

Om tilgængeligheden af jordens magnesiumreserver

On the availability of magnesium reserves in soil

Aage Henriksen

Resumé

Beretningen omhandler resultater af undersøgelser over planters optagelse af ombytteligt og ikke-ombytteligt magnesium fra 13 jorder af forskellig type og magnesiumindhold. Undersøgelserne blev gennemført som karforsøg over fire år og på en sådan måde, at samtlige vækstfaktorer, bortset fra indhold af ombytteligt magnesium, holdtes konstante.

De anvendte jorder blev analyserede for mekanisk sammensætning, samt ombytteligt, syreopløseligt og totalt magnesiumindhold. De fundne analysedata er sat i relation til optagelsen af såvel ombytteligt, som ikke-ombytteligt magnesium.

Resultaterne viser, at der er snæver sammenhæng mellem den ombyttelige magnesiummængde (magnesiumtallet) ved hvert forsøgsårs begyndelse, og såvel afgrødernes procentiske magnesiumindhold som totale magnesiumoptagelse. Magnesiumtallet er således et velegnet udtryk for jordens indhold af direkte plantetilgængeligt magnesium.

Det vises tillige, at planterne har optaget ikke-ombytteligt magnesium fra samtlige jorder i alle fire vækstperioder. De således optagne mængder viste faldende tendens fra 1. til 4. forsøgsår.

Der fandtes betydelig forskel i de enkelte jorders evne til at afgive ikke-ombytteligt magnesium. Omregnet til ha i 20 cm dybde varierede mængderne mellem 4 og 23 kg Mg pr. år som gennemsnit af de fire forsøgsår.

Jordernes evne til magnesiumfrigørelse var

stærkt korreleret med indhold af ler, ler + silt samt syreopløseligt magnesium ($r = + 0,88 - 0,92$), og svagere korreleret med magnesiumtallet ($r = + 0,63$).

Indledning

Op til begyndelsen af 60-erne blev der kun anvendt ubetydelige mængder magnesiumgødning i dansk landbrug. I tiden siden er der bragt et stigende antal handelsgødninger med magnesiumtilsætning på markedet, og der tilføres nu gennemsnitlig 4-5 kg Mg pr. ha landbrugsareal årlig med disse gødninger. Selv med indregning af denne mængde er der dog stadig et underskud på ca. 3 kg pr. ha og år i magnesiumbalancen, beregnet som landsgennemsnit (Henriksen, 1970).

Indtil de seneste år har den årlige bortførelse af magnesium pr. ha landbrugsjord således i gennemsnit været 7-8 kg større end tilførselen. Men det er klart, at der i praksis forekommer betydelige afvigelser fra dette gennemsnitstal.

På grundlag af de nævnte undersøgelsesresultater kan det imidlertid sluttes, at alle dyrkede jorder er i stand til at frigøre magnesium fra ikke-ombyttelig form. Var dette ikke tilfældet, ville jordernes indhold af ombytteligt magnesium forlængst have været udtømt.

Fra resultaterne af markforsøg med magnesiumgødsning og iagttagelser over opræden af magnesiummangel vides, at der er stor forskel i de enkelte jorders evne til at frigøre magnesium til plantetilgængelig form. Den i 1962 gennemførte systematiske undersøgelse i Jylland

viste således, at mellem 500.000 og 700.000 ha af landbrugsarealet måtte anses for magnesiummangelnde, bedømt ud fra forekomsten af mangelsymptomer på afgrøderne (*Olesen og Henriksen, 1963*). Disse jorder har med andre ord ikke kunnet frigøre tilstrækkelig magnesium fra reserverne til opretholdelse af den fornødne plantetilgængelige mængde.

I de øvrige dele af landet findes ligeledes adskillige lokaliteter, hvor symptomer på magnesiummangel optræder. Men for en stort part af Danmarks jorder gælder, at de stadig er i stand til at dække underskuddet i magnesiumbalancen fra de ikke-ombyttelige reserver, og således ikke endnu behøver tilskud for at opretholde ydeevnen.

En bestemmelse af jordens indhold af ombytteligt magnesium, magnesiumtallet, giver oplysning om jordens øjeblikkelige evne til at forsyne afgrøderne med magnesium. Størrelsen af dette tal er ikke alene bestemt af den frigjorte magnesiummængde fra jordens ikke-ombyttelige reserver, men tillige af forhold som benyttelse, gødskning, kalktilstand og fysiske egenskaber. Magnesiumtallet er derfor mindre velegnet til karakterisering af jordens evne til at frigøre magnesium fra reserverne, og dermed til karakterisering af dens magnesiumtilstand på længere sigt.

Til supplerung af magnesiumtallet vil det følgelig være af værdi at råde over en enkel laboratoriemetode, der kan give oplysning om størrelsen af de lettere mobiliserbare, men ikke-ombyttelige magnesiumreserver. Mest anvendt til bestemmelser af denne art er syreekstraktion, som i forskellige udformninger anvendes som mål, specielt for tilgængeligheden af jordens kaliumreserver.

Alle laboratoriemetoder er imidlertid empiriske. Sammenligninger med dyrkningsforsøg, hvor planterne selv ekstraherer magnesium fra jorden, er derfor nødvendige til vurdering af metodernes værdi. I det følgende beskrives resultater af undersøgelser over fysiske og kemiske metoders egnethed som mål for jordens magnesiumreserver, vurderet på grundlag af dyrkningsforsøg i kar.

Metodik

Analysemetoder

Magnesiumtal (Mgt) er bestemt ved flammeatomabsorptiometri som beskrevet af *Henriksen (1965 a)*.

Ved bestemmelse af syreopløseligt magnesium er anvendt samme ekstraktionsteknik som beskrevet i et tidligere arbejde (*Henriksen, 1964*), nemlig 30 minutters kogning af 10 g jord i 75 ml 1 n salpetersyre. Af silt- og lerfraktioner anvendtes dog kun henholdsvis 500 og 250 mg.

Bestemmelsen af ekstraktens magnesiumindhold, der i de tidligere undersøgelser udførtes kompleksometrisk, er i nærværende undersøgelser udført atomabsorptiometrisk efter tilsætning af strontium til en koncentration på 10.000 ppm i måleopløsningen.

Bestemmelse af totalindhold af magnesium er udført efter homogenisering og findeling af jordprøverne i en kuglemølle. Af ufraktionerede jorder afvejes 250 mg af den findelte prøve i en platindigel; af ler- og siltfraktioner dog kun 125 mg. Prøven tilsættes herefter nogle få dråber vand til gennemfugtning, 1 ml konc. svovlsyre samt, efter humusindhold, op til 10 ml perchlorsyre i små portioner indtil alt organisk stof er bortbrændt. Derpå tilsættes 10 ml flussyre som afdampes på sandbad; denne proces må eventuelt gentages 1 à 2 gange. Til afrygning af den resterende flussyre samt svovlsyre forhøjes temperaturen slutteligt til 350-400°C.

Inddampningsresten opløses i 5 ml 1 n saltsyre ved kort opvarmning, hvorpå diglens indhold filtreres gennem et 7 cm filter ned i en 100 ml målekolbe. Efter gentagen afskyling af digel og filter, første gang med yderligere 5 ml saltsyre, fyldes op til mærket. Magnesiumindholdet er bestemt atomabsorptiometrisk efter passende fortynding og tilsætning af strontium til en koncentration på 10.000 ppm i måleopløsningen.

Bestemmelsen af magnesium i plantemateriale er ligeledes udført atomabsorptiometrisk ved en strontiumkoncentration i måleopløsningen på 3000 ppm. Prøvernes foraskning og

Tabel 1. De enkelte jorders pH og Mgt, samt syreopløselige og totale magnesiumindhold i jord og respektive ler- og siltfraktioner

Jord	pH	Mgt	mg Mg pr. 100 g syreopløseligt ¹			total ¹			% ²	
			jord	ler	silt	jord	ler	silt	ler	silt
S 1.....	6,0	1,1	5,3	210	30	23	260	140	0,9	1,6
S 2.....	4,9	2,3	2,4	186	34	14	290	85	1,0	1,4
S 3.....	4,9	0,7	5,3	200	24	28	400	100	2,2	3,5
S 4.....	5,5	0,7	8,4	200	27	40	550	105	2,8	3,9
S 5.....	5,5	1,0	32	444	151	106	720	330	3,9	4,7
S 6.....	6,4	1,8	27	422	148	115	650	330	4,1	4,6
S 7.....	7,4	3,1	15	213	46	50	660	100	4,8	6,3
S 9.....	6,9	3,3	22	295	60	96	600	215	5,5	8,5
L 1.....	6,9	5,5	74	508	118	231	1000	305	11,3	11,5
L 2.....	7,2	3,2	94	612	160	228	970	380	11,7	10,6
L 3.....	6,6	3,9	62	489	110	210	890	310	12,0	7,7
L 4.....	6,7	5,6	77	518	136	230	1000	385	12,8	11,7
L 5.....	6,6	14,4	113	416	192	338	1000	385	19,8	12,4

1. Excl. ombytligt magnesium.

2. Bestemt ved fraktioneringsmetoden.

videre behandling er iøvrigt udført som beskrevet af *Henriksen* (1960a).

