

## DIE INVLOED VAN VERSKILLENDE PEILE VAN Ca EN P OP DIE Mg-METABOLISME BY SKAPE

J.W. Nel

*Departement Diereproduksie, Universiteit van Pretoria*

*Ontvangs van M.S. 28.4.75*

**SUMMARY:** THE INFLUENCE OF DIFFERENT LEVELS OF Ca AND P UPON THE Mg METABOLISM IN SHEEP

Nine treatments of  $Ca_0P_0$ ,  $Ca_rP_r$ ,  $P_d$ ,  $Ca_d$ ,  $(CaP)_r$ ,  $Ca_dP_r$ ,  $(CaP)_d$  and  $Ca_rP_d$  (o = no supplementation; r = to the rumen and d = to the duodenum) were applied on five sheep during nine periods. The Mg retention was generally negative in spite of adequate dietary Mg. The mean apparent absorption was found to be 33.8%. Poor utilization of Mg must therefore be responsible for the general negative retentions. Treatments  $Ca_r$  and  $Ca_0P_0$  resulted in the highest percentage of Mg absorption but also in the highest percentage of urinary excretion

**OPSOMMING:**

Nege behandelings van  $Ca_0P_0$ ,  $Ca_rP_r$ ,  $Ca_d$ ,  $P_d$ ,  $(CaP)_r$ ,  $(Ca_dP_r)$ ,  $(CaP)_d$  and  $Ca_rP_d$  (o = geen suplementasie; r = aan rumen en d = aan duodenum) is ondersoek. Die Mg-retensie was oor die algemeen negatief tensypte van voldoende voorsiening van Mg in die eksperimentele rantsone. Die gemiddelde waarskynlike absorpsie was 33.8% en swak benutting van Mg moet dus die oorsaak vir die negatiewe balans wees. Behandeling  $Ca_r$  en  $Ca_0P_0$  het die hoogste persentasie van Mg-absorpsie ten gevolg gehad maar ook die hoogste konsentrasie urine-Mg.

### Inleiding

Ofskoon daar in die buiteland baie publikasies die lig gesien het oor die rol wat Mg in diervoeding speel, is daar nog min Suid-Afrikaanse werk hieroor gedoen. Die belangrikste rede waarom daar oorsee soveel werk op Mg gedoen is, is die rol wat Mg in die etiologie van hipomagnesemie speel. In hierdie opsig het Wilson (1960) 'n omvattende oorsig geskryf. Die invloed wat Ca en P op die Mg-metabolisme mag uitoefen is deur heelwat outeurs aangetoon (O'Dell, 1960; Wilson, 1960; Crookshank & Robbins, 1962; Smith & McAllan, 1966).

Die geleentheid het hom voorgedoen om die effek van verskillende peile van Ca en P en hul kombinasies op die Mg-metabolisme te ondersoek, gelyktydig met 'n ondersoek wat deur Nel & Moir (1974) op die Ca en P metabolisme by skape, uitgevoer is. Die betrokke publikasie moet geraadpleeg word om die volle besonderhede van hierdie projek goed te volg. Die proefprosedure van die ondersoek word siegs kortliks hier behandel.

plekke, die rumen en die duodenum, toegedien is. Die konsentrasie van Ca en P in die basiese rantsone was 0.066% en 0.068% onderskeidelik en in die gesupplementeerde rantsone, 0.730% en 0.335%. Die Mg-inhoud van die basiese rantsone was 0.130% en was konstant vir alle behandelings.  $MgSO_4$  is as die gesupplementeerde bron gebruik. Die N- en ruweselinhoud van die rantsone was 1.8% en 25.0%. Die verskillende rantsone is aan die diere in kratte gevoer. Ekwivalente hoeveelhede van die betrokke soute van Ca ( $CaCO_3$ ) en P ( $K_2HPO_4$  en  $KH_2PO_4$ ) afsonderlik en gekombineerd as wat gevoer is, is deur die duodenale fistel in vloeistofvorm toegedien soos beskryf deur Nel & Moir (1974).

Die verskillende behandelingskombinasies word in Tabel 1 aangegee.

