



TAKARMÁNYOZÁS A METÁN- CSÖKKENTÉS SZOLGÁLATÁBAN VI.

MENNYIRE SZÁMÍT A GABONASZEMEK FELDOLGOZÁSA ÉS
NEDVES TARTÓSÍTÁSA? (FOLYTATÁS)

**Szakértő
munkatársunk írása**
Állattenyésztési
Teljesítményvizsgáló Kft.

A különféle mechanikai és hidrotermikus feldolgozási eljárások, a pelletálás, valamint a nedves tartósítás eltérő mechanizmusok révén növelhetik a keményítő hozzáférhetőségét a mikrobiális enzimrendszerek és a gazdaállat emésztőenzimjei számára. Míg a mechanikai feldolgozás a gabonaszem külső rétegeinek és endospermiumának megbontásával, valamint a részecskeméret csökkentésével növeli a lebontásnak kitett keményítőfelületet, addig a hidrotermikus kezelések (például a gőzpelyhesítés) megbontják a keményítő-fehérje mátrixot, és – intenzitásuktól függően – részlegesen átalakíthatják a keményítőszemcsék rendezett belső szerkezetét.

A pelletálás szintén mechanikai és hidrotermikus hatásokat egyesít, amelyek mértékét a kondicionálás körülményei és a préselés intenzitása határozzák meg. Nedves tartósítás során pedig a keményítőszemcséket körülvevő fehérjemátrix – benne az egyes gabonafajokra jellemző prolaminnal – a proteolízis következtében fellazul és bizonyos fókig leépül, szabadabbá téve a szemcsék felületének egy részét. E folyamatok módosíthatják a keményítő bendőbeli fermentációjának sebességét és mértékét, valamint a bypass hányad nagyságát és posztrumális emészthetőségét, ami közvetve hatással lehet az enterális metán- (CH_4 -) kibocsátás alakulására.

Csökkentheti a gabonaszemek feldolgozása és nedves tartósítása az enterális CH_4 -kibocsátást?

A napi enterális CH_4 -kibocsátást elsődlegesen a szárazanyag-felvétel (dry matter intake, DMI) határozza meg. Nagyobb DMI mellett több szerves anyag kerül a bendőbe, de az abból ténylegesen fermentálódó mennyiséget a takarmányadag összetétele, az egyes tápanyagok bendőbeli emészthetősége, valamint a passzázsebesség együtt befolyásolja. Az adag összetétele a fermentációs

mintázatot is alakítja, ezen keresztül pedig kihat arra, hogy mennyi hidrogén keletkezik, és az miként oszlik meg a metanogenezis, illetve más felhasználási utak között.

A gabonafeldolgozás és a nedves tartósítás a keményítő enzimes hozzáférhetőségének javításával két, egymással részben ellentétes mechanizmuson



keresztül hatnak a napi enterális CH_4 -kibocsátás alakulására. Egyrészt **nővelhetik a bendőben naponta fermentálódó keményítő mennyiségét**, mellyel – ha más szubsztrátok, különösen a rost lebontása nem esik vissza – a fermentálódó szerves anyag össz mennyisége is nő, és erősödik a CH_4 -termelődés. Másrészt **módosíthatják a képződő VFA-k moláris megoszlását**: emelkedhet a propionát aránya, és alacsonyabbá válhat az acetáté. (VFA-k: *volatile fatty acids* – illő zsírsavak.) Mivel az acetát képződése nettó hidrogénfelszabadulással jár, a propionátszintézis viszont hidrogénfelhasználó folyamat, a VFA-profil ilyen irányú eltolódása csökkentheti a metanogenezishez

rendelkezésre álló hidrogén mennyiségét (Czerkawski, 1986; Johnson és Johnson, 1995). **A napi CH_4 -kibocsátást e két hatás együtt alakítja**: a propionát moláris arányának növekedéséből adódó CH_4 -mérséklődést részben vagy teljesen ellensúlyozhatja, ha naponta – különösen nagyobb DMI mellett – több szubsztrátum fermentálódik a bendőben. (Ráadásul a VFA-profil értelmezése is óvatosságot igényel, ugyanis a bendőfolyadékban mért VFA-koncentrációkat és moláris arányokat a VFA-k termelődése, egymásba történő átalakulása, bendőfalon keresztüli felszívódása és bendőből való továbbjutása egyaránt alakítja.)



