

## DE INVLOED VAN BIOCIDEN OP DE BODEMFAUNA<sup>1, 2</sup>

### *The influence of biocides on the soil fauna*

DOOR

J. VAN DER DRIFT

Instituut voor Toegepast Biologisch Onderzoek in de Natuur (ITBON), Arnhem

### INLEIDING

Het na de oorlog sterk toegenomen gebruik van chemische middelen ter bestrijding van insecten, schimmels en onkruiden heeft de vraag opgeworpen wat de invloed van deze middelen is op de nuttige bodemorganismen. Niet alleen de bodembiociden, maar ook de op gewassen toegepaste bestrijdingsmiddelen komen voor een gedeelte op en in de grond terecht en kunnen zich hier ten gevolge van hun vaak grote chemische stabiliteit in vrij aanzienlijke mate ophopen.

Dit probleem is reeds vroegtijdig onderkend en het desbetreffende onderzoek gaat dan ook tot op de eerste naoorlogse jaren terug. Voornamelijk door veldwaarnemingen heeft men getracht de gevolgen van chemische bestrijdingsmiddelen voor de bodemfauna in kwantitatief opzicht vast te stellen. Dat hierbij op verschillende grondsoorten onder verschillende klimaatsomstandigheden en bij verschillende cultuurtypen (bos, boomgaard, tuin-, akker- en weidegrond) uiteenlopende resultaten werden gevonden, ligt voor de hand. Dat verschillende diergroepen, afhankelijk van hun verspreiding in de grond, hun beweeglijkheid en hun specifieke gevoeligheid, verschillend reageren, was eveneens te verwachten.

Het lijkt van belang eerst de toestand van de biociden in de grond in het kort na te gaan, vervolgens enkele aspecten van de dierlijke levensgemeenschap in de grond te belichten en pas daarna een overzicht te geven van het onderzoek naar de invloed van biociden op de bodemfauna. Hierbij zal ook onderzoek naar de invloed van biociden op regenwormen, dat gedurende de laatste jaren op het ITBON werd verricht, naar voren worden gebracht.

### BIOCIDEN IN DE GROND

Biociden kunnen op twee wijzen in de grond terechtkomen. Ze kunnen opzettelijk in de grond gebracht worden tegen schadelijke of concurrerende organismen en dit zowel plaatselijk (plantgatbehandeling, zaadbehandeling, enz.) als verspreid (vollegrondbehandeling, kunstmest-insekticiden-mengsels, bespuiting met herbiciden). De hoeveelheden lopen hierbij sterk uiteen. Bij een vollegrondbehandeling tegen ritnaalden en engerlingen ligt de dosering tussen 1 en 10 kg werkzame stof per ha, wat bij een diepte van 10 cm overeenkomt met 1 tot 10 mg per liter grond of 1 tot 10 µg per ml. Bij gewasbehandeling komen

<sup>1</sup> Aangenomen voor publikatie 18 oktober 1962.

<sup>2</sup> Voordracht, gehouden op het Symposium van de Nederlandse Planteziektenkundige Vereniging en de Commissie voor de Fytopathologie van de Koninklijke Nederlandse Botanische Vereniging te Baarn op 12 april 1962.

onopzettelijk bestrijdingsmiddelen in de grond ten gevolge van afspoelen, afwaaien of restneerslag. Vooral bij bespuiten kan het plaatselijk om hoeveelheden gaan die in dezelfde orde van grootte liggen als bij grondbehandeling, alleen komt het middel hierbij altijd op het grondoppervlak.

De verspreiding in de grond is afhankelijk van de eigenschappen en de formulering van het middel zelf, van de hoeveelheid regen, van de diepte van groundbewerking en van diverse bodemeigenschappen zoals textuur en gehalte aan organische stof. Emulsies worden door regen gemakkelijker ingespoeld dan suspensies en deze weer gemakkelijker dan poeders. Ook na verloop van geruime tijd blijkt het residu van insecticiden niet dieper te worden aangetroffen dan de diepte waarover de groundbewerking bij de toepassing heeft plaatsgehad. Op grasland, waar het insecticide niet in de grond wordt gewerkt, blijft het residu slechts tot de bovenste 10 cm beperkt.

De persistentie van biociden in de grond wordt bepaald door de fysische en chemische eigenschappen van het middel en door de fysische, chemische en biologische eigenschappen van het bodemmilieu. In het algemeen is de oplosbaarheid in water gering, waardoor uitspoeling van weinig betekenis is. Door adsorptie aan organisch materiaal en kleideeltjes kan een belangrijk gedeelte van de werkzaamheid verloren gaan. Zo vonden EDWARDS et al. (1957) een vrij hoge correlatie tussen de letale doses van aldrin en lindaan in grond enerzijds en het gehalte aan organische stof van deze grond anderzijds. Ook vervluchtiging kan, zelfs bij geringe dampspanning, door codestillatie met water een verliespost opleveren (CHISHOLM & KOBLITSKY, 1959).

