

Die bepaling van 'n tempokonstante vir die uitvloei van Cr-gemerke proteienpartikels uit die rumen van lakterende melkkoeie

L.J. Erasmus en J.T. Grové

Navorsingsinstituut vir Vee- en Suiwelkunde, Irene

H.H. Meissner

Universiteit Pretoria, Pretoria

The determination of a rate constant for the outflow of chromium-mordanted protein particles from the rumen of lactating dairy cattle. Lactating Friesian/Holstein cows were used for the determination of the outflow rate of protein particles from the rumen. Fishmeal was made non-degradable after treatment with sodium dichromate and was hand-mixed into the rumen. A total faecal collection was done over 6 days to study the excretion pattern of chromium in the faeces. Faecal marker excretion curves for rate of passage were analysed using the Grovum and Williams model. The outflow rate of protein ranged from 0,022/h to 0,064/h and there was a highly significant linear effect of feeding level on outflow rate ($P < 0,01$ and $R^2 = 0,97$). The following conclusion was made: the level of feed intake is one of the most important factors affecting the outflow rate, if not the dominant factor, and from the literature it is clear that different outflow rates have to be calculated for different types of diets at varying levels of intake and this must be accommodated in feeding standards.
S. Afr. J. Anim. Sci. 1986, 16: 72 – 76

Gekannuleerde lakterende Fries/Holstein koeie is gebruik om 'n tempokonstante vir die uitvloei van proteienpartikels uit die rumen te bepaal. Vismeel is nie-degradeerbaar gemaak na behandeling met natriumdichromaat en direk in die rumen ingemeng. Mis is vir 6 dae versamel om die uitskeidingspatroon van die Cr te bestudeer. Die model van Grovum en Williams is gebruik om die tempokonstantes te beraam. Die waardes het gewissel van 0,022/h tot 0,064/h en daar was 'n hoogs betekenisvolle lineêre effek van voedingspeil op uitvloei tempo ($P < 0,01$ en $R^2 = 0,97$). Die gevolgtrekking word gemaak dat die peil van inname een van die belangrikste faktore is wat die uitvloei tempo bepaal, indien nie dié mees dominante faktor nie. Uit die literatuur is dit duidelik dat daar vir elke tipe dieet uitvloei tempo's by verskillende peile van inname bereken moet word wat dan in voedingstandaarde geïnkorporeer kan word.
S.-Afr. Tydskr. Vee. 1986, 16: 72 – 76

Keywords: Rate constant, outflow from rumen, chromium-mordanted fishmeal, dairy cows.

Uittreksel uit 'n gedeelte van 'n verhandeling wat ingedien gaan word vir die graad M Sc(Agric) aan die Universiteit van Pretoria

L.J. Erasmus* en J.T. Grové

Navorsingsinstituut vir Vee- en Suiwelkunde, Privaatsak X2, Irene, 1675 Republiek van Suid-Afrika

H.H. Meissner

Departement Veekunde, Universiteit van Pretoria, Pretoria, 0001 Republiek van Suid-Afrika

*Aan wie korrespondensie gerig moet word

Ontvang 13 Augustus 1984

Inleiding

Die proteïenbehoefte van 'n hoogproduserende melkkoeie kan slegs bevredig word indien daar genoegsame N in die dieet teenwoordig is vir maksimum mikrobiële sintese asook voldoende verbyvloei proteïene. Proteïenstandaarde gebaseer op ruproteïene of verteerbare ruproteïene dui geensins aan of die dieet voldoende N verskaf aan die mikrobiële populasie nie. Bogenoemde, tesame met die hoë koste van proteïensupplemente, het bygedra tot die daarstelling van meer akkurate proteïenevalueringstelsels, onder andere die beskrywing van die degradeerbare (RDP) en nie-degradeerbare (UDP) proteïenbehoefte van herkouers (Burroughs, Nelson & Mertens, 1975; Roy, Balch, Miller, Ørskov & Smith, 1977; Vérité, Journet & Jarrige, 1979). Die degradeerbaarheid van dieetproteïensupplemente in die rumen vorm 'n integrale deel van die 'Agricultural Research Council' se voedingstandaarde waar die voedingsbehoefte van die gasheerdier en die rumenmikrobes afsonderlik beskou word (ARC, 1980).

