

Indflydelse af jorddesinfektion med methylbromid på indholdet af bromid i jord og planter

Influence of soil fumigation with methyl bromide on bromide content in soil and in lettuce grown in the soil

Arne Helweg og Asger Nøhr Rasmussen

Resumé

Jord har ofte et naturligt indhold af bromid på mellem 5 og 10 mg pr. kg, størst i de øverste ca. 40 cm. Det er dog kun en lille del af dette bromid (under 0,4–0,6 mg pr. kg jord), som er umiddelbart ekstraherbart med vand. Planter kan optage bromid fra jorden og vil ofte have et naturligt indhold af bromid på mellem 0,2 og 2 mg bromid pr. kg friskvægt.

Efter behandling af jord med methylbromid bliver noget af midlet fjernet ved fordampning under og efter behandling, desuden kan methylbromid spaltes i jord og forøge jordens indhold af vandopløseligt bromid væsentligt. Fra et baggrundsindhold på under 0,6 mg pr. kg jord kan indholdet af vandopløseligt bromid stige til 20–40 mg pr. kg i jord efter behandling med methylbromid.

Der kan ofte gå mere end et år fra en behandling med methylbromid, før indholdet af bromid i jorden igen er nede på det naturlige indhold. Både danske og udenlandske forsøg viser dog, at en meget kraftig udvaskning af det øverste jordlag (400 mm nedbør) kan nedsætte bromidindholdet i jorden væsentligt.

Behandlingen med methylbromid medfører også en kraftig stigning i bromidindholdet i en efterfølgende afgrøde, op til flere hundrede mg bromid pr. kg plante. Indholdet er normalt større i blade end i frugter og større i ældre end i yngre blade.

Salat må betragtes som en af de afgrøder, hvor risikoen for højt bromidindhold i den spiselige del af planten er størst, idet det her er bladene, man bruger. Danske undersøgelser viser, at dyrkes salat i jord behandlet med methylbromid, kan bromidindholdet forøges fra baggrundsværdier på 1 til 8 mg pr. kg helt op til 450 mg pr. kg. Udvasning af jorden med 400 mm vand efter behandlingen vil i de fleste tilfælde nedsætte indholdet af bromid i salaten til under 30 mg pr. kg.

De danske undersøgelser tyder på en sammenhæng mellem jordens indhold af vandopløseligt bromid ved plantning og salatens bromidindhold ved høst. Når der ikke kunne påvises vandopløseligt bromid i jorden (under 0,3 mg pr. kg i alle dybder ned til 90 cm), var indholdet af bromid i 10 salatprøver dyrket i jordene mellem 0,9 og 8,2 mg pr. kg, mens 1 prøve indeholdt 24 mg pr. kg (total gennemsnit i salat $5,1 \pm 6,4$). Var der mellem 0,3 og 4 mg vandopløseligt bromid pr. kg jord, var indholdet i 10 planteprøver mellem 2,9 og 13,9 mg pr. kg. 1 prøve indeholdt 29,7 mg pr. kg (totalgennemsnit i salat $10,6 \pm 7,3$). Når bromidindholdet i jorden var over 5 mg pr. kg, blev der i 5 salatprøver fundet bromidrester på mellem 54 og 453 mg pr. kg.

Den sammenhæng, som er fundet i forsøgene, viser, at hvis den maksimale grænseværdi i salat sættes til 30 mg pr. kg, bør der ikke dyrkes salat i jord med et indhold af vandopløseligt bromid på over 4 mg pr. kg i de øverste 90 cm.

Nøgleord: Methylbromid, vandopløseligt bromid, total bromid, jord, salat, udvaskning.

Summary

Soil in three green houses was treated with methyl bromide (MeBr), 100 g per m² according to normal practice. This treatment increased the fraction of bromide which could immediately be extracted from the soil with water from below limit of detection (0.3 mg/kg) in untreated soil up to about 50 mg/kg in the 0–30 cm soil layer. Leaching with about 400 mm of water caused an immediate reduction in the concentration of soluble bromide in the top soil layer.

Due to the increased concentration of water soluble bromide in MeBr-treated soil, the treatment with MeBr also increased the bromide concentration in crops grown in the soil. The concentration of bromide in lettuce thus increased from background levels of 1 to 8 mg/kg when grown in untreated soil up to 450 mg/kg when grown in soil treated with MeBr. Leaching of the soil with 400 mm of water usually decreased the bromide content in lettuce grown in the soil to below 30 mg/kg.

The higher the content of water soluble bromide in soil was at time of planting the higher the content of total bromide in plants was at time of harvest.