Az enterális CH_4 -termelődés szempontjából emellett az is meghatározó, hogy a feldolgozott/tartósított gabona milyen arányban kerül az adagba, és mely más takarmánykomponensek arányát csökkenti. Ha például valamely rostban gazdag összetevőt vált ki, az adag keményítőtartalma növekedhet, NDF-tartalma pedig csökkenhet. (NDF: *neutral detergent fibre* – *neutrális detergens rost*.) Nagy mennyiségű keményítő gyors bendőbeli fermentációja rövid idő alatt fokozhatja a szerves savak képződésének ütemét, amelyek átmeneti felhalmozódásával csökkenhet a bendőfolyadék pH-ja. Amennyiben a pH tartósan vagy ismétlődően a rostbontó mikroorganizmusok számára kedvezőtlen tartományba süllyed, romolhat az NDF emészthetősége, visszaeshet a tejszístermelés, SARA alakulhat ki, és nőhet az ehhez társuló állategészségi problémák kockázata. (SARA: *subacute ruminal acidosis* – *szubakut bendőacidózis*.) **Az emésztés vagy a tejtermelés romlásával járó kibocsátáscsökkenés ezért nem tekinthető kedvező eredménynek.** Ha viszont a feldolgozott gabona egy másik keményítőforrást helyettesít, miközben az adag keményítő- és NDF-tartalma, valamint a

DMI lényegében azonos marad, a CH_4 -válaszban elsősorban a keményítő bendőbeli lebonthatóságának változása és az ebből következő fermentációs mintázat tükröződik.

A továbbiakban bemutatott vizsgálatok többségében a napi abszolút CH_4 -kibocsátást (g/nap) határozták meg, míg fajlagos mutatókat csak kevesebb tanulmány közölt. Az utóbbi paraméterek közé tartozik a napi CH_4 -kibocsátás és a DMI hányadosaként számított CH_4 -hozam (g CH_4 /kg DMI), az egységnyi tej-, energiakorrigált tej- (energy-corrected milk, ECM) vagy zsír- és fehérjekorrigált tejhozamra (fat- and protein-corrected milk, FPCM) jutó CH_4 -intenzitás, valamint a takarmányadag becsült, bendőben fermentálható szervesanyag-tartalmára (estimated rumen-fermentable organic matter, eRFOM) vetített CH_4 -emisszió. A cikkben néhány húsmarhás kísérlet is említésre kerül, mivel eredményeik segíthetik a gabonafeldolgozási és -tartósítási eljárások CH_4 -kibocsátásra gyakorolt hatásának megértését – esetükben a CH_4 -intenzitás nyilvánvalóan nem értelmezhető.



4.1. Mechanikai feldolgozás: javuló energia-hasznosulás és a CH_4 -intenzitás mérséklésének lehetősége

A mechanikai feldolgozás a gabonaszemek termés-héjának és endospermiumának fizikai megbontásával növeli a keményítő enzimes hozzáférhetőségét. A darálás és a száraz hengerlés enterális CH_4 -kibocsátásra gyakorolt hatását eddig **kevés *in vivo* vizsgálat értékelte**. Ráadásul ezek többségét évtizedekkel ezelőtt, kis állatlétszámmal végezték, a CH_4 -termelést pedig főként az energiaforgalom egyik veszteségi tételeként határozták meg, és nem elsődleges kimeneti változóként.



