

COM REDUIR LA PRODUCCIÓ DE METÀ

Resum de l'article: DOREAU M., MARTIN C., EUGÈNE M., POPOVA M., MORGAVI D.P., 2011. Leviers d'action pour réduire la production de méthane entérique par les ruminants. In: Gaz à effet de serre en élevage bovin: le méthane. Doreau M., Baumont R., Perez J.M. (Eds). Dossier, INRA Prod. Anim. 24, 461-474.

Índex

Introducció	2
Estratègies per reduir la producció de metà	2
Composició de la ració.....	3
Proporció de concentrats i naturalesa dels glúcids	3
Naturalesa del farratge.....	4
Aportacions de lípids	5
Plantes específiques i olis essencials	7
Plantes riques en tanins	7
Plantes riques en saponines	8
Els olis essencials i altres extractes de plantes.....	8
Additius i biotecnologies	9
Addició de probiòtics.....	9
Antibiotics ionòfors	9
Àcids orgànics.....	10
Sulfats i nitrats.....	10
Efecte del tipus d'animal	11
Nivell de producció.....	11
Efectes genètics	11
Conclusió	12

INTRODUCCIÓ

Les emissions per part dels animals de **gasos d'efecte hivernacle**, responsables de l'escalfament global segueix sent controvertida (mètode de càlcul, àrea geogràfica). Hi ha moltes recomanacions fetes per organismes internacionals (FAO, IPCC, etc.) per reduir-les. En el cas dels remugants, les emissions de gasos d'efecte hivernacle s'expressen en **equivalent CO₂** (basat en el poder d'escalfament del propi CO₂, de l'òxid de nitrogen i del metà. El metà representa prop de la meitat de les emissions.

Per reduir les emissions en remugants: investigacions en additius alimentaris, proves in vitro (poques in vivo), conclusions precipitades. Les proves a llarg termini són molt poc freqüents. Aquest article està centrat en els resultats obtinguts in vivo.

La reducció de la producció de metà es pot mesurar per kg de matèria seca ingerida (això avalua l'impacte d'una pràctica en els processos digestius), o per kg de llet o de carn (això integra l'eficiència de la producció). A més, les estratègies per reduir les emissions de metà a través de l'alimentació poden ser, en alguns casos, eficaces només en el curt termini, a causa de que l'ecosistema microbià ruminal té un equilibri dinàmic (totes les poblacions microbianes estan lligades entre si, equilibris en un sentit o altre) i, per tant, la reducció en la producció de metà no és permanent. Els mesuraments de la producció de metà es realitzen generalment després de 2-4 setmanes d'aplicació dels tractaments estudiats, i caldria confirmar-ho a llarg termini, mesos més tard.

Finalment, l'acceptabilitat per part del consumidor de les tècniques per reduir la producció de metà pot ser contradictòria (additius no autoritzats, efectes sobre la salut animal, sobre el consumidor).

ESTRATÈGIES PER REDUIR LA PRODUCCIÓ DE METÀ

El metà es produeix al rumen pels arqueobacteris (*methanogenic Archaea*) a partir de l'hidrogen format en la fermentació de carbohidrats. La ruta bioquímica d'acetat produeix hidrogen, mentre que la del propionat en consumeix, el que explica la relació positiva entre la producció de metà i la relació acetat/propionat al rumen. H és, per tant, un element limitant en la producció de metà. Caldria, per tant, o bé **reduir la producció neta d'H** o **reorientar altres rutes metabòliques** potencialment beneficioses per a l'animal.

- **Reduir la producció neta d'H**

Suprimint parcialment o totalment els protozous.

Mida de la població dels protozous ↔ emissions de metà

Els protozous són grans productors d'hidrogen, ja que afavoreixen la producció de butirat en la barreja d'àcids grassos volàtils (AGV). Els protozous es poden reduir amb **dietes riques en cereals**, i, també, per l'efecte tòxic d'alguns compostos: AG de cadena mitjana (lauric i mirístic), o AG poliinsaturats (linoleic i linolènic), o amb compostos secundaris de plantes (saponines, www.floracatalana.net/llistes/plantes-amb-saponines).

