



A SZARVASMARHÁK METÁN-KIBOCSÁTÁSÁNAK MÉRÉSE

NÉHÁNY ELTERJEDT MÓDSZER

Előző számunkban a szarvasmarhatartásból származó metánkibocsátás (CH_4 -kibocsátás) mérésének módszereit és megközelítéseit kategorizáltuk, illetve részletesen bemutattuk az állatok egész testét körülvevő, nagy légzőkamrákat, melyekkel meglehetősen pontosan meghatározható a takarmányfermentációból légkörbe kerülő CH_4

mennyisége. Jelen írásban egyéb gyakran alkalmazott eljárásokat, nevezetesen az alagútrendszerek, a boxok és a kén-hexafluoridos (SF_6 -os) nyomjelzőgáz-technika használatát vesszük górcső alá. (Terjedelmi okokból a széles körben elterjedt, automatizált GreenFeed-rendszerrel a következő számunkban foglalkozunk.)

**Szakértő
munkatársunk írása**
Állattenyésztési
Teljesítményvizsgáló Kft.

Kamratechnikák: alagútrendszerek és boxok

A végfalakkal ellátott, sátoroszerű merev vázas vagy felfújható **alagútrendszerek** a nagyméretű légzőkamrák egyszerűsített változatai, melyeket széles körben használnak az Egyesült Királyságban és az Egyesült Államokban. Ezek a konstrukciók karámkövekben és legelőkön egyaránt könnyen felállíthatók. (Lásd az 1. képet.) Tervezésük során fő szempont volt az állatok nyugodt viselkedésének megőrzése, amelyhez a tágas légtérük (általában $35\text{--}60\text{ m}^3/\text{tehén}$), valamint az is hozzájárul, hogy a vizsgálatba vont szarvasmarhák számára biztosított a folyamatos takarmányhozzáférés. (Ha a legelőkön végzett mérések hosszabb időt vennének igénybe, és emiatt a fűhozam csökkenne, az alagutakat új gypszakaszokra kell áthelyezni.) Bár a tehenek számára ideális hőmérséklet és pára-

tartalom huzamos idejű fenntartása a belső térben nem egyszerű feladat, e könnyen kezelhető és szállítható szerkezetek a vizsgálatok szempontjából robusztus és hatékony megoldást kínálnak.

1. kép: A fotón látható alagút 10 tehénnek ad otthont azok takarmányemésztéséhez köthető CH_4 -kibocsátásának mérése céljából



Forrás: Los Angeles Daily News (a fotót készítette: Rich Pedroncelli).



A mérésre szolgáló építmény általában a következő elemekből áll: 1. egy erős, polietilénből készült, nagyméretű alagút (sátor); 2. szellőzők, amelyek az alagút megfelelő légcseréjét biztosítják; 3. szenzorok az alagútba belépő és az onnan kilépő gázkeverékek (levegő) CH_4 -koncentrációjának mérésére; valamint 4. egy, a belső léghőmérséklet, a páratartalom és a légáramlás sebességének rögzítésére szolgáló eszköz. A megbízható működés érdekében a rendszer gyakori kalibrálására van szükség. A CH_4 -emissziós ráta (tehát az időegység alatt kibocsátott CH_4 mennyisége) az alagútszerbe be- és az onnan kivezetett levegőből vett mintákban mért CH_4 -koncentrációk különbsége, valamint a levegő áramlási sebessége, hőmérséklete és páratartalma alapján számítható ki.

Az alagútszerek fő előnye, hogy használatuk révén – a légzőkamrákhoz hasonlóan – megállapítható a vizsgálatba vont állatok takarmányfermentációhoz köthető teljes CH_4 -kibocsátása, pontosan nyomon követhető a szárazanyag-felvételük, illetve viszonylag precízen megállapítható, hogy a különböző takarmánykeverék-féleségek mikrobiális lebontása során mennyi CH_4 keletkezik. Egyes kutatók szerint azonban az így kapott kibocsátási eredmények cca. 15%-kal elmaradnak az etalonnak számító, nagy légzőkamrás módszerrel mért CH_4 -emissziós rátáktól.