Moe és mtsai. (1973, 1977) anyag- és gázcseremérésekkel követték nyomon a kukorica mechanikai feldolgozásának hatását a takarmányadag energia-hasznosulására laktáló holstein-fríz tehenekben. 1973-ban két, nyolc-nyolc tehénnel végzett kísérletben a szemes és a darált, illetve a darált és a roppantott kukoricát vetették össze, szá.-alapon 40% lucernaszénát, 54,5% kukoricát és 5,5% szójadarát tartalmazó adagok esetében. (szá.: szárazanyag.)

A darált kukorica mindkét összehasonlításban növelte az adag emészthetőenergia- (EE-) és metabolizálhatóenergia- (ME-) koncentrációját. (EE = bruttó energia – trágyával távozó energia; ME = EE – [vizelettel + gázokkal távozó energia]). **Etetésekor a napi CH_4 -energiaveszteség** szignifikáns mértékben, mintegy **22%-kal**, míg **az EE-felvételre vetített CH_4 -energiaveszteség csaknem 29%-kal volt kisebb** a szemes kukoricához képest. A darált és a roppantott forma között azonban nem mutatkozott egyértelmű CH_4 -különbség.

Moe és Tyrrell (1977) laktáló tehenek esetében vizsgálták a szemes, a roppantott és a darált kukorica

energetikai hasznosulását. Az adagok összetétele azonos volt (45% kukorica, 40% rétikomócsin-széna, 15% koncentrátumkeverék); csak a kukorica feldolgozási módjában tértek el egymástól. A takarmány EE-koncentrációja a szemes, a roppantott és a darált kukoricát tartalmazó változatok sorrendjében 2,32, 2,46 és 2,66 Mcal/kg szá., ME-koncentrációja pedig 1,93, 2,11 és 2,29 Mcal/kg szá. volt. Azonos takarmányfelvétel mellett az állatok napi CH_4 -kibocsátása nem különbözött a kezelések között (átlagosan mintegy 330 dm³-t [kb. 236 g-ot] tett ki tehenenként), miközben **az EE-felvételhez viszonyított CH_4 -energiaveszteség a roppantott és a darált kukorica etetésekor kisebb volt a szemes változatnál.**

Wilkerson és mtsai. (1997) laktáló holstein-fríz tehenekkel száraz, illetve nedves kukoricát [high moisture corn, HMC]) etettek, mindkettőt hengerelt vagy darált formában, majd összehasonlították a négy változat tejtermelésre és metanogenezisre gyakorolt hatását. Míg az állatok DMI-je nem különbözött szignifikánsan a csoportok között, a HMC-vel etetett egyedek naponta átlagosan 2,0 kg-mal több tejet termeltek, mint a száraz kukoricát fogyasztók; a darálás pedig a hengerléshez képest 2,2 kg-mal növelte a napi tejtermelést. **A CH_4 formájában bekövetkező napi energiaveszteséget sem a tárolási, sem a mechanikai feldolgozási mód nem befolyásolta szignifikánsan. A CH_4 -intenzitás** viszont a nagyobb tejtermelésből következően számszerűen **kedvezőbb** lehetett, e mutatót azonban a kutatók külön nem értékelték.

Keomanivong és mtsai. (2017) nyolc bendőfisztyulált holstein-fríz tinóval, nagy abrakhányadú adagok etetése mellett tanulmányozták a szárazon hengerelt kukorica feldolgozási intenzitásának (durva: 2,5 mm vs. finom: 1,7 mm átlagos szemcseméret) és az oldható komponenseket is tartalmazó szárított szeszipari gabonatörköly (dried distillers grains with solubles, DDGS) adagon belüli arányának (20, illetve 40%/szá.) hatását a bendőfermentációra és az *in vitro* gázképződésre. A vizsgált tartományban **sem a hengerlési intenzitás, sem a DDGS-szint változtatása nem okozott jelentős eltérést** a bendő pH-jában, az össz-VFA-koncentrációban és **az acetát/propionát arányban**, bár a finomra hengerelt kukorica etetésekor a butirát-koncentráció nagyobb volt. **Az inkubáció gázterében mért CH_4 -koncentrációkban ugyancsak nem mutatkozott szignifikáns eltérés.**



Összefoglalva, a mechanikai feldolgozás nem mérsékli következetesen az állatok napi enterális CH_4 -kibocsátását; kedvező hatása inkább az adag EE- és ME-koncentrációjának, esetenként pedig a tejhozam növekedésében jelentkezik. Ha a napi CH_4 -kibocsátás ezeknél kisebb arányban nő vagy változatlan marad, úgy csökkenhet az EE-felvételre, illetve az egységnyi tejjre vetített CH_4 mennyisége.

