



A KLÍMAVÁLTOZÁS ÁLLAT- TENYÉSZTÉSI VONATKOZÁSAI XIII.

BENDŐ-MIKROBIÓTA ÉS A METÁNTERMELÉS

**Szakértő
munkatársunk írása**
Állattenyésztési
Teljesítményvizsgáló Kft.

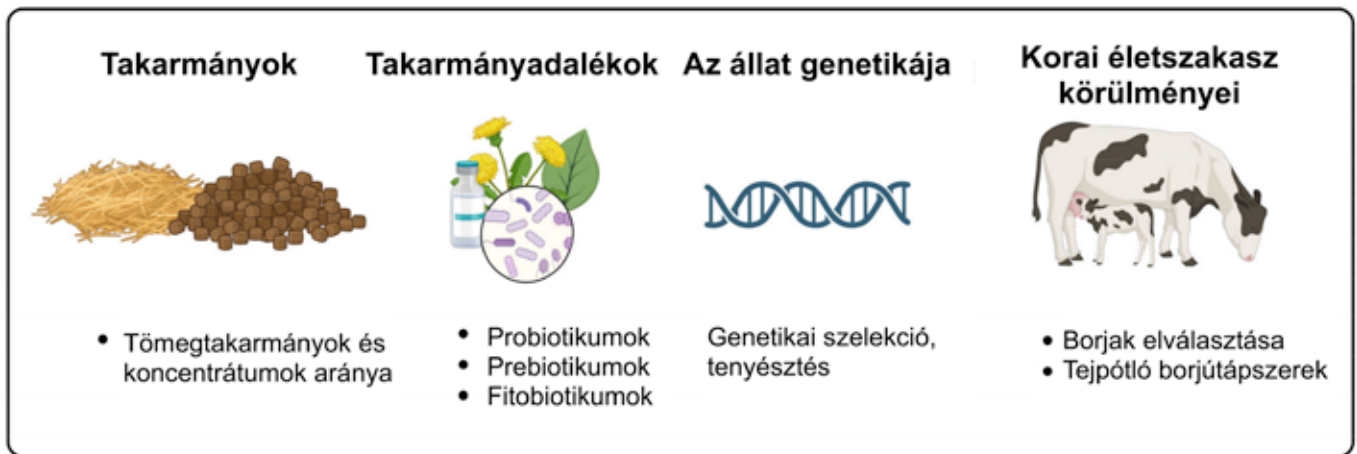
Rovatunk előző számában már ismertettük a szarvasmarha emésztéséhez köthető metán- (CH_4 -) emisszióval összefüggésben felmerült két eltérő nézetet. Míg a tudományos közösség egy része úgy véli, hogy az ily módon létrejött CH_4 -molekulák a természetes szén ciklus részét képezik, és ezért nem számítanak új kibocsátásnak, mások szerint a CH_4 -nak mint üvegházhatású gáznak (ÜHG) minden molekulája, legyen az bármilyen eredetű is, szerepet játszik a klímaváltozásban. A szakemberek ugyanakkor abban egyetértenek, hogy a takarmányfermentáció során zajló CH_4 -termeléssel – lévén, hogy e gázt a kérődzők nem tudják hasznosítani – a bevitt bruttó energia 2–12%-a elvész, ami csökkenti az állományok termelékenységét. Az energiaveszteség mértéke tejhasznú szarvasmarhák esetén átlagosan 6,5% az Éghajlatváltozással Foglalkozó Kormányközi Testület emissziósléptár-készítési útmutatója szerint.

A bendő mikrobiótája a tejelő szarvasmarhák szervezetében betöltött szerepe miatt kiemelt jelentőségű. Összetétele és aktivitása az emésztési folyamatok hatékonyságát, a tápanyagok felszívódását, illetve ezek által az állatok egészségét,

növekedését és tejtermelését egyaránt befolyásolja, továbbá közvetlen hatással van a bendőben zajló gázképződésre, így többek között a CH_4 -termelődésre is. A téma fontosságára tekintettel ezért jelen számunkban főként e bonyolult mikrobiális közösséggel foglalkozunk.