Conseqüències de l'eliminació parcial o total de la població protozous: a) la població bacteriana s'incrementa (protozous són depredadors), b) la biomassa microbiana exerceix un paper de "pous d'hidrogen" \Rightarrow \downarrow H per a la per a la metanogènesi.

Els perfils d'AGV són més pobres en butirat i més rics en acetat o propionat. No obstant, la reducció de la població de protozous \Rightarrow \downarrow digestibilitat de les parets, \uparrow flux proteïnes rumen avall (protozous que són depredadors de bactèries, surten lentament del rumen).

- **Reorientar altres rutes metabòliques**

L'augment en la proporció de propionat al perfil d'AGV és la primera solució.

Com augmentar la proporció de propionat als AGV del rumen		
\uparrow concentrats a la ració	\uparrow farratges molt digestibles (herba jove)	\uparrow AG poliinsaturats (C18:n) a la ració (gira-sol, lli)
\uparrow Cereals (midó)	\uparrow àcids orgànics	\uparrow antibiòtics ionòfors
\uparrow Cereals (velocitat digestió alta: ordi, blat)		

L'augment de propionat sovint s'associa amb una disminució en el pH (cas de les dietes altes en concentrat), \downarrow pH \Rightarrow \downarrow protozous \downarrow metanògens.

La hidrogenació dels AG poliinsaturats no compta més que marginalment en la captació d'hidrogen "pous d'hidrogen" per limitar la metanogènesi.

COMPOSICIÓ DE LA RACIÓ

PROPORCIÓ DE CONCENTRATS I NATURALESA DELS GLÚCIDS

L'augment de la proporció de concentrat en la dieta causa una disminució en la producció de metà/kg MS o de metà/EB. La metanogènesi es redueix fortament amb alts nivells de concentrats.

Racions normals vaques de llet: metà \approx 5% EB ingerida

Racions altes de Co: metà \approx 3% EB ingerida.

En vedells; racions amb EBM, fenc: 6%; racions amb el 86% de Concentrats: 3%

Variació similar, encara que menys pronunciat, es va observar en racions F:C (65:35) vs F:C (10/90).

Hi ha interacció entre els efectes de la digestibilitat de la dieta, que augmenta amb la proporció de concentrat, i el nivell alimentari. Per a un nivell alimentari \leq 2,51, hi ha poca variació en la producció de metà/EB, que estaria entre el 6 i 7%, per a F:C (80:20 a 50:50).

Aquests resultats diferents estan relacionats amb l'efecte del percentatge de concentrat en la relació d'acetat/propionat al rumen, i a la disminució de pH a alts nivells de Co a la ració.

Nombrosos estudis han demostrat que els cereals amb més glúcids digestibles tenen emissions de metà més baixes que els concentrats més rics en parets. No obstant això, hi ha hagut poques comparacions directes. La substitució de polpa de remolatxa per ordi, en una dieta rica en concentrats, redueix l'emissió de metà en un 35% per kg de MS ingerida. Amb ordi la fermentació s'orienta cap al propionat, i amb la polpa cap a l'acetat.

Les diferències en les emissions de metà segons el tipus d'hidrats de carboni existeixen, però són més petites que les diferències a causa de la proporció de concentrat en la ració. Els sucres solubles (fermentacions cap a butirat) són més metanogènics que el midó (fermentacions cap a propionat), en qualsevol cas.

NATURALES DEL FARRATGE

Hi ha pocs assaigs sobre l'efecte de diferents tipus de farratge en les emissions de metà, i alguns donen resultats contradictoris, de manera que no sembla que la naturalesa del farratge a la ració sigui determinant.

(Ensitjat d'herba \Rightarrow \uparrow metà) **vs** (Ensitjat de blat de moro \Rightarrow \downarrow metà)

(EBM més midó \Rightarrow fermentació propionat)

Per contra, en vaques seques: La producció de metà amb ensitjat d'ordi = 1,33 x producció de metà amb fenc, i les proporcions d'AGV van ser similars entre els dos règims.

En vedells d'engreix: racions a base d'ensitjat d'herba o de blat de moro donen poques diferències en la producció de metà.

La composició química del farratge a causa de la seva maduresa, influeix poc en les emissions de metà.

