

Om magnesiumbestemmelser i dansk jord.

Ved *H. L. Jensen og Aage Henriksen.*

492. beretning fra Statens Forsøgsvirksomhed i Plantekultur.

Med henblik på den stigende interesse for anvendelse af magnesiumsalte som gødningsmiddel i landbrug og havebrug er der siden 1951 ved Statens Planteavlslaboratorium foretaget en række undersøgelser over indholdet af magnesium i danske dyrkede jorder. Arbejdet er udført dels ved laboratoriets bakteriologiske afdeling i Lyngby og dels ved den jordbundskemiske afdeling i Vejle. Resultaterne heraf meddeles i nærværende beretning, der er udarbejdet af afdelingsbestyrerne, dr. agro. *H. L. Jensen og Aage Henriksen.*

Forstanderne ved Statens Forsøgsvirksomhed i Plantekultur.

Indledning.

Magnesium har været kendt som et nødvendigt næringsstof for højere planter i mere end 70 år og er tillige uundværligt for levende organismers stofskifte i almindelighed. Foruden at have en speciel funktion som bestanddel af chlorofyllet hos grønne planter spiller det en almen fysiologisk rolle ved at aktivere talrige enzymer, især de, der katalyserer overførelse af fosfatgrupper (fosforylering) i åndings- og gæringsprocesser. I nogle af disse enzymatiske processer lader magnesium sig erstatte af andre divalente metaller (mangan, zink eller kobolt), i andre ikke. Magnesium optages af almindelige landbrugsafgrøder i omtrent samme mængde som fosfor og er således et makronæringsstof, der bortføres fra dyrket jord i anseelige mængder. Betydningen af magnesiumholdige gødninger har derfor været genstand for megen interesse, i Danmark ikke mindst i de sidste få år. Med hensyn til disse almene forhold kan henvises til en udførlig oversigt udarbejdet af Dorph-Petersen (1955).

Bestemmelser af magnesiumindholdet i danske jorder foreligger kun i ret beskedent omfang. Af størst landbrugsmæssig

betydning er en række bestemmelser af Christensen (1922) af ammoniumchloridopløseligt magnesium og undersøgelser af Tovborg Jensen (1936) over absorberet magnesium ombytteligt med ammoniumchlorid.

Foruden ved bestemmelse af ombytteligt magnesium har man ofte søgt at fastslå jordens »magnesiumtrang« gennem dyrkningsforsøg med mikroorganismer, især skimmelsvampen *Aspergillus niger*. Sådanne forsøg er først udført i Tyskland af Trischler (1930), Spindler (1935) og Niklas og Poschenrieder (1936), senere med en noget modificeret teknik af Mulder (1940, 1948), Smit og Mulder (1942) og Gerretsen (1948) i Holland, Nicholas og Fielding (1951) i England og Stapp og Wetter (1953) i Tyskland. Som anvendt af Mulder og senere forskere består metoden principielt i, at *Aspergillus niger* dyrkes i en magnesiumfri næringsopløsning af iøvrigt optimal sammensætning, hvortil sættes en passende mængde af den jord, hvis magnesiumindhold man vil undersøge. Den mængde magnesium, som svampen har optaget fra jorden (m. a. o. dennes indhold af »tilgængeligt« magnesium), bestemmes derefter ved at sammenligne vækstintensiteten i næringsopløsning + jord med væksten i en »standardskala« af næringsopløsning med kendt, stigende magnesiumindhold. Sammenligningen kan ske ved visuel bedømmelse (Mulder, 1940, 1948, Smit og Mulder, 1942), ved måling af lysabsorptionen i svampemyceliets overflade, hvis indhold af sort pigment i konidierne tiltages med stigende magnesiumforsyning (Gerretsen 1948), eller bedst ved bestemmelse af myceliets tørstofvægt (Nicholas og Fielding 1951). Ved sådan biologisk bestemmelse fandt Smit og Mulder (1942) et magnesiumindhold på ca. 17 mg/kg eller mindre i jord, hvor havre og hvede udviste mere eller mindre stærke symptomer på magnesiummangel, medens jord med ca. 33 mg/kg magnesium eller mere producerede sunde planter. Nicholas og Fielding (1951) fandt 40—60 mg/kg magnesium i havejord, hvor tomater og blomkål udviste magnesiummangelsymptomer, hvorimod disse ikke optrådte i jord med 140—160 mg/kg magnesium. Af sammenlignende undersøgelser over jordens indhold af ombytteligt og »biologisk tilgængeligt« magnesium foreligger der kun meget få. Smit og Mulder (1942) fandt i 13 jorder en vis positiv, omend ikke meget tydelig, korrelation mellem

biologisk tilgængeligt magnesium og magnesium ombytteligt med natriumacetat, medens Nicholas og Fielding (1951) fandt en meget smuk overensstemmelse mellem biologisk tilgængeligt og ammoniumacetatombytteligt magnesium i 9 parceller fra et gødningsforsøg med haveafgrøder.

I forbindelse med magnesiumgødskningsforsøg, der i de sidste par år er indledt dels af de forskellige landboforeninger og dels af Statens Forsøgsvirksomhed i Plantekultur, har vi udført et større antal bestemmelser af magnesium i danske dyrkede jorder efter to væsensforskellige metoder: Biologisk ved dyrkningsforsøg med *Aspergillus niger*, og kemisk ved bestemmelse af magnesium ombytteligt med ammoniumchlorid.

Metoder.

De anvendte metoder er udførligt beskrevne andetsteds (Jensen og Henriksen 1954). Den biologiske bestemmelse udførtes i alt væsentligt efter Nicholas og Fielding (1951): *Aspergillus niger* (stamme M, fra dr. E. G. Mulder, Groningen) dyrkedes i 40 ml næringsopløsning indeholdende 5,0 pct. glucose, 0,50 pct. NaNO_3 , 0,25 pct. K_2HPO_4 , 0,1 pct. NaSO_4 , samt forskellige mikronæringsstoffer (Fe, Zn, Mn, Mo, Co, V, Ga), med tilsætning af 1,0 g lufttør jord (eventuelt mindre mængder i tilfælde af meget magnesiumrig jord). Salpetersyrerensede 300-ml erlenmeyerkolber dækkede med bægerglas i stedet for vatpropper anvendtes som dyrkningskar. Efter 5 døgn vækst ved 30° C opsamledes, tørredes og vejedes myceliet, og den optagne magnesiummængde beregnedes ved sammenligning (retliniet interpolation) med mycelvægten i en standardskala af kulturer i næringsopløsning med magnesiumindhold varierende fra 0 til 400 μg pr. 40 ml. En standardkurve baseret på gennemsnit af 32 forsøg ses i fig. 1. Samtlige kulturer med jord såvel som standardskala udførtes in duplo.

De biologiske bestemmelser viste sig smukt reproducerbare, idet sammenlignende bestemmelse i 120 jorder, udført i to laboratorier (Lyngby og Vejle) viste en korrelationskoefficient på + 0,98 og gennemsnit på henholdsvis 5,6 og 5,3 mg magnesium pr. 100 g jord. I stedet for den omstændelige udfældning og vejning

som magnesiumammoniumfosfat udførtes den kemiske bestemmelse af magnesium i jordextrakt med 1-mol ammoniumchlorid (Tovborg Jensen 1936) ved titrering med dinatriumsaltet af

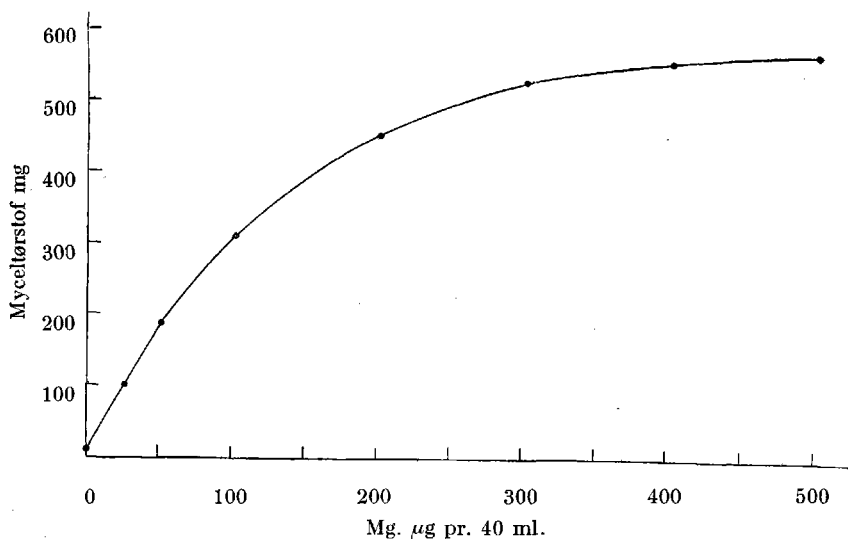


Fig. 1. Vægt af mycelium af *Aspergillus niger* i næringsopløsning med stigende magnesiumindhold (»standardkurve«). Gennemsnit af 32 forsøg.

