

Wei-chun Ma

Bioaccumulatie en effecten van schadelijke stoffen in het terrestrisch milieu, biomonitoring met regenwormen

Voor de kwaliteitsbewaking ten aanzien van het voorkomen van antropogene toxische stoffen in het milieu is monitoring en effectgericht onderzoek aan planten en dierlijke organismen noodzakelijk. Verontreiniging van de bodem met schadelijke stoffen kan leiden tot een toxische belasting van terrestrische voedselketens en vormt een bedreiging voor het natuurlijk functioneren van ecosystemen. In deze bijdrage wordt nader ingegaan op onderzoek aan één van de sleutelorganismen in terrestrische ecosystemen, de regenworm (*Oligochaeta*). Ecotoxicologisch onderzoek aan deze bodemdieren kan belangrijk inzicht verschaffen in het effect en de biologische beschikbaarheid van bodemverontreiniging en het optreden van trendmatige veranderingen hierin. Dergelijke gegevens zijn van essentieel belang voor het beoordelen van stofgehalten in het bodemmilieu, zowel ten behoeve van het natuurbeheer als van het milieubeleid.

Voorkomen en functies van regenwormen

De dichtheid en soortensamenstelling van regenwormenpopulaties in de bodem hangen af van omgevingsfactoren zoals de vegetatie, de bodemsoort, de zuurgraad en het temperatuurs- en vochtregime van de bodem. Een gemiddelde dichtheid van 300 individuen m^{-2} , overeenkomend met een biomassa van 150 g versgewicht, is voor grasland als normaal te beschouwen. Onder gunstige omstandigheden kan de dichtheid wel drie keer hoger zijn. In akkerbouwpercelen zijn de populaties echter als regel kleiner als gevolg van cultuurmaatregelen.

In Europa zijn ca 200 soorten beschreven waarvan de meeste behoren tot de familie der Lumbricidae (Bouché, 1972). Regenwormen kunnen worden onderscheiden in een aantal ecomorfologische categorieën, die men globaal kan indelen in een drietal hoofdgroepen. De groep der anecische soorten (1) maakt diepe verticale gangen waarin afgevallen bladeren en andere plantesteren worden getrokken. Een bekende anecische soort is *Lumbricus terrestris*

(fig. 1a). De endogeïsche soorten (2) consumeren veel grond en maken horizontale en verticale gangen tot ongeveer 10 cm onder het bodemoppervlak. Een typisch voorbeeld is *Aporrectodea caliginosa*. Tenslotte is er de groep van de epigeïsche soorten (3) die minder graafactiviteiten vertoont en dichtbij het bodemoppervlak tot in de strooisellaag leeft. Epigeïsche soorten zijn bijvoorbeeld *Lumbricus rubellus* (fig. 1a) en *Lumbricus castaneus*.

In het algemeen zorgen regenwormen in belangrijke mate voor de handhaving van de bodemvruchtbaarheid, zowel door het verbeteren van de bodemstructuur als via de bevordering van de microbiële organische stofafbraak. In permanent grasland consumeert een gemiddelde populatie van 300 wormen m^{-2} jaarlijks naar schatting 12 kg grond met daarin 4,5 kg aan afgestorven plantesteren. Darwin berekende al in 1881 de hoeveelheid grond die een gemiddeld grote populatie in loofbos omzet. In zijn beroemd geworden boek 'The Formation of Vegetable Mould through the Action of Worms, with Observations on their Habits' kwam hij op een jaarlijkse

hoeveelheid van 4-5 kg. m^{-2} , hetgeen inhoudt dat elke 60-70 jaar de totale bovenlaag van de bodem tot een dikte van 35 cm, de laag waarin de meeste wormen zich bevinden, wordt omgezet.

Plaats van regenwormen in voedselketens

Meer dan 60% van de hoeveelheid dierlijke biomassa die in de bodem aanwezig is bestaat uit regenwormen. De secundaire produktie van *Lumbricus terrestris* in grasland en loofbos bedraagt jaarlijks ongeveer 100-300 g versgewicht m^{-2} (Lakhani & Satchell, 1970). Voor predatoren vormen regenwormen ook in kwalitatief opzicht een hoogwaardige voedselbron. De darminhoud niet meegerekend bevatten regenwormen een eiwitgehalte van ca 60% op droge-stofbasis met een goede samenstelling aan essentiële aminozuren. De calorische waarde van ca 23 kJ. g^{-1} is gelijk aan dat van spiervlees.

