

Acides aminés digestibles dans l'intestin. Utilisation du système AADI dans le rationnement des vaches laitières

La possibilité de prendre en compte les acides aminés dans la formulation des rations pour vaches laitières représente une avancée scientifique. Cependant cette formulation engendre un surcoût, notamment si elle conduit à compléter les rations par des acides aminés protégés contre les dégradations ruminales. Si la tendance actuelle de favoriser la production de protéines par un important différentiel de prix sur la qualité du lait se maintient, une telle technique peut néanmoins s'avérer économiquement intéressante pour l'éleveur.

L'intégration d'un rationnement en acides aminés dans les systèmes d'alimentation des ruminants apparaît dans plusieurs pays comme les États-Unis, et les Pays-Bas. Le nouveau système du NRC (NRC 2001) et le système hollandais n'intègrent que la lysine et la méthionine, le système CPM, issu du système de Cornell (O'Connor *et al* 1993), intègre tous les acides aminés indispensables. Le système en acides aminés digestibles dans l'intestin (AADI), apparu en France en 1992 pour la lysine et la méthionine, a été étendu à neuf acides aminés indispensables. Le système AADI ne modifie en rien la démarche habituelle de rationnement sur la base de l'énergie et des protéines. Il n'intervient que dans le choix des suppléments protéiques destinés à couvrir les besoins PDI.

Résumé

Apparu en 1992 pour la lysine et la méthionine, le système AADI s'est étendu aux neuf acides aminés indispensables. Dans l'état actuel des connaissances, seuls cinq acides aminés sont susceptibles d'être limitants (lysine, méthionine, leucine, histidine et thréonine). En pratique, pour améliorer le taux protéique du lait, il faut optimiser les apports de deux (lysine et méthionine) ou quatre (lysine, méthionine, leucine, histidine) acides aminés. Pour augmenter la production de lait, il semble préférable d'optimiser les apports d'histidine et de thréonine. Ces optimisations peuvent être faites en utilisant des matières premières appropriées ou en ajoutant aux rations des acides aminés correctement protégés contre les dégradations ruminales. Il serait souhaitable d'établir des courbes de réponse sur un plus grand nombre d'essais pour la leucine, l'histidine et la thréonine de façon à pouvoir calculer, comme pour la lysine et la méthionine, l'intérêt économique de formuler les rations sur la base de plusieurs acides aminés.

Utilisation du système

Le principe est d'effectuer un rationnement classique de façon à couvrir les besoins en UFL et en PDI (en équilibrant PDIN et PDIE), puis de multiplier les PDIE apportées par chaque aliment par leurs teneurs respectives en AADI, d'en faire la somme pour chaque AADI et de la rapporter aux apports PDIE. Il est important que les PDIN ne soient pas limitantes car les valeurs d'AADI ont été calculées en supposant les PDIN non limitantes. Les calculs peuvent encore s'appliquer lorsque les rations sont déficitaires en énergie de 2,5 à 3 UFL car un déficit énergétique de cet ordre ne modifie pas la réponse à un apport d'acides aminés protégés (Rulquin et Delaby 1997). En revanche il est préférable que les besoins en PDI soient couverts. En effet, la réponse à l'apport d'un acide aminé limitant peut être trois fois plus faible lorsque les besoins en PDI ne sont pas couverts que quand ils le sont (Rulquin *et al* 1990). Lorsque les teneurs en AADI de la ration s'éloignent des recommandations, il est possible d'augmenter le niveau d'apport d'un ou de plusieurs AADI en choisissant des matières premières plus riches en ces AADI ou en utilisant des AADI protégés contre les dégradations ruminales.

Formulation avec des matières premières

Pour accroître l'apport de méthionine, il vaut mieux limiter l'utilisation des fourrages à base de légumineuses, qui sont plus pauvres en méthionine que les graminées, et utiliser des compléments issus du maïs comme le corn gluten meal (Rulquin *et al* 2001).