A megfelelően megválasztott feldolgozási mód így abszolút kibocsátásmérséklés nélkül is javíthatja az energiahasznosulást, **kedvező tejtermelési válasz esetén pedig mérsékelheti a CH_4 -intenzitást.**

4.2. Hidrotermikus feltárás: intenzitásfüggő változások a keményítőlebontásban és a CH_4 -termelésben

A hidrotermikus eljárásokban a mechanikai feltárást hő- és nedvességhatás, esetenként nyíró- és nyomóhatás egészíti ki. Ezek következtében fellazul a keményítőszemcséket körülvevő fehérjemátrix, maguk a szemcsék pedig – a kezelés intenzitásától függően

– megduzzadnak, kristályos szerkezetük részben felbomlik, majd átalakul (ez az ún. zselatinizáció). Gőzpelyhesített kukoricával és cirokkal végzett kísérletek igazolják, hogy e folyamatok hatására nemcsak a keményítő emészthetősége, de időnként a tej- és tejfehérje-termelés is növekszik (Chen és mtsai., 1994; Theurer és mtsai., 1999; Ferraretto és mtsai., 2013).



A hidrotermikus kezeléshez kapcsolódó fermentációs változások és az enterális CH_4 -kibocsátás közötti kapcsolat összetettségét jól szemlélteti Hatew és mtsai.-nak (2015) 40 laktáló holstein-fríz tehénnel végzett kutatása, amelyben a keményítő bendőbeli lebomlási ütemének hatását natív, lassabban fermentálódó, illetve hidrotermikusan feltárt, lényegesen gyorsabban fermentálódó kukorica etetésével tanulmányozták. A zselatinizált kukoricakeményítő teljes emésztőrendszeri emészthetősége a natív keményítő 95,5%-os értékéhez képest 97,2%-ra, bendőbeli lebomlási sebessége pedig közel háromszorosra nőtt. Ezzel párhuzamosan a bendőfolyadék teljes VFA-

koncentrációja 97,5-ről 109,2 mmol/l-re, a propionát moláris aránya 15,8-ről 16,5 mol/100 mol VFA-ra emelkedett. A kristályos szerkezetét részben elvesztett keményítő növelte az adag becsült, bendőben fermentálható szervesanyag-tartalmát (estimated rumen-fermentable organic matter, eRFOM), miközben **a napi CH_4 -kibocsátás nem változott szignifikánsan.** Ennek eredményeként **az egységnyi eRFOM-ra vetített CH_4 -emisszió** a natív keményítőt tartalmazó adag 47,4 g CH_4 /kg eRFOM értékéről a zselatinizált keményítő etetésekor 42,6 g CH_4 /kg eRFOM-ra **csökkent.** Ez a változás azonban nem járt együtt a CH_4 -hozam mérséklődésével.



A CH_4 -hozam és az eRFOM-ra vetített CH_4 -kibocsátás rokon, de nem azonos mutatók. Míg az előbbi a napi CH_4 -kibocsátás DMI-re, az utóbbi a becsült eRFOM-ra vetített értéke. Ha a CH_4 -hozam változatlan, miközben az eRFOM/DMI arány nő, az eRFOM-ra kalkulált CH_4 -kibocsátás csökken. A kisebb CH_4 /eRFOM ezért önmagában nem bizonyítja sem a napi kibocsátás, sem a CH_4 -hozam mérséklődését.

