

# Die potensiaal van chemies behandelde fluitjiesriet (*Phragmites australis*)-hooi in onderhoudsdiëte vir skape. 1. Die effek van NaOH-behandeling en ureuminkuiling op inname, verteerbaarheid en rumenkinetika

J.P. Swiegers en J. Pienaar

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

Ontvang 4 Augustus 1987; aanvaar 27 September 1987

**The potential of chemically treated common reed (*Phragmites australis*) hay in maintenance diets for sheep. 1. The effect of NaOH treatment and ensilage with urea on intake, digestibility and rumen kinetics.** Untreated, NaOH treated and urea ensiled common reed hay were evaluated in a digestion study with sheep. The hemicellulose fraction was partially solubilized by both chemical treatments, while the lignin fraction was apparently not effected. NaOH treatment increased digestibility and organic matter (OM) intake by 12 and 130% respectively, while urea ensilage had no significant effect in this regard. Although not significant, NaOH treatment tended to increase the mass of OM in the rumen. It also resulted in a highly significant decrease of 30% in the retention time of non-fermentable OM in the rumen. Although the delay constant of fermentation was increased by NaOH treatment it was counterbalanced by an increase in the lag constant for fermentation so that the *in sacco* retention time for fermentation did not differ significantly from that of the control treatment. Urea ensilage had no significant effect on any of these rumen parameters. NaOH treatment also resulted in a 35% decrease in rumen ammonia concentration and an increase of 73% in the total volatile fatty acid concentration. Urea ensilage resulted in an increase of 60% in rumen ammonia concentration but had no significant effect on total volatile fatty acid concentration. Rumen pH and the ratio of volatile fatty acids in the rumen were not effected by chemical treatment.

Onbehandelde, NaOH-behandelde en ureumingekuilde fluitjiesriethooi is in 'n verteringstudie by skape geëvalueer. Beide chemiese behandelings het die hemisellulosefraksie gedeeltelik opgelos, terwyl die lignieninhoud nie weselik beïnvloed is nie. Hoewel NaOH-behandeling verteerbaarheid en organiese materiaal (OM)-inname met onderskeidelik 12 en 130% verbeter het, het ureuminkuiling geen betekenisvolle effek in hierdie verband gehad nie. NaOH-behandeling het geneig om die massa OM in die rumen te verhoog terwyl die retensietyd van nie-fermenteerbare OM hoogs betekenisvol met 30% verkort is. Hoewel die fermentasietempokonstante deur NaOH-behandeling verhoog is, het 'n toename in die vertragskonstante daartoe gelei dat die *in sacco* retensietyd vir fermentasie nie betekenisvol van die kontrolebehandeling verskil het nie. Ureuminkuiling het geen betekenisvolle effek op enige van hierdie rumenparameters gehad nie. NaOH-behandeling het rumenammoniakkonsentrasie met 35% verlaag en die totale vlugtige vetsuurkonsentrasie met 73% verhoog. Ureuminkuiling daarenteen het 'n toename van 60% in die rumenammoniakkonsentrasie teweeggebring maar geen betekenisvolle effek op totale vlugtige vetsuurkonsentrasie gehad nie. Nóg NaOH-behandeling, nóg ureuminkuiling het die molare-verhouding van vlugtige vetsure en rumen-pH beïnvloed.

Gedeelte van 'n MSc(Agric)-studie aan die Universiteit van Pretoria

**Keywords:** Common reed, NaOH treatment, urea ensilage, rumen kinetics

\* Aan wie korrespondensie gerig moet word

## Inleiding

Een van die sekondêre gevolge van langtermyn droogtes in die ekstensiewe veeproduksie-areas is ernstige tekorte aan konvensionele ruvoer soos lusern. Groot hoeveelhede nie-konvensionele ruvoer in die vorm van byvoorbeeld fluitjiesriet word egter jaarliks in hierdie gebiede geproduseer. Fluitjiesriet word wyd in die Karoo as stabiliseerder in grondbewaringswerke gevestig, terwyl groot oppervlaktes ook aan die oewers van die Benede-Oranjerivier voorkom. 'n Digte stand van fluitjiesriet kan 'n droëmateriaalopbrengs van tot 1200 kg/ha/jaar lewer (Botha, persoonlike mededeling).