A bendő egy anaerob (oxigénszegény) fermentációs „kamra”, ahol a mikroorganizmusok, így a vírusok, a prokarióták (baktériumok 200-nál is több faja és archeák), valamint az eukarióták (protozoonok, gombák) széles köre él. Egyes kutatók szerint 1 milliliter bendőfolyadékban a baktériumok száma akár 10^9 – 10^{11} , az archeáké 10^8 – 10^9 , a protozoonoké 10^4 – 10^7 , míg a gombáké 10^3 – 10^5 is lehet. E mikrobióta összetétele és aktivitása azonban nem állandó, hanem folyamatosan változik; közelmúltban végzett vizsgálatok kimutatták, hogy drámai átalakuláson megy keresztül például a tehének vemhességétől a laktációjukig terjedő időszakban. A bendőben élő mikrobák a szarvasmarha által felvett tömeg- és abrak takarmányok, illetve melléktermékek lebontását végzik, ami lehetővé teszi számukra, hogy az anyagcseréjükhöz és a szaporodásukhoz szükséges tápanyagokhoz, illetve energiához jussanak.





Forrás: Sanjorjo és mtsai. (2023).

A szénhidrátok fermentációja során különféle, az állatok energiaellátásában, a tejtermelésben, valamint a tej tápanyagainak képzésében nagy szerepet játszó illó zsírsavak, továbbá tejsav, hidrogén, víz, szén-dioxid, CH₄, alkoholok stb. keletkeznek. A létrejött illó zsírsavak 95%-át az ecetsav, a propionsav és a vajsav teszi ki. A CH₄ a bendőben zajló erjedési folyamatok nagy energiataralmú terméke, amelynek termelődése – amit a szakirodalom metanogenezisnek hív – különböző anaerob mikroorganizmusok integrált metabolikus tevékenységének az eredménye: a metanogén mikrobák (például az archeákhoz tartozó *Methanobrevibacter*, *Methanosphaera*, *Methanomassiliococcus*, *Methanomicrobium* fajok) a szén-dioxidot a szénhidrátbontó baktériumok és a protozoonok életműködése során keletkezett hidrogén felhasználásával CH₄-ná alakítják (redukálják). A metanogenezis reakcióegyenlete tehát:



Emellett léteznek olyan mikroorganizmusok is, melyek a bendő falán fel nem szívódott ecetsavból és vajsavból állítanak elő CH₄-t és szén-dioxidot, sőt olyanok is, melyek hidrogén felvétele nélkül, metilcsoporttal rendelkező vegyületekből hozzák létre ezt a molekulát. Bár a metanogének a bendő teljes mikrobapopulációjának csak 2–3%-át alkotják, CH₄-termelésük – mint említettük – számottevő energiavesztést okoz a tehének számára.



A **bendőprotozoonok** a *Ciliate* (csillósok) és a *Flagellata* (ostorosok) rendjéhez tartozó egysejtű mikroorganizmusok, melyek fontos szerepet töltenek be a szarvasmarha bendőjében zajló mikrobiális folyamatokban. Bár számuk nagyságrendekkel kevesebb a baktériumokénál, kb. 10⁴–10⁷/milliliter bendőfolyadék, nagyobb (20–200 mikrométeres) méretüknek köszönhetően mégis a mikrobiális biomassa csaknem felét teszik ki. A protozoonok bendőfolyadékban oldott anyagokkal, takarmányrészecskékkel, baktériumokkal táplálkoznak, nitrogénforrásként baktérium- és takarmányfehérjéket használnak, szénhidrát-anyagcseréjük során pedig főként ecetsavat, vajsavat, szén-dioxidot, valamint hidrogént termelnek. Egyes fajaik nemcsak a vízben jól oldódó szénhidrátokat, de a cellulózt és a hemicellulózt is képesek bontani. Némelyek aktívan részt vesznek a keményítő-anyagcserében azáltal, hogy energiaigényük fedezése érdekében bekebelezik, majd lassan lebontják a nagy keményítőtartalmú takarmányrészecskéket, sőt bizonyos esetekben raktározni is képesek ezeket. Emellett amilolitikus, azaz keményítóbontó baktériumokkal is táplálkoznak, mellyel hozzájárulnak a keményítő fermentációjának lassításához. Más protozoonok ugyanakkor a tejsav bendőből történő eltávolításával segítenek fenntartani a stabilabb és magasabb pH-értéket, fontos szerepet játszva így a bendőacidózis megelőzésében.

