



Forrás: Lactanet

GENETIKA A METÁNCSÖKKENTÉS SZOLGÁLATÁBAN V.

EGÉSZSÉGESEBB, TERMÉKENYEBB, HOSSZABB ÉLETŰ TEHENEK – ZÖLDEBB TERMELÉS IV.

Szakértő
munkatársunk írása
Állattenyésztési
Teljesítményvizsgáló Kft.

A reprodukció élettani szabályozása és eredményessége (ciklusosság, ovuláció, embrió-megmaradás stb.) meghatározó a tejhasznú tehenek termékenysége és életteljesítménye szempontjából. E finoman hangolt rendszert azonban különféle szaporodásbiológiai betegségek, valamint vemhességhez/elléshez kapcsolódó szövődmények veszélyeztethetik, amelyek nemcsak gazdasági veszteséget okoznak, hanem

közvetve a tejtermelés ökológiai lábnyomát is növelik. Mindezek tükrében jelen írás néhány gyakori rendellenességen keresztül azokat a genetikai szelekciós lehetőségeket mutatja be, amelyek a betegségekkockázat csökkentésével az enterális CH_4 -intenzitás (tehát az egységnyi termelt tejre jutó CH_4 -kibocsátás) mérsékléséhez is hozzájárulhatnak.

Szaporodásbiológiai és ellés körüli (periparturális) rendellenességek: okok és következmények

A különféle szaporodásbiológiai problémák jellemzően a tehenek ivari/tejtermelési ciklusának egy-egy meghatározott szakaszához köthetők. Eredetük szerint fertőző, hormonális vagy periparturális jellegűek lehetnek; megjelenésük és az érintett szervrendszer alapján pedig három fő csoportba sorolhatók: 1. méh- és ivarszervi fertőzések, gyulladások; 2. petefészekműködési zavarok; valamint 3. vemhességi és ellés körüli megbetegedések, szövődmények.

E problémák gyakran együtt jelentkeznek, és összetett mechanizmusokon keresztül rontják a fertilitást, illetve közvetett hatásuk révén a tejtermelés

csökkenéséhez is hozzájárulhatnak. Kialakulásukban az állat immunrendszerének aktuális állapota, valamint a környezeti és menedzsmenttényezők (például a hőstressz vagy az elléskori higiénia) mellett szerepet játszik a genetikai hajlam is. Ez utóbbira egy jól dokumentált példa Nebel (1994) vizsgálata: a petefészekcisztás tehenek lányivadékaiban lényegesen magasabb a cisztaképződés gyakorisága (27%), mint az ilyen előzmények nélküli egyedek utódainál (9%).

A továbbiakban a metritis (ellés utáni akut méhgyulladás), az endometritis (krónikus méhnyálkahártya-



gyulladás), a petefészekciszták, a nehézellés, az ikervemhesség, a magzatburok-visszamaradás (retained foetal membranes, RFM) és a korai embrióelhalás témakörét tekintjük át, bemutatva a genetikai szelekció szerepét e problémák visszaszorításában és az enterális CH_4 -kibocsátás közvetett mérséklésében.

A **méhgyulladás (metritis, endometritis)** a tehenek egyik leggyakoribb szaporodásbiológiai megbetegedése. A metritis a méhfal teljes vastagságát érintő, többnyire akut gyulladásos folyamat, míg az endometritis inkább a méhnyálkahártyára (endometriumra) korlátozódik, és elhúzódó lefolyású. Mindkét kórforma döntően az ellést követő időszakban alakul ki, amikor a méhnyak átmenetileg nyitott, és a méh nyálkahártyájának gyengült helyi immunvédelme elősegíti a kórokozók méhüregi megtelepedését és elszaporodását. A fertőzés kockázatát növeli a RFM, a nehézellés, az ikervemhesség, valamint a nem megfelelő ellési higiénia.