Chemische afbraak tot niet of minder toxische stoffen wordt voornamelijk beïnvloed door hoge temperatuur, ultraviolet licht en de aanwezigheid van zuurstof. Microbiologische afbraak is voornamelijk van belang bij herbiciden en fungiciden, maar ook parathion wordt door bacteriën afgebroken en op aldrinkristallen is ontwikkeling van bacteriekolonies waargenomen (AYERS & ALLEN, geciteerd door SANGER, 1960). De afbraak wordt bevorderd door een hoog gehalte aan organische stof, hoge vochtigheid, hoge temperatuur en neutrale of basische reactie – stuk voor stuk omstandigheden, die het bacterieleven bevorderen. Ook in eenmaal met een herbicide behandelde grond verloopt de afbraak sneller, terwijl in steriele grond geen afbraak plaatsheeft (NEWMAN & DOWNING, 1958). Uit deze summiere opsomming van detoxicatie-mechanismen is het duidelijk dat deze in de bovenste 5 cm van de grond het meest werkzaam zijn.

Op grond van de eigenschappen der middelen zelf is het mogelijk een reeks van afnemende persistentie op te stellen. Van de insecticiden zijn de organische fosforverbindingen het minst persistent, arsenicum, DDT en HCH het meest. Bij de herbiciden behoren DNBP, monuron en diuron tot de meest persistente, 2,4-D, TCA en IPC tot de minst persistente.

Dank zij afbraak en adsorptie is van een ongestoorde accumulatie geen sprake. Wel kan zich op den duur een meer of minder grote hoeveelheid residu ophopen. Deze hoeveelheid is afhankelijk van dosering, frequentie van de toepassing en van de formulering. Merkwaardig is dat naarmate de dosering hoger is het percentage van het teruggevonden residu ook hoger is. Zo vond LICHTENSTEIN (1957) 10 jaar na toepassing van 14, 28 en 32 kg/ha DDT op een grasland op zware leemgrond respectievelijk 11, 14 en 18% van de toegepaste hoeveelheden terug. Dezelfde auteur toonde in vier boomgaarden, die gedurende 9 tot

11 jaar jaarlijks bespoten waren met gemiddeld 25 kg/ha DDT, 26% van de totaal toegepaste hoeveelheid aan ofwel 237% van de jaarlijkse hoeveelheid. Op akkers, waar de bespuitingen veel minder regelmatig en ook veel geringer waren, bedroeg het residu na een periode van 10 jaar 15% van het totaal of 61% van de gemiddelde jaarlijkse hoeveelheid. Ook HCH, chloordaan, aldrin en heptachloor bleken zelfs na eenmalige toepassing in aanzienlijke percentages achter te blijven: HCH 35 tot 50% na 11 jaar, chloordaan 12 tot 17% na 12 jaar, aldrin in de vorm van het epoxyde dieldrin 8 tot 10% na 4 jaar en heptachloor als heptachloorepoxyde 4 tot 8% na 9 jaar (LICHTENSTEIN & POLIVKA, 1959).

Het residu is echter niet zonder meer met het toegepaste insecticide te vergelijken omdat chemische afbraak(oxydatie)produkten vormt, die nog wel chemisch als het insecticide reageren, maar niet of minder toxisch zijn. Dit is vast te stellen door een bioassay-techniek, waarbij de mortaliteit van *Drosophila*'s, veroorzaakt door het residu in de grond, bepaald en vergeleken wordt met een standaard-dosering-mortaliteitskromme van deze vliegen op het oorspronkelijke insecticide in dezelfde grond. Hierdoor is het percentage toxisch werkend residu vast te stellen, dat meestal aanzienlijk lager ligt dan het percentage chemisch aangetoond residu. Bij de bovengenoemde waarnemingen van LICHTENSTEIN & POLIVKA was de toxiciteitswaarde voor HCH slechts 19,5% van het chemisch aangetoonde insecticide, voor chloordaan 65%. Voor dieldrin en heptachloorepoxyde liggen de bioassay-waarden vrijwel even hoog als de chemisch bepaalde hoeveelheden hiervan, maar lager dan die van aldrin en heptachloor.

#### LEVENSMEENSCHAP VAN DE BODEM

In verband met ons probleem zijn vooral twee aspecten van de bodemlevensgemeenschap van belang, nl. de sterk uiteenlopende afmetingen van de bodemorganismen en de ruimtelijke verdeling van deze organismen.

Een levensgemeenschap is een min of meer autonoom geheel, dat zijn voedselbronnen zo volledig mogelijk exploiteert. Fytofagen vreten levende plantdelen, saprofagen voeden zich met plantaardig en dierlijk afvalmateriaal, predatoren leven van fytofagen en saprofagen. De belangrijkste functie van de bodemlevensgemeenschap is de uiteindelijke mineralisatie van de organische afvalstoffen op en in de bodem. Om deze taak te volbrengen moet zij in staat zijn de afbraak zowel op macroscopische als op microscopische schaal te voltrekken. Een harmonische bodemlevensgemeenschap is dan ook samengesteld uit organismen die in lengte variëren van meer dan 10 cm tot enkele duizendste mm. Om de dichtheden van de betrokken soorten in het gemeenschappelijk milieu in zinvolle verhouding te zien, moeten deze dichtheden voor verschillende grootte-categorieën op adequate oppervlakte- of ruimte-eenheden betrokken zijn. Fig. 1 geeft een schematische weergave van een bodemlevensgemeenschap, waarbij de organismen groter dan 1 cm betrokken zijn op 1 m<sup>2</sup>, de organismen van 1–10 mm op 1 dm<sup>2</sup>, die van 0,1–1 mm op 1 cm<sup>2</sup> en die van 10–100  $\mu$  op 1 mm<sup>2</sup>. Aan de basis is het voedselmateriaal aangegeven, waarop zich fytofagen (links in de figuur) en saprofagen (rechts) ontwikkelen. Bovenaan zijn de predatoren opgenomen. Een aantal belangrijke soorten van de verschillende grootte-categorieën zijn aan de rand van de figuur (m<sup>2</sup>) en aan die van de oppervlakken van 1 dm<sup>2</sup>, 1 cm<sup>2</sup> en 1 mm<sup>2</sup> vermeld.