'n Tegniek wat groot potensiaal inhou en wat gebruik word om proteïendegradearbaarheid te bepaal is die kunsveselsakmetode (Mehrez & Ørskov, 1977). Hierdie metode neem egter nie die vloei van proteïenpartikels uit die rumen in ag nie, alhoewel aanvaar word dat uitvloei tempo 'n groot effek mag hê op die degradeerbaarheid van proteïensupplemente. As die mate van proteïendegradering gekombineer word met uitvloei tempo, word meer akkurate degradeerbaarheidswaardes verkry (Ørskov & McDonald, 1979).

Verhoogde voerinnameword geassosieer met verhoogde uitvloei tempo van die vloeibare- en vaste fraksies uit die rumen (Evans, 1981a & b; Warner, 1981). Gedurende die afgelope aantal jare is heelwat pogings aangewend om die uitvloei tempo van proteïenpartikels uit die rumen te bepaal (Ganev, Ørskov & Smart, 1979; Mansbridge & Ørskov, 1980; Eliman & Ørskov, 1981; Sriskandarajah, Kellaway & Liebholz, 1981). Die meeste navorsing is op skape gedoen en min resultate is bekend waar hoogproduserende melkkoeie met verskillende peile van inname gebruik is (Lindberg, 1982).

Die ARC-werkgroep is tans besig om die jongste navorsingsresultate te akkommodeer in hul voedingstandaarde. Tot dusver (ARC, 1980) word slegs 'n enkele waarde vir die degradeerbaarheid van proteïensupplemente gebruik. Die degradeerbaarheid van dieetproteïene neem af soos voerinnameword toeneem as gevolg van 'n vinniger uitvloei van digesta uit die rumen (Ørskov, Hughes-Jones & Eliman, 1983). Laasgenoemde feit is veral van belang by die hoogproduserende melkkoeie wat gekenmerk word deur hoë droëmateriaalinname tydens vroeë- en mid-laktasie (Armstrong, 1982).

Die doel van hierdie studie was eerstens om ondersoek in

te stel na die effek van voedingspeil op die uitvloei tempo van proteïenpartikels uit die rumen van lakterende melkkoeie wat 'n verkorrelde volledige dieet ontvang, en tweedens om die tegniek wat gebruik is te beskryf.

Ekperimentele prosedure

Diere

Vier gekannuleerde (100 mm deursnee) lakterende Fries/Holstein koeie met gemiddelde liggaamsmassa van 550 kg en 'n gemiddelde produksie van 5000 kg tydens die vorige laktasie is gebruik.

Diëte

Die samestelling van die twee diëte word in Tabel 1 aangedui. Die proteïeninhoud van beide diëte is bereken as 168 g/kg en die energie-inhoud 10,7 MJ ME/kg DM. Die diëte is volledig saamgestel en in verkorrelde vorm aangebied (18-mm-deursnee korrel). 'n Kovariansie-analise het aangetoon dat die effek van dieet nie betekenisvol is nie.

Tabel 1 Samestelling van diëte

Komponent	Dieet A1	Dieet A2
<i>Eragrostis curvula</i> , %	38,0	38,0
Vismeeel, %	5,5	7,0
Katoensaadoliekoekmeel, %	5,5	8,0
Mieliemeel, %	46,4	43,0
Ureum, %	1,6	1,0
Minerale en vitamien voormengsel, %	3,0	3,0

Voedingsregime en monsterneming

Die tempokonstante vir uitvloei van proteïen uit die rumen is twee keer tydens laktasie bepaal. Twee koeie het *ad lib* dieet A1 en twee koeie dieet A2 vanaf kalwing tot aan die einde van laktasie ontvang. Drie dae voordat met misversameling begin is, is die koeie in 'n eksperimentele krat geplaas om hulle gewoon te maak aan die eksperimentele toestande en die metabolismetuig (Liebenberg & Papenfuss, 1975). Die mis en urine is geskei deur gebruik te maak van 'n gewone hospitaal-tipe kateter (Neitz & Hartman, 1974).