Az előbbi szerkezetek mellett rendelkezésre állnak „boxok” néven ismert, kisebb, hordozható gázgyűjtő kamrák is. Ezek közé tartoznak például a **szellőztetett fejboxok**, melyek hasonló elven működnek, mint a nagy légzőkamrák, de csak az állatok fejét fogják körül, így kizárólag a felbőfögött és kilélegzett gázok összegyűjtésére alkalmasak. E polikarbonátból készült konstrukciók kisebb helyet foglalnak, könnyebben mozgathatók, és lényegesen olcsóbbak, mint a nagyméretű változatok, bár a beszerzésük költsége még így sem elenyésző. Egyidejűleg csak egy állat vizsgálatára képesek, azonban kötetlen és kötött istálló tartás esetén egyaránt használhatók. A mérés során a szarvasmarhák speciális nyakgallért viselnek, amely lehetővé teszi számukra, hogy a fejüket szabadon mozgathassák, táplálkozzanak, igyanak, és akár le is feküdjenek, miközben a fejük végig a box zárt gázterében marad. A kamra belsejében egy légkeringető rendszer található; a tetejéhez pedig egy cső csatlakozik, ez utóbbi a boxból kivezetett gázkeveréket a CH_4 -koncentráció mérése céljából a gázanalizátorhoz továbbítja.

2. kép: A polikarbonátból készült fejboxok segítségével nyomon követhető a CH_4 -kibocsátás csökkentését célzó takarmányozási stratégiák hatékonysága



Forrás: UC Davis (a fotót készítette: Karin Higgins).

Az emissziós ráta a szerkezetbe beáramló és az onnan távozó levegő CH_4 -koncentrációjának összevetésével határozható meg. A fejboxok hasonló mérési pontosságot biztosítanak, mint a nagyméretű légzőkamrák, segítségükkel nemcsak a CH_4 , de – szükség esetén – más gázok napi emissziós rátájának alakulása is nyomon követhető. Emellett rögzíthető, hogy a vizsgált állat mennyi takarmányt vesz fel (ami kulcsfontosságú a mérési eredmények értelmezése szempontjából), valamint értékelhető az üvegházhatású gázok (ÜHG-ok) kibocsátásának mérséklésére irányuló étrendmódosítások és a különféle takarmánykiegészítők etetésének eredményessége is. (Lásd a 3. képet.)

A fejboxos módszer hátrányai között említendő, hogy e berendezések nem alkalmasak az állatok teljes CH_4 -kibocsátásának mérésére, illetve nem ideálisak nagyobb állományok gáztermelésének tanulmányozására. Továbbá – akárcsak a nagy méretű légzőkamrák esetén – ezekhez is hozzá kell szoktatni a teheneket, ami némely állatoknál stresszt válthat ki a fejük bezártsága és a mozgásterük korlátozottsága miatt.

3. kép: Egy polikarbonátból készült fejbox közelről



Forrás: UC Davis (a fotót készítette: Karin Higgins).



