Biodiversiteit in landbougronde, volhoubare plant-produksie en die beheer van plantpatogene

Biodiversity in agricultural soils, sustainable plant production and control of plant pathogens

AJ Reinecke & SA Reinecke
Departement Plant- en Dierkunde,
Stellenbosch Universiteit, Stellenbosch
E-pos: ajr@sun.ac.za

Koot Reinecke

Sophié Reinecke

AJ (Koot) Reinecke is sedert 1992 professor in die Departement Plant- en Dierkunde aan die Universiteit van Stellenbosch waar hy ook verskeie jare as voorsitter gedien het en ook as dekaan van die Fakulteit Natuurwetenskappe waargeneem het. Hy het aan die Roodepoortse Hoërskool gematrikuleer. Hy het sy doktorsgraad aan die destydse Potchefstroomse Universiteit vir CHO behaal waar hy vanaf 1969 dosent was en ook vanaf 1986 tot 1991 professor en hoof van die Departement Dierkunde. Hy het ook reeds as president van die Dierkundige Vereniging van Suidelike Afrika, die Gesamentlike Raad van Natuurwetenskaplike Verenigings en die Internasionale Gronddierkundige Vereniging gedien. Hy dien ook op die redaksierade van verskeie vaktydskrifte en is tans lid van die Onderwysadvieskomitee van die Suid-Afrikaanse Raad van Natuurwetenskaplike Professies waar hy ook reeds vir 'n termyn as vise-president opgetree het. Hy het uitgebreide studieperiodes in die VSA, Duitsland en Nederland deurgebring waar hy navorsing gedoen het oor die invloed van chemiese besoedelstowwe op diere. Hy is outeur en mede-outeur van sowat 200 navorsingspublikasies waarvan die meerderheid in internasionale, geakrediteerde vaktydskifte verskyn het. Hy is in 2007 met die Havengaprys vir die biologiese wetenskappe van die SA Akademie vir Wetenskap en Kuns bekroon. Hy het in 2008 op uitnodiging opgetree as lid van 'n evaluasiekommissie van navorsingsprogramme van die Nederlandse Wetenskaplike Organisasie in Den Haag. Hy het reeds studieleiding aan sowat veertig M- en D-studente gegee en is tans betrokke by vier PhD studies. Sy navorsing word gefinansier deur die Nasionale Navorsingstigting en die Universiteit van Stellenbsoch.

AJ (Koot) Reinecke has since 1992 held a professorship in the Department of Botany and Zoology at Stellenbosch University where he also served as chairman for several years and also acted as dean of the science faculty. He matriculated at Roodepoort High School and obtained his doctorate at the then Potchefstroom University for CHE where he became a lecturer in 1969 and later professor and head of the department from 1986 to 1991. He has also served as president of the Zoological Society of Southern Africa, the Joint Council of Scientific Societies and the International Soil Zoology Society. He serves on the editorial boards of several international and one national science journal and is currently a member of the Educational Advisory Committee of the South African Council for Scientific Professions where he also served a term as vice-president. He spent extended sabbaticals in the USA, Germany and The Netherlands researching the effects of chemical contaminants on animals. He is author or co-author of some 200 research papers, most of them published in international accredited scientific journals. He was awarded the prestigious Havenga Prize for the biological sciences by the SA Academy of Science and Arts in 2007. In 2008 he was invited to serve as a member of a program evaluation commission for the Netherlands research organization (NWO) in The Hague. He has supervised some forty M- and D-students and is currently involved with supervision of four doctoral studies. His research is financed by the National Research Foundation and the University of Stellenbosch.

Sophié Reinecke is tans Uitvoerende Hoof in die Departement Plant- en Dierkunde aan die Universiteit van Stellenbosch waar sy sedert 1992 werksaam is en tans professor is. Sy behaal haar honneursgraad in dierkunde, M.Sc. en doktorsgrade in Dierkunde (1987) aan die Randse Afrikaanse Universiteit nadat sy haar voorgraadse studies en eerste honneursgraad in Plantkunde aan die destydse Potchefstroomse Universiteit vir CHO behaal het. Vir haar meestersgraad het sy die S2A3 en Junior Kaptein Scott medaljes ontvang. Gedurende haar jare as senior lektor aan die PU vir CHO verwerf sy die universiteitstoekenning vir voortreflike onderrig. Sy was verskeie jare raadslid en sekretaris van die Dierkundige Vereniging van Suidelike Afrika. Haar navorsingsbelangstelling is in die ekotoksikologie en behels die invloed van chemiese besoedelstowwe op diere, met besondere klem op die biochemiese, mokelulêre en sellulêre biomerkerresponse by ongewerweldes. Sy het reeds as studieleier van 19 MSc- en 7 PhD-studente opgetree en lei tans vier doktorsgraadstudente in ekotoksikologie. Sy is outeur en mede-outeur van sowat 80 publikasies in geakkrediteerde vaktydskrifte. Sy het ook reeds meer as 75 bydraes by internasionale konferensies in verskeie lande gelewer. Haar navorsing word gefinansier deur die Nasionale Navorsingstigting, die Universiteit van Stellenbosch en sy het onlangs toekennings van die Nederlandse Nasionale Wetenskapstigting (NWO) ontvang om vir drie maande aan die Vrije Universiteit in Amsterdam navorsing te doen asook befondsing van die Nasionale Noorweegse Navorsingsinstansie vir 'n navorsingsbesoek aan die Universiteit van Oslo. Sy het ook uitgebreide navorsingsbesoeke aan Frankryk gebring.

Sophié Reinecke is currently executive head of the Department of Botany and Zoology at Stellenbosch University where she has been working since 1992. She currently holds a professorship. She obtained her honours, masters and PhD degrees in Zoology at the former Rand Afrikaans University after completing her undergraduate degree and a honours degree in Botany at the former Potchefstroom University for CHE. For her masters degree she was awarded with both the S2A3 and Junior Captain Scott medals. During her time as senior lecturer at Potchefstroom University she received the university award for teaching excellence. She served for several years as council member and secretary of the Zoological Society of Southern Africa. Her research interests are in the ecotoxicology, focusing on the influence of chemical contaminants on animals, with emphasis on biochemical, molecular and cellular biomarker responses in invertebrates. She has acted as supervisor or co-supervisor of 19 MSc and 7 PhD students and currently supervises four doctoral students. She is author and co-author of some 80 research publications in accredited journals. She has presented some 75 contributions to international scientific conferences in several countries. Her research is financed by the National Research Foundation, the University of Stellenbosch and she has recently received awards from the Netherlands research organization (NWO) to conduct research for three months at the Vrije Universiteit in Amsterdam as well as funding from the Norwegian national research organization for a research visit to the University of Oslo. She has also undertaken extended research visits to France.

ABSTRACT

Biodiversity in agricultural soils, sustainable plant production and control of plant pathogens

Soils are very heterogeneous substrates providing an environmental matrix with varying spatial and temporal gradients of pH, organic carbon, particle size distribution and moisture content. Chemical, physical as well as biological factors are operational and soil includes a vast variety of soil-dwelling invertebrates and microbes that interact with each other and the environment to influence plant productivity directly and indirectly. A review of recent literature on the role of soil biodiversity highlights the important role of soil invertebrates, notably earthworms, in influencing soil characteristics and soil borne plant pathogens. Earthworms are widely recognized as having critical functions in soil in regulating key processes that impact favourably on plant productivity and simultaneously eliminating or reducing soil borne diseases.

The aim of this review is firstly to contribute towards a clarification of the role of soil biodiversity in general and to focus specifically on that of earthworms and their role in influencing

plant pathogens and parasites. Evidence is provided that their activities can support plant productivity and suppress pathogens. Once the nature and extent of their role is better known and they are confirmed to support plant productivity to the extent that many soil biologists believe, the next logical step is to utilize knowledge of their ecology to create and manage favourable environmental conditions to ensure their survival and activity in agricultural soils. Agricultural management practices that favour soil organisms are also reviewed. Implementing these will make the services of soil biota available to improve and sustain agro-ecosystems. This requires a better understanding of the preferences and tolerance ranges of these organisms and their interactions before we can apply methodologies in general to manipulate environmental conditions to maximise the benefits that they may offer.

KEY WORDS: soil biodiversity, earthworms, plant pathogens, plant production, agricultural land use practices, sustainability, soil invertabrates

TREFWOORDE: grondbiodiversiteit, erdwurms, plantpatogene, plantproduksie, landbou-praktyke, volhoubaarheid, grondinvertebrate

OPSOMMING

Grond is ’n baie heterogene substraat wat ’n omgewingsmatriks daarstel wat in ruimte en oor tyd kan varieer wat betref pH, organiese koolstof, verspreiding van partikelgrootttes en voginoud. Ook chemiese, fisiese en biologiese faktore tree op en grond bevat ’n enorme verskeidenheid van grondlewende ongewerwelde diere en mikrobes wat met mekaar en met die omgewing in wisselwerking verkeer en sodoende plantproduktiwiteit direk en indirek beïnvloed. ’n Oorsig van die meer onlangse wetenskaplike literatuur oor die rol van grondbiodiversiteit dui op die belangrike rol van grondlewende invertebrate, veral erdwurms, om grondeienskappe en ook grondgedraagde patogene te beïnvloed. Erdwurms het in baie gronde ’n kritieke funksie in die regulering van sleutelprosesse wat impakteer op plantproduktiwiteit en die gelyktydige eliminering of teenwerking van grondgedraagde siektes.