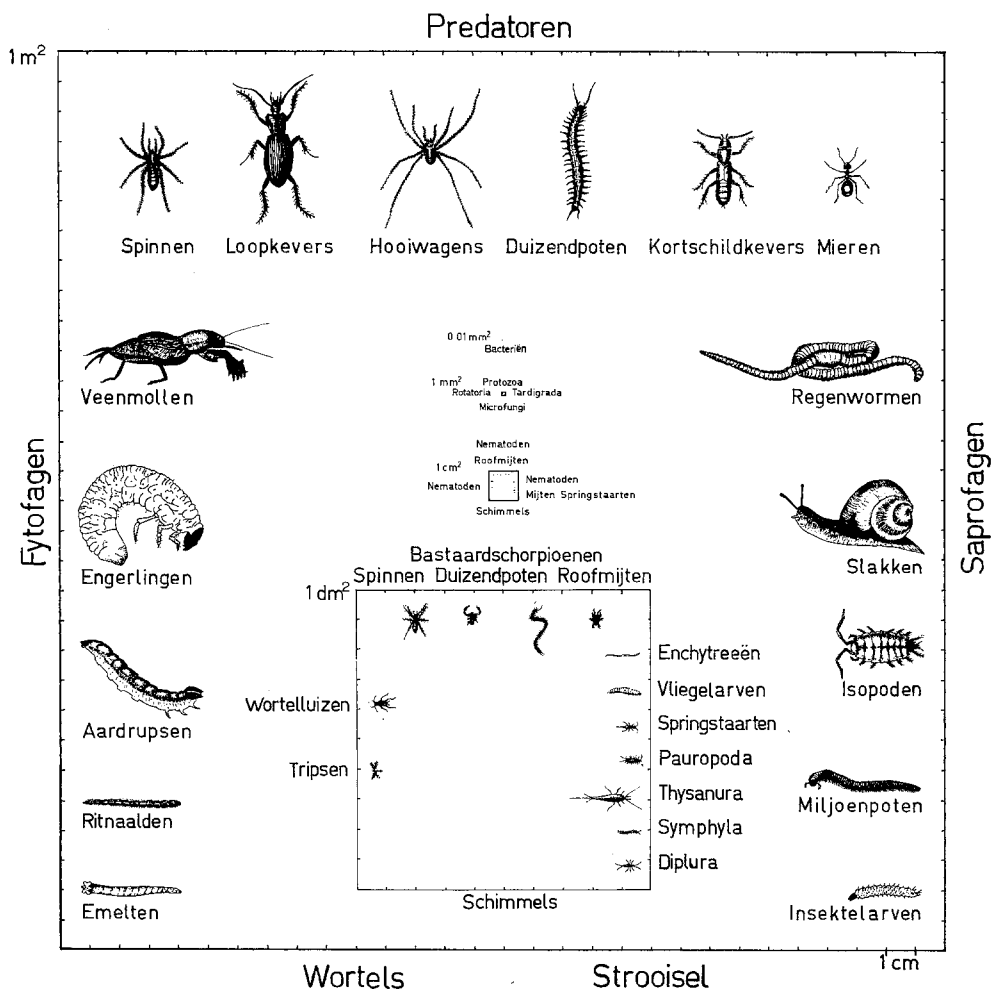


FIG. 1

Deze wijze van voorstellen maakt het duidelijk dat alleen al op grond van de afmetingen een klein organisme minder kans loopt in contact te komen met een gelijkmatig over het substraat verdeeld bestrijdingsmiddel dan een groot organisme. Een dosering van 10 kg/ha, bij ideale verdeling overeenkomend met 0,1 mg/cm², kan effectief zijn voor grotere dieren omdat deze zich bij een gelijkmatige verdeling van het middel niet kunnen bewegen zonder ermee in contact te komen, terwijl b.v. mijten en springstaarten een overvloed van onbesmette ruimte hebben, zeker wanneer het middel nog „repellent” werkt, zoals uit eigen waarnemingen bij springstaarten in kweekcellen met dieldrin gebleken is.

Verschillende regelmatig in de literatuur aan te treffen feiten zijn met deze beschouwingswijze goed in overeenstemming. Doseringen van insecticiden, die voor bestrijding van grotere dieren voldoende zijn, reduceren de aantallen

van de honderdmaal kleinere microarthropoden in veel geringere mate. Beïnvloeding van bacteriën door insecticiden kan pas bij zeer hoge concentraties worden vastgesteld. Voor de effectieve bestrijding van kleine organismen als aaltjes en bodemschimmels is toepassing van gasvormige bestrijdingsmiddelen, die overal kunnen doordringen, noodzakelijk.

De verdeling van de fauna in de grond wordt in hoge mate bepaald door de verdeling van de organische stof en deze bevindt zich voornamelijk in de bovenste lagen. Van de bodemfauna wordt dan ook 80 tot 90 procent in de bovenste 10 cm aangetroffen; de rest houdt zich in diepere lagen op en voedt zich hier met levende of gestorven wortels. Alleen de regenwormen zijn door hun betrekkelijk groot verplaatsingsvermogen minder gebonden aan de plaats van voorkomen van organisch voedselmateriaal. Juist in die laag, waar de bestrijdingsmiddelen in de grootste concentratie aanwezig zijn, is dus ook het bodemleven het rijkste ontwikkeld.

