



TAKARMÁNYOZÁS A METÁN- CSÖKKENTÉS SZOLGÁLATÁBAN III.

A METÁNKIBOCSÁTÁS ÖSSZEFÜGGÉSEI A ROST MINŐSÉGÉVEL
ÉS FIZIKAI HATÉKONYSÁGÁVAL

Szakértő
munkatársunk írása
Állattenyésztési
Teljesítményvizsgáló Kft.

A takarmány szénhidrátjainak bendőben zajló mikrobiális lebontása során a kérődzők energiaellátásában meghatározó szerepet játszó illó zsírsavak (volatile fatty acids, VFA-k), különféle köztes anyagcseretermékek, valamint gáz-halmazállapotú fermentációs végtermékek keletkeznek. A lebontási folyamatok során felszabaduló hidrogénnek és elektronoknak – akár szabad formában, akár redoxszerepet betöltő molekulákhoz kötötten – további anyagcsereutakba kell terelődniük ahhoz, hogy a fermentáció redoxegyensúlya és zavartalan működése fennmaradjon. Ez részben a mikrobák sejtjein belül, redukált fermentációs végtermékek – például propionát, laktát vagy etanol – képződése révén valósul meg, részben pedig úgy, hogy az extracelluláris bendőközegbe jutó hidrogén, valamint a köztes hidrogén- és elektronhordozóként szolgáló formiát a metanogenezis szubsztrátjává válik. Az anyagcsereutak iránya ezért azt is befolyásolja, hogy a takarmánylebontás során keletkező redukálóerő milyen mértékben kapcsolódhat be az enterális metán- (CH_4 -) termelésbe. Az **acetátképződés erősödése** – amelynek a rostbontás rendszerint kedvez – általában

nagyobb hidrogén-hozzáférhetőséggel jár együtt, és így **kedvezhet a metanogén folyamatoknak, míg a propionátképződés fokozódása ezzel ellentétes hatású.** Ennek megfelelően **a VFA-profil alakulása** – mindenekelőtt az acetát:propionát arány – **közvetett jelzője lehet a bendő hidrogénforgalmának, és ezen keresztül a CH_4 -termelés feltételeinek.**



A takarmányadag rosttartalma, továbbá a rost minősége és fizikai hatékonysága fontos szerepet játszik a tejtermelés, különösen a tejsírtermelés alakulásában. E hatások azonban nem önmagukban, hanem az adag egészének összetételével, fizikai szerkezetével – így például a TMR homogenításával, részecskeméret-eloszlásával és válogathatóságával –, valamint a bendőben hozzáférhető szénhidrátfrakciók arányával és fermentációs dinamikájával összefüggésben érvényesülnek. A takarmány rostjának döntő részét a növényi sejtfa fő poliszacharidjai, a cellulóz és a hemicellulóz alkotják, melyek a nem szénhidrátjellegű ligninnel együtt meghatározó szerepet játszanak a növényi szövetek szilárdságának alakulásában.

A cellulóz és a hemicellulóz bendőbeli lebomlása rendszerint lassabb, mint a vízoldható cukroké vagy egyes, viszonylag gyorsan hozzáférhető keményítőforrásoké. Ez nemcsak a kémiai sajátosságaikból, hanem a növényi szövetek anatómiai és sejtfa szerkezeti adottságaiból is következik. A szár:levél arány, a sejtfa vastagsága és a lignifikáció mértéke egyaránt befolyásolja, hogy a

rostbontó mikrobák részecskefelszíni kolonizációjuk és enzimaktivitásuk révén milyen hatékonysággal képesek feltárni a sejtfa-poliszacharidokat (Akin, 1989; Wilson, 1991; Jung és Allen, 1995). Mivel a lignin a bendőben csak igen korlátozott mértékben bontható, a cellulózhoz és a hemicellulózhoz kapcsolódva csökkenti azok emészthetőségét. Az itt felsorolt növény szerkezeti tényezők, valamint a betakarítási és tartósítási körülmények együttes hatására **azonos NDF-tartalom mellett is számottevő különbségek jelentkehetnek a rost bendőbeli hasznosulásában**; mindez pedig **a CH₄-kibocsátás alakulásában is tükröződhet.** (NDF: *neutral detergent fibre – neutrális detergens rost, amely cellulózt, hemicellulózt és lignint egyaránt tartalmaz.*)