Die doel van hierdie oorsig is eerstens om by te dra tot die opheldering van die rol wat grondbiodiversiteit in die algemeen speel en om meer in die besonder te fokus op die invloed wat erdwurms het op plantpatogene en parasiete. Getuienis word verskaf dat hierdie diere se aktiwiteit plantproduktiwiteit kan beïnvloed en patogene kan onderdruk. As die aard en omvang van die rol van grondorganismes beter bekend is en dit bevestig kan word dat hulle plantproduktiwiteit bevorder, soos wat baie grondbioloë meen, is die volgende logiese stap om die kennis van hulle ekologie uit te brei en te benut. Deur gunstige omgewingstoestande te skep en te bestuur kan hulle oorlewing en aktiwiteit in landbougronde verseker word. ’n Oorsig word ook verskaf van landboupraktyke wat nuttige grondorganismes bevoordeel. Die oordeelkundige implementering hiervan kan die dienste wat hierdie grondorganismes lewer, beskikbaar stel om agro-ekostelsels te verbeter en volhoubaar te maak. Om hierdie ideaal te kan bereik, moet ’n beter begrip van hierdie organismes se voorkeure, wisselwerkings en verdraagsaamheidsomvange verkry word. Eers dan kan metodes om omgewingstoestande te manipuleer meer algemeen toegepas word om die voordele wat die organismes bied ten volle te benut.

1. INLEIDING

Met biodiversiteit wat in 2010 wêreldwyd besondere aandag kry, kan tereg gevra word of die bestaande landboupraktyke en die voortdurende toename in die gebruik van chemikalieë om

oeste te beskerm en plantproduksie te bevorder, lei tot vehoogde toksikologiese en ekonomiese risiko's omdat dit biodiversiteit kan benadeel. Die ideaal om "veilige konsentrasies" van plaagmiddels vas te stel wat nie skade aan die ryk biodiversiteit van die bodem sal doen nie, is nog nie verwesentlik nie.[1] Hierdie toedrag van sake mag op die lange duur ernstige implikasies vir natuurbewaring, menslike gesondheid en volhoubare plantproduksie inhou.

Die kompleksiteit, heterogeniteit en veranderlikheid van die grondomgewing verhoed die daarstelling van 'n algemene, universeel-aanvaarbare, vaste veiligheidsfaktor vir toelaatbare chemiese konsentrasies.[1] Dit is veral van toepassing op landbou- en tuinbougronde wat as opgaarplekke van 'n wye verskeidenheid besoedelstowwe kan dien. Voldoende getuienis bestaan dat die voortgesette gebruik van sekere plaagmiddels nie slegs voordelige grondorganismes kan benadeel nie maar selfs ook tot voordeel van die geteikende plaagorganismes kan wees,[2] veral as die natuurlike vyande van 'n plaagorganisme gevoeliger is as die plaagorganisme self. Die vraag is dus of ons, deur die grond se natuurlike biodiversiteit te benadeel, nie besig is om 'n waardevolle hulpbron onomkeerbaar te vernietig nie.

Uit 'n praktiese oogpunt moet eers vasgestel word hoe waardevol die biodiversiteit in die grond werklik is vir die onderskraging van plantproduktiwiteit. Is dit realisties en wetenskaplik gefundeerd om te dink dat ons geheel en al op grond se biodiversiteit in plaas van chemiese middels kan staatmaak om beheer van patogene en parasitiese organismes te bewerkstellig? Is behoud van biodiversiteit werklik 'n voorvereiste vir volhoubare voedselproduksie?

'n Duidelike en omvatttende begrip van biologiese prosesse en biologiese response in die grond met betrekking tot die indstandhouding van natuurlike grondvrugbaarheid en die vrystelling en mobilisering van plantnutriënte deur detritivore ontbindingsorganismes soos myte, erdwurms en springsterte het oor die jare na vore gekom deur die navorsingswerk van baie gronddier-kundiges.[2, 3, 4, 5, 6] Hierby kan die rol van die organismes in die skep van gunstige toestande vir plantegroei soos verbeterde belugting, strukturele porievorming en waterhouvermoë, gunstige pH ook nog ingereken word om hulle belangrike rol verder te beklemtoon. Die meer onlangse gewildheid van "organiese" boerderymetodes, ongeag die geldigheid van sommige hoogs debatteerbare aansprake oor die verbetering van die kwaliteit van die voedselproduk self, bevestig die waarde wat toenemend aan die behoud van natuurlike grondbiodiversiteit geheg word. Daar is skynbaar 'n steeds groeiende bewussyn onder landbouers dat die natuurlike omgewing oor die langer termyn beskerm moet word. Diegene wat die gebruik van chemiese beheermaatreëls om landbouplae te bestuur of uit te roei, wil inkort en ten gunste is van meer natuurlike alternatiewe, moet egter met werkbare oplossings vorendag kom, indien bestaande oesopbrengste enigsins gehandhaaf moet word sonder die middels Die kernvraag is: Hoe kan plantpatogene en plae op 'n meer natuurlike wyse onderdruk word sonder of met minimale gebruik van chemiese middels? Die antwoorde hierop is van wesentlike belang vir verskeie landbousektore waar die bestuur van bespuitingsprogramme vir volhoubare gebruik van gronde sowel as die kostedoeltreffende gebruik van chemikalieë noodsaaklik is, om nie eens van die organiese boerderybeweging te praat nie. 'n Meer volledige begrip van die aard, rol en ekologiese belangrikheid van grondbiodiversiteit is dus noodsaaklik. Hoewel die wetenskaplike basis van hierdie "natuurlike" boerderybenadering steeds groei, en verskeie suksesse al gerapporteer is, is algemene leiding vir die bevredigende praktiese uitvoering daarvan nog gebrekkig en nie goed gedokumenteer nie. Hoewel daar heelwat suksesverhale vertel word, is die beskikbaarheid van vakkundige inligting oor die werkwyses wat tot hierdie aansprake van sukses gelei het, gering.

Die doel van hierdie oorsigartikel is om eerstens hierdie probleem te belig en by te dra tot die opheldering van die rol wat grondbiodiversiteit speel, veral met betrekking tot die moontlike beïnvloeding van plantpatogene en -parasiete. Daaropvolgend word gekyk na praktiese maniere

waarop hierdie kennis aangewend kan word om grondbiodiversiteit te beskerm en te bestuur tot voordeel van volhourbare plantproduksie. Vanselfsprekend is kennis van die ekologie en bestaansvereistes van grondorganismes nodig sodat pogings aangewend kan word om hulle te beskerm en te bestuur deur byvoorbeeld omgewingstoestande so te manipuleer dat die voordele wat die organismes inhou, maksimaal benut kan word.

2. GRONDBIOTA EN PLANTPRODUKTIWITEIT

Gedurende die afgelope paar dekades het grondekoloë daarin geslaag om goeie vordering te maak om die ingewikkelde aard van die biologiese, biofisiese en biochemiese prosesse wat in die grond plaasvind, te verstaan. Die rol wat die grondfauna (soos Protozoa, nematode, myte, springsterte en vele ander) hierin speel in terme van ontbinding van organiese materiaal, siklering van nutriënte, humifikasie en bevordering van plantproduksie, is reeds oorsigtelik behandel deur Brown et al.,[5] Brussaard et al.,[6] Brussaard,[7] Brussaard en Juma,[8] Coleman et al.,[9] Verhoef en Brussaard [10] en gemodelleer deur de Ruiter et al.[11] en Neutel et al.[12] en word nie hier herhaal nie. Getuienis van ’n meer direkte en voordelige skakel tussen plantegroei, die onderdrukking van plantpatogene en stelselmodifikasies deur grond biota sal eerder ondersoek word.

Wisselwerkings in die ondergrondse voeselwebbe is verantwoordelik vir die regulering van twee belangrike lewensprosesse op aarde naamlik enersyds *produksie* en andersyds *ontbinding*. Veranderinge deur die mens aan die plantesamestelling en plantbedekkings, die hoeveelheid en kwaliteit van organiese residue en anorganiese bemestingstowwe wat in die grond beland, kan hierdie twee prosesse drasties beïnvloed. Sodanige ingrepe tesame met ander landboupraktyke van ’n fisiese aard, soos die omploeg of verdigting van grond, verander beide die fisiese omgewing sowel as die samestelling van die biota self en kan die doeltreffendheid van produksie raak. Pogings om die gronddegradering wat volg op versteuring deur byvoorbeeld chemiese besoedeling, habitatvernietiging en indringerspesies om te keer en herstel van gronde te bewerkstellig, sal ook toenemend belangrik word indien die voorspelde uitwerking van klimaatsveranderinge ’n werklikheid word.

Erdwurms is reeds daarvoor bekend dat hulle plantegroei kan modifiseer [13, 5] deur mineralisasie van dooie plantmateriaal te bevorder,[14] deur modifisering van grondporositeit en struktuur[15] wat weer verandering in belugting en waterbeskikbaarheid [16] meebring. Hierdeur word die produksie van plantgroeireguleerders bevorder via mikrobiese aktiwiteit,[17] deur stimulering van simbionte en die onderdrukking van patogene en peste. Getuienis van die laasgenoemde rol van erdwurms is beskikbaar. So byvoorbeeld het Lafont et al.[18] aangetoon dat piesangplante ’n betekenisvolle hoër blaaroppervlak, droë wortelgewig en lewende wortelgewig het in die teenwoordigheid van erdwurms as plante wat sonder erdwurms gegroei het. Die outeurs kon egter nie aantoon dat daar ’n betekenisvolle skakel was tussen die teenwoordigheid van die erdwurms en ’n vermindering in totale getal wortel-aalwurms nie. Aan die ander kant het Boyer et al.[19] ’n aansienlike toename in mielieopbrengste gevind in die teenwoordigheid van *Trifolium* bedekkingsgewasse en erdwurms terwyl die getalle van plantparasitiese nematode in die mieliewortels ’n betekenisvolle afname getoon het. Toyota & Kimura [20] het die uitwerking van erdwurms op die bevolkingsdinamika van die *Fusarium*-patogeen in radyse ondersoek en tot die gevolgtrekking gekom dat erdwurms waarskynlik ’n afname in die totale getal spore van die patogeen in die grond veroorsaak het, hoewel hulle wel ook van die spore wyer versprei het.