Les recommandations en lysine (6,8 % des PDIE) peuvent être atteintes en utilisant du tourteau de soja ou des levures de brasserie.

Les rations à base d'ensilage de maïs contiennent plus de 8,8 % de LeuDI dans les PDI, alors que dans celles à base d'ensilage d'herbe, la concentration est voisine de 8,2 %. Il est assez facile de rééquilibrer les apports de leucine des rations à base d'herbe en les complétant avec des produits issus du maïs, des pommes de terre ou du sorgho qui sont particulièrement riches en leucine (Rulquin *et al* 2001).

Il semble difficile d'atteindre les recommandations de 3,2 % d'HisDI à l'aide de matières premières et, comme il n'existe pas d'histidine protégée, il faudra se contenter de maximiser la teneur en HisDI, par exemple en favorisant l'utilisation de la luzerne, des tourteaux de germes de maïs ou de colza.

Pour la valine, le seuil de 5,3 % ne semble pas difficile à atteindre puisque seuls les produits de l'arachide et les graines de tournesol présentent des concentrations inférieures.

D'après les teneurs des aliments en ArgDI, seules des rations comportant de fortes proportions de produits dérivés du maïs pourraient poser des problèmes pour cet acide aminé.

En pratique la concentration de ThrDI ne devrait pas être inférieure au seuil recommandé de 4 %, tous les aliments ayant une teneur supérieure à 4 %. En attendant des valeurs plus précises des besoins, il semble judicieux de maximiser la teneur en ThrDI de la ration, en maximisant l'apport de fourrages car, d'une manière générale, ceux-ci sont plus riches en thréonine que les concentrés (Rulquin *et al* 2001). Il faut aussi préférer les graminées aux légumineuses, et utiliser le moins possible de tourteau de soja comme source protéique.

Les plus pauvres des fourrages contenant 5 % de PheDI (ensilages de maïs) et les plus riches 5,4% (foin de prairie permanente), la phénylalanine ne devrait pas être limitante pour la plus part des rations pour vaches laitières, le seuil critique étant de 4 à 5 %.

Utilisation d'acides aminés protégés

Pour l'instant les formes d'acides aminés purs protégés contre les dégradations ruminales ont été mises au point pour la méthionine principalement et pour la lysine secondairement. Il existe différents procédés de protection (Loerch et Oke 1989), mais quatre grands types de procédés sont principalement utilisés : 1/ l'enrobage avec un film de poly-

mères sensibles au pH, 2/ l'enrobage par un film ou une matrice de lipides, d'acides gras ou de minéraux, 3/ une double protection alliant les acides gras avec un autre procédé de protection, 4/ l'utilisation d'analogues chimiques.

Dans le procédé 1, la couche de polymères ne devient perméable aux liquides que dans un milieu ayant un pH inférieur à 3. Cette couche protège les acides aminés pendant leur séjour dans le rumen (pH compris entre 5,3 et 7,2) et se désagrège durant le passage dans la caillette (pH = 2), permettant ainsi l'absorption des acides aminés dans l'intestin grêle. Les produits issus de ce procédé sont en général très bien protégés dans le rumen (Schwab 1995, Mbanzamihiho *et al* 1997, Robert et Williams 1997) et très bien digérés dans l'intestin grêle (Robert et Williams 1997). Ce procédé assure la biodisponibilité la plus élevée et la plus constante (70 à 80 % ; Rulquin et Kowalczyk 2000), mais les produits ainsi protégés sont d'un emploi délicat. En effet la couche de protection est résistante, mais elle peut être endommagée physiquement par des manipulations trop brusques (choc pendant des mélanges) et perdre ainsi toute son efficacité.

Le procédé 2 consiste à enrober les acides aminés dans une matrice composée de lipides à haut point de fusion. Par nature ces lipides sont hydrophobes et ils diminuent le contact des acides aminés avec la phase liquide du rumen. Par contre les sels biliaires permettent aux enzymes de l'intestin grêle de rentrer en contact et de digérer la matrice lipidique libérant ainsi les acides aminés. La biodisponibilité de la méthionine protégée par différentes variantes de ce procédé a souvent été très faible (de 0 à 5% ; Rulquin et Kowalczyk 2000).