Naast de bewoners van de oppervlakkige lagen (hemi-edafische fauna) en de echte grondbewoners (eu-edafische fauna) onderscheiden we nog de dieren die voornamelijk op het bodemoppervlak verblijven: de epi-edafische fauna. Dat speciaal deze groep sterk aan de invloed van biociden is blootgesteld, is duidelijk.

#### BIOCIDEN EN BODEMFAUNA

Het probleem van de invloed van biociden op de bodemfauna kan van verschillende zijden benaderd worden.

De het meest voor de hand liggende wijze van onderzoek is het *veldonderzoek*, waarbij de fauna voor en na behandeling kwantitatief wordt onderzocht. Hierbij wordt behalve de directe invloed van het middel op de fauna ook de invloed van het door het middel gewijzigde milieu vastgesteld. Vooral bij toepassing van herbiciden tegen ongewenste ondergroei in de bosbouw kan een grote hoeveelheid dood organisch materiaal gevormd worden, wat een aanzienlijke verandering in het milieu betekent.

Voor detailonderzoek leent deze methode zich niet zo goed. Het grote aantal soorten, waarvan de dichtheden van plaats tot plaats zeer sterk uiteenlopen, en de vaak sterke fluctuaties in aantallen maken een zeer omvangrijke bemonstering noodzakelijk. Toch is het op deze wijze mogelijk een totaalbeeld van de teweggebrachte veranderingen te verkrijgen. Een onderzoek van dit type, dat wij uitvoerden in samenwerking met het Bosbouwproefstation en de Plantenziektenkundige Dienst, waarbij smele met TCA en dalapon en bosbes met 2,4,5-T met succes werden bestreden, bracht aan het licht dat de betrekkelijk geringe veranderingen in de oppervlaktefauna hoofdzakelijk toe te schrijven waren aan de gedode vegetatie en niet aan een directe invloed van het middel. Ook in de bodemfauna konden geen belangrijke veranderingen worden vastgesteld (VAN GOOR et al., 1957). Soortgelijk onderzoek naar de invloed van insecticiden op de bosbodemfauna gaf aanwijzingen van een slechts voorbijgaande invloed op de oppervlaktefauna (CRAMER, 1956; HOFFMANN et al., 1949; RICHTER, 1953). In boomgaarden echter kan door de grotere hoeveelheden van de insecticiden en de zeer frequente toepassing ervan wel schade aan de oppervlaktefauna worden toegebracht. De zeer geringe dichtheden van loopkevers en bodemspinnen, die wij bij incidenteel onderzoek in boomgaarden in de Betuwe vaststelden, zijn hier aanwijzingen voor.

Ook de beïnvloeding van de microarthropodenfauna werd op deze wijze onderzocht. BARING (1957) verrichtte een onderzoek naar de invloed van verschillende insecticiden op de mijtenfauna in een humusrijke, lemige akkerbodem. In het algemeen blijken de in de praktijk toegepaste hoeveelheden wel een verlaging van de dichtheid van de mijten ten gevolge te hebben, maar voor elke groep is de mate van verlaging anders. Ongetwijfeld spelen hierbij de grootte, de beweeglijkheid en de specifieke gevoeligheid een rol.

In hetzelfde onderzoek van BARING hadden gasvormige ontsmettingsmiddelen een sterk reducerende werking op de mijtenfauna, die na vier maanden nog niet was opgeheven. Eigen onderzoek van kasgronden in Venlo (BLANKWAARDT & VAN DER DRIFT, 1961) leerde dat na ontsmetting met chloorpicrine of stomen ook de wormenpopulatie vrijwel tot op nul teruggebracht was. Pas na ongeveer twee jaar had de populatie zich hersteld, dank zij verticale immigratie vanuit diepere grondlagen, horizontale immigratie en overlevende cocons. Formaline had een minder desastreuze uitwerking.

Voor springstaarten geldt in principe hetzelfde als voor mijten. Verschillen in gevoeligheid worden door verschillende onderzoekers vermeld. Zo is *Isotoma notabilis* gevoeliger voor HCH dan *Tullbergia krausbaueri* en deze gevoeliger dan *Isotomodes productus* (KARG, 1956). *Onychiurus armatus* is gevoeliger dan *Hypogastrura armata* (EHRENHARDT & SCHNEIDER, 1955). Deze verschillen in gevoeligheid kunnen vooral bij concurrerende soorten en soorten met een predator-prooi-verhouding belangrijke verschuivingen veroorzaken.

