etetése aktivált növényi szenet tartalmazó eledellel azt eredményezi, hogy a hasznos zsírsav, az olajsav mennyisége és a hús teljes ásványianyag-tartalma jelentősen növekedett. Kutlu és mások (2001), valamint Ayanvale és mások (2006) egyaránt megállapították, hogy a tojáshéj szilárdsága bioszén hozzáadásával javul, Yamauchi és mások (2010) pedig a tojáshozam emelkedését figyelték meg, amikor a normál eledelhez bambusz-eredetű bioszén és faecet keverékéből 5%-ot adtak hozzá. Yamauchi és mások (2013) ugyanabból a bioszén és faecet keverékéből 1%-ot adagoltak az eledelhez és azt tapasztalták, hogy a tojás kollagén-tartalma 33%-kal megnőtt, ami nem csak a tojás tároló képességének tesz jót, hanem kollagént is kinyernek orvosi és kozmetikai célra.

Ruttanavut és mások (2009) egy hétnapos kísérlet folyamán felnőtt kacsáknál nem észleltek statisztikailag szignifikáns súlygyarapodást, 1% bioszén és faecet keverék adagolásakor, mégis úgy találták, hogy a bélbolyhok nagysága, a sejt felszíne és a sejt eloszlási aránya a belekben jelentősen növekedett, ami hasonló tapasztalás, mint Ruttanavut (2014), Samanya és Yamauchi (2001) részéről. Islam és mások (2014) az egyik dél-koreai kísérletnél 150 fiatal kacsát vizsgáltak és 1:1 arányú bioszén / tengeri moszat keveréket adagolva az eledelhez olyan hatás érhető el, mint amikor antibiotikummal serkentik a kacsák fejlődését.

5.5. Vízkultúra

Moe Thu és munkatársai (Kagoshima-ig Egyetem, Japán) érdes lepényhalat etettek bambusz-eredetű bioszénrel kevert haleledellel (Thu és mások, 2010).

Míg a bioszénrel kevert eledel minden esetben lényegesen nagyobb súlygyarapodást okozott a lepényhalaknál, az egyes eredmények változékonysága azonban olyan nagy, hogy csak a 0,5% adagoláshoz tartozó, statisztikailag szignifikáns súlygyarapodási különbséget (18%) vették figyelembe. Említésre méltó az is, hogy az összes növényiszén-adagolás lényegesen kisebb nitrogén-kiválasztáshoz vezetett a halaknál és a vízben a nitrogéntartalom több mint a felére csökkent. Az utóbbi egészséget javító és növekedést serkentő hatás a vízkultúrában.

Az egyik dél-koreai kísérletnél érdes lepényhalakat etettek 0-tól 2%-ig emelkedő koncentrációban bioszén és faecet keverékét. 1% adagolásnál a táplálkozás hatékonysága 10%-kal nőtt, a hal súlygyarapodása pedig 1%-os adagolásnál volt éppen a legnagyobb. Az összes többi vizsgált paraméter mindig jobb értékeket adott a bioszén variációk esetében, viszont ezek statisztikailag nem voltak szignifikáns értékek. A szerzők arra következtettek, hogy 0,5 és 1% közötti adagolás ígérte általában a maximális súlygyarapodást és táplálkozási hatékonyságot.

Sokan használnak praktikus okokból növényi szenet a vízkultúrában és jó eredményekről számolnak be többé vagy kevésbé a növényi szeneknek és olyan rétegnek köszönhetően, amin keresztül a halak vizét megszűrjük. A cikkek és a néha kvantitatív módon kezelhető eredmények jól összehasonlíthatók a kontroll csoportra kapott értékekkel.

6. Kérődzők metán-emissziójának redukciója

Ha valaki tudatában van azzal, hogy az állattartás szintén közvetlen okozója lehet a klímaváltozásnak, akkor nagyobb érdeklődéssel fordul a növényi szenes takarmányozási

eljárások felé, amelyek nem elsősorban a hatékonyság növelését tűzik ki célul, hanem inkább az állatok emésztőrendszerében a metán-emissziók csökkentését. Míg baromfinál, sertésnél, halnál és más mindenevőnél, amelyek az üvegházhatás egy-egy okozói (főként metán, kéjgáz, ammónia) szilárd és folyékony kiválasztások történnek, ha ezek oxigént lezáró réteget is képezhetnek (pl. metán), visszavásárlásnál elsősorban a közvetlen gáz alakú kiválasztásról van szó bélgázok és felbőfögés útján (regurgitáció). Utóbbi jelenség főként szarvasmarhákra jellemző, hiszen naponta 500-600 liter, 6-8% metánt tartalmazó gázt képesek így üríteni.