Tao et al.[21] het in 2009 die invloed van erdwurms op Nematoda-wurms en protosoïese gemeenskappe gedurende die koringfase van ’n sesjarige gewasrotasie tussen koring in ’n landbouekostelsel ondersoek. Eksperimentele persele het in rotasie vyf behandelings ontvang, naamlik

inwerking van mieliereste met en sonder die toevoeging van erdwurms en ’n kontrole. Die toevoeging van mieliereste in die grond het die volopheid en gemeenskapstruktuur van die Nematoda en Protozoa baie sterk geaffekteer in die afwesigheid van erdwurms. Die teenwoordigheid van erdwurms het tot ’n betekenisvolle afname in nematoodgetalle op alle gronddieptes gelei na die inkorporering van mieliereste in teenstelling met die behandeling sonder erdwurms. Tao et al.[21] het tot die gevolgtrekking gekom dat erdwurmaktiwiteit die volopheid en gemeenskapstruktuur van die mikrofauna en hulle diepteverspreiding kan beïnvloed, maar dat dit afhanklik is van die modus waarvolgens die organiese reste ingewerk word.

Volgens Oldenburg et al.[22] kan erdwurms ook in noue wisselwerking met mikro-organismes deelneem aan die doeltreffende afbraak en degradering van beide *Fusarium* biomassa en deoksinivalenool (DON) wat in strooisel voorkom. Sodoende kan potensieel infektiewe materiaal van die grondoppervlak verwyder word. Bewaringsvoorbereiding van grond (in teenstelling met konvensionele intensiewe voorbereiding soos om dit diep in te ploeg) bring mee dat plantreste op die grondoppervlak agterbly om die grond te beskerm. Die reste is veronderstel om ten volle ontbind te wees tydens die volgende groeiperiode omdat mikrobiese plantpatogene wat op die plantreste kan voorkom die daaropvolgende oesopbrengs kan benadeel. Die funguspatogeen *Fusarium* besmet kleingraangewasse en produseer die mukotoksien DON en dit is onseker of DON-afbraak deur lede van die voedselweb in die grond, wat vir ontbinding verantwoordelik is, geskied. Oldenburg et al.[22] het gedurende 2008 ’n mikrokosmosstudie onder gekontroleerde laboratoriumtoestande onderneem om die degraderingsrol van die dieptonnelende Europese erdwurmspesie, *Lumbricus terrestris* (wat nie in Suid-Afrika voorkom nie) te ondersoek deur dit aan *Fusarium*-besmette koringreste wat DON bevat, bloot te stel. Dit het geblyk dat reste wat swaar besmet was met *Fusarium* en DON meer aantreklik was vir die erdwurms en gevolglik vinniger in die grond ingewerk is in vergelyking met onbesmette en minder besmette reste. Die gevolgtrekking was dat die erdwurms in wisselwerking met die mikro-organismes deelneem aan die doeltreffende degradering van die *Fusarium*-biomassa en die hoeveelheid DON wat op die reste voorgekom het, verminder het. Die erdwurmaktiwiteit het dus bygedra tot die verwydering van potensieel besmetlike plantmateriaal vanaf die grondoppervlak.

Erdwurms voed volgens Bonkowski et al.[23] nie lukraak nie maar selekteer blaarstrooisel wat ’n hoë stikstof-inhoud bevat. Verder word grondfungi ook as ’n belangrike voedselbron vir die wurms beskou.[24] In voorkeureksperimente wat deur Moody et al.[25] en Bonkowski et al. [23] uitgevoer is, het *L. terrestris* voorkeur aan *Fusarium* sp. gegee in vergelyking met ander genera soos *Mucor*, *Trichoderma* en *Rhizoctonia*. Plantreste wat deur plantpatogene gekoloniseer is, mag volgens die outeurs, vir erdwurms ’n aanduiding wees van nutriëntryke organiese materiaal, wat dit gevolglik vir hulle aantreklik maak as voedselbron. Dit is waarskynlik dat swaarbesmette *Fusarium*-reste verkies word as voedsel omdat die fungus die N-inhoud en daardeur die nutriëntwaarde verhoog, aldus Oldenburg et al.[22]

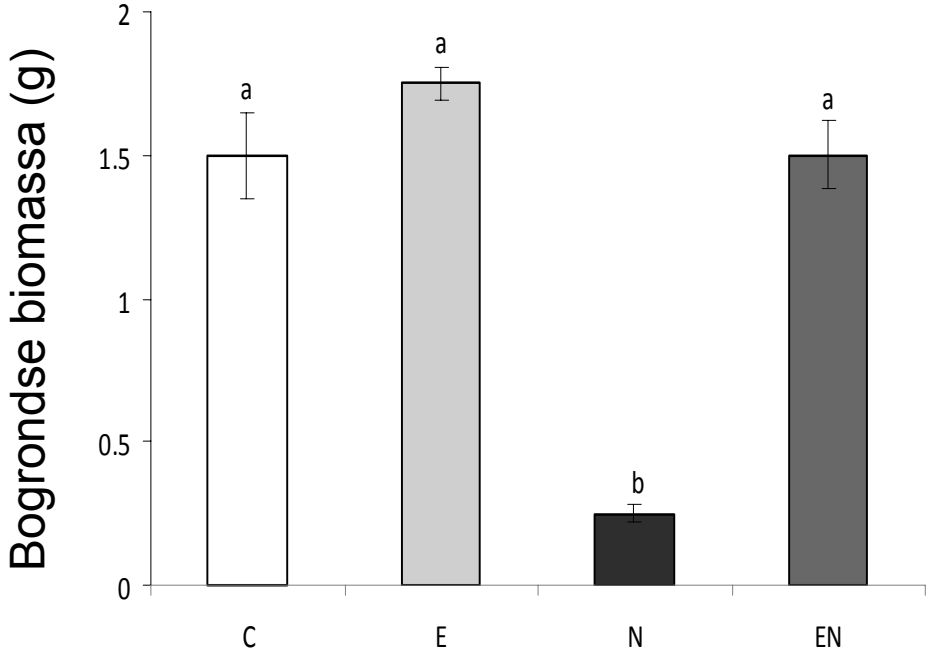
Baie onlangs het Eisenhauer en Scheu[26] op hulle beurt aangetoon dat erdwurms se teenwoordigheid die produktiwiteit van grasse en peulgewasse na ses weke verhoog het maar slegs dié van grasse na tien weke. Hulle meen dat die erdwurms die kompetisie tussen die twee tipes gewasse gemoduleer het deurdat hulle die N-opname deur plante verhoog het en sodoende die kompeteervermoë van die grasse verhoog het.

Plantsiektes word in natuurlike ekostelsels, wat normaalweg ’n groter diversiteit van biota as landbou-ekostelsel bevat, beheer deur trofiese interaksies soos kompetisie, predasie en parasitisme sowel as deur strukturele veranderinge wat volg op wisselwerking van die sogenaamde ekostelsel-ingenieurs met hulle fisiese omgewing. Erdwurms, miere en termiete is tipiese voorbeelde van hierdie groep. Volgens Jones et al.[27] kan hulle die beskikbaarheid van hulpbronne

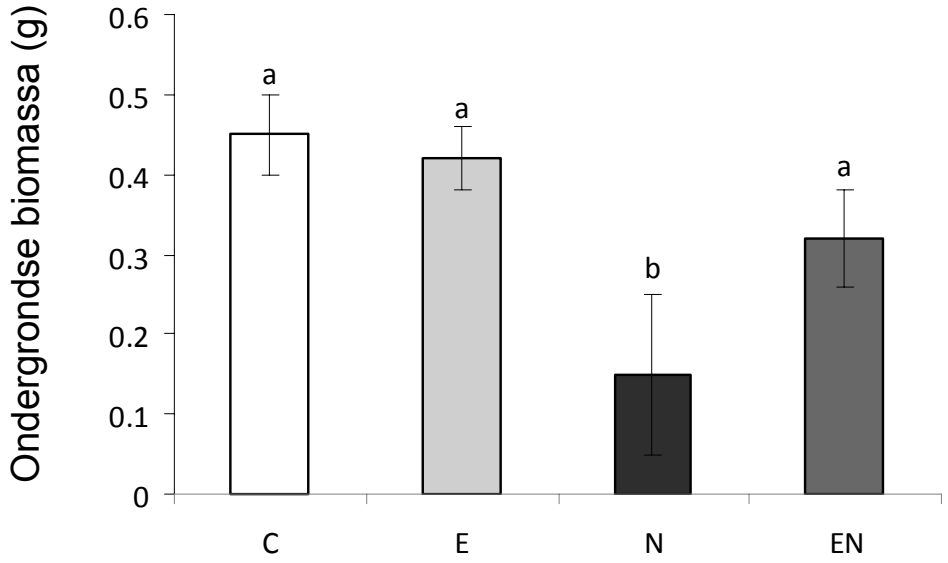
vir ander organismes verander. Die beweging van plantparasitiese nematode kan beïnvloed word deur hierdie bioturbasie en veranderinge in die verspreiding van poriegroottes.[28, 29] Sommige patogene kan selfs geïngesteer word en nadelig beïnvloed word soos dit deur die spysverteringskanaal van ongewerwelde diere beweeg, volgens Toyota en Kimura.[20] In die proses kan dit die verspreiding bevorder. *Fusarium* kan egter so versprei word sonder dat dit enigsins benadeel word.

Lavelle et al.[2] het in 'n laboratoriumeksperiment getoon dat erdwurms plantparasitiese nematode so suksesvol kan beheer dat hulle negatiewe uitwerking op die groei van rysplante heeltemal onderdruk word (Figure 1 en 2). Dieselfde outeurs het ook 'n ander belangrike effek op die biodiversiteit in grond vasgestel. Hulle het aangetoon dat die diversiteit van nematoodbevolkings self ook 'n voordelige uitwerking kan uitoefen. Waar 'n gemeenskap van plantparasitiese nematode oorheers word deur 'n wye spektrum van spesies kan interspesifieke kompetise vir voedingsplekke die algehele omvang van patogenisiteit verlaag. Deur dus diversiteit te bevorder, kan spesies wat minder patogeen is spesies wat meer patogeen is, vervang of in toom hou.