Een fraai onderzoek op dit gebied deed SHEALS (1956). Hij onderzocht de veranderingen in de microarthropoden-fauna van een kunstweide na het omploegen, het hierop volgende inzaaien en de behandeling met DDT, HCH en een mengsel van beide (13,5 kg/ha). Opvallend was de algemene afname ten gevolge van het omploegen en de hierop volgende toename na het inzaaien. De springstaarten werden in aanzienlijke mate begunstigd door DDT, sterk benadeeld door HCH en slechts zwak benadeeld of zelfs begunstigd door een mengsel van DDT en HCH. Bij roofmijten gaven HCH en DDT beide reductie van de aantallen en een mengsel van HCH en DDT sterkere reductie dan elk van de middelen afzonderlijk. Deze verschijnselen kon hij verklaren op grond van de volgende experimenteel bevestigde eigenschappen: 1. Springstaarten zijn niet gevoelig voor DDT, mijten wel. 2. Roofmijten zijn belangrijke predatoren van springstaarten. 3. Zowel springstaarten als mijten zijn gevoelig voor HCH. Door het uitvallen van hun predatoren waren de voor DDT ongevoelige springstaarten na een DDT-behandeling sterk in aantal toegenomen en vertoonden ze na een gecombineerde behandeling van DDT en HCH slechts een geringe afname of zelfs een toename.

Een toeneming van saprofage diersoorten na een HCH-behandeling van de grond werd ook vastgesteld door GRIGOR'EVA (1952), terwijl fytofage en predatorisch levende soorten sterk in aantal achteruitgingen. Mogelijk is hier eenzelfde mechanisme in werking geweest.

Men kan zich afvragen in hoeverre het mogelijk is door toepassing van bepaalde insecticiden de saprofage elementen van de bodemfauna doelbewust te stimuleren. Hierbij moet echter bedacht worden dat ons inzicht in de betekenis der afzonderlijke elementen nog zeer fragmentair is. Ook is over de gevoeligheid voor bepaalde insecticiden van zelfs de belangrijkste bodemdieren nog zeer weinig bekend. Overigens houdt een ongebreidelde vermeerdering van sapro-

TABEL 1. Invloed van direct contact van insecticiden op *Lumbricus rubellus*.  
Effect of direct contact with insecticides on *Lumbricus rubellus*.

|                       | Emulsie/Emulsion (0,25%)                                     |                                                              |                                                                                                                   | Stuifpoeders/Dusts (1-5%)                                    |                                                              |                                                                                                                   |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                       | Eerste sterfte na .. weken<br>First mortality after .. weeks | Laatste sterfte na .. weken<br>Last mortality after .. weeks | Aantal overlevende exemplaren na 14 proefdagen na 10 weken<br>Number survived from 14 test animals after 10 weeks | Eerste sterfte na .. weken<br>First mortality after .. weeks | Laatste sterfte na .. weken<br>Last mortality after .. weeks | Aantal overlevende exemplaren na 14 proefdagen na 10 weken<br>Number survived from 14 test animals after 10 weeks |
| Blanco / No treatment | 8                                                            | >10                                                          | 4                                                                                                                 | 10                                                           | >10                                                          | 14                                                                                                                |
| DDT                   | 4                                                            | >10                                                          | 1                                                                                                                 | 3                                                            | >10                                                          | 6                                                                                                                 |
| Lindaan               | 6                                                            | 9                                                            | -                                                                                                                 | 2                                                            | >10                                                          | 10                                                                                                                |
| Heptachloor           | 6                                                            | >10                                                          | 1                                                                                                                 | 1                                                            | >10                                                          | 3                                                                                                                 |
| Chloordaan            | 1                                                            | 1                                                            | -                                                                                                                 | 1                                                            | >10                                                          | 6                                                                                                                 |
| Aldrin                | 6                                                            | 8                                                            | -                                                                                                                 | 1                                                            | >10                                                          | 6                                                                                                                 |
| Dieldrin              | 5                                                            | 10                                                           | -                                                                                                                 | 4                                                            | >10                                                          | 3                                                                                                                 |
| Parathion             | 6                                                            | 10                                                           | -                                                                                                                 | 5                                                            | >10                                                          | 6                                                                                                                 |

TABEL 2. Sterfte van *Lumbricus rubellus* in met insecticiden behandelde grond.  
Mortality of *Lumbricus rubellus* in soil treated with insecticides.

|                       | Emulsie/Emulsion (0,25%)                                     |                                                              |                                                                       | Stuifpoeders/Dusts (1-5%)                                    |                                                              |                                                                       |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
|                       | Eerste sterfte na .. weken<br>First mortality after .. weeks | Laatste sterfte na .. weken<br>Last mortality after .. weeks | Gemiddelde overlevingsduur in weken<br>Average survival time in weeks | Eerste sterfte na .. weken<br>First mortality after .. weeks | Laatste sterfte na .. weken<br>Last mortality after .. weeks | Gemiddelde overlevingsduur in weken<br>Average survival time in weeks |
| Blanco / No treatment | 3                                                            | 11                                                           | 7,1                                                                   | 7                                                            | 17                                                           | 10,0                                                                  |
| DDT                   | 3                                                            | 14                                                           | 7,0                                                                   | 7                                                            | 9                                                            | 8,3                                                                   |
| Lindaan               | 4                                                            | 25                                                           | 7,7                                                                   | 7                                                            | 10                                                           | 9,3                                                                   |
| Heptachloor           | 2                                                            | 8                                                            | 3,8                                                                   | 2                                                            | 3                                                            | 2,5                                                                   |
| Chloordaan            | 1                                                            | 1                                                            | 1,0                                                                   | 2                                                            | 10                                                           | 5,7                                                                   |
| Aldrin                | 2                                                            | 4                                                            | 2,8                                                                   | 7                                                            | 11                                                           | 9,0                                                                   |
| Dieldrin              | 2                                                            | 20                                                           | 6,7                                                                   | 9                                                            | 12                                                           | 10,2                                                                  |
| Parathion             | 3                                                            | 21                                                           | 8,3                                                                   | 8                                                            | 11                                                           | 10,1                                                                  |

fage soorten het gevaar in dat deze door voedselgebrek overgaan op een fyto-fage levenswijze.