A növényi sejtfa mechanikai szilárdságát és stabilitását döntően a cellulóz, a hemicellulóz és a lignin egymáshoz kapcsolódó hálózata határozza meg. (Lásd az 1. ábrát.) A **cellulóz** glükózegységekből felépülő, hosszú, lineáris makromolekula, amely mikrofibrillumokba rendeződve a sejtfa teherhordó vázának alapját adja. Szerkezeti sajátosságai és sejtfa béli beágyazottsága miatt a mikrobiális enzimek számára kevésbé hozzáférhető, ezért általában lassabban bomlik, mint a hemicellulóz. Emészthetősége azonban a takarmánynövény anatómiai jellemzőitől, lignifikációjának mértékétől, valamint a bendő fermentációs viszonyaitól függően tág határok között változhat.

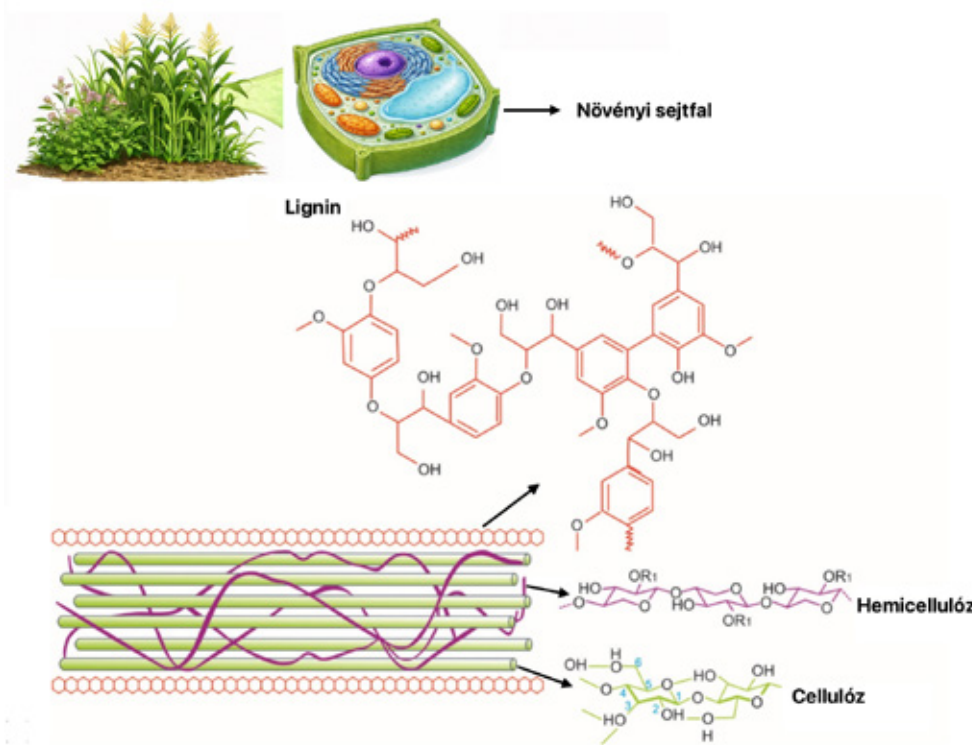
A **hemicellulóz** a cellulózzal szemben nem egyetlen vegyület, hanem a sejtfa mátrixában, a cellulóz-mikrofibrillumok között elhelyezkedő, szerkezetileg változatos poliszacharidok gyűjtőneve. Ide tartoznak többek között a xilánok, a glükomannánok, a galaktomannánok és a xiloglükánok. A hemicellulóz monoszacharid-összetétele és térszerkezete heterogénebb a cellulóznál, ami általában kedvezőbb mikrobiális hozzáférhetőséggel jár.