Farratges distribuïts sense complementació: la producció de metà/kg de MO ingerida o digerida està correlacionada positivament amb la digestibilitat de la matèria orgànica, però també amb el contingut de NDF del farratge, mentre que aquests dos factors varien inversament. Aquest resultat indica que a més constituents digestibles hi ha més substrats per a la **metanogènesi**, i que, a igual digestibilitat de la MO, com més contingut de NDF la via de l'acetat i de la metanogènesi s'afavoreixen. Cal tenir en compte que la variació en les proporcions d'AGV és molt menor entre farratges que entre racions mixtes. Les comparacions directes donen resultats contradictoris. Uns van trobar que la producció de metà augmentava amb la maduresa del farratge, i altres no van observar canvis en la producció de metà en forma de percentatge de l'energia bruta o matèria orgànica ingerida. Altres no van observar cap diferència en la producció de metà, com una proporció de la ingesta d'energia bruta, entre un farratge en verd i l'ensitjat, recollits simultàniament, la qual cosa és lògic ja que el procés de ensitjament modifica lleugerament el contingut de paret i digestibilitat.

No es va trobar cap diferència en les emissions de metà entre gramínies i lleguminoses temperades. No obstant això, alguns estudis suggereixen que les lleguminoses donen emissions de metà entèric més baixes que les gramínies.

També es va observar una reducció del 10% en la producció de metà per kg de guany de pes en bovins de carn en pastura, quan les gramínies eren reemplaçades per una barreja de gramínies i alfals. Aquest efecte no es va observar amb trèvol blanc o violeta. Altres no va trobar cap efecte significatiu de l'alfals o el trèvol violeta en substitució del raigràs, en l'emissió de metà per kg de MS, en les proves in vivo.

L'efecte de l'**alfals** podria suggerir que la reducció del metà és a causa de la riquesa en **malat**, un àcid orgànic que contribueix a reduir la producció de metà, o en alguns metabòlits secundaris com ara **saponines**. No obstant això, la manca d'efecte de la substitució d'alfals deshidratat per farina de soja a raó del 30% de la dieta no advoca per un "efecte alfals" específic. Cal assenyalar que la introducció de lleguminoses en la dieta tendeix a reduir les emissions d'òxid de nitrogen.

En les gramínies en que la fotosíntesi és en C4, pròpia de climes càlids, induint una producció de metà superior en 10 a 17% a la de les gramínies amb fotosíntesi en C3, característica de climes temperats, a igualtat de digestibilitat i contingut de NDF i nivell d'ingestió. Les raons són encara inexplicables. Al revés, en lleguminoses amb fotosíntesi en C4 s'indueix la producció de metà inferior que en lleguminoses amb fotosíntesi en C3, però això és més probable que sigui a causa de la proporció de tanins, de mitjana, majors en lleguminoses tropicals. La presència de tanins, de fet, contribueix a la reducció de les emissions de metà.

(Les plantes fixen CO₂ durant la fotosíntesi per diferents vies metabòliques; les dues principals són en C3 i en C4, segons que la fixació de CO₂ doni un compost amb 3 o 4 àtoms de carboni. Els farratges de zones temperades generalment tenen una fotosíntesi en C3; el blat de moro i els farratges tropicals tenen una fotosíntesi en C4).

APORTACIONS DE LÍPIDS

L'enriquiment de la ració amb lípids és una via interessant per reduir les emissions de metà. Els lípids no proporcionen un substrat per a la producció de metà al rumen.

Si [Lípids]_{ració} augmenta 1% ⇒ ↓2,2 a 1,7% producció de metà/kg MS ingerida (vaques de llet).

En una revisió basada en 17 estudis: Si [Lípids]_{ració} augmenta 1% ⇒ ↓5,6 % producció de metà/kg MS ingerida, a diferents espècies de remugants. També sembla que la reducció mitjana en la producció de metà depèn de la naturalesa de l'AG. La reducció és més important per AG de cadena mitjana (els que du la **polpa de coco**, ↓8,5% per cada punt de lípids addicionals), seguit de l'àcid linolènic (**lli**, ↓ 5,6% per cada punt de lípids addicionals) i per l'àcid linoleic (**gira-sol** i **soja**, ↓ 4,0% per cada punt de lípids addicionals).