When the concentration of water soluble bromide in soil was below limit of detection (0.3 mg/kg) in all soil depths (0–30, 30–60 and 60–90 cm) the concentration of bromide in 10 samples of lettuce was below 8 mg/kg (one sample contained 24 mg/kg). Between limit of detection and 4 mg/kg of water soluble bromide in soil resulted in total bromide contents in 10 lettuce samples between 2.9 and 13.9 mg/kg (one sample contained 29.7 mg/kg). In five soil samples the content of water soluble bromide was above 5 mg/kg at time of planting, total bromide residues in lettuce grown in these soils was between 50 and 450 mg/kg at time of harvest.

The results thus indicate, that if the residues of bromide in lettuce shall not exceed 30 mg/kg, lettuce shall not be grown in soil containing residues of water soluble bromide above 4 mg/kg.

Key words: Methyl bromide, water soluble bromide, soil, lettuce, leaching.

Indledning

Anvendelsen af methylbromid (i det følgende kaldt MeBr) til jorddesinfektion hænger sammen med midlets gode virkning mod både insekter, nematoder, svampe og ukrudtsfrø. MeBr er yderligere ret let at tilføre, og fordi dampene er mere end 3 gange så tunge som luft, har det en god nedtrængningsevne i jorden.

MeBr er meget giftigt, og sammenlignet med de øvrige midler til jorddesinfektion medfører det yderligere det problem, at midlet i jorden efterlader bromid, som kan optages i den efterfølgende afgrøde. Både giftigheden af MeBr og forekomsten af bromidrester i afgrøden har medført en diskussion af anvendelsen af MeBr. Med ud-

gangspunkt i den sidstnævnte problemstilling beskrives MeBr's spaltning i jord, fjernelsen af bromid fra jorden og indholdet af bromid i planterne. Resultaterne stammer fra både danske og udenlandske undersøgelser.

Beskrivelse af danske forsøg

De danske forsøg er udført i væksthuse i 3 gartnerier, hvor der dyrkes salat. Forsøgene benævnes 218, 219 og 220. Jorden er behandlet med 100 g MeBr pr. m² i overensstemmelse med almindelig praksis. Jordprøver er udtaget i 0–30, 30–60 og 60–90 cm's dybde før plantning af 1. hold salat og ved høst af 1., 2. og 3. hold. Jordens sammensætning fremgår af tabel 1. Prøver til analysering for

Tabel 1. Jordens sammensætning i 0–30, 30–60 og 60–90 cm dybde.
 Table 1. *Texture and humus content of soil in the layers 0–30, 30–60 and 60–90 cm*

Jord nr.	Dybde	% ler	% silt	% finsand	% grovsand	% humus
218	0–30	5,4	7,9	39,3	42,8	4,6
	30–60	6,1	7,9	39,7	44,5	1,8
	60–90	5,3	5,9	34,2	53,2	1,4
219	0–30	9,8	11,6	42,7	33,0	2,9
	30–60	10,2	10,5	43,5	34,0	1,8
	60–90	11,0	10,4	41,7	35,6	1,3
220	0–30	8,4	11,2	42,2	35,2	2,0
	30–60	8,5	11,4	42,3	36,3	1,5
	60–90	8,7	9,5	42,6	38,0	1,2

indhold af bromid i salat er udtaget på høsttidspunktet.

Analysering for indhold af vandopløseligt bromid er foretaget ved 10 minutters ekstraktion af lufttørrede, sigtede jordprøver med vand (1:1, w/v). Efter centrifugering og filtrering måles bromidkoncentrationen i det vandige ekstrakt med bromidfølsom elektrode (*Onken et al.*, 1975). Ekstrahering med den tredobbelte vandmængde i 3 timer, som beskrevet af *Lepschy et al.* (1979), gav ikke højere værdier for indhold af vandopløseligt bromid. Det totale indhold af bromid i jord og i planter er målt på foraskede prøver, idet bromid i den foraskede prøve iltes til hypobromit af chloramin, ved tilsætning af phenolrødt dannes bromphenolblåt, hvis koncentration bestemmes spektrofotometrisk (*Kretzmann & Engst*, 1968).

Nedbrydning af MeBr

Jordbehandling med MeBr foregår over et par dage hvor jorden er dækket med plastfolie. Både under behandlingen og ved den efterfølgende udluftning fjernes en del MeBr ved fordampning, mens en anden del af det tilførte bliver spaltet i jorden. *Daelemanns* (1978) beregnede, at ved tilførsel af mellem 50 og 100 g MeBr pr. m² forsvandt mellem 70 og 90% af det tilførte ved fordampning. *Daelemanns* fandt yderligere, at mellem 6 og 14% af jordens indhold af MeBr blev nedbrudt pr. dag ved 20°C.

Fig. 1 viser, hvordan indholdet af uomdannet MeBr i forskellige dybder faldt, når plastdækket

fjernes efter 2 døgn behandling med 50 g MeBr pr. m² (*Lepschy et al.* 1979). Efter de 2 døgn behandling var der i hele jordprofilen (0–80 cm) ca. 13% af det tilførte MeBr tilbage i uomdannet form.

