

Reduktion og udvaskning af chlorat i jordbunden

Af S. TOVBORG JENSEN og SIGURD LARSEN

Meddelelse fra

Den kgl. Veterinær- og Landbohøjskole, Agrikulturkemisk Laboratorium

1. Indledning

Eksperimenterne, som danner grundlaget for denne meddelelse, er udført lejlighedsvis i tiden 1945—49. De havde til formål at belyse årsagerne til den skadevirkning på efterfølgende afgrøder, som i nogle tilfælde viser sig ved ukrudtsbekæmpelse med natriumchlorat. Med fremkomsten af de dengang nye organiske bekæmpelsesmidler (hormonmidler) syntes chloratets rolle som ukrudtsmiddel udspillet og eksperimenterne uden praktisk interesse. Chlorat anvendes imidlertid stadig en del til bekæmpelse af rodukruddt og til afbrydning af kartoflers vækst ved dræbning af toppen, og denne anvendelse vil muligvis holde sig. I så fald får undersøgelserne fornyet interesse, og derfor fremlægges deres resultater nu.

Statens plantepatologiske Forsøg har venligst stillet materiale og plads til rådighed for dyrkningsforsøg med byg på chlorat-behandlet jord. Disse forsøg og analysearbejdet er udført af den ene af forfatterne daværende assistent ved laboratoriet mag. agro. *Sigurd Larsen*.

2. Chlorat som ukrudtsbekæmpelsesmiddel

Natriumchlorat NaClO_3 har i ca. 30 år været anvendt til bekæmpelse af rodukruddt som tidsel, følfod m. m. Fremgangsmåden derved er sædvanligvis, at chlorat efter høst udbringes på ukrudtsbefængte partier i marken (tidselpletter). Der anvendes gerne 200—300 kg NaClO_3 pr. ha, som påføres ved sprøjtning i fortyndet vandig opløsning eller udstrøs i fast form.

En del af chloratet falder på ukrudtsplanternes blade og stængler. Det optages derfra i de levende væv, og da chlorationen ClO_3^- er en kraftig plantegift, dræbes vævene hurtigt, så planterne går til grunde. En anden del føres med regnvandet ned i jorden og påvirker derfra rødderne på lignende måde. Denne forgiftning af rodzonen er ikke af varig karakter, idet chloratet dels vil udvaskes med drænvandet, dels vil reduceres til chlorid (Cl^-), som i de anvendte mængder er uskadeligt for kulturplanterne. Giftvirkningen ophører, når chloratkoncentrationen i jorden omkring rødderne er faldet til en vis lavere grænseværdi. Denne grænseværdi vil oftest nås i løbet af vinteren, og afgrøden den påfølgende sommer vil i så fald ikke tage skade af chloratbehandlingen.

Dette er påvist ved en række undersøgelser såvel i Danmark som i andre lande. *Find Poulsen* (1) fandt således ved tilførsel af 260 kg NaClO_3 pr. ha i slutningen af oktober, at jordens indhold af chlorat i løbet af 2 måneder faldt så meget, at dette stof ikke længere kunne påvises kvalitativt i pløjelaget. (Mindste påviselige mængde angaves at svare til ca. 50 kg NaClO_3 pr. ha i pløjelagets dybde). *Tincker* (2) angiver, at chlorat udstrøet på havejord ikke hobes op i rodzonen, men reduceres og udvaskes fuldstændigt, således at arealet uden risiko kan beplantes 4—6 måneder efter chlorattilførsel.

Såfremt jordens chloratindhold ikke i vinterens løb kommer ned under den kritiske grænseværdi, skades den følgende afgrøde deraf. Skadelig eftervirkning af den art er ofte iagttaget og kan i visse tilfælde blive meget udpræget. *Schwanbom* (3) beretter således om en afgrødeformindskelse på ca. 50 pct. i byg efter tilførsel af 400 kg NaClO_3 pr. ha det foregående efterår.

Skaden optræder især efter vintre med tidlig frost og som følge deraf ringe udvaskning. Den ytrer sig ved træg vækst samt gulfarvning af bladene. Forskellige afgrøder påvirkes i ulige grad. *Vidme* (4) angiver således, at bederoer er langt mere chloratfølsomme end kålroer, og at kartofler er særlig modstandsdygtige. Virkningen indskrænker sig i næsten alle tilfælde til den følgende sommers afgrøde, men der foreligger iagttagelser over tydelig gulfarvning hos kornafgrøder også i andet år efter chloratbehandling, *Åberg* (5).

