ePublishing

ΕΘΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗΣ
NATIONAL DOCUMENTATION CENTRE

Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society

Vol 51, No 2 (2000)

The estimation of digestible protein in the small intestine of ruminants. The French system.

P. FLOROU-PANERI (Π. ΦΛΩΡΟΥ - ΠΑΝΕΡΗ)

doi: 10.12681/jhvms.15665

Copyright © 2018, P FLOROU-PANERI

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0.

To cite this article:

FLOROU-PANERI (Π. ΦΛΩΡΟΥ - ΠΑΝΕΡΗ) P. (2018). The estimation of digestible protein in the small intestine of ruminants. The French system. *Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society*, *51*(2), 100–106. https://doi.org/10.12681/jhvms.15665

https://epublishing.ekt.gr | **e-Publisher:** EKT | **Downloaded at:** 26/01/2026 05:09:36

ΔΕΛΤΙΟΝ ΕΛΛ. ΚΤΗΝ. ΕΤΑΙΡΕΙΑΣ 2000, 51(2): 100-106

Γαλλικό σύστημα των πεπτών πρωτεϊνών μέσα στο λεπτό έντερο (Σύστημα PDI)

Π. Φλώρου - Πανέρη

ΠΕΡΙΛΗΨΗ. Τα μηρυκαστικά έχουν ανάγκη να λαμβάνουν με την τροφή ορισμένη ποσότητα αζωτούχων ουσιών, με σκοπό να καλύψουν τις απώλειες αζώτου που υπόκεινται, όταν βρίσκονται σε κατάσταση συντήρησης ή παραγωγής. Μέχρι το 1978 χρησιμοποιούνταν στη Γαλλία τόσο για τον υπολογισμό της απαιτούμενης ποσότητας των αζωτούχων ουσιών των μηρυκαστικών όσο και για την εκτίμηση της πρωτεϊνικής αξίας των ζωοτροφών, το σύστημα των πεπτών γενικά αζωτούχων ουσιών. Το σύστημα όμως αυτό παρουσιάζει ορισμένα σοβαρά μειονεκτήματα, κυρίως γιατί δεν κάνει διάκριση ανάμεσα στο πρωτεϊνικό και μη πρωτεϊνικό άζωτο, καθώς και γιατί δε λαμβάνει υπόψη του την πρωτεϊνολυτική και πρωτεϊνοσυνθετική δράση των μικροοργανισμών των προστομάχων και κυρίως της μεγάλης κοιλίας. Στην προσπάθεια απάλειψης των μειονεκτημάτων αυτών, τέθηκε σε εφαρμογή από το 1978 στη Γαλλία το σύστημα PDI ή σύστημα των πεπτών πρωτεϊνών μέσα στο λεπτό έντερο.

Λέξεις ευρετηρίασης: πεπτές πρωτεΐνες, μηρυκαστικά, μεγάλη κοιλία, αποδομησιμότητα

ABSTRACT. Florou-Paneri P. The estimation of digestible protein in the small intestine of ruminants. The French system. *Bulletin of the Hellenic Veterinary Medical Society 2000, 51(2):100-106.* **The ruminants, as all animals, need to obtain a certain amount of dietary protein to satisfy their requirements in nitrogen. Until 1978, the system of digestible protein was employed in France to estimate both the nitrogen requirements of ruminants for their maintenance and/or production and the protein value of feedstuffs. This system, however, presents considerable disadvantages since it cannot distinguish the protein nitrogen from the non protein nitrogen. Moreover, this system does not take into account the microbial protein synthesis and the protein degradability in the rumen. It was for these reasons that French researchers start using from 1978 the system of digestible protein in the small intestine, i.e. the system P.D.I. for the estimation of the protein requirements of ruminants and the protein value of feedstuffs.**

Keywords: digestible protein, ruminants, rumen, degradability

Τομέας Ζωικής Παραγωγής, Ιχθυολογίας, Οικολογίας και Προστασίας Περιβάλλοντος, Τμήμα Κτηνιατρικής, ΑΠΘ, 540 06 Θεσσαλονίκη

Department of Animal Production, Ichthyology, Ecology and Protection of Environment, Faculty of Veterinary Medicine, Aristotle University of Thessaloniki, 540 06 Thessaloniki, Greece

Ημερομηνία υποβολής: 24.05.99
Ημερομηνία εγκρίσεως: 27.10.99

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όλα τα μηρυκαστικά, όταν βρίσκονται σε κατάσταση συντήρησης ή παραγωγής, υπόκεινται σε απώλειες αζώτου με τα κόπρανα, το ούρο, την απολέπιση του δέρματος και τα εκκρίματα (π.χ. το γάλα κ.ά.). Έτσι, ο οργανισμός του μηρυκαστικού έχει ανάγκη να λαμβάνει με την τροφή ορισμένη ποσότητα αζωτούχων ουσιών.

Μέχρι το 1978, χρησιμοποιούνταν στη Γαλλία τόσο για τον υπολογισμό της απαιτούμενης ποσότητας των αζωτούχων ουσιών των μηρυκαστικών, όσο και για την εκτίμηση της πρωτεϊνικής αξίας των ζωοτροφών, το σύστημα των πεπτών αζωτούχων ουσιών. Το σύστημα όμως αυτό παρουσιάζει ορισμένα σοβαρά μειονεκτήματα, τα οποία είναι:

(α) Η μη διάκριση ανάμεσα στο πρωτεϊνικό και τις άλλες μορφές αζώτου (αμμωνιακό, πουρινών και πυριμιδινών κ.ά.), οι οποίες είναι σε πολύ μικρό βαθμό ή και καθόλου αξιοποιήσιμες από το ζωικό οργανισμό.