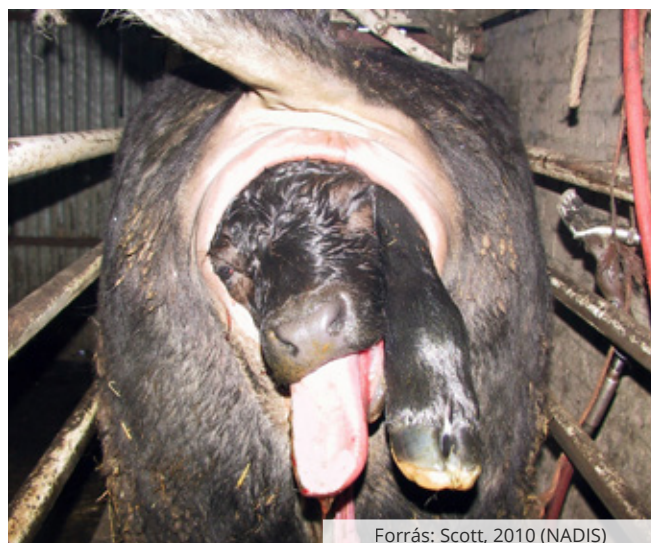
A klinikai metritis előfordulási aránya tejhasznú állományokban jellemzően 10-20%, míg az endometritisé akár 40-50% is lehet (Sheldon és mtsai., 2009). A méhgyulladás rontja a vemhesülési rátát, meghosszabbítja az ellésközi intervallumot, és növeli a selejtezési kockázatot. Klinikai formáiban a csökkent takarmányfelvételhez társuló, korai laktációs tejhozam-elmaradás a teljes laktációs teljesítményt is visszaveti (Putz és mtsai., 2015).

A **petefészekciszták** kialakulásának lényege, hogy a domináns tüsző (vagy annak luteinizált formája) ovuláció nélkül, folyadékkal telt képletként perzisztál, hormonális cikluszavart idézve elő. A háttérben gyakran a hipotalamusz-hipofízis-petefészek hormonális szabályozásának zavara, illetve az ovulációhoz szükséges LH-csúcs elmaradása áll, amelyeket a negatív energiamérleg, a stressz és bizonyos anyagcserezavarok tovább súlyosbíthatnak (LH: *luteinizáló hormon*; Opsomer és mtsai., 1998).

Tejhasznú állományokban a petefészekciszták klinikai előfordulási aránya jellemzően 5-15%, ám érzékenyebb diagnosztikai módszerek alkalmazásával és a szubklinikai esetek feltárásával a valós előfordulás ezt jelentősen meghaladhatja (Putz és mtsai, 2015; Parker Gaddis és mtsai., 2016). A ciszták következtében csökkenhet az ivarzási aktivitás, vagy akár teljesen el is maradhat az ivarzás, elhúzódhat az újratermékenyülés,

és alacsonyabb lehet a vemhesülési arány – mindezek pedig a szervizperiódus(ok) megnyúlásán keresztül az életteljesítmény romlásához vezetnek.

A **nehézellés** (dystocia) az ellés elhúzódó lefolyását, illetve kézi vagy eszközös beavatkozást igénylő komplikációját jelenti. Elsőborjas tehenek esetében gyakorisága elérheti a 10%-ot, állományszinten azonban többnyire 5% alatt marad (Atashi és mtsai., 2011). Kockázatát növeli a nagy magzattömeg, a kis anyai testméret, az ikerellés, valamint a bikaborjak nagyobb aránya. A nehézellés gyakran együtt jár a borjak csökkent vitalitásával és a holtellések számának emelkedésével, míg a teheneknél késleltetheti az ellés utáni első ivarzást, rontja a vemhesülést, és elnyújtja a szervizperiódust. Termelési szempontból laktációnként akár 100-150 kg tejhozamcsökkenést is okozhat, és kedvezőtlenül befolyásolja a tejzsír- és tejfehérjehozamot (Gaafar és mtsai., 2011; Atashi és mtsai., 2012; Tsaousioti és mtsai., 2024). A dystocia a selejtezési kockázatot is növelheti, különösen ellési sérülés, bénulás vagy meddőség esetén (Brunsó és Abbeloos, 2022).



