

Resum i comentaris article: *Modélisation de l'efficience et de la robustesse chez les ruminants, le point de vue nutritionnel*. Daniel SAUVANT. INRAE Prod. Anim., 2020, 33 (1), 53-64

L'original es pot trobar i descarregar a:

<https://productions-animales.org/article/view/3128>

Tracta de l'eficiència i la robustesa dels remugants. Alerta sobre la selecció feta només en el rendiment lleter. El sistema INRA-2018 inclou models sobre eficiència i robustesa¹.

Introducció

La relació entre el flux de sortida vers entrada, basat en criteris quantitatius, pel que fa a l'alimentació i la producció, ha primat en els programes de selecció genètica, i, atès que les necessitats de manteniment quedàvem diluïdes dins de les de producció, s'han deixat de banda qualitats de la robustesa, tant en criteris de mobilitat com de reacció a canvis alimentaris.

Els nous sistemes d'alimentació integren ja molts models de l'eficiència alimentària i la robustesa.

La robustesa és la capacitat de mantenir la "trajectòria de vida" fins al menys l'edat de reproducció, malgrat les pertorbacions externes i internes. La robustesa inclou:

- Elasticitat
- Plasticitat
- Rigidesa
- Flexibilitat
- Resiliència

La robustesa és una propietat emergent dels sistemes complexos que són els organismes vius, i no és fàcil de mesurar ni de modelitzar. S'ha d'identificar l'organització d'espai-temps de la robustesa, després s'han d'estudiar i modelitzar des dels diferents punts de vista específics – energia, longevitat femelles des de la reproducció – amb mesures experimentals apropiades, respectant al màxim la complexitat del sistema. És cert que els remugants no són molt eficients, però són capaços de valoritzar recursos alimentaris no competitius amb l'home, i en aquest aspecte són més robustos que els monogàstrics.

Comportament alimentari i ingestió

La ingestió de matèria seca és funció de:

- Efecte d'atipament dels aliments

¹ Hem de recalcar la necessitat d'anar cap al nou sistema INRA, ja que incorpora les restriccions d'ingestió, digestives i metabòliques, que ja s'han de tenir en compte

- Regulació internes (homeorètiques) que fan que la ingestió estigui lligada al potencial productiu. El nivell màxim d'ingestió en fibres de farratges no processats, no es millora per la selecció genètica, i es queda en 1,35% del pes viu. A igualtat qualitativa del farratge, les necessitats energètiques s'hauran de cobrir amb concentrats.
- Regulació homeostàtica, que, per exemple, en racions molt energètiques limiten la ingestió de MS

Modelització de la ingestió a partir de les unitats alimentàries específiques

La predicció de la MSI com a funció del **pes viu** i del **nivell de producció**, són usals en sistemes que donen molta importància a la ingestió, però estan limitades pel fet que les quantitats de MSI no són additives entre aliments, i, per tant, no poden servir com a unitats per al càlcul de racions.

Demarquilly des de 1960! va proposar un sistema (UE) en el qual cada farratge es caracteritzat per una unitat, que, a la vegada, era additiva. Més endavant Jarrigue ho va materialitzar en el llibre vermell INRA, i així fins avui.

Això permet predir la influència dels aliments i dels règims alimentaris sobre la MSI i, per tant, sobre l'eficiència dels remugants. I, també, les UE s'apliquen als animals calculant la CI segons pes viu i nivell productiu i/o fisiològic.

La novetat (interessantíssima) del sistema INRA-2018 és que Baumont van proposar valors específics per als concentrats i subproductes derivats.

Si $UE < 1$ la ingestió és alta i també l'eficiència. En els farratges verds i en els fencs, hi ha una relació curvilínia positiva i lògica entre UEL i NDF².

A NDF igual, els ensitjats atipen més que la resta de farratges. I, per altre banda, la relació entre UEL i NDF no és significativa en els ensitjats³.

Modelització de la ingestió i del comportament alimentari a la pastura

Els models matemàtics ignoren (segurament perquè és difícil concretar) els detalls de l'adaptació i el comportament dels animals (etologia) i es concentren en el paper dels factors globals (temps d'accés, biomassa oferta, etc.).

Els models mecanicistes es fixen en l'alçada del farratge i la influència en el mos i en la velocitat d'ingestió, en l'impacte del mos o mossegada en el farratge.

S'ha d'integrar el model mecanicista i el de comportament.

La massa del mos i el seu contingut, tenen influència en la velocitat d'ingestió i la MSI diària. La massa del mos té a veure, també, amb l'amplada de l'arc incisiu (a més amplada, més volum del mos).