Figuren viser, at efter 7 dages forløb kunne MeBr ikke længere spores i det underste jordlag og efter 12 dage var det næsten helt forsvundet i alle jordlag. I jord med højere indhold af organisk stof varede det 3 uger, før indholdet af MeBr var faldet til under påvisningsgrænsen (0,1 mg MeBr pr. kg jord).

Forsøget blev udført i 5 forskellige jordtyper, og undtagen i ét tilfælde med en meget hård undergrund fandt man MeBr helt ned i 80 cm's dybde efter de 2 døgn behandling. Størstedelen befandt sig dog i de øverste 20 cm, og forfatterne regnede ikke med, at mere end nogle få % af det tilførte MeBr vil trænge dybere ned end 80 cm. De anså derfor risikoen for forurening af grundvandet med større mængder MeBr for at være ringe.

Wegman et al. (1981) fandt dog MeBr i drænvandet fra drivhuse behandlet med 70 g MeBr pr. m². Ved udvaskning 7 dage efter behandling blev der i løbet af ca. et døgn efter udvaskningens start fundet mellem 5 og 10 g MeBr pr. m³ i afløbsvandet. Den højeste koncentration var stor nok til at forårsage fiskedød i bassiner rundt om et af de undersøgte drivhuse.

Som nævnt kan MeBr spaltes i jorden. Spaltningen sker sandsynligvis på den måde, at metylgruppen bindes til forskellige organiske for-

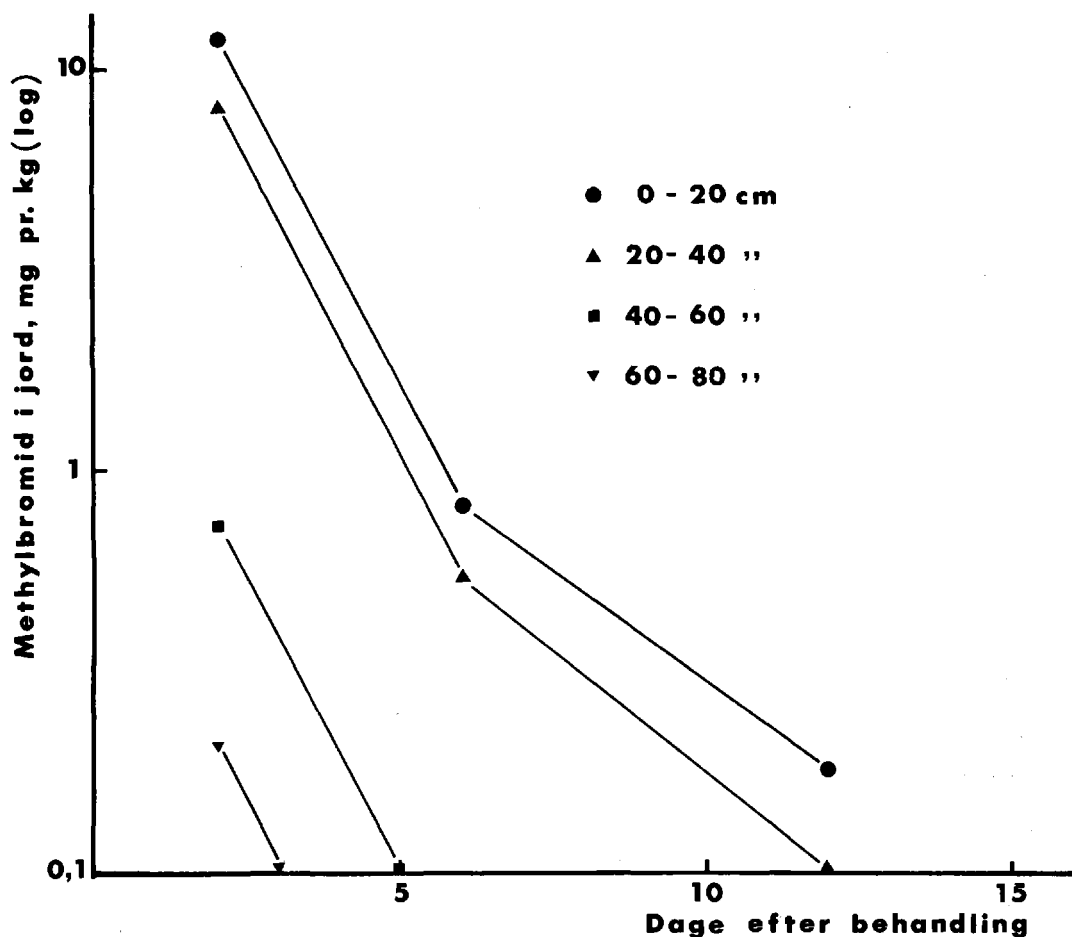


Fig. 1. Koncentration af methylbromid i jord efter behandling 2 døgn med 50 g methylbromid pr. m². Prøver udtaget i 0-20, 20-40, 40-60 og 60-80 cm dybde. (Efter *Lepschy et al.* 1979).
Concentration of methyl bromide in soil after treatment for 2 days with methyl bromide (50 g/m²). Samples were taken in 0-20, 20-40, 40-60, and 60-80 cm. (Lepschy et al., 1979)

bindelser i jorden, og ved hydrolyse frigøres uorganisk bromid og methanol (*Maw & Kempton*, 1973; *Wegman et al.*, 1981).