Weens die feit dat fluitjiesriet hoofsaaklik in slote en agter keerwalle groei, word dit nie suksesvol deur veral kleinvee bewei nie (Botha, ongepubliseerde data), en is

besluit om hierdie gewas in die hooivorm te evalueer. Vanweë die lae verteerbaarheid en inname van fluitjiesriethooi (Swiegers, ongepubliseerde data) was dit duidelik dat dit nie as hoofkomponent in onderhoudsdiëte van skape in byvoorbeeld droogtesituasies gebruik kan word nie. Inname en verteerbaarheid van ruvoere kan egter deur middel van chemiese behandeling, waarvan NaOH-behandeling en ammonisering die belangrikste is, verbeter word (Lesoing, Klopfenstein, Rush & Ward, 1980; Vosloo, 1985).

Aangesien ammoniakgas tans nie in die ekstensiewe veeproduksie-areas beskikbaar is nie, is besluit om ureuminkuiling as 'n moontlike alternatief vir NaOH-behandeling te ondersoek op grond van die positiewe resultate wat met ureuminkuiling van oesreste behaal is



Die data is statisties ontleed met behulp van 'n eenrigting variansie-analise (Snedecor & Cochran, 1967).

## Resultate en Bespreking

### Chemiese samestelling

Weens 'n toename van 191% in die RP-inhoud van ureumbehandelde fluitjiesriet (Tabel 1) was dit nie moontlik om al drie diëte op 'n iso-N basis te balanseer nie, hoewel dit moontlik was in die geval van die onbehandelde en NaOH-behandelde diëte. Die relatiewe groot toename in die persentasie N van ureumbehandelde fluitjiesriet in vergelyking met resultate verkry deur Saaddullah, *et al.* (1981) en Cloete, *et al.* (1983) met 5 en 7,5% ureumbehandeling van rys- en koringstrooi onderskeidelik, kan volgens Vosloo (pers. mededeling) toegeskryf word aan die feit dat ureum nie volledig na  $\text{NH}_3$  gehidroliseer het nie. Tog is dit duidelik uit Tabel 1 dat die ureumbehandelde riet nie 'n noemenswaardig hoër ureuminhoud as die onbehandelde riet gehad het nie.

Doeltreffende preserving, aansienlike verkleuring en 'n sterk  $\text{NH}_3$ -reuk was addisionele aanduidings van bevredigende ureumhidrolise. Die skynbare anomalie tussen die persentasie N en die ureuminhoud kan nie verklaar word nie.

Beide chemiese behandelings het skynbaar 'n afname in die hemisellulose-inhoud tot gevolg gehad (Tabel 1) wat in ooreenstemming is met resultate van Abiden & Kempton (1981) en Cloete, *et al.* (1983), terwyl die lignieninhoud skynbaar net deur NaOH-behandeling weselik beïnvloed is.

### Verteerbaarheid

Die *in vivo* verteringskoeffisiënte van die proefdiëte word in Tabel 2 aangetoon.

Ureuminkuiling het hemiselluloseverteerbaarheid met 8,5% verbeter wat ooreenstem met die 8,7% verbetering wat deur Cloete & Kritzinger (1984) met 5% ureuminkuiling van koringstrooi in vergelyking met ureumgesupplementeerde koringstrooi verkry is. Vanweë die hoë voginhoud van die materiaal kan hierdie klein verbetering waarskynlik aan hidrolise met  $\text{NH}_4\text{OH}$

**Tabel 2** Gemiddelde *in vivo* verteringskoeffisiënte van proefdiëte (%)

	Onbehandeld Ureum NaOH		
	Onbehandeld	Ureum	NaOH
Organiese materiaal	44,1 <sup>a</sup> (5,4)	44,5 <sup>a</sup> (4,4)	49,4 <sup>b</sup> (3,5)
Neutraalbestande vesel	43,2 (6,2)	45,5 (1,6)	47,1 (5,0)
Hemisellulose	41,1 <sup>a</sup> (5,6)	44,6 <sup>b</sup> (1,6)	49,9 <sup>c</sup> (6,9)

<sup>a,b,c</sup> Waardes in dieselfde reël met gemeenskaplike boskifte verskil nie betekenisvol nie

Waardes in hakies dui die koeffisiënte van variasie aan

toegeskryf word. Die verhoging in hemiselluloseverteerbaarheid het nietemin skynbaar nie in 'n verbeterde OM-verteerbaarheid gerealiseer nie (Tabel 2) en die doeltreffendheid van die behandeling is waarskynlik deur die teenwoordigheid van  $\text{CO}_2$ , vrygestel deur die hidrolise van ureum, verminder (Mason, Wilson, Keene & Hartley, 1985).