A szarvasmarha saját emésztőenzimjei a sejtfa-poliszacharidok bontására csak korlátozottan képesek, ezért **hasznosításuk alapvetően a bendő rostbontó mikrobáinak tevékenységétől függ.** Ebben elsődleges szerepet a baktériumok – például a *Fibrobacter*, a *Ruminococcus* és a *Butyrivibrio* nemzetség tagjai stb. – töltenek be, de egyes protozoonok is hozzájárulhatnak a rostfeltáráshoz. A cellulóz hidrolízise során cellobióz (egy két glükózegységből álló diszacharid) és glükóz keletkezik, míg a hemicellulóz átalakítása rendszerint oligoszacharid-intermediereken keresztül zajlik; a xilánok bontása például a xilo-oligoszacharidokon át vezet a xilózig.

A **lignin** nem szénhidrát, hanem komplex, térhálós szerkezetű, aromás fenolos polimer, amely a sejtfaiban a cellulóz- és hemicellulóz-frakciókhoz szorosan kapcsolódik. Elsődleges biológiai funkciója a sejtfa mechanikai szilárdságának növelése, a vízvezetésben szerepet játszó struktúrák erősítése, valamint a növényi szövetek mikrobiális és fizikai károsodással szembeni védelme. A lignifikáció előrehaladtával csökken a rost bendőbeli hasznosulása, miközben nő az emészthetetlen sejtfa részecskék aránya.



1. ábra: A növényi sejtfal fő szerkezeti komponensei



Forrás: Ojo (2023) nyomán saját készítés.

Az NDF mennyiségén túl a rost minősége és fizikai hatékonysága is meghatározó

A rost bendőbeli szerepének és az enterális CH_4 -képződésre gyakorolt hatásának megítéléséhez nem elegendő pusztán a takarmányadag NDF-tartalmát ismerni. Legalább ilyen fontosak az NDF-frakció kémiai-szerkezeti és emészthetőségi jellemzői, lebomlási dinamikája, bendőretenció ideje, valamint a fizikai hatékonysága is, vagyis az, hogy milyen mértékben támogatja a kérődzést, a nyáltermelést és a bendő-pH stabilitását. Az NDF minőségét és bendőbeli hasznosíthatóságát elsősorban az emészthetősége (NDF digestibility, NDFd), a potenciálisan emészthető hányada (potentially digestible NDF,

pdNDF), egy adott inkubációs időtartam után visszamaradó, emésztetlen része (undigested NDF, uNDF), illetve az ezeket befolyásoló sejtfalszerkezeti és mikrobiális hozzáférhetőségi tényezők jellemzik. A bendőbeli NDF-lebomlás szempontjából a felsorolt mutatók közül különösen a pdNDF-hányad meghatározó; ám e potenciálisan emészthető rostfrakció tényleges hasznosulásának arányát a lebomlás sebessége, a takarmányrészecskék mérete, valamint a bendőbeli tartózkodási idő és a továbbhaladás üteme együttesen szabja meg.

Az NDF minőségének jellemzésére szolgáló mutatók közül az **NDFd** az NDF emészthetőségét fejezi ki, vagyis azt, hogy a tömegtakarmány vagy a TMR NDF-frakciójának mekkora hányada bomlik le egy meghatározott inkubációs időtartam (például $t = 24, 30$ vagy 48 óra) alatt. Azonos NDF-szint mellett a nagyobb NDFd-érték rendszerint kedvezőbb rosthasonosulásra és sok esetben intenzívebb fermentációs dinamikára utal, ami jobb termelési hatékonyságot és nagyobb tejszírtermelést tesz lehetővé.

Az **uNDF** a t (gyakran 120 vagy 240) órás *in vitro* inkubáció után visszamaradó, gyakorlatilag emészthetetlen NDF-frakciót jelöli.

A **pdNDF** egy laboratóriumi módszerrel becsült, elméleti jellegű mutató, amely azt jelzi, hogy az NDF mekkora hányada tekinthető potenciálisan emészthetőnek. Meghatározása leggyakrabban hosszú idejű, például 240 órás inkubációval történik, az aNDF_{om} – egyes definíciókban az NDF – és az inkubáció után visszamaradó uNDF_{240} különbségként. (aNDF_{om} : amylase-treated, ash-corrected NDF – amilázzal kezelt, hamumentes NDF.)