Forrás: Scott, 2010 (NADIS)

Az **ikervemhesség** a holstein-fríz állományokban viszonylag ritka jelenség, előfordulása azonban emelkedő tendenciát mutat. Legfőbb kockázati tényezője a kettős ovuláció, amely a nagy tejtermelési potenciállal rendelkező állományokban – különösen intenzív takarmányozás és hormonkezelési programok (például ovulációsinkronizálás) alkalmazása mellett – gyakrabban fordul elő. Ilyen körülmények között az ikervemhesség aránya jellemzően 2-5% (Guadagnini és mtsai., 2025), de gyakorisága a tehenek életkorával és ellésszámával tovább nőhet, ami az ovulációs dinamika életkor- és paritásfüggő sajátosságaival magyarázható.



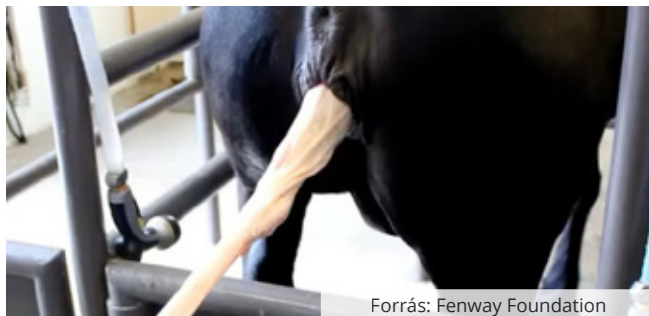
Szakirodalmi adatok szerint (Lucy, 2001; Pryce, 2004; Roxström, 2001) a kettős ovuláció és az ikervemhesség gyakoribbá válása összefüggésbe hozható a tejtermelési potenciál szelekció révén bekövetkezett gyors növekedésével, amelyhez az állatok szaporodásbiológiai és metabolikus szabályozása nem alkalmazkodott maradéktalanul.

Az ikervemhesség általában rövidebb vemhességi idővel, nehézelléssel, RFM-mel és nagyobb holtellési aránnyal jár együtt. Ha az ikerpár különböző nemű, az üszőborjak túlnyomó többsége (~90%) freemartin, vagyis a hím magzat méhen belüli hormonális hatásai miatt terméketlen, így tenyésztési szempontból kieső egyednek minősül. Guadagnini és mtsai.-nak (2025) vizsgálatában az ikerellést követő laktációban a tehenek 305 napos tejtermelése átlagosan 200–220 kg-mal csökkent, romlott a vemhesülési arány, kitolódott a szervizperiódus, és emelkedett a selejtezési kockázat; a laktáció első 60 napján belüli kiesési arány (selejtezés és elhullás) 17% volt, szemben a normál ellések 8%-ával.



Forrás: McDonnell 2022 (Agriland)

RFM esetében az ellést követő 12–24 órán belül nem következik be a magzatburok természetes leválása és spontán ürülése. Előfordulási aránya a tejhasznú állományokban jellemzően 5–10%; a többször ellett tehenek érintettsége nagyobb. Ez a rendellenesség – mivel fokozza a posztpartum gyulladásos folyamatok kockázatát – kedvezőtlenül befolyásolja a fertilitási mutatókat, és növeli a selejtezés valószínűségét. Kialakulásában több tényező is szerepet játszhat, például a nehéz- vagy ikerellés, a vetélés, különféle anyagforgalmi és immunzavarok, tápanyaghiányok, valamint a genetikai predispozíció. A kedvezőtlen következmények sokszor egymásra épülő módon, a nehézellés–RFM–metritis „láncolat” részeként jelentkeznek, hatásuk pedig összeadódik: az érintett állatok 305 napos tejtermelése akár több száz kilogrammallyal is elmaradhat az egészséges egyedekétől, különösen elhúzódó méhgyulladás esetén (Mahnani és mtsai., 2022).