Til fraktionering af jord efter partikelstørrelse er anvendt et af *E. Jensen* og *Møller Hansen* (1961) beskrevet apparatur. Før fraktioneringen destrueres organisk stof ved behandling af prøven (50 g, < 2 mm) med 15 pct. hydrogenperoxid. Efter dispergering natten over i 200-300 ml 0,002 n natriumpyrofosfat behandles prøven 10 minutter i en hurtiggående mixer.

I fraktioneringsapparatet separeres derpå partikler < 0,02 mm (ler + silt) fra sandfraktionen. Efter omstilling af apparatet og fornyet dispergering af førstnævnte fraktion separeres denne i ler (< 0,002 mm) og silt (0,02 - 0,002 mm).

Siltfraktionen udvaskes med vand ved dekantering eller centrifugering, medens lerfraktionen isoleres ved en kombination af centrifugering og filtrering (membranfilter). Begge fraktioner tørres og vejes.

Jorder

Tabel 1 giver oplysning om forskellige analysedata for de anvendte jorder til karforsøget. Hver enkelt jord er tildelt et kodenummer, som vil blive anvendt i det følgende.

Om jorderne kan oplyses, at S1-S4 repræ-

senterer dyrket hedesand. S1 og S4 er fra arealer ved henholdsvis Frederikshaab og Mejrup, hvor gødskning med magnesium har givet sikre merudbytter. S2 fra Løvlund er karakteristisk for Grindstedegnens jorder, hvor magnesium-mangelsymptomer er stærkt udbredte, medens S3 er udtaget i ukalket forsøgsled (forsøg 42/73) ved statens forsøgsstation, St. Jyndeved. S5 er fra en lokalitet ved Vejle, og S6 fra statens forsøgsstation, Tylstrup. Sidstnævnte afviger fra de øvrige sandjorder derved, at jorden er af sen-glacial marin oprindelse (hævet havbund). S7 er udtaget ved Thinghøje på Varde bakkeø, hvis jordbund er aflejret under næstsidste nedisning, og derfor har været udsat for påvirkning af forvittrings- og udvaskningsprocesser i ca. 100.000 år længere end jorderne øst og nord for israndslinien. S9 er fra en lokalitet nær Hobro.

L1 er udtaget på statens forsøgsstation, Blangstedgaard, og er en lerjord, hvis lerfraktion sandsynligvis overvejende er illit. L2 fra statens forsøgsstation ved Ødum er en lerjord, der sandsynligvis overvejende repræsenterer montmorillonittypen. L3 og L4 er lerjorder fra Odereggen og L5 er udtaget ved Vejle, ca. 500 m fra udtagningsstedet for S5. Den dominerende lertype for de tre sidstnævnte jorder kendes ikke.

Karforsøg

Ved planlægningen af forsøgene tilstræbtes, at planterne hurtigst muligt skulle kunne udtømme jorderne for ombytteligt magnesium. Dette søgtes opnået ved anvendelse af den mindst mulige jordmængde pr. kar, 1 kg lufttør jord, samt valg af en afgrøde med stort magnesiumkrav, egnet til dyrkning i en lille jordmængde, og med mulighed for at give flere »slæt« i løbet af vækstperioden. Disse krav opfyldtes af spinat, der udmærker sig ved højt magnesiumindhold i tørstoffet (*Geissler & Kurnoth, 1959*).

Som dyrkningskar anvendtes 8,5 cm høje cylindriske plastsåle, med en diameter på 16 cm, svarende til en jordoverflade på ca. 200 cm² og en jordlagsdybde på 4-5 cm. Et plastdækket væksthuse uden mulighed for opvarmning eller supplerende belysning var alene til rådighed. På grund af begrænsede pladsforhold var det kun muligt at anvende to fælleskar af hver jord. Hvert kar blev forsynet med plastrør til vanding, som foretoges med deioniseret vand i mængder svarende til 50 pct. af hver enkelt jords vandkapacitet.

På grundlag af pH(H₂O)- og kalkbehovsbestemmelser blev hver jord før forsøget iblandet de fornødne mængder calciumcarbonat til opnåelse af pH 7,0. Yderligere tilsattes alle jorder en grundgødning, bestående af 250 mg primært calciumfosfat, 30 mg mangansulfat og 20 mg cuprisulfat pr. kar, svarende til henholdsvis 78 kg P, 20 kg Mn og 12,5 kg Cu pr. ha, beregnet efter 2500 tons jordvægt til 20 cm dybde. Før såning samt efter hvert slæt tilførtes 0,12 g calciumnitrat pr. kar, svarende til ca. 50 kg N/ha.

Da kalium har udpræget antagonistisk effekt på optagelsen af magnesium blev det tilstræbt at holde jordens kaliumtal på et rimeligt niveau, Kt 10, og så konstant som muligt gennem hele forsøgsperioden. Før forsøgets start tilsattes derfor kun kaliumchlorid til jorder med Kt < 10 og i sådanne mængder, at nævnte niveau opnåedes.

Foruden indhold af magnesium bestemtes tillige kaliumindhold i hvert slæt gennem hele forsøgsperioden. På grundlag af tørstofudbytte og

kaliumindhold blev optagelsen beregnet, og der tilsattes snarest efter hvert slæt samme kaliummængde, som bortførtes med afgrøderne. For jorder med Kt > 10 påbegyndtes erstatningstilførselen først efter det tidspunkt, da Kt kunne beregnes til at være under denne værdi. Til kontrol på rigtigheden af de tilførte kaliummængder og korrektion for fiksering/frigørelse af kalium blev Kt bestemt i de enkelte jorder efter hvert forsøgsårs afslutning.

Alle anvendte kemikalier var af analysekvalitet.

Dyrkningsforhold m.v. i de enkelte år

1964. Karrene blev tilsæt med 1,0 g spinatfrø pr. kar den 18/4. Der høstedes 3 slæt af blade og stængler 8/6, 14/7 og 2/9. I sidste slæt medtoges pæleroden.

Tørstofudbyttet var størst i 2. slæt, hvor der dog allerede sås symptomer på magnesiummangel hos planterne fra 4 sandjorder, S1, S3, S4 og S6. I 3. slæt var magnesiummangel udpræget i de nævnte, og fandtes tillige hos planterne fra S2, S5 og S9. Ligeledes var angreb af spinatskimmel ret alvorligt, især i de magnesiummanglende afgrøder, og angrebene viste sig vanskelige at bekæmpe under de givne vækstforhold.

Det måtte derfor opgives at dyrke flere spinatafgrøder, og karrene blev den 10/9 tilsæt med vinterraps, 0,5 g frø pr. kar. Denne afgrøde syntes ikke at ville overvintre, og blev høstet (incl. rod) den 18/12.

1965. Efter afslutning af forsøget med spinat og raps blev jorden fra hvert enkelt kar lufttørret og blandet, og 20 g udtaget til bestemmelse af Mgt og Kt. Herefter tilsattes vand til 50 pct. vandmætning og karrene hensattes i væksthuse vinteren over.

Den 24/4 blev karrene tilsæt med alm. rajgræs, Tidlig Øtofte, 0,75 g pr. kar. Gødskning i dette og de to følgende år var som i 1964, bortset fra, at der ikke tilførtes mikronæringsstoffer. Der høstedes 4 slæt, den 10/6, 2/8, 10/9 og 26/10. Svagere symptomer på magnesiummangel forekom i afgrøderne fra S1, S3 og S4.

Tabel 2. Karforsøg 1964-67. Tørstofudbytte af top og rod. Gennemsnit af 2 fælleskar samt differens mellem karrene

	g tørstof høstet pr. kar													
	1964		1965		1966		1967		I alt 1964-67					
Jord	top	rod	top	rod	top	rod	top	rod	top	diff.	rod	diff.	rod + top	diff.
S 1	9,2	11,3	7,1	11,7	5,5	5,5	2,7	37,7	0,05	15,3	0,30	53,0	0,35	
S 2	11,1	8,2	7,9	9,7	4,0	6,3	3,1	35,3	1,21	15,0	1,40	50,3	2,61	
S 3	12,0	7,2	5,1	8,4	3,4	5,4	2,0	33,0	1,57	10,6	3,11	43,6	1,54	
S 4	8,4	7,6	6,5	9,7	3,8	5,6	3,2	31,3	0,59	13,6	0,08	44,9	0,51	
S 5	7,9	8,9	7,7	10,5	2,9	5,4	2,1	32,7	0,35	12,7	0,62	45,4	0,27	
S 6	16,3	8,7	9,8	10,8	4,4	5,7	2,0	41,5	1,56	16,2	0,31	57,7	1,25	
S 7	14,8	8,7	6,8	11,8	6,1	5,8	3,6	41,1	0,54	16,5	1,09	57,6	1,63	
S 9	18,4	8,8	7,6	12,0	5,3	6,3	2,7	45,5	0,89	15,6	1,79	61,1	0,90	
L 1	16,1	9,9	10,7	14,1	8,4	7,1	4,8	47,2	2,40	23,8	1,12	71,0	3,52	
L 2	17,3	10,4	11,1	12,3	6,2	7,3	3,9	47,3	3,53	21,2	0,51	68,5	3,02	
L 3	17,9	9,6	8,7	12,4	6,6	6,1	5,0	46,0	0,12	20,3	1,12	66,3	1,24	
L 4	16,6	10,1	9,6	12,5	6,4	7,5	5,1	46,7	1,03	21,1	1,06	67,8	0,03	
L 5	19,6	10,0	8,6	15,7	7,2	8,4	5,6	53,7	1,84	21,4	1,69	75,1	0,15	
Gns.	14,3	9,2	8,2	11,7	5,4	6,4	3,5	41,4	1,21	17,2	1,09	58,6	1,31	

Efter høst af sidste slæt henstod karrene til lufttørring før rodnettet med ca. 2 cm stub blev adskilt fra jorden. Vedhængende jordpartikler blev afskyllet med tetrachlormethan for at undgå tab af vandopløseligt magnesium, og efter tørring og formaling blev rod materialet yderligere rensat for jordpartikler ved gentagen opslemning i tetrachlormethan med påfølgende centrifugering. Herved blev indholdet af syreopløselig aske nedbragt til ca. 1 pct. Efter tørring blev rod materialet vejlet og analyseret på samme måde som toptørstoffet.