Een heel andere benaderingswijze van het probleem van de invloed van biociden op de bodemfauna is het *experimenteel* vaststellen van de gevolgen van de directe inwerking van biociden op bodemdieren. In samenwerking met de Plantenziektenkundige Dienst hebben wij wormen bespoten of bestoven met emulsies en stuifpoeders van verschillende insecticiden (tabel 1). Opvallend was de zeer grote individuele variatie in gevoeligheid: naast dieren die reeds in de eerste week na de behandeling stierven, overleefden andere de proefduur van 10 weken. Het aantal overlevende exemplaren van de met stuifpoeder behandelde dieren was veel groter dan dat van de met emulsie behandelde. Het grootste was dit verschil bij chloordaan, waar bij bespuiting met poeder 6 van de 14 dieren de proefduur overleefden. Dat in het algemeen bij de bestoven dieren de eerste sterfte vroeger optrad, moet waarschijnlijk worden toegeschreven aan het feit, dat deze dieren een dag bewaard bleven in de schaal waarin de bestuiving had plaatsgehad, terwijl de bespoten dieren onmiddellijk na de behandeling in grond werden overgebracht.

Ook in potproeven met behandelde grond bleek dat de individuele variatie in gevoeligheid zeer groot was (tabel 2). Bij vier van de middelen in emulsievorm trad de laatste sterfte zelfs later op dan in onbehandelde grond. Daar deze proef werd voortgezet tot de laatste dieren gestorven waren, kon hier de gemiddelde overlevingsduur berekend worden. Alleen bij chloordaan en heptachloor lag deze in beide formuleringen aanzienlijk lager dan in onbehandelde grond. Bij aldrin was dit alleen het geval bij de emulsievorm.

Gering was de sterfte bij bespuiting met herbiciden van potten met grond, waarin twee wormsoorten als toetsobject aanwezig waren (tabel 3). De sterfte van de zeer actieve *Lumbricus castaneus* was echter groter dan die van de in de proefomstandigheden trage *Allolobophora caliginosa*.

TABEL 3. Invloed van behandelingen met herbiciden op de sterfte van regenwormen in potten.  
*Effect of applications of herbicides on mortality of earthworm species in pots.*

| Datum/Date          | <i>Allolobophora caliginosa</i>               |                                            |                          | <i>Lumbricus castaneus</i>                    |                                            |                          |
|---------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------|
|                     | Aantallen/Numbers                             |                                            | % Sterfte<br>% Mortality | Aantallen/Numbers                             |                                            | % Sterfte<br>% Mortality |
|                     | 2-3                                           | 21-5                                       |                          | 24-3                                          | 21-5                                       |                          |
|                     | Vóór de<br>behandeling<br>Before<br>treatment | Ná de<br>behandeling<br>After<br>treatment |                          | Vóór de<br>behandeling<br>Before<br>treatment | Ná de<br>behandeling<br>After<br>treatment |                          |
| Blanco/No treatment | 90                                            | 86                                         | 4                        | 150                                           | 130                                        | 13                       |
| IPC 3,75 kg/ha      | 30                                            | 26                                         | 13                       | 50                                            | 29                                         | 42                       |
| CIPC 2 kg/ha        | 30                                            | 29                                         | 3                        | 50                                            | 34                                         | 32                       |
| DNOC 4 kg/ha        | 30                                            | 29                                         | 3                        | 50                                            | 34                                         | 32                       |
| DNOC + IPC          | 30                                            | 28                                         | 6                        | 50                                            | 34                                         | 32                       |
| DNOC + CIPC         | 30                                            | 26                                         | 13                       | 50                                            | 26                                         | 48                       |

EHRENHARDT & SCHNEIDER (1955) deden experimenteel onderzoek over de toxiciteit van HCH, aldrin en chloordaan voor de springstaart *Onychiurus*

*armatus*. In potten met zandige leemgrond, die met verschillende hoeveelheden der insecticiden gemengd was, werd de mortaliteit van 100 ingebrachte dieren na 14 en 30 dagen bepaald. Uit de mortaliteits-doseringskrommen blijkt dat  $\gamma$ -HCH voor deze springstaart tweemaal zo giftig was als aldrin en 20 tot 60 maal zo giftig als chloordaan. Opmerkelijk is dat EDWARDS et al. (1957) bij een bioassay met *Drosophila*'s vonden dat aldrin 5 maal zo giftig was als lindaan.

Zelfs betrekkelijk geringe concentraties van lindaan en aldrin zoals 0,4–0,8 mg per liter grond (overeenkomend met 0,4–0,8 kg/ha) gaven reeds een vrij aanzienlijke sterfte. Uit de gepubliceerde cijfers van EHRENHARDT & SCHNEIDER (1955, tabel 1) blijkt, dat zowel bij lindaan als bij aldrin de voortplanting bij lage concentraties hoger was dan bij de controles. Mocht dit algemeen geldig blijken, dan heeft dit ook een belangrijke invloed op de verdere ontwikkeling van de populatie na toepassing van geringe hoeveelheden van deze insecticiden.