(β) Το γεγονός ότι δε λαμβάνει υπόψη του την πρωτεϊνολυτική και πρωτεϊνοσυνθετική δράση των μικροοργανισμών των προστομάχων και κυρίως της μεγάλης κοιλίας (ΜΚ) και

(γ) Η αμφισβήτηση στον τρόπο έκφρασης των αναγκών σε πεπτές αζωτούχες ουσίες, αφού κατά την εκτίμηση του "μεταβολικού αζώτου κοπράνων" συνυπολογίζε-

ται αξιόλογη ποσότητα αζώτου που προέρχεται από άπεπτες πρωτεΐνες των μικροοργανισμών των προστομάχων.

Στην προσπάθεια απάλειψης των μειονεκτημάτων αυτών, Γάλλοι ερευνητές του INRA (Institut National de la Recherche Agronomique), διαμόρφωσαν έναν άλλο τρόπο εκτίμησης των αζωτούχων αναγκών των μηρυκαστικών και της πρωτεϊνικής αξίας των ζωοτροφών. Έτσι, τέθηκε σε εφαρμογή από το 1978 το σύστημα PDI ή σύστημα των πεπτών πρωτεϊνών μέσα στο λεπτό έντερο (proteines digestibles dans l'intestin).

Περιγραφή του συστήματος PDI

Με το σύστημα αυτό προσδιορίζονται, όπως προαναφέρθηκε, οι πρωτεϊνικές ανάγκες των μηρυκαστικών και η πρωτεϊνική αξία των ζωοτροφών με βάση την ποσότητα των αμινοξέων που απορροφούνται από το λεπτό έντερο και που προέρχονται από τις μικροβιακές πρωτεΐνες που συντέθηκαν στη ΜΚ και από τις αζωτούχες ουσίες της τροφής, οι οποίες δεν αποδομήθηκαν μέσα στη ΜΚ. Παράλληλα, εκτιμάται και η αποτελεσματικότητα της χρησιμοποίησης των αζωτούχων ουσιών των ζωοτροφών.

Το ενλόγω σύστημα βασίζεται, κυρίως:

- Στον προσδιορισμό της αποδομησιμότητας (ζυμωτικότητας)* των αζωτούχων ουσιών της τροφής με τη "μέθοδο των σακιδίων".

- Στην όσο το δυνατόν καλύτερη εκτίμηση της πρωτεϊνικής σύνθεσης από τους μικροοργανισμούς της ΜΚ σε σχέση με τη ζυμώσιμη οργανική ουσία (MOF) μέσα στη ΜΚ.

- Στην εκτίμηση των διάφορων παραμέτρων της πεπτικής χρησιμοποίησης των αζωτούχων ουσιών και

- Στην άριστη γνώση των αναγκών σε αζωτούχες ουσίες τόσο των μηρυκαστικών, όσο και των μικροοργανισμών.

Υπολογισμός των PDI των ζωοτροφών

Κάθε ζωοτροφή συμβάλλει με δύο τρόπους στη βιοσύνθεση των μικροβιακών πρωτεϊνών στη ΜΚ:

(α) Με την ποσότητα του αζώτου που περιέχει και που χρησιμοποιείται από τους μικροοργανισμούς της ΜΚ και

(β) Με το ποσό της ενέργειας που παρέχει στους μικροοργανισμούς της ΜΚ. Έτσι, λοιπόν, για κάθε ζωοτροφή έχουμε δύο τιμές PDI: την PDIN και την PDIE, εφόσον ο περιοριστικός παράγοντας στη βιοσύνθεση των μικροβιακών πρωτεϊνών είναι το άζωτο ή η ενέργεια, αντίστοιχα. Πιο συγκεκριμένα:

- Η τιμή PDIN συνιστά την τιμή PDI, δηλαδή των πεπτών πρωτεϊνών στο έντερο, όταν αυτές προέρχονται από μια ζωοτροφή, η οποία είναι ελλειμματική σε άζωτο που προκύπτει από αποδόμηση αζωτούχων ουσιών και που χρειάζεται για τη βιοσύνθεση των μικροβιακών πρωτεϊνών μέσα στη ΜΚ.

- Η τιμή PDIE συνιστά την τιμή PDI, δηλαδή των πεπτών πρωτεϊνών στο έντερο, όταν αυτές προέρχονται από μία ζωοτροφή, η οποία είναι ελλειμματική σε ενέργεια που απαιτείται για τη βιοσύνθεση των μικροβιακών πρωτεϊνών μέσα στη ΜΚ.

Προκειμένου για τις απλές ζωοτροφές, και κυρίως για τα νομευτικά χόρτα, ως τιμή PDI παίρνουμε τη μικρότερη από τις δύο προαναφερόμενες (PDIN και PDIE). Τα σπέρματα σιτηρών, στα οποία το άζωτο αποτελεί τον περιοριστικό παράγοντα της βιοσύνθεσης των μικροβιακών πρωτεϊνών, θεωρούμε ότι έχουν ως τιμή PDI την PDIN. Αντίθετα, οι πλακούντες ελαιουργίας, στους οποίους η ενέργεια είναι ο περιοριστικός παράγοντας για την παραπάνω βιοσύνθεση, θεωρούμε ότι έχουν ως τιμή PDI την PDIE.