Det er, som nævnt foran, dels udvaskning, dels afltning (reduktion), som bevirker, at chloratet efterhånden forsvinder fra rodzonen, og dets kraftige giftvirkning ophører. Den dertil nødvendige tidslængde er i henhold til erfaringen 1—2 år varierende med nedbørsmængden og jordbundens fysiske egenskaber især dens gennemtrængelighed for vand, men det vides ikke, i hvilket omfang de to processer hver for sig bidrager til chloratets uskadeliggørelse, idet angivelserne derom er ret modstridende. Det er derfor heller ikke muligt med sikkerhed at forudsige giftvirkningens varighed i de enkelte tilfælde og ad den vej gardere sig mod skadevirkning på afgrøderne. Det er dog muligt ud fra et kendskab til natriumchloratets egenskaber at drage visse slutninger såvel om udvaskningens som om reduktionsprocessernes forløb og dermed tillige om mulighederne for skadelig eftervirkning under givne betingelser. I det følgende betragtes disse processer hver for sig.

Udvaskningen. Natriumchlorat er let opløselig i vand og dissocieres ved opløsning fuldstændigt efter skemaet $\text{NaClO}_3 \rightarrow \text{Na}^+ + \text{ClO}_3^-$. Chlorationer (ClO_3^-) adsorberes ikke til ler- og humuskolloiderne, ligesom de heller ikke fældes af kationer i form af tungt- eller uopløselige salte. De er derfor let bevægelige i og med jordvandet og vil hurtigt efter udstrøning på fugtig jord opløses og fordeles i et betydeligt jordvolumen, hvorved opløsningen fortyndes, og mængden af chlorationer pr. rumfangs-enhed (chlorationkoncentrationen) aftager. Chlorationerne forholder sig i den henseende ganske som nitrationer (NO_3^-), og de udvaskes derfor under vore klimaforhold ret hurtigt fra jordbunden og kommer uden for planterøddernes rækkevidde.

Udvaskningen sker fortrinsvis i efterårs- og vintermånederne, og den udvaskede chloratmængde inden for et bestemt tidsrum (udvaskningshastigheden) må antages indtil en vis grænse at være proportional med drænvandsmængden. I forårs- og sommermånederne er gennemsvivningen ubetydelig, og der sker i dette tidsrum praktisk talt ingen udvaskning fra jordbunden. Den samlede drænvandsmængde afhænger af nedbørens størrelse i vinterhalvåret og af jordens naturlige vandkapacitet og gennemtrængelighed for vand. Den er derfor størst i landets nedbørsrigeste egne på vel afvandet, let gennemtrængelig jord med ringe

vandkapacitet (muldfattig sandjord) og mindst i regnfattigere områder på jord med stor vandkapacitet og ringe gennemtrængelighed (svær lerjord). Den vandmængde, som passerer jordbunden under nedsivning, varierer her i landet egnsvis fra fjerdedelen til ca. halvdelen af årets middelnedbør på henved 600 mm, men det må antages, at den lokalt og fra år til år kan svinge endnu mere.

Det er derfor ikke overraskende, at chloratudstrøning om efteråret i visse tilfælde giver skadelig eftervirkning, i andre ikke. Chansen for en sådan er størst på svær jord med unormal lav vinternedbør og mindst på let jord i år med normal eller høj vinternedbør. Langvarig stærk frost formindsker mængden af nedsivningsvand og øger faren for chloratskade. Også den tilførte chloratmængde vil påvirke udvaskningens hastighed og hele forløb. Det må antages, at jo større mængder der anvendes pr. arealenhed, desto længere tid vil der — alt andet lige — hengå, førend rodzonens chloratindhold kommer under den kritiske grænseværdi.

De her fremdragne forhold vedrørende udvaskningens forløb stemmer godt med foreliggende iagttagelser. I en række danske markforsøg med chlorat mod tidsler (6) iagttoges ingen skadelig eftervirkning på sandjord, men i adskillige tilfælde 20—30 pct. udbyttenedgang i den følgende afgrøde på lerjord. Det anbefales på grundlag af disse forsøg aldrig at tilføre mere end 300 kg chlorat pr. ha og at udstrø det tidligst muligt om efteråret.

Det fremgår af amerikanske undersøgelser (7), at chlorateftervirkning navnlig viser sig efter vintre med unormalt lav nedbør. I nedbørsfattige egne, hvor vandgennemsvivningen er ringe, ødelægges næste års afgrøde ofte totalt ved efterårsanvendelse af chlorat til ukrudtsbekæmpelse. Efter rigelig kunstig vanding af sådanne arealer forsvinder eftervirkningen helt.

Chloratreduktion. Chlorater er kraftige iltningsemidler. De reagerer under passende betingelser med iltelige stoffer i jordbunden især humus, afgrøderester samt staldgødning, og de reduceres derved selv til chlorider. Reduktionsprocessens forløb kendes ikke i enkeltheder, og det vides ikke med sikkerhed, om den skyldes mikroorganismer, fysisk-kemiske processer eller begge dele i forening.