Forrás: Fenway Foundation

A **korai embrióelhalás** a megtermékenyülést követő 1–6 héten belüli vehemvesztést jelenti, amikor az embrió (illetve a korai magzati struktúrák) fejlődése leáll. Tejhasznú szarvasmarhák esetében gyakori jelenség: egyes becslések szerint (Teja és mtsai., 2024; Albaaj és mtsai., 2022) a megtermékenyített petesejtek 25–40%-a nem marad fenn. A kiváltó okok között a méh vagy a petevezető nem megfelelő állapota, hormonális és anyagcserezavarok, környezeti stresszhatások (például hőstressz), valamint örökletes genetikai tényezők egyaránt szerepelhetnek. Ez utóbbiak közül kiemelhetők az ún. letális recesszív haplotípusok (például HH1–HH7), amelyek homozigóta állapotban az embrió életképességének súlyos romlásához vezetnek. Amennyiben a tehen és a termékenyítő bika azonos letális haplotípus hordozója, az embrió nagy valószínűséggel a vemhesség korai szakaszában elpusztul. Mivel ez gyakran még a vemhesség rutinszerű diagnosztizálása előtt bekövetkezik, az újbóli ivarzás sikertelen termékenyítés benyomását keltheti.

A haplotípus egy adott kromoszómaszakaszon együtt öröklődő genetikai marker-/allélkombináció, amely fehérjéket kódoló géneket és nem kódoló régiókat egyaránt magában foglalhat. Holstein-fríz populációk nagyméretű genomikai adatállományainak elemzése során több olyan, viszonylag gyakori variánst azonosítottak, amelyek élő állatokban nem fordulnak elő homozigóta állapotban. Ez arra utal, hogy e marker-/allélkombinációk homozigóta formája korai embrióelhaláshoz vagy súlyos életképességi problémákhoz vezethet. Az ilyen genetikai szegmensek kodifikálását a Holstein Világszövetség indította el; ennek nyomán vezették be a HH (holstein haplotípus) megjelölést.

A korai embrióelhalás következtében gyakoribbá válik az ismételt inszeminálás, nő az üres napok száma, és emelkedik a meddőség miatti selejtezés kockázata. Mindez a szervizperiódus és ezáltal a két ellés közötti idő meghosszabbodásához vezet, ami állományszinten a kisebb tejhozamú, „kései laktációs” napok felhalmozódását eredményezi.



Mit tehet a genetika a szaporodásbiológiai problémák ellen?

A tárgyalt, reprodukcióval és elléssel összefüggő rendellenességek egyik közös jellemzője az alacsony öröklődhetőség (lásd a táblázatot), ami azt jelzi, hogy kialakulásukat elsősorban környezeti és tartástechnológiai tényezők alakítják. Ugyanakkor tejhasznú állományokban kimutatható örökletes variabilitás mind a hajlam, mind az ivari szervek regenerációs képessége tekintetében (Putz és mtsai., 2015; Parker Gaddis és mtsai., 2016). Ez arra utal, hogy a szaporodásbiológiai és periparturális problémák kockázata – bár csak korlátozott mértékben – genetikai

úton is mérsékelhető. Az alacsony öröklődhetőség és az egészségi események rögzítésének változó minősége miatt a hagyományos tenyésztési módszerek eredményessége e téren behatárolt. Érdemi előrelépést a nagy referenciapopulációkra épülő genomikai rendszerek hoztak: a DNS-/SNP-alapú információk révén már fiatal állatok esetében is viszonylag pontos becslés adható az egyes rendellenességekre való genetikai hajlamról, ami lehetőséget teremt a korai szelekcióra. (SNP: *single nucleotide polymorphism* – *egypontos nukleotidpolimorfizmus*.)