López-Soto és mtsai. (2014) bendő- és duodenum- (patkóbél-) fisztulált, laktáló holstein-fríz tehenekkel vizsgálták a gőzpelyhesítés hatását az árpa emésztésére és a bendőfermentációs viszonyokra. A 0,45 kg/l térfogattömegű, szárazon hengerelt árpa (kontroll) keményítőjének bendőbeli emészthetősége 42,5%, míg a 0,39 és 0,26 kg/l térfogattömegű gőzpelyhesített változatoké 46,0, illetve 90,5% volt. A feldolgozás intenzitásának növelésével emelkedett a propionát VFA-kon belüli moláris aránya, miközben a bendő pH-ja csökkent (0,26 kg/l pehelysűrűségnél az etetést követő 4. órában átlagosan 5,18 pH-értéket mértek). A DMI a szárazon hengerelt, valamint a közepes és nagy intenzitással gőzpelyhesített árpa etetésekor rendre 15,31; 15,61 és 14,48 kg szá./nap volt. A legvékonyabbra pelyhesített változatnál megfigyelt kisebb takarmányfelvétel háttérben vélhetően a keményítő lényegesen nagyobb mértékű bendőbeli lebomlása és az ezzel járó savasabb bendőkörnyezet állhatott. *In vivo* gázcsere mérés nem történt; a CH_4 -hozamot a VFA-k moláris megoszlása és a bendőben lebomlott szerves anyag mennyisége alapján, Wolin (1960) fermentációs mérlegével becsülték. A számítások szerint **az egységnyi fermentált glükózegyenértékre jutó CH_4 -képződés a 0,39 kg/l pehelysűrűségű változatnál mintegy 5%-kal, a 0,26 kg/l-esnél pedig kb. 12%-kal volt kisebb, mint a szárazon hengerelt árpa esetében.** Az intenzívebb gőzpelyhesítés tehát nagyobb becsült CH_4 -mérsékléssel, de kisebb DMI-vel járt. A kutatók ezért a **laktáló tehenek számára a mintegy 0,39 kg/l pehelysűrűséget tartották optimálisnak**; ez a kísérletben úgy mérsékelte a fajlagos CH_4 -képződést, hogy közben nem csökkent az állatok DMI-je.

A hidrotermikus feldolgozás és a CH_4 -kibocsátás kapcsolatára vonatkozó, egyik legfontosabb *in vivo* eredményt Hales és mtsai. (2012) közölték. Rövid távú energiaforgalmi kísérletükben nyolc, légzéskalorimetriás kamrákban elhelyezett jersey tinó szárazon hengerelt, illetve gőzpelyhesített kukoricára alapozott, 0 vagy 30% WDGS-t (wet distillers grains with solubles – nedves szeszipari gabonatorrköly oldható komponensekkel) tartalmazó takarmánykeveréket kapott. Az állatok napi adagja a létfenntartó energiaszükségletük kétszeresét fedezte.

Gőzpelyhesített kukorica etetésekor az egyedenkénti napi CH_4 -kibocsátás 74,3-ről 58,8 dm³-re (20,9%-kal), míg a CH_4 -hozam 14,1-ről 11,6 dm³ CH_4 /kg DMI-re (17,7%-kal) csökkent a szárazon hengerelt változathoz képest. A 30%-os WDGS-kiegészítés egyik CH_4 -mutatót sem módosította érdemben. E közvetlen adatok alátámasztják, hogy a gőzpelyhesítés a napi CH_4 -kibocsátást és a CH_4 -hozamot is mérsékelheti; az eredmények laktáló tehenekre való általánosításához azonban további vizsgálatok szükségesek.

4.3. Pelletálás és extrúzió: szerkezeti változások, korlátozott kibocsátáshatás

Az abraktakarmányok pelletálásának enterális CH_4 -kibocsátásra gyakorolt önálló hatását eddig kevés kísérlet vizsgálta, mivel a pelletált és nem pelletált takarmányok sok esetben nemcsak fizikai formájukban, hanem alapanyag-összetételükben, illetve az előaprítás mértékében is különböznek egymástól, továbbá a pelletálás CH_4 -termelésben játszott szerepe nehezen különíthető el az egyidejűleg érvényesülő egyéb élettani és takarmányozási tényezőkétől.