ætylendiamintetraæddikesyre (»Complexon III«) og eriochromsort som indicator (efter Schwartzenbach o. a. 1946), efter at tunge metaller var inaktiverede med cyanid eller fjernede ved tilsætning af natrium-diæthylthiocarbamat og ekstraktion med chloroform. Aluminium, der i flere ekstrakter fra sure mineraljorder havde en forstyrrende indflydelse på titreringen, fjernedes ved tilsætning af 8-hydroxyquinolin og ekstraktion med chloroform. Magnesium bestemtes som differens mellem total-titrering af magnesium + calcium med eriochromsort og særskilt titrering af calcium med murexid som indicator.

Som helhed viste de biologiske og de kemiske magnesiumbestemmelser en udmærket overensstemmelse (m. a. o., svampen synes i hovedsagen at udnytte jordens ombyttelige magnesium), som det fremgår af følgende resumé:

	Mg, mg/100 g			Korrelation mellem biol. og kem. Mg.
	minimum	maximum	gens.	
Sandjord (289 prøver)				
biologisk.....	0.4	18.2	4.4	r = + 0.90
kemisk.....	0.6	19.6	4.4	
Lerjord (82 prøver)				
biologisk.....	1.5	31.6	12.0	r = + 0.73
kemisk.....	1.9	33.6	10.5	
Humusjord (25 prøver)				
biologisk.....	8.3	126.0	37.0	r = + 0.97
kemisk.....	7.9	141.0	38.5	

Den mindre gode korrelation i lerjordgruppen skyldtes en ret fåtallig kategori af alkaliske jorder (Rt 8,0—8,3), i hvilke den biologiske bestemmelse ofte gav 2—3 gange så høje værdier som den kemiske. Muligvis fjernes ikke alt ombytteligt magnesium fra de alkaliske jorder ved den anvendte ekstraktionsmetode; mere sandsynligt er det dog, at disse jorder indeholder en fraktion af ikke-ombytteligt magnesium (carbonat?), der er tilgængeligt for svampen. Iøvrigt indbefatter de ovennævnte 82 lerjorder ikke marsk- og klægjorder, hvoraf nogle var overordentlig rige på magnesium (tabel 2); medregning af disse jorder ville i høj grad have forbedret korrelationen. Talrige andre eksempler på overensstemmelsen mellem de biologiske og kemiske bestemmelser ses i flere af de følgende tabeller.

Resultater.

Magnesiumindhold i almindelige dyrkede jorder. Foruden de ovennævnte sammenlignende biologiske og kemiske magnesiumbestemmelser i henved 400 individuelle jordprøver udførtes der alene biologiske bestemmelser i et stort antal andre. Af samtlige jordprøver stammede imidlertid mange fra samme lokalitet, dels fra forsøgsstationerne og dels fra lokale magnesiumgødningsforsøg. En oversigt over magnesiumindholdet i forskellige »normale« jorder, hvor hver lokalitet er repræsenteret ved en enkelt prøve, ses i tabel 1. Denne opgørelse omfatter alene dyrkede mineraljorder og inkluderer ikke prøver fra vedvarende gødnings-

eller kalkforsøg samt et antal prøver fra en større ejendom omtalt i tabel 4.

Tabel 1. Fordeling af magnesiumindhold i jord fra 184 lokaliteter. Mineraljord udenfor vedvarende gødningsforsøg. 1 prøve pr. lokalitet.

Mg (biologisk), mg/100 g	Antal prøver		
	sandjord	lerjord	ialt
0 — 2.4.....	7	0	7
2.5— 4.9.....	40	4	44
5.0— 7.4.....	23	15	38
7.5— 9.9.....	17	21	38
10.0—12.4.....	13	14	27
12.5—14.9.....	4	13	17
15.0—17.4.....	2	4	6
17.5—19.9.....	0	3	3
20.0—22.4.....	0	2	2
22.5—24.9.....	0	0	0
25.0—27.4.....	0	1	1
27.5—30.0.....	0	1	1
ialt.....	106	78	184
Mg-indhold minimum.....	1.3	3.5	1.3
« maximum.....	16.2	30.0	30.0
« gennemsnit.....	6.4	10.8	8.3

Af sandjorderne indeholder det overvejende flertal (80 lokaliteter, eller 75 pct.) fra 2,5 til 10,0 mg magnesium pr. 100 g jord. I lerjorderne ligger magnesiumindholdet på et adskilligt højere niveau, idet gennemsnitsindholdet er 70 pct. højere, og det store flertal (63 lokaliteter, eller 81 pct.) er indenfor intervallet 5,0—15,0 mg/100 g. Et magnesiumindhold fra 2,5 til 15,0 mg/100 g er således fremherskende i mineraljorderne som helhed. Udpræget magnesiumfattige lokaliteter (< 2,5 mg/100 g), hvor man i følge hollandske angivelser (Smit og Mulder 1942) kunne vente magnesiummangel hos kornsorter, er fåtallige (ca. 4 pct. af samtlige) og repræsenteres alene af sandjorder; kun i et andetsteds (tabel 6) omtalt kalkforsøg fandtes et magnesiumindhold af denne størrelsesorden i en lerjord.

De egentlige humusjorder var langt rigere på magnesium end mineraljorderne, som det også fremgår af de ovenfor (s. 400) anførte tal. En oversigt over 17 humusjordslokaliteter, hver repræsenteret

ved en enkelt prøve, ses i tabel 2, der tillige indbefatter nogle marskjerder og udyrkede jorder.

Tabel 2. Magnesiumindhold i humusjorder, marskjerder og udyrkede jorder.

Jordtype	Mg mg/100 g		Rt.	Humus pct.
	biol.	kem.		
<i>Humusjorder:</i>				
1. Vinderup.....	8.3	7.9	5.8	24.5
2. " ".....	13.8	13.8	—	—
3. Tylstrup forsøgsstation.....	15.0	17.8	5.9	16.1
4. Tylstrup.....	15.3	14.4	—	—
5. " ".....	19.8	19.2	—	—
6. Borris forsøgsstation.....	24.2	32.8	5.1	51.7
7. Gudumholm.....	26.3	34.8	—	—
8. Aulum.....	31.0	29.2	5.7	40.5
9. Frederikshavn.....	32.5	28.8	—	—
10. Thisted.....	32.5	27.6	—	—
11. Stenderup.....	32.6	33.4	5.6	52.6
12. Pindstrup.....	40.0	42.0	4.7	70.4
13. Viskum.....	49.0	48.0	5.6	82.7
14. Hornslet.....	54.0	57.6	—	—
15. Aalbæk.....	61.0	80.0	6.2	34.6
16. Jerup.....	110.0	116.0	4.0	61.8
17. Velling.....	126.0	140.0	6.4	56.6
<i>Marsk- og klægjorder:</i>				
1. Højer marskforsøg.....	17.2	17.4	7.0	4.4
2. " ".....	11.2	10.6	6.2	4.6
3. Ribe marskforsøg.....	89.0	78.0	7.6	10.5
4. " ".....	85.0	84.0	6.7	13.5
5. Nisum fjordeng.....	95.0	93.1	5.5	10.3
6. Velling ".....	63.0	39.2	4.7	12.9
<i>Udyrkede jorder:</i>				
1. Skovjord, Sorgenfri.....	16.6	11.7	5.2	4.3
2. " ".....	9.4	7.0	4.6	6.0
3. " " Jægersborg Dyrehave .	7.2	3.6	4.7	7.5
4. Hedejord, Studsgaard.....	4.8	4.5	4.4	5.5
5. " " Lyngskjold.....	11.2	11.7	4.0	22.0
6. " " Blegsand.....	2.1	2.5	4.2	2.3
7. Dyndjord (tørl. søbund), Lyngby	64.5	51.6	7.2	38.5