Táblázat: Egyes szaporodásbiológiai és ellés körüli rendellenességek kialakulására való hajlam öröklődhetősége

Rendellenesség	Becsült h^2 -tartomány	Forrás
Metritis/endometritis	0,02–0,04	Putz és mtsai., 2015; Parker Gaddis és mtsai., 2016
Petefészekciszták	0,03–0,05	Pryce és mtsai., 1998; Jamrozik és mtsai., 2016
RFM	0,03–0,09	Mahnani és mtsai., 2022
Nehézellés	0,03–0,20	Dematawewa és Berger, 1997; Stefani és mtsai., 2024
Ikeremhesség/ikerellés	0,01–0,05	Kirkpatrick és Berry, 2024
Korai embrióelhalás	0,02–0,03	Ask-Gullstrand és mtsai., 2023

Forrás: Saját összeállítás.

A fenotípusadatok megbízható gyűjtése különösen nagy kihívást jelent olyan rejtetten jelentkező, nehezen detektálható reprodukciós problémák esetében, mint a korai embrióelhalás vagy vetélés. A dokumentáció pontatlansága sokáig akadályozta ezek bevonását a szelekciós programokba. Napjainkra azonban a vetélések szisztematikus nyilvántartása, valamint a vemhességspecifikus glikoproteinek (pregnancy-associated glycoproteins, PAG-ok) tejmintákból történő meghatározása olyan új adatforrásokat biztosít, amelyek lehetővé teszik e jelenségek genomikai kockázatának előrejelzését. A PAG-alapú információk integrálása a tenyésztéskbecslési modellekbe várhatóan tovább növeli majd a szelekció pontosságát (Ask-Gullstrand és mtsai., 2023). Ugyanez érvényes más szaporodásbiológiai és ellés körüli rendellenességekre is: minél következetesebb az esetdefiníció és minél teljesebb az adatgyűjtés, annál megbízhatóbbá válik a genetikai előrejelzés és eredményesebbé a tenyésztési döntéshozatal.

A marker- és haplotípus-alapú megközelítések szintén új távlatokat nyitnak a genetikai előrehaladásban. A teljes genomra kiterjedő asszociációs vizsgálatok már több olyan kromoszómaregiót feltártak, amelyek részt vesznek a placentafejlődés, az embriómegtapadás,

a magzati növekedés és az immunválasz genetikai szabályozásában (Sigdel és mtsai., 2021). Az így azonosított SNP-k és haplotípusok szintén beépíthetők a tenyésztéskbecslési modellekbe, javítva ezáltal a vemhesülés, az embriómegtartás és az ellés utáni regeneráció genetikai előrejelzését. Különös jelentőségűek a már említett embrió- vagy borjúelhalást okozó letális haplotípusok (HH1–HH7 stb.), amelyek felismerésére a hordozók genotípusa alapján van mód; rutinszerű monitorozásukkal és a nem kívánatos párosítások (hordozó × hordozó) elkerülésével csökkenthető a genetikai eredetű embrióvesztés és a meddőség miatti selejtezések aránya.

Több tanulmány (Lin és mtsai., 1989; Pryce és mtsai., 1998; Jamrozik és mtsai., 2016) mérsékelt-közepes genetikai kapcsolatot mutatott ki a szaporodásbiológiai rendellenességek és az ellés körüli szövődmények között, ezért a szelekció során célszerű ezeket nem elszigetelten kezelni. Mahnani és mtsai. (2022) például a RFM esetében $r_g \approx +0,34$ kapcsolatot írtak le a nehézelléssel, $r_g \approx +0,32$ -t a holtelléssel és $r_g \approx +0,25$ -t az ellés-első inszeminálás közötti idővel, valamint az üres napok számával; az ikerelléssel ugyanakkor 0-közelit korrelációt találtak



($r_g \approx -0,04$). Ask-Gullstrand és mtsai. (2023) pedig szoros, negatív genetikai összefüggést állapítottak meg az embrióelhalás és a bikák lányivadékainak vemhesülési aránya (daughter pregnancy rate, DPR) között, ami tovább erősíti a szelekciós indexek integrált, többtényezős megközelítésének jelentőségét.