Voerinnam, mis- en urienuitskeiding is daagliks gemeet. 'n Totale misversameling is gedoen en op die vierde dag van die eksperimentele periode is 100 g Cr-gemerke vismeel direk in die rumen geplaas en deeglik ingemeng. Mis is vir 72 h versamel met intervale van 6 h. Hierna is met tussenposes van 12 h vir 'n verdere 72 h versamel. Tydens elke versameling is die mis geweeg, deeglik gemeng en 'n verteenwoordigende mismonster (± 600 g) geneem. Hierdie monster is vir 24 h by 100°C gedroog, die persentasie droëmateriaal bereken, en bewaar vir verdere ontleding.

Behandeling van vismeel met Na-dichroma

Die tegniek van Udén, Colluci & Van Soest (1980) vir die behandeling van vesel vir doeleindes van vloeistudies, is gebruik. Laasgenoemde outeurs het voorgestel dat dieselfde behandeling gebruik word wanneer vloeistudies met proteïenpartikels gedoen word (Ganev, *et al.*, 1979).

Honderd gram vismeel en 57 g Na-dichroma is in 'n vlekvrystaal-bakkie gemeng en met water bedek. Die bakkie is met aluminiumfoelie toegemaak en die pasta vir 24 h by 100°C gebak. Hierna is die pasta gewas en gefiltreer. Askorbiensuur is bygevoeg om 'n pH van 4,5 te verkry. Die materiaal is herhaaldelik gewas en gefiltreer totdat die filtraat helder

was. Meer askorbiensuur is bygevoeg indien die pH bo 4,5 gestyg het, gevolg deur 'n verdere was en filtrering. Die materiaal is vervolgens vir 24 h by 100°C gedroog en was dan gereed vir verdere gebruik. 'n Breë riglyn is dat die finale monster 10 g Cr/100 g proteïensupplement moet bevat (Ganev, *et al.*, 1979). In hierdie studie het die behandelde vismeel gemiddeld 98 g Cr/kg vismeel bevat.

Herwinning van Cr-behandelde vismeel

Ten einde vas te stel of die gemerkte partikels nie-degradeerbaar is, is 5g Cr-behandelde vismeel in kunsveselsakkies geplaas en in die rumen geïnkubeer vir 48 h. Vir detail van die kunsveselsak-tegniek sien Ørskov, Hovell & Mould (1980).

Berekenings

Die berekenings is volgens die volgende funksie (Grofum & Williams, 1973; Eliman & Ørskov, 1981; Lindberg, 1982) gedoen:

$$C = C_0 \cdot e^{-k \cdot t}$$

waar C = konsentrasie chroom in mis by tyd t ; C_0 = konsentrasie chroom in mis by tyd t_0 ; k = tempokonstante vir uitvloei; en t = tyd (h)

Die tempokonstante (k) vir uitvloei van proteïenpartikels uit die rumen is bereken as die helling van die regressielyn tussen die natuurlike log van die afnemende elementkonsentrasie (Cr) teenoor tyd, nadat die piekmerkerkonsentrasie bereik is.

Pienaar, Roux & Van Zyl (1983) het gevind dat die enkel-dosis afnemende merkerkonsentrasietegniek 'n oorskatting is van die uitvloei tempo wanneer dit vergelyk word met die ewewigsmetode en die gemodifiseerde Graham & Williams tegniek. Vir hierdie studie is egter besluit om die Grofum & Williams-model te gebruik aangesien ander navorsers dit met sukses tydens vloeistudies met melkkoeie toegepas het (Prange, Stern, Rode, Santos, Jorgensen & Satter, 1979; Erdman, 1981; Eliman & Ørskov, 1981; Eliman & Ørskov, 1984b).