Jordens indhold af organisk stof er af betydning for hvor meget bromid, der bliver frigjort i jord behandlet med MeBr. *Brown og Jenkinson* (1971) viste således, at i jord med 2,8% organisk kulstof blev der fra samme mængde MeBr frigjort mellem 2 og 3 gange så meget bromid som i jord med kun 0,9% organisk kulstof. En tilsvarende sammenhæng mellem jordens indhold af organisk stof og dens evne til at spalte MeBr er fundet af *Lepschy*

et al. (1979). Der sker næsten ingen spaltning af MeBr i kunstige væksts substrater som Styromull, Hygromull og Peralit (*Malkomes*, 1971).

De danske undersøgelser viste ikke stigende forekomst af vandopløseligt bromid med stigende indhold af organisk stof i jorden. Måske fordi behandlingsmetoden i de 3 forsøg ikke har været helt ens, og fordi forskellen i jordenes indhold af organisk stof er relativ lille.

Jordens temperatur og dens indhold af vand kan også have betydning for, hvor meget MeBr, der spaltes i jorden. Eksempelvis er der ofte stør-

re bromiddannelse i jord ved 20 end ved 10°C, og der kan i nogle tilfælde frigøres mere bromid i tør end i fugtig jord (*Malkomes, 1971*).

Bromid i jord

Jord har ofte et naturligt indhold af totalt bromid på mellem 5 og 10 mg pr. kg (størst i det øverste jordlag). I 4 jordtyper fandt *Lepschy et al. (1979)* henholdsvis 6,1, 7,9, 9,8 og 42 mg totalt bromid pr. kg. Det sidstnævnte indhold blev betragtet som usædvanligt højt.

Kun en meget lille del af det totale bromid er umiddelbart opløseligt i vand og derved let tilgængeligt for planterne. I de øverste 0–20 cm fandt *Lepschy et al. (1979)* således henholdsvis 0,1, 0,3, 0,5 og 0,6 mg vandopløseligt bromid pr. kg.

Ved undersøgelserne af jord fra 3 danske gartnerier blev der ikke fundet påviseligt indhold af vandopløseligt bromid i ubehandlet jord (påvisningsgrænse 0,3 mg pr. kg), mens jordens totale indhold af bromid, som blev målt i 2 af gartnerierne, var henholdsvis 6,2 og 9,4 mg pr. kg i ubehandlede jordprøver i de øverste 0–30 cm. I jordprøver fra nogle danske forsøgsstationer (Askov, Jydeved, Roskilde og Tylstrup) blev der fundet totalt indhold af bromid mellem 5 og 10 mg pr. kg undtagen i et tilfælde (Jydeved 20–50 cm), hvor der var 25 mg pr. kg. Indholdet af vandopløseligt bromid var mellem 0,3 og 2 mg pr. kg. Resultaterne af de danske undersøgelser synes altså at være sammenlignelige med resultaterne af *Lepschy et al. (1979)*.

Ved behandling med MeBr stiger totalindholdet af bromid i jorden kraftigt. *Lepschy et al. (1979)* fandt således i 3 jordtyper en stigning fra 5–10 mg pr. kg til 20–40 mg pr. kg efter behandling med 50 g MeBr pr. m². I en fjerde jord med højt oprindeligt indhold af bromid (42 mg pr. kg) steg koncentrationen efter behandling helt op til ca. 200 mg pr. kg i de øverste 20 cm.

Størstedelen af det bromid, som tilføres jorden med MeBr, findes sandsynligvis som vandopløseligt bromid kort tid efter behandling pga. MeBr's spaltning. *Lepschy et al. (1979)* fandt således, at 3 uger efter behandling med 50 g MeBr pr. m² var indholdet af vandopløseligt bromid i 4

jordtyper steget fra henholdsvis 0,1, 0,3, 0,5 og 0,6 mg pr. kg til 9,4, 0,9, 15,6 og 86 mg pr. kg i de øverste 20 cm.

I den danske undersøgelse fandtes, at en uge efter behandling med 100 g MeBr pr. m² var indholdet af vandopløseligt bromid i de øverste 30 cm steget fra under 0,3 mg pr. kg op til henholdsvis 11, 55 og 0,8 mg pr. kg i jord 218, 219 og 220. Gennemsnitsindholdet fra 0 til 90 cm's dybde steg fra under påvisningsgrænsen til henholdsvis 8, 26 og 2 mg pr. kg. Tabel 2 viser som eksempel indholdet af vandopløseligt bromid i ubehandlet jord og i en jord behandlet 8 dage tidligere med 100 g MeBr pr. m² målt i 0–30, 30–60 og 60–90 cm's dybde (jord 219).