1966. Forsøget blev fortsat med de samme jorder som i 1965, men med 950 g jord pr. kar. Tilsåning med 0,75 g alm. rajgræs pr. kar fandt sted den 19/3 og der blev høstet 5 slæt, nemlig 6/6, 1/7, 10/8, 14/9 og 1/11.

Allerede omkring midten af maj sås symptomer på magnesiummangel, tydeligst i S1 til S6, mindre tydelige i S7 og S9 samt i lerjorden L2.

1967. Forsøget fortsat med samme jorder og på samme måde som i de to foregående år. Væksten var betydelig dårligere end i 1966 og mangelsymptomerne udprægede i afgrøderne fra alle sandjorder. Også i afgrøderne fra lerjorderne, bortset fra L5, fandtes tydelige symptomer på magnesiummangel.

Resultater

Afgrødernes tørstofudbytte

Tabel 2 giver en oversigt over tørstofudbytterne, såvel i de enkelte år som for de fire forsøgsår ialt. Udbytterne for 1964 omfatter såvel spinat som raps, inclusive pælerod, hvorimod stub- og rodtørstof af rajgræs er bestemt særskilt som beskrevet under omtalen af karforsøget 1965.

Til belysning af forsøgsfejlene er angivet differencen mellem de opnåede udbytter af de to fælleskar for hele forsøgsperioden. I gennemsnit udgør differencen mellem fælleskarrene ca. 3 pct. af topudbyttet og ca. 6 pct. af rodudbyttet.

Tørstofmængden i græsafgrødens top og rod var omtrent ens i 1965, medens rod mængden i 1966 og 1967 kun udgjorde ca. halvdelen af toptørstoffet. I de to sidstnævnte år er der ligeledes en tydelig sammenhæng mellem mængden af top- og rodtørstof.

En sammenligning mellem de anførte udbytter for de fire år og ombytteligt magnesium pr. kar ved forsøgsårets begyndelse (tabel 5) viser, at mangel på tilgængeligt magnesium har været begrænsende for udbyttet af spinat i 1964 for flere jorders vedkommende. Det samme har været tilfældet for rajgræs i 1966 og 1967, men ikke i 1965.

Tabel 3. Karforsøg 1964-67. Det procentiske magnesiumindhold i top- og rodtørstof. Gennemsnit af 2 fælleskar og differens mellem karrene

Jord	% Mg i tørstof													
	1964		1965		1966		1967		1964-67		1964-67		1964-67	
	top	rod	top	rod	top	rod	top	rod	top	diff.	rod	diff.	top+rod	diff.
S 1	0,077	0,057	0,026	0,039	0,022	0,028	0,018	0,051	0,001	0,023	0,001	0,043	0	
S 2	0,147	0,088	0,035	0,046	0,024	0,027	0,015	0,083	0,006	0,028	0,003	0,066	0,003	
S 3	0,081	0,042	0,023	0,037	0,020	0,026	0,020	0,051	0,001	0,022	0,003	0,044	0,001	
S 4	0,086	0,057	0,024	0,042	0,028	0,032	0,025	0,054	0,002	0,026	0,004	0,046	0,002	
S 5	0,184	0,073	0,034	0,037	0,029	0,033	0,034	0,080	0	0,033	0,001	0,067	0,001	
S 6	0,145	0,078	0,038	0,041	0,022	0,038	0,030	0,087	0,004	0,033	0,003	0,072	0,003	
S 7	0,218	0,097	0,035	0,053	0,026	0,048	0,026	0,118	0,008	0,030	0,001	0,093	0,006	
S 9	0,184	0,109	0,031	0,052	0,028	0,054	0,025	0,113	0,001	0,029	0	0,092	0,001	
L 1	0,247	0,170	0,069	0,085	0,051	0,081	0,041	0,151	0,003	0,057	0,004	0,120	0,001	
L 2	0,216	0,139	0,055	0,061	0,051	0,066	0,042	0,131	0,002	0,052	0,004	0,106	0,001	
L 3	0,237	0,128	0,041	0,063	0,038	0,064	0,039	0,140	0,006	0,038	0	0,109	0,004	
L 4	0,308	0,132	0,051	0,074	0,044	0,062	0,044	0,163	0,005	0,046	0,003	0,127	0,007	
L 5	0,429	0,248	0,088	0,173	0,053	0,103	0,049	0,268	0,002	0,065	0,005	0,210	0,004	
Gns.	0,197	0,109	0,042	0,062	0,034	0,052	0,031	0,115	0,003	0,037	0,002	0,092	0,003	

Udbyttenedgangen i rajgræs indtraf, når magnesiumindholdet var under ca. 0,05 pct., og visuelle mangelsymptomer viste sig ved mindre end 0,06-0,07 pct. magnesium i toptørstof. Spinat har et tydeligt større magnesiumbehov, idet såvel visuelle mangelsymptomer som udbyttenedgang forekom ved indhold på under 0,1 pct. i toptørstoffet.

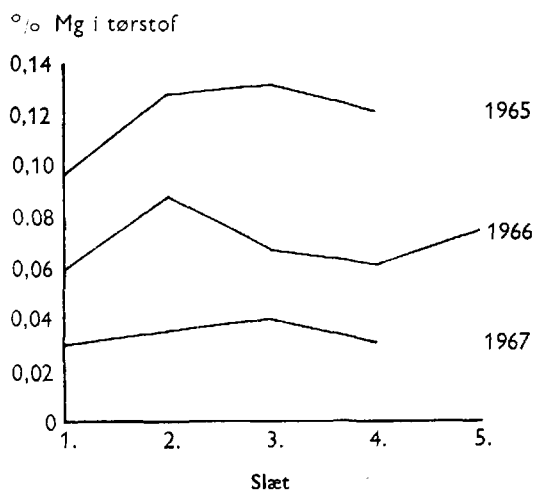
Afgrødernes magnesiumindhold

Det procentiske magnesiumindhold i top- og rodtørstof af høstede afgrøder er vist i tabel 3. De angivne tal for toptørstof er gennemsnitstal, beregnede af tørstofudbytte og magnesiumindhold i hvert enkelt slæt, og som i tabel 2 er tillige angivet differencen mellem de to fælleskar. Gennemsnitsdifferencen er som for tørstofudbytterne ca. 3 pct. af det fundne magnesiumindhold i toptørstof og ca. 6 pct. for rodtørstoffets magnesiumindhold.

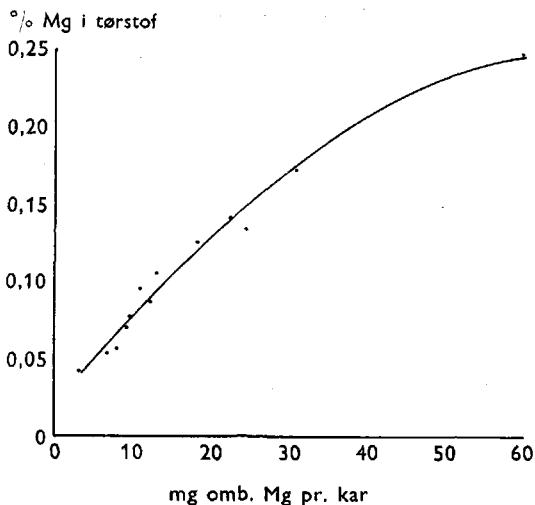
Ved betragtning af magnesiumbestemmelserne i enkeltslæt fremgår, at der generelt er en aftagende linie i det procentiske magnesiumindhold i det høstede rajgræs fra 1. slæt i 1965 til sidste slæt i 1967, i takt med nedgangen i jordernes indhold af ombytteligt magnesium. Men som vist i figur 1 er der tillige en tydelig

variation i rajgræstørstoffets magnesiumindhold gennem de enkelte vækstperioder. En sådan er også fundet ved tilsvarende analyser af græsafrøder fra markforsøg (Henriksen, 1960 og 1965).