Collembola (spingsterte) is ook volop in baie gronde en dra by tot die ontbinding van organiese materiaal. Soortgelyk aan erdwurms speel hulle ook 'n betekenisvolle rol in die verspreiding van mikroörganismes en die stimulering van mikrobiese aktiwiteit in die grond.[30] Hulle effek op plantpatogene is ook goed gedokumenteer en bevestig die nodigheid om eerder 'n holistiese benadering te volg ten einde die rol van grondbiota te verstaan, eerder as om die



Figuur 1: *Bogrondse biomassa van rysplante na 90 dae se behandeling as volg: : C = kontrole; N= inokulasie met parasitiese nematode; E = inokulasie met erdwurms; EN = inokulasie met erdwurms en nematode. Verskillende letters dui betekenisvolle verskille aan p< 0.05) (Volgens Lavelle et al.[2]).*



Figuur 2: *Ondergrondse biomassa van rysplante na 90 dae se behandeling as volg: : C = kontrole; N= inokulasie met parasitiese nematode; E = inokulasie met erdwurms; EN = inokulasie met erdwurms en nematode. Verskillende letters dui betekenisvolle verskille aan p< 0.05) (Volgens Lavelle et al.[2]).*

aandag op slegs een groep te fokus. Ruimtelike patrone in die grondbiota se verspreiding en aktiwitete is dinamies en word nie net deur die heterogeniteit van die omgewing beheer nie maar ook deur intrinsieke bevolkingsprosesse beïnvloed soos byvoorbeeld spreiding, voortplanting, kompetisie asook wisselwerkings tussen verskillende spesies.

Bakterieë produseer polisakkariedes wat die oriëntasie en aggregaatvorming van kleipartikels beïnvloed.[31] Glomalien word deur arbuskulêre mikorisale fungushifes geproduseer en het hidrofobiese eienskappe wat waterbeweging beïnvloed.[32] Net soos die makrofauna verbrokkel of fragmenteer die mesofauna organiese voedingsbronne en ekskreteer fekale brokkies wat ryk is aan mikroörganismes. Enchytraeidae (potwurms) ingesteer minerale gronddeeltjies en ekskreteer organo-minerale fekale brokkies.[33] Die sogenaamde ingenieurs soos termiete en erdwurms grawe of tonnel weer en skep sodoende kanale wat wortelgroei bevorder, grond herversprei en hulle organo-minerale uitwerpsels of gietsels vorm stabiele aggregate.[34]

Die verstommende verskeidenheid van grondorganismes waarna soms kollektief as die "grondbioloog se reënwoud" verwys word, is nog maar gebrekkig bestudeer en daar is 'n skreiende onkunde oor waar hulle voorkom en wat hulle doen ten spyte van hulle kwantitatiewe belangrikheid. Brussaard et al.[6] het dit beklemtoon dat die skakel tussen grondbiologiese aktiwiteit, C- en N-mineralisering en -stabilisering en die dinamika van grondstruktuur nie eenvoudig te verstane is nie maar steeds baie belangrik is vir grondvrugbaarheid.

3. GRONDBIOTA KAN GRONDEIENSKAPPE BEÏNVLOED

Erdwurms beïnvloed volgens Edwards et al.[35] ook die hidroliese eienskappe van gronde deurdat hulle byvoorbeeld deurvloei veroorsaak terwyl termiete mikro-aggregate produseer deur hulle

fekale en orale brokkies of balletjies wat die mikrostruktuur van die grond verbeter.[36, 37] Die organismes se tonnelaktiwiteite breek die korsoppervlakke en speel 'n belangrike rol om die porositeit van die bogrond te verseker.[38] Uiteraard kan die strukturele veranderinge waterinfiltrasie en -storing bevorder. [39] Lavelle [40] meen grondporositeit wat deur erdwurmaktiwiteit veroorsaak word, kan drasties afneem indien inheemse erdwurmsoorte tot niet gaan weens landbou- en bosbou-aktiwiteite.[40] Dit is moontlik reeds die geval in baie dele van Suid-Afrika [41] tensy aanvaar word dat die dominante teenwoordigheid van uitheemse spesies in Suid-Afrtikaanse landbougronde toegeskryf kan word aan hulle vermoë om 'n pioniersrol te speel en te vestig in gronde wat voorheen sonder erdwurms was. Andersyds sou hulle in staat moes wees om inheemse spesies te verdring. Daarvoor bestaan nog nie gedokumenteerde getuienis nie.

Water was nog altyd 'n skaars kommoditeit in meeste dele van Suid-Afrika en dit is toenemend die geval in baie ander wêrelddele. Dit is gevolglik van die uiterste belang om die doeltreffendheid van water- en nutriëntgebruik in landboupraktyke met sowel hoë as lae insette te verseker. Doeltreffende nutriëntgebruik in gronde is afhanklik van die plantspesies wat betrokke is sowel as van daardie faktore wat nutriëntvoorsiening[42] beheer, waarvan fauna-aktiwiteit 'n voorbeeld is. Volgens Tian et al.[43] kan die manipulering van erdwurms se aktiwiteit deur middel van sowel hoë en lae kwaliteit organiese bolaagbedekkings bydra tot die sinchronisering van nutriëntvoorsiening en plantbehoeftes. Volgens Ouédragogo et al.[44] kan die aktiwiteit van die grondfauna ook die doeltreffendheid van water en nutriëntgebruik bevorder indien hulle van hoë kwaliteit organiese toevoegings voorsien word. In die geval waar beesmis gebruik is, het dit 'n lae bolaagdekkingswaarde gehad en is 'n toename in water se gebruiksdoeltreffendheid nie verkry nie. Die bevinding beklemtoon die belangrikheid daarvan om die deklaag se effek op nutriëntvoorsiening met sy bevordering van die mikroklimaat te balanseer.

Klimaat, grondtekstuur en verskeie bestuurspraktyke beïnvloed die aktiwiteit van die makrofauna soos erdwurms en termiete wat biogeniese strukture produseer. Die dinamika van die strukture beïnvloed weer water-, koolstof- en nutriëntbeweging soos deur Anderson, [45] Mando,[46] Bossuyt et al.,[47] Bossuyt et al.,[48] Pulleman et al.,[49] en Pulleman et al.[50] uitgewys is. Volgens Brown et al.[5] is al hierdie effekte van belang vir plantproduksie.

4. UITWERKING VAN BESTUURSPRAKTYKE OP GRONDORGANISMES – PRAKTIESE OORWEGINGS

Uit die oogpunt van die benutting van grondorganismes, behoort ons (in die soeke na en identifikasie van strukturele effekte wat die grondfauna het op die funksionering van die ekostelsel) te konsentreer op die temporale en ruimtelike vlakke. In die bestuur van gebiede wat vroeër woude of savanna was en toe na landbougewasproduksie oorgeskakel is, moet steeds gepoog word om genoegsame plantbiomassa en plantbedekking in stand te hou of te herstel. Dit is nodig sodat die inset van organiese materiaal en die handhawing van 'n gunstige mikroklimaat in die grond vir die oorspronklike makrofauna verseker kan word. Dit stel hulle weer in staat om op hulle beurt hulle rolle te kan vervul. In praktyk kan dit meebring dat dit nodig is om 'n nuwe verskeidenheid van sogenaamde ekostelsel-ingenieurs te vestig omdat die veranderde landboutoestande nadelig mag wees vir die oorspronklike, meer gevoelige fauna. In Suid-Afrika, soos in Nieu-Seeland, is inheemse erdwurmspesies meestal afwesig in versteurde landbougronde en vervang deur meer robuuste uitheemse, meestal Europese en Oosterse, spesies wat sedert die 1600's deur setlaars en handelaars ingebring is. Verteenwoordigers van die genera *Aporrectodea, Eisenia, Amynthas, Pheretima* en *Pontoscolex* is voorbeelde hiervan.[51,52] Of hierdie spesies as indringers beskou moet word wat nadelige gevolge kan inhou, is nog onduidelik. Versigtig

geselekteerde erdwurmspesies kan met verloop van tyd in gronde wat sonder erdwurms is, gevestig word, indien gunstige toestande geskep en gehandhaaf kan word. Volgens Brussaard et al.[6] sal die intieme maar dinamiese verband tussen aggregaatvorming en organiese materiaalinhoud meebring dat 'n bestuursbenadering gevolg moet word wat die makro- en mikroaggregaat-omsetting balanseer sodat die beskermende rol (grond en organiese materiaal se stabilisering, toename in toeganklike koolstof en nutriëntbewaring) teenoor die produktiewe funksies (nuriëntvrystelling en -beskikbaarheid) geoptimeer kan word.

Klimaat en grondtipe is belangrike faktore vir instandhouding van die grondbiota en bestuurspraktyke (toevoeging van organiese materiaal sowel as die hoeveelheid en kwaliteit daarvan, die tipe grondbewerking, kunsmisstowwe, besproeiing ens.) kan voor- of nadelig wees vir komponente van die grondbiota. Indien bestuurspraktyke verander sou word ten einde optimale toestande vir grondbiodiversiteit te skep, sal natuurlike herkolonialisering afhang van toestande wat nuut geskep is.