Προκειμένου όμως για τις σύνθετες ζωοτροφές (σιτηρέσια), ως τιμή PDI παίρνουμε αυτήν που προκύπτει ως εξής: υπολογίζουμε ξεχωριστά τα αθροίσματα των τιμών των PDIN και PDIE των επιμέρους απλών ζωοτροφών και λαμβάνουμε υπόψη ως τιμή PDI τη μικρότερη από τις δύο προηγούμενες. Κι αυτό, γιατί η πραγματική τιμή PDI ενός σιτηρεσίου μπορεί να είναι είτε η τιμή PDIN είτε η τιμή PDIE, ανάλογα με την περίπτωση. Από τις δύο αυτές τιμές PDI, η δεύτερη είναι δυνητική, πράγμα που σημαίνει ότι αυτή η τιμή μπορεί να θεωρηθεί ως τιμή PDI του σιτηρεσίου μόνο, όταν σε αυτό συνδυαστούν ως "συμπληρωματικές" απλές ζωοτροφές κατάλληλα επιλεγμένες. Έτσι, π.χ., κάποια σπέρματα σιτηρών μπορεί να πάρουν ως τιμή PDI την PDIE, όταν συνδυαστούν με ένα πλακούντα ελαιουργίας ή γενικότερα με μια ζωοτροφή που προσφέρει αρκετό άζωτο στο περιεχόμενο της ΜΚ, ώστε αυτό να μην αποτελεί περιοριστικό παράγοντα της ανάπτυξης των μικροοργανισμών και επομένως της βιοσύνθεσης των μικροβιακών πρωτεϊνών. Πράγματι, όπως φαίνεται στον πίνακα 1, για το σιτηρέσιο που αποτελείται από ξηρό χόρτο και πλακούντα σόγιας, η τιμή PDI είναι η PDIN, όταν συνδυάζεται με ενσίρωμα καλαμποκιού, ενώ είναι η PDIE, όταν συνδυάζεται με ενσίρωμα χλωρής νομής.

Οι τιμές PDIN και PDIE των διάφορων ζωοτροφών βρίσκονται, όπως φαίνεται στην εικ. 1, από το άθροισμα των δύο παρακάτω παραμέτρων:

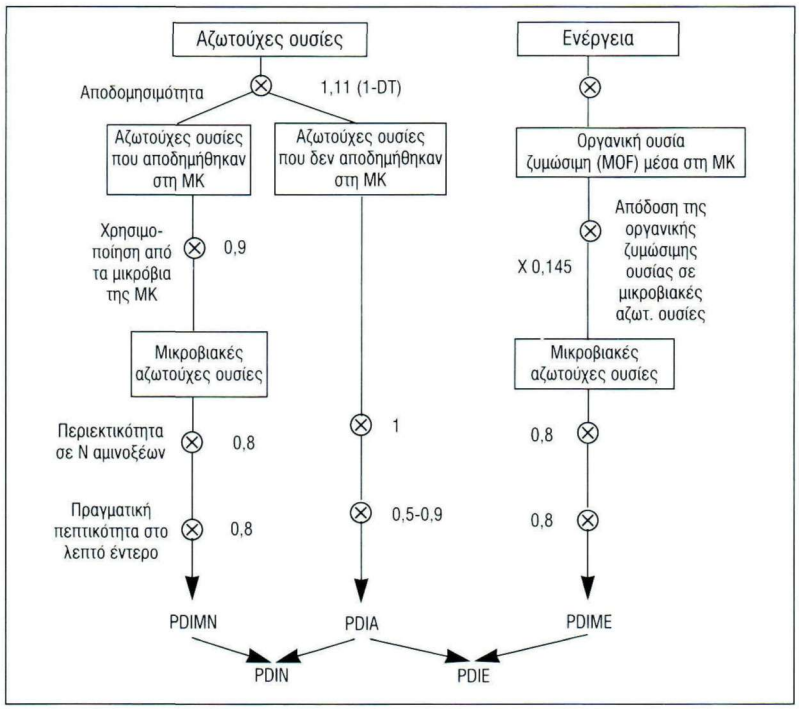
- της PDIA: δηλ. των πεπτών πρωτεϊνών στο έντερο που προήλθαν από τις αζωτούχες ουσίες της ζωοτροφής, οι οποίες διέφυγαν την αποδόμησή τους μέσα στη ΜΚ, και

- της PDIM: δηλ. των πεπτών πρωτεϊνών στο έντερο που προήλθαν από τις μικροβιακές πρωτεΐνες που συντέθηκαν μέσα στη ΜΚ. Η παράμετρος, όμως, αυτή εξαρτάται από το ποσό της ενέργειας και το ποσό του αζώτου - το οποίο προήλθε από την αποδόμηση των αζωτούχων ουσιών

* *Για τον όρο αποδομησιμότητα (ζυμωτικότητα) γίνεται λόγος παρακάτω.*

Πίνακας 1. Τιμές PDIN και PDIE για σιτηρέσιο που αποτελείται από ξηρό χόρτο και πλακούντα σόγιας, όταν συνδυάζεται με ενσίρωμα καλαμποκιού ή ενσίρωμα χλωρής νομής

	Ενσίρωμα καλαμποκιού		**Ενσίρωμα χλ. νομής**	
Σιτηρέσιο που περιέχει:	PDIN (g)	PDIE (g)	PDIN (g)	PDIE (g)
Ξηρό χόρτο (14 kg Ξ.Ο.)	700	940	1100	900
Πλακούντα σόγιας (1 kg Ξ.Ο.)	380	260	380	260
Σύνολο	1080 <	1200	1480 >	1160



Εικόνα 1. Σχηματική διάταξη του προσδιορισμού των PDI (PDIN και PDIE) των διάφορων ζωοτροφών.

- που είναι διαθέσιμα μέσα στη ΜΚ. Επομένως, για κάθε ζωοτροφή έχουμε δύο τιμές PDIM παράλληλες:

- την PDIME που υποδηλώνει τη διαθέσιμη ενέργεια μέσα στη ΜΚ για τις ζυμώσεις και

- την PDIMN που υποδηλώνει τη διαθέσιμη ποσότητα του αζώτου των αζωτούχων ουσιών (Α.Ο.), που μπορεί να αποδομηθούν μέσα στη ΜΚ.