Els AG monoinsaturats, com ara l'àcid oleic (colza), AG saturats, àcid palmític i esteàric (sabons de calci d'oli de palma, greixos cristal·litzats) tenen un efecte més limitat. En alguns casos no s'ha trobat una disminució important a causa de les interaccions dels lípids amb la resta de la dieta.

La comparació dels tres tipus d'AG més freqüents (oleic, linoleic i linolènic) dona resultats variables d'una prova a una altra. El coneixement actual sobre l'efecte de diferents lípids de la dieta sobre les poblacions microbianes del rumen no pot explicar aquestes diferències.

L'efecte dels AG 20 i 22 C en la producció de metà encara és poc conegut in vivo.

S'han fet moltes proves amb lli. De vegades no hi havia resposta de la producció de metà, de vegades reaccions molt fortes a altes dosis (↓50% producció de metà amb una addició de 5,8% d'oli de llinosa). La resposta a les dosis creixents de llavor de lli *extrusionada* és baixa per al consum moderat (reducció de la producció diària de 6-15% a 2% de greix afegit), i més pronunciat a dosis altes (producció diària es va reduir de 40 a 42% a 6% de greix afegit). L'ús de lli per reduir la producció de metà és acompanyada per un efecte bastant beneficiós sobre la qualitat nutritiva de la llet i carn, a causa d'un lleuger augment en AG omega 3 (àcid linolènic). No obstant això, la ingesta excessiva de llinosa pot donar lloc a una limitació del nivell d'ingestió, un creixement d'AG monoinsaturats *trans*, i una tendència a la peroxidació lipídica. En l'estat actual dels coneixements, un consum de greix de llavor de llinosa ordre de 2-3% pot ser eficaç en la reducció de la metanogènesi. Pel que fa als AG de cadena mitjana, que tenen efectes sobre la metanogènesi, el seu ús s'ha de limitar pel seu efecte bastant negatiu en el "valor de la salut" dels productes d'origen animal, i potser per una reducció de la digestibilitat de les racions en alguns casos.

Entre les fonts de greix inclouen el bagàs de blat de moro, un subproducte de la producció d'etanol. Aquest producte conté aproximadament 10% dels AG, però es pot incorporar en quantitats altes en la dieta, i és un mitjà d'enriquir la dieta en greix. En el bestiar de carn la substitució d'ordi (35% de la ració) pel bagàs de blat de moro sec amb solubles [DDGS (*Dry Distillers Grains with Solubles*)] redueix la producció de metà en un 16%. Altres subproductes dels biocombustibles, com el tortó de llavor de colza amb el 10% de greix, tenen el mateix efecte.

L'efecte de la ingesta de greix sobre la metanogènesi pot dependre de la composició de la dieta, però les dades són fragmentàries i contradictoris. La disminució de metà amb aportacions creixents de llinosa és més pronunciada en percentatge, amb una ració basada en fenc que amb una basada en ensitjat de blat de moro, i és més pronunciada (la reducció de metà) amb l'ensitjat d'ordi que amb el fenc.

Hi ha pocs assajos de llarga durada. S'han resumit set assaigs a mitjà i llarg termini amb diferents fonts de greix, dels quals només tres han durat més de 3 mesos, i s'arriba a la conclusió que l'efecte dels lípids es manté en el temps. És el cas de la llavor de cotó a vaques durant 16 o 12 setmanes, on l'efecte del greix s'augmenta amb el temps.

Finalment, van trobar que després d'un any de la complementació amb llavor de lli en la ració de les vaques lleteres, la producció de metà va ser menor que la relativa a la dieta no complementada. En canvi, van observar amb vedells alimentats durant sis mesos que la reducció de la producció de metà per kg de guany de pes amb una dieta de concentrat ric en midó i lípids en comparació amb una dieta rica en concentrat fibra va ser menys pronunciada en el temps, però l'efecte es pot atribuir tant als lípids com al midó. No obstant això, aquests

assajos en conjunt, suggereixen que l'efecte del greix poliinsaturat sobre la producció de metà podria ser permanent.