² Aquí sembla ser on Demarquilly no ho va encertar, i es va capficar en emprar FB en ves de NDF, i tenia la seva lògica ja que tenien moltíssimes dades amb FB i poques en NDF. Tot i així, un gran investigador, el qual vam tenir l'honor de compartir amb ell un dinar a Clermont-Ferrand, en Trias i jo.

³ Fet que tots nosaltres hem comprovat in situ, només olorant l'ensitjat...

Interès de la ingestió residual per millorar l'eficiència alimentària

Emprant les relacions entre MSI i les característiques animals s'ha vist que hi ha variacions individuals residuals de la MSI i els seus components genètics; per tant, s'han d'identificar els animals més eficients i establir relacions amb altres criteris, com per exemple, activitat de desplaçament, activitat de mastegar. L'heretabilitat del consum alimentari residual és molt feble. Queda per saber si els animals més eficients són també els més robustos.

Eficiència digestiva i robustesa

La millora de l'eficiència digestiva i alimentària a través dels recursos

El principal factor de variació de l'eficiència digestiva és la dMO dels aliments i de les racions, i a més està controlat.

dMO = $69,1 \pm 7,5\%$

De les taules INRA-2018:

Farratges

Ensitjats: $68,9 \pm 4,9\%$; Farratges verds: $72,1 \pm 6,7\%$; Fencs: $62,3 \pm 4,9\%$; Fencs deshidratats: $65,3 \pm 7,1\%$; Palles i altres subproductes farratgers: $52,1 \pm 8,2\%$.

Concentrats i subproductes

Cereals, lleguminoses, tubercles: $84,1 \pm 7,8\%$; Subproductes de cereals, lleguminoses i tubercles: $74,7 \pm 12,8\%$; Altres fruits i els seus subproductes: $65,3 \pm 22,2\%$.

El impacte de les variacions dMO sobre l'eficiència energètica dels animals, en un mateix sistema productiu, té una relació positiva:

Energia a llet = $- 8,84 \pm 0,39 \times \text{dMO}$

Una millora de 10 punts de dMO (0-100) fa que l'eficiència energètica augmenti 4 punts.

Règims intensius i robustesa digestiva

A les vaques d'alta producció se'ls subministren poca quantitat de farratges, per tal que les racions siguin més ingeribles i, així, cobreixin les altes necessitats energètiques; però, amb això, posen a prova la robustesa digestiva. Hi ha menys secreció salivar per regular el pH del rumen.

Compromís existent entre MSI, pH ruminal, proporció de fibres alimentàries provinents dels farratges, de manera que la subacidosi a les vaques d'alta producció poden alterar les produccions i l'eficiència, una baixada del pH i una taxa de greix més baixa.

Interès per la funció del rumen

En el rumen hi ha un ecosistema complex, amb milions de microorganismes. És l'origen, en gran part, de la capacitat d'adaptació i de la robustesa dels remugants vers els sistemes d'alimentació. Ara hi ha, fins i tot, més estudis a causa de l'interès en la producció de metà.

Models mecanicistes de la digestió

Quan un model mecànic s'aplica a un mateix règim alimentari, no dona els mateixos resultats que amb un altre. No està ben apamat.

L'ecosistema ruminal és robust ja que té un comportament elàstic eficaç, a curt termini, després de menjar. Els models mecànics no ho capten prou bé, i de cada vegada serà més complicat emprar cànules digestives.

Modelització empírica de la digestió en els sistemes d'unitats d'alimentació

S'integren models simples però realistes i aptes per tenir en compte les respostes als règims, tals com, degradació de substrats, producció de productes terminals, AGV, gas, trànsit de partícules, producció de biomassa microbiana, etc.

El model INRA-2018 es basa en un model mecànic digestiu calibrat sobre equacions estructurals de flux, derivades de meta-anàlisi de dades de la literatura especialitzada. Amb això, es pot aplicar a un ampli rang de situacions alimentàries, i a més permet tenir en compte nous fets lligats a l'eficiència i a la robustesa.

Exemples.

- a) Les pèrdues digestives endògenes no productives de proteïnes i de matèria orgànica, de sempre han estat mal avaluades, i el cas és que no són menyspreables en relació a les necessitats de manteniment.