Fontos hangsúlyozni, hogy az NDFd önmagában nem írja le a rostlebomlás teljes dinamikáját, így azonos NDFd-érték mellett két takarmány pdNDF- és uNDF-hányada, valamint pdNDF-jének lebomlási sebessége számottevően eltérhet. Ezért a korszerű takarmányértékelési modellek a pdNDF-et, az uNDF-et és a lebomlási sebességet együtt veszik figyelembe a bendőteltség, a szárazanyag-felvétel (dry matter intake, DMI) és a tápanyagellátás becslésekor (Amburg és mtsai., 2015).

Mint említettük, az NDF jelentősége nem merül ki abban, hogy sejtfal-szénhidrátokat biztosít a bendőmikrobák számára: a fizikailag hatékony NDF-hányad (physically effective NDF, peNDF) a bendő zavartalan működésének és a kiegyensúlyozott fermentációs viszonyok fenntartásának is fontos tényezője (Mertens, 1997). A megfelelő részecskeméretű és fizikai szerkezetű rost ugyanis a rágás, a kérődés és a nyáleválasztás fokozásán keresztül hozzájárul a kedvező bendőkémhatás fenntartásához. A peNDF azonban csak részben magyarázza a bendő-pH alakulását, mivel azt a takarmány emészthetősége, keményítő- és cukortartalma, a DMI, valamint ezek kölcsönhatásai is befolyásolják.

A túl alacsony peNDF-ellátás – különösen magas koncentrátumhányadú, gyorsan fermentálható szénhidrátokban gazdag adagok esetében – növelheti a lebontási zavarok és a szubakut bendőacidózis

(subacute ruminal acidosis, SARA) kialakulásának kockázatát, míg a túlzott peNDF-ellátás a bendő fizikai telítődésének fokozása, illetve egyes esetekben a DMI mérséklése révén visszafoghatja a termelést.

Mindez a CH₄-kibocsátás szempontjából azért lényeges, mert a takarmányadag koncentrátumarányának növelésére épülő CH₄-mérséklési stratégiák bizonyos esetekben a rost adagon belüli arányának vagy fizikai hatékonyságának csökkenéséhez vezetnek. Ha ez gyengíti a rostemésztést és kedvezőtlenül befolyásolja a bendőfermentáció stabilitását, a tejtermelés hatékonysága romolhat, ami közvetve az egységnyi termelt tejjre vetített CH₄-kibocsátás (vagyis a CH₄-intenzitás) emelkedéséhez vezethet. Ezért az ilyen jellegű takarmányozási beavatkozások értékelésekor az NDF-szint mellett a rost minőségének és fizikai hatékonyságának figyelembevétele is elengedhetetlen (Yang és Beauchemin, 2009).

2. ábra: A Pennsylvániai Állami Egyetemen kifejlesztett takarmányfrakcionáló eszköz, az ún. Penn State szeparátor a takarmányadag részecskeméret-eloszlásának, fizikai szerkezetének és homogenitásának vizsgálatára szolgál



Fotó forrása: Havekes (2022), AGProud.com.



A Penn State szeparátor gyakorlatilag egy többszintes rázóláda, amely különböző lyukátmérőjű (19, 8, 4 és egyes változatokban 1,18 mm-es) szitákból, valamint egy alsó gyújtótálcából áll. A peNDF-hányad becslésekor a takarmányadag/TMR NDF-tartalmát a fizikailag hatékonynak tekintett részecskefrakció arányával szorozzák. A klasszikus Mertens-féle (1997) megközelítésben az utóbbi jellemzően az 1,18 mm-nél nagyobb részecskék arányát jelenti, vagyis: **peNDF \approx NDF \times (\geq 1,18 mm részecskék aránya)**. Fontos hangsúlyozni, hogy a peNDF értelmezésében elsősorban az 1,18 mm-es határnak van kiemelt jelentősége. A további frakcióhatárok főként a mérés és a gyakorlati takarmányértékelés szempontjából hasznos kategóriák, nem pedig élesen elkülönülő fiziológiai küszöbök.