Et par af humusjorderne indeholder de største mængder magnesium, der er fundet i den foreliggende række undersøgelser, men af de ret fåtallige prøver fremgår dog ingen helt tydelig korrelation mellem magnesiumindhold, reaktionstal og humusindhold. De tre skovjorder samt marskjerderne fra Højer frem-

byder intet usædvanligt, hvorimod marskjorderne fra Ribe og klægjorden fra Nissum nærmer sig til de rigeste humusjorder med hensyn til magnesiumindhold. Den rå hedejord adskiller sig ikke i denne henseende fra mange dyrkede sandjorder, og den humusrige lyngskjold er endda relativt rig på magnesium. Dyndjorden forholder sig som de dyrkede humusjorder.

Som helhed gælder det således, at der er en tydelig positiv korrelation mellem indhold af lerminerale og humus på den ene side og magnesiumindhold på den anden. Derimod udviste dette sidste ingen særlig udpræget sammenhæng med jordens reaktion; i ler- og humusjorder fandtes overhovedet ingen korrelation mellem reaktionstal og magnesiumindhold, og i 90 sandjords-lokaliteter (tabel 1) fandtes kun en ret ubetydelig omend formelt signifikant korrelation ($r = + 0,44$) mellem disse to egenskaber. Et større antal sandjordsprøver, hvoriblandt flere af sur reaktion og gennemsnitlig lavere magnesiumindhold (Jensen og Henriksen 1954), udviste en lidt større korrelation mellem R_t og ombytteligt magnesium ($r = + 0,54$), der fulgte en krumlinet regression. Også Smit og Mulders (1942) tal viser gennemgående lavest magnesiumindhold i sure jorder, men omvendt lader der sig af Tovborg Jensens (1936) analyser af 45 sandjorder beregne en næppe signifikant *negativ* korrelation ($r = \div 0,34$) mellem reaktionstal og ombytteligt magnesium.

Det foreliggende materiale er vel for spinkelt til at tillade generelle slutninger om danske dyrkede jorders magnesiumindhold. Dog fortjener det at bemærkes, at tallene er af ganske samme størrelsesorden som Tovborg Jensens (1936) bestemmelser af ombytteligt magnesium, der omregnede til samme enhed som de i tabel 1 anvendte viser følgende:

	Mg, mg/100 g		
	minimum	maximum	gens.
Sandjorder (45).....	1.2	18.8	4.8
Lerjorder (50).....	1.9	31.7	8.9
Humusjorder (20).....	4.9	47.4	14.7

Også Christensens (1922) bestemmelser af magnesium opløseligt i 10 pct. ammoniumchlorid (3 timer 100°C) viser sammenlignelige omend især for sandjordernes vedkommende noget højere tal:

	Mg, mg/100 g		
	minimum	maximum	gens.
Sandjorder (36).....	0 ¹⁾	25.3	11.4
Lerjorder (48).....	4.2	39.2	15.6

¹⁾ I en enkelt jord fra Grindsted kunne intet magnesium påvises.

Nogle tal til belysning af magnesiumindholds variation i jordprøver fra enkelte forsøg (resp. marker) er givet i tabel 3. I jorderne fra Jynde vad bemærker man et påfaldende højere magnesiumindhold i den staldgødede end i den kunstgødede mark, hvilket også gør sig gældende i andre tilfælde (sml. tabel 5). Et nærliggende udyrket areal afgiver et eksempel på det laveste niveau af Mg-indhold, der synes at forekomme i danske jorder. I den ene serie af jordprøver fra Blangstedgaard undersøgtes såvel undergrunds-jorden som pløjelaget; indholdet af magnesium ses at være praktisk taget det samme. På lignende måde er der i tabel 4 vist eksempler på magnesiumindholdets variation i forskellige lokaliteter på en større ejendom (ca. 800 ha), samt en forsøgsstation. Prøverne fra Overgaard udviser en overordentlig stor variation og kan omtrent betragtes som et udsnit af samtlige danske sandjorder; der er her nogen, omend ikke udpræget, positiv korrelation mellem reaktionstal og magnesiumindhold. Også de forskellige marker

Tabel 3. Eksempler på variation i magnesiumindhold af jord fra forskellige lokaliteter (prøver fra samme mark eller forsøg).
Biologisk bestemmelse hvor ikke andet er nævnt.

Lokaliteter	Jordtype	Antal prøver	Mg mg/100 g		
			min.	max.	gnst.
Jynde vad forsøgsstation:					
« , kunstgødet mark	sand	8	0.8	1.8	1.2
« , staldgødet mark.	«	8	2.0	3.5	2.8
« , udyrket areal...	«	18	0.4	1.0	0.7
(« kemisk best.)...	«	12	0.5	1.2	0.8
Ulfborg (Cu-forsøg).....	«	8	1.6	2.4	2.1
Sønder Omme (Cu-fors.) .	«	8	2.4	3.3	3.0
Spangsbjerg forsøgsstation	«	10	2.4	3.6	3.1
(« , kemisk best.)...	«	10	2.4	3.6	2.9
Skelskør (frugtplantage)...	ler	12	4.7	8.1	6.9
Statens plantepatologiske					
Forsøg, Lyngby	«	12	6.4	9.0	7.6
Blangstedgaard forsøgsst..	«	12	8.9	10.0	9.5
« A, 0-30 cm	«	34	10.9	16.3	13.5
« B, 30-60 cm	«	34	10.3	15.9	12.3

fra forsøgsstationen fra Tylstrup udviser meget betydelige forskelle, og lokaliteter som markerne D. 5 og M. 1, som indtil 1953 ikke havde fået staldgødning i en længere årrække, skulle synes vel egnede til gødningsforsøg med magnesium.

Tabel 4. Eksempler på variation i magnesiumindhold i jord indenfor et begrænset areal.

Lokalitet	Jordtype	Rt	Mg, mg/100 g		Anmærkning % humus
			biologisk	kemisk	
Overgaard pr. Havndal	Let sandjord	4.8	0.4	0.6	2.0
	« «	5.0	0.9	0.8	1.9
	« «	4.6	2.3	2.0	5.9
	« «	4.7	3.9	3.6	—
	Sandjord	4.3	0.9	1.0	4.4
	«	8.0	2.7	2.4	1.2
	«	5.8	3.3	4.0	—
	«	5.1	7.9	5.6	—
	«	5.6	9.6	7.4	—
	«	7.5	13.6	15.6	—
	Sandmuld	5.7	0.7	1.0	—
	«	5.7	1.3	1.4	—
	«	7.3	2.3	1.8	—
	«	7.7	7.3	5.2	—
«	7.5	8.3	6.0	—	
«	7.7	10.4	10.3	3.7	
«	8.0	18.2	17.4	—	
«	7.8	13.7	19.6	—	
Tylstrup forsøgs- station (sandjord)	Mark D.5.	5.2	0.6	0.8	Staldg. 1953
	« M.1.	5.2	0.7	1.0	Ingen staldg.
	« A.4	5.2	1.6	2.0	« «
	« E.1	6.3	2.1	2.2	Staldg. hver 3-4 år
	« H.8	5.2	2.6	2.2	« «
	« F.2	5.7	3.2	2.3	Staldg. 1953
	« K.1	5.6	4.2	2.2	Staldg. hver 3-4 år
	« C.0.	7.1	4.5	2.4	Staldg. 1953
	« Kj.	6.5	7.6	6.0	« «

Gødskningens indflydelse på jordens magnesiumindhold. Magnesiumbestemmelser i ugødet, fuldt kunstgødet og staldgødet jord fra forskellige vedvarende gødningsforsøg er anført i tabel 5. Magnesiumindholdet ligger stedse højest i de staldgødede jorder, og dette forhold er mindst udpræget i den halvt staldgødede jord fra Lyngby. Endvidere ses indholdet med to undtagelser