Det vides, at faktorer som voksemediets vandmætningsgrad, og navnlig dets indhold af tilgængeligt kalium og kvælstof øver betydelig

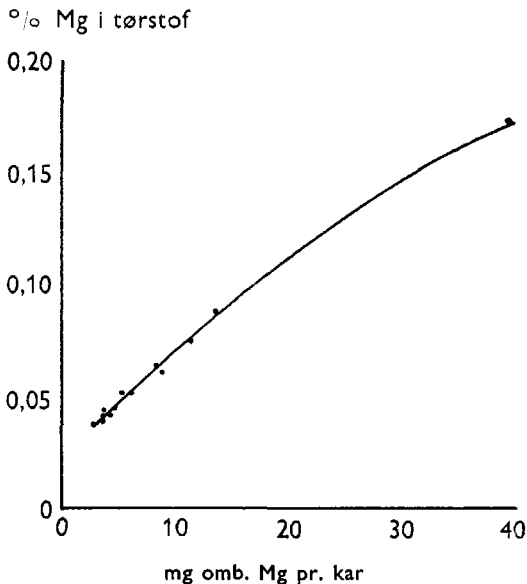


Figur 1. Karforsøg 1965-1967. Variationen i rajgræstørstoffets magnesiumindhold gennem vækstperioden.



Figur 2. Karforsøg 1965. Rajgræstørstoffets procentiske magnesiumindhold som funktion af den ombyttelige magnesiummængde ved forsøgets begyndelse.

indflydelse på afgrødernes procentiske magnesiumindhold. Da disse faktorer så vidt som muligt har været holdt konstante gennem hele vækstperioden, må årsagen til magnesiumind-



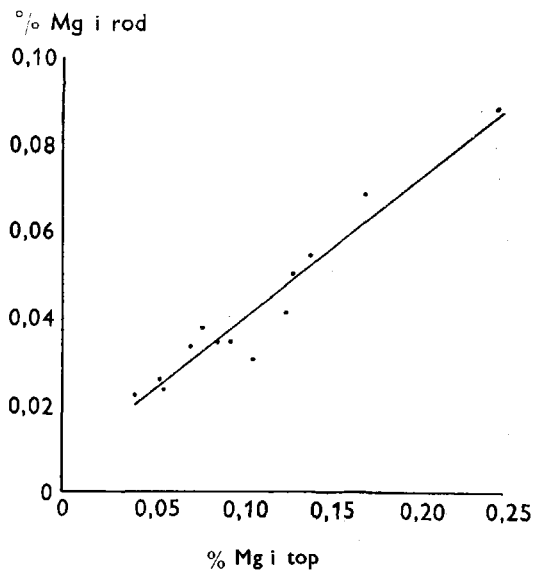
Figur 3. Karforsøg 1966. Rajgræstørstoffets procentiske magnesiumindhold som funktion af den ombyttelige magnesiummængde ved forsøgets begyndelse.

holdets maksima i de foreliggende forsøgs 2. og 3. slæt nok hovedsagelig tilskrives temperaturforholdene, idet planternes kationoptagelse øges med temperaturen (*Dijkshoorn & t'Hart, 1957*). Det tydeligt forøgede magnesiumindhold i 5. slæt, 1966, (1/11) i forhold til det forudgående 4. slæt bestyrker denne antagelse, idet karrene henstod 14 dage i et opvarmet lokale (ca. 20°C) inden høstning af dette slæt.

Medvirkende til det lavere magnesiumindhold i 1. slæt kan tillige være, at rodudviklingen hovedsagelig sker under dette slæts tilvækst. Dette medfører for det første, at en forholdsvis stor del af det optagne magnesium medgår til opbygning af rodnettet, og for det andet, at de efterfølgende slæt har et større rodnet til rådighed for magnesiumoptagelsen.

Ved sammenligning mellem de respektive tal for magnesiumindhold i toptørstoffet (tabel 3) og mængden af ombytteligt magnesium i jordene ved forsøgets begyndelse (tabel 5) fremgår, at de to størrelser er stærkt korrelerede.

Dette illustreres af figurerne 2 og 3, der viser det procentiske magnesiumindhold i toptørstof af rajgræs 1965 og 1966 som funktion



Figur 4. Karforsøg 1965. Det procentiske magnesiumindhold i rodtørstof af rajgræs som funktion af indholdet i top.

Tabel 4. Karforsøg 1964-67. Magnesiumoptagelse i top og rod. Gennemsnit af 2 fælleskar og differens mellem karrene

	mg Mg optaget pr. kar													
	1964		1965		1966		1967		1964-67		1964-67		1964-67	
Jord	top	rod	top	rod	top	rod	top	rod	top	diff.	rod	diff.	top + rod	diff.
S 1	7,1	6,5	1,8	4,6	1,2	1,2	0,5	19,4	0,10	3,5	0,05	22,9	0,05	
S 2	15,9	7,2	2,8	4,5	1,0	1,6	0,5	29,1	0,47	4,3	0,80	33,4	0,33	
S 3	9,7	3,0	1,2	3,1	0,7	1,2	0,4	17,0	0,45	2,3	0,38	19,3	0,07	
S 4	7,2	4,3	1,6	4,1	1,1	1,3	0,8	16,9	0,82	3,5	0,51	20,4	1,33	
S 5	14,5	6,5	2,6	3,9	0,9	1,3	0,7	26,2	0,18	4,2	0,12	30,4	0,06	
S 6	23,6	6,8	3,7	4,4	1,0	1,3	0,6	36,1	0,33	5,3	0,56	41,4	0,89	
S 7	32,3	8,4	2,4	6,3	1,6	1,5	0,9	48,5	2,41	4,9	0,20	53,4	2,21	
S 9	33,9	9,6	2,4	6,2	1,5	1,8	0,7	51,5	1,43	4,6	0,47	56,1	0,96	
L 1	39,7	16,8	7,4	12,0	4,3	2,9	1,9	71,4	1,93	13,6	1,71	85,0	3,64	
L 2	37,4	14,5	6,1	7,5	3,2	2,5	1,6	61,9	3,67	10,9	1,03	72,8	2,64	
L 3	42,4	12,3	3,6	7,8	2,5	1,9	1,7	64,4	2,98	7,8	0,49	72,2	3,47	
L 4	51,1	13,3	4,9	9,3	2,8	2,5	2,1	76,2	4,23	9,8	0,05	86,0	4,28	
L 5	84,1	24,8	7,5	27,1	3,8	7,8	2,7	143,8	6,12	14,0	0,21	157,8	5,91	
Gns.	30,7	10,3	3,7	7,8	2,0	2,2	1,2	51,0	1,93	6,8	0,51	57,8	1,99	

af den ombyttelige magnesiummængde ved forsøgenes begyndelse. En tilsvarende figur for 1967 er udeladt på grund af den ringe spredning i resultaterne, men også for dette år er der snæver sammenhæng mellem den ombyttelige magnesiummængde i jorden og afgrødens procentiske indhold af magnesium.

Mellem top- og rodtørstoffets magnesiumindhold er der ligeledes en tydelig sammenhæng i de enkelte år. Med resultaterne fra 1965 som eksempel er dette illustreret i figur 4.

Afgrødernes magnesiumoptagelse

Tabel 4 viser den totale magnesiumoptagelse i afgrøderne, beregnet på basis af tørstofudbytterne og deres procentiske magnesiumindhold (tabel 2 og 3). Differencen mellem den optagne magnesiummængde i fælleskarrene er, som det må forventes, lidt højere end de tilsvarende for tørstofudbytte og magnesiumindhold, nemlig ca. 4 og 7 pct. af de respektive gennemsnitsværdier for magnesiumoptagelse i rod- og top-tørstof.

Magnesiumindholdet i rodtørstof af rajgræs varierer groft taget mellem 20 og 50 pct. af toptørstoffets. Beregnet som gennemsnit for samtlige jorder i årene 1965-67 er ca. 25 pct. af den optagne magnesiummængde fundet i rod-

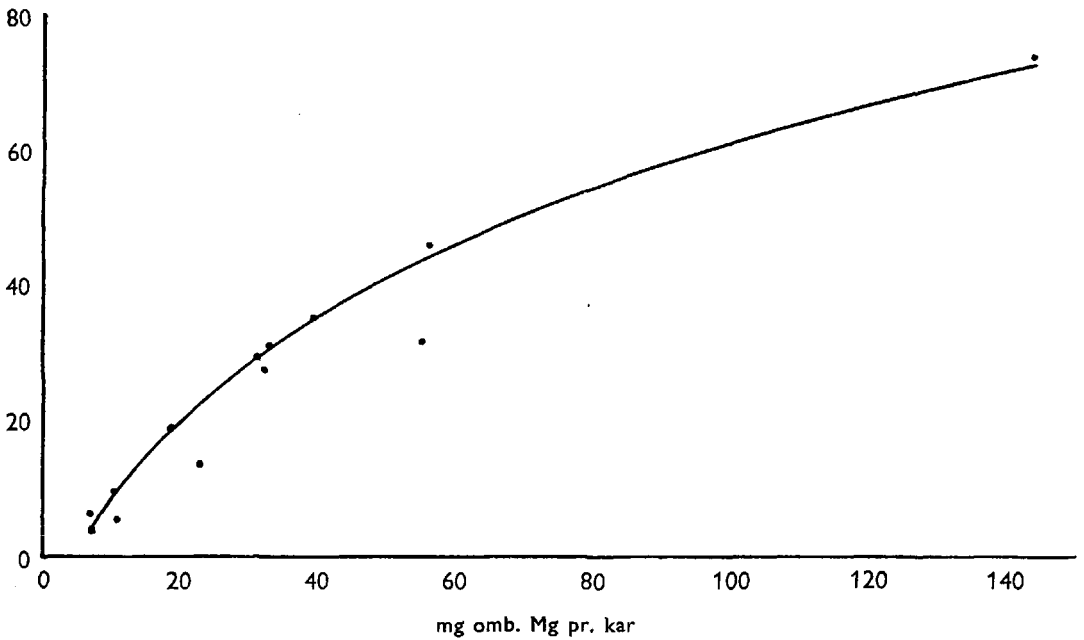
tørstoffet. Det er således en relativt betydelig mængde, der er optaget i roden, og det er derfor nødvendigt at medtage denne i balanceberegningen, når den optagne ikke-ombyttelige magnesiummængde som her beregnes på grundlag af 1-årige forsøg.