Chemiese-analise

Die gedroogde mismonsters is ontleed vir chroom deur middel van atoomabsorpsie-spektrofotometrie (Arthur, 1970). Hierdie tegniek is sensitief tot minder as 10 mg/kg.

Resultate en Bespreking

Cr-gemerke vismeel

Wanneer vismeel met Na-dichroma behandel word, word dit onoplosbaar en nie-degradeerbaar en is die chroom chemies aan die vismeel gebind. Die uitvloei van proteïenpartikels uit die rumen kan gevolg word deur slegs die uitskeidingspatroon van chroom in die mis te bestudeer (Eliman & Ørskov, 1981). Lindberg (1982) het gevind dat die soortlike gewig van sojaboonmeel gemerk met Na-dichroma met 4% toeneem en dié van katoensaadmeel met 8%. Dit mag lei tot 'n onderskatting van die uitvloei tempo. Ehle (1984) het die nadelige effek van 'n chroommordant op partikelkinetika gedemonstreer. Chroom (2–23%) is aan voer gebind en die gemiddelde retensietyd van die gemerkte partikels is bepaal. Die hoeveelheid chroom op die partikel het telkens 'n betekenisvolle, nie-noodwendig lineêre, effek op die retensietyd gehad. Hoewel die chroommordant dus nie loskom van die partikel soos by die rare aardmetale soos ytterbium en serium nie, verander dit wel die fisiese en verteringseienskappe daarvan en dus ook die retensietye wat daarmee verkry word. Indien die chroommordant wat nie loskom van die voer nie op so 'n lae peil aan die proteïen gebind kan word dat dit nie partikelvloei en

-verteerbaarheid beïnvloed nie, sou dit as die ideale merker beskou kan word (Pienaar, persoonlike mededeling). Daarteenoor het Eliman & Ørskov (1984a) gevind dat dichromaat-behandeling 'n baie klein effek het op die partikelgrootte-verspreiding en 'n nie-betekenisvolle effek op die soortlike gewig van die proteïensupplement. Hierdie outeurs se gevolgtrekking is dat die Cr-behandelde proteïensupplement dieselfde sal reageer as die oorspronklike nie-behandelde proteïensupplement.

Tydens die herwinningstoets is slegs 'n geringe verlies van droëmateriaal gevind (gemiddeld 0,98%). Die Cr-konsentrasie van vismeel het verskil volgens verskillende behandelings en het gevarieer van 94 tot 109 g Cr/kg vismeel. Die konsentrasie is van dieselfde orde as die behandelings soos deur Ganey, *et al.* (1979) en Lindberg (1982) uitgevoer.

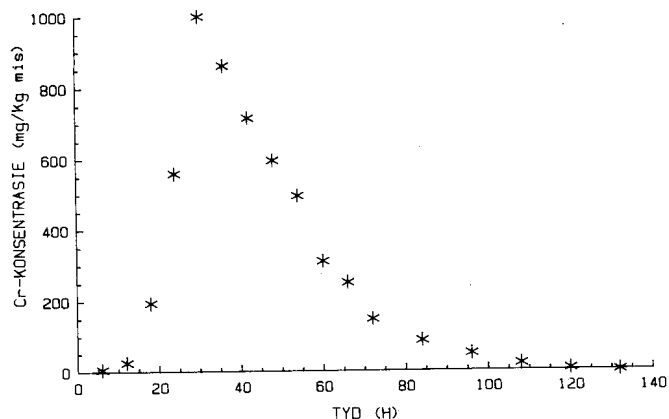
Tydens hierdie studie is vismeel beskou as verteenwoordigend van al die proteïensupplemente. Lindberg (1982) het geen betekenisvolle verskil in die uitvloeiempo van Cr-gemerke katoensaadmeel, sojaboonmeel en raapsaadmeel gevind nie, terwyl Mansbridge & Ørskov (1980) en Eliman & Ørskov (1984a) geen verskil tussen die uitvloeiempo's van Cr-gemerke vismeel en sojaboonmeel gevind het nie. Resultate behaal met een proteïensupplement kan dus toegepas word op ander proteïensupplemente in die diët. Dit blyk dus voldoende te wees om 'n proteïensupplement te kies wat wel in die diët teenwoordig is en dit dan as verteenwoordigend van alle proteïenpartikels te beskou.