Afgesien van die maatstawwe wat deur Nel & Moir (1974) in hierdie projek gebruik is, is die Mg-konsentrasie vir bloedserum, gesentrifugeerde (10 000 g) rumen-

### Prosedure

Vyf volwasse Merinohamels wat by beide ruminale en duodenale kannulas voorsien is, is in 'n onvolledige Latynse vierkant bestaande uit nege behandelings en nege periodes (28 dae) as eksperimentele diere gebruik. Volledige besonderhede van die materiaal en die metodes wat gevolg is, is deur Nel & Moir (1974) verstrekk. Die basiese rantsone het bestaan uit 80,2% hawerdoppe; 5,0% kaseien; 5,0% meliestysel; 5,0% suiker; 1,8% ureum en 3,0% minerale- en vitamienmengsel. Die makro- en mikro-minerale en vitamienmengsel is afsonderlik gemeng en dan met die basiese rantsonebestanddele gemeng soos deur Nel & Moir (1974) beskryf. Die mikro-mineraalmengsel van Moir & Harris (1962) is gebruik. Die behandelings het bestaan uit twee peile van Ca en P en die kombinasies daarvan wat deur twee

**Tabel 1**

*Die eksperimentele behandelings*

Behandelings	Plek van suplementering		Verkorte definisie
	Rumen	Duodenum	
A Basies (kontrolle)	-	-	$Ca_0P_0$
B Basies plus	Ca	-	$Ca_r$
C Basies plus	P	-	$P_r$
D Basies plus	-	Ca	$Ca_d$
E Basies plus	-	P	$P_d$
F Basies plus	Ca + P	-	$(CaP)_r$
G Basies plus	P	Ca	$Ca_dP_r$
H Basies plus	-	Ca + P	$(CaP)_d$
I Basies plus	Ca	P	$Ca_rP_d$

vloeistof, mis en urine in hierdie studie verder ondersoek. Die onderskeie analyses is in duplikaat gedoen soos beskryf deur Nel (1967), Nel & Moir (1967) en Nel & Moir (1968).

As gevolg van vrektes van sekere skape is die metode van kleinste kwadrate (Harvey, 1960) as statistiese oplossing gebruik.

### Resultate

#### Mg-balanse

Die Mg-balansdata word in Tabel 2 aangebied. Elke syfer verteenwoordig die gemiddelde van vyf skape.

Die gemiddelde persentasie van die waarskynlike absorpsie is  $33,8 \pm 13,4\%$  en die absorpsie van Mg was positief in alle gevalle. Die gemiddelde retensiepersentasie is daarenteen  $-6,68\%$  en die gemiddeldes van die vyf skape is negatief vir elke individuele behandeling. Die data van die persentasie absorpsie het be-

duidend van mekaar verskil t.o.v. sowel skaap- as behandelingseffekte. Die gemiddelde persentasie Mg-absorpsie vir die nege behandelings vir Skape 1; 5; 4; 2 en 3 was, onderskeidelik  $45,8\%$ ;  $36,7\%$ ;  $33,6\%$ ;  $28,9\%$  en  $20,9\%$ . Die statistiese betekenisvolheid tussen die skape was soos volg:

$$2 < 4 \text{ en } 5 (P < 0,05)$$

$$3 < 4; 5 \text{ en } 1 (P < 0,01)$$

$$4 < 1 (P < 0,01)$$

Behandelings  $Ca_O P_O$  en  $Ca_r$  het die hoogste persentasie Mg-absorpsie ten gevolg gehad. Die verskille tussen die behandelings was soos volg:

$$Ca_r > Ca_r P_d, Pr, (CaP)_r (P < 0,05), P_d,$$

$$Ca_d P_r \text{ en } (CaP)_d (P < 0,01)$$

$$Ca_O P_O > (CaP)_r, P_d, Ca_d P_r \text{ en } (CaP)_d (P < 0,05)$$

Tabel 2

Die gemiddelde Mg-balanse vir die verskillende behandelings

Behandelings	Inname	Mis-Mg	Waarskyn. absorpsie	Waarskyn. absorpsie	Urine-Mg	Retensie	Retensie
	g/dag	g/dag	g/dag	%	g/dag	g/dag	%
$Ca_O P_O$	1,146	0,597	0,549	47,9	0,581	-0,032	-2,79
$Ca_r$	1,158	0,611	0,547	47,2	0,596	-0,049	-4,23
$P_r$	0,958	0,659	0,289	30,2	0,306	-0,017	-1,77
$Ca_d$	0,860	0,521	0,339	39,4	0,384	-0,045	-5,23
$P_d$	1,272	0,863	0,409	32,2	0,500	-0,091	-7,15
$(CaP)_r$	1,214	0,849	0,365	30,1	0,477	-0,112	-9,22
$Ca_d P_r$	1,228	0,937	0,291	23,7	0,456	-0,165	-13,44
$(CaP)_d$	1,040	0,756	0,284	27,3	0,341	-0,057	- 5,48
$Ca_r P_d$	1,494	1,056	0,438	29,3	0,566	-0,128	- 8,57
$\bar{X}$	1,152	0,762	0,390	33,8	0,467	-0,077	- 6,68