Sammenhængen mellem den optagne magnesiummængde i top + rod og den ombyttelige magnesiummængde ved forsøgets begyndelse er vist i figurerne 5, 6 og 7 for henholdsvis spinat 1964 og rajgræs 1965 og 1966. Korrelationen mellem de to størrelser er meget stærk i alle tre forsøgsår, specielt dog i 1966, hvor den er næsten fuldkommen. På grund af den meget ringe spredning er resultaterne fra 1967 ikke afbildet grafisk, men også i dette år er der en snæver sammenhæng mellem jordens indhold af ombytteligt magnesium ved vækstperiodens begyndelse og den samlede afgrødes magnesiumoptagelse.

Afgrødernes optagelse af ikke-ombytteligt magnesium

Resultaterne af bestemmelser af ombytteligt magnesium før og efter vækstperioden i 1964 og efter vækstperioderne 1965, 1966 og 1967 er vist i tabel 5. Alle bestemmelser udførtes dobbelt i lufttør jord fra hvert kar. De fundne

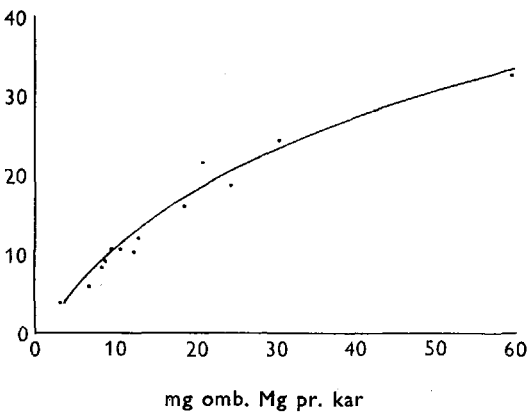
mg Mg optaget pr. kar



Figur 5. Karforsøg 1964. Magnesiumoptagelsen i spinat som funktion af den ombyttelige magnesiummængde ved forsøgets begyndelse.

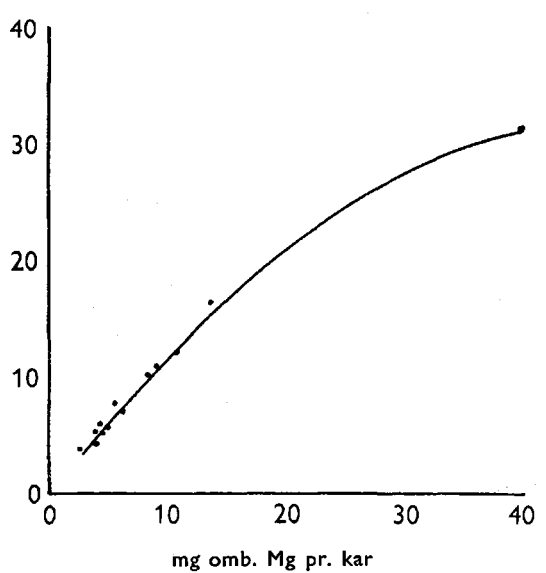
mængder magnesium pr. kar efter forsøg er omregnet til mg magnesium pr. kar før forsøg i det følgende år på grundlag af den mindskede jordmængde som følge af prøveudtagning.

mg Mg optaget pr. kar



Figur 6. Karforsøg 1965. Magnesiumoptagelsen i rajgræs som funktion af den ombyttelige magnesiummængde ved forsøgets begyndelse.

mg Mg optaget pr. kar



Figur 7. Karforsøg 1966. Magnesiumoptagelsen i rajgræs som funktion af den ombyttelige magnesiummængde ved forsøgets begyndelse.

Tabel 5. Karforsøg 1964-67. Ombytteligt magnesium i mg pr. kar før og efter dyrkning. Gennemsnit af 2 sælleskar og differens mellem karrene

Jord	1964 ¹			1965 ²			1966 ³			1967 ⁴			pH	Kt
	før fors.	efter fors.	diff.	før fors.	efter fors.	diff.	før fors.	efter fors.	diff.	før fors.	efter fors.	diff.		
S 1	11	9	0	8,6	4,1	0,2	4,0	2,3	0	2,2	2,1	—	7,1	5,0
S 2	23	13	3	12,7	5,1	0	4,9	2,2	0,6	2,1	2,1	0,1	6,9	5,6
S 3	7	3	1	2,9	2,7	0	2,6	1,9	0,3	1,8	1,8	0,2	7,3	5,0
S 4	7	7	2	6,9	4,2	0,2	4,1	2,6	0,4	2,5	2,1	0	7,2	6,2
S 5	10	9	2	8,8	3,8	0,4	3,7	2,4	0,1	2,3	2,5	0,3	7,1	5,6
S 6	18	10	4	9,8	4,2	0,6	4,1	2,3	0	2,2	1,9	0,2	7,2	6,2
S 7	31	11	5	10,8	5,7	1,0	5,5	2,8	0,1	2,7	2,4	0,1	7,0	6,6
S 9	33	13	1	12,7	6,0	1,3	5,8	2,9	0	2,8	2,6	0	6,8	4,3
L 1	55	31	2	30,4	14,0	3,0	13,6	4,3	0,2	4,2	3,9	0,3	7,0	5,6
L 2	32	23	0	22,5	9,3	2,0	9,0	4,3	0,2	4,2	3,2	0,5	7,2	4,5
L 3	39	19	1	18,6	8,8	0,3	8,5	4,1	0,5	4,0	3,4	0,3	7,2	5,1
L 4	56	25	2	24,5	10,9	1,7	10,6	4,7	0,5	4,6	3,7	0,4	7,2	4,9
L 5	144	61	2	59,8	41,2	2,0	39,9	22,8	1,7	22,1	20,2	1,6	7,0	8,1

1. 1 kg jord. 2. 980 g jord. 3. 950 g jord. 4. 920 g jord.

Bestemmelser af pH(H₂O) efter forsøgets afslutning viste gennemgående lidt højere værdier end forventet efter de tilsatte mængder calciumcarbonat. Variationerne i pH mellem jordene indbyrdes er iøvrigt så små, at de næppe kan have påvirket magnesiumoptagelsen.

Ved vurdering af kaliumtallene må tages i betragtning, at disse skal korrigeres med den kaliummængde, som er fjernet med 4. slæt og med rodnettet 1967. Herefter må det antages, at forskelle i jordens kaliumtilstand næppe heller kan have påvirket magnesiumoptagelsen signifikant.

På grundlag af de i det foregående anførte analysedata er mængden af optaget, ikke-ombytteligt magnesium i mg pr. kar beregnet på følgende måde:

Ikke-ombytteligt Mg optaget = mg Mg optaget i afgrøderne + mg ombytteligt Mg efter forsøg - mg ombytteligt magnesium før forsøg.

De herved fremkomne resultater skal imidlertid korrigeres for de med udsæden og de anvendte kemikalier (CaCO₃; Ca(NO₃)₂; Ca(H₂PO₄)₂ og KC1) tilførte magnesiummængder, idet det må anses for givet, at disse er optaget kvantitativt i afgrøderne. Pr. kar drejer det sig om følgende:

1964: 1,0 g sipnatfrø med 0,290 pct. Mg + 0,5 g rapsfrø med 0,342 pct. Mg, i alt 4,61 mg Mg pr. kar.

1965, 1966 og 1967: 0,75 g rajgræsfrø med 0,124 pct. Mg, svarende til 0,93 mg Mg pr. kar og år.

Hertil kommer ca. 0,12 mg Mg pr. kar for hele forsøgsperioden, tilført med de anvendte kemikalier. Korrektionen er herefter foretaget ved subtraktion af 4,6 mg Mg pr. kar for 1964 og 1,0 mg Mg pr. kar for de tre følgende år. Endelig er de derved fremkomne tal omregnet til mg Mg pr. kg jord på grundlag af de formindskede jordmængder i karrene 1965, 1966 og 1967.