Die verbetering in OM-verteerbaarheid wat volgens Tabel 2 met NaOH-behandeling verkry is, kan waarskynlik ook aan 'n 21% toename in hemiselluloseverteerbaarheid toegeskryf word, as gevolg van die verseping van esterbindings tussen die karboksielkomponent van hemisellulose en die alkoholkomponent van lignien (Tarkov & Feist, 1969).

Die afleiding kan waarskynlik gevolglik gemaak word dat die verbetering wat in sommige verteerbaarheidsparameters met chemiese verhandeling verkry is, slegs gedeeltelik aan 'n afname in die lignieninhoud toegeskryf kan word (Tabel 1), maar veel eerder aan die ligging, plasing en binding van lignien met ander selwandkoolhidrate, waarskynlik hemisellulose.

### Inname

Die vrywillige inname van skape op die drie proefdiëte word in Tabel 3 aangetoon.

**Tabel 3** Gemiddelde vrywillige OM inname

	Onbehandeld Ureum NaOH		
	Onbehandeld	Ureum	NaOH
OM inname (g.dag <sup>-1</sup> )	569 <sup>a</sup> (22,4)	646 <sup>a</sup> (33,7)	1280 <sup>b</sup> (12,9)
OM inname (g.kg W <sup>-0,75</sup> .dag <sup>-1</sup> )	30 <sup>a</sup> (22,9)	35 <sup>a</sup> (40,0)	69 <sup>b</sup> (15,9)
Verteerbare OM inname (g.kg W <sup>-0,75</sup> .dag <sup>-1</sup> )	13 <sup>a</sup> (23,1)	15 <sup>a</sup> (40,0)	34 <sup>b</sup> (17,6)

<sup>a,b</sup> Waardes in dieselfde reël met gemeenskaplike boskifte verskil nie betekenisvol nie

Waardes in hakies dui die koeffisiënt van variasie aan

Natriumhidroksiedbehandeling het die OM-inname/kg W<sup>0,75</sup> hoogs betekenisvol met 130% verbeter, wat aansienlik groter is as wat algemeen vir ander ruvoere in die literatuur gerapporteer is (Valentine & Wickes, 1981; Cianci, Muscio, Palermo, Marsico & Centoducati, 1982).

Verklarings vir hierdie toename kan moontlik gebied word aan die hand van die benadering soos voorgestel deur Pienaar, *et al.* (1980). Hierdie benadering is gebaseer op die veronderstelling dat die tempo waarteen die dier sy rumen deur inname vul gelyk is aan die tempo waarteen die rumen deur fermentasie en uitvloei geleid word. Daarbenewens is innametyempo ook 'n funksie van die massa OM wat die dier in sy rumen akkommodeer.

Hoewel die verskille nie betekenisvol was weens die groot variasie in die geval van die onbehandelde en ureumbehandelde diëte nie, het NaOH-behandeling tot 'n 47% toename in massa OM in die rumen gelei (Tabel

**Tabel 4** Rumenfermentasie en vloeiparameters

	Onbehandeld Ureum NaOH		
Totale massa OM in rumen (g)	826 (40,0)	971 (40,6)	1217 (18,7)
Massa fermenteerbare OM in rumen (g)	182 <sup>a</sup> (37,4)	233 <sup>ab</sup> (46,9)	599 <sup>b</sup> (14,9)
<i>In sacco</i> tempokonstante vir fermentasie ( <i>k</i> ) (uur <sup>-1</sup> )	0,096 <sup>a</sup> (10,4)	0,110 <sup>a</sup> (23,6)	0,193 <sup>b</sup> (11,9)
<i>In sacco</i> vertragskonstante ( <i>m</i> )	1,053 <sup>a</sup> (30,7)	1,392 <sup>a</sup> (40,2)	3,299 <sup>b</sup> (23,0)
<i>In vivo</i> retensietyd vir fermenteerbare OM (uur)	23,9 (23,0)	27,4 (14,5)	21,4 (16,3)
<i>In sacco</i> retensietyd vir fermentasie (uur)	21,6 (19,9)	21,8 (2,4)	22,2 (8,0)
<i>In vivo</i> retensietyd vir nie-fermenteerbare OM (uur)	45,0 <sup>a</sup>	48,1 <sup>a</sup>	31,5 <sup>b</sup>
Retensietyd van water (uur)	16,6 <sup>a</sup> (20,6)	20,0 <sup>a</sup> (13,6)	10,6 <sup>b</sup> (8,5)