### Korrelasies en regressies

Die korrelasie koëffisiënt van die verwantskap tussen die Mg-uitskeiding en Mg-inname was  $r = 0,9639$  ( $P < 0,001$ ) en die regressie vergelyking van Mg-uitskeiding ( $y$ ) op Mg-inname ( $x$ ) beide in g/dag is

$$y = 1,0742x + 0,0243 \text{ (SF} = \pm 0,115\text{)}.$$

Die korrelasie koëffisiënt van die verwantskap tussen mis-Mg en Mg-inname is  $r = 0,8517$  ( $P < 0,001$ ) en die regressie vergelyking is  $y = 0,6381x + 0,0273$  ( $SF = \pm 0,148$ ).

### Konsentrasies van Mg

Die konsentrasie van Mg in mis, urine, gesentri-fugeerde rumenvloeistof en bloedserum word in Tabel 3 verstrekk. Die verhouding van die konsentrasies van Mg in mis tot dié in urine word ook in Tabel 3 aangedui.

As die persentasies Mg in die mis vir die verskillende behandelings in rangorde geplaas word, beklee die Behandelings  $Ca_r$ ,  $Ca_d$  en  $Ca_oP_o$  die laagste rangorde. Dit is opvallend dat  $Ca_r$  en  $Ca_oP_o$  hierteenoor die hoogste rangorde by urine inneem. Die urine-Mg-konsentrasie is dan ook in 'n aansienlike mate betekenisvol ( $P < 0,01$ ) deur die behandelings beïnvloed en wel soos volg:

- (i)  $Ca_r > P_d$ ,  $(CaP)_r$ ,  $(CaP)_d$ ,  $Ca_dP_r$ ,  $Ca_rP_d$ ,  $Ca_d$  en  $P_r$
- (ii)  $Ca_oP_o > Ca_d$  en  $P_r$
- (iii)  $P_d > P_r$
- (iv)  $(CaP)_r > P_r$

Verder was daar ook 'n betekenisvolle verskil tussen die skape insoverre dat die urine-Mg-konsentrasie by Skape 5; 1 en 2 hoër as dié van Skape 3 en 4 was. As die konsentrasies van Mg in bloedserum ondersoek word, kan afgelei word dat serum-Mg betreklik onafhanklik van die behandelings was aangesien geen betekenisvolle verskille tussen behandelings voorgekom het nie. Daar was nietemin betekenisvolle skaap- en periode-effekte gevind. Die serum-Mg van Skape 4; 5 en 2 is betekenisvol hoër as Skaap 1. Hierdie verskille dui slegs aan dat die Mg-konsentrasie in serum en urine 'n karakteristieke eienskap van die individuele dier is. Die periode-effek was nie onverwags nie aangesien die aanhoudende algemene negatiewe retensies die resultaat gehad het dat die serum-Mg geleidelik gedaal het soos die eksperiment gevorder het.

Die data van die verhoudings van mis-Mg tot urine-Mg (Tabel 3) toon ook betekenisvolle skaap- en behandelingsverskille:

- (i) Skape: 3 en 4 > 2; 5 en 1
- (ii) Behandelings  $P_r > Ca_dP_r$ ,  $Ca_rP_d$ ,  $P_d$  ( $P < 0,05$ ),  $(CaP)_r$ ,  $Ca_oP_o$  en  $Ca_r$  ( $P < 0,01$ )
- (iii) Behandelings  $Ca_d$ ,  $Ca_dP_r$ ,  $Ca_rP_d$ ,  $(CaP)_d$ ,  $(CaP)_r$ ,  $P_d$  en  $Ca_oP_o > Ca_r$