(Lyngby og Tylstrup) at ligge lavere i de kunstgødede end i de ugødede jorder; dette hænger åbenbart sammen med den stærkere bortførelse i afgrøderne fra de første. Den kunstgødede jord fra Askov Sandmark ligger på det laveste niveau af magnesiumindhold, 0,5—1,0 mg/100 g, der hidtil er fundet i danske jorder. Staldgødningen repræsenterer øjensynlig en særdeles vigtig faktor som delvis erstatning for det magnesium, der bortføres med afgrøderne; ifl. Dorph-Petersen (1955) kan man regne med, at 80—90 pct. af foderets magnesium returneres til marken i form af staldgødning (hvori naturligvis kun magnesium stammende fra eventuelt indkøbt foder repræsenterer en reel gevinst til marken). Staldgødningens indhold af magnesium må ventes at afhænge af magnesiumindholdet i den jord, hvorpå foderet er produceret; når staldgødningens virkning på jordens magnesiumindhold er særlig udpræget i forsøgene på Askov Sandmark, hænger dette vel i nogen grad sammen med, at den anvendte gødning mest har sin oprindelse i den magnesiumrigere lermark.

Tabel 5. Magnesiumindhold i jord fra vedvarende gødningsforsøg.

Forsøgssted	Mg, mg/100 g		Forsøgssted	Mg, mg/100 g	
	biol.	kem.		biol.	kem.
Askov Lermark			Lyngby forsøgsstation		
B. 2: ugødet	3.3	3.1	ugødet	2.9	3.8
1 kunstg.	2.8	2.5	1 kunstg.	3.0	4.8
1 staldg.	5.4	5.0	1/2 kst. + 1/2 st.	4.8	5.4
B. 3: ugødet	4.1	4.3	Studsgaard forsøgsstation		
1 kunstg.	3.3	3.6	(B. 4 ugødet	5.1	4.8
1 staldg.	7.0	6.0	efter 1 1/2 kunstg.	2.6	2.4
B. 5: ugødet	3.7	4.2	udlæg) 1 1/2 staldg.	7.6	5.4
1 kunstg.	2.9	2.7	Studsgaard: ugødet	3.2	3.0
1 staldg.	6.1	6.0	(B. 4 efter 1 1/2 kunstg.	2.7	2.4
			roer). 1 1/2 staldg.	6.5	6.0
Askov Sandmark					
G. 1: ugødet	1.5	1.4	Lundgaard: ugødet	2.6	2.4
1 kunstg.	0.6	0.9	kunstg.	1.2	1.6
1 staldg.	3.3	3.0	staldg.	4.9	4.8
G. 4: ugødet	1.9	—	Tylstrup: ugødet	2.5	2.2
1 kunstg.	1.1	—	kunstg.	2.9	2.4
1 staldg.	5.5	—	staldg.	4.2	3.4

Forsøg anlagt: Askov Lermark og Sandmark, 1894. Lyngby, 1910. Studsgaard, 1917. Lundgaard og Tylstrup, 1926.

Staldgødningens og ajlens magnesiumindhold. Ved hjælp af den kemiske metode blev der udført magnesiumbestemmelser i 12 staldgødnings- og en enkelt ajleprøve. Til orientering om udvaskningstab under gødningens opbevaring blev ligeledes foretaget magnesiumbestemmelser i 2 prøver af møgsoft. Staldgødningsprøvernes indhold af magnesium i foreliggende stof varierede fra 0,058 pct. til 0,090 pct. (0,21—0,36 pct. Mg i tørstof) med et gennemsnitsindhold på 0,071 pct. Det laveste indhold fandtes i en prøve fra Borris, det højeste i en prøve fra Virumgaard. Ifølge disse analyser, der dog næppe repræsenterer yderpunkter med hensyn til magnesiumindhold, skulle der med staldgødningen tilføres jorden 23—36 kg magnesium pr. ha, når der anvendes 40 tons gødning. Tabet af magnesium ved udvaskning i møddingen er ret betydningsløst. I de to prøver af møgsoft, der stammede fra forsøgsstationen ved Askov og var opsamlet under gødningens opbevaring september—april, fandtes et magnesiumindhold på 0,006 pct. Møgsoftens mængde androg ca. 400 kg pr. ton indvejet gødning; på grundlag af den tilsvarende gødnings magnesiumindhold (0,073 pct. i foreliggende tilstand) og tørstofftabet under opbevaringen kan det beregnes, at bortsivningstab har udgjort ca. 4 pct. En prøve af koajle fra forsøgsstationen ved Jydevad indeholdt 0,0034 pct. magnesium = ca. 1 kg pr. 30 tons ajle. Ialtfald koajles værdi som magnesiumgødning er følgelig næppe stor.

Magnesium i jord fra kalkforsøg og i kalkmidler. For at få et billede af, hvorvidt kalkning ved at hæve reaktionstallet bevarer jordens magnesiumtilstand, eller om den tværtimod forringer denne, idet calcium fortrænger magnesium fra jordens absorptionskomplex, som Tovborg Jensens (1936) analyser tyder på, er der udført magnesiumbestemmelser i jordprøver fra kalkforsøg ved Lundgaard (anlagt 1920, ikke kalket siden) og forsøgsstationen ved Lyngby (anlagt 1915, kalk senere tilført 1933 og 1943) samt i et mere kortvarigt forsøg på hedejord. Resultaterne ses i tabel 6.

I overensstemmelse med den signifikante omend ret lille positive korrelation mellem magnesiumindhold og reaktionstal i sandjorderne ser man i Lundgaard-forsøget en jævn og relativt stærk, omend absolut set beskeden, stigning i magnesiumindhold med

Tabel 6. Magnesiumindhold i jord fra kalkforsøg.

Forsøgssted	Rt	Mg, mg/100 g		Ca, mg/100 g	
		biol.	kem.		
Lundgaard forsøgsstation:					
0 CaCO ₃	4.5	0.6	0.8	25.0	
4 tons «	4.3	0.9	1.2	24.0	
8 « «	5.4	1.7	1.9	44.0	
16 « «	6.0	2.3	2.6	73.0	
32 « «	7.1	3.0	3.2	108.0	
Lynghby forsøgsstation:					
a. tilstræbt Rt.	4.3	5.1	1.2	1.9	22.0
b. « «	6.0	5.4	1.8	2.5	49.0
c. « «	6.5	6.2	2.1	3.1	95.0
d. « «	7.0	6.3	2.3	3.1	117.0
Gudum Hede:					
0 CaCO ₃	4.7	4.7	—	—	
4 tons «	5.5	4.5	—	—	
8 « «	6.0	5.3	—	—	

stigende kalktilførsel og reaktionstal, og i lerjorden fra Lynghby gør det samme sig gældende, dog i mindre udpræget grad; dette sidste forsøg repræsenterer iøvrigt den eneste hidtil fundne lerjordslokalitet med et magnesiumindhold af laveste gruppe (< 2,5 mg/100 g, sml. tabel 1). I forsøget fra Gudum Hede ses ingen større indflydelse af kalkning på magnesiumindholdet.

Jordens magnesiumindhold ved de to ældre kalkforsøgs anlæggelse er ukendt, men de meget lave indhold i de ukalkede parceller tyder på, at betydelige mængder magnesium her er tabt ved udvaskning. (Smit og Mulder (1942) konstaterede hurtig udvaskning af magnesium fra sandjord tilsat svovlsyre til Rt 4,1—2,2 og stort magnesiumtab i jord med svovltilsætning). I øvrigt er kalkningens bevarende indflydelse på magnesiumindholdet sikkert større, end analysetallene umiddelbart giver indtryk af, idet man må regne med en betydelig større magnesiumbortførsel i afgrøderne fra de kalkede parceller. Ved siden af magnesiumtabet ved udvaskning og ved bortførsel i afgrøderne må imidlertid en tredje faktor tages i betragtning, nemlig det eventuelle indhold af magnesium i de anvendte kalkmidler. Dette er ukendt i Lundgaard- og Lynghby-forsøgene, men kan bestemmes i en række forsøg med forskellige kalkmidler, anlagt 1947. I prøver af disse kalkmidler

bestemtes magnesium såvel kemisk som biologisk. Analyserne udførtes i opløsninger, fremstillet ved anvendelse af en med kalkmidlets indhold af calciumcarbonat ækvivalent mængde saltsyre. Såvel de kemiske som de biologiske bestemmelser foretoges derpå ligesom de tilsvarende analyser af jord, blot med anvendelse af en passende aliquot af opløsningen i stedet for henholdsvis jord-ekstrakt og jord. Resultaterne ses i tabel 7 og viser, at der med egentlig jordbrugskalk kun tilføres lidt magnesium i forhold til calciumcarbonat, men betydelige mængder i visse mergelsorter, især yoldiamergel.