Det må antages, at chlorat også med hensyn til reduktion i jordbunden forholder sig på lignende måde som nitrat. Dette stof virker ligeledes kraftigt iltende og reduceres let under anaerobe betingelser gennem flere stadier til elementært kvælstof (denitrifikation). Denne proces skyldes forskellige grupper af mikroorganismer navnlig bakterier, som ved mangel på fri ilt formår at udnytte den ilt, som er bundet i nitrat. Betingelserne for denitrifikation er 1) et relativt højt nitratinhold, 2) tilstedeværelse af let ilteligt organisk stof og 3) mangel på fri ilt (anaerobe betingelser). I veldrænet porøs jord sker derfor selv efter kraftig gødkning med salpeter ingen denitrifikation.

Såfremt disse regler lader sig overføre på chlorater, må det ventes, at chloratreduktion kun vil antage kendeligt omfang i jord med et højt indhold af let ilteligt organisk stof, og som er delvis vandlidende enten på grund af dårlig permeabilitet eller fordi grundvandspejlet ligger tæt ved jordoverfladen. Denne antagelse bekræftes delvis af foreliggende iagttagelser.

Stapp u. Bucksteeg (8) har undersøgt chloratbehandlingsindflydelse på jordbundens mikrobiologiske aktivitet målt ved iltforbrug og kuldioxydproduktion. De angiver, at jordbundens mikroflora praktisk talt er ude af stand til at reducere chlorat under aerobe betingelser. Chlorater må derfor hovedsageligt fjernes fra jordbunden ved udvaskning. Under anaerobe betingelser (kloakslam) reduceres tilført chlorat hurtigt, men reduktionen ophører, såsnart ilten ved luftgennemledning får adgang til massen. *Åslander* (9) angiver derimod, at chlorat normalt sønderdeles i jordbunden til uskadelige forbindelser, og at sønderdelingen skyldes mikrobiologisk reduktion til chlorid. Sønderdelingshastigheden vokser stærkt med temperaturen. Ved 30° C ophører giftvirkningen hurtigt, selv om der ikke sker udvaskning. Ved 10° C holder den sig længe. Chloratsønderdeling sker ved denne og lavere temperaturer meget langsomt og vil derfor næppe bidrage nævneværdigt til chloratets fjernelse i vinter-halvåret.

Harper (10) angiver, at chlorat i berøring med fugtig agerjord ved sommertemperatur vil reduceres til chlorid i løbet af 8 dage. Når der alligevel kan iagttages kraftig skadevirkning på kornafgrøder i året efter chlorattilførsel, skyldes det efter hans

opfattelse, at chlorat af ukendte grunde har hæmmet nitrifikationen, selv om det ikke mere lader sig påvise i jordbunden.

Bowser og *Newton* (11), der har foretaget en række undersøgelser over chloraters omdannelse og udvaskning, bestrider rigtigheden af denne opfattelse. De angiver på grundlag af karforsøg, at chlorat sønderdeles langsomt selv ved drivhøstemperatur og optimale fugtighedsforhold. Uden vandgennemsvivning og udvaskning fandtes under sådanne betingelser efter 1 års forløb endnu 60—90 pct. af den tilførte chloratmængde i jorden, d. v. s. kun 10—40 pct. af chloratet var i dette tidsrum uskadeliggjort ved reduktion. Omdannelsen var stærkest fremskreden i jord med højt humusindhold (sort prærieland) og kun ubetydelig i sandjord med normalt humusindhold (2—3 pct.). Chloratets sønderdelingshastighed steg stærkt, når jorden tilsattes større mængder let ilteligt organisk stof. Efter opblanding med 10 pct. lucernegrønne kunne der således efter 2½ måneders forløb ikke mere påvises chlorat i jord, som var tilført en mængde deraf svarende til 500 kg NaClO_3 pr. ha. Hvedeplanter udvikledes normalt i den, men gik til grunde efter chlorattilførsel på den samme jord uden tilførsel af organisk stof. Nitrifikationen forløb tilsyneladende normalt efter chloratbehandling, også uden tilførsel af let ilteligt organisk stof. — *Wiklander* (12) fandt ved lignende forsøg, at giftvirkningen på afgrøder steg stærkt med den anvendte chloratmængde. Den var mest udpræget i sandjord, mindre i lerjord og mindst i lavmosetørv. Det sidste antages at skyldes tørvens høje indhold af organisk stof.

De fremdragne eksempler antyder stærkt, at reduktionsprocessen skyldes vekselvirkning mellem chloratet og jordbundens organiske stoffer. Det må formodes, at processen analogt med nitratreduktion fremmes af mangelfuld luftadgang, og at reduktionshastigheden øges med stigende temperatur og med stigende indhold af let ilteligt organisk stof i jorden. At processen forløber langsomt selv ved 30° C i passende fugtig humusrig sort prærieland skyldes dels, at humus iltes vanskeligere end frisk plantemateriale, dels at denne jordtype har meget udpræget krummestruktur, så ilten har uhindret adgang til dens porer og hulrum.