De således beregnede resultater for optagelse af ikke-ombytteligt Mg i mg pr. kar er vist i tabel 6. Det fremgår, at differencerne mellem resultaterne af de to fælleskar er relativt betydelige i de enkelte år for flere jorders vedkommende. Årsagen hertil må først og fremmest søges i uundgåelige analysefejl, som specielt gør sig gældende ved bestemmelserne af ombytteligt magnesium i jord, hvis resultater er omregnede til mg/kg. En analysefejl på blot 0,1 mg Mg/100 g jord vil således medføre en afvigelse på 1 mg ved bestemmelse af optaget,

Tabel 6. Karforsøg 1964-67. Optagelse af ikke-ombytteligt magnesium pr. år og i alt. Gennemsnit af 2 fælleskar og differens mellem karrene

Jord	Ikke-ombytteligt Mg optaget, mg/kg jord									
	1964		1965		1966		1967		1964-67	
	gns.	diff.	gns.	diff.	gns.	diff.	gns.	diff.	i alt	diff.
S 1	0,5	0,4	3,0	0,1	3,3	0,2	0,7	—	8	0,3
S 2	1,7	1,2	1,5	1,8	1,8	0,4	0,9	0	6	0,2
S 3	1,3	0,2	3,2	0	2,3	0,3	0,8	0,3	8	0,2
S 4	2,6	1,1	2,3	4,3	2,9	0,1	0,8	0,7	9	2,4
S 5	8,9	2,2	3,2	0,4	2,6	0,7	1,3	0,1	16	1,0
S 6	11,2	5,2	4,1	0,5	2,8	0	0,7	0,2	19	4,9
S 7	7,4	1,5	4,8	1,6	4,5	0,2	1,2	0,4	18	2,5
S 9	9,3	1,9	4,3	0	3,9	0,8	1,4	0,3	19	1,4
L 1	11,1	4,3	6,9	5,7	6,3	3,5	3,8	0,1	28	2,0
L 2	23,8	1,2	6,6	0,1	5,3	2,4	2,4	0,1	38	1,4
L 3	17,8	2,2	5,2	1,1	5,2	0,9	2,3	0,3	31	3,9
L 4	15,5	3,2	3,7	0	5,5	0,7	2,8	0,2	28	3,7
L 5	—3,5	5,3	13,0	3,4	13,4	0,9	8,3	0,2	31	2,6
Gns.	8,3	2,3	4,8	1,5	4,6	0,9	2,1	0,2	20	2,0

ikke ombytteligt Mg, og i denne forbindelse må vanskelighederne ved at udtage en eksakt gennemsnitsprøve på 10 g fra den samlede jordportion heller ikke overses.

I det sammenlagte resultat for de 4 års forsøg ophæver afvigelserne imidlertid hinanden i ret betydelig udstrækning, hvorved GD reduceres til at udgøre 10 pct. af den fundne gennemsnitsværdi for optaget, ikke-ombytteligt magnesium, med variationer mellem 2,5 og 27 pct. for de enkelte jorder.

Betragtet som helhed bærer resultaterne sikkert vidnesbyrd om, at der fra samtlige jorder er optaget magnesium fra den ikke-ombyttelige fraktion. De viser tillige, at der er sikker forskel mellem de enkelte jordtypers evne til at frigøre plantetilgængeligt magnesium fra den ikke-ombyttelige fraktion. Dette fremgår tydeligst af

tabel 7, hvor resultaterne fra tabel 6 er vist som gennemsnitstal for de tre jordtyper.

Tabel 8 viser, hvordan optagelsen har fordelt sig på ombytteligt og ikke-ombytteligt magnesium fra de tre grupper af jorder gennem forsøgsperioden. Bortset fra hedesandjorder 1966 sker der i de første tre år groft taget en halvering i mængden af optaget ombytteligt magnesium fra år til år. Samtidig er optagelsen af ikke-ombytteligt magnesium relativt stigende. I samme tidsrum er der årligt optaget gennemsnitligt 45 pct. af den mængde ombytteligt magnesium (tabel 5), som var tilstede ved hvert forsøgsårs begyndelse, dog med svagt faldende tendens fra 1. til 3. forsøgsår. I 4. og sidste forsøgsår sker der et brat fald, således at der kun optages ca. 10 pct. af den magnesiummængde, som var til stede ved dette forsøgsårs

Tabel 7. Karforsøg 1964-67. Optagelse af ikke-ombytteligt magnesium. Gennemsnit for 3 jordtyper

Jord	Antal jorder	mg Mg optaget/kg jord									
		1964		1965		1966		1967		1964-67	
		gns.	diff.	gns.	diff.	gns.	diff.	gns.	diff.	i alt	diff.
Hedesand...	4	1,5	0,7	2,5	1,5	2,6	0,3	0,8	0,3	7,4	0,8
Alm. sandj...	4	9,2	2,7	4,1	0,6	3,5	0,4	1,2	0,3	18,0	2,5
Lerjorder...	5	12,9	4,1	7,1	2,1	7,1	1,7	3,9	0,2	31,0	2,7

Tabel 8. Karforsøg 1964-67. Optagelse af ombytteligt og ikke-ombytteligt magnesium. Gennemsnit for 3 jordtyper

Jord	mg Mg optaget/kg jord							
	1964		1965		1966		1967	
	omb.	ikke-omb.	omb.	ikke-omb.	omb.	ikke-omb.	omb.	ikke-omb.
Hedesand . . .	4,0	1,5	3,8	2,5	1,6	2,6	0,2	0,8
Alm. sandj. . .	12,3	9,2	5,6	4,1	2,2	3,5	0,2	1,2
Lerjord	32,7	12,9	14,2	7,1	8,3	7,1	1,2	3,9
Gns.	17,6	8,3	8,3	4,8	4,4	4,6	0,5	2,1

begyndelse. Inden for jordtyperne er der tendens til, at optagelsen af ombytteligt magnesium relativt har været lavere fra hedesandjordene end fra de øvrige jordtyper.

Korrelationer mellem planternes optagelse af ikke-ombytteligt magnesium og analyser af jorden

I det foregående er vist, at planterne kan optage ikke-ombytteligt magnesium fra jord. Spørgsmålet er dernæst, fra hvilke magnesiumfraktioner eller mekaniske fraktioner af jorden den konstaterede magnesiumfrigørelse har fundet sted.

En direkte bestemmelse heraf kunne tænkes gennemført ved sammenlignende analyser af det totale magnesiumindhold før og efter forsøg i de enkelte jordfraktioner efter partikelstørrelse. Men da de frigjorte mængder er små i forhold til totalindholdene ville sådanne bestemmelser blive behæftet med stor usikkerhed.

Tabel 9. Karforsøg 1964-67. Korrelationer mellem planternes optagelse af ikke-ombytteligt magnesium og forskellige fysiske og kemiske analyser

Ikke-ombytteligt magnesium optaget og:		r
Jordens procentiske lerindhold		+0,88
» » siltindhold		+0,90
» » ler- + siltindhold		+0,90
» » finsandsindhold		+0,38
» » grovsandsindhold		-0,65
Ombytteligt magnesium (Mgt)		+0,63
Syreopløseligt magnesium i ufraktioneret jord		+0,92
» » i lerfraktioner		+0,94
» » i ler- + siltfraktion		+0,94
Totalindhold af magnesium		+0,90

Gennem korrelationsberegninger mellem sam- hørende resultater for optagelsen af ikke-ombytteligt magnesium og mekaniske analyser (fraktioneringsmetoden) er spørgsmålet derfor søgt besvaret ad indirekte vej. Trods det beskedne antal jorder (n = 13) må de fundne korrelationskoefficienter, der er anført i øverste halvdel af tabel 9, siges at give sikkert udtryk for, at planternes optagelse af ikke-ombytteligt magnesium hovedsagelig er sket fra ler- og/eller siltfraktionen. Nærmere kan spørgsmålet ikke besvares ad denne vej, idet jordernes ler- og siltindhold er indbyrdes stærkt korrelerede ($r = + 0,91$).

Mellem forskellige magnesiumfraktioner i jordene før forsøg og afgrødernes optagelse af ikke-ombytteligt magnesium fandtes de i nederste halvdel af tabel 9 anførte korrelationskoefficienter.

Ud over de omtalte kemiske metoder er til- lige anvendt den biologiske metode med *Aspergillus niger* som testorganisme (Jensen og Henriksen, 1955). Metoden er ikke alene anvendt som i den oprindelige udformning, men tillige til bestemmelse af mikrobiologisk tilgængeligt magnesium efter fjernelse af den ombyttelige fraktion, såvel i prøver udtaget før som efter afslutning af karforsøgene. Endvidere er der udført gentagne dyrkninger på samme jorder og jordfraktioner, foruden en række metodiske undersøgelser. Resultaterne heraf vil blive publiceret i en selvstændig beretning.

Diskussion

Stærkt skematiseret kan de forskellige magne- siumfraktioner i jord og omsætningen mellem disse angives således:

Ikke-ombytteligt Mg \rightarrow ombytteligt Mg \rightleftharpoons Mg
i jordvæsken

Ved bestemmelse af magnesiumtallet (Mgt) fås et mål for størrelsen af de to sidstnævnte fraktioner, idet der ikke eksisterer nogen skarp grænse mellem ombytteligt og ikke-ombytteligt magnesium. Den fundne mængde ombytteligt magnesium er således bl.a. afhængig af, hvilken kation man vælger som fortrænger ved ekstraktionen.