Άρα, για κάθε ζωοτροφή θα έχουμε:

PDIN = PDIA + PDIMN και
PDIE = PDIA + PDIME

Ο υπολογισμός τους πιο αναλυτικά έχει ως εξής:

PDIA = MAT x κλάσμα Α.Ο. που δεν αποδομήθηκαν στη ΜΚ* x AAα x dr

PDIMN = MAT x κλάσμα Α.Ο. που αποδομήθηκαν στη ΜΚ x χρησιμοποίηση από τα μικρόβια της ΜΚ x AAm x dr

PDIME = Ενέργεια που χρησιμοποιήθηκε για τις ζυμώσεις στη ΜΚ x απόδοση της MOF x AAm x dr

ή

PDIA = MAT x [1,11 x (1 - DT)] x 1,0 x dr
PDIMN = MAT x [1 - 1,11 x (1 - DT)] x 0,9 x 0,8 x 0,8
PDIME = MOF x 0,145

ή, τέλος,

PDIA = 1,11 x MAT x (1 - DT) x dr
PDIMN = 0,64 x MAT x (DT - 0,10)
PDIME = 0,093 x MOF

όπου,

PDIA, PDIMN, PDIME, MAT, Α.Ο. και MOF = σε g/kg, ενώ DT και dr έχουν τιμές που κυμαίνονται μεταξύ 0 και 1.

**Το κλάσμα των Α.Ο. που δεν αποδομήθηκαν μέσα στη ΜΚ ενός ζώου είναι ίσο με το υπόλοιπο Α.Ο. που βρέθηκε ότι δεν αποδομήθηκαν μέσα στα "σακίδια", αφού πολλαπλασιαστεί με 1,11*

ΜΑΤ = ολικές αζωτούχες ουσίες της ζωοτροφής

ΑΑα και ΑΑm = ποσοστά των αμινοξέων που προήλθαν από τις αζωτούχες ουσίες της ζωοτροφής, οι οποίες δεν αποδομήθηκαν μέσα στη ΜΚ (ΑΑα) και από τις μικροβιακές αζωτούχες ουσίες, οι οποίες συντέθηκαν μέσα στη ΜΚ (ΑΑm).

DT = φαινομενική αποδομησιμότητα των Α.Ο. στα σακίδια (που επιτυγχάνεται με ένα ρυθμό διόδου των τεμαχιδίων της ζωοτροφής από τη ΜΚ προς το ήνυστρο ίσο με 0,06/ώρα).

dr = πραγματική πεπτικότητα των αμινοξέων στο λεπτό έντερο, τα οποία προέρχονται από τις αζωτούχες ουσίες της ζωοτροφής που δεν αποδομήθηκαν στη ΜΚ.

MOF = περιεκτικότητα της ζωοτροφής σε ζυμώσιμη οργανική ουσία, που ισούται με την πεπτή οργανική ουσία, μείον τις αζωτούχες ουσίες που δεν αποδομήθηκαν, τις λιπαρές ουσίες, καθώς και τις οργανικές ουσίες (προϊόντα) που σχηματίζονται κατά τη ζύμωση στην περίπτωση των ενσιρωμάτων. Ας σημειωθεί ότι ειδικότερα για τα σπέρματα καλαμποκιού και σόργου, η τιμή MOF ελαττώνεται κατά 20% και 30% αντίστοιχα. Κι αυτό γιατί ένα κλάσμα αμύλου πέπτεται μόνο στο λεπτό έντερο.

Πρέπει να διασαφηνισθεί ότι ο προσδιορισμός των PDIN και PDIE έγινε κατά τρόπο που βασίζεται στα παρακάτω δεδομένα, όπως φαίνεται άλλωστε και στην εικ. 1. Δηλαδή στο ότι:

- Το ποσοστό των αζωτούχων ουσιών (Α.Ο.) που δεν αποδομείται στη ΜΚ αντιστοιχεί στο υπόλοιπο των Α.Ο. που βρέθηκε ότι δεν αποδομείται και περιέχεται μέσα στα "σακίδια", αφού παλλαπλασιαστεί με 1,11.

- Οι αζωτούχες ουσίες τροφικής προέλευσης που δεν αποδομούνται μέσα στη ΜΚ, αποτελούνται στο σύνολό τους από αμινοξέα, των οποίων η πραγματική πεπτικότητα (dr) ποικίλλει, ανάλογα με τις ζωοτροφές.

- Οι μικροοργανισμοί συνθέτουν μέσα στη ΜΚ κατά μέσον όρο 145 g αζωτούχων ουσιών ανά kg ζυμώσιμης οργανικής ουσίας (MOF)· και ακόμη μπορούν να κατακρατήσουν το 90% του αζώτου που προέρχεται από τις αποδομήσιμες Α.Ο. της τροφής μέσα στη ΜΚ.

- Οι μικροβιακές αζωτούχες ουσίες περιέχουν αμινοξέα σε ποσοστό 80%, των οποίων η πραγματική πεπτικότητα στο λεπτό έντερο είναι περίπου 0,8.

***

Ως αποδομησιμότητα (dégradabilité, D) των αζωτούχων ουσιών μιας ζωοτροφής ορίζεται το ποσοστό αυτών που αποδομούνται μέσα στη ΜΚ του μηρυκαστικού και στη συνέχεια χρησιμοποιούνται από τους μικροοργανισμούς της κατά τη διάρκεια μιας ορισμένης χρονικής περιόδου (2 έως 24 ώρες).

Η αποδομησιμότητα των αζωτούχων ουσιών μιας ζωοτροφής εξαρτάται κυρίως από το είδος και τη σύσταση των πρωτεϊνών της καταναλισκόμενης ζωοτροφής, αλλά επηρεάζεται και από τη θερμότητα, τη χημική κατεργασία και τη δράση των μικροοργανισμών.