E módszertani korlátok mellett Khan és mtsai. (2023) azt tanulmányozták, hogy miként befolyásolja az azonos kémiai összetételű, extrudált árpapellet-változatok eltérő (kis, közepes és nagy) sűrűsége a keményítőemésztést és az enterális CH_4 -kibocsátás alakulását. *(Fontos megjegyezni, hogy az extrúzió [extrudálás] technológiailag nem azonos a hagyományos, gőzkondicionálást követő préseléses pelletálással.)* A kísérletet bendő-, duodenum- és ileum- (csípóbél-) fisztulált, laktáló dán holstein-fríz tehenekkel végezték. Az állatok DMI-jét a pelletsűrűség nem befolyásolta szignifikánsan, és a keményítő emészthetőségében sem mutatkozott statisztikailag igazolt eltérés a vizsgált tápcsatornaszakaszokban. A nagy sűrűségű változatnál azonban a kétszeri abrakadagolást magában foglaló, 16 órás mintavételi időszak egészét tekintve nagyobb duodenális keményítőáramot mértek, és a bendőbeli acetát/propionát arány is magasabb volt, mint a másik két pellet esetében. Ez arra utal, hogy **a nagy pelletsűrűség és folyadékstabilitás lassíthatja a keményítő bendőbeli lebomlását, illetve fokozhatja**



annak duodenumba jutását. A légzőkamrában mért napi CH_4 -kibocsátás tehenenként 595, 535 és 536 dm^3 CH_4 /nap, a CH_4 -hozam pedig 31,8, 30,5 és 32,4 dm^3 CH_4 /kg DMI volt a pelletsűrűség növekvő sorrendjében; de egyik mutatóban sem találtak szignifikáns eltérést. A szerzők szerint a kezelések bendőfermentációra

gyakorolt összehatása túl csekély volt ahhoz, hogy a CH_4 -kibocsátásban érdemi eltérést okozzon; ebben a fermentációs mintázat mellett a bendőben fermentálódó tápanyagok mennyisége és a lebontás során keletkező hidrogén egyéb felhasználási útjai is szerepet játszhattak.



Az **extrúzió (extrudálás)** intenzív hidrotermikus-mechanikai eljárás, amely során az alapanyagot előbb magas hőmérséklet, nagy nyomás és intenzív nyíróhatás éri, majd egy nyílásokkal ellátott formázóelemen (matricán) préselik át. A berendezésből való kilépéskor bekövetkező hirtelen nyomáscsökkenés és gyors vízpárolgás a termék kitágulását és porózus szerkezetének kialakulását idézi elő. A kezelés hatására fellazul a keményítőszemcséket körülvevő fehérjemátrix, a szemcsék kristályos rendezettsége pedig csökken. Ez részleges vagy csaknem teljes zselatinizációhoz, míg nagyobb hő- és nyíróterhelés mellett részleges lánchasadáshoz vezet. Az amilóz- és amilopektinláncok a feldolgozást követő hűtés és tárolás során részben újrarendeződhetnek, amelynek révén kevésbé hozzáférhetővé válhatnak a keményítőtomboló (amilolitikus) enzimek számára.

4.4. Nedves tartósítás: javuló keményítő-hozzáférhetőség, kedvező CH_4 -válasz

Nedves tartósítás során – visszanedvesített gabona esetében a hozzáadott víz szemek általi felvételét követően – anaerob mikrobiális fermentáció indul meg. A folyamatban képződő szerves savak – elsősorban tejsav – felhalmozódása csökkenti a silózott szemes termék pH-ját. Tárolás alatt a proteolízis részlegesen megbontja a keményítőszemcséket körülvevő fehérjemátrixot, amelyet kukoricában elsősorban zeinek, cirokban pedig kafirinek alkotnak. Ezáltal a szemcsék felületének nagyobb része válik hozzáférhetővé az amilolitikus enzimek számára, ami

azonban – a hidrotermikus eljárásoktól eltérően – nem a keményítő termikus zselatinizációjából ered.