3. Egne undersøgelser

Laboratorieforsøg med chloratreduktion. For at undersøge chloratreduktionens forløb under givne betingelser, blev en lufttør ler-muldet jord indeholdende 5 pct. humus blandet med natriumchlorat i en mængde, som svarede til 300 kg pr. ha i pløjelaget. Tre portioner af den chloratbehandlede jord tilsattes forskellige mængder vand, således at de kom til at indeholde 8, 13 og 27 pct. fugtighed, hvorved der opnåedes henholdsvis halvtør, fugtig og våd jord. Prøverne fyldtes på 40 cm høje cylinderglas, henstilledes ved stuetemperatur (20° C) og blev forsøgsperioden igennem såvidt muligt holdt på den oprindelige fugtighedsgrad.

Der udtoges med mellemrum prøver af glassene til chloratbestemmelse. Fremgangsmåden ved prøveudtagning og analysering var følgende: Af prøver med a pct. fugtighed afvejedes hver gang (100 + a) g, som udrystedes med (250 ÷ a) ml destilleret vand. Opslemningerne filtreredes og af filtratet udtoges 2 portioner hver på 100 ml. I den ene bestemtes chloridmængden direkte, i den anden efter reduktion med SO₂ i salpetersur opløsning. Differencen mellem anden og første chloridbestemmelse er da et udtryk for ekstraktens chloratindhold. Reduktionen foretoges ved til de 100 ml jordekstrakt at sætte 3 ml 2 n HNO₃ samt 200 ml svovlsyrlingvand og henstille kolben på vandbad i 2 timer. Dernæst uddreves tilbagebleven SO₂ ved kogning i nogle minutter. Chloridbestemmelsen foretoges ved elektrometisk differentialtitrering efter Güntelberg (13).

Forsøget strakte sig over 150 dage. Resultaterne er angivet i tabel 1, og fig. 1 viser den tilbageblevne chloratmængde i de tre jordprøver med forskelligt vandindhold som funktion af tiden.

Tabel 1. Chloratreduktion i prøver af samme jord med forskelligt vandindhold

pct. vand i jorden	Chloratindhold, pct. af tilført efter døgn					
	3	10	24	51	120	150
8	95	88	80	69	55	52
13		85	77	65	51	48
27		76	58	38	13	8

Tallene og kurverne viser, at chloratreduktionen forløber langsomt og med aftagende hastighed i halvtør og passende fugtig

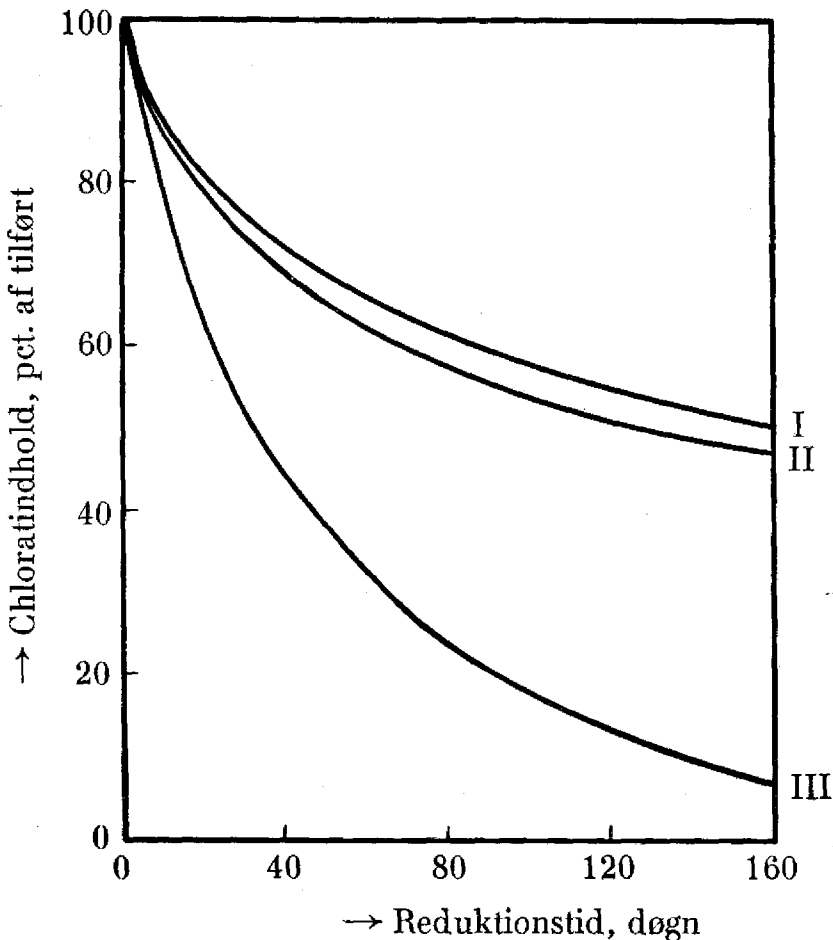


Fig. 1. Chloratreduktion i prøver af samme jord med forskelligt vandindhold.