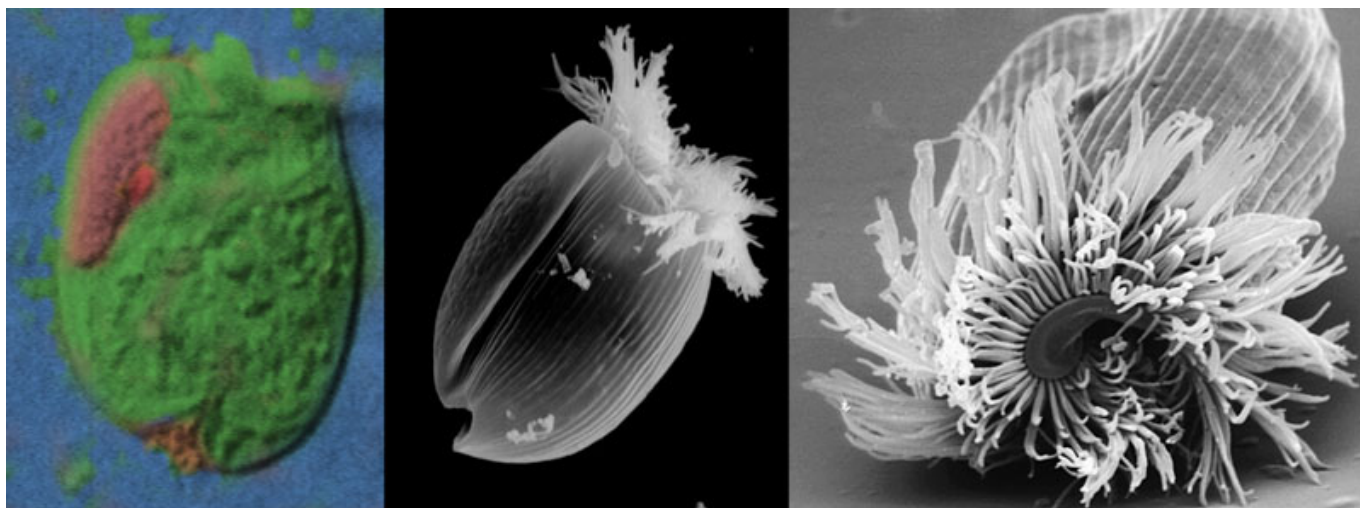
Az ostorokkal rendelkező *Flagellata* rend tagjai változatos alakúak, és általában kisebbek, mint a csillók



segítségével mozgó és táplálkozó *Ciliate* rendhez tartozók. A *Ciliate*-fajok egyébként rendkívül érzékenyek a környezeti változásokra, különösen a pH-ingadozásokra, így a bendő pH-értékének 6 alá csökkenése esetén a szaporodásuk leáll.

A baktériumokkal ellentétben a protozoonok jelenléte a bendőtartalomban nem létfontosságú a szarvasmarhák számára, hiszen az állatok életfolyamatai akkor sem változnak jelentősen, ha a protozoonokat onnan eltávolítják (defaunálás). Hasonlóan a különböző baktériumfajok között zajló hidrogéntranszferhez, a protozoonok és egyes, felszínükhöz kötődő metanogén fajok között is megfigyelhető szimbiotikus hidrogénátadás. E kapcsolat közvetett módon szerepet játszik a CH_4 bendőbeli termelődésében.