<sup>a,b</sup> Waardes in dieselfde reël met gemeenskaplike boskifte verskil nie betekenisvol nie

Waardes in hakies dui die koëffisiënte van variasie aan

4), 'n verskil wat tydens uitpakking baie duidelik was. Pienaar, *et al.* (1980) het op soortgelyke wyse 'n 15% toename in hierdie parameter met 5% NaOH-behandeling van koringstrooi aangetoon.

Fermentasie (en uitvloei) word gekenmerk deur 'n vertragsfase alvorens fermentasie 'n aanvang neem en volgens 'n eerste-ordeproses plaasvind (Roux & Pienaar, 1984). NaOH-behandeling het 'n hoogs betekenisvolle toename in die tempokonstante vir fermentasie van 101% teweeggebring, maar weens 'n hoogs betekenisvolle toename in die vertragskonstante vir fermentasie, het die *in sacco* retensietyd vir fermentasie nie betekenisvol tussen diëte verskil nie (Tabel 4).

'n Moontlike verklaring vir die toename in die vertragskonstante word deur Van Soest, Mascarenhas Ferreira & Hartley (1984) gebied. Die breking van die bindings tussen lignien en hemisellulose en die oplossing van hemisellulose *per se* het die effek dat baie ioniese strukture van die plantselwand verwyder word en daardeur word die kation-uitruilingskapasiteit van die matriks verlaag. Kation-uitruilingskapasiteit affekteer die hidreerbaarheid van die selwandoppervlakte en waarskynlik ook mikrobiële aanhegting en derhalwe die aanvang van fermentasie.

Die *in vivo* retensietyd van fermenteerbare OM, wat beide fermentasie en uitvloei behels, is skynbaar ook nie deur NaOH-behandeling beïnvloed nie (Tabel 4). Dit is dus duidelik dat nóg fermentasie nóg uitvloei van fermenteerbare OM vir die toename in inname met NaOH-behandeling verantwoordelik was.

NaOH-behandeling het egter 'n hoogs betekenisvolle afname in die retensietyd van nie-fermenteerbare OM

tot gevolg gehad (Tabel 4), wat dus deels vir die verbetering in inname verantwoordelik was. 'n Moontlike verklaring is dat die behandeling self 'n kleiner partikelgrootte teweeggebring het, of moontlik die produksie van kleiner partikels in die rumen begunstig het (Grofum, 1984).

Ooreenstemmend met die afwesigheid van enige betekenisvolle effek op inname (Tabel 3), het ureumbehandeling skynbaar ook geen betekenisvolle effek op massa OM in die rumen, *in sacco* retensietyd vir fermentasie en *in vivo* retensietyd vir uitvloei van nie-fermenteerbare OM gehad nie (Tabel 4). Die feit dat die *in vivo* retensietyd (fermentasie en uitvloei) egter in die geval van ureumbehandeling betekenisvol langer was as die *in situ* retensietyd (slegs fermentasie), impliseer moontlik 'n stadiger uitvloei van fermenteerbare OM. Hierdie tendens is in ooreenstemming met 'n nie-betekenisvolle toename in die retensietyd van nie-fermenteerbare OM en water (Tabel 4) en kan moontlik aan 'n afname in rumenbeweeglikheid as gevolg van die relatief hoë rumen-NH<sub>3</sub>-konsentrasie toegeskryf word (Tabel 5) (Coombe, Tribe & Morrison, 1960).

Tabel 5 toon die rumen-NH<sub>3</sub>- en VVS-konsentrasie sowel as rumen-pH aan.

Hoewel die rumen-NH<sub>3</sub>-konsentrasie van 41 mg % in die geval van ureuminkuiling relatief hoog is, was konsentrasies waarskynlik nie hoog genoeg om akute NH<sub>3</sub>-vergiftiging te veroorsaak nie (Cordesse & Tabatabai, 1981), en het geen sodanige vergiftigingsimptome dan ook voorgekom nie.