PLANTES ESPECÍFIQUES I OLIS ESENCIALS

Un nombre considerable de mesures sobre la producció de metà s'han realitzat in vitro i amb menys de 10 plantes o extractes es va reduir significativament la producció de metà, sense efectes negatius sobre la fermentació (en particular dues varietats de ruibarbre).

L'ús potencial d'aquestes plantes, si es va mostrar eficaç sobre la reducció de metà, depèn de la seva capacitat de cultiu, així com de la seva falta de toxicitat.

PLANTES RIQUES EN TANINS

Els tanins són coneguts des de fa anys per la seva acció inhibidora sobre la producció de metà entèric. Aquest efecte pot ser degut en particular a la forta reducció dels metanogens *Archaea*. Els tanins poden ser consumits en gran quantitat (farratges) o en forma d'extractes. Els tanins poden ser condensats, amb efecte negatiu sobre la producció de metà contrastat, o hidrolitzables, amb efecte menys estudiat. La introducció en la dieta dels tanins condensats, o els hidrolitzables, té altres efectes beneficiosos com la reducció de la degradació de proteïnes al rumen o la possible reducció de la hidrogenació d'AG, o, també, desfavorables com ara la reducció de la digestibilitat de la matèria orgànica. Moltes lleguminoses tropicals són riques en tanins, especialment lleguminoses arbustives (*Leucaena leucocephala*: <http://www.fao.org/ag/AGP/AGPC/doc/Publicat/Gutt-shel/x5556e06.htm>).

Malgrat la naturalesa i l'estructura bioquímica dels tanins varien d'una planta a una altra, hi ha una relació negativa entre les emissions de metà in vitro i nivells de tanins condensats, i també amb els hidrolitzables, però, no obstant això, algunes plantes, les més nutritives, produeixen elevades quantitats de metà a causa de la seva riquesa en sucres fermentables.

L'extracte de tanins d'escorça d'acàcia negra (*acacia mearnsii*: <http://www.fao.org/docrep/004/AC121E/ac121e06.htm>) va reduir la producció de metà de les ovelles a un ritme del 2,5% d'incorporació de MS, no obstant això, la lleugera disminució en la digestibilitat es va compensar per un lleuger augment d'ingestió. Aquest efecte va ser confirmat amb vaques lleteres a una taxa d'incorporació de 2% de la MS. Proves amb extracte de taní de quebratxo (*Schinopsis*) o amb tanins de castanyer, donen resultats contradictoris, no se sap si per la naturalesa dels tanins o per les condicions experimentals.

El *lotus corniculatus* ha estat àmpliament estudiat, principalment a Nova Zelanda, i el seu efecte en la reducció de metà sembla clara. Per exemple, les emissions de metà per kg de MS ingerida, en vaques de llet, són més baixes que si mengen raigràs. El mateix passa amb l'enclova (*Hedysarum coronarium*).

PLANTES RIQUES EN SAPONINES

Les saponines són glucòsids trobats en moltes plantes. Disminueixen la degradació de proteïnes al rumen i promouen la síntesi de proteïna microbiana, el que limita la quantitat d'hidrogen disponible per a la metanogènesi. Les saponines redueixen la població de protozoos. In vitro, l'efecte negatiu de la saponina sobre la metanogènesi es mostren amb diferents plantes, però no és sistemàtic. En alguns casos, amb dosis altes de saponines, hi hagut reduccions del 25% en la producció de metà (cas de *Yucca schidigera* i de *Quillaja saponaria*).

El nombre de dades disponibles i consistents però, és massa baix per a una conclusió sobre l'ús potencial de certes plantes riques en saponines com agents per reduir la producció de metà.

ELS OLIS ESSENCIALS I ALTRES EXTRACTES DE PLANTES

L'interès dels olis essencials per reduir la metanogènesi ha estat objecte de revisió. 1) Composició molt variable dels olis essencials de la mateixa planta, depenent entre altres coses de la seva regió d'origen. Això fa que la interpretació dels resultats experimentals per determinar els efectes dels extractes de plantes sobre la fermentació ruminal sigui difícil. 2) A més, la multiplicitat de molècules actives en la població microbiana ruminal es tradueix pels efectes inhibitoris sobre les *Archaea metanogèniques* i sobre algunes espècies de bacteries, que poden reduir la intensitat de la fermentació.