Pèrdues fecals de proteïnes endògenes > necessitats estrictes de manteniment (lligades a la renovació de les proteïnes de l'organisme).

$$\text{MNT fecal} = 0,94 \pm 0,33 \text{ g}$$

$$\text{MSI} = 29,2 \pm 8,7 \text{ g/kg Pv}$$

$$\text{De manera que, MNT fecal} = 0,045 + 0,031 \times \text{MSI}$$

(MSI en g/kg Pes viu).

D'altra banda, l'amplitud de les pèrdues d'energia no productiva és imputable a les interaccions digestives. Les pèrdues no productives augmenten proporcionalment amb el NI (nivell d'ingestió) i el NP (nivell de producció).

De moment no hi ha informació precisa sobre les variacions individuals associades amb aquestes pèrdues digestives no productives.

- b) Balanç proteic del rumen (BPR). El flux de PB ingerida que va cap el duodè, és additiu i entra en el càlcul de racions. Recordem que BPR⁴ és un indicador de la diferència entre la

⁴ En el sistema INRA 1978-2007 la disponibilitat N i l'activitat microbiana es quantificava amb PDIN i PDIE, ara a INRA 18, és el balanç proteic del rumen: $\text{BPR} = \text{MNTingerides} - \text{MNT}(\text{no amoniacals})_{\text{duodè}}$ en g/kg MS.

Les MNT(no amoniacals)duodè són les MNT alimentàries no degradades més les MNT microbianes més les MNT endògenes. BPR és un indicador de la diferència entre la síntesi proteica microbiana permessa per la MNT degradable disponible al rumen i la que permetria l'energia disponible a la MOF al rumen. Anteriorment empràvem al racionament un índex $(\text{PDIN} - \text{PDIE})/\text{UF}$. Ara BPR és additiu i mesurable, i és un criteri pertinent no només per avaluar l'equilibri entre N degradable i energia disponible al rumen, sinó també per integrar els efectes quantitius

síntesi proteica microbiana permesa per la MNT degradable disponible al rumen i la que permetria l'energia disponible a la MOF al rumen.

Si $BPR < 0$, la ració és pobre en N, i en aquest cas, els animals més robustos reciclen N en forma d'urea per la saliva i a través de la paret del rumen, i formen proteïna microbiana; en aquest cas baixa la dMO segons una llei de resposta. Si $BPR > 0$ l'eficiència digestiva de les proteïnes ingerides disminueix ràpidament perquè al voltant del 70% de l'excés de nitrogen, absorbit com amoníac a través de la paret del rumen, es perd com a nitrogen de l'orina.

Eficiència metabòlica i robustesa

Regulació, eficiència i robustesa

En el flux de nutrients i en les particions metabòliques hi ha dues regulacions (homeorètiques i homeostàtiques). Les homeorètiques controlen les funcions reproductores de cara a la pervivència de l'espècie – gestació, lactació i creixement –. Aquestes funcions determinen cinètiques del potencial de producció i les seves necessitats nutricionals. Les regulacions homeostàtiques controlen les funcions d'adaptació a les condicions de l'entorn alimentari⁵. Es generen reptes múltiples, que es poden modelitzar. Aquestes condicions de l'entorn o pertorbacions poden ser, sobtades i limitades en el temps, de caràcter aleatori i estratègiques específiques del sistema de racionament.

Impacte del nivell del rendiment sobre l'eficiència metabòlica

La utilització metabòlica de l'energia és el criteri més emprat per a l'eficiència dels animals, i depèn de la partició (distribució) dels elements nutritius entre les funcions de manteniment i producció. Hi ha una relació directa i positiva. Per exemple, si augmenta la producció de llet, el C ingerit evoluciona en favor de la llet, i en contra del C del CO_2 , en contra del C fecal i en contra del C del metà i de l'urinari. De fet, la selecció ha estat orientada cap el rendiment lleter.

Components de la robustesa relacionats amb el metabolisme del C i del N

Els animals resisteixen en el temps a les variacions de les aportacions de C (energia utilitzable continguda en les relacions covalents C-H). Hi ha un comportament elàstic de les reserves corporals d'energia, i no hi ha una excreció adaptativa en resposta a una carència o un excés de C.

Per contra, no hi ha reserves corporals de N, i en cas d'excés de N, els àcids aminats es desaminen en el fetge i la seva fracció nitrogenada es perd en forma d'urea urinària. I, en cas de carència de N, no es pot compensar per l'ús de reserves. Per tant, les funcions vitals lligades al metabolisme de les proteïnes estan limitades.

Tot això explica perquè els animals són més robustos a les variacions de C i energia que a les de proteïna⁶.

de les interaccions energia x nitrogen en els processos digestius, així com el creixement microbià. També s'empra per predir les pèrdues urinàries de N

⁵ Aquí sempre recordo un pagès de Menorca que allà pels 90 segles XX, em va dir: sí, jo tinc VAPs però mengen el que hi ha.