Dans le procédé 3, la faible efficacité de l'enrobage avec des lipides a été compensée par une protection supplémentaire comme l'addition de talc, l'enrobage avec des dérivés de la cellulose ou l'utilisation de chélates d'acide aminé et de métaux. Ces procédés ne confèrent pas une inertie totale dans le rumen, mais retardent seulement la dégradation de l'acide aminé. La protection est donc fonction du temps de séjour du produit dans le rumen (lui-même fonction du niveau d'ingestion, du type de fourrage, du pourcentage d'aliment concentré, etc). Cette source de variations explique peut-être pourquoi l'estimation de la biodisponibilité des produits protégés par ces procédés est très variable selon les auteurs (de 15 à 60% : Overton *et al* 1996, Bach et Stern 2000, Berthiaume *et al* 2000, Rulquin et Kowalczyk 2000).

Parmi les analogues utilisés dans le procédé 4, le plus employé est un analogue de la méthionine : l'acide DL-2-hydroxy-4-méthylthiobutanoïque ou HMB. Le sel de calcium de cet acide (MHA) a été utilisé dans le passé pour augmenter le taux butyreux du lait (Loerch et Oke 1989). Ce produit n'est plus fabriqué, mais la forme liquide du HMB est utilisée dans l'alimentation des animaux monogastriques. Chez ces animaux, l'HMB

est converti, dans le foie et dans le rein, en un a-céto-acide de la méthionine qui est ensuite transaminé en L-méthionine. Chez le ruminant, selon la vitesse de renouvellement des liquides dans le rumen, une partie plus ou moins importante du HMB (78 à 57 %) est utilisée par les microorganismes du rumen (Vazquez-Añón *et al* 2001), le reste étant absorbé dans le rumen, la caillette (5 % : Koenig *et al* 1999, McCollum *et al* 2000), puis dans l'intestin grêle (45 % : Koenig *et al* 1999). Les ruminants possèdent l'équipement enzymatique pour transformer le HMB absorbé en méthionine (Belasco 1972 et 1980, McCollum *et al* 2000, Wester *et al* 2000a). D'ailleurs, la perfusion de HMB dans une veine mésentérique augmente la concentration de méthionine dans le sang artériel chez l'agneau en croissance (Wester *et al* 2000b). Cependant, chez la vache, l'effet du HMB est sujet à controverse car son ingestion en quantité non négligeable ne conduit qu'à une très faible augmentation de la concentration de méthionine dans le sang (Robert *et al* 1997, Johnson *et al* 1999).

Les acides aminés protégés permettent de rééquilibrer facilement les rations jusqu'à des niveaux atteignant les recommandations. Il est en effet impossible, pour la méthionine, d'atteindre les recommandations en utilisant les aliments et la seule solution est le recours aux acides aminés protégés. En revanche, pour la lysine, il est possible d'atteindre les recommandations en utilisant des aliments adaptés. Dans tous les cas l'utilisation des acides aminés protégés doit se raisonner en fonction de leur coût, de leur biodisponibilité et des réponses zootechniques attendues.

Exemples de rations

Le tableau 1 présente les résultats pour trois rations. La première est déficitaire en méthionine et en leucine et pauvre en histidine. Le remplacement de l'orge et des pulpes déshydratées par du maïs (ration 2) permet d'atteindre des niveaux convenables en leucine, mais n'est pas suffisant pour combler les déficits en méthionine et en histidine et crée un déficit en lysine. L'utilisation de lysine et méthionine protégées (ration 3) permet d'atteindre des niveaux suffisants en lysine et méthionine ; la substitution du tourteau de soja par du tourteau de germes de maïs permet d'augmenter un peu les niveaux d'histidine et de thréonine. Malgré tous nos efforts il est impossible de couvrir les besoins en histidine car la forme protégée de cet acide aminé n'existe pas.