Tempokonstante

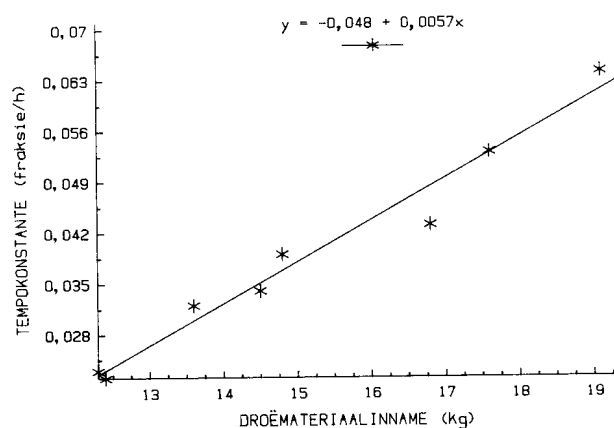
Die tipiese uitscheidingspatroon van chroom in die mis word in Figuur 1 geïllustreer. Dit stem ooreen met die data van Grovum & Williams (1973). Die tempokonstante vir die uitvloei van Cr-gemerke vismeelpartikels by verskillende innamepeile word in Tabel 2 aangedui. Daar was 'n hoogs betekenisvolle lineêre effek van voedingspeil op uitvloeiempo ($P < 0,01$ en $r = 0,98$; $R^2 = 0,97$). Die resultate word grafies voorgestel in Figuur 2.

Dit kan vanaf resultate tot op hede afgelei word dat die uitvloeiempo van proteïenpartikels varieer van ongeveer 0,01/h wanneer gemaalde diëte op onderhoudsvlak vir skape gevoer word (Mansbridge & Ørskov, 1980) tot ongeveer 0,1/h wanneer 'n volledige diët *ad lib* aan hoogproduserende melkkoeie tydens vroeë laktasie gevoer word (Eliman & Ørskov, 1981). Eliman & Ørskov (1982) het gevind dat die uitvloeiempo toeneem tot $2,5 \times$ onderhoudsvoeding en dan begin afplat. Indien die regressievergelyking $y = -0,048 + 0,0057x$ (Figuur 2) beskou word sal 'n tempokonstante van 0,1/h 'n droëmateriaalinname van 26,0 kg verteenwoordig. Met inagneming van die resultate van Eliman & Ørskov (1981 & 1982) kan vanaf hierdie studie afgelei word dat die tempokonstante nie onbeperk sal toeneem nie, maar sal afplat wanneer 'n melkkoeie se droëmateriaalinname 'n vlak van ongeveer 24–26 kg/d oorskry. Die grootte en kapasiteit van die koeie sal ook 'n effek hê op watter stadium die uitvloeiempo sal afplat en hierdie fisiologiese beperking op uitvloei regverdig verdere navorsing (Eliman & Ørskov, 1984a).

Die resultate van hierdie studie (0,022–0,064/h) vergelyk uitstekend met resultate van ander navorsers, alhoewel min direkte bepalinge met melkkoeie gedoen is. Erdman (1981) het met lakterende koeie waar die inname van 11,2 tot 20,1 kg DM per dag gewissel het, tempokonstantes verkry wat gewissel het van 0,049/h tot 0,058/h. Lindberg (1982) het lakterende en droë koeie onderskeidelik vir $3 \times$ onderhoud en $1 \times$ onderhoud gevoer en resultate verkry wat gevarieer het van 0,02/h tot 0,083/h.