I prøver udtaget 4 år efter anlæggelsen af et af disse kalkforsøg udførtes magnesiumbestemmelser, der gav de i tabel 8 viste resultater. Især de biologiske bestemmelser viser en forøgelse af magnesiumindholdet, der står i tydelig sammenhæng med tilførslen af magnesium i de forskellige kalkmidler. Beregnet pr. ha pløjelagsjord svarer »overskuddet« af magnesium over ukalket jord gennemsnitlig til ca. halvdelen af det oprindeligt tilførte magnesium, og mellem tilført og »genfundet« magnesium i jorden

Tabel 7. Indhold af magnesium i kalk og mergel.

Materiale	Lokalitet	CaCO ₃ pct.	Mg i tørstof, pct.		Mg, kg pr. ton CaCO ₃
			kem.	biol.	
Skrivekridt	Hillerslev, pulveriseret	92.6	0.23	0.23	2.5
	« rå.....	94.1	0.23	0.27	3.0
	Ellidshøj, pulveriseret	92.0	0.34	0.34	2.6
Bryozokalk	Faxe, pulveriseret....	97.7	0.38	0.41	4.1
	« rå.....	98.0	0.37	0.39	3.9
	Trelløse, harpet.....	98.4	0.37	0.37	3.7
Kildekalk	Røde Mølle.....	81.5	0.12	0.09	1.3
Diluvialmergel	Damhus.....	47.8	0.24	0.24	5.0
	Filskov.....	13.8	0.20	0.19	14.1
Moræne-mergel	Klaabygaard.....	47.1	0.27	0.26	5.7
	Bjerrum.....	28.4	0.49	0.55	18.6
Palæocænmergel	Søvind.....	56.9	0.10	0.11	1.85
Yoldia-mergel	Kinderup.....	22.7	0.48	0.45	20.4
	Bindsløv.....	19.0	0.52	0.53	27.5

eksisterer der til trods for det beskedne antal iagttagelser en signifikant positiv korrelation ($r = 0,84$). Mergel kan således være en ret betydningsfuld kilde til magnesiumforsyning, og også i forsøgene ved Lundgaard og Lyngby spiller kalkmidlernes magnesiumindhold muligvis en rolle.

Tabel 8. Tilførsel af magnesium i kalkmidler.
(Hejnsvig, 1947—1951).

Kalkmiddel	Tilført pr. ha		Rt	Mg, mg/100 g		Overskud af Mg, kg/ha over ukalket	
	tons CaCO ₃	kg Mg		biol.	kem.	biol.	kem.
Ukalket.....	—	—	4.5	2.8	3.2	—	—
Diluvialmergel.....	4	20	5.7	3.3	3.0	13	(0)
Damhus.....	8	40	6.3	4.1	3.2	33	(0)
Morænemergel.....	4	23	5.4	2.7	3.2	(0)	(0)
Klåbygård.....	8	45	5.9	3.3	3.6	13	10
Diluvialmergel.....	4	56	5.3	4.2	3.4	35	5
Filskov.....	8	112	5.9	5.0	4.2	55	25
Palæocænmergel.....	4	8	5.6	3.6	3.4	20	5
Søvind.....	8	15	6.1	3.4	3.4	15	5
Yoldiamergel.....	4	81	5.7	5.3	5.2	63	50
Kinderup.....	8	162	6.2	6.4	6.4	90	80
Skrivekridt.....	4	12	5.5	3.6	3.2	20	(0)
Hillerslev.....	8	24	6.4	4.1	3.4	33	5

Analyser af jord fra magnesiumgødskningsforsøg og fra lokaliteter, hvor der er iagttaget magnesiummangel. I sommeren 1953 blev der på forsøgsstationen ved Jyndevad gennemført et større forsøg med magnesiumgødskning efter følgende plan:

- a. Ingen magnesiumgødskning.
- b. Vanding med 1 liter 5 pct. magnesiumsulfat/m² = 500 kg/ha.
- c. Sprøjtning 5 gange med 5 pct. magnesiumsulfat, ca. 0,2 liter/m² = 500 kg/ha.
- d. Udstrøning af 500 kg magnesiumsulfat/ha.

e. Udstrøning af patentkali svarende til indholdet af K_2O i 500 kg 50 pct. kaligødning.

De fire første forsøgsled tilførtes endvidere 500 kg 50 pct. kaligødning pr. ha. Forsøgsarealet omfattede 6 marker med forskellige afgrøder; forsøgsresultaterne er omtalt af Dorph-Petersen (1955).

Magnesiumsulfat og 50 pct. kaligødning indeholdt henholdsvis 9,845 og 0,307 pct. Mg, hvilket svarer til en Mg-tilførsel på ca. 1,5 kg pr. ha til de ugødede forsøgsled og ca. 51 kg pr. ha til forsøgsleddene b, c og d. Forsøgsled e tilførtes 923 kg patentkali med et magnesiumindhold på 6,06 pct. = ca. 56 kg Mg pr. ha. Endvidere tilførtes hele arealet 1518 kg calciumcarbonat pr. ha i form af jordbrugskalk umiddelbart før forsøgets anlæg; den derved tilførte magnesiummængde kan dog kun i ringe grad påregnes at have omsat sig med jorden og er derfor ikke medregnet i magnesiumtilførslen.

Forud for forsøgets anlæg blev der udtaget en jordprøve fra hvert forsøgsled til magnesiumbestemmelse, og efter høst bestemtes magnesium i en prøve fra hvert forsøgsled i de enkelte marker. I tabel 9 ses resultaterne af såvel kemiske som biologiske analyser i disse prøver (gennemsnitstal af de 6 marker, for forsøgsled c dog kun af 2 marker).

En større part af det tilførte magnesium genfindes ved den biologiske analyse end ved kemiske. Dette kan muligvis skyldes,

Tabel 9. Analyser af jord fra magnesiumgødskningsforsøg ved Jynde vad.

	Mg, mg/100 g						Mg tilført	Overskud af Mg kg/ha over ugødet	
	biologisk			kemisk				kg/ha	biol.
	min.	max.	gns.	min.	max.	gns.			
Før forsøgets anlæg.	1.0	2.0	1.4	1.7	2.0	1.8	0	5	13
Efter høst: a . .	0.6	1.6	1.2	1.0	1.6	1.3	1.5	—	—
« « b . .	2.1	3.0	2.6	2.4	2.8	2.6	51	35	33
« « c . .	2.6	2.8	2.7	2.6	2.8	2.7	51	38	35
« « d . .	2.5	4.1	3.3	2.4	3.0	2.9	51	53	40
« « e . .	3.0	3.7	3.4	3.0	3.5	3.3	56	55	50
« 20-40 cm a	0.7	1.5	1.0	0.6	1.2	1.0	—	—	—
« « « b	0.8	1.9	1.2	1.2	1.8	1.3	—	5	8

at en del af det tilførte magnesium er overgået til en ikke ombyttelig, men dog biologisk tilgængelig form. Den svage forøgelse i magnesiumindholdet i undergrundsprøverne fra forsøgsled b i forhold til forsøgsled a tyder på, at der er foregået en vis udvaskning. Magnesiumbestemmelser i de forskellige afgrøder viste, at der med disse er bortført magnesium i mængder fra 4 til 16 kg pr. ha. Om magnesiumbalance i jord kan henvises til Dorph-Petersen (1955).