A részecskeméret-frakciók gyakorlati értelmezése a következőképpen foglalható össze:

- > 19 mm (a 19 mm-es szitán fennmaradó) takarmányrészecskék: erősen stimulálják a rágást és a kérődzést, így növelik a nyáltermelést, és hozzájárulnak a bendő-pH stabilizálásához. Túl magas arányuk ugyanakkor fokozhatja a takarmányválogatást, és ronthatja a TMR homogenitását (Lammers 1996; Heinrichs 2013);
- 8–19 mm (a 19 mm-es szitán áteső, de a 8 mm-es szitán fennmaradó) takarmányrészecskék: jelentős fizikai hatékonyságuk révén támogatják a bendőműködés stabilitását. Mikrobiális hozzáférhetőségük azonban már kedvezőbb az előbbi frakcióhoz képest (Mertens 1997; szeparátoralkalmazási irányelvek);
- 1,18–8 mm (a 8 mm-es szitán áteső, de az 1,18 mm-es szitán fennmaradó) takarmányrészecskék: rágást és kérődzést fokozó hatásuk, valamint fizikai struktúraképző szerepük általában kisebb, mint a nagyobb frakcióké, lebomlásuk viszont gyorsabb azokénál (Mertens 1997; Zebeli és mtsai., 2012);
- < 1,18 mm (az 1,18 mm-es szitán áteső) takarmányrészecskék: rágást és kérődzést serkentő hatásuk csekély, ezért a klasszikus peNDF-számítás szerint nem sorolhatók a fizikailag hatékony NDF-hányadba. Mikrobiális hozzáférhetőségük rendszerint kedvezőbb, bendőbeli tartózkodási idejük pedig rövidebb, mint a nagyobb részecskéké.

A rost kémiai és fizikai sajátosságai a rostemésztés mértékén, a takarmányrészecskék bendőbeli tartózkodási idején és lebomlási dinamikáján, valamint a bendőfermentáció stabilitásán keresztül befolyásolhatják a VFA-profil alakulását és a termelési teljesítményt. A rost bendőbeli lebontása – a keményítőben gazdagabb, propionátképződés felé tolódó fermentációval szemben – rendszerint magasabb acetátarányú VFA-profilt eredményez, ami különösen a tejsírszintézisnek kedvez, de a metanogenezis számára is több hidrogént tehet hozzáférhetővé. **Ennek megfelelően a jó minőségű, kevésbé lignifikált, nagyobb NDFd-értékű és kedvezőbb pdNDF:uNDF arányú rostforrások emésztésekor sem feltétlenül csökken a napi CH₄-kibocsátás;** ha azonban a jobb rostemésztetőség nagyobb DMI-vel és kedvezőbb termelési teljesítménnyel társul, a CH₄-intenzitás mérséklődhet, feltéve, hogy a tejtermelés növekedése arányosan nagyobb, mint a napi CH₄-kibocsátásé.

Mindezek alapján a megfelelő tejhozam és tejsírtermelés fenntartását szolgáló telepi rostmenedzsment nem csupán az adag NDF-tartalmának beállítását jelenti, hanem az NDF mennyiségi, minőségi és fizikai jellemzőinek tudatos



összehangolását is, beleértve az NDFd-, pdNDF-, uNDF- és peNDF-paramétereket. **Ugyanez a komplex szemlélet az enterális CH₄-intenzitás mérséklése szempontjából is meghatározó: a cél nem a rost**



szerepének háttérbe szorítása vagy szélsőséges koncentrátumarány alkalmazása, hanem olyan kiegyensúlyozott adag kialakítása, amely megfelelő mennyiségű, jól emészthető és kedvező fizikai szerkezetű tömegtakarmányra, valamint

kontrollált koncentrátumarányra épül. Ily módon a rostemésztés, a takarmányhasznosítás és a termelési teljesítmény együttes optimalizálása elsősorban a fajlagos emissziót foghatja vissza, miközben a napi enterális CH_4 -termelés nem feltétlenül csökken.