Entre els compostos el efecte negatiu sobre la producció de metà s'ha demostrat in vitro, la resposta a dosis creixents ha estat estudiada per **carvacrol** (monoterpenoid fenol), **timol**, **eugenol** (fenil propè) i **cinamaldèhid**, així com hidrocarburs més complexos de **farigola**, **canyella** i **orenga**. Els olis d'orenga i farigola contenen quantitats importants de carvacrol i timol, i menors de terpens. Aquests olis tenen un efecte més gran del que es podria esperar de les molècules que els componen, la qual cosa suggereix efectes additius o sinèrgics fins i tot.

No hi ha proves in vivo per determinar l'eficàcia d'aquests compostos per reduir les emissions de metà, sense pertorbar la ingestió o la digestió.

L'**oli de rave** protegit per evitar la caiguda de la ingestió va reduir la producció de metà en gairebé un 20% en vedells joves. Aquest curt assaig no ha estat confirmada. La combinació de dos o més olis essencials podrien augmentar les possibilitats d'èxit d'una estratègia per reduir la producció de metà, tot i que en alguns assaigs no s'ha demostrat.

L'**extracte d'all** sovint s'ha demostrat ser molt eficaç en la reducció de la producció de metà in vitro, a causa de la presència de compostos orgànics de sofre. In vivo, els resultats són decebedors. Si l'efecte de l'extracte d'all resulta significatiu en el futur, el seu ús s'haurà de limitar a la producció de carn, a causa de l'aparició de males olors a la llet.

Altres extractes vegetals (anacard, fulla d'orenga) s'han provat *in vitro* i en assaigs de curta durada *in vivo*. I convé ser prudent ja que l'efecte *in vitro* sobre la metanogènesi no és sistemàtic.

ADDITIUS I BIOTECNOLOGIES

ADDICIÓ DE PROBIÒTICS

Els llevats vius (soques de *Saccharomyces cerevisiae*) s'han utilitzat durant molts anys com un additiu en la dieta dels remugants principalment per estimular la degradació de les fibres, per limitar la degradació de proteïnes o per prevenir l'acidosi. L'addició dels ceps comercialitzats no han mostrat cap efecte, fins ara, en la producció de metà.

Algunes soques *in vitro* van mostrar una reducció en la producció de metà. La incorporació dels bacteris probiòtics com si fossin additius es desenvolupa; Per als remugants adults, aquests bacteris s'empren per prevenir la acidosi, o limitar l'aportació dels patògens potencials, com ara certes soques d'*Escherichia coli* i *Salmonella spp.* Els bacteris més comunament utilitzats són els que empren el lactat per augmentar la producció de propionat, i els bacteris làctics. Treballs recents en el nostre laboratori (INRA), utilitzant una combinació de bacteris probiòtiques, té, per primera vegada per al nostre coneixement, la reducció significativa de la producció de metà en les vaques, sense canviar la producció de llet en un assaig a curt termini. Pendent de confirmació. L'ús d'hidrogen a través de la acetogènesi s'empra en els éssers humans i en diferents espècies animals.

Al rumen, els bacteris acetogènics no competeixen amb les *archaea metanogènics* per a l'ús d'hidrogen. Recentment, s'ha demostrat *in vitro* que aquests bacteris de l'intestí del cangur competien vis-a-vis amb les *archaea metanogènics* al rumen. Aquesta prova va tenir una alta publicitat en els mitjans, però el cultiu d'aquests bacteris i la seva aplicació en el rumen queda per fer.

ANTIBIÒTICS IONOFORS

Els antibiòtics ionòfors, principalment *monensina* i *lasalocid*, són una classe d'antibiòtics amb propietats específiques (estimulació del transport actiu de cations i reducció de la producció d'ATP) que resulten tòxiques per a les bacteris gram positives. Estan prohibits a la UE des de 2006, però encara s'esmenta sempre com un possible mitjà de reduir les emissions de metà. El seu ús en remugants condueix a una disminució en la producció de metà a curt termini de 0 a 30%. L'efecte podria dependre del nivell d'incorporació, amb una reducció de la producció de metà en una mitjana de 3 a 8% per kg MS ingerida a dosis altes (20 a 35 mg/kg MS). Aquest efecte està relacionat amb l'orientació de la fermentació ruminal d'àcid propiònic i l'estimulació dels bacteris gram negatives; a més la població de protozous es redueix, però la de metanògens no es veu afectada.