A marhabendőben található metán a fűfélékben levő rostanyagok lebomlásának terméke, többek között hidrogén és acetát is található ott, mint reakciótermék. A hidrogén elektron-donorként szolgál CO₂ vagy formiát redukciójához, amikor metán keletkezik.

Az állat szempontjából ez a reakció komoly energiavesztést jelent, mivel az energiában gazdag metán nem emészthető tovább, hanem elsősorban bélgázokkal együtt vagy felbőfögés útján távozik szükségszerűen az emésztőrendszerből. A metán 28-34-szer hatékonyabb klímagáz, mint a széndioxid és már legalább 100 éve kutatják a globális felmelegedés okait, éghajlat – széndioxid visszacsatolás összefüggésben vagy anélkül (Myrhe és mások, 2013, 8. fejezet), igyekeznek optimalizálni a bakteriális rost-lebomlást, hogy a metán-emissziók csökkenjenek.

Több kísérleti munkában igyekeznek más elektron-akceptorokat találni, hogy a fölöslegben levő elektronok lekötődjenek. Nemrég még a nitrogén volt nitrát formájában és a kén a legfontosabb tápanyag, de az állatok nagyobb koncentrációban elég sok mérgező hatású ammónia- és kénvegyületet bocsátanak ki és nincs megfelelő alternatíva ezek helyett.

Az első visszaigazolás, hogy a bioszén itt teljesen új reményeket ébreszthet, 2012-ben Vietnamból indult (Leng és mások, 2012). In-vitro kísérletek során Ron Leng és munkatársai megállapították, hogy 0,5 – 1% arányban hozzáadott növényi szenek a metántermelést 10, ill. 12,7%-kal visszaszorították. Ennél több bioszén hozzáadásakor a metánképződés már nem csökkenthető tovább. Ameddig azonban a bioszén mellett még nitrátot is adnak proteinben szegény táplálkozásnál, addig a metánképződés egészen 49%-kal csökkenthető. Az anaerob emésztőrendszerben a nitrát erősebb elektron-akceptorként működik, ezáltal a hidrogén parciális nyomása alacsonyan tartható és bizonyos fokig metánt termelő mikroorganizmusok termelnek. Phanthavong és mások (2015) ugyancsak in-vitro kísérletnél tapasztalta, amikor 1% arányban adagolt növényi szenet, hogy a maniókagyökér segíti a metán-emissziók csökkentését 24 órán át, ez azonban csak az esetek kb. 7%-a.

In- vitro kísérletek alkalmával Leng és mások (2013b) rámutattak arra, hogy a metánképződés szarvasmarhánál 20%-kal is csökkenthető, ha 0,6% növényi szenet adagolnak a szokásos vegyes takarmányhoz. Ha azonos mennyiségű növényi szenet 6% kálium-nitráttal kevernek, a metán-emissziók akár 40%-kal is csökkenthetők. A metán-emissziók redukcióján túl figyelemre méltó a szarvasmarhák súlygyarapodása is (+25%), legalábbis ezt figyelték meg Leng és mások (2013b). A takarmányhoz használt növényi szenet szilíciumban gazdag rizshüvelyekből állítják elő igen magas hőmérsékleten, ami nagy elektromos vezetőképességnek és elektron-kiegyenlítő kapacitásnak felel meg (Yu és mások, 2015), s így az emésztési folyamat elektrokémiai hatása valószínűleg érthetővé válik.

Leng és mások (2013a) már régen rámutattak arra, hogy különböző növényi szenek különböző hatással vannak a metán-emissziókra. Ez feltehetőleg azzal magyarázható, hogy a biomasszától és a pirolízis hőmérsékletétől függően különböző elektromos vezetőképesség és elektron-kiegyenlítő képesség alakulhat ki (Yu és mások, 2015), és ezek a jellemzők

meghatározzák a bioszén tulajdonságát. A különböző baktériumfajták között elektronokat kell szállítani (DIET) és így a redox-reakciók nagyobb hatékonysággal bontják le az eledelt.