Die verlaging in rumen-NH<sub>3</sub>-konsentrasie wat met NaOH-behandeling verkry is, is in ooreenstemming met resultate van Coombe, *et al.* (1979) en Al-Tawash, Drennan & L'Estrange (1982). Hierdie verlaging kan waarskynlik aan 'n toename in mikrobiële proteïensintese toegeskryf word weens 'n toename in die massa fermenteerbare OM in die rumen en 'n verkorting van die retensietyd van water (Tabel 4). Isaacson, Hinds,

**Tabel 5** Rumenammoniak- en vlugtige vetsuurkonsentrasie, en rumen-pH

	Onbehandeld Ureum NaOH		
NH <sub>3</sub> -konsentrasie (mg. 100 ml <sup>-1</sup> )	25,7 <sup>a</sup> (15,5)	41,1 <sup>b</sup> (19,5)	16,8 <sup>c</sup> (7,7)
Totale VVS-konsentrasie (mmol. 100 ml <sup>-1</sup> )	5,9 <sup>a</sup> (12,0)	6,6 <sup>a</sup> (19,7)	10,2 <sup>b</sup> (2,9)
Asynsuur (molare %)	76,3 (1,9)	76,4 (2,1)	76,2 (0,7)
Propionsuur (molare %)	16,9 (4,7)	16,6 (5,4)	15,9 (5,0)
Bottersuur (molare %)	6,8 (13,2)	6,9 (14,5)	7,7 (7,8)
Rumen-pH	6,65	6,65	6,71

<sup>a,b,c</sup> Waardes in dieselfde reël met gemeenskaplike boskifte verskil nie betekenisvol nie

Waardes in hakies dui die koëffisiënte van variasie aan

Bryant & Owens (1975) het in hierdie verband aangetoon dat 'n afname in die retensietyd van water van 16,6 na 8,3 uur, Y (ATP) (gram mikrobiëse proteïene gesintetiseer per mol ATP) van 11,6 na 16,7 laat toeneem het. NaOH-behandeling het 'n toename van 73% in die totale VVS-konsentrasie in die rumen bewerkstellig (Tabel 5) wat aansienlik groter is as toenames aangetoon deur Coombe, *et al.* (1979), en Hunt, Paterson, Zinn & Williams (1984). As in aanmerking geneem word dat die hoër uitvloeiempo van water ook nog 'n verdunningseffek tot gevolg gehad het, is die VVS-konsentrasie egter nog selfs 'n onderskatting van die werklike vlugtige vetsuurproduksie. Hierdie toename was egter te wagte weens die drastiese toename in die massa OM in die rumen gefermenteer. Hoër VVS-konsentrasies word normaalweg met 'n laer rumen-pH, toename in propionaatproduksie, en 'n afname in metaanproduksie geassosieer (DeMeyer & Van Nevel, 1975). Die feit dat sodanige tendens nie hier voorgekom het nie is moontlik toe te skryf aan die toevoeging van  $\text{NaHCO}_3$ , opvolgend op NaOH-reaksie, wat die bufferkapasiteit in die rumen verhoog het.

Ooreenstemmend met 'n klein nie-betekenisvolle toename in die massa fermenteerbare OM in die rumen met ureumbehandeling (Tabel 4), het 'n nie-betekenisvolle toename in die totale VVS-konsentrasie ook met hierdie behandeling voorgekom (Tabel 5). Ureumbehandeling het ook geen verskil in rumen-pH en die verhoudings van die onderskeie vetsure tot gevolg gehad nie.