Die korrelasie koëffisiënt van die verwantskap tussen die konsentrasie van serum-Mg ( $y$ ) en die konsentrasie van rumen-Mg ( $x$ ) is  $r = 0,3631$  ( $P < 0,05$ ). Die regressie is  $y = 0,0648x + 2,2739$  ( $SF = \pm 0,267$ )

Tabel 3

Die gemiddelde konsentrasies van Mg in mis, urine, gesentri-fugeerde rumenvloeistof en in serum en die gemiddelde verhoudings van mis-Mg (mg%) op DM-basis tot urine-Mg-konsentrasie (mg/100 ml)

Behandelings	Mis	Urine	Rumen-vloeistof	Serum	Mis-Mg/ Urine-Mg
	%	mg%	mg%	mg%	
$Ca_oP_o$	0,193	66,28	3,71	2,51	4,97
$Ca_r$	0,161	60,30	4,42	2,43	3,01
$P_r$	0,231	27,55	3,52	2,33	10,89
$Ca_d$	0,194	33,50	2,82	2,47	8,37
$P_d$	0,217	44,90	3,56	2,76	6,38
$(CaP)_r$	0,237	43,60	3,88	2,43	5,89
$Ca_dP_r$	0,238	34,58	3,93	2,57	8,84
$(CaP)_d$	0,224	31,92	3,43	2,41	7,99
$Ca_rP_d$	0,209	42,20	2,99	2,65	6,22
$\bar{X}$	0,212	42,76	3,58	2,51	6,95
SD	$\pm 0,037$	$\pm 23,33$	$\pm 1,59$	$\pm 0,28$	$\pm 4,53$
CV %	17,67	54,51	44,4	11,28	65,15

### Betekenisvolheid:

Skape	**	NB	**	**
Periodes	NB	**	*	NB
Behandelings	*	NB	NB	*

## Bespreking

### Mg-balans

Die Mg-inhoud van die basale rantsoen was 0,13% wat 'n peil is wat heelwat bokant die minimum is wat aanbeveel word. Maynard & Loosli (1956) beveel bv. aan dat 0,05% Mg in die rantsoen voldoende is vir groeiende kalwers. Blaxter & McGill (1956) het bereken dat 0,1% rantsoen-Mg in die behoeftes van lakterende koeie sal voldoen. Die NRC (1964) het aangedui dat 0,06% voer-Mg voldoende vir skape is. Ten spyte van die liberale voorsiening van Mg in die huidige eksperimentele rantsoene was die Mg-balanse negatief in alle gevalle. Dié toestand het daartoe gelei dat tipiese hipomagnesemiese aanvalle van tyd tot tyd voorgekom het. Die gevolgtrekking is dus dat die standaard soos deur verskillende outoriteite aan die hand gedoen slegs geldig is vir die voedingstoestande waaronder hulle gewerk het. Voedingsomstandighede het 'n groot invloed op die Mg-behoefte van diere. Ray (1942) het bv. aan die ander kant waardes gerapporteer wat so hoog as 0,42% Mg van die rantsoen moet wees om positiewe balanse te verkry.

Die negatiewe balanse was so algemeen dat dit moeilik is om te bepaal watter behandelingseffekte, indien enige daarvoor verantwoordelik is. Verskeie ander faktore as die behandelings kon ook bygedra het. Die bronne van N in die rantsoen was kaseïen en ureum wat maklik hidroliseerbare bronne in die rumen is wat tot hoë ammoniakpeile aanleiding sou gee. Dit is deur Rook & Storry (1962) gevind dat ammoniak-N 'n bydraende faktor tot die voorkoms van hipomagnesemie kan wees. Die suiker en stysel mag ook 'n bydrae gelewer het, aangesien Forbes (1961) beweer het dat laktose Mg-retensie verminder het.

Die negatiewe Mg-balans sou natuurlik soos die periodes verloop het 'n residuele effek gehad het sodat die algemene Mg-behoefte al hoe erger geword het. Die voorkoms van kliniese gevalle van hipomagnesemie (aanvalle van stuiptrekkings) kon nie aan spesifieke behandelings toegeskryf word nie. Die gevalle is behandel deur MgO deur die rumenfistel toe te dien. Die respons was dramaties. Die betrokke skaap het gewoonlik binne 10–15 minute na terapie herstel. Voor aanvalle was die betrokke skape baie senuweeagtig en rusteloos. Hantering en doelbewuste steurnisse het die toestand vererger en kon selfs 'n stuipaanval ten gevolg hê.