Ron A. Leng és munkatársai eredetileg azt feltételezték, hogy a növényi szenek anaerob rendszerekben, mint a marhabendőben, ún. metanotróf baktériumok segítségével „szaporodhatnak”. Ez arra a megfigyelésre épül, hogy a rizsföldeken már eleve bedolgozták a növényi szenet, így a metán-emissziók csökkentek, míg a metanotróf anyagok, vagyis a metánt lebontó anyagok baktérium-halmazokat továbbítanak. Oxigén nélkül azonban a metanotróf baktériumok nem életképesek, az előbbi feltételezés kizárható. A bendőben a metanotróf baktériumok elsősorban a hámshólyagokban találhatók, viszont a metán befogásához és lebontásához a tulajdonképpeni metánképződési helyeknek egyenes eloszlást kell mutatniuk, vagyis a táplálék-részecskék körül alakulnak ki biofilmek, amelyek nem elsősorban az oxigén, hanem a levegőnek pórusokon keresztül történő szállítására szolgálnak.

Leng és munkatársai végül a szarvasmarhák bendőfolyadékát vizsgálták, mégpedig bioszén hozzáadása mellett vagy anélkül. Abból indultak ki, hogy mielőtt a növényi szenet hozzáadták, kevesebb metán keletkezett bendőfolyadék összetevőjeként. Feltételezhető, hogy a bioszénhez hozzászokott állatok egy másik mikrobiális közösségben állnak a bendőben.

Hanne Hansen vezetésével egy dán kutatócsoport 2012-ben egy in-vitro kísérlet eredményeit összehasonlította különböző, pontosan nem definiált növényi szenekkel metánképződés szempontjából (Hansen és mások, 2012). Minden vizsgált bioszén csökkentette ($p=0,09$) a metán-emissziót 11-17%-kal, az aktivált bioszén pedig a lehető legnagyobb redukciós sebességet mutatta. Magas 9%-os adagolásnál azonban már gyakorlatilag jelentéktelen a változás.

Leng és munkatársai sokat vitatott eredményei alapján különböző csoportok további in-vitro kísérleteket végeztek, de sajnos az eredmények részletes leközlése nem történt meg (személyes kiadvány Belgiumban, USA-ban és Németországban). Leng és munkatársai olyan növényi szenet használtak, amelyet a rizshüvelyek elgázosítási eljárása közben állítanak elő. Ennél a technológiánál a pirolízis hőmérséklete magasabb, mint 900°C , ami a bioszén jellegzetes elektrokémiai tulajdonságait magyarázza (Yu és mások, 2015). Amennyiben sokszor anaerob talajban a metán-emissziók redukciójáért a bioszén felelős (Feng és mások, 2012; Liu és mások, 2011; Zhang és mások, 2012, 2010), azt sem lehet kizárni, hogy a jövőben kifejezetten e célra állítanak elő speciális növényi szeneket. Most még viszont ez még megalapozatlan ötlet, további kutatásokat igényel.

Ha a növényi szenek metántartalmú felbőfögéssel nem tudják kihajtani a metán-emissziókat, akkor a növényi szenes takarmányozás lehet a megoldás a metán- és ammónia-emissziók redukciójára. Az állati szervezet kiválasztó szervei is dolgoznak (Chu és mások, 2013c; Joseph és mások, 2015b; Zwieten és mások, 2015).

7. Klímaegyensúly

Egy átfogó klímaegyensúly kiszámítása a növényi szenek állati takarmányhoz való alkalmazása szempontjából még csak nehézkesen és hiányosan oldható meg. Viszonylag egyszerű kiszámítani magát a széntartalmat. Abból indulunk ki, hogy a takarmányhoz kevert szén széntartalma legalább 80% és a javasolt 600°C feletti hőmérsékleten történik az

előállítás. A H/Corg arányszám 0,4 alatt van, így Camps-Arbestain és mások (2015) szerint a bioszénnek legalább 55%-a (száraz súly alapján) kerül be az emésztőrendszerbe és később a talajba, vagy pedig stabilan megmarad a földben akár 100 évig.