A modern összetett tenyésztésközpontok – például az amerikai nettó gazdasági haszonindex (net merit index, NM\$), a kanadai élettéljesítmény-index (lifetime performance index, LPI), valamint a skandináv északi

összesített tenyésztésközpont (Nordic total merit, gNTM) – a tejtermelés mellett a fertilitási és egészségi jellemzőket is integrálják. Ennek megfelelően a szaporodásbiológiai zavarok előfordulása két úton is csökkenthető: egyrészt közvetetten, a velük genetikai kapcsolatban álló fertilitási jellemzőkre (például a szervizperiódusra vagy a DPR-re) irányuló szelekció révén, másrészt közvetlenül, a nemzeti tenyésztésközpontok egészségi részkomponenseiben szereplő kórképek genetikai kockázatának célzott visszaszorításával.

Az Egyesült Államokban a Tejhasznú Szarvasmarha-tenyésztési Tanács (Council on Dairy Cattle Breeding, CDCB) hat egészségi jellemzőre (hipokalcémia/tejláz, oltógyomor-áthelyeződés, ketózis, klinikai mastitis, metritis és RFM) publikál hivatalos tenyésztésközpontokat; ezek a 2018-as NM\$-frissítés óta szerepelnek az egészségi részindexben (HTH\$). A HTH\$ relatív súlya a NM\$ aktuális képletében mintegy 1,5%, ami – csekély részaránya ellenére – mérhető genetikai előrehaladást biztosít a CDCB (2025) modellje szerint. Ugyanezen kórképek az Amerikai Holstein Szövetség TPI®-rendszerének egészségi részindexében (health trait index, HT) is megjelennek (~2%-os súllyal; Holstein USA, 2025).

A kanadai LPI 2025 áprilisában bevezetett új struktúrájában az ún. egészségi és jólléti index (health & welfare index, HWI) 8%-os súlyt kapott. A HWI a főbb betegségekkel szembeni genetikai ellenálló képességet egyesíti, holstein-fríz fajta esetében a következő arányokkal: mastitis ~47%, metabolikus rendellenességek ~27%, láb- és lábvégproblémák ~21%, cisztás petefészek ~5% (Lactanet, 2025).

A skandináv országokban (Dánia, Svédország, Finnország) használt gNTM-index a holstein-fríz populációra 2025-ben már 16 tulajdonságcsoporthoz relatív súlyozásával készült. A 2025. februári súlyfaktorokat 100%-ra normalizálva: a klinikai betegségekkel szembeni genetikai ellenálló képességet tükröző „általános egészség” komponens súlya ~4,8%, a fertilitásé ~12,5%, a tőgyegészségé ~10%, míg az ellési tulajdonságok, tehát a maternális indirekt, illetve a borjak genetikai adottságait tükröző direkt komponensek egyenként ~4,8%-ot képviselnek (NAV, 2025).

A hazai holstein globál index (HGI) ilyen irányú átalakítása 2026-ban várható, de a legfontosabb funkcionális tulajdonságokra vonatkozó genomikai tenyésztésközpontok már jelenleg is elérhetők.