Het is daarom niet verwonderlijk dat talrijke soorten van vogels, zoogdieren, reptielen en amfibieën intensief gebruik maken van regenwormen als voedselbron (Macdonald, 1983). Figuur 1b toont als illustratie de maaginhoud van een das, met daarin een groot aandeel aan *L. terrestris*. In sommige gevallen kan er zelfs sprake zijn van een direct verband tussen het aanbod aan biomassa van regenwormen in een bepaald gebied en de populatiegrootte van de predator, bijvoorbeeld (weide)vogels en dassen (Kruuk & Parish, 1982). Dit kan een relevante gegeven zijn voor het natuurbeheer. Sommige roofvogels, bijvoorbeeld de Steenuil (*Athene noctua*) en Buizerd (*Buteo buteo*), voeden zich zowel met regenwormen als met kleine zoogdieren, waaronder zich ook regenworm-etende soorten als spitsmuizen en mollen bevinden. Op gewichtsbasis berekend bestaat het voedsel van de Steenuil voor gemiddeld 60% uit regenwormen en voor slechts 25% uit kleine zoogdieren (Juillard, 1984).

Op grond van de hierboven beschreven bodemecologische en trofische functies in terrestrische ecosystemen kan men concluderen dat regenwormen uitermate relevante organismen zijn voor ecotoxicologisch onderzoek.

Bioaccumulatie van stoffen in regenwormen

De opnameroute van stoffen in regenwormen kan zowel via de huid als via het



Fig. 1a. *Lumbricus terrestris* en *Lumbricus rubellus*, twee algemeen voorkomende soorten van regenwormen in de bodem en een belangrijke voedselbron voor vele terrestrische vertebraten.

Lumbricus terrestris and *Lumbricus rubellus*, two commonly occurring species and an important food source for many terrestrial vertebrates.

Fig. 1b. Regenwormen in de maaginhoud van een das (*Meles meles*).

Presence of earthworms in the stomach contents of a badger (*Meles meles*).



opgenomen voedsel verlopen. Accumulatie treedt op als de opname groter is dan de som van uitscheiding en omzetting van de stof. De accumulatie is mede een functie van de assimilatie-efficiëntie en fysiologische factoren. Zo hangt de accumulatie van lood in regenwormen mede samen met het actieve calciummetabolisme (Ma, 1983b; Morgan & Morgan, 1988). Regenwormen kunnen uiteenlopende stoffen accumuleren zonder dat dit het voortbestaan van de soort onmogelijk maakt. Dit geldt zowel voor zware metalen als voor organische verbindingen, waaronder de polychloorbifenylen, dioxines en benzofuranen. Ook het voor zoogdieren uiterst giftige TCDD (2,3,7,8-tetrachloordibenzo-p-dioxine) wordt door regenwormen goed geaccumuleerd (Reinecke & Nash, 1984).

Via bioaccumulatie van gifstoffen kunnen hogere diersoorten worden belast. Dit inzicht werd pas tegen het eind van de jaren vijftig verkregen toen men in Amerika voor het eerst een verband ontdekte tussen het optreden van acute sterfte van een bepaalde lijstersoort en de accumulatie van een bestrijdingsmiddel (DDT) in regenwormen. Uit onderzoek bleek dat het middel tijdens het bespuiten van heggen tegen insecten voor een deel op de grond terecht kwam, hetgeen via de accumulatie in regenwormen leidde tot een toxische belasting van de predator (Barker, 1958).