I bederoemarken, hvor der i løbet af vækstperioden viste sig tydelige symptomer på magnesiummangel, blev der efter høst udtaget og analyseret een jordprøve fra hver parcel (4 fællesparceller à 22,5 m²). Umiddelbart inden optagningen foretoges i hver enkelt parcel en optælling af planter med magnesiummangelsymptomer; der fandtes en ret stærk negativ korrelation ($r = -0,88$) mellem antal planter med mangelsymptomer og jordens magnesiumindhold.

En lignende sammenhæng mellem symptomer på magnesiummangel og jordens magnesiumindhold fandtes i en del sandjordsprøver fra egnen omkring Grindsted og Ladelund. Prøverne blev udtaget i slutningen af september 1953 i bederoemarker, hvor der foruden sunde roer fandtes pletter, hvor roerne viste stærkere eller svagere symptomer på magnesiummangel. Angrebets styrke var af indsendere (konsulenterne J. J. Jakobsen, Grindsted, og Kr. Nielsen, Ladelund) bedømt efter følgende skala:

1. Ødelæggende angreb (mangel på Mg), små roer.
4. Stærke symptomer på Mg-mangel, men store roer.
6. Store roer med mange gule blade, men uden virkelige symptomer.
8. Gode roer med enkelte gule blade.
10. Upåklagelig vækst, grønne blade.

I tabel 10 er vist resultaterne af Rt, T_K- og magnesiumbestemmelser i disse prøver. Analyserne bekræfter i det store hele, at der virkelig har været tale om Mg-mangel. Kun i et par tilfælde (mark 4 og 9) er der uoverensstemmelse mellem de iagttagne symptomer og resultaterne af magnesiumbestemmelserne. Derimod er det naturligvis ikke muligt ud fra disse relativt få analyser og iagttagelser på ret magre sandjorder at danne sig noget skøn over den

Tabel 10. Analyser af jord fra bederoemarker med symptomer på magnesiummangel.

Mark	Karakter for Mg-mangel	Mg, mg/100 g				Mark	Karakter for Mg-mangel	Mg, mg/100 g			
		Rt	T _K	biol.	kem.			Rt	T _K	biol.	kem.
1	2	6.7	1.8	1.4	1.8	8	1	5.8	5.0	1.1	2.2
	4	6.8	2.3	4.6	4.0		2	5.9	3.2	1.1	2.0
	10	6.7	1.8	4.0	4.4		4	6.2	4.6	1.8	2.8
2	4	5.7	1.7	5.0	6.2	10	6	6.4	3.2	2.1	3.0
	9	6.0	1.5	7.2	7.8		8	6.5	5.0	2.5	3.8
3	4	5.3	2.0	4.3	5.0	9	10	7.2	12.3	4.2	4.4
	10	4.9	1.8	6.0	6.4		4	6.1	2.7	3.2	2.3
4	4	5.9	3.6	4.1	3.6	10	9	5.8	2.8	3.6	3.2
	10	6.2	3.0	4.3	3.6		4	6.1	5.5	6.0	5.4
5	2	6.4	2.8	2.6	2.2	11	9	6.4	3.2	4.4	4.9
	4	6.4	1.8	2.4	3.0		3	5.9	5.3	1.5	2.0
	6	6.3	1.7	3.2	3.6		3	6.0	5.4	1.6	1.8
	8	6.5	2.2	3.8	3.8		3	5.9	5.9	2.1	2.0
6	2	6.5	3.3	1.6	2.0	12	9	6.1	7.4	2.4	3.0
	4	7.3	3.5	4.2	3.4		10	6.1	8.2	3.6	3.8
	6	7.3	4.2	3.9	3.6		2	7.3	8.2	1.3	1.8
	10	7.2	11.3	5.3	6.2		2	6.5	5.6	1.8	1.9
7	4			3.0	2.9	10	10	7.5	11.7	6.2	6.0
	8			4.2	3.9						

kritiske grænse for jordens magnesiumindhold. Dertil kræves stadig fortsatte dyrkningsforsøg, kombineret med jordbundsanalyser.

Magnesiumreserver i jorden. Foruden ombytteligt magnesium indeholder jorden betydelige mængder uopløseligt magnesium i form af carbonat, silicat, etc. (Dorph-Petersen, 1955). Således fandt Tovborg Jensen (1936) i jord fra et kalkforsøg i Tylstrup et indhold på 45,2 til 52,0 mg/100 g magnesium opløseligt i varm 20 pct. saltsyre; heraf udgjorde det ombyttelige magnesium kun 4,5 til 20 pct. I disse jorder kan der næppe have været tale om en forekomst af magnesiumcarbonat. Smit og Mulder (1942) iagttog en meget stærk stigning (flere hundrede pct.) i hollandske sandjorders indhold af biologisk tilgængeligt magnesium, når jorden udsattes for glødning. Smit og Mulder anså denne forøgelse for at skyldes frigørelse af magnesium bundet i organisk form (humus), omend de også antydede den mulighed, at nedbrydning af jordpartiklerne ved glødning kunne gøre mineralsk bundet magnesium mere tilgængeligt; dette anså de dog for mindre sandsynligt. Lignende forsøg udførtes med en række danske jorder, som vist i tabel 11.

Resultaterne bekræfter fuldtud de hollandske forskeres angivelser, for så vidt som navnlig indholdet af biologisk tilgængeligt magnesium stiger stærkt i alle mineraljorder efter glødning. Denne stigning er mest udpræget (ca. 10—20 gange) i de magnesiumfattigste sandjorder fra Askov og Lundgaard samt i lerjorder fra kalkforsøget ved Lyngby. For sandjordernes vedkommende udviser de kemiske bestemmelser af ombytteligt magnesium efter glødning en noget lignende stigning som de biologiske, men i lerjorderne forøges det ombyttelige magnesium langt mindre end det biologisk tilgængelige; der er med andre ord ved glødning opstået en fraktion af ikke-ombytteligt, men for svampen tilgængeligt magnesium; dette er bemærkelsesværdigt i betragtning af, at en lignende magnesiumfraktion synes at eksistere i alkaliske jorder (af pH 8,0 og derover). I den udprægede humusjord (tabellens sidste linie) har glødningen praktisk taget ikke påvirket magnesiets tilgængelighed; dette i forbindelse med den påfaldende forøgelse i de humusfattige sand- og navnlig lerjorder tyder ikke på, at der ved glødningen frigøres større mængder organisk bundet magnesium, som formodet af Smit og Mulder (1942), men snarere på, at noget gitterbundet magnesium er blevet lettere tilgængeligt ved ophedningen.

En del af det ikke-ombyttelige magnesium synes at kunne bringes i opløsning ved mindre drastiske indgreb end glødning eller ekstraktion med varm saltsyre. Trischler (1930) fandt i tidligere forsøg med *Aspergillus niger*, at tilsætning af 1,0 pct. citronsyre til næringsopløsningen havde en vis udjævnende indflydelse på mycelvægten, når der anvendtes forskellige jorder eller samme jord i forskellig mængde; magnesium synes altså at blive lettere tilgængeligt i sådan sur opløsning. Nogle lignende forsøg er udført med nogle af de her undersøgte jorder, som angivet i den sidste kolonne af tabel 11. De biologiske bestemmelser i citronsyreholdigt substrat (0,5 pct.) viser stedse betydeligt mere magnesium end i normalt substrat og i flere tilfælde lige så meget som de kemiske bestemmelser i glødet jord. Forhøjet koncentration af citronsyre (1,0 pct.) gav en yderligere omend ikke betydelig stigning i indholdet af biologisk tilgængeligt magnesium; svampens vækst i standardskalaen påvirkedes ikke i væsentlig grad af citronsyretilsætningen. Der synes således i jorden at findes en fraktion af

Tabel 11. Magnesiumbestemmelser i glødet jord
(og substrat med 0,5% citronsyre).