Η in vivo μέτρηση της αποδομησιμότητας των Α.Ο. σε ζώα, στα οποία τοποθετήθηκε τεχνητό συρίγγιο στη ΜΚ, είναι δύσκολη και όχι πολύ ακριβής.

Ωστόσο, το 1979, οι Orskov και McDonald[1] πρότειναν τη μέτρηση της αποδομησιμότητας με τη μέθοδο των "σακιδίων". Η μέθοδος αυτή είναι σχετικά εύκολη και χρησιμοποιείται και σήμερα διεθνώς σε ευρεία κλίμακα. Σύμφωνα με τους Michalet-Doreau et al. (1987)[2] και Βασιλόπουλο (1992)[3] κατά τη μέθοδο αυτή, μέσα σε ειδικά σακίδια από νάυλον (Dacron polyester), διαστάσεων 6 cm x 11 cm και μεγέθους πόρων 46 μm, ζυγίζονται 3 g της υπό εξέταση τροφής. Τα σακίδια αυτά τοποθετούνται μέσα στη ΜΚ των αγελάδων, στις οποίες έχει δοθεί ένα διμερές σιτηρέσιο που περιλαμβάνει σανό καλής ποιότητας σε ποσοστό 70% και μίγμα συμπυκνωμένων ζωοτροφών (συμπληρωματικό σιτηρέσιο) σε ποσοστό 30%. Σε τακτικά χρονικά διαστήματα των 2, 4, 8, 16, 24 και 48 ωρών, εξάγονται τα σακίδια και, αφού πλυθούν και στεγνώσουν, προσδιορίζεται η περιεκτικότητα σε N των υπολειμμάτων της τροφής που έχουν μείνει στα σακίδια. Στη συνέχεια, με τη βοήθεια της παρακάτω σχέσης (1) βρίσκεται η αποδομησιμότητα των Α.Ο. (DT) μέσα στη ΜΚ.

$$DT = a + \frac{bxc}{c+Kp} \qquad (1)$$

όπου,

a και b = ποσότητες των Α.Ο. της τροφής που αποδομήθηκαν μέσα στη ΜΚ αμέσως και σταδιακά, αντίστοιχα.

c = σταθερά που θεωρητικά είναι ίση με Kp.

Kp = ρυθμός διόδου των τεμαχιδίων της τροφής από τη ΜΚ προς το ήνυστρο ανά ώρα (μ.ό. 0,06).

Κατά τη μέθοδο αυτή, οι Le Goffe et al. (1987)[4] προτείνουν να χρησιμοποιούνται ως ζωοτροφές αναφοράς για τον έλεγχο της ορθότητας των αποτελεσμάτων, ο πλακούντας σπερμάτων σόγιας και η αφυδατωμένη μηδική (δύο ζωοτροφές προσιτές σε όλα τα εργαστήρια), οι οποίες πρέπει να παραμένουν μέσα στη μεγάλη κοιλία 4 και 8 ώρες, αντίστοιχα.

Όπως προαναφέρθηκε, μέσα στη ΜΚ υπό κανονικές συνθήκες ένα μέρος των αζωτούχων ουσιών αποδομείται και ένα άλλο μέρος διέρχεται στο ήνυστρο. Η φαινομενική αποδομησιμότητα των Α.Ο. των διάφορων ζωοτροφών εξαρτάται (α) από το ρυθμό διόδου των τεμαχιδίων της τροφής προς το ήνυστρο και (β) από το ρυθμό της μικροβιακής αποδόμησης των Α.Ο. των ζωοτροφών. Ο ρυθμός διόδου

τους προς το ήνυστρο είναι τόσο πιο γρήγορος, όσο μικρότερα είναι τα τεμαχίδια της ζωοτροφής. Γενικά, μπορούμε να πούμε ότι ο ρυθμός διόδου μιας ζωοτροφής από τη ΜΚ στο ήνυστρο (δηλ. η ποσότητα που εξέρχεται της ΜΚ προς την ποσότητα που παραμένει στη ΜΚ) είναι σταθερός στο χρόνο και ποικίλλει, ανάλογα με την προσλαμβανόμενη ποσότητά της, το είδος και τη μορφή του χορηγούμενου σιτηρεσίου, το είδος του ζώου και τη φυσιολογική κατάστασή του (Gonzalez et al., 1987[5], Poncet et al., 1987[6]). Για τις περισσότερες ζωοτροφές ο ρυθμός διόδου των τεμαχιδίων τους από τη ΜΚ προς το ήνυστρο κυμαίνεται από 4-8% ανά ώρα (κατά μέσον όρο 6% ανά ώρα).

Πρέπει ακόμη να αναφερθεί ότι και άλλοι ερευνητές έχουν ασχοληθεί με τον προσδιορισμό της αποδομησιμότητας των Α.Ο. των ζωοτροφών μέσα στη ΜΚ (Grovum and Williams, 1973[7], Mehrez and Orskov, 1977[8], Crawford et al., 1978[9], Setala, 1983[10], Stern and Satter, 1984[11], Eliman and Orskov 1984 a,b,c[12, 13, 14]).

Στον πίνακα 2 σημειώνονται για διάφορες ζωοτροφές οι τιμές της φαινομενικής αποδομησιμότητας των Α.Ο. τους, καθώς και της πραγματικής πεπτικότητας του κλάσματος εκείνου των Α.Ο. της ζωοτροφής που έχει φθάσει στο έντερο. Οι τιμές αυτές έχουν προκύψει από μετρήσεις που έγιναν σε εργαστήρια της Γαλλίας, καθώς και από διεθνή βιβλιογραφικά δεδομένα.