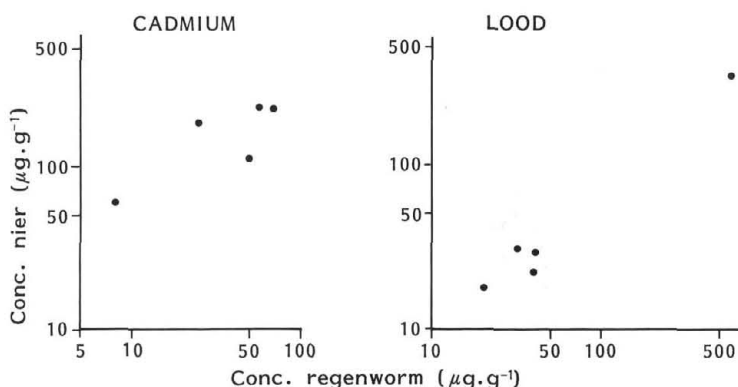
Behalve bij vogels komt de belasting met potentieel toxische stoffen als gevolg van de predatie op regenwormen ook voor bij zoogdieren. Dit geldt met name voor soorten zoals mollen (Ma, 1987), dassen (Ma & Broekhuizen, 1989) en spitsmuizen (Ma, 1989), die zich min of meer op regenwormen als voedselbron hebben gespecialiseerd. Figuur 2 toont het verband tussen de belasting van de nieren van mollen met de zware metalen cadmium en lood en het gehalte van deze metalen in re-

R. van Beek (RIN)

J. van Osch (RIN)

Fig. 2. Concentratie (in $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ droogge-
wicht) van cadmium en lood in de nieren
van mollen (*Talpa europea*), uitgezet tegen
de concentratie in regenwormen be-
monsterd in het foerageergebied van de
mollen (naar Ma, 1987).

Concentration (in $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ dry weight) of
cadmium and lead in the kidney(nier) of
moles (*Talpa europea*), plotted against the
concentration in earthworms (regenworm)
sampled from the foraging area of the mo-
les (after Ma, 1987).



genwormen die in het foerageergebied
van de mollen werden bemonsterd.

Biologische beschikbaarheid

De gehalten van stoffen in regenwormen
komen niet altijd overeen met de gehal-
ten die in de bodem aanwezig zijn. Een
eenvoudig voorbeeld laat tabel 1 zien,
waarin het gehalte aan cadmium en lood
in regenwormen en in de bodem zijn
weergegeven voor een drietal verschillen-
de gebieden in Nederland, elk met een
andere grondsoort. Per metaal blijkt de
verhouding tussen het gehalte in regen-
wormen en in de bodem (de zg. concen-
tratiefactor) tussen de verschillende
grondsoorten onderling sterk te verschil-
len.

Gebonden aan kleideeltjes of ge-
complexeerd aan humuszuren zijn stof-
fen slechts biologisch beschikbaar na de-
sorptie. Zo heeft onderzoek aangetoond
dat de mate van blootstelling van regen-
wormen aan stoffen voornamelijk wordt
bepaald door de concentratie van de stof
in het poriënwater van de bodem (Van
Gestel & Ma, 1988). Het evenwicht tus-
sen adsorptie en desorptie wordt mede
bepaald door de zuurgraad (pH) en alka-
liniteit van de bodem, de mineralogi-
sche samenstelling en het organische
stofgehalte. Het begrip biologische be-
schikbaarheid is ecotoxicologisch gezien
van grote betekenis, omdat het mede de
mogelijkheid van stoffen bepaalt om een
toxisch effect op een bepaald organisme
teweeg te brengen.

Ten behoeve van de kwaliteitsbe-
waking van het terrestrische milieu is het
gewenst om gegevens over het totaalge-
halte van een stof te koppelen aan infor-
matie over de biologische beschikbaar-
heid door onderzoek aan planten en die-
ren, die voor de bodem als representatie-
ve indicator-organismen kunnen funge-
ren. Organische metaalverbindingen
zoals methylkwik, alkyllood en seleno-
methionine zijn beter opneembaar en
daardoor veel giftiger dan de anorgani-

	Cadmium	Lood
Hernense Bos (Leemarm zand/Sand)		
Bodem/soil	0,14	7,1
Concentratiefactor/Concentration factor	19,3	5,6
Linschoten (Zware klei/Silty clay)		
Bodem/soil	0,36	58
Concentratiefactor/Concentration factor	25,0	0,06
Fochteloër Veen (Veen/Peat)		
Bodem/soil	1,8	105
Concentratiefactor/Concentration factor	1,6	0,03

Tabel 1. Concentratie (in $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ drooggewicht) van cadmium en lood in de bodem en de
concentratiefactor voor *Lumbricus rubellus* in drie natuurgebieden in Nederland.
Concentration (in $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ dry weight) of cadmium and lead in soil and the concentra-
tion factor for *Lumbricus rubellus* in three nature areas in The Netherlands.

sche vormen. Bij metalen zijn veelal de
vrije ionen goed opneembaar en daar-
door de meest toxische vorm.

