

Sauvant D., Giger-Reverdin S., Serment A., Broudiscou L. 2011. **Influences des régimes et de leur fermentation dans le rumen sur la production de méthane par les ruminants**. INRA Prod. Anim., 24 (5), 433-446.

RESUM DE LA SEVA LECTURA

Aquest article presenta els processos digestius i fermentatius que condueixen a la **producció de metà**. Es quantifica la influència d'aquests factors sobre les principals fermentacions dels aliments i la producció de metà associada.

En els darrers anys hi ha una preocupació "exponencial" per al metà i el remugant com a principal causant. Aquest article tracta de **preveure amb encert la producció de metà en els remugants**.

Els estudis *in vitro* permeten determinar ràpidament la producció de metà per a diverses i variades racions, i els balanços de C, H, N, i àcids grassos volàtils (AGV) produïts. Però tot això s'ha de validar *in vivo*, i això només s'aconsegueix, fins ara, amb cambres aïllades. Les actuals bases de dades permeten estudis de recopilació, tot i la heterogeneïtat de les proves.

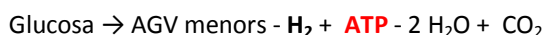
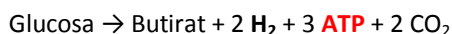
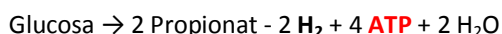
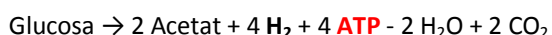
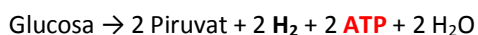
PRINCIPALS VIES DE DEGRADACIÓ DELS POLÍMERS GLUCIDICS.

Els principals polímers (cel·lulosa, hemicel·lulosa, midó, etc.) es degraden en molècules simples, oligosacàrids, i monosacàrids de 5 a 6 àtoms de carboni (C). A continuació ja parlem de la glucosa. Els monosacàrids són metabolitzats a les cèl·lules microbianes (glucòlisi) resultant molècules 3C, com l'àcid pirúvic (cruïlla metabòlica). A partir de l'àcid pirúvic, diverses vies de fermentació poden ocórrer en el rumen, el que porta principalment a la formació d'àcids grassos volàtils (AGV): àcid acètic (C2), àcid propiònic (C3) i butíric (C4). Altres AGV, menors, es sintetitzen. Tenen 4 (iso-butíric), 5 (valèric, isovalèric) o 6 (caproic) àtoms de carboni, els quals es combinen en una sola molècula de 5 àtoms de carboni o 5,5 de mitjana.

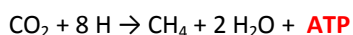
També es forma lactat i s'acumula en quantitats molt petites, de manera transitòria després dels àpats, excepte en el cas de situacions d'acidosi aguda.

Aquestes diferents vies de degradació i fermentació s'associen amb la síntesi i/o ús dels portadors d'hidrogen molecular (designat per H_2 lligada al seu portador), d'energia en forma d'**ATP** i a la pèrdua de carboni (C).

Les principals vies de fermentació de la glucosa són les següents:



La producció de metà és part de la fermentació ruminal, el metà es sintetitza pels microorganismes metanogènics, *Archaea*, segons la següent reacció amb alt consum d'H:



No obstant això, l'hidrogen també pot ser reciclat per una forma no productiva de CH₄, però sí d'acetat, acetogènesis, amb l'equació resultant:



Aquesta última via és interessant perquè evita la producció de metà. Té lloc a l'intestí gros i cec i al tracte digestiu dels herbívors i omnívors.

Aquestes vies de fermentació es produeixen simultàniament, i en proporcions variables, depenent de diversos factors que estan estretament vinculats a les pràctiques d'alimentació. Aquestes variacions influeixen en la producció de metà.

Murphy *et al.* (1982) van proposar preveure l'estequiometria d'AGV a partir dels substrats fermentats (cel·lulosa, hemicel·lulosa, midó, etc.) i les característiques generals de la dieta (rica o pobre en farratges). Tot i així, aquests substrats no són fàcils de mesurar.