Chloordaan had bij alle concentraties een geringere sterfte tot gevolg dan lindaan en aldrin, maar ook de voortplanting was aanzienlijk lager. Ondanks de geringere mortaliteit bij chloordaan zal *Onychiurus* ten gevolge van zijn geringe voortplantingsvermogen wellicht in zijn verdere ontwikkeling sterker geremd worden dan bij lindaan en aldrin, waarbij de sterfte wel groter is maar het voortplantingsvermogen ook.

Naast de genoemde werkwijzen, veldonderzoek en laboratoriumexperimenten, die elk hun eigen voordelen maar ook hun eigen beperkingen hebben, zou men nog een derde werkwijze kunnen onderscheiden, die bepaalde voordelen van de twee genoemde methoden combineert, namelijk *veldexperimenten*, waarbij onder de natuurlijke omstandigheden op kleine schaal proefbehandelingen kunnen worden uitgevoerd, waarvan het effect gedetailleerd onderzocht kan worden, en b.v. de opgetreden sterfte door directe telling van de dode dieren bepaald wordt.

Als voorbeeld kan een proefbespuiting dienen met verschillende bestrijdingsmiddelen, die in de fruitteelt veelvuldig worden toegepast: parathion, DNOC, TMTD, karathane en captan, waarbij wij het effect op de wormenbevolking onderzochten. Deze middelen werden op verschillende tijdstippen en onder verschillende weersomstandigheden ongeveer in praktijkdosering toegepast in een boomgaard op zware klei in Kesteren op oppervlakken van 1 m<sup>2</sup>. Na de behandeling werd gedurende enkele dagen dagelijks het aantal dode wormen aan het oppervlak geteld en vervolgens in het centrum een oppervlak van  $\frac{1}{4}$  m<sup>2</sup> tot 40 cm diep uitgegraven, waarbij zowel de levende als de dode wormen in de uitgegraven grond werden geteld. Captan veroorzaakte bij geen van de toepassingen enige sterfte. Bij de andere middelen werden de resultaten sterk beïnvloed door de vochtigheidstoestand van de grond en door het al of niet actief zijn van de wormen (tabel 4). In april en mei waren de wormen actief en was het aantal per m<sup>2</sup> zeer groot. Onder de vochtige weersomstandigheden was de sterfte echter in april aanzienlijk hoger dan onder de droge omstandigheden in mei. In juni was het aantal wormen per m<sup>2</sup> veel lager en waren de dieren voor een groot gedeelte in zomerrust. De sterfte was ook onder vochtig gehouden oppervlakken veel lager dan in april. Onder droog gehouden oppervlakken was de sterfte vrijwel nihil. In juli waren alle wormen in rust en was noch op de droge oppervlakken noch op de natte oppervlakken enige sterfte vast te stellen.

TABEL 4. Invloed van proefbespuitingen in praktijkconcentraties op de sterfte van regenwormen in een boomgaard te Kesteren.  
*Effect on mortality of earthworms of experimental treatments with various insecticides at concentrations used in practice in an orchard at Kesteren.*

|                 | Watergehalte<br>van de<br>grond<br>%<br><i>Moisture<br/>contents<br/>of soil %</i> | Gemiddeld<br>aantal<br>wormen<br>per m <sup>2</sup><br><i>Average<br/>number<br/>of earthworms<br/>per m<sup>2</sup></i> | % Sterfte na 3 dagen<br>% <i>Mortality after 3 days</i> |           |           |      |
|-----------------|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-----------|-----------|------|
|                 |                                                                                    |                                                                                                                          | DNOC                                                    | Parathion | Karathane | TMTD |
| April (nat/wet) | 40                                                                                 | 431                                                                                                                      | 100                                                     | 33        | 48        | 13   |
| Mei (droog/dry) | 33                                                                                 | 613                                                                                                                      | 26                                                      | 2         | 20        | 1    |
| Juni (nat/wet)  | 43                                                                                 | 154                                                                                                                      | 32                                                      | 26        | 32        | 35   |
| (droog/dry)     | 27                                                                                 | 147                                                                                                                      | 2                                                       | 1         | 1         | 0    |
| Juli (nat/wet)  | 31,5                                                                               | 308                                                                                                                      | 2                                                       | 0         | 1         | 2    |
| (droog/dry)     | 29                                                                                 | 407                                                                                                                      | 0                                                       | 0         | 0         | 0    |

De invloed van biociden op de bodemfauna is een gecompliceerd probleem. Veldwaarnemingen zijn noodzakelijk voor een globaal beeld van de veranderingen, laboratoriumexperimenten moeten inzicht geven in de directe werking der middelen op de dieren, veldexperimenten tenslotte moeten de invloed van de omstandigheden in het veld ophelderen. Veel onderzoek zal nog gedaan moeten worden ter verheldering van ons inzicht.

#### SAMENVATTING

Aan de hand van literatuurgegevens worden de persistentie van biociden in de grond en de fysische, chemische en microbiologische processen die deze beïnvloeden in het kort besproken. Zowel de ruimtelijke verdeling en de beweeglijkheid van de bodemfauna als de zeer uiteenlopende afmetingen van de bodemorganismen zijn van invloed op de kans die deze organismen lopen om met insecticide-deeltjes in aanraking te komen.

Behalve de directe invloed van biociden spelen ook de door hen veranderde milieuomstandigheden een belangrijke rol bij de wijzigingen in de bodemfauna. Deze kunnen variëren van geen invloed tot vernietiging enerzijds en sterke vermeerdering anderzijds.