Volgens Lee [3] is grondtemperatuur en grondvog die belangrikste omgewingsfaktore wat die aktiwiteit en verspreiding van erdwurms bepaal. Optimale handhawing van dié twee faktore en die voorsiening van voldoende voedsel is normaalweg al wat nodig is om erdwurmbevolkings suksesvol in stand te hou. Dit is makliker gesê as om op 'n groot skaal te doen in klimaatstreke wat hoogs veranderlik is, soos wat byvoorbeeld die geval is in groot dele van Suid-Afrika waar langdurige droogtetoestande erdwurmbevolkings drasties sal beïnvloed. Hoewel die landbouer nie alle omgewingsfaktore in die grond kan beïnvloed, beheer of manipuleer nie, kan verskeie grondbestuurspraktyke wat nadelig is vir erdwurms, gewysig word om hulle bevolkings te bevoordeel. Ander praktyke soos grondlaagbedekkings, die plant van dekgewasse en besproeiing met water van goeie kwaliteit, kan gebruik word om groter erdwurmbevolkings te onderhou. Om nutriënt- en waterbeweging in gronde te manipuleer ten einde volhoubare bestuur van landboustelsels na te streef, vereis dat die grondfauna en die strukture wat hulle voortbring gemanipuleer moet word. Dit kan geskied deur die grondmikroklimaat en hoeveelheid en kwaliteit van die organiese materiaal wat toegevoeg word te wysig. Dit kan byvoorbeeld deur gewasrotasie, residu-retensie en inwerking, en wysiging van ploegdiepte of geen bewerking bewerkstellig word.

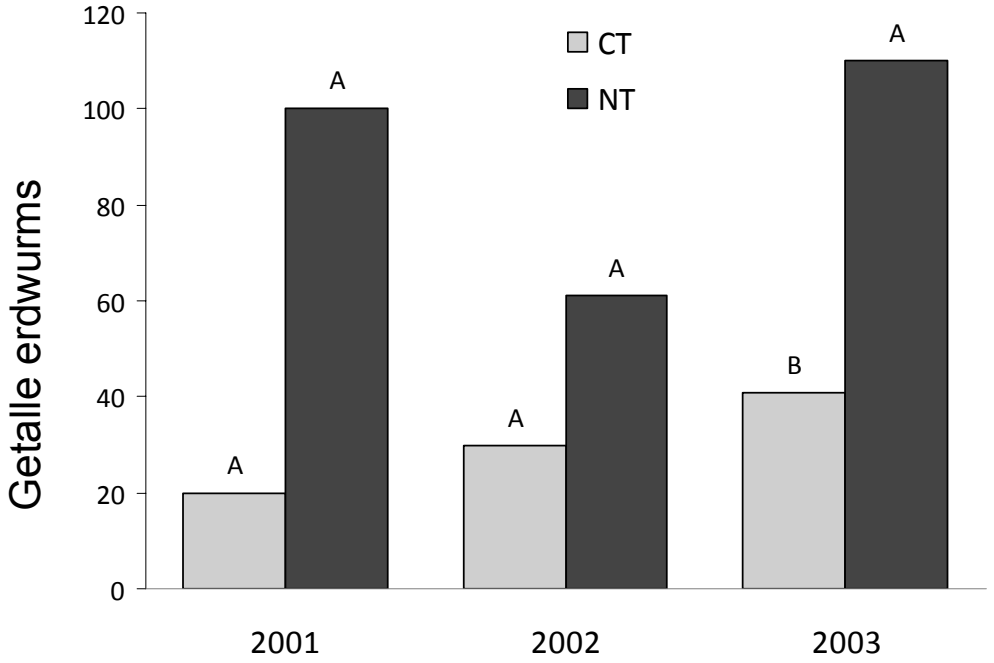
4.1 Die uitwerking van fisiese bewerkingspraktyke

Toenemende belangstelling in meer omgewingsvriendelike en meer volhoubare bestuurs- en bewerkingspraktyke wat die aktiwiteit van voordelige grondorganismes kan bevoordeel, vereis natuurlik navorsing oor die impak van produksieprosesse op die bevolkings van die organismes.[75] Enkele studies is reeds onderneem om vas te stel hoe erdwurmbevolkings en sleutel fisiese faktore in die grond met mekaar in verband staan en met tyd verander nadat daar van konvensionele bewerkingspraktyke na geen bewerking of sogenaamde "no-till" oorgeskakel is. Die vergelyking van agro-ekostelsels waar verminderde bewerking toegepas is met stelsels wat konvensioneel bewerk is, is deur 'n groot getal navorsers gedoen en hulle het reeds bevestig dat verminderde of geen bewerking in die algemeen groter erdwurmbevolkings tot gevolg het.[15, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60] Die verklaring hiervoor deur Edwards en Lofty,[15] Lee,[3] en Chan[58] is dat daar minder fisiese habitatversteuring plaasvind, gunstiger grondtoestande heers, minder fisiese beserings is en minder predasie deur voëls plaasvind. Die voedelvoorsiening aan die fauna is ook meer deurlopend.

Aangesien dit algemeen bekend is dat erdwurmbevolkings, soos meeste ander grondorganismes, 'n vlekverspreidingspatroon vertoon, is dit altyd moeilik om verandering in bevolkingsdigtheid akkuraat te meet en gevolglik ook hulle impak op grondprosesse.[61] Maboeta

et al.[62] het 'n hoë graad van seisoenale veranderlikheid in die grootte van inheemse erdwurmbevolkings in Suid-Afrika aangetoon. Hendrix et al., 1992 P.F. Hendrix, B.R. Mueller, R.R. Bruce, G.W. Langdale and R.W. Parmelee, Abundance and distribution of earthworms in relation to landscape factors on the Georgia piedmont, U.S.A., *Soil Biol. Biochem.* **24** (1992), pp. 1357–1361. Abstract | PDF (503 K) | View Record in Scopus | Cited By in Scopus (56) Johnson-Maynard et al.[63] het 'n gemiddelde jaarlikse digtheid van 21.8 tot 41.5 individue m^{-2} onder konvensionele bewerking gemeet terwyl dit tussen 62.2 en 110.7 individue m^{-2} gewissel het waar geen bewerking plaasgevind het nie. Die verskil in digtheid tussen die bewerkte en onbewerkte grond was eers na drie jaar statisties betekenisvol ($p = 0.04$, Figuur 3).

Minimum of geen bewerking het ook beperkinge, veral in vogtige klimaatstreke waar oormatige oesreste op die grondoppervlak kan voorkom. Langdurige nat toestande en grondkompaktering kan ook beperkend wees en 'n beter begrip en beheer van plantsiektes is onder dié toestande nodig. Bewarings- of minimumbewerking is geneig om plantreste te konsentreer met die gevolg dat mikrobiese biomassa in die boonste 5 tot 15 cm van die bodem voorkom en sodoende oorlewing van patogene tot gevolg het. Soos Oldenburg et al.[22] aangetoon het, kan die teenwoordigheid en aktiwiteit van erdwurms onder hierdie omstandighede voordelig wees maar die omstandighede sal verskillend wees in meer ariede omgewings.



Figuur 3: *Gemiddelde erdwurmdigtheid (individue m^{-2}) in konvensioneel bewerkte (CT) en geen bewerkte (no-till) (NT) persele wat gedurende 2001, 2002, en 2003 gemonster is. Gegewens verteenwoordig die gemiddelde digtheid vir verskillende gewasse en maande. Vir 'n bepaalde jaar dui ongelyksoortige letters betekensivolle verskille tuusen bewerkingsmetodes aan (Volgens Johnson-Maynard et al.[63])*

Dit word alreeds verskeie dekades lank in die VSA aanvaar dat ’n grondbedekkingslaag (E. *mulching*) en die behoud van oesreste op die grondoppervlak (om ’n insulerende laag te vorm en voedsel te voorsien) erdwurms bevoordeel.[15, 64] Haynes et al.[65] het die uitwerking van landboupraktyke op die organiese materiaal en die samestelling van erdwurmbevolkings in KwaZulu-Natal bestudeer en bevind dat erdwurmgetalle (230–310 m^{-2}) sowel as biomassa, en die getal verskillende spesies teenwoordig, asook die getal volwasse wurms, altyd die hoogste was in gronde onder kikuyu-gras. Bevolkingsdigthede was laag (<60 m^{-2}) in landerye waar mielies (konvensionele bewerking) en suikerriet verbou is. Die getalle was tot 3.5 keer hoër in mielielande waar geen bewerking plaasgevind het nie in vergelyking met dié waar bewerking wel plaasgevind het. Hulle kom tot die gevolgtrekking dat die bewerkingspraktyke deurslaggewend kan wees vir gronde se organiese materiaalinhoud en dat dit ook die grootte, samestelling en diversiteit van erdwurmgemeenskappe in hierdie Suid-Afrikaanse gronde beïnvloed.

In ’n baie onlangse studie het Eriksen-Hamel et al.[66] die uitwerking van verskeie bewerkingspraktyke en tipes oesreste op erdwurmbevolkings in sowel die natuur as onder beheerde toestande ondersoek Bevolkingsdigthede is oor die langtermyn (15+ jaar) by twee eksperimentele persele in Kanada gemeet onder drie verskillende fisiese bewerkingpraktyke naamlik: 1) ysterplaatploeg/roleg (RP), beitelploeg of roleg (RE) en geen bewerking (NT), asook twee insetvlakke van oesreste (hoog en laag). Erdwurms se bevolkingsdigthede en biomassa in die veld was hoër onder die langtermyntoestande van geen bewerking as onder die RP en RE praktyke maar die bestuur van die oesreste het nie betekenisvolle verskille uitgewys nie. Eriksen-Hamel et al.[66] het bevind dat fisiese versteuring as gevolg van die bewerkingspraktyke waarskynlik ’n groter impak het as voedselbeskikbaarheid op erdwurms in koeler, vogtige agro-ekostelsels.