Vanuit analytisch-chemisch oog-
punt is het erg lastig om vrije ionvor-
men, gecomplexeerde en onoplosbare
vormen van elkaar te onderscheiden en
te identificeren. Het is echter mogelijk
gebleken om aan de hand van bepaalde
bodemparemeters, zoals de pH en het
gehalte aan kleideeltjes en organische
stof, voor gronden met uiteenlopende
bodemeigenschappen de gehalten van
zware metalen in regenwormen te voor-
spellen (Ma, 1983a).

Biomonitoring onderzoek kan bij-
dragen aan het vaststellen van het lange-
termijngedrag van stoffen in verband
met veranderingen in het bodemmilieu
en de biologische beschikbaarheid. Zo
kan de toenemende verzuring van de bo-
dem als gevolg van de voortschrijdende
depositie van zure neerslag leiden tot
een verhoging van de biologische be-
schikbaarheid van stoffen, met name in
de humusarme zandgronden. Onder-
zoek heeft aangetoond dat verzuring een
verhogend effect heeft op de concentra-
tiefactor van stoffen in regenwormen.
Dit is waargenomen bij zware metalen
zoals lood en cadmium (Ma, 1983a),

maar ook bij organische verbindingen
zoals dieldrin (Davis, 1971).

Figuur 3 toont de relatie tussen de
verontreiniging van de bodem met cad-
mium en lood en de afstand tot een
emissiebron gelegen in Budel, Noord-
Brabant (Ma, 1983a). De gehalten van
beide metalen nemen exponentieel toe
naarmate men de emissiebron dichter
nadert. De regenwormen in het gebied
laten een overeenkomstige relatie tussen
het metaalgehalte en de afstand zien.
De concentratiefactor in het gebied is re-
latief hoog, hetgeen kan worden toege-
schreven aan de samenstelling van de
bodem welke bestaat uit zandgrond met
een relatief lage pH. De bioaccumulatie
van cadmium blijkt daarbij groter te zijn
dan die van lood. De gehalten van cad-
mium en lood in de regenwormen kun-
nen op korte afstand tot de emissiebron
zeer hoge waarden bereiken. Dergelijke
metingen kunnen bij regelmatige herha-
ling een goede indruk geven van het
lange-termijngedrag van de verontreini-
ging in een bepaald gebied.

Stofgerichte biomonitoring

Biomonitoring van de stofbelasting van
het terrestrische milieu wordt in Neder-
land nog op zeer bescheiden schaal uit-

gevoerd. Als voorbeelden kunnen worden genoemd het Project Integratie Milieumetingen (PIMM) van de provincie Zuid-Holland en het Referentiewaardenproject van het Rijksinstituut voor Natuurbeheer. In het PIMM programma worden in deelgebieden van de provincie elke 5 à 6 jaar de concentraties gemeten van arseen, beryllium, cadmium, chroom, koper, lood, mangaan, nikkel, tin en zink, evenals van bepaalde bestrijdingsmiddelen zoals HCH en endosulfan. Naast metingen in het abiotische milieu (bodem en freatisch water) worden als indicatie van de biotische belasting de gehalten in regenwormen en in een predator (mollen) onderzocht.

In het zg. Referentiewaardenproject van het RIN worden metingen verricht van de gehalten van een vijftiental metaalelementen in het natuurlijke terrestrische milieu van Nederland. Het programma omvat de bodem en geselecteerde biotische componenten, waaronder planten, kleine zoogdieren en bodeminvertebraten. De bemonstering wordt uitgevoerd in natuurgebieden waarvan de bodem in het verleden zo min mogelijk door menselijke invloeden verstoord is geweest. Een viertal verschillende grondsoorten is in het onderzoek betrokken, namelijk leemarm zand, zandig leem, zware kleigrond en veengrond. Het ligt in de bedoeling om dit meetprogramma minstens elke 5 jaar te herhalen teneinde de belasting van de bodem en veranderingen in biologische beschikbaarheid in de tijd te kunnen vervolgen.