I 8 pct. vand
 II 13 » »
 III 27 » »

jord. Efter 150 dages forløb er heri endnu halvdelen af den tilsatte chloratmængde tilbage. I våd jord, hvor ilten vanskelig kan få adgang, forløber reduktionen langt hurtigere. Her findes ved forsøgsperiodens afslutning kun 8 pct. af den tilsatte chloratmængde. Resten er ved reduktion blevet omdannet til

chlorid. Eksperimentet viser, at der selv ved sommertemperatur antagelig vil hengå mindst et år, inden reduktionsprocessen er så vidt fremskreden, at chloratet er uskadeliggjort. — I det meste af vinterhalvåret vil der her i landet næppe reduceres kendelige chloratmængder på grund af den lave jordtemperatur. *Man må derfor regne med, at størsteparten af det chlorat, som udbringes om efteråret, skal fjernes fra rodzonen ved udvaskning i vinterhalvåret, og at det navnlig er udvaskningsbetingelserne, der er bestemmende for eventuel skadelig eftervirkning.* At chloratreduktionen under de givne betingelser er forløbet væsentlig hurtigere i våd end i passende fugtig jord vil næppe ændre dette forhold. Vandoverfyldning af jordlaget i rodzonen gør sig navnlig gældende sent på efteråret og om vinteren, da jordtemperaturen er lav og reduktionshastigheden derfor ringe.

Karforsøg med chloratreduktion og -udvaskning. Der anvendtes ved disse forsøg 9 cylindriske zinkkar med et tværsnitsareal på 500 cm² og højden 40 cm. Tre af disse fyldtes med humusjord, tre med sandjord og tre med lerjord. Jorden i karrene vaskedes chloridfri ved gentagen udludning med destilleret vand, og efter sidste tilsætning henstilledes de til afdrypning. Da denne var endt, tilsattes 3 g NaClO₃ pr. kar svarende til 600 kg pr. ha. Alle karrene opbevarede i en kælder ved temperaturen 10—15° C. Et kar med hver af de tre jordtyper henstod uden yderligere vandtilsætning. I hvert af disse udtoges jordprøver til chloratbestemmelse, første gang efter 3 måneders, anden gang efter 2 års forløb i den hensigt at få udtryk for reduktionens omfang.

Resten af karrene anvendtes til udvaskningsforsøget. Vand tilførtes hver af de tre jordtyper dels i portioner på $\frac{1}{2}$ l ad gangen, dels i portioner på 1 l ad gangen svarende til henholdsvis 10 og 20 mm nedbør. Drænvandet fra karrene opsamledes, og chloratmængden deri bestemtes på den foran beskrevne måde. Udvasningsforsøget strakte sig over ca. 4 måneder. I forsøgsperiodens første halvdel bestemtes drænvandets chloratindhold efter hver vandtilførsel, senere, da chloratindholdet var aftaget stærkt, samledes flere portioner drænvand til hver analyse.

Resultaterne af chloratbestemmelserne i den ikke udvaskede jord er meddelt i tabel 2.

Tabel 2. Chloratreduktion ved karforsøg med tre forskellige jordtyper tilsat chlorat svarende til 600 kg NaClO₃ pr. ha.

Jordtype	pct. af tilsat chlorat reduceret efter	
	3 måneder	2 år
Sandjord.....	14.1	42.0
Lerjord.....	20.4	47.0
Humusjord.....	28.4	71.0

Tallene viser, at reduktionen også her er forløbet i langsomt tempo, langsomst i mineraljorderne og noget hurtigere i humusjorden, men selv i denne jord er efter 2 års forløb endnu