2. ábra Mikroszkópos felvétel egy bendőben élő protozoonról



Forrás: Dave Furness (Microscopy UK).

A korábban tévesen ősbaktériumoknak nevezett **archeák** olyan prokarióta mikroorganizmusok, amelyek morfológiailag ugyan mutatnak bizonyos hasonlóságot a baktériumokkal, evolúciós szempontól azonban különböznek tőlük. Ezeket az egyedülálló mikrobákat kevesebb mint 50 éve fedezték fel az Egyesült Államok Yellowstone Nemzeti Parkjának hőforrásaiban, de előfordulásuk ennél sokkal szélesebb körű: megtalálhatók extrém környezetekben, így magas sókoncentrációjú és hőmérsékletű vagy nagy nyomású helyeken, csakúgy, mint normál körülmények között, például a talajban vagy az állatok és az emberek bélrendszerében.

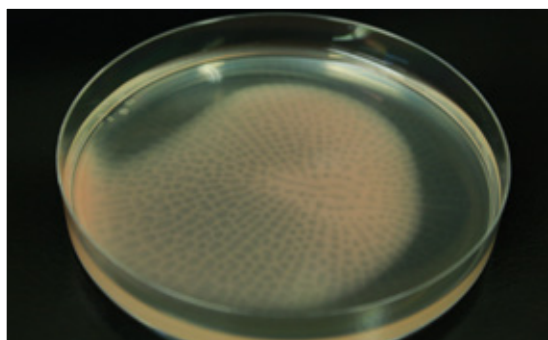
Az ostorokkal (flagellumokkal) mozgó archeák sejtszerkezete abban egyezik meg a baktériumokéval, hogy nincsenek membránnal körülvett sejtszervecskék, sejtfaik struktúrája, illetve sejtmembránjuk felépítése azonban különbözik azokétól.

Témánk szempontjából különösen az oxigénszegény körülményekhez alkalmazkodott **metanogén csoportjuk** tekinthető jelentősnek, amely anyagcseréje során a szén-dioxidot hidrogén segítségével CH_4 -ná redukálja.

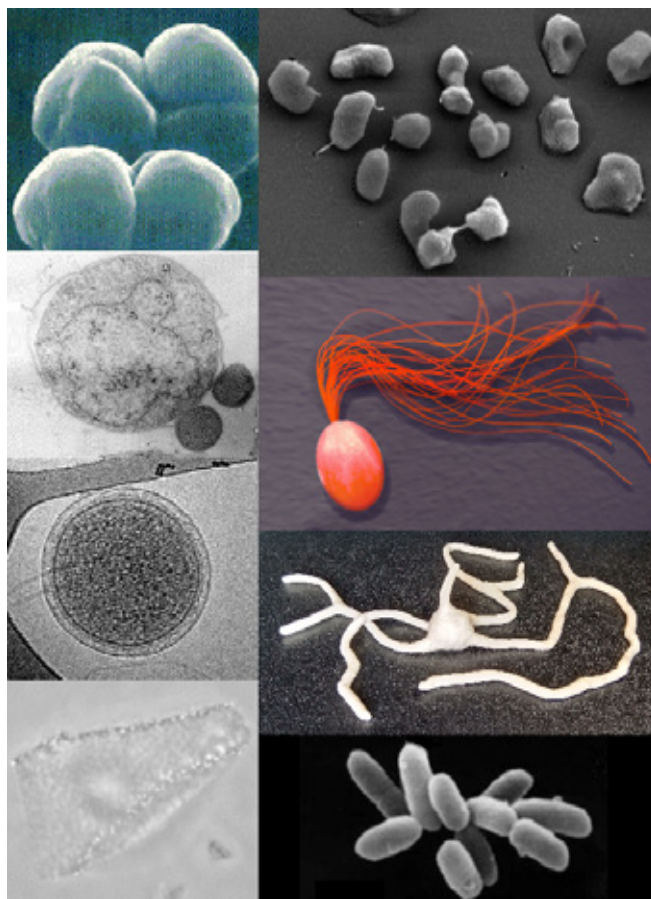
A kérődző állatok összetett gyomrában található archeafajok mindegyike ebbe a csoportba tartozik.