### Absorpsie

Van die feit dat daar geen betekenisvolle verskille tussen die  $Ca_r$ ,  $Ca_oP_o$  en  $Ca_d$  behandelings gevind is nie, kan afgelei word dat Ca in die afwesigheid van P geen nadelige invloed op Mg-absorpsie gehad het nie. Hierdie drie behandelings het die hoogste persentasies van waarskynlike Mg-absorpsies van 47,2; 47,9 en 39,4%, onderskeidelik, gehad. Die eersgenoemde twee konsentrasies was betekenisvol hoër as 'n hele aantal van die ander konsentrasies. Volgens hierdie verskille is P-

supplementasie veral verantwoordelik vir die laer Mg-absorpsie wat by die ander behandelings gevind is. Hierdie bevinding word ook ondersteun deur O'Dell, Morris, Pickett & Hogan (1957) en Rook & Storry (1962). Die toevoeging van gesupplementeerde Ca tot die P-behandelings het nie die verlaging van Mg-absorpsie verhoed of verminder nie.

Van die absorpsiepersentasies (Tabel 2) is dit duidelik dat die graad van absorpsie, ofskoon variabel, heeltemal bevredigend is. Die gemiddelde van 33,8%  $\pm 13,4\%$  stem goed ooreen met die beraming van 33% deur Blaxter & McGill (1956). Die algemene negatiewe Mg-balanse kan dus nie aan die absorpsie van Mg alleen toegeskryf word nie. Hoë P-peile kan nietemin 'n bydraende faktor wees. Die betekenisvolle verskil tussen die verskillende diere is verteenwoordigend van dié patroon van natuurlike (genetiese) uiteenlopendheid in hulle bestandheid teen hipomagnesemie.

Aangesien die gemiddelde urine-Mg 40,5% van die Mg-inname uitmaak is die urine-Mg-verlies 'n belangrike faktor in die algemene negatiewe Mg-balans. Die fraksie van die ingenome Mg wat deur die urine uitgekakel word, verskil blykbaar baie. Blaxter & McGill (1956) het bv. gevind dat minder as 5% van die ingenome Mg in 'n koei se urine uitgeskei word. Kemp, Deijs, Hemkes en Van Es (1961) rapporteer 'n verlies van 17% en Myburgh & Du Toit (1970) van 8,4% tot 45,2% van die ingenome Mg. Dit is nietemin duidelik dat urine-uitskeiding van Mg 'n belangrike weg van Mg-verlies is. Faktore wat die urine-Mg beïnvloed, sal dus 'n invloed op die voorkoms van hipomagnesemie hê.

### Konsentrasies van Mg

#### (1) Urine-konsentrasie

Van die behandelingsverskille is dit duidelik dat  $Ca_r$  die renale uitskeiding van Mg verhoog het.  $Ca_r$  het egter ook die hoogste Mg-absorpsie ten gevolg gehad. Trouens die rangorde van die persentasie van Mg-absorpsie en die rangorde van die persentasies urine-Mg stem in 'n redelike mate ooreen behalwe vir behandelings  $P_r$ ,  $Ca_d$  en  $P_d$ . Dit kom daarop neer dat die graad van Mg-uitskeiding in die urine afhanklik is van die Mg-konsentrasie van die sirkulerende bloed. Rook & Storry (1962) het bevind dat die aanwending van die soute van Na, Ca en ammoniak urine-Mg verhoog het. Hierdie bevinding staaf dus die huidige bevinding t.o.v. Ca. Die verhoudings van die konsentrasies van mis-Mg tot dié van urine-Mg ondersteun die bogenoemde bevindings. Behandelings  $P_r$  en  $Ca_r$  beklee hier die uiterste teenoorgestelde posisies.

Die algemene gevolgtrekking kan gemaak word dat kliniese en subkliniese hipomagnesemie nie net deur 'n eenvoudige voedingstekort aan Mg veroorsaak word nie. Die voedsel-Mg is nietemin ook belangrik. Dit wil egter voorkom of sodanige Mg-tekorte in die diereliggaam in 'n mate 'n gekondisioneerde sindroom is.