Un altre mètode és calcular, per una banda, la producció total d'AGV a partir de la matèria orgànica fermentada (MOF), i per l'altra determinar la influència de la relació NDF digestible/MOD. *In vivo* hi ha variacions importants en el perfil d'AGV, les racions riques en farratges produeixen el 66% d'acètic, el 19% de propiònic i el 11% de butíric i el 4% d'AGV menors, la relació C₂/C₃ és de 3,5 i el pH ruminal de 6,2. En racions riques en energia fermentescible la C₂/C₃ és 1,15.

Hi ha una bona relació entre C₂/C₃ i l'energia del metà expressada en % de l'EB (C₂/C₃ = 1 ... Energia CH₄ = 2; C₂/C₃ = 3 ... Energia CH₄ = 6,5; C₂/C₃ = 4,5 ... Energia CH₄ = 6,5).

La població microbiana s'adapta a les racions. El perfil AG de la llet està, també, lligat a la producció de metà.

CO₂

El 26% del C fermentat es perd, hi ha 0,92 mols CO₂ que es perden per mol d'AGV formats, i com més alta és la C₂/C₃ més C en forma de CO₂ es perd. Els AGV són neutralitzats pel bicarbonat (secreció salivar) de manera que aquesta neutralització dóna lloc a CO₂ (per a cada molècula d'AGV neutralitzada hi ha una de CO₂ formada).

De 100 C dels substrats al rumen: 56 són dels AGV, 19 del gas CO₂ i 25 dels microorganismes.

La degradació dels glúcids dóna ATP que empren els microorganismes. El rendiment és de 0,3 a 0,5 g MS microbiana per g de glucosa fermentada (si ho comparem amb la degradació de MN: 145 g MN microbiana formada per kg MOF, la qual és equivalent a 0,3 g MS microbiana per g MO fermentada de glucosa).

H

L'H molecular es forma a les reaccions de fermentació. L'H està associat a molècules específiques de transport: NADH₂ ↔ NAD + H₂

L'H s'empra a diferents vies metabòliques. C₂/C₃ és un indicador del metabolisme H al rumen. La sortida principal i lògica de l'H molecular és gas H₂. Tot i així, les condicions termodinàmiques del medi ruminal no són favorables. A la pràctica el tenor en H₂ dissolt és feble (0,1 a menys de 50 μM).

INFLUÈNCIA DELS FACTORS ALIMENTARIS SOBRE LES FERMENTACIONS I LA PRODUCCIÓ DE METÀ

El metà produït es pot expressar de moltes maneres, i amb això s'ha d'anar viu segons l'objectiu que es persegueixi. Sembla que la millor expressió és fer-ho per unitat entrant: energia del metà en % EB ($6,68 \pm 1,83$), per kg MS ingerida o sigui g metà/kg MS ($22,5 \pm 6,8$), per kg MOD ingerida o sigui g metà/kg MOD ($34,1 \pm 9,2$). Aquestes tres formes d'expressió estan relacionades entre si.

PAPER DE LA MOD

Està lligat a MOF, que està molt mesurat, està lligat a UFL i UFV. De manera que tenim les següents equacions sobre la producció de metà:

$$\text{CH}_4/\text{MSI (g/kg MS)} = 7,14 + 0,22 * \text{MOD (\%)}$$

$$\text{CH}_4/\text{Pv (g/kg Pv)} = 0,083 + 0,025 * \text{MOD (g/kg Pv)}$$

(Pv pes viu)

A partir d'aquestes equacions es pot emprar la producció de metà en relació a la MOD:

$$\text{CH}_4/\text{MOD} = 0,22 + (7,14/\text{MOD \% MS})$$

NIVELL ALIMENTARI

\uparrow NA \rightarrow \downarrow CH₄ ja que \uparrow trànsit i \downarrow digestió microbiana, amb la qual cosa també baixa la digestibilitat de la ració.