Hoffman és mtsai. (2011) két kukoricahibrid 25,7, illetve 29,3% nedvességtartalmú szemtermését őrlés után HMC-ként tartósították, majd 240 napon át nyomon követték a keményítő-fehérje mátrix átalakulását. (HMC: high-moisture corn – nedves kukorica.) A **silózási idő előrehaladtával** nőtt a borát-foszfát pufferoldatban oldható nyersfehérje koncentrációja, miközben **a legtöbb zeinfrakció mennyisége csökkent** (például a mátrix térhálós szerkezetének fenntartásában meghatározó γ -zeineké



a két hibridben rendre 42,2, illetve 73,2%-kal lett kisebb a 240. napra). A kutatók ezzel párhuzamosan a keményítőszemcsék alkotta csoportok részleges szétválását is megfigyelték, amellyel hozzáférhetőbbé vált a keményítő a bendőmikrobák számára. Enterális CH_4 -termelést nem mértek, de **a szerkezeti változások**

elméletileg hozzájárulhatnak a CH_4 -hozam mérséklődéséhez, amennyiben nő a propionát VFA-kon belüli relatív aránya. A tényleges CH_4 -választ emellett a takarmányadag összetétele, a DMI, valamint a bendőben lebomló szubsztátum mennyisége és a fermentációs végtermékek megoszlása is befolyásolja.



Fotó forrása: DuraTech Industries International, Inc.

Almeida és mtsai. (2022) laboratóriumi vizsgálatban hasonlították össze a HMC-t vagy szárazon hengerelt kukoricát tartalmazó, karbamiddal, illetve négyféle nitrátforrás valamelyikével kiegészített adagok fermentációs jellemzőit. A 12 és 24 órás *in vitro* inkubációt követően meghatározták a szá. és az NDF lebonthatóságát, a VFA-profilt, valamint a termelődő CH_4 mennyiségét. Eredményeik szerint **a HMC a szárazon hengerelt kukoricával összevetve** növelte a szá.- és az NDF-lebonthatóságot, fokozta a propionátképződést, míg a 24. óra végére **34%-kal csökkentette az egységnyi lebontott szá.-ra vetített CH_4 -kibocsátást.** Mivel az inkubációkat azonos kiindulási szubsztátummennyiséggel végezték, a CH_4 -termelést pedig a lebontott szá. egységére vetítették, a HMC esetében tapasztalt kisebb fajlagos CH_4 -képződés nem magyarázható korlátozottabb szubsztátélérhetőséggel vagy az inkubált szá. kisebb mértékű lebomlásával. Az eredmények így összhangban állnak azzal az értelmezéssel, miszerint a HMC keményítőjének nagyobb bendőbeli fermentálhatósága kedvez a propionátképződésnek, aminek következtében kevesebb hidrogén marad a metanogenezis számára.

A mechanikai feldolgozás és a nedves tartósítás együttes következményeit Lynch és mtsai. (2024) RUSITEC bendőszimulációs rendszerrel tanulmányozták. Ehhez először a vizsgált száraz árpa szá.-tartalmát víz hozzáadásával 65%-ra állították be, majd 2,31, 1,86, illetve 1,40 mm-es hengerhézaggal rendre durvára, közepesre és finomra hengerelték, végül egy hónapig silózták. A kontrollkezelésben az árpát visszanedvesítés nélkül, 1,86 mm-es hengerhézaggal hengerelték. A visszanedvesített szemek a kontrollénál nagyobbak voltak, hengerlésük során pedig kevesebb finomrészcseke képződött; e változatokon belül a feldolgozás intenzitásának fokozásával lineárisan nőtt a szá., a szerves anyag és a keményítő lebomlásának mértéke, valamint a teljes VFA-termelés, miközben sem a finomfrakció aránya, sem a propionát moláris aránya nem változott érdemben. A CH_4 -termelés emelkedett: a durvára, közepesre és finomra hengerlés sorrendjében naponta 55,1, 83,5 és 140,8 mg CH_4 /fermentor, az inkubáció során lebontott (eltűnt) szerves anyagra vetítve pedig 7,6, 10,9 és 17,3 mg CH_4 /g képződött. A szárazon hengerelt kontroll releváns értékei 197,4 mg CH_4 /fermentor/nap, illetve 23,9 mg CH_4 /g