ÀCIDS ORGÀNICS

Els àcids orgànics són components menors d'algunes plantes. Al rumen són convertits pels bacteris a succinat amb un consum d'hidrogen provinent del H_2 o del formiat $CHOO-$, el succinat és al seu torn convertit en propionat. Tres àcids orgànics de síntesi es van estudiar *in vitro* pel seu efecte negatiu sobre la producció de metà: malat, fumarat i acrilat, i els dos primers han estat *in vivo*. *In vitro*, la reducció de la metanogènesi no és sistemàtica. Quan l'efecte és significatiu, el del fumarat és major que el de malat, i el de formes àcides més important que en la forma de sals. S'ha trobat en un fermentador tipus "batch" (són sistemes simples que permeten la incubació dels substrats amb contingut ruminal en un ambient tancat per un període limitat de temps, 24 hores en general) que l'associació entre l'àcid màlic i l'oli de gira-sol va reduir la producció de metà, mentre que cada un d'aquests compostos sols no havia tingut cap efecte. Curiosament, l'efecte dels àcids orgànics en la metanogènesi és sovint més important *in vivo*. Això pot ser degut a una major competitivitat dels bacteris usant àcids orgànics en comparació amb els metanògens en sistemes complexos.

S'han de buscar altres mecanismes que condueixen a la reducció de la producció de metà. Fins i tot si els àcids orgànics són eficaces a llarg termini, hi ha diversos obstacles per al seu ús pràctic: la possible restricció de l'ús de molècules sintètiques en l'alimentació animal, el fet que es necessiten grans quantitats, la qual cosa pot causar un problema per a la imatge dels productes i, també, el seu elevat cost.

El glicerol, disponible en grans quantitats en la producció de biocombustibles no és un àcid orgànic, però es converteix en propionat i la seva inclusió en la dieta com un substitut d'altres fonts d'energia podria reduir la producció de metà.

SULFATS I NITRATS

Les vies metabòliques alternatives de la metanogènesi, com ara la reducció dels nitrats i sulfats s'han descrit. Alguns bacteris són capaços d'oxidar hidrogen usant sulfats, nitrats o altres compostos de nitrogen; la proporció, normalment baixa, d'aquests bacteris en la microflora ruminal augmenta en presència del seu substrat predilecte. L'ús dels sulfats presenta el risc de formació de sulfur d'hidrogen tòxic, però un recent assaig *in vitro* van mostrar que els microorganismes sulfat-reductors poden reduir la producció de metà sense pertorbar la digestió i sense augmentar la producció de sulfur d'hidrogen.

La conversió de nitrat a amoníac és competitiva vis-a-vis de la metanogènesi. Per això, la incorporació de nitrat en la dieta es considera factible.

Aquest procés s'ha de controlar per evitar la producció de nitrits tòxics. L'ús d'aquests tipus de molècules s'ha de confrontar amb l'acceptació per part del consumidor.

EFFECTE DEL TIPUS D'ANIMAL

NIVELL DE PRODUCCIO

L'augment del nivell de producció d'animals condueix a una reducció de les emissions de metà per kg de llet o de carn. En primer lloc, la producció de metà per la ingesta kg MS disminueix en augmentar el nivell alimentari (el temps de permanència al rumen baixa).

Si s'expressen les emissions de metà per kg de llet, o de guany de pes, la part de les necessitats de manteniment en el requeriment total és menor quan augmenta el nivell de producció, i per tant sobre el total d'una lactació la producció de metà/kg llet o kg de guany de pes és menor. Tot i així, els més productors tenen una vida més curta, i el període de cria i creixement es repeteix.

L'augment en el nivell de producció sovint s'argumenta com l'acció per reduir les emissions de metà. Però, l'augment de la productivitat dels animals sovint s'acompanya per un augment en la intensificació i les entrades (fertilitzants, concentrats comprats) i per tant de les emissions d'òxid de nitrogen i diòxid de carboni per kg producte produït.