Tabel 2. Vandopløseligt bromid (mg pr. kg) i ubehandlet jord og jord behandlet 8 dage tidligere med 100 g methylbromid pr. m², ikke udvasket. (IP: ikke påviselig, under 0,3 mg bromid pr. kg jord). (Danske forsøg i jord nr. 219)

Table 2. Concentration of water soluble bromide (mg/kg) in untreated soil and in soil treated 8 days previously with methyl bromide (100 g/m²).

IP: below limit of detection, 0.3 mg/kg

	Mg bromid pr. kg		
Jorddybde	0–30	30–60	60–90
Ubehandlet	IP	IP	IP
100 g MeBr pr. m ²	55,0	15,0	8,6

Behandling af et jordlag på 90 cm med 100 g MeBr pr. m² kan teoretisk medføre, at der efterlades 78 mg bromid pr. kg jord, under forudsætning af, at der ikke fordamper noget MeBr, og forudsat hele den tilsatte mængde MeBr spaltes.

Fjernelse af bromid fra jorden

Indholdet af vandopløseligt bromid aftager gradvis, men vil i nogle tilfælde være over baggrundsniveauet i op til ét år (*Lepschy et al., 1979*). Fjernelsen af det vandopløselige bromid kan ske ved optagelse i plantevæksten, ved udvaskning eller ved fastlæggelse i jorden. Tabel 3 viser fra danske forsøg, hvordan indholdet af vandopløseligt bromid falder med tiden, således at gennemsnitsindholdet i 0–90 cm's dybde i jord 219 er faldet fra 26 mg pr. kg 8 dage efter behandling til 4 mg pr. kg

Tabel 3. Vandopløseligt bromid (mg pr. kg) i jord behandlet med 100 g methylbromid pr. m² (IP: ikke påviselig, under 0,3 mg bromid pr. kg jord). (Danske forsøg i jord nr. 219)

Table 3. Concentration of water soluble bromide before treatment and 8, 42, 77 and 130 days after treatment of soil with methyl bromide (100 g per m²)
IP: below limit of detection, 0.3 mg/kg

Før behandling				
Jorddybde (cm)	0-30	30-60	60-90	
mg bromid pr. kg	IP	IP	IP	
gennemsnit (0-90 cm)				IP
8 dage efter behandling				
Jorddybde (cm)	0-30	30-60	60-90	
mg bromid pr. kg	55,0	15,0	8,6	
gennemsnit (0-90 cm)				26,2
42 dage efter behandling (efter 1 hold salat)				
Jorddybde (cm)	0-30	30-60	60-90	
mg bromid pr. kg	6,2	16,5	12,0	
gennemsnit (0-90 cm)				11,6
77 dage efter behandling (efter 2 hold salat)				
Jorddybde (cm)	0-30	30-60	60-90	
mg bromid pr. kg	2,6	7,2	8,2	
gennemsnit (0-90 cm)				6,0
130 dage efter behandling (efter 3 hold salat)				
Jorddybde (cm)	0-30	30-60	60-90	
mg bromid pr. kg	0,4	4,3	7,2	
gennemsnit (0-90 cm)				4,0

efter 130 dages forløb. Jorden var ikke udvasket, men dyrket med 3 hold salat, plantet 8, 42 og 77 dage efter behandling. Tabellen tyder yderligere på, at der sker en gradvis nedsivning af bromid, således at indholdet fra at være størst i de øverste jordlag lige efter behandling, efter 130 dages forløb er størst i 60-90 cm's dybde.

I mange tilfælde kan man ikke vente på den naturlige fjernelse af det vandopløselige bromid, men må vaske det ud af jorden for at undgå for stor optagelse af bromid i planterne. Der skal bruges ret store vandmængder til denne udvaskning. Wegman *et al.* (1981) angiver, at der skal udvaskes med 300-600 mm vand for at fjerne bromidionen fra planternes rodzone.

Tabel 4 viser indholdet af vandopløseligt bromid i jord 219 8 dage efter behandling med 100 g

Tabel 4. Fjernelse af vandopløseligt bromid ved udvaskning af jord behandlet med 100 g methylbromid pr. m². (Danske forsøg i jord nr. 219)

Table 4. Removal of water soluble bromide from soil treated with methyl bromide (100 g per m²) by leaching with 0, 270 and 270 + 130 mm of water

	Mg bromid pr. kg		
	0-30	30-60	60-90
Jorddybde (cm)			
Uden udvaskning	55,0	15,0	8,6
Udvasket med 270 mm	5,9	6,0	3,4
Udvasket med 270 mm + yderligere 130 mm	2,1	4,5	3,2

MeBr pr. m². Jordprøver er udtaget af jord, der er henholdsvis uden udvaskning, er udvasket med 270 mm og er udvasket med 270 mm plus yderligere 130 mm. Resultatet viser, at der skal store vandmængder til, før bromidet er helt fjernet. Selv i jorden udvasket med i alt 400 mm vand er koncentrationen af vandopløseligt bromid ikke nede på det naturlige indhold (under 0,3 mg pr. kg).