lebontott szerves anyag voltak. Az abszolút CH_4 -termelésnek a feldolgozás intenzitásával párhuzamos növekedése részben a szerves anyag (és ezen belül a keményítő) nagyobb mértékű lebomlásával magyarázható. Mivel azonban az egységnyi fermentált szerves anyagra jutó CH_4 mennyisége is emelkedett, feltehetően a fermentáció sztöchiometriája, illetve a képződő hidrogén különböző felhasználási utak közötti megoszlása is módosult. **Kedvező eredményként értékelhető viszont, hogy mindhárom visszanedvesített és silózott változat ese-**

tében a két CH_4 -mutató értéke egyaránt elmaradt a szárazon hengerelt kontrollétól. A különbség ugyanakkor nem tulajdonítható egyértelműen a nedves tartósításnak, mivel a takarmányok fizikai jellemzői is eltértek, és a kísérletben nem szerepelt silózatlan, visszanedvesített kontroll. A RUSITEC-eredmények mindazonáltal felvetik a nedves tartósítás CH_4 -mérséklő hatásának lehetőségét; ennek teljes tehenekben történő igazolásához azonban *in vivo* vizsgálatok szükségesek.

A gabonafeldolgozás és a nedves tartósítás CH_4 -kibocsátásra gyakorolt hatását a kutatók több, egymástól elkülönítendő szinten értékelték. **A napi enterális CH_4 -kibocsátás nem egységesen változott,** ezért e technológiák alkalmazása önmagában nem garantálja az abszolút emisszió mérséklődését. A **CH_4 -hozam** egyes *in vivo* vizsgálatokban **csökkent;** más kísérletekben pedig az egységnyi fermentált vagy lebontott szubsztrátumra, illetve az EE-felvételre vetített CH_4 -képződés mérséklődött (e fajlagos mutatók azonban nem azonosak a DMI-re számított CH_4 -hozammal). Tej-, ECM- vagy FPCM-alapú **CH_4 -intenzitást** a bemutatott munkák egyike sem közölt közvetlenül. **Több összehasonlításban** azonban változatlan napi CH_4 -kibocsátás mellett nőtt a tejtermelés, ami **kisebb CH_4 -intenzitást valószínűsít;** ennek mértékét és statisztikai igazoltságát azonban nem elemezték.

Összességében tehát a tárgyalt eljárások gyakorlati előnye elsősorban a keményítő- és energiahasznosulás javításának, esetenként pedig a tejtermelés növelésének lehetőségében rejlik. Gazdasági előny akkor várható, ha a nagyobb tej- és tejkomponens-termelésből származó többletbevétel – nedves tartósítás esetén a szárítás elhagyásából eredő megtakarítással együtt – meghaladja e technológiák alkalmazásának költségeit és a különféle veszteségek értékét. A feldolgozás módját és intenzitását, illetve a nedves tartósítás feltételeit az adott gabona és a teljes takarmányadag jellemzőihez igazodva úgy célszerű megválasztani, hogy azok a DMI- és az NDF-emészthetőség romlása, illetve a bendőfermentáció stabilitásának veszélyeztetése nélkül javítsák az energiahasznosulást, valamint lehetőség szerint a tejtermelést.

A felhasznált források listáját a cikk terjedelmi korlátai miatt nem közöljük, az a szerkesztőségben érhető el.