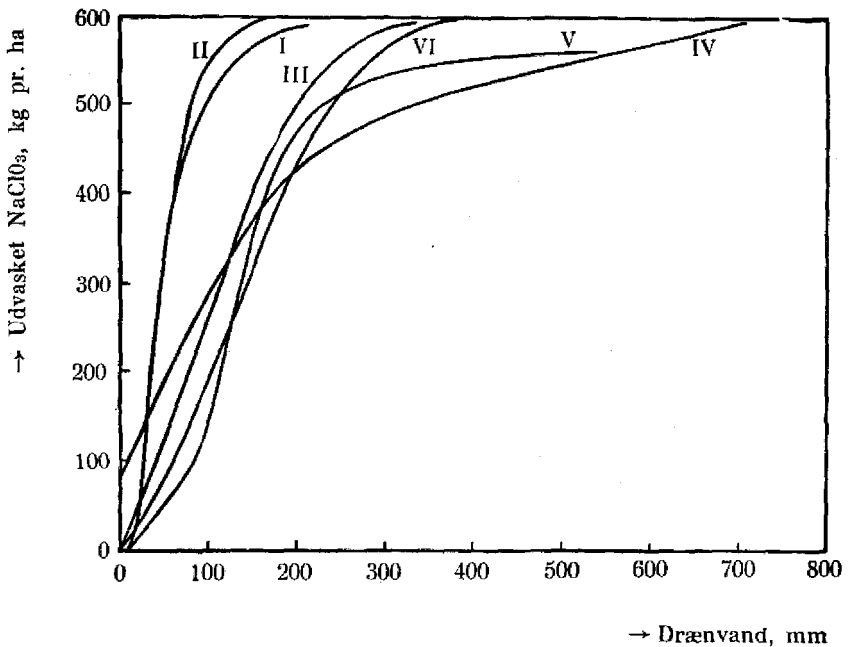


Fig. 2. Chloratudvaskning i karforsøg med 3 forskellige jorder tilsat chlorat svarende til 600 kg pr. ha.

- | | |
|-------------------------------------|--------------------------------------|
| I Sandjord, vanding 10 mm pr. gang. | II Sandjord, vanding 20 mm pr. gang. |
| III Lerjord, » » » » » | IV Lerjord, » » » » » |
| V Humusjord, » » » » » | VI Humusjord, » » » » » |

Tabel 3. Chloratudvaskning i karforsøg med 3 forskellige jorder tilsat chlorat svarende til 600 kg NaClO₃ pr. ha

Jordtype	Vanding 10 mm pr. gang		Vanding 20 mm pr. gang	
	opsamlet drænvand, mm	i drænvandet mg NaClO ₃	opsamlet drænvand, mm	i drænvandet mg NaClO ₃
Sandjord	8.6	5.8	16.1	10.6
	15.6	38.8	32.7	671.6
	24.1	357.3	50.9	1648.8
	33.4	886.3	69.9	2301.6
	40.1	1301.3	88.2	2607.6
	50.9	1657.3	107.3	2786.6
	60.1	1943.3	126.6	2920.8
	69.4	2139.3	145.5	2963.3
	78.6	2291.1	164.2	2985.5
	88.2	2416.9	183.5	2995.7
	98.2	2513.9	203.8	2999.7
	200.8	2945.0		
Lerjord	8.5	99.5	18.2	518.0
	15.1	182.0	34.4	758.0
	23.8	285.8	52.6	963.0
	32.6	383.0	71.4	1147.5
	41.4	489.7	89.8	1311.5
	50.6	610.2	109.0	1460.6
	59.1	736.3	127.2	1644.7
	67.8	871.3	144.6	1786.2
	77.4	941.9	163.6	1925.2
	86.6	1095.7	182.8	2046.5
	96.2	1276.9	203.0	2157.6
	201.8	2518.9	329.0	2439.6
	338.2	2972.9	455.0	2673.6
			579.0	2863.6
		707.0	2983.6	
Humusjord	9.3	25.3	17.1	149.0
	15.5	53.1	32.2	293.5
	23.3	93.3	50.0	437.7
	32.1	140.7	68.6	586.0
	40.7	193.5	87.4	748.5
	49.9	250.7	106.4	917.5
	59.4	319.2	112.4	1089.7
	68.8	375.6	140.8	1275.2
	77.7	437.4	162.6	1573.2
	87.3	526.8	181.4	1873.2
	97.1	636.5	202.4	2207.7
	207.1	2426.5	330.4	2963.7
	317.1	2701.5	375.4	3002.7
	427.1	2789.5		
537.1	2803.7			

næsten 30 pct. af den tilsatte chloratmængde tilbage. Karforsøgene giver da i hovedtrækkene samme billede som det foran omtalte laboratorieforsøg: at kun en ringe brøkdelen af chloratet

vil uskadeliggøres ved reduktion i løbet af det første år efter udbringningen.

Analysetallene fra udvaskningsforsøget er samlet i tabel 3 og resultaterne fremstillet grafisk i fig. 2. Heri er summen af chlorid og chlorat omregnet til kg NaClO_3 pr. ha opført som funktion af drænvandsmængderne udtrykt i mm. De opsamlede mængder var på grund af fordampning 5—10 pct. mindre end de tilførte.

Tallene og kurverne viser, at chlorat lettest vaskes ud fra sandjorden. En gennemsivning på 50 mm fjerner her mere end halvdelen af den tilførte mængde (600 kg pr. ha). Efter gennemsivning af 180 mm vand er denne jord vasket fuldstændig chloratfri til 40 cm's dybde.

I ler- og humusjord sker udvaskningen i langsommere tempo, og det synes, som om der her kræves en gennemsivning på mindst 300 mm, inden udvaskningen er nogenlunde fuldstændig. Udvasningen påvirkes for mineraljordernes vedkommende ikke synderligt af nedbørens fordeling, idet kurverne forløber nogenlunde ens, hvad enten vand tilføres i portioner på 10 eller 20 mm. Det er, som man måtte vente, alene drænvandsmængden, der har betydning i så henseende. — For humusjorden er de to kurver ikke helt sammenfaldende, men skærer hinanden i to punkter, (det sidste skyldes muligvis en enkelt analysefejl i serien for 10 mm nedbør). Udvasningen er her først fuldstændig efter gennemsivning af et vandlag på ca. 400 mm, d. v. s. et lag af samme tykkelse som det udvaskede jordlag.