Veldwaarnemingen, laboratoriumexperimenten en veldexperimenten dragen elk hun deel bij om tot een inzicht te komen in de gevolgen die de toepassing van biociden voor de bodemfauna hebben.

#### SUMMARY

1. Biocides accumulate in the upper soil layers, where the largest part of the soil fauna lives.

2. Physical processes (adsorption, evaporation, leaching), chemical decomposition and microbial attack prevail in the upper soil layers and prevent an uninterrupted accumulation of biocides. Fungicides and herbicides are detoxicated mainly by microbial activities, insecticides by physical and chemical processes.

3. Chlorinated hydrocarbon insecticides especially may persist in the soil for years, even after a single application (LICHTENSTEIN & POLIVKA, 1959). The toxicity of the residues, however, is often much smaller than would be expected from the results of chemical analysis.

4. The vertical distribution of the soil fauna and its mobility, as well as the varying sizes of the soil organisms (10  $\mu$ –10 cm), greatly affect the chances of organisms making contact with insecticide particles. The smaller the organism the larger the part of the living space not contaminated by the insecticide (fig. 1).

5. Field observations can give a general impression of the changes in the soil population (BARING, 1957; CRAMER, 1956; HOFFMANN et al., 1949; RICHTER, 1953). In addition to the applied chemicals the modified environmental conditions influence these changes (VAN GOOR et al., 1957).

6. Differences between species in tolerance to biocides may induce considerable alterations in the soil population. Often saprophagous species are less susceptible than predacious species, resulting in their increase after an insecticidal treatment (GRIGOR'EVA, 1952; SHEALS, 1956).

7. The direct influence of biocides on various species may be established by laboratory experiments (tabels 1, 2, 3; EHRENHARDT & SCHNEIDER, 1955).

8. There is some evidence that sublethal doses of insecticides may affect the reproduction rate. This may induce a shift in the composition of the soil population.

9. Meteorological and soil physical conditions, as well as the activity pattern of the soil fauna, may influence strongly the mortality caused by insecticides (table 4). Field experiments are needed to study these influences.

#### LITERATUUR

- BARING, H. H., – 1957. Die Milbenfauna eines Ackerbodens und ihre Beeinflussung durch Pflanzenschutzmittel II. Der Einfluss von Pflanzenschutzmittel. Z. angew. Ent. 41: 17–51.
- BLANKWAARDT, H. F. H. & J. VAN DER DRIFT, – 1961. Invloed van grondontsmetting in kassen op regenwormen. Meded. Dir. Tuinb. 24: 490–496.
- CHISHOLM, R. D. & L. KOBLITSKY, – 1959. Accumulation and dissipation of pesticide residues in soil. Trans. 24th N. Amer. Wildlife Conf.: 118–123.
- CRAMER, H. H., – 1956. Die Auswirkung großflächiger Schädlingsbekämpfung auf Wald-biozönosen II. Studien anlässlich einer Maikäferbekämpfung mittels Hubschrauber. Z. PflErnähr. & PflSch. 63: 129–138.
- EDWARDS, C. A., S. D. BECK & E. P. LICHTENSTEIN, – 1957. Bioassay of aldrin and lindane in soil. J. econ. Ent. 50: 622–626.
- EHRENHARDT, H. & H. SCHNEIDER, – 1955. Toxizitätsstudien an der Collembole *Onychiurus armatus* Tullb. Z. angew. Ent. 37: 358–371.
- GOOR, C. P. VAN, P. ZONDERWIJK & J. VAN DER DRIFT, – 1957. Chemische bestrijding van enkele grassen en houtige gewassen in de bosbouw. Uitvoer. Versl. Stichting Bosbouw-proefstation „De Dorschkamp” 3: 21–59.
- GRIGOR'EVA, T. G., – 1952. The action of hexachlorane introduced into the soil on the soil fauna. Rev. appl. Ent. A 41: 336.
- HOFFMANN, C. H., H. K. TOWNES, H. H. SWIFT & R. J. SAILER, – 1949. Field studies on the effects of airplane applications of DDT on forest invertebrates. Ecol. Monogr. 19: 1–47.
- KARG, W., – 1956. Untersuchungen über die Wirkung der Hexa-Behandlung landwirtschaftlich genützter Standböden und Wiesenböden auf die Mesofauna insbesondere auf Collembolen. NachrBl. dtsh. PflSchDienst N.F. 10: 117–120.
- LICHTENSTEIN, E. P., – 1957. DDT accumulation in mid-western orchard and crop soils treated since 1945. J. econ. Ent. 50: 545–547.

- LICHTENSTEIN, E. P. & J. B. POLIVKA, – 1959. Persistence of some chlorinated hydrocarbon insecticides in turf soils. *J. econ. Ent.* 52: 289–293.
- NEWMAN, A. S. & C. R. DOWNING, – 1958. Herbicides and the soil. *Agric. & Food Chem.* 6: 352–353.
- RICHTER, G. – 1953. Die Auswirkung von Insektiziden auf die terricole Makrofauna (Quantitative Untersuchungen begifteter und unbegifteter Waldböden). *NachrBl. dtsh. Pfl-SchDienst N.F.* 7: 61–72.
- SANGER, A. M. H., – 1960. Aldrin, dieldrin and endrin: effect on soil micro-organisms. *Span* 3: 37–39.
- SHEALS, J. G., – 1956. Soil population studies I. The effects of cultivation and treatment with insecticides. *Bull. ent. Res.* 47: 803–822.