Ha feltételezzük, hogy 1%-a a napi takarmányadagnak megfelel a németországi állattenyésztők számításainak, akkor ez 13 millió szarvasmarhát (650 ezer tonna bioszén), 1.1 millió lovat (24 ezer tonna bioszén), 27 millió sertést (780 ezer tonna bioszén), 2,4 millió juhot (43 ezer tonna bioszén), 130 millió baromfit (260 ezer tonna bioszén) és összesen 1.8 millió tonna növényi szenet jelent évente, ami 0,8 millió tonna szén potenciáljának, ill. 2.9 millió tonna széndioxid-egyenértéknek felel meg. Egy erősen iparosodott ország (pl. Németország) számára ezek reális adatok, csupán a jelenlegi CO₂-egyenértéknek megfelelő fogyasztás 0,32%-át figyelembe véve. Az állatokban gazdag, de ritkán lakott országokban, mint Írországban azonos potenciálszámítás inkább az éves CO₂-emisszió 15%-át tenné ki. Ennél a számításnál csak arról van szó, hogy a megfelelő nagyságrendet érzékelhessük. A kutatómunka mai állása szerint természetesen még nem javasolható ilyen nagyságrendre átszámítani az értékeket.

Kérdőzők metánredukciójának lehetősége elméletileg sokkal nagyobb lehetne, ha a jelenleg rendelkezésre álló adatokat értelemszerűen bele nem számítottuk volna. Az első eredmények azt mutatják, hogy az állati vizeletben, a trágyában, ill. komposztálás alatt a bioszén metánná, ammóniává, kéjgázzá és CO₂-emisszióvá is redukálódhat (Borchard és mások, 2014; Kammann és mások, 2016; Sonoki és mások, 2013; Steiner és mások, 2013). 1% növényiszén-adagolásnál a komposztált trágyában kereken 10 térfogat-% bioszén található (Kammann és mások, 2016). Az viszont nagyon valószínű, hogy a bioszén által a trágyába és végül a talajba bejutó nitrát kimosódik, bekerül a talajba és a felszíni vizekbe, ha nem redukálható (Kammann és mások, 2016; Knowles és mások, 2011; Ventura és mások, 2013). Ugyanakkor Ghezzehei és mások (2014) becslése szerint a bioszén használata tárgya kezelésére évi 57.000 t ammónia és 4.600 t foszfát megtakarítását jelentheti.

Hogy milyen nagyságú a bioszénrel kevert takarmánnyal az elkerülhető üvegház-hatás, sok tényezőtől függ, így pl. az istálló vagy karám típusától, a trágya tárolásától, a fajlagos életciklus-elemzéstől (LCA). Minél több az emisszió egy állattartó rendszerben, annál több növényis szén használható a csökkentésére, esetleg más intézkedések szükségesek. A már optimalizált rendszerekben az emissziók már kezdettől fogva kisebbek. Óvatos becslések szerint a bioszén által okozott üvegház-hatás több mint 25%-kal mérsékelhető. Függetlenül attól, hogy milyen a tényleges potenciál elosztása az állattartó rendszerben, általában elegendő a kutatást és fejlesztést további optimalizálásra fordítani. Minden egyes esetben szükséges a bioszén pontos leírása és módszeres kombinálása további megoldásokkal és emisszió-csökkentő lehetőségekkel (nitrát-takarmány, tejsav-baktériumok alkalmazása, komposztálás stb.).

8. Növényi szenek lehetséges mellékhatásai

Ismereteinket az eddigi tudományos kísérletek az aktivált és nem aktivált bioszénrel kevert takarmányok és gyógyszerek tanulmányozásával nemigen sikerült bővíteni úgy, hogy emberre vagy állatra gyakorolt mérgező hatások megállapíthatók legyenek. Sem rövidebb, sem hosszabb távon végzett adagolás nem okozott negatív mellékhatásokat. Erősebb túlادagolásnál hányás és ritkább esetben székrekedés fordulhat elő (Olkkola és Neuvonan, 1989). Gyógyszerrel párhuzamos adagolásnál ügyelni kell arra, hogy a bioszén abszorpciója

az emésztőrendszerben végbemenjen és hatását rendszeren ki tudja fejteni. Park (1986) következtetése szerint a bioszén megbízható, hatékony és viszonylag gazdaságos megoldás, amikor mérgezés és gyógyszer túladagolása fordul elő embernél.