Figuur 1 Tipiese ekskresiecurve van Cr-gemerke vismeel in faeces van hoogproduserende melkkoeie



Figuur 2 Verwantskap tussen droëmateriaalinname en uitvloei van Cr-gemerke vismeel uit rumen van lakterende melkkoeie

Tabel 2 Tempokonstante vir die uitvloei van Cr-gemerke vismeelpartikels uit die rumen van lakterende Frieskoeie by verskillende innamepeile

Gemiddelde vrywillige droëmateriaalinname (kg/d)	Tempokonstante (Fraksie/h)	Gemiddelde retensietyd (h)
12,3	0,023	43,5
12,4	0,022	45,5
13,6	0,032	31,3
14,5	0,034	29,4
14,8	0,039	25,6
16,8	0,043	23,3
17,6	0,053	18,9
19,1	0,064	15,6

Dieetfaktore wat 'n effek het op die tempokonstante vir uitvloei van proteïen uit die rumen is die innamepeil (Grovum & Williams, 1977; Owens, Kazemi, Galyean, Mizwicki & Solaiman, 1979), fisiese vorm van diët (Coombe, Dinius & Wheeler, 1979) en die ruvoer: kragvoer-verhouding (Owens, *et al.*, 1979). Ganey, *et al.* (1979) het aangedui dat indien die basale diët uit lang partikels bestaan, die uitvloeiempo van klein partikels vinniger is as wanneer die basale diët ook uit klein partikels bestaan het. Die uitvloei van partikels neem toe in die volgorde: lang ruvoerpartikels, kragvoerpartikels en vloeistof (Tamminga, 1983). Hieruit kan afgelei word dat daar vir elke tipe diët (byvoorbeeld volledige diët, lusernhooi-

kragvoer dieet, kuilvoer-kragvoer dieet) 'n tempokonstante vir uitvloei van proteïen uit die rumen bepaal moet word voordat die effektiewe proteïendegradearbaarheid bepaal kan word.

Gevolgtrekking

Die tempokonstante vir uitvloei van proteïen uit die rumen soos bepaal in hierdie studie het gewissel van 0,022/h tot 0,064/h. 'n Hoogproduserende melkkoei met 'n droëmateriaalinname van meer as 20 kg behoort 'n tempokonstante in die orde van 0,07/h tot 0,1/h te handhaaf wanneer 'n volledige verkorrelde dieet *ad lib* gevoer word. Die resultate vanuit hierdie studie waar die Grovum & Williams-model gebruik is, dui aan dat die peil van inname een van die belangrikste faktore is wat die uitvloeiempo bepaal, indien nie die mees dominante faktor nie. Uitvloeiempo bepaal die retensietyd in die rumen en retensietyd bepaal hoe lank proteïenpartikels blootgestel is aan mikrobiële degradering. Hierdie resultate beklemtoon die gevolgtrekking van ander navorsers dat geen enkele degradeerbaarheidswaarde aan 'n proteïenbron toegeken kan word nie en dat voedingstandaarde die veranderde degradeerbaarheid by verskillende uitvloeiempo's soos beïnvloed deur inname, behoort te inkorporeer.

Erkenning

Erkenning word met dank verleen aan mnr J.P. Pienaar vir sy hulp met die Cr-behandelingstegniek en mnr M.T. Mey vir sy bydrae met die Cr-bepalings. Ook aan dr M.H. Neitz en mnr H.P. de Bruin vir hul bydraes.

Summary

The degradability of dietary protein supplements in the rumen constitutes an important part of the ARC (1980) system for assessing protein requirements for ruminants where the requirements for the host animal and rumen microbes are considered separately. A potentially useful method for the determination of protein degradability is the artificial fibre bag technique. By adjusting rumen degradation results obtained *in sacco* with the outflow of the feed from the rumen, more accurate estimates of the actual degradability is possible. However, much of the outflow data were obtained using sheep and only few observations are available for high-producing dairy cattle.