Εξάλλου, θα πρέπει να σημειωθεί ότι η εκτίμηση της φαινομενικής αποδομησιμότητας (DT) των Α.Ο. με τη μέθοδο των "σακιδίων", παρόλο που απετέλεσε τη βάση για τη μέτρηση των PDI των διάφορων ζωοτροφών, είναι πάρα πολύ δαπανηρή και δύσκολη, γι'αυτό και η χρησιμοποίησή της είναι περιορισμένη. Στα περισσότερα εργαστήρια, για την εκτίμηση της αποδομησιμότητας των Α.Ο.των ζωοτροφών χρησιμοποιούνται πιο απλές δοκιμές, όπως είναι η δοκιμασία της in vitro ενζυμικής αποδομησιμότητας (INRA, 1987)[15].

***

Ανάγκες των μηρυκαστικών σε PDI

Οι αζωτούχες ανάγκες των μηρυκαστικών ισοδυναμούν με τις ποσότητες των PDI που πρέπει να προσλαμβάνουν με την τροφή τους, ούτως ώστε να διασφαλίζεται η αναπλήρωση των απωλειών ή δαπανών τους σε άζωτο.

Πιο συγκεκριμένα, οι ανάγκες των βοοειδών σε PDI για συντήρηση, οι οποίες εκτιμήθηκαν με πειράματα ισολογισμού αζώτου, βρέθηκε ότι είναι ανάλογες προς το μεταβολικό βάρος του ζώου και ισούνται με 3,25 g PDI/kg $\Sigma B^{0,75}$/ημέρα (INRA, 1988)[16]. Για τα πρόβατα και τις αίγες, οι ανάγκες αυτές είναι λίγο μικρότερες και είναι ίσες με 2,50 g PDI/kg $\Sigma B^{0,75}$/ημέρα και 2,30 g PDI/kg $\Sigma B^{0,75}$/ημέρα, αντίστοιχα. Ειδικότερα για την περίπτωση των γαλακτοπαραγωγών αγελάδων, ο υπολογισμός των αναγκών τους σε PDI για συντήρηση γίνεται κατά τρόπο απλούστερο, αλλά όχι τόσο ακριβή, με τη χρησιμοποίηση της παρακάτω εξίσωσης (Λιαμάδης, 1992)[17]:

Ανάγκες συντήρησης (g PDI/ημέρα) = 95 + 0,5 x ΣΒ (kg)

Οι ανάγκες των μηρυκαστικών σε PDI για παραγωγή, προσδιορίστηκαν με βάση τις ποσότητες των αζωτούχων ουσιών που περιέχονται στο αποδιδόμενο κάθε φορά προϊόν και την αποτελεσματικότητα της μεταβολικής χρησιμοποίησης των PDI. Με πειράματα διατροφής βρέθηκε ότι η άριστη ποσότητα χορήγησης των PDI είναι εκείνη με την οποία παρατηρούνταν η μέγιστη παραγωγή. Η αποτελεσματικότητα (α) της μεταβολικής χρησιμοποίησης των PDI για την άριστη αυτή ποσότητα χορήγησης υπολογίστηκε εφαρμόζοντας την ακόλουθη σχέση:

$$\alpha = \frac{\text{Αζωτούχες ουσίες του γάλακτος ή της αύξησης του σωματικού βάρους}}{\text{PDI που προσλήφθηκαν - ανάγκες συντήρησης σε PDI}}$$

Έτσι βρέθηκε (INRA, 1988)[16] ότι στην περίπτωση της γαλακτοπαραγωγής των αγελάδων, της ανάπτυξης των βοοειδών και της κυοφορίας των προβατινών, η αποτελεσματικότητα της μεταβολικής χρησιμοποίησης των PDI έχει τις τιμές 0,64, 0,64 και 0,58, αντίστοιχα. Επομένως, προκύπτει ότι για τη γαλακτοπαραγωγή, όταν είναι γνωστή η περιεκτικότητα του γάλακτος σε αζωτούχες ουσίες (3,1%), σε λιπαρές ουσίες (4%) και η αποτελεσματικότητα της μεταβολικής χρησιμοποίησης των PDI (0,64), τότε οι ανάγκες σε PDI (g) ανά kg παραγόμενου γάλακτος ανά ημέρα ανέρχονται στα $\frac{31}{0,64} = 48$ g.

Επίσης, εφαρμόζοντας την παραπάνω μέθοδο για τα πρόβατα και τις αίγες διαπιστώθηκε ότι οι ανάγκες σε PDI (g) ανά kg παραγόμενου γάλακτος είναι ίσες με 76-110 g και 45 g, αντίστοιχα (INRA, 1987)[15].

Στην περίπτωση της κυοφορίας, οι ανάγκες των μηρυκαστικών σε PDI είναι αισθητά αυξημένες, ιδιαίτερα κατά το δεύτερο μισό αυτής και φθάνουν τον τελευταίο μήνα τα 200 g/ημέρα στις αγελάδες, τα 47-106 g/ημέρα στα πρόβατα και το 120% των αναγκών συντήρησης στις αίγες, ανάλογα με τον αριθμό των εμβρύων (INRA, 1988)[16].

Για την καλύτερη όμως κατανόηση όλων των παραπάνω δίνεται το ακόλουθο παράδειγμα:

Έστω ότι ζητείται να υπολογιστεί η ποσότητα των PDI που πρέπει να περιέχεται στην τροφή μιας αγελάδας σωματικού βάρους 600 kg, η οποία παράγει 30 lt γάλακτος/ημέρα, λιποπεριεκτικότητας 4%, έτσι ώστε να καλύπτονται όλες οι αζωτούχες ανάγκες της (χωρίς να μεταβάλλεται το σωματικό βάρος της).

Όπως ήδη αναφέρθηκε, οι ανάγκες της αγελάδας σε PDI είναι:

- για συντήρηση:

$3,25$ g/kg $\Sigma.B.^{0,75} \Rightarrow 3,25 \times 600^{0,75} = 3,25 \times 121$

$= 393,2$ g PDI/ημέρα.