Effectgerichte biomonitoring

Onderzoek aan het effect van stoffen op regenwormen kan behalve de toxiciteit ook de ecologische bodemkwaliteit in algemene zin aangeven. Er is behoefte aan effectgericht onderzoek op plaatsen waar vervuild slib of afvalmateriaal is gestort. In het kader van het saneringsbeleid en de reiniging van vervuilde bodems bestaat er ook een toenemende behoefte aan gegevens over de ecologische herstelbaarheid van gesaneerde of gereinigde bodems.

Voorts kan er een behoefte zijn aan effectgericht onderzoek in lokaties die onderhevig zijn aan bepaalde veranderingen in het bodemmilieu. Zo kan de voortdurende aanvoer via de lucht van stikstofhoudende meststoffen in natuurlijk grasland leiden tot een geleidelijke verzuring van de bodem, hetgeen gepaard gaat met een sterke achteruitgang van aanwezige populaties van regenwormen (Ma et al., 1990). Dit is voornamelijk een gevolg van de negatieve invloed die bodemverzuring heeft op de reproductie van regenwormen (Ma, 1984; 1988).

Evenals bij de stofgerichte biomonitoring kan men bij effectgerichte monitoring zowel een passieve als actieve werkwijze toepassen. In effectgericht onderzoek wordt bij passieve monitoring uitgegaan van een natuurlijk proces van (re)kolonisatie. Bij actieve monitoring wordt de ontwikkeling van een populatie gevolgd, nadat men eerst het substraat met het betreffende indicatororganisme heeft geënt. Een natuurlijk

proces van kolonisatie door de bodemfauna kan men waarnemen in depots waar vliegafkomstig van kolen-gestookte energiecentrales ligt opgeslagen. Tabel 2 toont de monitoring van de populatieontwikkeling van regenwormen in vliegdepots bij Nijmegen. De populatieontwikkeling bleek parallel te verlopen aan de ontwikkeling van een vegetatiedek, de vorming van organische stof en de uitspoeling van contaminanten via het regenwater.

Effectgerichte biomonitoring kan ook worden toegepast bij de evaluatie van de milieugevaarlijkheid van nieuw-ontwikkelde stoffen zoals nieuwe pesticiden en industriële chemische stoffen. Onder bepaalde omstandigheden kan het gewenst zijn om toetsingsresultaten die in het laboratorium zijn verkregen in het veld nader te evalueren.

Randvoorwaarden voor biomonitoring met regenwormen

Regenwormen hebben een geringe horizontale verplaatsing, waardoor de opgenomen stofgehalten representatief zijn voor de grond waarin ze zijn bemonsterd. Regenwormen zijn bovendien goed bemonsterbaar en hebben een grote biomassa, waardoor chemische analyse van stoffen met relatief hoge detectiegrenzen ook bij lage concentraties mogelijk wordt.

Het is van belang om bij de opname van regenwormen in monitorprogramma's rekening te houden met verschillen in blootstelling tussen de eerdergenoemde eco-morfologische categorie-