Lactating Friesian/Holstein cows producing 5 000 kg of milk and fitted with 100-mm rumen cannulae were used for the determination of the outflow of protein particles from the rumen. Fishmeal was chosen to represent all protein particles and was made non-degradable after treatment with sodium dichromate. The chromium-mordanted fishmeal was hand-mixed into the rumen. Faeces were collected at 6-h intervals for the first 3 days and for the next 3 days at 12-h intervals. Samples were taken during each collection interval and faecal-marker excretion curves for rate of passage were analysed using the Grovum and Williams model.

The rate of outflow of protein ranged from 0,022/h to 0,064/h with the dry matter intake varying from 12,3 kg/day to 19,1 kg/day. There was a highly significant linear effect of level of feeding on rate of outflow ($P < 0,01$ and $R^2 = 0,97$).

The following conclusion was made: The level of feed intake is one of the most important factors affecting the rate of outflow, if not the dominant factor, and from the literature it is clear that different outflow rates have to be calculated for different types of diets at varying levels of intake and this must be accommodated in feeding standards.

Verwysings

- AGRICULTURAL RESEARCH COUNCIL, 1980. Requirements for protein. In: The Nutrient Requirements of Ruminant Livestock. Commonwealth Agricultural Bureaux, Farnham Royal, Slough. p. 121.
- ARMSTRONG, D.G., 1982. 12th Hannah Lecture. Rep. Hannah Res. Inst., 1982, p. 65.
- ARTHUR, D., 1970. The determination of Chromium in Animal feed and excreta by Atomic Absorption Spectrophotometry. *Can. Spec.* (Nov 1970), 134.
- BURROUGHS, W. NELSON, D.K. & MERTENS, D.R., 1975. Protein physiology and its application in the lactating cow: the metabolizable protein feeding standard. *J. Anim. Sci.* 41, 933.
- COOMBE, J.B. DINIUS, D.A. & WHEELER, W.E., 1979. Effect of alkali treatment on intake and digestion of barley straw by beef steers. *J. Anim. Sci.* 49, 169.
- EHLE, F.R., 1984. Influence of feed particle density on particulate passage from rumen of Holstein cow. *J. Dairy Sci.* 67, 693.
- ELIMAN, M.E. & ØRSKOV, E.R., 1981. Determination of rate of outflow of protein supplements from the rumen by measuring the rate of excretion of chromium-treated protein supplements and polyethylene glycol in the faeces. *Anim. Prod.* 32, 386.
- ELIMAN, M.E. & ØRSKOV, E.R., 1982. The effect of level of feeding on the rate of outflow of sodium dichromate-treated protein supplements from the rumen of dairy cows. *Proc. Nutr. Soc.* 41, 87A (Abstr.).
- ELIMAN, M.E. & ØRSKOV, E.R., 1984a. Factors affecting the outflow of protein supplements from the rumen. 1. Feeding level. *Anim. Prod.* 38, 45.
- ELIMAN, M.E. & ØRSKOV, E.R., 1984b. Factors affecting the outflow of protein supplement from the rumen. 2. Composition and particle size of the basal diet. *Anim. Prod.* 39, 201.
- ERDMAN, R.A., 1981. Rumen fractional clearance rates of feed ingredients within mixed rations fed to lactating cows. *J. Dairy Sci.* (Suppl 1), 129, (Abstr).
- EVANS, E., 1981a. An evaluation of the relationships between dietary parameters and rumen liquid turnover rate. *Can. J. Anim. Sci.* 61, 91.
- EVANS, E., 1981b. An evaluation of the relationships between dietary parameters and rumen solid turnover rate. *Can. J. Anim. Sci.* 61, 97.
- GANEV, G., ØRSKOV, E.R. & SMART, R., 1979. The effect of roughage or concentrate feeding and rumen retention time on total degradation of protein in the rumen. *J. Agric. Sci., Camb.* 93, 651.
- GROVUM, W.L. & WILLIAMS, V.J., 1973. 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.* 30, 313.
- GROVUM, W.L. & WILLIAMS, V.J., 1977. Rate of passage of digesta in sheep. 6. The effect of level of food intake on mathematical predictions of the kinetics of digesta in the reticulo rumen and intestines. *Br. J. Nutr.* 38, 425.
- LIEBENBERG, L.H.P. & PAPENFUSS, C., 1975. 'n Ligte tuig vir metabolismeproewe met melkkoeie. *S.-Afr. Tydskr. Veek.* 5, 127.
- LINDBERG, J.E., 1982. Ruminant flow rate of soya-bean meal, rapeseed meal and cottonseed meal in cows fed at maintenance and at three times maintenance. *J. agric. Sci., Camb.* 98, 689.
- MANSBRIDGE, R.J. & ØRSKOV, E.R., 1980. Measurement of and factors affecting outflow rates of protein supplements in sheep and cattle. *Anim. Prod.* 30, 486.
- MEHREZ, A.Z. & ØRSKOV, E.R., 1977. A study of the artificial fibre bag technique for determining the digestibility of feed in the rumen. *J. agric. Sci., Camb.* 88, 645.
- NEITZ, M.H. & HARTMAN, C.L., 1974. A technique for the collection of urine from cows. *S. Afr. J. Anim. Sci.* 4, 213.
- ØRSKOV, E.R. & McDONALD, I., 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *J. agric. Sci., Camb.* 92, 499.
- ØRSKOV, E.R., HOVELL, F.D. DE B. & MOULD, F., 1980. The use of the nylon bag technique for the evaluation of feedstuffs. *Trop. Anim. Prod.* 5, 195.