At magnesiumtallet imidlertid er et udmærket mål for jordens indhold af direkte plante-tilgængeligt magnesium fremgår med al tydelighed af de gennemførte karforsøgs resultater. Disse viser, at der er en snæver sammenhæng mellem magnesiumtallet ved vækstperiodens begyndelse i de enkelte forsøgsår, og såvel de procentiske magnesiumindhold i afgrøderne som de optagne magnesiummængder (fig. 2 og 3). Det fremgår tillige af resultaterne (tabel 8), at optagelsen af ombytteligt magnesium relativt har været nær den samme fra lerjorder og alm. sandjorder, men lidt lavere fra dyrkede hedesandjorder.

Det skal bemærkes, at karforsøgene blev gennemført på en sådan måde, at alle vækstfaktorer, bortset fra indholdet af ombytteligt magnesium, blev holdt konstante. Under markforhold varierer de øvrige vækstfaktorer, herunder de klimatiske, imidlertid betydeligt ved samme magnesiumtal. Ligeledes kan undergrundens magnesiumindhold, hvorfra planterne også optager en del, variere meget. Derfor kan man i praksis langt fra opnå samme fine overensstemmelse mellem magnesiumtal og optagelse som i karforsøg, og dermed heller ikke mellem magnesiumtal og merudbytte for magnesiumgødsning. Det samme gælder naturligvis for den praktiske anvendelse af de øvrige jordbundsanalyser. Men det bør dog fremhæves, at antagonistiske virkninger fra andre kationer gør sig stærkere gældende ved magnesiumoptagelsen end tilfældet er for optagelsen af de fleste øvrige næringsstoffer.

Mulighederne for at øge sikkerheden med henblik på bestemmelse af det øjeblikkelige

magnesiumbehov ligger således ikke i en forbedring af den anvendte analysemetode. Derimod snarere i en form for korrektion af magnesiumtallet, først og fremmest med reaktions- og kaliumtal.

Trods stigende anvendelse af magnesiumholdige blandingsgødninger i de senere år er danske landbrugsjorders magnesiumbalance stadig negativ (Henriksen, 1970). Jordernes magnesiumtal kan derfor kun opretholdes ved, at der frigøres magnesium fra den ikke-ombyttelige fraktion. At en sådan frigørelse sker er logisk; i modsat fald ville jordens indhold af ombytteligt magnesium forlængst have været udtømt. Indirekte er der tillige ført bevis derfor gennem undersøgelser af jordprøver fra samme forsøgsled, men udtaget med en tidsmæssig afstand på 20-30 år (Henriksen, 1970).

De gennemførte karforsøg har haft som hovedformål, at føre direkte bevis for, og at undersøge omfanget af magnesiumfrigørelsen fra den ikke-ombyttelige fraktion. Endvidere at sætte denne frigørelse i relation til resultaterne af forskellige fysiske og kemiske analyser af de anvendte jorder.

For at komme de »naturlige« forhold så nær som muligt gennemførtes forsøgene i uopvarmet drivhus over 4 år og med normale vækstperioder for de dyrkede planter. De 13 jorder, der indgik i forsøget, omfattede de almindelige typer mineraljord fra dyrket hedesand med 0,9 pct. ler til svær lerjord med 19,8 pct. ler.

Resultaterne viser, at der fra samtlige jorder og i alle fire år er sket en større eller mindre optagelse (frigørelse) af ikke-ombytteligt magnesium, og at der er sikker forskel mellem de enkelte jordtypers evne til at afgive magnesium fra reserverne. Omregnet til hektarbasis i 20 cm dybde fandtes de gennesnitlige årlige mængder således til ca. 4,5 kg for hedesandjorder, ca. 11 kg for alm. sandjorder og ca. 20 kg for lerjorder (tabel 8). Optagelsen af ikke-ombytteligt magnesium er stærkt korreleret med såvel jordens ler- og ler + siltindhold som det syreopløselige og totale magnesiumindhold, men kun i væsentlig ringere grad korreleret med indholdet af ombytteligt magnesium (tabel 9).

Det er tydeligt, at magnesiumfrigørelsen fra alm. sandjorder og lerjorder er betydelig større i det første end i de efterfølgende år. Forklaringen herpå kan være, at der er sket en fremadskridende udtømning af de lettest mobiliserbare fraktioner af ikke-ombytteligt magnesium ved den stærke udpining af jorden, der fandt sted under de givne dyrkningsbetingelser. Det kan således nævnes, at de optagne magnesiummængder i 1. forsøgsår omregnet varierede mellem 18 og 210 kg pr. ha, hvilket skal sammenlignes med en gennemsnitsoptagelse på 8,5 kg Mg pr. ha i marken.

En anden årsag kan være, at planterne, navnlig i sidste forsøgsår, har lidt så stærkt af magnesiummangel, at deres evne til at optage væsentligere tilgængeligt magnesium har været svækket. I alt fald var afgrødetørstoffets magnesiumindhold mindsket til 20-25 pct. af det normale. Ved biologiske magnesiumbestemmelser med *Aspergillus niger* er det således vist (ikke publicerede resultater), at svampens evne til at optage ikke-ombytteligt magnesium mindskes stærkt eller ophører, når den dyrkes på en magnesiumfattig jord. Tilsætning af en »startdosis« (25 µg Mg pr. g jord) sætter svampen i stand til at optage mere ikke-ombytteligt magnesium. Det kan meget vel tænkes, at lignende forhold gør sig gældende for højere planter, hvilket bør undersøges.

I relation til såvel afgrødernes forbrug som til den negative magnesiumbalance er de frigjorte ikke-ombyttelige magnesiummængder ret betydelige. Men det må i denne forbindelse understreges, at man ikke uden videre kan overføre de absolutte mængder, fundet ved karforsøg, til markforhold. Derimod må det være rimeligt at antage, at forholdet mellem jordernes evne til at mobilisere magnesium vil være det samme såvel under markforhold som i karforsøg.

Det må i denne forbindelse tages i betragtning, at der i de gennemførte karforsøg er arbejdet med en lille mængde jord, som har været langt mere intensivt gennemvævet af planternes rodsystem end den tilsvarende under markforhold. Heraf følger tillige en mere inten-

siv påvirkning pr. vægtenhed jord af ekskretorerne fra planterødderne, som f.eks. indeholder en række organiske syrer (Rovira, 1962). At disse har en opløsende virkning på mineraler er bl.a. beskrevet af Graham (1940), der påviste ætsning af marmor ved kontakt med levende planterødder. Endvidere indeholder rodsekretorerne en række sukkerarter, hvoraf mikroorganismene kan danne forskellige syrer, der ligeledes er medvirkende ved opløsningsprocesserne.

På den anden side er der påfaldende god overensstemmelse mellem de direkte bestemmelser af magnesiumfrigørelse i de gennemførte karforsøg (tabel 7), og indirekte bestemmelser i markforsøg (Henriksen, 1970). Som gennemsnit af 20-30 år fandtes i sidstnævnte magnesiumtab på 3-7 kg pr. ha og år fra hedesand, 13-16 kg fra alm. sandjord og 16-18 kg fra lerjord. Disse bestemmelser gennemførtes dog kun med 2 × 4 jorder, og var forbundet med en betydelig usikkerhed.

Fra udenlandske undersøgelser foreligger resultater, der ligeledes viser, at planter er i stand til at udnytte ikke-ombyttelige magnesiumreserver. De fleste er imidlertid udførte med jordtyper, der ikke direkte kan sammenlignes med danske. Dette gælder således undersøgelser af Gedroiz (1931) med en chernozem-jord og van der Marels (1947) undersøgelser med vulkanske jorder fra Sumatra.

Nær forbindelse med danske jordbundsforhold har derimod undersøgelser over 55 slesvigholstenske jorders magnesiumreserver og deres tilgængelighed (Zahiroleslam, 1961). De til disse undersøgelser anvendte jorder blev blandet med kvartssand i forholdet 1:3 (podsoljorder dog kun i forholdet 1:1), hensat i opvarmet drivhus og besået med rajræs. I løbet af 16 måneder blev høstet 11 slæt; fra karrene med podsoljorder dog kun 8 slæt.

Som gennemsnit viste resultaterne af de tyske forsøg en optagelse af ikke-ombytteligt magnesium på 233 mg pr. kg af marskjorder, 48 mg pr. kg af lerjorder, 29 mg pr. kg af sandjorder og 11 mg pr. kg af hedesand. Ved sammenligning med resultaterne i tabel 7 fremgår, at der

ved de referede undersøgelser er optaget større mængder ikke-ombytteligt (»nachgeliefert«) magnesium end fra tilsvarende jordtyper i nærværende undersøgelse.

Konklusion

De gennemførte undersøgelser viser, at der er snæver sammenhæng mellem jordens indhold af ombytteligt magnesium (magnesiumtallet), og såvel de procentiske magnesiumindhold i afgrøderne som de optagne magnesiummængder. Magnesiumtallet er således et velegnet mål for jordens indhold af direkte plantetilgængeligt magnesium. Det skal bemærkes, at alle vækstkfaktorer, bortset fra mængden af ombytteligt magnesium, holdtes konstante i karforsøgene, og at man derfor ikke finder samme gode overensstemmelse i praksis.

Undersøgelserne har endvidere vist, at der fra samtlige jorder i karforsøget er sket en større eller mindre optagelse af ikke-ombytteligt magnesium i afgrøderne. Omregnet til kg pr. ha i 20 cm dybde, svarer de årlige mængder gennemsnitlig til ca. 4,5 kg Mg fra hedesandjorder, ca. 11 kg fra alm. sandjorder og ca. 20 kg fra lerjorder. Optagelsen af ikke-ombytteligt magnesium var aftagende gennem forsøgsperioden.