Samevattend is dit dus duidelik dat NaOH-behandeling tot 'n groot toename in OM-inname gelei het, waarskynlik as gevolg van 'n toename in die massa OM in die rumen en 'n toename in die uitvloeiempo van nie-fermenteerbare OM. Hierdie verbetering, tesame met 'n verbetering in verteerbaarheid, het meegebring dat verteerbare OM-inname met 162% verbeter het. Dit impliseer 'n toename in energievoorsiening aan die dier soos inderdaad ook bevestig is deur 'n 73% toename in die totale VVS-konsentrasie. Daarbenewens het NaOH-behandeling waarskynlik 'n toename in proteïenvoorsiening by die duodenum tot gevolg gehad as gevolg van 'n toename in mikrobeproteïensintese in die rumen. In teenstelling hiermee was ureumbehandeling skynbaar algeheel oneffektief ten opsigte van verbeterde energievoorsiening om redes wat nie voor-die-handliggend is nie. Die relatief lae omgewingstemperatuur van 12°C kon sowel die hidrolise van ureum na  $\text{NH}_3$  sowel as die ammonisering vertraag het, alhoewel die behandelingstyd selfs langer as die riglyne van Sundstøl, Coxworth & Mowat (1978) was. Die probleem behoort opgevolg te word.

### Verwysings

ABIDIN, Z. & KEMPTON, T.J., 1981. Effects of treatments of barley straw with anhydrous ammonia and supplementation with heat treated protein meals on feed

- intake and liveweight performance of growing lambs. *Anim. Fd Sci. Tech.* 6, 145.
- AL-TAWASH, M., DRENNAN, M.J. & L'ESTRANGE, J.L., 1982. Sodium hydroxide treatment of straw. 2. Effect of straw treatment on its digestibility and on certain rumen fluid and blood parameters. *Ir. J. Agric. Res.* 21, 261.
- AOAC, 1970. Official methods of analyses (11th Ed). Association of Official Analytical Chemists, Washington, D.C.
- BORHAMI, B.E.A., SUNDSTØL, F. & HARSTAD, O.M., 1983. Nitrogen utilization in sheep when feeding either sodium hydroxide treated straw plus urea or ammonia treated straw. *Acta Agric. Scand.* 33, 3
- CIANCI, D., MUSCIO, A., PALERMO, D., MARSICO, G. & CENTODUCATI, P., 1982. Use of straw treated with sodium hydroxide as animal feed. 1. Results of digestibility trials *in vivo*. *Zootech. Nutr. Anim.* 8, 23.
- CLOETE, S.W.P., DE VILLIERS, T.T. & KRITZINGER, N.M., 1983. The effect of ammoniation by urea on the nutritive value of wheat straw for sheep. *S. Afr. J. Anim. Sci.* 13, 143.
- CLOETE, S.W.P. & KRITZINGER, N.M., 1984. Urea ammoniation compared to urea supplementation as a method of improving the nutritive value of wheat straw for sheep. *S. Afr. J. Anim. Sci.* 14, 59.
- 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.
- COOMBE, J.B., TRIBE, D.E. & MORRISON, J.W.C., 1960. Some experimental observations on the toxicity of urea of sheep. *Aust. J. Agric. Res.* 11, 247.
- CORDESSE, K. & TABA-TABAI, M., 1981. Feeding of lambs with ammonia-treated straw. 2. Biochemical kinetics of the breakdown of treated straw in the rumen. *Ann. Zootech.* 30, 299.
- DEMEYER, D.I. & VAN NEVEL, C.J., 1975. Methanogenesis, an integral part of carbohydrate fermentation and its control. In: *Digestion and Metabolism in the Ruminant*. Ed. McDonald, I.W. & Warner, A.C.I. Armidale: University of New England Publishing Unit, p. 336.
- DOWNES, A.M. & McDONALD, I.W., 1964. The chromium-51 complex of ethylene-diamine-tetra-acetic acid as a soluble rumen marker. *Br. J. Nutr.* 18, 153.
- DOYLE, P.T., 1982. Options for the treatment of fibrous roughages in developing countries. A review. In: *The Utilization of Fibrous Agricultural Residues as Animal Feeds*. Ed. Doyle, P.T. Parkville: University of Melbourne. p. 129.
- EVANS, P.J., 1979. Chemical and physical aspects of the interaction of sodium hydroxide with the cell wall components of straw. In: *Straw Decay and its Effect on Disposal and Utilization*. Ed. Crossbeard, E. Chichester: John Wiley and Sons Ltd., p. 187.
- GROVUM, W.L., 1984. Integration of digestion and digesta kinetics with control of feed intake - a physiological framework for a model of rumen function. In: *Herbivore Nutrition in the Subtropics and Tropics*. Ed. Gilchrist, F.M.C. & Mackie, R.I. Johannesburg: The Science Press. p. 244.