Πίνακας 2. Μέσες τιμές ($\bar{x} \pm SD$) φαινομενικής αποδομησιμότητας (DT) των αζωτούχων ουσιών (Α.Ο.) διάφορων ζωοτροφών που προσδιορίστηκαν με τη μέθοδο των "σακιδίων" και πραγματικής πεπτικότητας (dr) του κλάσματος εκείνου των Α.Ο. της ζωοτροφής που διέφυγε την επίδραση των μικροοργανισμών της ΜΚ και εισήλθε στο λεπτό έντερο.

Ζωοτροφές	Αριθμός δειγμάτων (n)	DT ($\bar{x} \pm SD$)	dr
Σπέρματα βρώμης	5 (1)	0,78±0,05	0,95
Σπέρματα σιταριού	10 (1)	0,74±0,03	0,95
Σπέρματα καλαμποκιού	5 (1)	0,42±0,06	0,95
Σπέρματα σιταριού (τριτικάλι)	9 (1)	0,74±0,03	0,85
Σπέρματα σίκαλης	-	0,78	-
Σπέρματα σόργου	-	0,40	-
Πίτυρα και κτηνάλευρα σιταριού	10(1)	0,76±0,03	0,95
Στέμφυλα φύτρων σπερμ. καλαμποκιού	2 (2)	0,50	0,85
Γλουτένη, κτηνοτροφική	7 (1)	0,69±0,08	0,85
Γλουτενάλευρο	6 (1)	0,27±0,07	0,90
Αφυδ. υγρά συστατικά στεμφύλων καλαμποκιού	2 (2)	0,70	0,85
Αφυδατωμένη ζυθοζύμη	2(3)	0,80	-
Αφυδατωμένα στέμφυλα ζυθοποιίας	-	0,45	-
Σπέρματα ελαιοκράμβης	1 (2)	0,90	0,60
Σπέρματα κουκιών	3 (1)	0,86±0,03	0,60
Σπέρματα λιναριού	1 (2)	0,80	0,60
Σπέρματα λουπίνων	2 (2)	0,95	0,60
Σπέρματα μπιζελιών	6 (1)	0,90±0,04	0,80
Σπέρματα σόγιας	3 (2)	0,90	0,85
Σπέρματα σόγιας/ελαιοκράμβης (εξώθηση με πίεση)	6 (1)	0,49±0,07	0,85
Σπέρματα ηλιάνθου	1(2)	0,90	0,90
Σπέρματα κατεξοχήν ελαιούχα	-	0,90	-
Πλακούντας σπερμάτων αραχίδας	5 (1)	0,73±0,04	0,85
Πλακούντας κατεργασμένων σπερμάτων αραχίδας	8 (2)	0,55	0,85
Πλακούντας σπερμάτων ελαιοκράμβης	8 (1)	0,71±0,05	0,80
Πλακούντας σπερμάτων λιναριού	4 (1)	0,62±0,05	0,85
Πλακούντας σπερμάτων σόγιας	26 (1)	0,62±0,05	0,90
Πλακούντας σπερμάτων σόγιας/ ελαιοκράμβης (μετά έψηση)	6 (1)	0,35±0,03	0,90
Πλακούντας σπερμάτων ηλιάνθου	9 (1)	0,77±0,03	0,85
Πλακούντας φύτρων σπερμ. καλαμποκιού	3 (1)	0,52±0,06	0,85
Πλακούντας σπερμάτων βαμβακιού	-	0,59	-
Πλακούντας ινδικής καρύδας	-	0,45	-
Πλακούντας φοινικοκαρύων	-	0,38	-
Φλοιοί σπερμάτων ελαιοκράμβης	2 (2)	0,50	0,70
Αφυδατωμένα στέμφυλα εσπεριδοειδών	6 (1)	0,66±0,04	0,80
Αφυδατωμένα στέμφυλα σταφυλιών	1 (2)	0,69±0,08	0,25
Νωπά στέμφυλα σταφυλιών	6 (2)	0,30	0,25
Αφυδατωμένα στέμφυλα ζαχαροτεύτλων	14 (1)	0,20	0,70
Νωπά στέμφυλα ντομάτας	4 (2)	0,15	0,80
Μηδική , αφυδατωμένη	15 (1)	0,48±0,05	0,70
Χλωρά χόρτα	-	0,75	0,75
Σανός ψυχανθών	-	0,73	0,70
Σανός μηδικής	-	-	0,75
Ενσίρωμα ψυχανθών	-	0,66	-
Ενσίρωμα χωρίς προξήρανση	-	0,78	0,60
Ενσίρωμα μετά προξήρανση	-	0,75	0,60
Ενσίρωμα με προσθήκη συντηρητικών	-	0,70	0,65
Ενσίρωμα καλαμποκιού	-	0,72	0,70
Ταπιόκα	1 (2)	0,60±0,04	-
Ιχθυάλευρο	24(3)	0,55	0,85
Κρεατάλευρο	12 (1)	0,45	0,80
Πτεράλευρο	1 (2)	0,50±0,04	0,70

(1): *Τιμές που προήλθαν από 3 Εργαστήρια, INRA Theix, INRA INA-PG, SANDERS.*
(2): *Τιμές που προήλθαν από 1 ή 2 Εργαστήρια της Γαλλίας ή και από μικρό αριθμό δειγμάτων*
(3): *Τιμές που προήλθαν από τα Εργαστήρια της Γαλλίας και από δεδομένα ξένης βιβλιογραφίας.*

- για γαλακτοπαραγωγή:

48 g/kg γάλακτος (λιποπεριεκτικότητας 4%) ⇒ 48 x 30 = 1440 g PDI.

Άρα, σύνολο: 1833,2 (= 393,2 + 1440) g PDI/ημέρα πρέπει να υπάρχουν στη χορηγούμενη τροφή της αγελάδας.