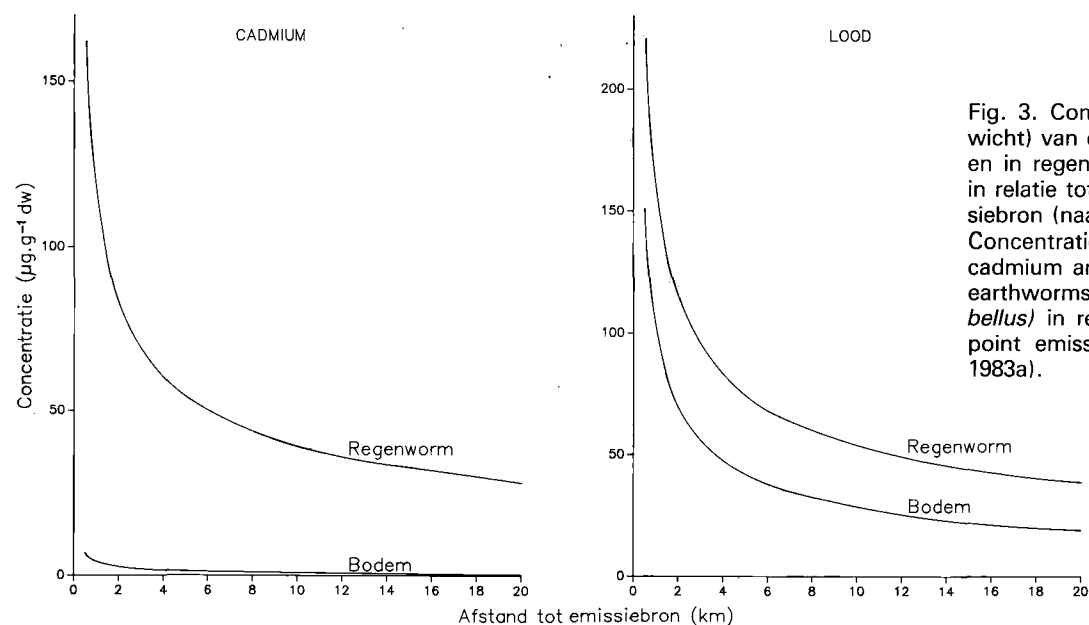


Fig. 3. Concentratie (in $\mu\text{g. g}^{-1}$ drooggewicht) van cadmium en lood in de bodem en in regenwormen (*Lumbricus rubellus*), in relatie tot de afstand tot een puntemissiebron (naar Ma, 1983a).

Concentration (in $\mu\text{g. g}^{-1}$ dry weight) of cadmium and lead in soil (bodem) and in earthworms (regenworm) (*Lumbricus rubellus*) in relation to the distance from a point emission source (bron) (after Ma, 1983a).

Soort/species	Ouderdom van de depots (jr) Age of ash site (yr)				Controle
	1-2	3-4	4-5	15-18	
Epigeïsch/epigeic					
<i>Lumbricus rubellus</i> /adult	0	1	0	10	0
<i>Lumbricus castaneus</i> /adult	0	0	0	0	68
Juvenielen/juveniles	0	0	39	49	20
Endogeïsch/endogeic					
<i>Aporrectodea chlorotica</i> /adult	0	0	0	118	39
<i>Eiseniella tetraedra</i> /adult	0	0	0	10	39
Juvenielen/juveniles	0	0	10	78	167
Totaal/total	0	1	49	265	333

Tabel 2. Populatiegrootte (in aantallen. m^{-2}) van regenwormen in vliegashdepots van verschillende ouderdom en in controlegebieden langs de randen van de depots (naar Ma & Eijsackers, 1989).

Population size (in numbers. m^{-2}) of earthworms in fly-ash disposal sites and in control areas bordering the sites (after Ma & Eijsackers, 1989).

ën. Deze kunnen immers in diepte van voorkomen aanzienlijk variëren, terwijl daarentegen de verticale verdeling van verontreiniging in de bodem meestal niet homogeen is. Bovendien kunnen er soortverschillen zijn in graafactiviteit, voedselkeuze en fysiologische eigenschappen. Verder is het noodzakelijk om rekening te houden met de invloed van het ontwikkelingsstadium, bijvoorbeeld door gebruik te maken van uitsluitend dieren in het volwassen stadium (Ma, 1983a).

Voor effectgericht veldonderzoek dient men bepaalde richtlijnen in acht te nemen. Dit is het geval bij passieve monitoring in een proefveldsituatie, bijvoorbeeld na de toepassing van een bepaald bestrijdingsmiddel. Het proefterrein dient voldoende aantallen individuen te bevatten, waarbij men een aantal van ongeveer 100 wormen. m^{-2} als norm kan hanteren. Graafmonsters van bijvoorbeeld 30x30 cm tot een diepte van 20 cm, eventueel aangevuld met formaldehyde extractie, is nog steeds een van de meest betrouwbare bemonsteringsmethoden. De proefvakken dienen daarom voldoende groot van omvang te zijn, tenminste 10x10 m, teneinde de dichtheid van de populatie op de middellange termijn te kunnen vervolgen.

Literatuur

- Barker, R. J., 1958. Notes on some ecological effects of DDT sprayed on elms. *Journal of Wildlife Management* 22: 259-274.
- Bouché, M. B., 1972. *Lombriciens de France*, Ecologie et Systématique. INRA publication 72, Paris.
- Davis, B. N. K., 1971. Laboratory studies on

the uptake of dieldrin and DDT by earthworms. *Soil Biology and Biochemistry* 3: 221-233.