Yatzidis (1972) beszámolt arról, hogy 20-50 g aktivált bioszén adagolása naponta urémiás betegeknél 4-20 hónapon keresztül sem okozott jelentős mellékhatásokat. Olkkola és Neuvonen (1989) naponta háromszor adagolt 10-20 g mennyiséget több hónapon át és humán pácienseknél sem kockázat, sem mellékhatás nem jelentkezett.

Az általános orvosi célú bioszén termékeknél szorbitol vagy nátriumbikarbonát használatával előkezelést végeznek, ami gyakran magas vérnyomást és elektrolit-egyensúly felborulását okozhatja átmenetileg. Vigyázni kell arra, hogy ilyen adalékanyagok nélkül történjen a növényi szerek alkalmazása (Goldberg és mások, 1987).

Vizes szuszpenzióban növényi szenek túlzott mértékű adagolása embereknél általában nem okoz székrekedést (Neuvonen és Olkkola, 1988), ami állatoknál sem volt eddig megfigyelhető.

Naka és mások (2001) gram-pozitív enterococcus faecium, bifido-baktérium therophilum és tejsav-baktériumok (Lactobacillus acidophilus) alapján vizsgálták növényi szenek adszorpciós kapacitását normál baktériumflóra mellett és tőzejlő tehének emésztőrendszerében. Még aktivált bioszén esetén sem fordultak elő normál, egészséges baktériumflórák, így a kötődés másként jön létre, mint a veszélyes E. coli O157:H7 törzsek esetén és a teljes egyensúlyban kevesebb bioszén szerepel a patogén flórát a normál baktériumflóra pedig kedvezően befolyásolja, tehát módszeresen és nagyon sok, emésztést segítő és patogén baktériumtörzset kell megvizsgálni.

A növényi szenek esetleges rész-szelektív hatása különböző baktériumfajtákra lehetőséget nyújt arra, hogy a növényi szeneket az eubiotikus baktériumokkal együtt, bioszén által úgyis közvetített és kevésbé adszorbeálódott gram-pozitív tejsavbaktériumok adagolása közben, hogy a bélflóra szabályozható legyen (Naka és mások, 2001). Többek között Gerlach és mások (2014a) eredményei is igazolják a növényi szenek és savanyú káposztával kevert kombinációk hatását, ami alátámasztja több olyan gazda gyakorlati tapasztalatát, akik különböző növényiszén-tartalmú takarmányokkal kísérleteztek (pl. EM-Schweiz AG vagy EM-Chiangau GmbH) és megpróbálták magas koncentrációjú tejsav-baktériumos keverékekkel is. A tejsav-baktériumok és bifido-baktériumok javíthatják az anyagcserét és az emésztés hatékonyságát, vagyis a tápanyag-felvételt (Gabriel és mások, 2006).

Különböző kutató csoportok úgy találták, hogy a kórokozók általában erősebbek, mint a natív bélflóra, amit a bioszén köt meg az emésztőrendszerben. Az előbb említett feltételezések valamivel kedvezőbb pórusnagyság-eloszlást mondanak a (gram-negatív) kórokozók adszorpciójára, valamint a hasznos mikroorganizmusok ugyanúgy megfigyelhetők nem specifikus szállítás közben, mint a tejsav-baktériumok. Ez a kombináció kedvezően irányíthatja az emésztési környezetet és a kórokozókat elnyomhatja (Choi és mások, 2009; 2013a; Naka és mások, 2001; Watarai és mások, 2008).