⁶ Recordem el racionament al pre i post part, es limitava el consum de concentrats però no les aportacions de proteïnes

Diferències de robustesa entre vies metabòliques en resposta a un canvi nutricional

En el dejuni a vaques de llet, des de fa dècades experimentat, s'ha vist que les produccions de lípids, proteïnes i lactosa a llet estan afectades. Pel que fa als lípids hi ha robustesa a causa de les reserves corporals i la producció baixa només lleugerament. La producció de proteïnes i de lactosa es veuen més afectades, ja que no hi ha reserves ni proteïques ni de glicogen.

Recordem que per a la producció de 17,3 kg de llet es necessita la secreció d'un kg de lactosa, i per a la producció de 4,3 kg de llet es necessita un kg de proteïna. En canvi, la producció de llet no depèn dels lípids.

Les variacions individuals als canvis nutricionals són significatives i tenen bona repetibilitat en el temps. S'ha de saber si aquesta robustesa metabòlica a curt termini, té sentit en relació a la robustesa global a llarg termini en els remugants.

Respostes múltiples als règims, eficiència a mig termini i robustesa

Les variacions en les aportacions de concentrats estan descrites a INRA-2018. S'estableix un estat nutricional pivot, que correspon al balanç energètic net igual a 0 i a una eficiència proteica igual a 0,67.

Models de resposta a les aportacions energètiques

EM passa a EN, $k = EN/EM$, hi ha una millora de k amb racions més digestibles i amb més concentrats (augmenta la relació EM/EB), ja que no es produeix tanta calor a causa d'un treball digestiu més feble (menys masticació, menys motricitat en el tub digestiu). Hi ha una resposta múltiple:

Per a $BalUFL = 0$, les respostes marginals per unitat d'energia neta són:

2,6 g lípids/Mcal

13,1 g proteïnes/Mcal

17,1 g lactosa/Mcal

Per a les tres secrecions s'observen també respostes diferents al voltant del pivot $EfPDI = 0,67$.

Per a l'energia la resposta de l'eficiència global es basa en que hi ha una distribució entre la producció de llet i les reserves.

Els models empírics exploren situacions plausibles de robustesa a mig termini i permeten construir aplicacions als diferents sistemes de racionament.

Models de respostes a les aportacions de PDI

Al voltant del pivot $EfPDI = 0,67$ es produeixen canvis en la mateixa eficiència i en la producció de proteïnes de la llet. Les variacions a $EfPDI$ són conseqüències de les variacions en les aportacions de PDI, i estan lligades al flux de l'excreció urinària. La distribució marginal entre producció de llet i excreció és del 20%.

La combinació de les influències del BPR i de la $EfPDI$ permeten predir, amb bona precisió, l'excreció urinària de N i l'eficiència de la PDI.

Exemples de models mecanicistes del metabolisme

És difícil la representació homeorètica i homeostàtica dins d'un sistema regulador del subsistema operacional (òrgans, vies metabòliques).

Actualment, s'ha millorat el subsistema de regulació i es tenen en compte les diferències entre la cinètica de producció de lípids, proteïnes i lactosa en vaques en lactació.

El recent sistema INRA-2018 no integra explícitament els models de regulació metabòlica, però en vaques i en cabres de llet, els fenòmens de mobilització i reconstitució baix l'homeoresi energètica es tenen en compte, integrant les influències del potencial de producció i la nota de l'estat corporal al part.

Conclusió

L'eficiència nutricional, mesurada en estudis a curt i mig termini s'ha modelitzat empíricament en el sistema INRA-2018, si bé a llarg termini hi falten estudis.

Pel que fa a la robustesa, que és una propietat emergent d'un sistema complex, hi falten dades. Al sistema INRA-2018 s'hi ha integrat els models de respostes múltiples, mitjançant metaanàlisi de dades de la literatura específica.

Fins ara, se sap que l'eficiència i els rendiments de la producció estan estretament relacionats, i això ha amagat altres aspectes biològics. Que intervenen en l'eficiència de la conversió dels aliments, aspectes tals com el comportament, la ingestió i la digestió.

Faran falta estudis integrals amb la visió genetista, nutritiva, reproductiva i etològica.

En qualsevol cas, el sistema INRA-2018 ha fet un bon pas endavant en la integració de conceptes, que només podíem tenir en compte de manera qualitativa.