Der blev, som foran nævnt, ved udvaskningsforsøgene tilført en chloratmængde svarende til 600 kg NaClO_3 pr. ha eller dobbelt så meget, som det tilrådes at anvende til ukrudtsbekæmpelse i praksis. Af kurverne fremgår det med tilnærmelse, hvilken drænvandsmængde der under de givne betingelser er medgået til at fjerne den anden halvdel af dette kvantum (300 kg). Det er for sandjordens vedkommende ca. 150 mm og for ler- og humusjordens vedkommende godt 200 mm.

På sandjord vil drænvandsmængden i vinterhalvåret her til lands almindeligvis overstige 200 mm. Der skulle på sådanne jorder derfor ikke være nævneværdig risiko for skadevirkning på den følgende sommers afgrøder ved chloratudstrøning om efteråret.

På vel afvandet, ikke for svær lerjord skulle drænvandsmængden også normalt være tilstrækkelig til at sikre fuldstændig udvaskning i vinterens løb. På svær lerjord er vandgennemsvivningen i vinterhalvåret mindre og sandsynligvis i mange tilfælde utilstrækkelig til at fjerne chloratet fra rodzonen og dermed udelukke giftvirkning det følgende år. — De slutninger, der kan drages på grundlag af udvaskningsforsøgets resultater stemmer med praktiske iagttagelser fra danske markforsøg med natriumchlorat til tidselbekæmpelse.

Dyrkningsforsøg på chloratbehandlet jord. Forsøget blev udført i nedgravede cementrør med et tværsnitsareal på 1/3 kvadratmeter indeholdende sandjord med 4 pct. humus. Det omfattede følgende led: Ubehandlet, chlorat svarende til 200, 400 og 600 kg NaClO₃ pr. ha tilført den 29. september 1946 samt 400 kg tilført den 19. november samme år. Chloratet udstrøedes oven på jorden, og for at følge udvaskningens forløb udtoges med mellemrum prøver af dennes øverste 25 cm i tiden 7. oktober 1946 til 21. marts 1947. I prøverne bestemtes chloratindholdet ved hjælp af den foran omtalte metode. Resultaterne af disse bestemmelser er samlet i tabel 4.

Tabel 4. Chloratindhold i de øverste 25 cm jord bestemt til forskellige tidspunkter

Chlorattilførsel		kg NaClO ₃ pr. ha til 25 cm's dybde			
Dato	kg NaClO ₃ pr. ha	7/10-46	26/10-46	20/11-46	21/3-47
20/9-46	200	107	75	14	0
»	400	312	120	19	0
»	600	514	212	58	0
19/11-46	400			(440)	Spor

Tallene viser, at chloratet hurtigt fjernes fra jordoverfladen. I løbet af oktober og november måned er ca. 90 pct. af det chlorat, som blev udstrøet den 29. september, forsvundet fra pløjelaget, og næste forår ved såtid indeholder dette ikke chlorat i påviselige mængder. I jorden, som tilførtes 400 kg NaClO₃ den 19. november, fandtes vel den 21. marts spor af chlorat, men ikke nok til kvantitativ bestemmelse.

Jorden i alle røer blev om foråret 1947 tilsået med byg. Spiringen og planternes udvikling i den første del af vækstperioden forløb normalt, men senere udviste de tydelige forgiftningssymptomer på alle de chloratbehandlede jorder. Afgrøderne var kendeligt skadet efter chloratudbringning i september. Skadevirkningen var størst efter største chloratmængde, men der var i intet tilfælde tale om misvækst. På jorden, som var tilført chlorat den 19. november blev bygafgrøden fuldstændig ødelagt, således som det fremgår af fig. 3.



Fig. 3. Eftervirkning af chlorattilførsel på byg i sommeren 1947

Til venstre	ubehandlet.
I midten	600 kg chlorat udstrøet 29/9-46.
Til højre	400 kg chlorat udstrøet 19/11-46.

Forgiftningen må skyldes tilstedeværelse af chlorat i planternes rodzone og er sandsynligvis fremkommet på den måde, at rødderne er trængt ned i et niveau, hvor chloratkonzentrationen har ligget over den kritiske grænse.

Efter høst i september 1947 undersøgte jorden for indhold af chlorat i forskellige dybder indtil 150 cm. Chlorat kunne da ikke påvises i de øverste 50 cm. I jordlaget fra 50 til 150 cm fandtes endnu chlorat, men i så små mængder at de ikke lod sig bestemme kvantitativt.