Egy pontforrásmérési módszer: a SF₆-os nyomjelzőgáz-technika

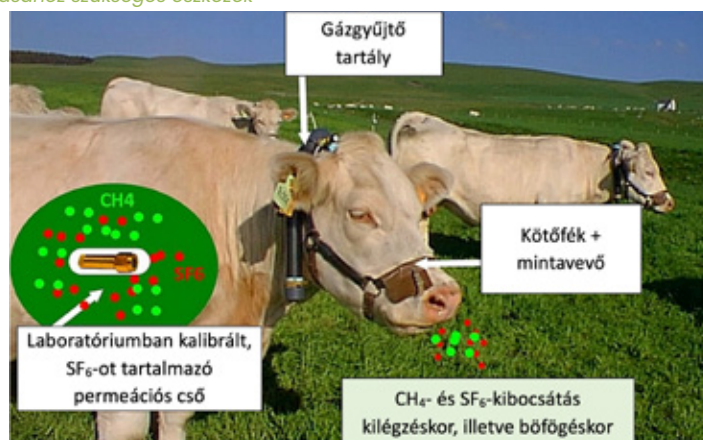
A CH₄-kibocsátás mérésére szolgáló módszerek előző számunkban bemutatott csoportjai között az ún. *pontforrásmérések* is szerepeltek. Ezek többségét olyan rövid ideig tartó vizsgálatok képezik, melyeket egymástól jól elkülöníthető ÜHG-forrásoknál (esetünkben tejelő teheneknél) hajtanak végre. Az eredmények szórása (a később bemutatásra kerülő SF₆-os nyomjelzőgáz-technika kivételével) a mérések gyakoriságától és a napi takarmányozási ciklushoz történő igazításuktól függ: az adatok akkor tekinthetők megbízhatónak, ha

1. a méréseket 24 órán belül többször is megismétlik, ezzel biztosítva a nap jelentős részének lefedettségét;
2. az elemzések során elegendő számú állat kibocsátását vizsgálják;
3. statisztikailag szoros összefüggés mutatható ki a légzőkamrás és a pontforrásmérési adatok között.

A pontforrásmérések közé tartoznak például a különféle nyomjelző gázok kontrollált felszabadulásán alapuló, belső nyomjelzős (nem izotópos) technikák,

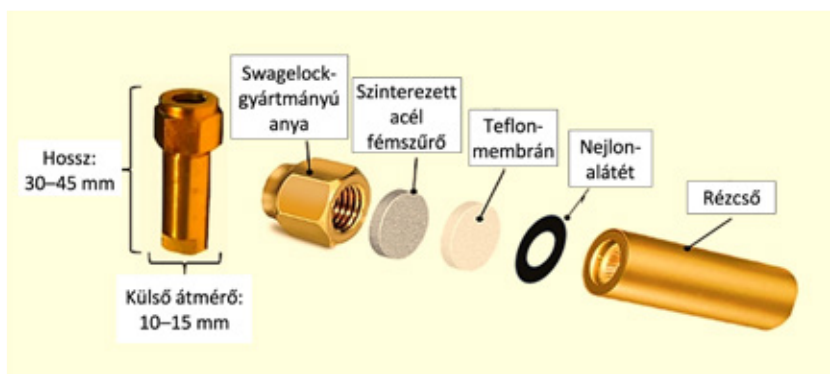
melyek segítségével megbecsülhető a kérődzők emésztőrendszeréből kilégzéssel/bőfögéssel légkörbe kerülő CH₄ mennyisége. Zimmerman (1993) e célra a **kén-hexafluorid-gázt (SF₆-gázt)** használta, ami – erős ÜHG ugyan, de – ideális inert nyomjelző, mert nyomokban a kérődzőkben is termelődik, bendőbeli eloszlása hasonló a CH₄-éhoz, és nagyon alacsony koncentrációban is kimutatható (Johnson és mtsai., 1994). További előnye, hogy sem a bendőmikrobákra, sem az állatokra nem toxikus, így nem zavarja meg a bendő normál működését. Bár a SF₆-alapú módszert az elmúlt évtizedekben többen is finomították, alkalmazásához továbbra is szükség van: 1. egy olyan kalibrált permeációs cső (esetleg bólsusz) bejuttatására az állatok bendőjébe, amely állandó, előre meghatározott ütemben bocsátja ki ott a SF₆-gázt, hogy az elkeveredjen más gázokkal; 2. egy mintavevővel ellátott kötőfék elhelyezésére a tehenek szutyakjának közelében; valamint 3. egy gázgyűjtő tartály rögzítésére a tehenek nyakára, pofájára vagy hátára. (Lásd a 4–6. képeket.)

4. kép: A SF₆-os technika alkalmazásához szükséges eszközök



Forrás: Rochette és mtsai. (2020).