(b) Konsentrasie van Mg in rumenvloeistof

Die enigste betekenisvolle verskil wat in die rumen-Mg-konsentrasies voorgekom het was 'n periode-effek. Daar is in die literatuur getuieis dat seisoene die Mg-behoefte beïnvloed naamlik dat die Mg-behoefte gedurende koue weer baie hoër as gedurende warm weer is (Herd, 1961-62; Stillings, Kradel & Myers, 1962). In die huidige ondersoek is die periode-effek egter nie ongekompliceerd nie aangesien die geleidelike dreinerings van Mg-liggaamsreserwes ook op die rumen-Mg 'n invloed mag uitgeoefen het. Die gemiddelde Mg-konsentrasie in gesentrifugeerde rumenvloeistof was 3,58%  $\pm$  1,59 mg%. Die waarde stem redelik ooreen met die waarde van Care & Van't Klooster (1965) van 3,5 meq/l (2,9 mg%) Mg in rumeninhoud (pH 6,5). Nel (1974) het op die daaglikse variasie in gesentrifugeerde rumenvloeistof gewys. Dit varieer m.b.t. die tydsverloop na kosiname.

Min is nog bekend oor die Mg-behoefte van die mikro-organismes in die rumen. Hubbert, Cheng & Burroughs (1958) het goeie sellulosevertering gevind as die Mg-konsentrasie in gewaste rumensuspensies van 2,0 tot 16,0 mg% gevarieer het. Hiervolgens was die rumen-Mg in die huidige ondersoek voldoende vir die rumen-mikro-organismes ten spyte van die negatiewe Mg-balanse. Die katoengarevertering in hierdie ondersoek soos gerapporteer deur Nel & Moir (1974) was baie goed wat 'n verdere bewys is dat daar geen tekort aan rumen-Mg was nie.

(c) Die konsentrasie van serum-Mg

'n Uitgebreide literatuur oor die konsentrasie van serum-Mg het reeds opgebou veral vanweë die voorkoms van die etiologie van hipomagnesemie. Die konsentrasies

in Tabel 3 van 2,51%  $\pm$  0,28 mg% serum-Mg is in ooreenstemming met gepubliseerde waardes soos bv. dié van Nel (1974) wat onder soortgelyke omstandighede verkry is. Long *et al.* (1965) beskou 2,52 mg% as 'n goeie gemiddelde waarde vir skape, en Wilson (1960) beskou 'n speling van 2 tot 3,5 mg% as binne die normale grense. In die lig van die oënskynlike normale waardes in die huidige ondersoek is dit dus duidelik dat serum-Mg-waardes nie 'n goeie maatstaf vir die Mg-status van die liggaam is nie. Hemingway & Ritchie (1963) en Thomas (1959) het tot soortgelyke gevolgtrekkings gekom. Nabarro, Spencer & Stowers (1952) het by mense gevind dat sellulêre uitputting van Mg plaasvind ten spyte van normale plasmakonsentrasies. Volgens hulle is die uitputting van intrasellulêre Mg-reserwes die belangrikste rede vir die ontstaan van hipomagnesemie.

In Suid-Afrika waar van byvoeding onder droogte- en wintervoedingsomstandighede gebruik gemaak word van bv. NPN en mineralebyvoedingslekke en blokke wat gewoonlik hoog in Ca en P is, word omstandighede geskep wat soortgelyk aan die omstandighede van die huidige ondersoek is. Boonop word daar vinnige vordering gemaak met die vestiging van hoogbemeste intensiewe aangeplante weidings. Hierdie omstandighede is gunstig vir die skepping van 'n lae Mg-status in herkouers. Dit kan daartoe lei dat die voorkoms van kliniese en subkliniese hipomagnesemie in die toekoms al hoe meer sal voorkom.

### Bedanking

Dank is verskuldig aan mnr. P. van Loggerenberg vir hulp met die statistiese verwerking van die data. Die ondersoek is gedoen aan die Universiteit van Wes-Australië onder leiding van prof. R.J. Moir.