Natriumchlorat i mængder svarende til 200 kg pr. ha har altså i dette forsøg skadet det følgende års afgrøde kendeligt, endskønt den er dyrket på let gennemtrængelig sandjord med forholdsvis lav vandkapacitet, hvor man i henhold til de foran omtalte undersøgelser ikke skulle vente det. Det skyldes sikkert det pågældende års unormale vejrforhold med langvarig streng frost i vintermånederne og en varm, meget tør forsommer. Dræn-

vandsmængden har derfor været mindre end sædvanlig og utilstrækkelig til fuldstændig udvaskning af chloratet. En del af dette er blevet efterladt inden for planternes rodområde og har der fremkaldt den iagttagne skadevirkning.

SAMMENDRAG OG KONKLUSION

Chloraters giftvirkning i jordbunden vedvarer, så længe mængden af chlorationer pr. rumfangsenhed (chlorationkoncentrationen) i rodzonen overstiger en vis værdi. Chlorationkoncentrationen formindskes dér hurtigt som følge af 1) reduktion til chlorid og 2) udvaskning med det nedsivende regnvand.

Reduktionsprocessens hastighed vokser med temperaturen, med jordens indhold af let ilteligt organisk stof og ved mangelfuld iltadgang, der især gør sig gældende i svær, vandlidende jord. I vel afvandet og vel kultiveret, porøs agerjord forløber reduktionen derfor langsomt og vil ikke i vinterens løb alene kunne ophæve giftvirkningen af chlorat, som udstrøs på jorden om efteråret.

Udvaskningens hastighed vokser med drænvandsmængden, der er størst i nedbørsrige år på let gennemtrængelige jorder med lav vandkapacitet (sandjorder) og mindst i nedbørsfattige år på vanskeligt gennemtrængelige jorder med høj vandkapacitet (lerjorder).

Risikoen for skadevirkning på næste års afgrøde er af disse grunde størst på lerjord i år med lav efterårs- og vinternedbør og vokser med den tilførte chloratmængde. Under danske klimaforhold vil udvaskning i vinterhalvåret oftest fjerne muligheden for giftvirkning af chloratmængder på 200—300 kg pr. ha, så næste sommers afgrøde ikke skades deraf. I år med særlig lav efterårs- og vinternedbør er udvaskningen utilstrækkelig dertil, og afgrøden vil skades selv på sandjorder.

LITTERATUR

1. *Find Poulsen, J.*: Påvisning og Bestemmelse af Natriumklorat i Jord. Tidsskr. f. Planteavl. 1930. 237. Beretn.
2. *Tincker, M. A. H.*: Tests of Sodium Chlorate as a Garden Weed Killer. Journ. of the Roy. Horticult. Soc. Vol. 59, 1934, pg. 107.
3. *Schwanbom, Nils*: Försök med natriumklorat mot ogräs. Växtodling, Uppsala. Vol. 2, 1947, pg. 21.
4. *Widme, T.*: Forsök med natriumklorat I. Meldinger fra Norges Landbrukskole. Vol. 23, 1943, pg. 234.
5. *Åberg, Ewert*: Natriumklorat, vanlig träda och drillträda i kampen mot perenna ogräs. Växtodling, Uppsala. Vol. 2, 1947, pg. 13.
6. *Kristensen, M. K.*: 28. Beretn. om Planteavlsarbejdet i Jylland. 1928, pg. 397.
7. *Hulbert, H. W., J. D. Remsberg and H. L. Spence*: Controlling Perennial Weeds with Chlorates. Journ. of the Amer. Soc. of Agron. Vol. 22, 1930, pg. 423.
8. *Stapp, C. und W. Bucksteeg*: Untersuchungen über die Beeinflussbarkeit mikrobiologischer Vorgänge im Boden durch das Unkrautsbekämpfungsmittel Natriumchlorat. Zentralblatt für Bakteriologi etc. II Abt. Bd. 97, 1937—38, pg. 1.
9. *Ålander, Alfred*: Experiments on the Eradication of Canada Thistle, *Cirsium Arvense*, with Chlorates and other Herbicides. Journ. of Agric. Res. Vol. 36, 1928, pg. 915.
10. *Harper, Horace J.*: The Use of Sodium Chlorate in the Control of Johnson Grass. Journ. of the Amer. Soc. of Agron. Vol. 22, 1930, pg. 417.
11. *Bowser, W. E. and J. D. Newton*: Decomposition and Movement of Herbicides in Soils, and Effects on Soil Mikrobiological Activity and Subsequent Crop Growth. Canad. Journ. of Res. Vol. 8, 1933, pg. 73.
12. *Wiklander, L.*: Natriumkloratets inverkan på groningen och faktorer, som påverka dess giftighet. Växtodling, Uppsala. Vol. 2, 1947, pg. 31.
13. *Güntelberg, E.*: Studier over Elektrolytaktivitet i vandige Opløsninger. Disputats. København 1938, pg. 85.