Gestel, C. A. M. van & W. -C. Ma, 1988. Toxicity and bioaccumulation of chlorophenols in earthworms, in relation to bioavailability in soil. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 15: 289-297.

Juillard, M., 1984. La Chouette chevêche. Société romande pour l'étude et la protection des oiseaux. Suisse.

Kruuk, H. & T. Parish, 1982. Factors affecting population density, group size and territory size of the European badger, *Meles meles*. *Journal of Zoology (London)* 196: 31-39.

Lakhani, K. H. & J. E. Satchell, 1970. Production by *Lumbricus terrestris* (L). *Journal of Animal Ecology* 39: 473-494.

Ma, W.-C., 1983a. Regenwormen als Bioindicators van Bodemverontreiniging. Reeks Bodembescherming nr.15, Ministerie van VROM. Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage.

Ma, W.-C., 1983b. Biomonitoring of soil pollution: ecotoxicological studies of the effect of soil-borne heavy metals on lumbricid earthworms. Research Institute for Nature Management, Annual Report: 83-97.

Ma, W.-C., 1984. Sublethal effects of copper on growth, reproduction and litter breakdown activity in the earthworm *Lumbricus rubellus*, with observations on the influence of temperature and soil pH. *Environmental Pollution (Series A)* 33: 207-219.

Ma, W.-C., 1987. Heavy metal accumulation in the mole, *Talpa europea*, and earthworms as an indicator of metal bioavailability in terrestrial environments. *Bulletin Environmental Contamination and Toxicology* 39: 933-938.

Ma, W.-C., 1988. Toxicity of copper to lumbricid earthworms in sandy agricultural soils amended with Cu-enriched organic waste materials. *Ecological Bulletins (Copenhagen)* 39: 53-56.

Ma, W.-C., 1989. Effect of soil pollution

with metallic lead pellets on lead bioaccumulation and organ/body weight alterations in small mammals. *Archives of environmental contamination and toxicology* 18: 617-622.

Ma, W.-C. & S. Broekhuizen, 1989. Bestanding van dassen *Meles meles* met zware metalen: invloed van de verontreinigde Maaswaterwaarden? *Lutra* 32: 139-151.

Ma, W.-C. & H. E. Eijsackers, 1989. The influence of substrate toxicity on soil macrofauna return in reclaimed land. In: *Animals in Primary Succession - the role of fauna in reclaimed lands*. Cambridge University Press: 223-244.

Ma, W.-C., L. Brussaard & J.A. de Ridder, 1990. Long-term effects of nitrogenous fertilizers on grassland earthworms (Oligochaeta: Lumbricidae): their relation to soil acidification. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 30: 71-80.

Macdonald, D. W., 1983. Predation on earthworms by terrestrial vertebrates. In: *Earthworm Ecology*. Chapman and Hall: 393-414.

Morgan, J. E. & A. J. Morgan, 1988. Calcium-lead interactions involving earthworms. Part 1: The effect of exogenous calcium on lead accumulation by earthworms under field and laboratory conditions. *Environmental Pollution (series A)*: 41-53.

Reinecke, A. J. & R. G. Nash, 1984. Toxicity of 2,3,7,8-TCDD and short-term bioaccumulation by earthworms (Oligochaeta). *Soil Biology and Biochemistry* 16: 45-49.

Summary

Bioaccumulation and effects of soil pollutants in the terrestrial environment, biomonitoring with earthworms

The use of lumbricid earthworms in ecotoxicological research and environmental biomonitoring programmes of soil pollution is discussed. Important arguments are the key role function of earthworms in soil ecosystems and their position at the base of terrestrial food chains. Examples are given of the application of earthworms as an indicator of soil-pollutant bioaccumulation and bioavailability and as a biological effect indicator. Specific conditions are described for the use of earthworms in environmental biomonitoring and examples are given of large scale monitoring programmes presently being carried out in The Netherlands. The information derived from such studies is considered to be of interest for the implementation of both nature management practices and environmental policies regarding acceptable levels of pollutants in natural terrestrial ecosystems.

Dr.ir. W. Ma
Rijksinstituut voor Natuurbeheer
Postbus 9201
6800 HB Arnhem