Optagelse af bromid i planter

Behandling med MeBr vil som nævnt forøge indholdet af vandopløseligt bromid i jorden og vil dermed forøge planternes mulighed for at optage bromid. Indholdet af bromid i planter vil normalt ligge omkring nogle få mg bromid pr. kg friskvægt af plante. Dette indhold stammer fra optagelse af jordens naturlige indhold af bromid. Hvis planter dyrkes i jord, som har været behandlet med MeBr, kan bromidindholdet stige til flere hundrede mg bromid pr. kg. Tabel 5 viser som eksempel, hvor meget én behandling med 75 g MeBr pr. m² kan forøge indholdet af bromid i tomat, agurk, salat og selleri. Jorden er udluftet 4 dage før plantning, og der er ikke foretaget udvaskning (Stärk & Süß, 1974).

Undersøgelsen viser, at indholdet er væsentligt større i blade end i frugter, og specielt gamle blade har højt indhold. I salat blev under 10% af bromidet fundet i hovedets centrale dele, som udgjorde 25% af plantens vægt, mens 60-85% af bromidet blev fundet i de yderste 12 blade. Tilsvarende resultater angives af Kempton og Maw (1972).

Tabel 5. Bromindhold i planter dyrket på friland i ubehandlet jord og i jord behandlet med 75 g methylbromid pr. m² (Stärk & Süss, 1974)

Table 5. Concentration of bromide in plants grown in untreated soil and in soil treated with methyl bromide (Stärk & Süss, 1974)

		Indhold af bromid (mg pr. kg friskvægt)	
		Naturlig baggrund	Planter dyrket i behandlet jord (75 g/m ²)
Tomat	frugter	0,6	117
	blade	–	1300
Agurk	frugter	0,6	113
	blade	–	980
Salat	blade	1,0	416
Selleri	rødder	2,0	45
	blade	–	1208

Grunden til, at bromid særligt findes i bladene, og i størst mængde i de ældste, er, at det følger planternes vandoptagelse og derfor ophobes i bladene, hvor den største vandomsætning foregår.

I den danske undersøgelse af bromidoptagelse i salat blev tilsvarende fundet, at efter behandling med 100 g MeBr pr. m² var indholdet af bromid i det første hold salat henholdsvis 30, 385 og 453 mg pr. kg i 3 forskellige forsøg (forsøg 220, 218 og 219), hvor jorden ikke var udvasket. Optagelsen af bromid i planterne vil falde, efterhånden som jordens indhold af vandopløseligt bromid aftager (se tabel 3), men ofte vil der gå op til 2 år før bromidindholdet i planter dyrket i tidligere MeBr-behandlet jord er på linie med indholdet i

planter dyrket i ubehandlet jord (Stärk & Süss, 1974).

Optagelsen af bromid i planterne kan som tidligere nævnt nedsættes ved at udvaske jorden. Tabel 6 viser bromidindholdet i salat i en dansk undersøgelse (jord 218), hvor indholdet af bromid i salat er målt i 1., 2. og 3. hold dyrket henholdsvis i ubehandlet jord, i jord behandlet med 100 g MeBr pr. m² (ikke udvasket) og i jord behandlet med samme mængde MeBr men udvasket med 400 mm vand efter behandling. Tabellen viser klart, at udvaskningen har nedsat bromidindholdet i salaten væsentligt, selv om indholdet ikke er helt så lavt som i den salat, der er dyrket i ubehandlet jord.

Tabel 6. Total bromidindhold i salat dyrket henholdsvis i ubehandlet jord, i jord behandlet med 100 g methylbromid pr. m² (ikke udvasket) og i jord behandlet med 100 g methylbromid pr. m² og udvasket med 400 mm vand 8 dage efter behandling. (Danske forsøg i jord nr. 218). (K. Orbæk, upublicerede resultater, Statens Levnedsmiddelinstitut)

Table 6. Concentration of total bromide in lettuce grown in untreated soil and in soil treated with methyl bromide (100 g/m²) without and with leaching of the soil with 400 mm of water

	Bromidindhold i salat (mg pr. kg friskvægt)		
	1. hold salat (31 dage efter behdl.)	2. hold salat (66 dage efter behdl.)	3. hold salat (99 dage efter behdl.)
Ubehandlet	6,0	1,8	1,9
+ 100 g methylbromid pr. m ² (Ikke udvasket)	385	123	13,9
+ 100 g methylbromid pr. m ² (udvasket med 400 mm)	24,2	12,3	5,5

Sammenhæng mellem bromid i jord og planter

De viste eksempler har demonstreret, at ved højt indhold af vandopløseligt bromid i jorden vil der også være stor optagelse af bromid i planterne.