- ØRSKOV, E.R., HUGHES-JONES, M. & ELIMAN, M.E., 1983. Studies on degradation and outflow rate of protein supplements in the rumen of sheep and cattle. *Livestock Prod. Sci.* 10, 17.
- OWENS, F.N., KAZEMI, M., GALYEAN, M.L., MIZWICKI, K.L. & SOLAIMAN, S.G., 1979. Ruminant turnover rate — influence of feed additives, feed intake and roughage level. Okla Agric Expt Sta Rep MP — 104, p 27.
- PIENAAR, J.P., ROUX, C.Z. & VAN ZYL, A.B., 1983. A comparison of methods used to estimate a rate constant for outflow from the rumen. *S. Afr. J. Anim. Sci.* 13 (2), 136.
- PRANGE, R.W., STERN, M.D., RODE, L.M., SANTOS, K.A.S., JORGENSEN, N.A. & SATTER, L.D., 1979. The effects of altering hay-grain ratios on digestibility and rate of passage of dry matter in lactating dairy cattle. *J. Anim. Sci.* 49 (Suppl. 1), 398 (Abstr.).
- ROY, J.H., BALCH, C.C., MILLER, E.L., ØRSKOV, E.R. & SMITH, R.H., 1977. Calculation of the N-requirement for ruminants from nitrogen metabolism studies. In: Protein Metabolism and Nutrition. EAAP, publication 22, Wageningen, p. 231.
- SRISKANDARAJAH, N., KELLAWAY, R.C. & LIEBHOLZ, J., 1981. Retention times in the rumen of roughages and a protein supplement. *J. agric. Sci., Camb.* 97, 231.
- TAMMINGA, S., 1983. Recent advances in our knowledge on protein digestion and absorption in ruminants. IVth Int Symp Protein metabolism and nutrition, Clermont-Ferrand, 5–9 Sept. 1983. — Ed. INRA Publ., 1983, I.
- UDÉN, P., COLLUCI, P.E. & VAN SOEST, P.J., 1980. Investigation of chromium, cerium and cobalt as markers in digesta. Rate of passage studies. *J. Sci. Food Agric.* 31, 625.
- VÉRITÉ, R., JOURNET, M. & JARRIGE, R., 1979. A new system for the protein feeding of ruminants — the PDI system. *Livestock Prod. Sci.* 6, 349.
- WARNER, A.C.I., 1981. Rate of passage of digesta through the gut of mammals and birds. *Nutr. Abstr. Rev. Ser.* B51, 789.