4.2 Die uitwerking van gewasbedekking, gewas tipe en rotasiegewasse

Reeds in 1946 het Hopp [67] berig dat wurmbevolkings baie kan verskil in gronde met verskillende soorte gewasse. Hy het bevind dat hulle getalle die laagste is onder rysgewasse en die hoogste is in landerye waar wintergraan en somerpeulgewasse verbou is. Verskeie latere studies het dit bevestig. Eie waarnemings het getoon dat hoër wurmdigthede ook in Suid-Afrika voorkom in wingerde met gewasbedekking tussen die rye as in wingerde daarsonder. Eijsackers et al.[68] het in Suid-Afrika groter wurmdigthede in aangrensende grasland as in wingerde (sonder gewasbedekking tussen die rye) gevind, maar die verskil kon ook deels die gevolg wees van chemiese bespuiting in die wingerd.

Gewasrotasie kan voordelig wees vir erdwurms maar hoe meer dikwels gewasse geroteer het, des te kleiner was die erdwurmbevolkings volgens Hopp en Hopkins [69] se bevindings.

Meer onlangs het Fraser et al.[70] op plase in Nieu Seeland ’n ondersoek gedoen na die uitwerking van wisselbou (variërende periodes van weidings- en drooglandbestuur) op die organiese C-inhoud van gronde, die mikrobiese biomassa en die grootte en samestelling van erdwurmbevolkings. Hulle het kwantitatiewe versamelings op 105 persele op 24 verskillende kommersiële plase gedurende die lentetyd onderneem. Nie ’n enkele verteenwoordiger van die inheemse Megascolecidae erdwurms is gevind nie. Hulle het wel sowat vyf ingevoerde Europese spesies in die gronde gekry waar langtermynweiding aangeplant is. Soos wat die tydsverloop onder droëlandverbouing toegeneem het, het die getal spesies afgeneem totdat slegs die uitheemse spesies *Allolobophora caliginosa* en *A. trapezoides* (nou *Aporrectodea*) onder kontinue drooglandtoestande gevind kon word.

Erdwurms is veral in graslande van die belangrikste detritivore omdat hulle ’n sleutelrol speel in nutriëntsiklering en plantvoeding en ook groei beïnvloed.[15] Grasse en peulgewasse kan

saam verbou word as dekgewasse om die blaaropbrengs te verhoog tot uiteindelike voordeel van hierdie diere.

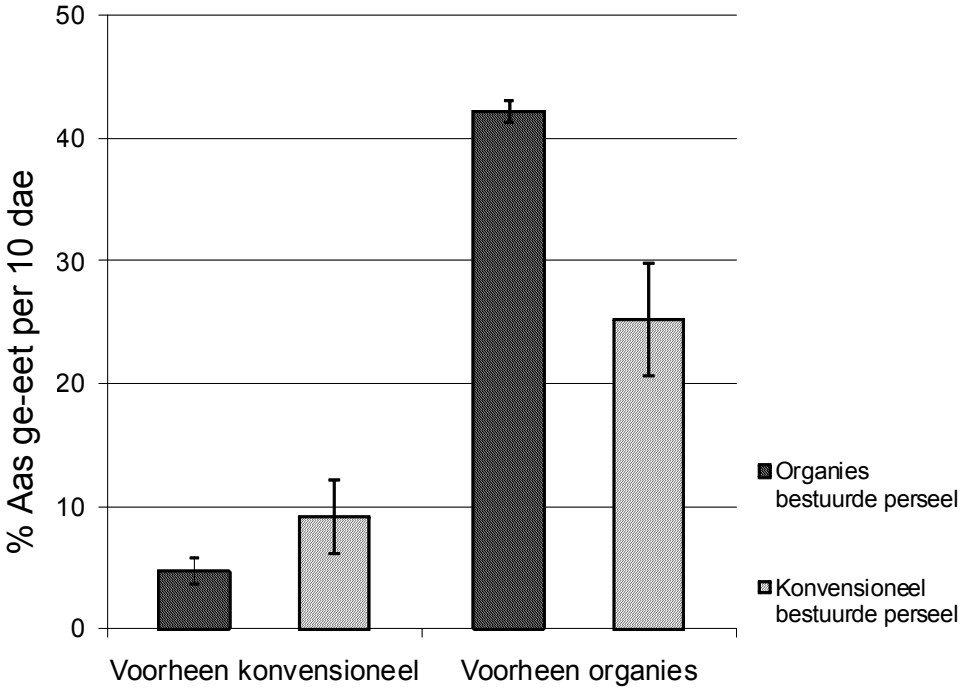
4.3 Die uitwerking van anorganiese kunsmisstowwe

Daar heers lank reeds kommer, en daar is toenemende getuienis daarvoor, dat biodiversiteitsverlies kan lei tot veranderinge in die funksionering van ekostelsels, met die samehangende bedreiging van die stabiliteit en herstelbaarheid van geaffekteerde landbou-ekostelsels. Hoewel sommige anorganiese bemestingstowwe weinig of geen effekte op erdwurms toon, is daar andere wat skadelik kan wees, volgens Lee[3] asook Reinecke en Visser.[71] Mozumder et al.[72] het die empiriese verwantskap tussen die intensiteit van anorganiese bemestingstofgebruik en risiko vir die biodiversiteit ondersoek. Deur gebruik te maak van landswye risiko-indekse het hulle met statistiese inskattings getoon dat die hoeveelheid kunsmisstof wat per hektaar in drooglande gebruik word betekenisvol korreleer met toenemende biodiversiteitsrisiko. Natuurlik is dit moeilik om kousaliteit in so ’n geval te bewys, maar desnieteenstaande is daar getuienis dat sommige kunsmisstowwe teen voorgeskrewe konsentrasies nadelige gevolge het vir grondorganismes. Die uitwerking van die stowwe verskil ook drasties onder verskillende omgewingstoestande sodat veralgemenings nie sonder meer gemaak kan word nie.

Volgens Ma et al.[73] kan minerale ammoniumsulfaat (AS) en nitrokalk (NK) en sintetiese swaelbedekte urea (SBU), organiesbedekte urea (OSM), isobutielidenediurea (IBDU) en ureaformaldehied (UF) erdwurms nadelig affekteer omdat dit die suurgehalte van grond verander. AS en SBU het erdwurmgetalle en biomassa drasties verminder en die pH verlaag. NK het ’n geringe nadelige uitwerking op pH en op erdwurms en die effekte van IBDU, UF and OSM was matig nadelig. Endogeïese erdwurmspesies soos *Aporrectodea* spp. (wat baie algemeen in Suid-Afrikaanse landbougronde voorkom) is ernstiger benadeel as die epigeïese groep *Lumbricus* spp. (wat grootliks afwesig is in Suid-Afrikaanse landbougronde).

4.4 Die uitwerking van chemiese plaagmiddels

’n Baie goot getal studies is reeds, volgens Edwards en Bohlen[64] en Lee[3], in verskeie lande uitgevoer waar plaagbeheer deur middel van chemiese middels plaasvind. ’n Wye verskeidenheid van die ouer organochloriedverbindings en selfs die moderne karbamate en organofosfate het nadelige uitwerkings op sowel erdwurmbevolkings as ander voordelige grondorganismes, afhangende van die chemiese stof se eienskappe, afbreektyd en dosis. Volgens Reinecke en Reinecke [74] is dit een aspek van die bestuurspraktyk waaroor landboubestuurders ’n mate van beheer het in hulle pogings om biodiversiteit te bewaar. Daar bestaan min twyfel in die wetenskaplike literatuur dat die beperking en/of oordeelkundige gebruik van chemiese stowwe uiters noodsaaklik is om verdere verliese aan biodiversiteit en die gepaargaande benadeling van noodsaaklike ekostelseldienste te voorkom. Reinecke et al.[75] het in 2008 in sowel ’n veldstudie as in ’n laboratoriumstudie met behulp van mikrokosmosse (Figuur 4) aangetoon dat die voedingsaktiwiteit van grondorganismes aansienlik hoër kan wees in landbougrond wat nie op konvensionele wyse aan chemiese bespuiting onderwerp is nie maar organiese behandeling ontvang het.



Figuur 4: *Persentasie voedingsaktiwiteit van grondorganismes (gemiddelde ±SA) van aas geëet in mikrokosmosse (drie per behandeling, uitgedruk per tien dae) na verloop van 21 dae van blootstelling. Die mikrokosmosse het grond bevat van twee verskillende wingerde wat konvensionele (T1) en oganiese (T2) behandeling ontvang het. (Volgens Reinecke et al.[75])*

4.5 Uitwerking van suurgraad, besproeiing en beweiding op grondorganismes.

Afgesien van die ander effekte wat intensiewe of oorbeweiding kan meebring, kan kompaktering van die grond ook nadelige gevolge vir grondorganismes meebring. Die verhoogde voedselbeskikbaarheid weens organiese bemesting wat hiermee gepaard kan gaan en die plantreste wat ingewerk word, kan die nadelige effekte in ’n mate teenwerk. Volgens Curry et al. [76] en Lobry de Bruyn en Kingston [77] is die teenwoordigheid van groot erdwurmbevolkings belangrik om die nadelige effekte van intensiewe beweiding teen te werk, veral in swaar gronde.