Keményítő és rostemésztés: kölcsönhatások a bendőben

A koncentrátumarány növelésének tömegtakarmány-helyettesítő hatásáról előző írásunkban már szó volt, ezért itt csak a keményítő rostemésztésre gyakorolt hatásait tárgyaljuk. A rost bendőbeli hasznosulását a korábban ismertetett tényezők mellett a takarmányadag szénhidrát-összetétele, a keményítő mennyisége, forrása, fermentálhatósága és feldolgozottsága, illetve a DMI is befolyásolja. **A keményítőtartalom növelése egyes esetekben ronthatja az NDFd-t;** ez főként akkor következik be, ha a takarmányadag peNDF-ellátottsága nem kielégítő, a rostforrás eleve lassan vagy korlátozott mértékben emészthető, a keményítő pedig gyorsan fermentálódik, felerősítve ezzel a bendő-pH ingadozását. Ilyen körülmények között az instabilabb bendőkörnyezet és a nagyobb savterhelés visszaszoríthatja a cellulolitikus mikroorganizmusok aktivitását, ami mérsékelheti a rostbontás hatékonyságát (Firkins és mtsai., 2001; White és mtsai., 2016). Bizonyos esetekben a teljes emésztőtraktusbeli NDF-emészthetőség is csökkenhet (Ferraretto és mtsai., 2013).

A takarmányadag keményítőtartalma és az NDFd közötti kapcsolatot számos kutatás vizsgálta. De Souza és mtsai. (2018) metaanalízisükben 54 tudományos kísérlet adatait dolgozták fel, amelyek 662 nagy termelésű tejlő tehénre vonatkozó, több mint 1 900 megfigyelésből származtak. A modellbecslések szerint a takarmányadag keményítőtartalmának 1 százalékpontos növekedése mellett a teljes emésztőtraktusbeli NDFd-érték mintegy 0,6 százalékponttal lett alacsonyabb. A rost emészthetőségének mérséklődésében a nagyobb DMI is szerepet játszhatott a takarmány bendőbeli tartózkodási idejének rövidülése révén. Az NDFd csökkenése ezért nem kizárólag pH- vagy acidóziskérdésként, hanem emésztésdinamikai összefüggésként is értelmezhető.

Érdemes kiemelni Lechartier és Peyraud (2011) vizsgálatát is, amelyben hat bendőfisztulázott tejlő tehén bevonásával értékelték a takarmány keményítősintjének, valamint a koncentrátum gyorsan lebomló szárazanyag-frakciójának (rapidly

degradable dry matter, RDDM) bendőfermentációra és rostbontásra gyakorolt hatásait. A kukoricaszilázs-alapú adagok szárazanyagában a keményítő aránya 25, illetve 41% volt, melyekhez három RDDM-szint társult. A 18, 23 és 28%-os RDDM-szinteket gyorsabban és lassabban lebomló keményítőforrások (búza vs. kukorica), valamint nem keményítő jellegű szénhidrátforrások (citruspép vs. szójadara/szójahéj) különböző arányú kombinálásával állították be.



Az RDDM emelése lineárisan csökkentette (2,7-ről 2,1-re) az acetát:propionát arányt. Ezzel párhuzamosan a bendőfermentáció napi változékonysága is fokozódott: a bendő-pH napon belüli ingadozásának tartománya 0,86-ről 1,12 pH-egységre, a VFA-koncentrációé pedig 34-ről 56 mM-ra nőtt. A nagyobb keményítőtartalmú adag hasonló mintázatot mutatott: az acetát:propionát arány 2,6-ről 2,0-re tolódott, a bendő-pH napi ingadozásának tartománya 0,89-ről 1,04 pH-egységre emelkedett, miközben az *in sacco* módszerrel becsült rostbontó aktivitás 62%-ról kb. 50%-ra mérséklődött. Mindez azt jelzi, hogy a keményítőterhelés a bendő-pH csökkenésén és a fermentációs ingadozások erősödésén keresztül gyengítheti a cellulolitikus mikrobiális aktivitást, rontva ezáltal a rostbontás hatékonyságát.