Tilsvarende har *Kempton og Maw* (1972) fundet, at når de tilførte jordprøver stigende mængder bromid (som KBr), fik salatplanter dyrket i jorden et stigende bromidindhold. Optagelsen af bromid kan dog blive påvirket af jordens indhold af andre ioner. *Van Wambeke et al.* (1974) viste således, at ved stigende indhold af Cl^- eller NO_3^- i jorden faldt optagelsen af Br^- i salat og radis.

Det ville være af betydning for den praktiske anvendelse af MeBr, hvis man ud fra en analyse af jordens indhold af vandopløseligt bromid kunne forudsige, hvilket indhold man kan vente at finde i afgrøder dyrket i den pågældende jord. Tabel 7 viser hvilken sammenhæng, der blev fundet mellem indholdet af vandopløseligt bromid i jord før plantning og salatens indhold af bromid på høsttidspunktet i forsøg i de 3 danske gartnerier (jord 218, 219 og 220). Jord og planteprøver er analyseret fra 3 salatkulturer i hvert gartneri.

I 11 tilfælde var indholdet af vandopløseligt bromid i alle dybder under påvisningsgrænsen (0,3 mg pr. kg). Bromidindholdet i salat dyrket i disse jorde var for 10 prøvers vedkommende mellem 0,9 og 8,2 mg pr. kg, mens der i den sidste salatprøve blev fundet 24,2 mg pr. kg (gennemsnit $5,1 \pm 6,4$). I andre 11 jordprøver var indholdet over påvisningsgrænsen i mindst en af jorddybderne, men som gennemsnit fra 0–90 cm under 4 mg pr. kg. I salatprøver fra 10 af disse jorder var

indholdet af bromid mellem 2,9 og 13,9 mg pr. kg, mens den sidste prøve indeholdt 29,7 mg pr. kg (gennemsnit $10,6 \pm 7,3$). Endelig blev der i 5 jorder fundet rester af vandopløseligt bromid på over 5 mg pr. kg (gennemsnit fra 0–90 cm). Salat dyrket i disse jorde indeholdt mellem 54 og 453 mg bromid pr. kg.

Det synes altså muligt ud fra analyser af jordens indhold af vandopløseligt bromid, at give et skøn over hvilket bromidindhold, der kan forventes i en kommende salatkultur, idet bromidindholdet i salat med ret stor sikkerhed vil holde sig under 30 mg pr. kg, hvis jordens indhold af vandopløseligt bromid er under 4 mg pr. kg. 30 mg pr. kg er den maksimale grænseværdi for indhold af uorganisk bromid i salat i Sverige og Finland, mens Tyskland angiver en værdi på 50 mg pr. kg i salat. Først ved et bromidindhold i jorden på over 5 mg pr. kg overskred bromidindholdet i salaten disse grænseværdier.

Kempton og Maw (1972 og 1973) har som nævnt også vist, at der er sammenhæng mellem jordens indhold af uorganisk bromid og koncentrationen af bromid i salat og tomater dyrket i jorden. I deres forsøg blev bromid tilsat som KBr og i koncentrationer mellem 5 og 60 mg bromid pr. kg jord, blev der fundet retlinet sammenhæng mellem den mængde bromid, der var sat til jorden, og den koncentration af bromid, der blev fundet i salat og tomater dyrket i jorden.

Kempton og Maw (1972) fandt, at et indhold af bromid fra KBr i jorden på 5 mg pr. kg medførte en bromidkoncentration i salaten på mellem 1000

Tabel 7. Koncentration af vandopløseligt bromid i jord (gns. af 0–30, 30–60 og 60–90 cm dybde) og de tilsvarende indhold af totalt bromid i salat dyrket i jorden. Prøverne er fra 3 danske forsøg og omfatter både ubehandlede jorder og jorder behandlet med 100 g methylbromid pr. m², med og uden udvaskning. Jordprøver er udtaget før plantning og salatprøver ved høst af 1., 2. og 3. hold salat

Table 7. Concentration of water soluble bromide in soil (mean of 0–30, 30–60 and 60–90 cm) and the corresponding concentrations of total bromide in lettuce grown in the soil. The samples are from three danish experiments and include both untreated soil and soil treated with methyl bromide (100 g per m²) leached and not leached. Soil was analyzed before planting and lettuce at time of harvest

Vandopløseligt bromid i jord (mg/kg)	Bromid i salat (mg/kg)	Antal prøver
<0,3	0,9 – 24,2 gns. 5,1	11
0,3 – 4 gns. 1,4	2,9 – 29,7 gns. 10,6	11
5 – 26 gns. 11,5	54 – 453 gns. 215	5

og 2000 mg pr. kg, mens 15 mg bromid pr. kg jord medførte akkumulering af 3000–4000 mg bromid pr. kg salat.