El mateix passa en comparar les emissions a diferents països (productivitat animal diferent, productivitat farratgera diferent, etc.). Tot s'ha de matissar.

EFFECTES GENETICS

No s'ha trobat cap efecte del genotip en les emissions de metà quan els animals de races diferents van tenir el mateix maneig. Això és bastant lògic ja que la producció de metà al rumen està relacionada principalment amb l'ecosistema microbià, i en segon lloc amb l'animal hoste; la raça té poc efecte sobre el temps de permanència de la ració al rumen. Hi ha, però, diferències individuals en l'ecosistema microbià per a la mateixa ració, donant lloc a diferències en l'eficiència digestiva, i per tant en la producció de metà.

Un mètode d'aproximació a l'existència d'efectes genètics és l'estudi de la repetibilitat de les mesures de la producció de metà. Diferents autors han mesurat el metà produït per, respectivament, 9 i 4 vaques seques que van rebre dietes contrastades, i van observar una repetibilitat moderada (estimada per la relació entre la variabilitat mesurada entre els animals i la variabilitat total). La classificació dels animals per a la producció de metà és variable segons el règim alimentari.

Un segon mètode d'aproximació és mesurar l'eficàcia general dels animals a través de la ingestió residual "consum d'aliment residual" (la diferència entre el consum real i la ingesta esperada per un model o per regressió). Els animals amb la menor *ingestió residual* mengen menys per guany de pes equivalent. Tenen, per tant, una eficiència productiva global, digestiva i metabòlica superior. S'ha demostrat que els bovins amb *ingestió residual* diferent i per a un

mateix increment de pes viu, la producció de metà per dia, i per kg de guany, era més feble en un 25% per als bovins amb menor *ingestió residual*.

De fet els resultats mostren que és avantatjós l'ús d'animals amb alta eficiència productiva quan es pensa en termes d'emissions de metà per kg de producte, però això no és degut a una disminució en la producció diària de metà.

CONCLUSIO

Per a la mateixa proposta (addició de greix, un additiu específic) la resposta és molt variable i difícil de predir. El progrés vindrà d'una millor comprensió dels mecanismes, i del paper dels diferents microorganismes del rumen implicats en la producció i l'ús d'hidrogen. És probable que un sol camí no portarà cap solució radical. Cal continuar explorant diverses alternatives per generar sinergies possibles entre les estratègies.

Els additius i la biotecnologia es poden considerar en la producció intensiva. No obstant això, el cost, l'acceptabilitat i certa dificultat en la seva administració, especialment quan els animals són la pastura, són problemes a resoldre.

Actualment, no hi ha una solució prou eficaç i segura. Algunes vies són prometedors, en alguns casos s'ha demostrat la seva eficàcia (plantes riques en tanins), en d'altres suggereixen un potencial important en la reducció de la metanogènesi (microorganismes exògens).

No obstant això, es necessita més investigació, incloent assajos a llarg termini. En l'actualitat, es posen molts recursos en aquest tema per part d'empreses privades. Per altra banda, és essencial tenir en compte, en paral·lel, el possible efecte sobre la ingestió, la digestibilitat de la ració i els rendiments: en condicions de camp, l'objectiu és reduir les emissions de metà per explotació o per kg de producte. La reducció de les emissions de metà és un desafiament important per a la producció extensiva i en les condicions tropicals i subtropicals, amb limitacions específiques, com ara la necessitat de millorar simultàniament l'eficiència de producció.

La investigació sobre l'efecte de la naturalesa dels farratges i la influència dels seus metabòlits secundaris en la producció de metà s'ha de desenvolupar.

Finalment, és important tenir en compte l'efecte d'aquestes estratègies en l'emissió dels altres gasos d'efecte hivernacle o sobre l'emmagatzematge de carboni en els sòls, i una solució per reduir el metà no ha de degradar el balanç dels gasos d'efecte hivernacle, o d'altres impactes sobre el medi ambient: aquesta reflexió és especialment important per aquelles estratègies que passen per augmentar el percentatge de concentrat a la ració o la productivitat dels animals.