Aangesien erdwurms gronde verkies met ’n hoë voginhoud, is besproeiingspraktyke normaalweg voordelig vir erdwurms en talle ander grondorganismes baat ook daarby. Die kwaliteit van die besproeiingswater is egter belangrik omdat dit die grondsoutgehalte kan verhoog tot vlakke wat nadelig is vir meeste grondorganismes. [78]

Grondorganismes verskil aansienlik in terme van hulle verdraagsaamheid vir pH. Meeste erdwurms vaar die beste by ’n pH rondom 7 maar daar is enkele spesies wat óf meer óf minder tolerant is. Chan et al.[79] en Potthoff et al.[80] het opnuut bevestig dat suur gronde met landboukalk behandel kan word om meer gunstige toestande vir meeste grondorganismes te skep

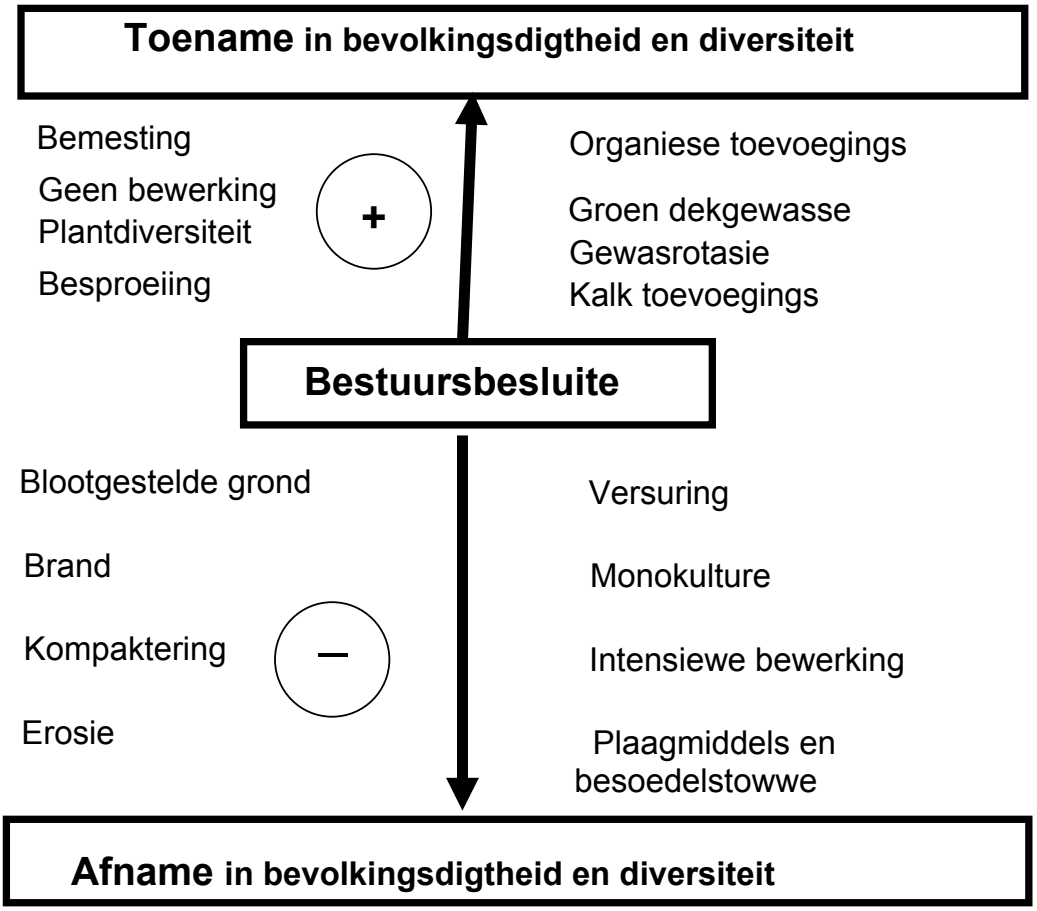
5. ’N HOLISTIESE BENADERING TOT BEVORDERING VAN BODEM-BIODIVERSITEIT .

Verskeie bestuursopsies is al voorgestel om grondbiodiversiteit te bevorder, waaronder verskillende bewerkingsmetodes, spesifieke gewasrotasies en die volgorde daarvan asook die beheer van die grond se organiese materiaalinhoud. Beskikbare inligting, soos ook in hierdie oorsig behandel, dui aan dat insetlandbou, veral fisiese bewerking van agro-ekostelsels, met snel-opeenvolgende gewasrotasie, tot ’n afname in spesierykheid van grondbiota lei terwyl sekere spesies van grondbiota oorheers. Die gebruik van gewenste rotasies teen die regte frekwensie, minimum of geen bewerking, organiese toevoegings en die instandhouding van sommige natuurlike komponente, kan lei tot ’n toename in spesierykheid en algehele digtheid van die grondbiota (Figuur 5). Dreinering en besproeiing kan voordelig aangewend word afhangende van toestande. Volgens Ouellet et al.[81] is die bewerkingspraktyk wat gevolg word, bedekking met oppervlakreste, duur van geen bewerking (braaklegging) en grondtekstuur belangrike faktore om erdwurmdigthede en biomassa in landbougronde te voorspel. Voeg hierby ’n baie versigtige en oordeelkundig bestuurde bemestings en geïntegreerde plaagbeheerprogram en die voordelige grondbiota het die potensiaal om beter ingespan te word om volhoubaarheid van agro-ekostelsels te verseker.

Bestuursbenaderings wat gemik is op beskerming van grondbiodiversiteit kan dus op verskillende vlakke uitspeel en ’n totale benadering skyn die gewenste te wees. Die volgende is oënskynlik die mees voor die hand liggende vertrekpunte[6] wat oorweeg moet word:

- Seleksie van plantspesies vir hulle tyd-ruimtelike rol in die stelsel en die insluiting al dan nie van lewende hawe.
- Verandering in die plante se weerstand teen siektes, of die kwaliteit van die reste (wortels en stingels) wat geproduseer word, deur genetiese verbetering.
- Kwantitatiewe en kwalitatiewe veranderings aan die organiese reste wat tot die grond toegevoeg word ten einde plaagbeheer toe te pas en die voordelige grondorganismes van voedsel te voorsien.
- Minimale grondversteuring en die oordeelkundige gebruik van plaagmiddels, besproeiing en bemestingstowwe
- Biologiese beheerpraktyke vir plae en siektes waar moontlik.
- Inokulering van voordelige grondorganismes (siekte-antagoniste, mikrosimbionte, rhizobakterieë en erdwurms om versteurde grond te herkolonialiseer en vir siektebeheer en verbetering van grondvrugbaarheid.

Direkte intervensies soos die keuse van N-bindende plantsoorte en variëteite, inokulasie van risobia in peulgewasse, mikorisa inokulasie om bome te vestig en biokontrole agense vir siekte- en plaagbeheer is reedsbestaande tegnieke wat al ’n geruime tyd wyd toegepas word.[6] Die sleutel tot suksesvolle grondbiologiese bestuur is egter om oor die langer termyn ’n geïntegreerde en holistiese benadering te volg. Hoewel sekere grondorganismes beter bestudeer is as andere, behoort die fokus nie op slegs een groep te wees nie maar op die skep van toestande wat gunstig is vir die instandhouding van die totale biodiversiteit van ’n wye spektrum van grondbiota. Die benadering wat gevolg word, moet steeds ondersteun en gelei word deur die mees onlangse navorsingsbevindinge.



Figuur 5: *Diagrammatiese opsomming van die verskillende bestuurspraktryke wat oorweeg kan word en hulle potensiële invloed (toename of afname) op die bevolkingsdigtheid en diversiteit van grondbiota in landbougronde.*

6. GEVOLGTRREKKINGS

'n Oorsig van die onlangse vakliteratuur toon dat grondbiodiversiteit 'n belangrike rol speel in natuurlike grondekostelsels om plantproduktiwiteit op verskillende wyses te ondersteun. Grondorganismes het egter ook die potensiaal om in agro-ekostelsels ingespan te word waar die landbouer die middele en die omstandighede het om toestande sodanig te manipuleer dat gunstige toestande geskep kan word wat die voordelige grondorganismes kan bevoordeel op wyses soos in Figuur 5 voorgestel.

Grondbioloë is oor die algemeen eenstemmig dat die kwaliteit en hoeveelheid organiese materiaal wat toegevoeg word, matige gewasrotasie en minimum bewerking, belangrike bestuursfaktore is wat oorweeg kan word as wyses waarop 'n gesonde biodiversiteit verkry en behou kan word. Daar is egter nog gapings in ons kennis en die behoefte aan voortgesette navorsing, soos onder andere uitgespel deur Hendrix en Edwards[82] is dus vanselfsprekend voordat die potensiaal van grondorganismes op 'n meer omvangryke skaal benut kan word.

BEDANKINGS

Die outeurs spreek graag hulle dank uit teenoor die Universiteit van Stellenbosch en die Nasionale Navorsingstigting wie se steun hierdie studie moontlik gemaak het.

6. BIBLIOGRAFIE

1 Reinecke, A.J., Van Gestel, C.A.M., Reinecke, S.A. (2004) Using biomarkers of soil organisms to determine the bioavailability of chemicals for risk assessment and management. In Shakir Hanna, S.H,, Mikhail, W.Z.A. (eds). *Soil zoology for sustainable development in the 21st century*. Festschrift, Cairo University, Egypt.

2 Lavelle, P., Charpentier, F., Villenave, J.C., Rossi, P., Derouard, L., Pashanasi, B., André, J., Ponge, J.F. and Bernier, N. (2004) Effects of earthworms on soil organic matter and nutrient dynamics at a landscape scale over decades. In C.A. Edwards, (ed.). *Earthworm Ecology*, CRC Press, Boca Raton, pp. 145-160.

3 Lee, K.E. (1985) *Earthworms, their ecology and relationships with soils and land use.* Academic Press, Sydney.

4. Lavelle, P., Spain, A.V. (2001*) Soil Ecology*. Chapman & Hall, London.

5 Brown, G.G., Edwards, C.A. and Brussaard, L. (2004) How earthworms affect plant growth: burrowing into the mechanisms. In C.A. Edwards, (ed.). *Earthworm Ecology* (second ed.), CRC Press, Boca Raton, pp.13-49.

6. Brussaard, L., Pulleman, M.M., Ouédraogo, E., Mando, A. and Six, J. (2007) Soil fauna and soil function in the fabric of the food web. *Pedobiologia* 50, 447-462.

7. Brussaard, L. (1998) Soil fauna, guilds, functional groups and ecosystem processes. *Appl. Soil Ecol.* 9,123-135.

8 Brussaard, L., Juma, N.G. (1996) Organisms and humus in soils. In A. Piccolo, (ed.). *Humic Substances in Terrestrial Ecosystems*, Elsevier, Amsterdam, pp. 329-359.