Bár a hidrogén ily módon történő eltávolítása a bendőből fontos szerepet játszik az egészséges bendő-ökoszisztéma fenntartásában, a metanogenezis – mint azt a bevezetőben is kiemeltük – a tápanyag-felhasználás szempontjából „költséges” folyamat, lévén, hogy a kérődzők bruttó energiabevitelének kb. 2-12%-os veszteségét eredményezi.

Az archeák az állati emésztés mellett a globális CH_4 -ciklusban is lényeges szerepet játszanak, és tevékenységükkel fokozzák az üvegházhatást. Mivel a velük kapcsolatos ismereteink még napjainkban is meglehetősen korlátozottak, számos mikrobiológiai kutatás zajlik a biokémiai folyamataik, az ökológiai szerepük és az evolúciós kapcsolataik feltárása érdekében.

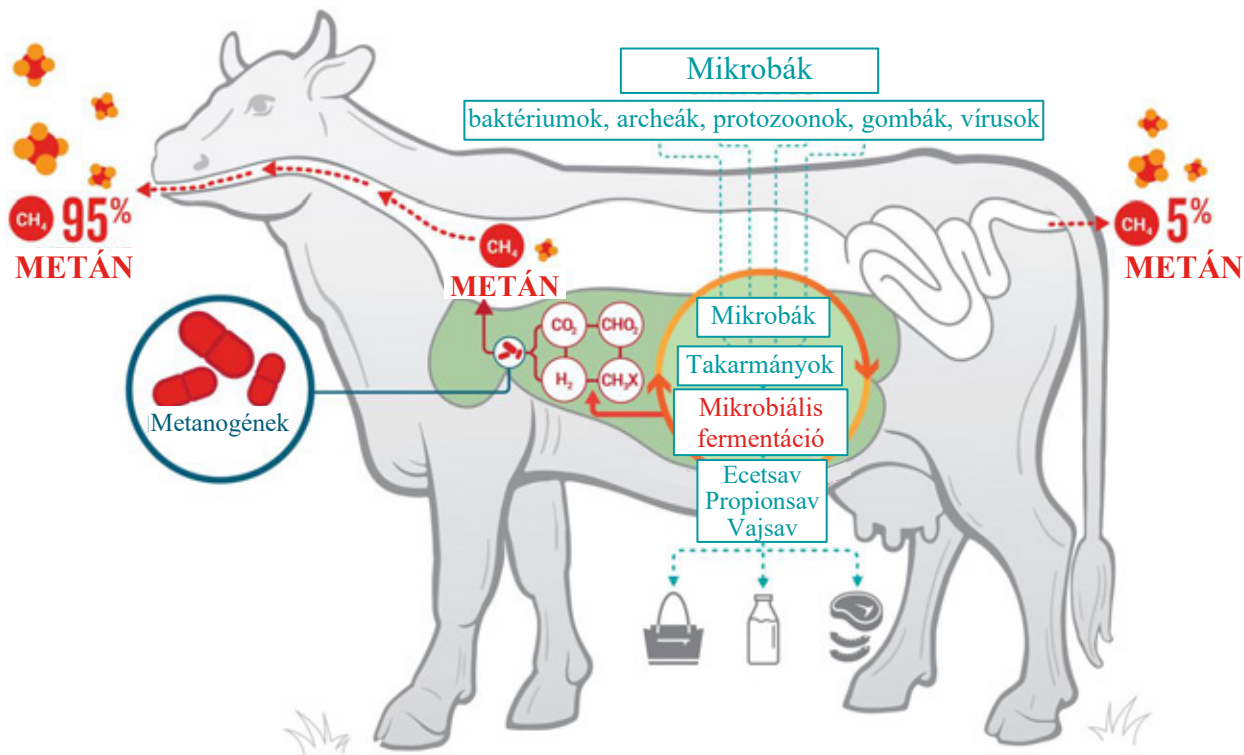


3. ábra Néhány mikroszkopikus kép, amely jelzi az archeák változatosságát



Forrás: Mauricio Lucioni Maristany.

4. ábra Takarmányok fermentációja és a CH₄-termelés



Forrás: Bélanger–Pilling (2019)

Mint korábban említettük, a takarmányok bendőben zajló mikrobiális fermentációja energiát és tápanyagokat biztosít a bendőmikrobák

életfunkcióihoz és szaporodásához. A szénhidrátok erjedése során kisebb szerves molekulák képződnek, melyek további átalakulásokon mennek keresztül.



A lebontás során létrejött monoszacharidokat (egyszerű cukrokat) a mikrobák bekebelezik, így azok további bontása már intracellulárisan (sejten belül) megy végbe. A folyamat során keletkező anyagokat, köztük az illó zsírsavak egy részét, a mikrobák energiaforrásként, a sejtstruktúrájuk építéséhez, a fehérjék szintéziséhez, a szaporodásukhoz, valamint egyéb életfunkcióik ellátásához használják fel. Az illó zsírsavak másik része a bendő falán gyorsan felszívódik, és a szarvasmarha energiaigényének nagyjából 60–80%-át fedezi. A fehérjéket, szénhidrátokat, zsírokat tartalmazó mikrobiális protoplazma, továbbá a bendőbéli mikrobiális fermentációt elkerülő anyagok a szárrétű és az oltógyomorban emésztődnek meg a bélnedvben levő emésztőenzimek segítségével, majd a középbelben hasznosulnak.