Hirokyuki Fujita és munkatársai 2011-ben különböző PCB anyagok adszorpcióját vizsgálták PCB és bioszén adagolása közben. PCB anyagok kötődése kapcsán megfigyelhető viselkedésük mellett (lásd fent 4. fejezetben: Rovarirtó szerek és környezetkárosító mérgek) vizsgálták a szerzők a hozzákevert bioszén egészségi állapotra, tyúkok tojáshozamára, zsírtartalomra és keltetési időre gyakorolt hatását is. Ugyanolyan kicsi volt a különbség, mint

a vérplazma biokémiai elemzésekor. Az ezt követő hiszto-patológiai vizsgálatok szerint sem az emésztőrendszerben, sem a májban nem történt elváltozás. A tojássárgája vizsgálatával kiderítették, hogy a zsírban oldódó A- és D3 –vitaminok statisztikailag nem szignifikáns hajlamot mutatnak az alacsonyabb koncentrációk felé, az E-vitamin tartalmi mennyisége a tojásokban napi 0,5% (súly-%) adagolás mellett kerekén 40%-kal csökkent (Fujita és mások, 2012). Más minőségi paraméterek, mint pl. zsírsavak, oxidáció elleni stabilitás és ásványianyag-tartalom nem függ a hozzáadott bioszéntől, így Kawashima és mások (2009) és Usydus és mások (2009) halolajon igazolták, hogy bizonyos vitaminok hosszabb ideig való adagolását célszerű megfelelő takarmányadalékkal kompenzálni.

Az Ithaka intézetnél 2012 óta javasolják a rendszeres, hónapokig vagy évekig tartó etetésnél a növényi szenek ellenőrzését tíz naponta vagy három napi kitétel után, hogy a nem specifikus adszorpció miatti hiányt alapvető tápanyagokból ki lehessen zárni. A gyakorlati tapasztalat azt mutatja, hogy a legtöbb gazda a takarmányozást nem rendszeresen szokta megszakítani. Időközben Achim Gerlach állatorvosi praxisa is több tapasztalatot szerzett szarvasmarhák bioszénrel kevert takarmányozása terén és az utóbbi négy évben semmiféle észlelhető mellékhatás nem fordult elő. Gerlach és mások (2014a) a vizsgálataik során azt tudták igazolni, hogy nyomelemeket és nagyobb mennyiségben előforduló elemeket nem tudnak lekötöni a bioszénrel adagolt takarmányok. Hasonló hosszú távú tapasztalatok hallhatók Svájcban és Ausztráliából is (Joseph és mások, 2015b). Az elővigyázatossági elv szerint növényi szenek takarmányhoz adagolását olykor néhány napra szüneteltetni kell.

9. Adagolás

Növényi eredetű szenet soha nem szabad használni teljes növényiszén-elemzés elvégzése nélkül, valamint ellenőrizni szükséges az előírt határértékek betartását. A kötelező analitikai vizsgálatot akkreditált, ilyen anyagok vizsgálatára szakosodott intézményre kell rábízni. Mint az EBC tanúsítvány esetén, a növényi szenet itt is nedvesen kell feldolgozni és adagolni (kézikönyv és szakszerű eljárás – EVC, 2012). Ha ezt betartják, akkor mindenféle szokásos takarmánykeverő berendezéshez hozzáadhatók a szenek és rendszerint a megszokott takarmányokhoz hozzáadhatók. Növényi szeneket az ivóvízhez is hozzá lehet adni. Akut mérgezések esetén az aktivált növényi szenet vizes szuszpenzió formájában adagolják (Neuvonen és Olkkola, 1988). Állatfajtától függően az állatok közvetlenül is kaphatják vagy istállóhoz hozzárendelve kínálhatók. A szenet gyakran tetszés szerinti kiegészítőkkal, pl. melasszal (Joseph és mások, 2015b) vagy aromás anyagokkal, pl. szacharinnal, szorbittal és más hasonló anyagokkal is keverhetik (Cooney és Roac, 1979).

Néhány német és svájci gazda automatikus berendezés segítségével fecskendezik be (1 térfogat-%) a silótoronyba vagy silótartályba (O'Toole és mások, 2016). Az ehhez szükséges eredmények megszerzése többlet ráfordítással jár, mivel a nem csökkent bioszén használatát utólag kell megrendelni (szóbeli közlés több gyártótól). Tudományos vizsgálatokat alig ismerünk a növényi szenek silótakarmány minőségére gyakorolt hatására vonatkozóan (Calvewlo Pereira és mások, 2014b).