A CH₄-intenzitás mérséklésének lehetőségei

A tejtermelés hatékonyságát rontó tényezők – többek között a szaporodásbiológiai és periparturális rendellenességek – közvetve növelhetik az egységnyi termelt tejre jutó CH₄-kibocsátást, azaz a CH₄-intenzitást. Reprodukciós problémák esetén a szervizperiódus megnyúlik, a tehenek hosszabb ideig maradnak „üresen”, tejtermelésük visszaesik, miközben a takarmányfelvételük és az enterális CH₄-termelésük csak minimálisan csökken vagy változatlan marad. Ennek következtében a CH₄-kibocsátás kisebb tejmenyiségre vetíthető, tehát a fajlagos emisszió (CH₄/FPCM) emelkedik. (FPCM: fat- and protein-corrected milk – zsír- és fehérjetartalomra korrigált tejmenyiség.) A súlyos vagy visszatérő egészségi

zavarok ráadásul korai selejtezéshez vezethetnek, fokozva az utánpótlási igényt és az ezzel járó „üresjárat” kibocsátást – különösen akkor, ha az újonnan beállított fiatal egyedek később sem tudnak tartósan megfelelni a termelési és szaporodásbiológiai követelményeknek. Ez állományszinten tovább fokozhatja a CH₄-intenzitást.

Mindent egybevetve, a tárgyalt egészségi problémák hatása a CH₄/FPCM-érték alakulására jellemzően közvetett módon, a takarmányfelvétel- és hasznosítás romlásán, a tejtermelés csökkenésén, valamint a selejtezési és állománypótlási arányok változásán keresztül érvényesül. Emiatt az egyes rendellenességek enterális CH₄-intenzitásra gyakorolt direkt hatása



jelenleg csak korlátozottan számszerűsíthető, és elsősorban szimulációs modellek alapján becsülhető, amelyek eredményeit nagymértékben befolyásolják a kiindulási feltételek. Egyes életciklus-elemzések azonban arra utalnak, hogy a komorbid (egyidejűleg fennálló) egészségi problémák érdemben növelhetik az 1 tonna FPCM-re jutó CO_2e -kibocsátást. (CO_2e : CO_2 -egyenérték.) Mostert és mtsai.-nak (2018, 2019) szimulációi szerint például a szubklinikai ketózis metritisszel társulva +33,8 kg $\text{CO}_2\text{e}/\text{t FPCM}$, mastitisszel +63,4 kg $\text{CO}_2\text{e}/\text{t FPCM}$, míg a DA-val +55,8 kg $\text{CO}_2\text{e}/\text{t FPCM}$ többletkibocsátással járhat. (Mivel az enterális CH_4 a tejtermelés ÜHG-terhének meghatározó komponense, e növekmények a CH_4 -intenzitás emelkedését is tükrözik.)



Forrás: Iowa State University

Összegzőképpen tehát a fajlagos CH_4 -kibocsátás mérséklésére két egymást kiegészítő beavatkozási irány kínálkozik a szaporodásbiológiai tényezőkön

keresztül. **1. Állategészségi állapot javítása → kisebb termelőkiesés → alacsonyabb CH_4/FPCM :** A szaporodásbiológiai és az ellés körüli rendellenességek ritkább előfordulása, illetve enyhébb lefolyása hozzájárul a csökkent termelésű/nem produktív időszakok rövidüléséhez (kevesebb üres nap, gyorsabb regeneráció, kisebb átmeneti tejhozam-visszaesés stb.). Ennek következtében az enterális fermentációból származó CH_4 -kibocsátás nagyobb tejmenyiségre vetül, és így a fajlagos emisszió mérséklődik. **2. Állategészségi állapot javítása → kisebb utánpótlási igény → alacsonyabb állomány szintű CH_4 -intenzitás:** A hosszabb hasznos élettartam enyhíti a selejtezési és utánpótlási kényszert, ezért kevesebb üsző felnevelésére és termelésbe állítására van szükség. Mivel az üszőnevelés és az első ellésig tartó időszak alatt az állat már kibocsát enterális CH_4 -t, de még nem termel tejet, ez a periódus kifejezetten kedvezőtlen a CH_4/FPCM arány szempontjából. Az állománypótlási igény csökkentésével tehát a „termelés nélküli emisszió” relatív szerepe visszaszorítható a tejhasznú szarvasmarha-populációkban. (A hasznos élettartam genetikai hátterét a következő írásunk tárgyalja.)

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