A takarmányok összetétele (kémiai szempontból a szubsztrát jellege) – főleg a bendőben fermentálódó neutrális detergens rost (neutral detergent fiber, NDF) és a nem rostalapú szénhidrátok (nonfiber carbohydrates, NFC; így például a cukrok és a keményítő) aránya – nagymértékben befolyásolja a bendő kémhatását, a bendőmikrobák számát és fajösszetételét, valamint ezek révén a fermentáció

biokémiai útját, végső soron pedig a keletkező illó zsírsavak mennyiségét és arányát. Mindezek következtében kulcsfontosságú szerepet játszik a hidrogén-anyagcserében és a metanogenezisben is.

A magas tej- és tejszírtelésben, valamint a bendő egészségének megőrzésében létfontosságú tömegtakarmányok viszonylag lassan bomlanak le, mely folyamat során több CH_4 -képzéshez szükséges hidrogén és szén-dioxid termelődik, mint például a keményítő gyorsabb erjedésekor. A szénhidráttegyensúly optimalizálása ezért a tejelő szarvasmarhák étrendjében – az állatok termelékenységének és egészségi állapotának fenntartása/javítása mellett – komoly lehetőséget kínál a CH_4 -kibocsátás mérséklésére. A téma megértéséhez elengedhetetlen az egyes szénhidrátféleségek jellemzőinek, valamint a fermentációjuk során zajló illózsírsav-termelés alakulásának alapos ismerete, ezért a következő számunkban ezekről nyújtunk áttekintést.

Források:

Bélanger, J. – Pilling, D. (2019): *The State of the World's Biodiversity for Food and Agriculture*. FAO Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture Assessments. Rome.

Sanjorjo, R. A. – Tenzin, T. – Min-Kyoung, K. – Moonhyuk, K. – Seon-Won, K. (2023): In pursuit of understanding the rumen microbiome. *Fermentation*. Vol. 9. No. 2. Article No. 114.