Számos, itt említett vizsgálat során a növényi szenet nem önállóan, hanem más funkcionális kiegészítőkkal (pl. huminsav, faecet, savanyú káposzta, eubiotikus folyadékok, Stevia, nitrát vagy csersav) együtt adagolják, ahol a keverék hatása gyakran nagyobb volt, mint az egyes komponenseké. Lényegében ilyen kombináció a növényi szenek különböző kiegészítőkkal való elegyítése, kutatási igénytől függően és megalapozott vélemény arról, hogy a speciális

célra és speciális állatfajtákhoz alkalmas takarmányt lehessen kifejleszteni. A növényi szenet itt különösen aktív hordozóanyagként lehetne használni.

10. Bioszén minősége

Növényi szenek adszorpciós kapacitása elsősorban függ a fajlagos felülettől és a pórusnagyság eloszlásától. Bioszén aktiválásával a fajlagos felület jelentősen növelhető ugyan (kb. 300 m² > 800 m²), de a felület a mikropórusok (< 2nm) megnyitásával növelhető célszerű módon. Ezek a mikropórusok általában nagyon kicsik ahhoz, hogy az állat emésztéséhez szükséges, nagyobb molekulású anyagokat vagy bakteriális kórokozókat fel lehessen venni, amennyiben a bioszén aktiválása bizonyos körülmények között nem segíti elő bizonyos célanyagok vagy szervezetek specifikus adszorpciós kapacitásának növekedését.

A nano- és mezo-pórusok aktiválással növelhetők és a hozzáférhetőségük is javítható, úgy hogy a teljes fajlagos felület növekedése kisebb mértékű, a mezo-pórusok jó megközelíthetősége mégis döntően fontos bizonyos célkomponensek adszorpciós kapacitása szempontjából. Ahhoz, hogy különösen magas hozzáférhető pórus-tartalmú növényi szeneket lehessen előállítani, utána kapcsolt aktiválási folyamatra nincs feltétlenül szükség, hanem a megfelelő paramétereket kell pirolízisnél beállítani. Alapvetően igaz, hogy 600°C-nál magasabb hőmérsékletű pirolízis esetén nagyobb mezo-porozitás érhető el. A kondenzátum (pl. PAK anyagok) minimalizálásához amúgy is gondoskodni kell a keletkező és végül lehűlő növényi szenek kellően aktív gázosításáról, ilyenkor pl. alkalmazni lehet inert gázt vagy ellenáramú szellőztetést a kivezetésnél (Bucheli és mások, 2015).

A legtöbb kísérletnél a takarmányhoz adagolt növényi szenet aktivált szén formájában használták. Ennek fő oka, hogy itt szabványos anyagról volt szó, amit már több kísérletnél felhasználtak, és így bizonyos összehasonlításra volt lehetőség. Ez lényegében igaz minden itt említett tanulmányra, miszerint a felhasznált bioszén rosszul vagy egyáltalán nem írható le pontosan és semmilyen információ nem érkezett a gyártótól sem. Gyakran az „aktivált faszén” („activated charcoal”) fogalmat használták szinonimaként a bioszén meghatározására, mivel egyáltalán nem ment végbe aktiválási folyamat (Ayanwale és mások, 2006; Chu és mások, 2013c). A növényi szeneket csak ritkán hasonlították össze hatásuk alapján. Galvano és mások (1996a) megállapították, hogy az elsősorban mikropórusos bioszén (< 2nm) kisebb adszorpciós kapacitásokat ad mikotoxinra, mivel ennek a mérgező anyagnak a diffúziója túl lassú. Lényegében ugyanez vonatkozik a mások által is vizsgált toxin-kötésre, rovarirtó szerekre, PCB anyagokra, dioxinra vagy kórokozókra is. Többek között Edrington és mások (1997) megállapították, hogy a magasán aktivált növényi szenek az aflatoxin toxikus hatásait baromfinál nem tudták erősebben csökkenteni, mint a kevésbé erősen aktivált növényi szenek.

Aktivált növényi szeneket aktiválás után rendszerint savakkal mossák, hogy az ásványianyag-tartalma a szénnek csökkenjen. Semmi okunk feltételezni, hogy a bioszénben az ásványi anyagok bármilyen káros hatással lennének az állatokra, feltéve, hogy az egyes ásványi anyagokra és fémekre megadott határértékeket betartják (EBC, 2012), mivel lényegében ugyanazok az ásványi anyagok fordulnak elő, mint mindegyik növényben.