### Verwysings

- BLAXTER, K.L. & MCGILL, Rosemary, R., 1956. Mg metabolism in cattle. *Vet. Revs. Annot.* II, 35.
- CARE, A.D. & VAN'T KLOOSTER, A.T.H., 1965. *In vivo* transport of Mg and other cations across the wall of the gastrointestinal tract of sheep. *J. Physiol.* 177, 174.
- CROOKSHANK, H.R. & ROBBINS, J.D., 1962. Reciprocal relationship between urinary excretion of Mg and P in wether lambs. *Nature* 196, 1343.
- FORBES, R.M., 1962. Excretory patterns and bone deposition of Zn, Ca & Mg in the rat as influenced by Zn deficiency, EDTA and lactose. *J. Nutr.* 74, 194.
- HARVEY, R.W., 1960. Least squares analysis of data with unequal subclass numbers. *Agric. Res. Service* 20 – 8. U.S. Dept. Agric.
- HEMINGWAY, R.G. & RITCHIE, N.S., 1963. Hypomagnesaemia in sheep. Some inconsistencies. *J. Sci. Fd. Agric.* 14, 3, 162.
- HERD, R.P., 1961–62. Hypomagnesaemia in cattle. *Victorian Veterinary Proc.* (1961–62).
- HUBBERT, F. (Jr), CHENG, E. & BURROUGHS, W., 1958. Mineral requirement of rumen micro-organisms for cellulose digestion *in vitro*. *J. Anim. Sci.* 17, 559.
- KEMP, A., DEIJS, W.B., HEMKES, O.J. & VAN ES, A.J.H., 1961. Hypomagnesaemia in milking cows: Intake and utilization of Mg from herbage by lactating cows. *Neth. J. Agric. Sci.* 9, 2, 134.
- LONG, C.H., ULLREY, D.E., MILLER, E.R., VINCENT, B.H. & ZUTAUT, C.L., 1965. Sheep hematology from birth to maturity. III. Serum Ca, P, Mg, Na and K. *J. Anim. Sci.* 24, 145.

- MAYNARD, L.A. & LOOSLI, J.K., 1956. *Animal Nutrition*. New York: McGraw-Hill.
- MOIR, R.J. & HARRIS, L.E., 1962. Ruminal flora studies in sheep. I. Influence of N intake upon ruminal function. *J. Nutr.* 77, 282.
- NABARRO, J.D.N., SPENCER, A.G. & STOWERS, J.M., 1952. Metabolic studies in severe diabetic ketosis. *Quart. J. Med.* 21, 225.
- NEL, J.W., 1967. An ashing technique to determine Ca, P and Mg from one ashing. *Proc. S. Afr. Soc. Anim. Prod.*, 6, 242.
- NEL, J.W., 1974. The pattern of Ca, P and Mg in rumen fluid and blood serum of sheep on restricted intake and duodenal and ruminal supplementation of phosphate. *Agroanimalia* 6, 103.
- NEL, J.W. & MOIR, R.J., 1967. The determination of metals in ovine fluids by atomic absorption spectroscopy. I. Magnesium. *Proc. S. Afr. Soc. Anim. Prod.* 6, 238.
- NEL, J.W. & MOIR, R.J., 1968. The determination of metals in ovine fluids by atomic absorption spectroscopy. II. Calcium. *S. Afr. J. agric. Sci.* 11, 153.
- NEL, J.W. & MOIR, R.J., 1974. The effect of ruminal and duodenal application of different levels of Ca and P to sheep on semi-purified diets. *S. Afr. J. Anim. Sci.*, 4, 1.
- N.R.C., 1964. Nutrient requirements of domestic animals; No. 5. Bull. 504. National Academy of Sciences, Washington.
- O'DELL, B.C., 1960. Mg requirement and its relation to other dietary constituents. *Federation Proc.* 19, 648.
- O'DELL, B.C., MORRIS, E.R., PICKETT, E.E., & HOGAN, A.G., 1957. Diet composition and mineral balance in guinea-pigs. *J. Nutr.* 63, 65.
- RAY, S.N., 1942. Hypomagnesaemia in heifer calves. *Indian J. vet. Sci.* 12, 204.
- ROOK, J.A.F. & STORRY, J.E., 1962. Mg in the nutrition of farm animals. *Nutr. Abstr. & Reviews* 32, 1055.
- SMITH, R.H. & McALLAN, A.B., 1966. Binding of Mg and Ca in the contents of the small intestine of the calf. *Br. J. Nutr.* 20, 703.
- STILLINGS, B.R., KRADEL, C.D. & MYERS, C.L., 1962. Winter tetany in beef cattle. *Vet. Med.* 57, 690.
- THOMAS, J.W., 1959. Symposium on Mg and Agriculture. Proceedings p 131. West Virginia University.
- WILSON, A.A., 1960. Mg homeostasis and hypomagnesaemia in ruminants. *Vet. Revs. Annotations* 6, 39.