Jord	Glødnings- tab, pct.	Mg, mg/100 g				biol. med citron- syre	
		biologisk		kemisk			
		frisk	glødet	frisk	glødet		
Askov Sandmark G. 1							
ugødet.....	2.1	1.6	8.8	—	—	2.8	
1 kunstgødning.....	2.5	0.6	12.0	—	—	—	
1 staldgødning.....	2.8	2.6	9.6	—	—	4.4	
Askov Sandmark udenfor forsøg							
nord.....	1.8	2.2	7.0	3.0	6.0	5.0	
syd.....	3.0	3.5	8.1	4.2	7.2	6.9	
midt.....	2.4	3.4	8.0	3.6	6.6	6.2	
Kalkforsøg, Lundgaard							
0 CaCO ₃	4.0	0.6	7.3	0.8	6.7	1.6	
4 tons «.....	3.9	0.9	8.5	1.2	7.3	—	
8 « «.....	4.4	1.7	9.9	1.9	6.7	2.9	
16 « «.....	4.0	2.3	10.6	2.6	6.1	6.6	
32 « «.....	3.6	3.0	8.8	3.2	—	5.0	
Kalkforsøg, Lyngby							
Tilstræbt Rt.....	4.8	4.5	1.2	22.2	1.9	7.6	6.5
« «.....	6.0	4.5	1.8	21.7	2.5	7.3	—
« «.....	6.5	—	2.1	22.7	3.1	7.9	—
« «.....	7.0	—	2.3	21.4	3.1	7.3	7.5
Askov Lermark B. 2							
ugødet.....	4.0	3.3	19.2	3.1	6.1	—	
1 kunstgødning.....	4.7	2.8	19.2	2.5	8.5	—	
1 staldgødning.....	5.0	5.4	22.0	5.0	7.3	—	
Askov Lermark B. 5							
ugødet.....	—	3.7	12.7	4.2	—	6.6	
1 kunstgødning.....	—	2.9	12.6	2.7	—	6.2	
1 staldgødning.....	—	6.1	15.0	6.0	—	10.4	
Gødningsforsøg, Lyngby							
ugødet.....	4.2	2.9	23.0	3.8	—	—	
1/2 kunstg. + 1/2 staldg.....	4.9	4.8	23.5	5.4	—	—	
Landbohøjskolens undervisningsmark							
÷ N.....	6.2	8.9	28.0	—	—	—	
÷ kalk.....	5.8	8.5	25.2	—	—	—	
Sv. ammoniak.....	6.2	10.5	22.4	—	—	—	
NPK.....	5.6	9.3	24.8	—	—	—	
Humusjord							
Frederikshavn.....	25.2	25.8	28.6	28.8	28.0	—	

ikke-ombytteligt magnesium opløselig i fortyndet citronsyre (0,5—1,0 pct. plus den syremængde, der produceres af svampen under dens vækst). Denne fraktion er dog betydelig mindre end den, der gøres biologisk tilgængelig ved glødning af jorden. Muligvis findes denne fraktion særlig rigeligt i alkaliske lerjorder, hvilket kunne forklare, at den biologiske magnesiumbestemmelse her ofte viser langt højere værdier end den kemiske.

Disse ikke-ombyttelige magnesiumfraktioner, hvis natur tiltrænger nærmere undersøgelse, er altså en del af jordbundens magnesiumreserver. Hvor hurtigt disse reserver bliver tilgængelige for planterne under naturlige forhold er foreløbig ukendt, men deres forekomst er åbenbart grunden til, at f. eks. den yderligt magnesiumfattige jord fra de kunstgødede parceller på Askov Sandmark hidtil har ydet relativt gode og for kornsorternes vedkommende endda bedre afgrøder end de staldgødede parceller, der har et flere gange højere indhold af både ombytteligt og biologisk tilgængeligt magnesium.

Oversigt.

De hidtil undersøgte prøver af danske dyrkede jorder udviser i almindelighed omtrent samme indhold af magnesium tilgængeligt for *Aspergillus niger* og ombytteligt overfor ammoniumchlorid. Herfra må dog undtages visse alkaliske lerjorder af Rt 8,0—8,3, hvor den biologiske bestemmelse ofte viser 2—3 gange så højt magnesiumindhold som den kemiske. Der er hidtil fundet en total variation fra ca. 0,5 til ca. 140 mg magnesium pr. 100 g jord. I almindelige mineraljorder overstiger indholdet dog ikke 20 mg/100 g for sandjordernes og ca. 30 mg/100 g for lerjordernes vedkommende; højere tal, 40—140 mg/100 g, er kun fundet i humus- og marskjorder. Det langt overvejende flertal af mineraljorder indeholder fra 2,5 til 15 mg/100 g, lerjorder gennemsnitlig 70 pct. mere end sandjorder. Lokalteter med magnesiumindhold under 2,5 mg/100 g var ret fåtallige og var alle med een undtagelse repræsenterede ved sandjorder. Der fandtes en vis, dog ikke meget udpræget, positiv korrelation mellem reaktionstal og magnesiumindhold i sandjorder, men ikke i ler- og humusjorder. Indholdet af magnesium varierede i nogle tilfælde meget stærkt indenfor et

begrænset areal, således fra ca. 0,5 til ca. 20 mg/100 g i sandjord fra en ejendom på 800 ha, og fra ca. 0,7 til ca. 7 mg/100 g i forskellige marker på forsøgsstationen ved Tylstrup.

Staldgødede parceller i vedvarende gødningsforsøg på forsøgsstationerne ved Askov, Lyngby, Studsgaard, Lundgaard og Tylstrup udviste stedse et betydeligt højere indhold af magnesium end ugødede og fuldt kunstgødede, hvilke sidste i reglen var fattigere på magnesium end de ugødede. I 9 prøver af staldgødning fandtes der et gennemsnitligt indhold på 0,071 pct. magnesium. Staldgødning, men næppe ajle, repræsenterer således en betydningsfuld faktor i vedligeholdelsen af jordens magnesiumindhold, og ikke mindst i kreaturløst landbrug vil der derfor være grund til at træffe foranstaltninger imod magnesiumudpining.

I jord fra kalkforsøg på forsøgsstationerne ved Lundgaard og Lyngby steg magnesiumindholdet i nogen omend ikke meget udpræget grad med stigende kalktilførsel og reaktionstal; de ukalkede parceller fra Lundgaard var særdeles magnesiumfattige, 0,6—0,9 mg/100 g. Analyser af forskellige kalkmidler viste kun ubetydelige indhold af magnesium i egentlig jordbrugskalk, hvorimod visse mergelsorter indeholdt 14—27 kg magnesium pr. ton calciumcarbonat. I jordprøver fra et kalkforsøg på sandjord, hvor der var anvendt 6 forskellige kalkmidler med kendt magnesiumindhold, i mængder svarende til 4 og 8 tons calciumcarbonat pr. ha, gen fandtes ved biologisk bestemmelse henvend halvdelen af det tilførte magnesium som overskud over ukalket jord efter 4 års forløb.

På forsøgsstationen ved Jyndeved fandtes der et meget lavt niveau af magnesiumindhold, 1,0—1,5 mg/100 g, i jord fra ikke-staldgødede marker. Analyser i en række prøver fra marker, hvor der samme år var tilført 500 kg magnesiumsulfat (= 51 kg magnesium) pr. ha, viste et magnesiumoverskud over ugødet jord på ca. 36 kg/ha efter kemisk og ca. 42 kg/ha efter biologisk bestemmelse. Her, såvel som i forsøg fra Grindsted og Ladelund, iagttoges en ret tydelig negativ korrelation mellem jordens magnesiumindhold og symptomer på magnesiummangel hos bederoer.

Ved glødning af jorden forøgedes indholdet af biologisk tilgængeligt magnesium meget stærkt, indtil 10—20 gange; denne virkning var særlig udpræget i lerjord. Indholdet af kemisk ombytligt magnesium forøgedes i noget lignende grad ved glødning

af sandjord, men forholdsvis mindre i lerjord. Der syntes snarere at frigøres silikatbundet end organisk bundet magnesium ved glødningsen, da dennes virkning var langt stærkere i humusfattede sand- og navnlig lerjorder end i egentlig humusjord. Også ved ekstra tilsætning af citronsyre til dyrkningssubstratet viste den biologiske metode betydelig større mængder magnesium end der svarede til det kemisk ombyttelige. Jorden indeholder således anselige reserver af ikke direkte tilgængeligt magnesium, der må anses for at være grunden til, at særdeles magnesiumfattede jorder, f. eks. de fuldt kunstgødede parceller på Askov Sandmark, kan yde relativt gode afgrøder. Udnyttelse af disse reserver vil dog indlysende repræsentere rovdrift med hensyn til magnesium.