En koncentration på 5 og 15 mg bromid pr. kg jord gav altså en noget større akkumulering i salaten i *Kempton* og *Maw*'s forsøg end ved de tilsvarende bromidkoncentrationer i jorden i de danske forsøg. Årsagen til denne forskel kan være, at *Kempton* og *Maw*'s forsøg er udført i potter, hvor salaten har brugt det tilgængelige vand op adskillige gange i løbet af vækstperioden og dermed har optaget størstedelen af det tilgængelige bromid.

Bromidskade på planter

Nogle skader på planter dyrket i jord behandlet med MeBr kan tilskrives en giftvirkning af bromid. Nelliker har vist sig særlig følsomme og ved tilsætning af et bromidsalt til jord har man vist, at planterne kan skades af indhold så lave som 5–10 mg bromid pr. kg jord.

Bromidskaderne kan være op til 4 uger om at opstå og viser sig normalt ved, at de øverste blade og skud visner eller får nekrotiske pletter.

Erkendtlighed:

Forfatterne takker entreprenør *Bent Rasmussen* for hjælp ved forsøgenes udførelse og laboranterne *Marianne Bach* og *Ella Ancher Svensson* for udførelsen af bromidanalyser i jord. Desuden takkes cand. pharm. *Kirsten Orbæk* for analyseringen af bromid i salat og både afdelingsbestyrer *Jens Jensen*, afdelingsforstanderne *Knud Voldum Clausen* og *Ernst Nøddegaard* og cand. pharm. *Kirsten Orbæk* takkes for værdifulde kommentarer til manuskriptet.

Litteratur

Brown, A. & Jenkinson, D. S. (1971): Bromine in wheat grown soil fumigated with methyl bromide. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 2, 45–54.

- Daelemans, A.* (1978): Het gedrag van methylbromide in de boden en opname van bromide uit ontsmette groden. Thesis, Kath. Univ., Leuven. (From *Wegman et al.*, 1981).
- Kempton, R. J. & Maw, G. A.* (1971): The behaviour of methyl bromide in plants and soils. *Rep. Glasshouse Crops. Res. Inst.* 1970, 84–87.
- Kempton, R. J. & Maw, G. A.* (1972): Soil fumigation with methyl bromide: bromide accumulation by lettuce plants. *Ann. appl. Biol.* 72, 71–79.
- Kempton, R. J. & Maw, G. A.* (1972): Soil fumigation with methyl bromide: the uptake and distribution of inorganic bromide in tomato plants. *Ann. appl. Biol.* 74, 91–98.
- Kretzschmann, F. & Engst, R.* (1968): Zur photometrischen Bromid bestimmung in methylbromidbehandelten Nahrung- und Futtermitteln. *Die Nahrung*, 12, 135–136.
- Lepschy, J., Stärk, H. & Süß, A.* (1979): Verhalten von Methylbromid (Terabol) im Boden. *Gartenbauwissenschaft* 44, 2, 84–89.
- Malkomes, H. P. von* (1971): Untersuchung verschiedener Einflüsse auf die Zersetzung von Methylbromid (Terabol) bei Begasung von Boden und Pflanzsubstraten. *Z. Pfl. Krankh., Pfl. Schutz.* 78, 464–476.
- Martin, J. P.* (1972): Side effects of organic chemicals on soil properties and plant growth in »Organic Chemicals in the Soil Environment« vol. 2, 733–792. Marcel Dekker, Inc. New York.
- Maw, G. A. & Kempton, R. J.* (1973): Methyl bromide as a soil fumigant. *Soils and Fertilizers* 36, 41–47.
- Onken, A. B. Hargrove, R. S., Wendt, C. W. & Vilke, O. C.* (1975): The use of a specific ion electrode for determination of bromide in soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 39, 1223–1225.
- Stärk, K. & Süß, A.* (1974): Bromine content of vegetables and its accumulation after soil fumigation with methyl bromide, using neutron activation analysis. *Comparative Studies of Food and Environmental Contamination, International Atomic Energy Agency, Vienna*, 417–428.
- Van Wambeke, E., Vanachter, A. & Van Assche, C.* (1974): Some factors affecting bromide residues in soil and plant. *Mededel. Fak. Landbouwwet., Gent*, 39, 1311–1324.
- Wegman, R. C. C., Greve, P. A., De Heer, H. & Hamaker, Ph.* (1981): Methyl bromide and bromideion in drainage water after leaching of glasshouse soils. *Water, Air and Soil Pollution* 16, 3–11.

Manuskript modtaget den 26. maj 1982.