A **SF₆-os permeációs cső** – Rochette és mtsai.-nak (2020) leírása szerint – egy rézcső, amelynek külső oldalán menet található a Swagelock-gyártmányú anya rögzítésére. Ehhez sorrendben egy szinterezett, porózus, acélból készült fémszűrő, egy teflonmembrán és egy nejlonalátét csatlakozik. (Lásd az ábrát.) A SF₆ szivárgási, átjutási sebességét a teflonmembrán vastagsága (0,12–0,40 mm) határozza meg. E membrán belső nyomással szembeni védelmét a 2 µm-es pórusméretű fémszűrő biztosítja, a 0,7 mm vastagságú nejlonalátét funkciója pedig az, hogy megakadályozza a membrán eldeformálódását az anya meghúzásakor.



A SF₆-gázzal történő feltöltés előtt a permeációs csövet folyékony nitrogénbe merítik, így hűtve le -196 °C-ra. A feltöltött gáz az apró patron üregében, szilárd formában kondenzálódik; mennyisége a cső belső térfogatától (0,5–2,0 ml) függően 600 és 2 500 mg között változhat (a mérések megkezdésekor fontos, hogy ismerjük a pontos értékét).

A CH₄-emissziók volumenének megbízható becsléséhez elengedhetetlen, hogy a gázkibocsátó kapszulákat kalibrálják. E célból 39 °C-os, szellőztetett inkubátorban tartják őket, és a SF₆-kibocsátás sebességét – tömegük időbeli csökkenése alapján – gravimetrikus módszerrel határozzák meg. A kalibrációs időszak 6-10 hétig tart, mely során hetente egyszer vagy kétszer végeznek méréseket. Szarvasmarhák esetében a SF₆-kibocsátás napi 1 és 7 mg között mozog a „kapszula” típusának és méretének függvényében. A már kalibrált permeációs csövek felhasználásukig -80°C-on tárolhatók.

A kilélegzett vagy felbőfögött gázok gyűjtésére az állatok nyakán, hátán vagy pofáján elhelyezett **tartályok** szolgálnak. Ezek hengeres, V-, illetve U-alakúak lehetnek, továbbá PVC-ből vagy rozsdamentes acélból készülhetnek. A különféle kialakítások közül az adott körülményekhez leginkább illeszkedő formát és anyagot érdemes választani, az állatok zavarásának minimalizálására és az anyagtörések kockázatának csökkentésére törekedve. A tartályok számát úgy kell meghatározni, hogy az a kísérleti állatok számának legalább 2,5-szerese legyen. A gázgyűjtők használatbavételük előtt laboratóriumi szivárgásvizsgálaton esnek át, a légáramlást szabályozó alkatrészeit pedig úgy kalibrálják, hogy a tartályok telítettsége kb. 24 óra alatt érje el az 50%-os szintet.

5. kép: A gázgyűjtő tartály nem helyezhető el a tehén nyakán, ha az istállóban jászorkorlátok vagy más kapuszerkezetek találhatók



Forrás: Svéd Agrártudományi Egyetem
(a fotót készítette: Mikaela Patel).

A SF₆-os nyomjelző technika alkalmazásakor a teljes takarmányozási ciklus alatt, tehát napi 24 órán át, 5-8 napon keresztül vesznek mintát a vizsgált állat által kilélegzett vagy felbőfögött, CH₄-t és SF₆-t is tartalmazó gázkeverékből, amely – mint azt már említettük – a gázgyűjtő tartályba kerül. Az így felhalmozott gázmintát (tehát az állatállomány részmintáját) CH₄-ra és SF₆-ra gázkromatográfiával elemzik. Egy adott tehén CH₄-emissziójának rátája a SF₆ permeációs csőből (bóluszból) történő felszabadulási sebessége és a két gáz molekulatömegének, valamint részmintabeli koncentrációjának aránya alapján, illetve a CH₄ és a SF₆ környezeti háttérkoncentrációjának figyelembevételével számítható ki.

A háttér-koncentrációkat – lehetőség szerint – a kísérleti állatoktól távol, de még a vizsgálati területen belül kell mérni.