A takarmány keményítőtartalma és az NDFd közötti ellentétes irányú kapcsolat azonban nem minden



kísérletben érvényesül egyértelműen (például Oba és Allen, 2003; Beckman és Weiss, 2005; Weiss és mtsai., 2011). Ez arra utal, hogy a hatás mértékét az adag összetétele, a rostforrás sajátosságai, a keményítő fermentálhatósága, az értékelés szintje – bendőbeli vagy teljes emésztőtraktusbeli NDFd –, valamint egyéb tényezők is befolyásolhatják.

Az enterális CH_4 -kibocsátás mérséklése szempontjából a magasabb keményítőtartalom sok esetben kedvező lehet, mivel több vizsgálatban alacsonyabb CH_4 -hozammal – vagyis egységnyi DMI-re jutó CH_4 -kibocsátással – és kisebb CH_4 -intenzitással társult (például Knapp és mtsai., 2014; Hatew és mtsai., 2015; Bougouin és mtsai., 2018). Ez elsősorban azzal magyarázható, hogy a keményítőben gazdagabb adagok emésztésekor

fokozódhat a propionátképződés, amely a hidrogén egy részét a metanogenezis helyett alternatív anyagcsereút felé tereli. **A kedvező CH_4 -hatás azonban csak akkor érvényesülhet biztonságosan, ha közben nem sérül a bendőfermentáció egyensúlya, és nem romlik a rostemésztés hatékonysága.** Amennyiben az adag keményítőtartalmának növelése a peNDF csökkenésével, fokozott pH-ingadozással és a cellulolitikus aktivitás gyengülésével jár, az NDF-hasznosulás, a takarmányértékesítés és végső soron a tejtermelés hatékonysága is romolhat. Ilyen esetben a CH_4 -hozamban vagy a CH_4 -intenzitásban jelentkező előny részben vagy teljesen elveszhet, illetve emésztésélettani kockázatokkal társulhat (Lechartier és Peyraud, 2011; Voelker és Allen, 2003).



Fotó forrása: Jansen (2017), DairyGlobal.

A keményítő metanogenezisben betöltött szerepét jól példázza Bougouin és mtsai.-nak (2018) fűszilázsalapú kísérlete, amelyben eltérő szénhidrátprofilú takarmányadagokat hasonlítottak össze. A 23,1%-os keményítőtartalmú takarmány etetésekor a napi CH_4 -kibocsátás 18%-kal, a CH_4 -hozam 15%-kal, a CH_4 -intenzitás pedig 19%-kal volt alacsonyabb, mint az 5,9%-os keményítőtartalmú, nagyobb NDF-hányadú adag esetében. A kutatók ezt elsősorban a bendőben élő protozoonok számának csökkenésével és a propionátképződés fokozódásával magyarázták. Ugyanakkor hangsúlyozták: a keményítő CH_4 -képződést mérséklő hatása nem önmagában érvényesül, ezért megítélésekor az adag szénhidrátösszetételét, a rost minőségét és fizikai szerkezetét, a fermentációs egyensúlyt, valamint a DMI-t is figyelembe kell venni.

A CH_4 -kibocsátás csökkentése ezért akkor lehet

hatékony és emésztésélettani szempontból megalapozott, ha a takarmány keményítőtartalmának növelése nem jár a rostellátás indokolatlan visszaszorításával, így az állatok továbbra is elegendő mennyiségű, jó minőségű és megfelelő fizikai hatékonyságú rosthoz jutnak. A gyakorlatban alkalmazható keményítőtartalom mozgásterét a tömegtakarmány NDF-tartalma, emészthetősége (NDFd), fizikai hatékonysága (peNDF), potenciálisan emészthető és emészthetetlen hányadának aránya (pdNDF:uNDF), valamint a DMI együtt határozza meg. **Az adag keményítőtartalmának növelésével elérni kívánt CH_4 -csökkentés sikere tehát azon múlik, hogy mérsékelhető-e a CH_4 -intenzitás és/vagy a CH_4 -hozam a bendőfermentáció stabilitásának veszélyeztetése és a rosthosznosulás romlása nélkül.**

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