Συνεπώς, όταν συνθέτουμε το σιτηρέσιο, πρέπει από τους πίνακες διατροφής που δίνουν τη χημική σύσταση των ζωοτροφών, να βρούμε τις PDIE και PDIN του σιτηρεσίου, λαμβάνοντας υπόψη τις αντίστοιχες τιμές των επιμέρους ζωοτροφών. Ως τιμή PDI του σιτηρεσίου θα πάρουμε τη μικρότερη τιμή από τις δύο, η οποία βεβαίως δεν θα πρέπει να απέχει πολύ από τις ανάγκες του ζώου, οι οποίες όπως βρήκαμε προηγουμένως στο παράδειγμα είναι 1833,2 g PDI/ημέρα.

Το ανεκτό όριο αυτών των αποκλίσεων που καθορίζεται από τη σχέση $\frac{PDIN - PDIE}{UF_L^*}$ εξαρτάται από τη φυσιολογική κατάσταση του ζώου, καθώς και από το σιτηρέσιο.

Το σύστημα PDI παρουσιάζει όμως ορισμένα μειονεκτήματα, τα οποία είναι:

- Η δυσκολία και η αναξιοπιστία στη μέτρηση της αποδομησιμότητας των ζωοτροφών.

- Ο σταθερός ρυθμός μικροβιακής σύνθεσης κατά την πέψη των διάφορων ζωοτροφών, αποτέλεσμα του οποίου είναι η υπερεκτίμηση της ενεργειακής αξίας ορισμένων ενσιρωμάτων χλωρού χόρτου.

- Η υποεκτίμηση, σε ορισμένες περιπτώσεις, της ανακύκλωσης του αζώτου, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε κατά τι υψηλότερες χορηγήσεις, στα ζώα, μη πρωτεϊνικού αζώτου, και

- Η αναξιοπιστία, σε ό,τι αφορά τις ανάγκες των ζώων που βρίσκονται σε κατάσταση συντήρησης.

Συμπερασματικά, θα μπορούσε να αναφερθεί ότι η χρησιμοποίηση σε ευρεία κλίμακα του συστήματος PDI οδήγησε στην εξαγωγή πολύτιμων συμπερασμάτων σχετικά με την πέψη και το μεταβολισμό των αζωτούχων ουσιών στα μηρυκαστικά.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Orskov ER and I McDonald. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. J Agric Sci Camb 1979, 92: 499-503
2. Michalet-Doreau B, R Verite et P Chapoutot. Mithodologie de mesure de la digradabiliti in sacco de l'azote des aliments dans le rumen. Bull Tech C.R.Z.V. Theix, INRA 1987, 69: 5-7
3. Βασιλόπουλος Β. Διατροφή θηλαστικών και πτηνών. Τεύχος Γ'. Εκδοτικός οίκος Αφών Κυριακίδη, Θεσσαλονίκη, 1992
4. Le Goffe P, C Mesnil et R Verite. Variabiliti de la digradation dans le rumen "in sacco" des constituants des fourrages verts. Reprod Nutr Develop 1987, 27 (1B): 263-264
5. Gonzalez J, B Michalet-Doreau et C Poncet. Effets du niveau d'ingestion et du pourcentage de concentri dans la ration sur la digradabiliti de l'azote in sacco chez le mouton. Reprod Nutr Develop 1987, 27 (1B): 255-256
6. Poncet C, J Gonzalez et B Michalet-Doreau. Effets du pourcentage de concentri de la ration et du niveau d'ingestion sur la vitesse de passage dans le rumen de diffirents types d'aliments chez le mouton. Reprod Nutr Develop 1987, 27 (1B): 257-258
7. Grovum WL and VJ Williams. Rate of passage of digesta in sheep. 4. Passage of marker through the alimentary tract and the biological relevance of rate-constants derived from the changes in concentration of marker in faeces. Br J Nutr 1973, 30: 313-329
8. Mehrez AZ and ER Orskov. A study of the artificial fibre bag technique for determining the digestibility of feeds in the rumen. J Agric Sci Camb 1977, 88: 645-650
9. Crawford RJ, Jr, WH Hoover, CJ Sniffen and BA Crooker. Degradation of feedstuff nitrogen in the rumen VS nitrogen solubility in three solvents. J Anim Sci 1978, 46 (6): 1768-1775
10. Setala J. The nylon bag technique for determination of ruminal feed protein degradation. J Sci Agric Soc Finl 1983, 55: 1-78
11. Stern MD and LD Satter. Evaluation of nitrogen solubility and the dacron bag technique as methods for estimating protein degradation in the rumen. J Anim Sci 1984, 58 (3): 714-724
12. Elinam ME and ER Orskov. Estimation of rates of outflow of protein supplement from the rumen by determining the rate of excretion of chromium- treated protein supplements in faeces. Anim Prod 1984a, 39: 77-80
13. Elinam ME and ER Orskov. Factors affecting the outflow of protein supplements from the rumen. 1. Feeding level. Anim Prod 1984b, 38: 45-51
14. Elinam ME and ER Orskov. Factors affecting the outflow of protein supplements from the rumen. 2. The composition and particle size of the basal diet. Anim Prod 1984c, 39: 201-206
15. INRA. Alimentation des ruminants: Revision des systθmes et des tables de l'INRA. 1987. Bulletin technique No 70, Decembre, CRZV de Theix - 63122 CEYRAT
16. INRA. Alimentation des bovins, ovins et caprins. 1988. INRA, Paris
17. Λιαμάδης Δ. Περιγραφή και κριτική του σύγχρονου Γαλλικού συστήματος των πραγματικά πεπτών στο λεπτό έντερο πρωτεϊνών (σύστημα PDI). Θεσσαλονίκη, 1992

*UF_L = *νομευτική μονάδα γάλακτος*