$$\text{MOD (g/kg MS)} = 700 - 22,7 * \text{MSI\%Pv}$$

Perfil fermentatiu, disponibilitat H, producció metà

$$\text{C}_2/\text{C}_3 = 4,17 - 0,47 * \text{MSI\%Pv}$$

$$\text{Si NA} > 2,5 \rightarrow \text{C}_2/\text{C}_3 < 3$$

$$\text{CH}_4 \text{ (g/kg MOD)} = 42,6 - 4,56 * \text{MSI\%Pv} \text{ (a més MSI\%Pv menys CH}_4/\text{Kg MOD)}$$

Si la producció de metà la referenciem a MSI:

$$\text{CH}_4 \text{ (g/kg MSI)} = 29,5 - 3,88 * \text{MSI\%Pv}$$

QUALITAT DELS FARRATGES

La qualitat del farratge i la digestibilitat: La MOD és funció de l'estat fenològic i del contingut de les parets cel·lulars:

$\text{MOD (g/kg MS)} = 1.052 - 0,83 * \text{NDF (g/kg MS)} + \text{constant (24,5 per a prats permanents, 45,5 per a gramínies i 0 per a lleguminoses)}$.

La qualitat del farratge i la producció de metà i el perfil fermentatiu: Per estimar la producció de metà s'empra aquesta expressió (farratge com a únic aliment),

$$\text{CH}_4 \text{ (g/kg MS)} = - 22,4 - 2,25 * \text{MSI\%Pv} + 0,137 * \text{MOD (g/kg MS)} - 0,00009 * \text{MOD}^2 \text{ (g/kg MS)}$$

Farratges pobres (MOD entre 400 i 450): la producció de metà és de 60 g/kg MOD

Farratges rics (MOD 760): la producció de metà és de 36 g/kg MOD

Ara bé, els farratges pobres produeixin menys metà per kg MS.

INFLUÈNCIA DE L'APORTACIÓ DE CONCENTRAT

L'aportació de concentrat a la ració millora la digestibilitat de la MO, però depèn de la qualitat del farratge a la ració, del nivell de concentrat, de les interaccions digestives i del nivell alimentari.

El perfil fermentatiu i la producció de metà: la relació $C_2/C_3 = 3,48 + 0,646 \text{ PCO} - 2,76 \text{ PCO}^2$

(PCO és la proporció de concentrat a la ració en tant per u). El màxim de la relació es dona per a $\text{PCO} = 0,12$ (12 %), i a partir de $\text{PCO} > 0,4$ la relació va baixant.

La producció de metà atén a la següent expressió: **$\text{CH}_4 \text{ (g/kg MOD)} = 35,3 + 15,84 * \text{PCO} - 34,59 * \text{PCO}^2$**

Per a $\text{PCO} = 0,23$ es produeix la màxima quantitat de metà, i si la proporció puja la producció de metà baixa.

Tot i això, hi ha influències combinades entre les aportacions de concentrat i el nivell alimentari. La relació C_2/C_3 respon a la següent expressió:

$$C_2/C_3 = 4,28 - 0,33 * \text{MSI}\% \text{Pv} + 1,88 * \text{PCO} - 3,03 * \text{PCO}^2 - 0,27 * \text{MSI}\% \text{Pv} * \text{PCO}$$

A més nivell alimentari (\uparrow MSI) l'efecte del concentrat (la proporció) és més alt.

La producció de metà, a causa d'aquesta influència combinada, s'expressa així:

$$\text{CH}_4 \text{ (g/kg MOD)} = 45,42 - 6,66 * \text{MSI}\% \text{Pv} + 0,75 * \text{MSI}\% \text{Pv}^2 + 19,65 * \text{PCO} - 35 * \text{PCO}^2 - 2,69 * \text{MSI}\% \text{Pv} * \text{PCO}$$

Per a NA febles (MSI = 1% Pv) la influència de la proporció de concentrat en la producció de metà és poc marcada.