- HUNT, C.W., PATERSON, J.A., ZINN, G.M. & WILLIAMS, J.E., 1984. Effect of particle length and sodium hydroxide treatment of wheat straw on site and extent of digestion by lambs. *J. Anim. Sci.* 58, 1454.
- ISAACSON, H.R., HINDS, F.C., BRYANT, M.P. & OWENS, F.N., 1975. Efficiency of energy utilization by mixed rumen bacteria in continuous culture. *J. Dairy Sci.* 58, 1645.
- KAINGI, E.M.I., 1981. Ammonia treatment of low quality roughages to improve their nutritive value. In: Utilization of Low Quality Roughages in Africa. Ed. Kategile, J.A., Said, A.N. & Sundstøl, F. The Agricultural University of Norway. p. 49.
- LESOING, G., KLOPFENSTEIN, T., RUSH, I. & WARD, J., 1980. Chemical treatment of straw. *J. Anim. Sci.* 51, 263.
- MASON, V.C., WILSON, R.F., KEENE, A.S. & HARTLEY, R.D., 1985. The effect of carbon dioxide on the efficiency of upgrading hay by ammoniation. *Br. Soc. Anim. Prod.* Paper no. 52.
- PIENAAR, J.P., HOFMEYR, H.S., PLAUT, KAREN I. & GRATTAROLA, L., 1980. Sodium hydroxide treated wheat straw for sheep. *S. Afr. J. Anim. Sci.* 10, 209.
- PIENAAR, J.P., ROUX, C.Z., MORGAN P.J.K. & GRATTAROLA, L., 1980. Predicting voluntary intake on medium quality roughages. *S. Afr. J. Anim. Sci.* 10, 215.
- ROUX, C.Z. & PIENAAR, J.P., 1984. Using the gamma function to model both passage rate and fermentation rate for intake prediction. In: Techniques of Particle Size Analysis of Feed and Digesta in the Rumen. Ed. Kennedy, P.M. Canadian Society of Animal Science. Occasional Publication No. 1., Alberta.
- SAADULLAH, M., HAQUE, M. & DOLBERG, F., 1981. Effectiveness of ammonification through urea in improving the feeding value of rice straw in ruminants. *Trop. Anim. Prod.* 6, 30.
- SNEDECOR, G.W. & COCHRAN, W.G., 1967. Statistical Methods. Ames: Iowa State University Press.
- SUNDSTØL, F., COXWORTH, E. & MOWAT, D.N., 1978. Improving the nutritive value of straw and other low-quality roughages by treatment with ammonia. *Wld. Anim. Rev.* 26, 13.
- TARKOV, H. & FEIST, W.C., 1969. A mechanism for improving the digestibility of lignocellulosic materials with dilute alkali and liquid ammonia. *Am. Chem. Soc. Adv. Chem.* 95, 197.
- THIAGO, L.R.L., KELLAWAY, R.C. & LEIBHOLZ, J., 1979. Kinetics of forage digestion in the rumen. *Ann. Rech. Vet.* 10, 329.
- VALENTINE, S.C. & WICKES, R.B., 1981. Nutritive value of alkali treated wheat straw fed to sheep with supplements of either lupins or barley and urea. *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.* 21, 183.
- VAN SOEST, P.J., MASCARENHAS FERREIRA, A. & HARTLEY, R.D., 1984. Chemical properties of fibre in relation to nutritive quality of ammonia-treated forages. *Anim. Fd Sci. Tech.* 10, 155.
- VAN SOEST, P.J. & WINE, R.H., 1968. Determination of lignin and cellulose in acid-detergent fiber with permanganate. *JAOAC* 51, 780.
- VOSLOO, L.P., 1985. Onlangse ontwikkeling op die gebied van ruvoervoorsiening aan herkouers. *S.-Afr. Tydskr. Veek.* 15, 86.
- WARNER, A.C.I., 1966. Diurnal changes in the concentrations of micro-organisms in the rumen of sheep fed limited diets once daily. Appendix on the kinetics of rumen microbes and flow. *J. Gen. Microbiol.* 45, 213.
- WILLIAMS, P.E.V., INNES, G.M. & BREWER, A., 1984. Ammonia treatment of straw via the hydrolysis of urea. 1. Effects of dry matter and urea concentrations on the rate of hydrolysis of urea. *Anim. Fd Sci. Tech.* 11, 103.