Omend undersøgelserne viser, at der forekommer meget magnesiumfattede jorder, tillader de endnu ingen sikre slutninger angående virkningen af magnesiumgødskning på forskellige afgrøder. De hidtil udførte lokale markforsøg har kun i et fåtal af tilfælde givet positive udslag; disse var ret små og viste ingen sammenhæng med jordens magnesiumindhold; på forsøgsstationen ved Jydevad fandtes kun udslag i bederoer på meget magnesiumfattig jord (Dorph-Petersen 1955). På den anden side har Weber (1955) fornylig meddelt om forsøg, hvor udbyttet af tomater (men ikke af selleri) forøgedes kendeligt ved tilførsel af magnesiumsulfat, dog mere ved sprøjtning af planterne end ved udstrøning. Det er interessant at bemærke, at det her drejer sig om en alkalisk lerjord, hvor indholdet af biologisk tilgængeligt magnesium var normalt (10 mg/100 g), men af ombytteligt magnesium forholdsvis lavt (3,7 mg/100 g). I dette tilfælde stemmer den kemiske bestemmelse således bedre overens med markforsøgets resultater end den biologiske, der har indbefattet en betydelig mængde ikke-ombytteligt magnesium.

Efter alt at dømme afhænger planternes reaktion overfor magnesiumtilførsel ikke alene af jordens indhold heraf, men tillige af de forskellige plantearters stærkt varierende evne til at optage magnesium fra jordbunden, og dette hænger igen sammen med spørgsmålet om vekselvirkning med andre næringsstoffer, bl. a. kalium, der i højere koncentrationer virker hemmende på magnesiumoptagelsen (se Dorph-Petersen 1955 og Weber 1955). Fortsatte dyrkningsforsøg kombinerede med jordbunds- og om muligt

også planteanalyser vil være en forudsætning for at kunne fastslå omfanget og betydningen af det magnesiumproblem, der utvivlsomt eksisterer i danske jorder.

Summary.

Determinations of magnesium in Danish soils.

Magnesium was determined in a number of Danish cultivated soils, biologically by assay with *Aspergillus niger*, and chemically by exchange against ammonium chloride. The two methods, as described in detail elsewhere (Jensen and Henriksen 1954), gave closely agreeing results except in soils (especially loams) of pH 8.0 and above, where the bio-assay often showed a content two or three times as high as that of exchangeable magnesium.

The magnesium content showed a total variation between approximately 5 and 1400 p.p.m., but did not materially exceed 200 p.p.m. in sand soils and 300 p.p.m. in loam soils; higher contents were confined to humus and salt marsh soils. Among sand soils from 106 localities, 75 pct. of the samples had magnesium contents between 25 and 100 p.p.m., while 80 pct. of 78 loam soils contained from 50 to 150 p.p.m., and a limited number of soils with 10 pct. humus or more contained from 80 to 1400 p.p.m. Localities with less than 25 p.p.m. magnesium were few, and all except one were represented by sand soils. A significant but not very marked positive correlation between pH and magnesium content ($r = 0.44$) was found in the sand soils, but not in loam or humus soils.

Analyses of soils from permanent fertilizers experiments 27 to nearly 60 years old showed that the magnesium content was consistently highest in farmyard-manured plots, while plots receiving dressings of artificial fertilizers (N, P, and K) as a rule contained less magnesium than the unfertilized ones.

Liming experiments 33 to 38 years old showed a somewhat higher magnesium content where lime had been applied. Analyses of various samples of agricultural lime and marl showed that particularly the latter may supply considerable amounts of magnesium to the soil (up to 20–25 kilo per ton of calcium carbonate). In a liming experiment where the amount of magnesium added in lime and marl were known, roughly one-half of the added magnesium could be recovered from the soil after four years.

Ignition of soil, in agreement with the findings of Smit and Mulder (1942), caused a very strong increase in biologically available and a smaller increase in chemically exchangeable magnesium. This effect seems due to increased availability of silicate-bound magnesium rather than to release of organically bound magnesium, since the effect was relatively enormous (sometimes 10 to 20 times over) in sand and particularly loam soils of low humus content, but not marked in true humus soil.

Some evidence of a negative correlation between magnesium content in soil and the intensity of visual symptoms of magnesium deficiency in plants was found in field experiments with beets in sand soils of a generally low magnesium content.

The present experimental results show that soils of very low magnesium content exist, but they do not yet permit definite conclusions as to the effect of magnesium fertilizers on different crop plants, or the level of magnesium supply required for maximum crop yield. Continued field experiments combined with soil and plant analyses are needed in order to elucidate the magnesium status of Danish agricultural soils.

Litteraturhenviisninger.

- Christensen, Harald R.*, 1922. — Studier over Jordbundsbeskaffenhedens Indflydelse paa Bakterielivet og Stofomsætningen i Jordbunden. II — Tidsskr. f. Planteavl, 28, 1—61.
- Dorph-Petersen, K.*, 1955. — Magnesiumproblemet for landbrugets planteavl. — Tidsskr. f. Planteavl, 58, 369—395.
- Gerretsen, F. C.*, 1948. — On the use of *Aspergillus niger* for the determination of plant nutrients in the soil. — Anal. Chim. Acta, 2, 782—792.
- Jensen, H. L.*, og *Henriksen, Aage*, 1954. — Microbiological and chemical determination of magnesium in soil. — Acta Agr. Scand. 5, 1954, 98—112.
- Mulder E. G.*, 1940. — On the use of micro-organisms in measuring a deficiency of copper, magnesium and molybdenum in soils. — Antonie van Leeuwenhoek J. Microbiol. Serol., 6, 99—106.
- Mulder, E. G.*, 1948. — The microbiological estimation of copper, magnesium and molybdenum in soil and plant material. — Anal. Chim. Acta, 2, 793—800.
- Nicholas, D. J. D.*, og *Fielding, A. H.*, 1951. — The use of *Aspergillus niger* (M) for the determination of magnesium, zinc, copper, and molybdenum in soil available to crop plants. — J. Hort. Sci., 26, 125—147.
- Niklas, H.*, og *Poschenrieder, H.*, 1936. — Zur Feststellung der Magnesia-Düngebedürftigkeit und Magnesia-Düngewirkung im Boden mittels *Aspergillus niger* Bodenk. u. Pflanzenern., 1(46), 235—247.
- Schwarzenbach, G.*, *Biedermann, W.*, og *Bangerter, F.*, 1946. — Komplexe. Neue einfache Methode zur Bestimmung der Wasserhärte. — Helv. Chim. Acta, 29, 811—819.
- Smit, J.*, og *Mulder, E. G.*, 1942. — Magnesium deficiency as the cause of injury in cereals. — Mededel. Landbouwhoogeschool, Verhand. 3, Deel 45 (Wageningen).
- Spindler, E.*, 1935. — Über Magnesiadüngung und Beiträge zur Ermittlung der Magnesia-Düngebedürftigkeit der Böden auf mikrobiologischem Wege (Thesis, München).
- Stapp, C.*, og *Wetter, C.*, 1953. — Beiträge zum quantitativen mikrobiologischen Nachweis von Magnesium, Zink, Eisen, Molybdän und Kupfer im Boden. — Landw. Forschung, 5, 167—180.
- Touborg Jensen, S.*, 1936. — Kalkens Omsætninger i Jordbunden, teoretisk og eksperimentelt belyst. — Tidsskr. f. Planteavl, 41, 571—649.
- Trischler, J.*, 1930. — (Thesis, München. Cit. efter Niklas o. a., Ern. d. Pflanze, 27, 1931, 465—470).
- Weber, Anna*, 1955. — Magnesiummangel. — Forsøg og undersøgelser med tomat, selleri og kartofler m.m. 1948—53. Tidsskr. f. Planteavl, 58, 421—462.