Egy SF₆-os apparátussal évente akár 750 állat vizsgálata is lehetséges. Számos tanulmány szerint az így módon kapott CH₄-emissziós adatok, ha azokat a végbélből légkörbe kerülő CH₄ mennyiségére tekintettel +3%-kal korrigáljuk, jól tükrözik az állatok teljes CH₄-kibocsátását, és szoros korrelációt mutatnak a légzőkamrákkal mért értékekkel. Más kutatások ugyanakkor arra hívják fel a figyelmet, hogy a SF₆-os módszerrel kalkulált CH₄-emissziós ráták viszonylag nagy szórást mutatnak, és – különösen a rövid ideig tartó mérések esetén – akár 10%-kal is eltérhetnek a légzőkamrás adatoktól. A permeációs cső kalibrálása, a gázgyűjtésre szolgáló felszerelés állatokra helyezése és a laboratóriumi gázkromatográfiás elemzés szakképzett munkaerőt igényel, ezért e technika alkalmazásának összköltsége meglehetősen magas, annak ellenére, hogy a méréshez szükséges eszközök olcsóbbak, mint a légzőkamrák. Hátrányként említhető az is, hogy a módszerrel – az előbb említett korrekciót leszámítva – nem határozható meg a végbélben keresztül távozó CH₄ mennyisége; a kötőfék és a kapilláris cső aránylag hosszú ideig tartó rögzítése, valamint a gyakori emberi jelenlét pedig zavarja az állatokat, ami befolyásolja a viselkedésüket és a takarmányfelvételüket.



6. kép: A gázgyűjtő tartály a tehenek hátára is rögzíthető



Forrás: ScienceNews
(a fotót készítette: Eddie Jim, Fairfax Syndication).

A SF₆-os módszer arra az alapfeltevésre épül, hogy az állatok CH₄- és SF₆-kibocsátása egyenletes, vagyis a két gáz molekulái azonos valószínűséggel kerülnek a mintába. Valójában ez nem mindig igaz, mivel a CH₄-termelés a takarmányfelvétel ütemét követve, jelentős napi ingadozásokat mutat. Továbbá nagy a mérőapparátus meghibásodásának a kockázata, az eredmények megbízhatóságát pedig több tényező – például az időjárási viszonyok változékonysága vagy az alacsony légsebesség esetén tapasztalható elégtelen gázkeveredés – is kedvezőtlenül befolyásolhatja. Pontatlan mérésekhez vezethet emellett az is, ha az adott egyed mintavevőjéhez más állatok túl közel

kerülnek, illetve, ha a két gáz háttér-koncentrációja az istállókban megemelkedik. Az utóbbi probléma miatt e technika használata zárt istállókban nem ajánlott, kivéve, ha megfelelő szellőzést biztosítunk. Az előbb felsorolt kihívások részben a permeációs csőből történő SF₆-felszabadulás sebességének szabályozásával és a mintavételi időszak meghosszabbításával is orvosolhatók. A SF₆-os módszer a zárt istállókon kívül olyan helyeken sem alkalmazható, ahol a vizsgált állatok közvetlen környezetében egyéb CH₄-kibocsátási források, például hígtrágyamedencék, trágyatárolók vagy nedves területek találhatóak.

Források:

Johnson, K. – Huyler, M. – Westberg, H. et al. (1994): *Measurement of methane emissions from ruminant livestock using a sulfur hexafluoride tracer technique. Environmental Science & Technology. Vol. 28. No. 2. pp. 359–362.*

Rochette, Y. – Jonker, A. – Moate, P. et al. (2020): *Sulphur hexafluoride (SF6) tracer technique. In: Mesgaran, S. D. – Baumont, R. – Munksgaard, L. et al. (eds.): Methods in Cattle Physiology and Behaviour – Recommendations from the SmartCow Consortium. Publisso. Cologne.*

Zimmerman, P. R. (találmány): *Állatok anyagcsere-gázkibocsátásának mérésére szolgáló rendszer. Szabadalom száma: US5265618A. 1993.*