Conclusion

Le système AADI peut être utilisé pour formuler des rations qui optimisent les apports des acides aminés les plus limitants (méthionine, lysine, leucine, histidine et thréonine). La méthionine et l'histidine sont les deux acides aminés dont il est très difficile d'augmenter les concentrations par l'utilisation de matières premières classiques. Pour ces acides aminés, le recours à des formes protégées peut être intéressant, mais ces formes protégées n'existent actuellement que pour la méthionine. Le surcoût engendré par une formulation tenant compte de un à trois acides aminés conduit à réserver cette pratique aux vaches produisant plus de 25 kg/j de lait.

Tableau 1. Exemples de rationnement en acides aminés selon le système AADI pour une vache laitière de 600 kg de poids vif produisant 30 kg/j de lait à 40 g/kg de taux butyreux et 30 g/kg de taux protéique. Les teneurs trop faibles en AADI sont en rouge.

	Ration 1	Ration 2	Ration 3
Composition des rations (apports en g/j)			
Ensilage de ray-grass anglais	11000	11500	11200
Pulpes déshydratées	2000		
Orge	5700		3000
Maïs		6180	3000
Tourteau de soja	1040	1160	
Tourteau de germes de maïs			2200
Urée			17
Lysine + méthionine protégée			33
Concentrations des acides aminés (% PDIE)			
LysDI	7,08	6,60	7,30
HisDI	2,08	2,13	2,15
ArgDI	4,82	4,83	4,72
ThrDI	5,14	5,05	5,11
ValDI	5,92	5,80	5,97
MetDI	1,84	1,88	2,10
IleDI	5,37	5,30	5,27
LeuDI	8,28	9,06	8,86
PheDI	5,16	5,15	5,18