Per a NA alts la influència negativa és molt marcada. La producció de metà depèn de les interaccions digestives i no es pot considerar com un atribut dels aliments, en particular dels concentrats.

La naturalesa del concentrat és important, si bé hi ha poques dades específiques. En principi, si el midó és molt degradable, la digestió és més ràpida, baixa el PH, i la relació C_2/C_3 baixa, i també la producció de metà en relació a la producció d'AGV. No obstant això, tenint en compte el nivell intens de fermentació en aquest cas, una ració rica en midó molt degradable pot produir més metà que una amb midó menys degradable.

L'aportació nitrogenada de la ració no sembla tenir una rellevància important en la producció de metà. No obstant això l'expressió següent dóna una relació estreta si la producció de metà és sobre MOD:

$$\text{CH}_4 \text{ (g/kg MOD)} = 40,1 - 0,32 * \text{MNT}\% \text{MS}$$

Pel que fa a l'aportació de lípids sembla que la producció de metà baixa, ja que hi ha menys concentració energètica per kg MS. Però, com ho expressem? Per animal, per MSI, en relació a l'energia digestible?. Per MSI hi ha més proves fetes.

$$\text{CH}_4 \text{ (g/kg MS)} = 29,6 - 0,0133 * \text{MSI}^2 \text{ (kg MS)} - 0,00425 * \text{EE (g/kg MS)}$$

Tot i això, hi ha resultats contradictoris. El que sí és segur és que la incorporació de lípids a la ració modifica la fermentació ruminal i, en particular, la digestió de la fracció de glúcids. Baixa la relació C₂/C₃.

En resum, la producció de metà al rumen està lligada a la fermentació, i els microorganismes adapten la seva activitat en funció de l'equilibri entre disponibilitat en substrats fermentescibles i les seves necessitats energètiques. De tal manera que la producció de metà, associada estretament a les cadenes d'AGV parells, constitueix un mitjà per treure el millor profit energètic dels substrats disponibles.

Les equacions proposades són les que hem escrit en vermell, que a continuació repetim:

$$\text{CH}_4/\text{MSI (g/kg MS)} = 7,14 + 0,22 * \text{MOD (\%)}$$

$$\text{CH}_4/\text{Pv (g/kg Pv)} = 0,083 + 0,025 * \text{MOD (g/kg Pv)}$$

(Pv pes viu)

Juntament amb aquestes s'ha de treballar sobre el criteri de la producció de metà expressat sobre MOD, separant els efectes dels factors de les diferents pràctiques alimentàries.

$$\text{CH}_4 \text{ (g/kg MOD)} = 42,6 - 4,56 * \text{MSI\%Pv}$$

$$\text{CH}_4 \text{ (g/kg MOD)} = 35,3 + 15,84 * \text{PCO} - 34,59 * \text{PCO}^2$$

$$\text{CH}_4 \text{ (g/kg MOD)} = 40,1 - 0,32 * \text{MNT\%MS}$$

$$\text{CH}_4 \text{ (g/kg MS)} = 29,6 - 0,0133 * \text{MSI}^2 \text{ (kg MS)} - 0,00425 * \text{EE (g/kg MS)}$$

I pel que fa a les racions exclusivament farratgeres:

$$\text{CH}_4 \text{ (g/kg MS)} = - 22,4 - 2,25 * \text{MSI\%Pv} + 0,137 * \text{MOD (g/kg MS)} - 0,00009 * \text{MOD}^2 \text{ (g/kg MS)}$$

I per últim, un cop modelitzats tots els efectes cal reagrupar i es proposa l'expressió:

$$\text{CH}_4 \text{ (g/kg MOD)} = 45,42 - 6,66 * \text{MSI\%Pv} + 0,75 * \text{MSI\%Pv}^2 + 19,65 * \text{PCO} - 35 * \text{PCO}^2 - 2,69 * \text{MSI\%Pv} * \text{PCO}$$