A különböző vizsgálatokhoz használt növényi szenek elsősorban fából készülnek, de állítanak elő kókuszdió héjából (Jiya és mások, 2013), rizshüvelyből (Leng és mások, 2013b), takarmánytörkölyből (Ayanwale és mások, 2006), bambuszról (Chu és mások, 2013a; Van és mások, 2008b), kukoricaszalmából (Calvelo Pereira és mások, 2014a) és kukoricaszárból

(Kana és mások, 2a11) is. Jelenlegi ismereteink szerint nincs megfelelő kiindulási pont, amely lehetővé teszi egy kiindulási biomassza pontos meghatározását. Ameddig fontos határértékeket, mint pl. H/corg viszonyszámot (= karbonizálási fok), szén- és nehézfém-tartalmat vagy szerves károsanyag-tartalmat kell betartani, nagy valószínűséggel a fából készült bioszén feltétlenül fontos.

12. Összefoglalás

Növényi szenek takarmányként való alkalmazása lehetővé teszi az állatok egészségi állapotának, a táplálkozás hatékonyságának és az istálló klímájának javítását, a tápanyag-veszteségek és a klímagázok emissziójának csökkentését, valamint a humusztartalom és a talaj termőképességének fokozását. Más intézkedésekkel kombinálva az állattenyésztés tartósságát, jó szakmai háttérrel érhetjük el. A több mint 150 szakcikk kiértékelése a bioszén takarmányként való alkalmazása tekintetében azt mutatja, hogy a legtöbb ilyen munkában és a vizsgált állatfajtaánál a különböző paraméterekre (toxin adszorpciója, emésztés, véreredmény, táplálkozás hatékonysága, húsminőség és/vagy emissziók) pozitív hatások érvényesülnek. Sok tanulmányban a többnyire pozitív tendenciáknál nincsenek statisztikailag szignifikáns eredmények. Jelentősebb negatív hatásokról azonban egyik cikkben sem olvashatunk.

Az kétségtelen, hogy az időközben nagy számban megjelent irodalom ellenére még további kutatásokra igencsak nagy az igény. Az eddigi kutatás gyakran inkább empirikus jellegű volt, úgy hogy többen is próbálkoztak az említett hatások pontos leírásával, de a tulajdonképpeni hatásmechanizmus ismeretlen maradt. Különösen vonatkozik ez a takarmányban használt növényi szenekre, amelyek leírása pontatlan vagy hiányos, eddig nem sikerült szisztematikus összehasonlítást tenni. Vissza kellene térni a mezőgazdaságban hasznosított növényi szenek kutatási területeire (talaj és komposztálás), ahol a növényi szenek részletes leírása már alapkövetelmény, valamint az állattenyésztési és állatorvosi vonatkozások is sürgetően fontosak. Jelenleg a gyakorlati alkalmazás az egyetlen támpont a kutatómunkához.

Az eddig megjelent tudományos értekezések alapján évszázadnyi gyakorlati tapasztalat halmozódott fel: (1) bioszén takarmányként mutatott általános hatékonysága, és (2) a bioszénrel kevert takarmány ártalmatlansága területén.

Míg a takarmány hatékonysága mikotoxinok adszorpciója szempontjából, amit a világon mindenütt tartalmaznak a takarmányok 25%-nál nagyobb arányban, egyértelműen olyan stabil, mint sokféle rovarirtó szer, környezetkárosító méreganyag és emésztőrendszeri toxin adszorpciója, valamint az enyhítő hatás is egyértelmű különféle bakteriális és vírusos kórokozó esetén, míg a táplálkozás hatékonysága és a termékminőség minden esetben bizonyítható volt. Alapjában véve igaz: minél jobb és kiegyensúlyozottabb az eledel és az állattartás feltételei adottak, annál kisebb a bioszénrel kevert takarmány hatása. Amennyiben a minőségi követelményeket és használati utasításokat betartják (EBC, 2012), a szerzők véleménye szerint nincs akadálya annak, hogy a növényi szenet takarmányként való alkalmazását engedélyezzék. Az összességében pozitív megítélés ellenére az állattartókat nem könnyű rávenni a bioszénrel kevert takarmányok használatára, különösen nem a nagyüzemi állattenyésztőket. A fő takarmány-komponens minőségi előírásait és a szakszerű állattartás előírt normáit szintén figyelembe kell venni.