Références

- Bach A., Stern M.D., 2000. Measuring resistance to ruminal degradation and bioavailability of ruminally protected methionine. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 84, 23-32.
- Belasco I.J., 1972. Stability of methionine hydroxy analog in rumen fluid and its conversion in vitro to methionine by calf liver and kidney. *J. Dairy Sci.*, 55, 353-357.
- Belasco I.J., 1980. Fate of Carbon-14 labeled Methionine hydroxy analog and methionine in the lactating dairy cow. *J. Dairy Sci.*, 63, 775-784.
- Berthiaume R., Lapiere H., Stevenson M., Coté N., McBride B.W., 2000. Comparison of the in situ and in vivo intestinal disappearance of ruminally protected methionine. *J. Dairy Sci.*, 83, 2049-2056.
- Johnson H.E., Whitehouse N.L., Garthwaite B.D., Piepenbrink M.S., Schwab C.G., 1999. Supplementation of corn and barley-based diets of late gestation and early lactation cows with liquid hydroxy analog (HMB). *J. Dairy Sci.*, 82 (Suppl. 1), 65.
- Koenig K.M., RodeL.M., Knight C.D., McCullough P.R., 1999. Ruminal escape, gastrointestinal absorption, and response of serum methionine to supplementation of liquid methionine hydroxy analog in dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 82, 355-361.
- Loerch S.T., Oke B.O., 1989. Rumen protected amino acids in ruminant nutrition. In : M. Friedman (ed), *Absorption and Utilization of Amino Acids*, 187-200. CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida.
- Mbanzamihigo L., Vandycke E., Demeyer D.I., 1997. Degradation of methionine by rumen contents in vitro and efficiency of its protection. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 67, 339-347.
- McCullum M.Q., Vazquez-Añón M., Dibner J.J., Webb Jr K.E., 2000. Absorption of 2-hydroxy-4(methylthio)butanoic acid by isolated sheep ruminal and omasal epithelia. *J. Anim. Sci.*, 78, 1078-1083.
- NRC, 2001. Nutrient requirements of dairy cattle. National Academy Press, Washington, USA, 381 p.
- O'Connor J.D., Sniffen C.J., Fox D.G., Chalupa W., 1993. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: IV. Predicting amino acid adequacy. *J. Anim. Sci.*, 71, 1298-1311.
- Overton T.R., LaCount D.W., Cicela T.M., Clark J.H., 1996. Evaluation of a ruminally protected methionine product for lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 79, 631-638.
- Robert J.C., Williams P.E.V., 1997. Influence of forage type on the intestinal availability of methionine from a rumen protected form. *J. Dairy Sci.*, 80 (Suppl. 1), 248.
- Robert J.C., Williams P.E.V., Bouza B., 1997. Influence of source of methionine and protection technology on the post-ruminal delivery and supply to the blood of dairy cows of an oral supply of methionine. *J. Dairy Sci.*, 80 (Suppl. 1), 248.
- Rulquin H., Delaby L., 1997. Effects of the energy balance of dairy cows on lactational responses to rumen-protected methionine. *J. Dairy Sci.*, 80, 2513-2522.
- Rulquin H., Kowalczyk J., 2000. A blood procedure to determine bioavailability of rumen-protected Met for ruminants. *J. Dairy Sci.*, 83 (Suppl. 1), 268 (abstract).
- Rulquin H., Le Hénaff L., Vérité R., 1990. Effects on milk yield of graded levels of lysine infused into the duodenum of dairy cows fed diets with two levels of protein. *Reprod. Nutr. Dev.*, Suppl 2, 238s-238s.
- Rulquin H., Vérité R., Guinard-Flament J., 2001. Acides aminés digestibles dans l'intestin. Le système AADI et les recommandations d'apport pour la vache laitière. *INRA Prod. Anim.*, 14, 265-274.
- Schwab C.G., 1995. Protected proteins and amino acids for ruminants. In : R.J. Wallace et A. Chesson (eds), *Biotechnology in Animal Feeds and Animal Feeding*, 115-141. V.C.H. Press, Weinheim, Germany.
- Vazquez-Añón M., Cassidy T., McCullough P.R., Varga G.A., 2001. Effects of Alimet on nutrient digestibility, bacterial protein synthesis, and ruminal disappearance during continuous culture. *J. Dairy Sci.*, 84, 159-161.
- Wester T.J., Vazquez-Añón M., Parker D, Dibner J.J., Calder A.G., Lobley G.E., 2000a. Synthesis of methionine (Met) from 2-hydroxy-4-methylthio butanoic acid (HMB) in growing lambs. *J. Dairy Sci.*, 83 (Suppl. 1), 269 (abstract).
- Wester T.J., Vazquez-Añón M., Parker D, Dibner J.J., Calder A.G., Lobley G.E., 2000b. Metabolism of 2-hydroxy-4-methylthio butanoic acid (HMB) in growing lambs. *J. Dairy Sci.*, 83 (Suppl. 1), 268 (abstract).

Abstract

Use of the AADI system (amino acids truly digestible in the small intestine) in formulating rations for the dairy cow.

Appeared in 1992 for lysine and methionine, AADI system extended to the nine essential amino acids. In the current state from knowledge only five amino acids are likely to be limiting (lysine, methionine, leucine, histidine and threonine). In practice, to improve the milk protein content it is necessary to optimize on two (lysine and methionine) or four (lysine, methionine, leucine, histidine) amino acids. To increase the production of milk, it seems preferable to optimize on his-

tidine and threonine. These optimizations can be made by the use of raw materials suitable or by the use of amino acids correctly protected from degradations in the rumen. It would be desirable to establish response curves on a greater number of tests for leucine, histidine and threonine in order to be able to calculate as for lysine and methionine the interest economic to formulate on several amino acids.

RULQUIN H., 2001. Acides aminés digestibles dans l'intestin. Utilisation du système AADI dans le rationnement des vaches laitières. *INRA Prod. Anim.*, 14, 275-278.