Det må antages, at de fundne relationer mellem jordens evne til magnesiumfrigørelse direkte kan overføres til markforhold. Derimod er det ikke givet, at det samme gælder for de fundne mængder. Men det kan nævnes, at de frigjorte magnesiummængder i karforsøgene stort set svarer til de årlige tab af magnesium, fundet i jord fra markforsøg over en 20-30-årig periode.

Planternes optagelse af ikke-ombytteligt magnesium er stærkt korreleret med såvel jordens indhold af ler og ler + silt, som det syreopløselige og totale magnesiumindhold ($r = +0,88-0,92$). De nævnte laboratoriemetoder er således omtrent lige velegnede til bestemmelse af en jords evne til at frigøre ikke-ombytteligt magnesium. Den analytisk set enkleste metode er en ler + siltbestemmelse, der med tilstrækkelig

nøjagtighed kan udføres ved hjælp af hydrometoden.

Man kan således rent praktisk regne med, at en jord kan stille des større magnesiummængder til rådighed fra reserverne jo højere dens lerindhold er.

Erkendtlighed

Laboratorieassistent, fru *Erna W. Sørensen* har ydet dygtig og omhyggelig assistance ved gennemførelsen af nærværende arbejde.

Summary

On the availability of magnesium reserves in soil. The main purpose of the present investigation was to study the solubility and availability of magnesium reserves in different types of Danish agricultural soils.

Chemical and microbiological methods may indicate the content of soil magnesium soluble under defined conditions, but their results do not allow any general conclusions as to the ability of a given soil to supply plant-available magnesium. This information can only be given from growth experiments under controlled conditions where the plants themselves extract magnesium from the soil. Such experiments were carried out from 1964 to 1967 with 13 soils differing in content of clay and magnesium.

The design of the experiments aimed at conditions favouring the quickest possible exhaustion of exchangeable magnesium, for which reason a small amount of soil (1 kg) was used, in plastic pots of 16 cm. diameter where the soil formed a 4 to 5 cm deep layer. Owing to limited greenhouse facilities the growth experiments could only be conducted during the normal period of growth and only with duplicate pots of each soil.

All soils were at the outset of the experiments adjusted to pH 7.0 with calcium carbonate. During the four growth periods the pots were watered with deionized water corresponding to 50 pct. of the water-holding capacity of each soil. All soils received the same amounts of plant nutrients except potassium, which was added periodically in the same amounts as removed by the plants. Exchangeable potassium was at the outset adjusted to 100 ppm. in all soils.

The experimental crops were spinach and rape in the first year and ryegrass in the next three.

Exchangeable magnesium was determined in all soils before and after each growth period, and magnesium and potassium contents in top and root fractions of each crop (the latter at termination of the growth periods in the years 1965, 1966 and 1967).

During all the four years there was a marked correlation between exchangeable soil magnesium before growth period and the magnesium percentage in plant dry matter (fig. 2 and 3), as well as the total magnesium uptake (fig. 5, 6 and 7). This leads to the conclusion that under equal conditions of soil reaction, moisture content, exchangeable potassium and nitrogen supply (as calcium nitrate) the content of exchangeable magnesium largely governs the total magnesium uptake and percentage content of magnesium in the plants.

A marked correlation was also found between the magnesium percentage in dry matter of top and root. This is shown in fig. 4 with the results from 1965 as example.

Yield depressions in rye grass occurred when magnesium contents were below approx. 0.05 pct. in dry matter of tops, and visual symptoms of deficiency appeared at less than 0.06-0.07 pct. magnesium in top dry matter. Spinach had an obviously greater magnesium demand and showed yield depression and visual deficiency symptoms at less than 0.1 pct. magnesium in dry matter.

The amounts of magnesium released from the non-exchangeable fractions were calculated on the basis of the total magnesium uptake in the crops and the corresponding contents of exchangeable magnesium before and after the experiments, with corrections for the magnesium added in seed and plant nutrients. All soils were found to release non-exchangeable magnesium during the four years, in amounts significantly different for the individual soil types. The average amounts calculated per hectare and year were approx. 4.5 kg in the heath sand soils, 11 kg in other sand soils, and 20 kg in the clay soils, with a general trend to decline from the first to the fourth year (tab. 7). It must be emphasized that these figures give only relative indications of the ability of individual soil types to release non-exchangeable magnesium, and cannot directly be applied to field conditions where smaller values must be expected.

The results mentioned are on the other hand in agreement with results found by analysis of soils from permanent fertilizer experiments of long duration, where samples were taken from the same

treatments at time intervals of 20 to 30 years. Results from 8 sets of samples from these field experiments showed decreases in total soil magnesium content, varying from 3 to 17 kg per hectare annually.

Direct determinations of magnesium in mechanical fractions of the soils before and after the whole experimental period suggested that most of the non-exchangeable magnesium was derived from the silt and particularly the clay fractions, but the results were not sufficiently well reproducible to permit a quantitative calculation. An answer to the question of the origin of released magnesium was sought in an indirect way through calculation of correlation between amounts of released non-exchangeable magnesium and corresponding physical analytical data. The following correlation coefficients were found between:

- (a) Released Mg and clay pct. $r = + 0.88$
- (b) Released Mg and silt pct. $r = + 0.90$
- (c) Released Mg and clay + silt pct. $r = + 0.90$

No correlation was found with the content of fine sand, and a smaller (negative) correlation with coarse sand.

In spite of the small number of soils (12 degrees of freedom) the results may be taken as indicating the clay and/or silt fractions as the chief source of released magnesium.

Amounts of released non-exchangeable magnesium showed only a minor correlation with initial exchangeable magnesium ($r = + 0.63$). Much higher values ($r = + 0.90-0.94$) were found with (a) nitric-acid-soluble magnesium in original soils as well as clay and silt fractions of these, and (b) total magnesium.

The various physical and chemical methods thus seem to be generally of equal value for estimating the plant-available amounts of non-exchangeable magnesium. For practical purposes the determination of silt + clay content may be preferable.

Litteratur

Dijkshoorn, W., & t'Hart, M. L. (1957). The effect of alteration of temperature upon the cationic composition in perennial ryegrass. Netherlands Journ. of Agric. Sci. 1, 18-36.

Gedroiz, K. K. (1931). Exchangeable cations of the soil and the plants: 1. Relation of plant to certain cations fully saturating the soil exchange capacity. Soil Sci. 32, 51-63.

- Geissler, Th., & Kurnoth, P. (1959).* Die Nährstoffaufnahme der wichtigsten Gemüsearten an Kalium, Kalzium und Magnesium und ihre Abhängigkeit vom Magnesiumgehalt der Düngung. I. Mineräldünger im Gemüsebau, Bergbau-Handel, Øst Berlin.
- Graham, E. R. (1940).* Primary minerals of the silt fraction as contributors to the exchangeable base level of acid soils. *Soil Sci.* 49, 277-281.
- Henriksen, Aage (1960).* Om gødskningens indflydelse på græsmarksafgrødernes mineralstofsammensætning. *Tidsskr. f. Planteavl*, 64, 1-50.
- Henriksen, Aage (1960a).* Om bestemmelse af calcium, magnesium, kalium og natrium i plantemateriale. *Tidsskr. f. Planteavl*, 64, 530-552.
- Henriksen, Aage (1964).* Om danske landbrugsjorders magnesiumindhold og afgrødernes magnesiumforsyning. *Tidsskr. f. Planteavl*, 67, 733-783.
- Henriksen, Aage (1965).* Om afgrødernes mineralstofindhold. *Tidsskr. f. Planteavl*, 68, 784-804.
- Henriksen, Aage (1965a).* Sammenlignende kompleksometriske og atomabsorptometriske magnesiumbestemmelser i jord. *Tidsskr. f. Planteavl*, 69, 328-333.
- Henriksen, Aage (1970).* Magnesiumbalancen i danske landbrugsjorder. *Tidsskr. f. Planteavl*, 74, 224-233.
- Jensen, H. L., & Henriksen, Aage (1955).* Microbiological and chemical determination of magnesium in soil. *Acta Agric. Scand.*, V, 98-112.
- Jensen, E., & Møller Hansen, H. (1961).* An elutriator for particle-size fractionations in the subsieve range. *Soil Sci.*, 92, 94-99.
- Marel, H. W. van der (1947).* Tropical soils in relation to plant nutrition. *Soil Sci.*, 64, 445-451.
- Olesen, Johs., & Henriksen, Aage (1963).* Undersøgelser vedrørende magnesiummangel og dens udbredelse i Jylland. 62. Beretning om Planteavlssarb. i Landboforen. i Jylland 1962, 584-591.
- Rovira, H. D. (1962).* Plant-root exudates in relation to the rhizosphere microflora. *Soils and Fertilizers XXV*, 167-172.
- Zahiroleslam, S. (1961).* Untersuchungen über der Magnesium-Haushalt schleswig-holsteinischer Böden unter besonderer Berücksichtigung der Magnesium-Reserven und deren Verfügbarkeit. *Diss. Univ. Kiel*.

Manuskript modtaget i redaktionen den 8. februar 1971.