9 Coleman, D.C., Reid, C.P.P. & Cole, C.V. (1983) Biological strategies of nutrient cycling in soil systems, *Adv. Ecol. Res.* 13, 1-55.

10 Verhoef, H.A., Brussaard, L. (1990) Decomposition and nitrogen mineralization in natural and agroecosystems: the contribution of soil animals, *Biogeochemistry* 11,175-211.

11 De Ruiter, P.C., Neutel, A.M., Moore, J.C. (1995) Energetics, patterns of interaction strength, and stability in real ecosystems, *Science* 269, 1256-1260.

12 Neutel, A.M., Heesterbeek, J.A.P., de Ruiter, P.C. (2002) Stability in real food webs:weak links in long loops, *Science* 296, 1120-1123.

13 Scheu, S. (2003) Effects of earthworms on plant growth: patterns and perspectives. *Pedobiologia* 47, 846-856.

14 Lavelle, P., Martin, A. (1992) Small-scale and large-scale effects of endogeic earthworms on soil organic matter dynamics in soils of the humid tropics. *Soil Biol. Biochem*. 24, 1491-1498.

15 Edwards, C.A., Lofty, J.R. (1977) *Biology of earthworms*. Chapman & Hall, London.

16 Doube, B. M., Williams, P. M. L., Willmott, P. J. (1997) The influence of two species of earthworm (*Aporrectodea trapezoides* and *Aporrectoedea rosea*) on the growth of wheat, barley and faba beans in three soil types in the greenhouse. *Soil Biol. Biochem.* 29, 503-509.

17 Quaggiotti, S., Ruperti, B., Pizzeghello, D., Francioso, O., Tugnoli, V., Nardi, S. (2004) Effect of low molecular size humic substances on nitrate uptake and expression of genes involved in nitrate transport in maize (*Zea mays* L). *J. Exp. Bot*. 55, 803-813.

18 Lafont, A., Risede, J.M., Loranger-Merciris, Clermont-Dauphin, C., Dorel, M., Rhino, B., Lavelle, P. (2007) Effects of the earthworm *Pontoscolex corethrurus* on banana plants infected or not with the plant-parasitic nematode *Radopholus similis*. *Pedobiologia* 51, 311-318.

19 Boyer, J., Michellon, R., Chabanne,A., Reversat, G., Tibere, R. (1999) Effects of trefoil cover crop and earthworm inoculation on maize crop and soil organisms in Reunion Island. *Biol. Fert. Soils* 28, 364-370.

20 Toyota, K., Kimura, M. (1994) Earthworms disseminate a soil-borne plant pathogen. *Fusarium oxysporum* f. sp. *raphani. Biol. Fertil. Soils* 18, 32-36.

21 Tao, J., Chen, X., Liu, M., Hu, F., Griffiths, B., Li, H. (2009) Earthworms change the abundance and community structure of nematodes and protozoa in a maize residue amended rice–wheat rotation agro-ecosystem. *Soil Biol.Biochem.* 41, 898-904.
22 Oldenburg, E., Kramer, S., Schrader, S.,Weinert, J. (2008) Impact of the earthworm *Lumbricus terrestris* on the degradation of *Fusarium*-infected and deoxynivalenol-contaminated wheat straw. *Soil Biol.Biochem.* 40, 3049-3053.
23 Bonkowski, M., Griffiths, B.S., Ritz, K. (2000) Food preferences of earthworms for soil fungi. *Pedobiologia* 44, 666-676.
24 Edwards, C.A., Fletcher, K.E. (1988) Interactions between earthworms and microorganisms in organic-matter breakdown. *Agric. Ecosyst.Environ.* **24**, 235–247.
25 Moody, S.A., Briones, M. J. I., Piearce, T. G., Dighton,J. (1995) Selective consumption of decomposing wheat straw by earthworms. *Soil Biol. Biochem.* 27,1209-1213.
26 Eisenhauer, N., Scheu, S. (2008) Earthworms as drivers of the competition between grasses and legumes. *Soil Biol. Biochem.* 40, 2650-2659.
27 Jones, C.G. , Lawton, J.H., Schackak, M. (1994) Organisms as ecosystems engineers, *Oikos* 69, 373-386.
28 Yeates, G.W. (1981) Soil nematode populations depressed by earthworms, *Pedobiologia* 22**,** 191-195.
29 Senapati, B.K. 1992 Biotic interactions between soil nematodes and earthworms. *Soil Biol. Biochem.* 24, 1441-1444.
30 Broza, M., Pereira, R.M., Stimac, J. (2001) The nonsusceptability of soil Collembola to insect pathogens and their potential scavengers of microbial pesticides. *Pedobiologia* 45, 523-534.
31 Tisdall, J.M., Oades, J.M. (1982) Organic matter and water stable aggregates in soils. *J. Soil Sci.* 33,141-163.
32 Rillig, M.C. (2005) A connection between fungal hydrofobins and soil water repellence. *Pedobiologia* 49, 395-399.
33 Didden, W. A.M. (1990) Involvement of Enchytraeidae (Oligochaeta) in soil structure evolution in agricultural fields, *Biol. Fert. Soils* 9, 152–158.
34 Lavelle, P., Bignell, D.E. Lepage, M., Wolters, V., Roger, P., Ineson, P., Heal, O.W., Dhillion, S. (1997) Soil function in a changing world: the role of invertebrate ecosystem engineers, *Eur. J. Soil Biol.* 33, 159-193.
35 Edwards, W.M., Shipitalo, M.J., Owens, L.B., Norton, L.D. (1990) Effect of *Lumbricus terrestris* L. burrows on hydrology of continuous no-till corn fields. *Geoderma* 46, 73-84.
36 Jungerius, P.D., van den Ancker, J. A.M., Mücher, H.J. (1999) The contribution of termites to the microgranular structure of soils on the Uasin Gishu Plateau, Kenya, *Catena* 34, 349–363.
37 Lobry de Bruyn, L.A. (1990) The Role of Ants and Termites in Modifying Soil properties in Naturally Vegetated and Agricultural Environments. *PhD thesis*, Department of Geography, University of Western Australia.
38 Mando, A., Miedema, R. (1997) Termite-induced change in soil structure after mulching degraded (crusted) soil in the Sahel, *Appl. Soil. Ecol.* 6, 241-249.
39 Mando, A., Stroosnijder, L.,Brussaard, L. (1996) Effects of termites on infiltration into crusted soil. *Geoderma* 74, 107-113.
40 Lavelle, P. (2000) Ecological challenges for soil science, *Soil Sci.* 165, 73-86.
41 Visser, F.A., Reinecke, A.J. (1977) The earthworms of the Mooi River irrigation area in Potchefstroom, South Africa (Oligochaeta: Lumbricidae, Acanthodrilidae, Microchaetidae and Ocnerodrilidae). *P.Cent. pir. Biol. Exp.* 9, 95-108.
42 Hiremath, A.J., Ewel, J.J. (2001) Ecosystem nutrient use efficiency, productivity, and nutrient accrual in model tropical communities. *Ecosystems* 4, 669–682.
43 Tian, G., Kang, B.T., Brussaard, L. (1997) Effect of mulch quality on earthwormactivity and nutrient supply in the humid tropics. *Soil Biol. Biochem.* 29, 369-373.
44 Ouedragaogo, E., Mando, A., Brussaard, L. (2006) Soil macrofauna affect crop nitrogen and water use efficiencies in semi-arid West Africa. *Eur. J. Soil Biol. 42, Supplement, S275-S277.*
45 Anderson J.M. (1988) Invertebrate-mediated transport processes in soils. *Agric. Ecosyst. Environ.* 24, 5-19.
46 Mando, A. (1997) The impact of termites and mulch on the water balance of crusted Sahelian soil. *Soil Technol.* 11, 121–138.

47 Bossuyt, H., Six, J., Hendrix, P.F. (2004) Rapid incorporation of carbon from fresh residues into newly formed stable microaggregates within earthworm casts. *Eur. J. Soil Sci.* 55, 393–399.

48 Bossuyt, H., Six, J., Hendrix, P.F. (2005) Protection of soil carbon by microaggregates within earthworm casts. *Soil Biol. Biochem.* 37, 251-258.

49 Pulleman, M., Jongmans, A., Marinissen,J., Bouma, J. (2003) Effects of organic versus conventional arable farming on soil structure and organic matter dynamics in a marine loam in the Netherlands. *Soil Use Manage.* 19, 157-165.

50 Pulleman, M.M., Six, J., van Breemen,N., Jongmans, A.G. (2005) Soil organic matter distribution and microaggregate characteristics as affected by agricultural management and earthworm activity. *Eur. J. Soil. Sci.* 56, 453-467.

51 Ljungström, P-O. (1972) Introduced earthworms in South Africa. *Zool. Jb. Syst*. 99,1- 81.

52 Reinecke, A.J. (1983) The ecology of earthworms in southern Africa. In:. J.E. Satchell (ed.). *Earthworm Ecology - From Darwin to vermiculture*. Chapman and Hall, London, pp. 195-207.

53 House, G.J.,Parmelee, R.W. (1985)Comparison of soil arthropods and earthworms from conventional and no-tillage agroecosystems. *Soil and Tillage Research* 5, 351-360.

54 Buckerfield, J.C. (1992) Earthworm populations in dryland cropping soils under conservation-tillage in South Australia. *Soil Biol.Biochem*, 24, 1667-1672.

55 Buckerfield, J.C., Lee, K. E., Davoren, C. W., Hannay, J. N. (1997) Earthworms as indicators of sustainable production in dryland cropping in southern Australia. *Soil Biol.Biochem*.29, 547-554.

56 Wardle, D.A. (1995) Impacts of Disturbance on Detritus Food Webs in Agro-ecosystems of Contrasting Tillage and Weed Management Practices. *Adv.Ecol. Res.* 26, 105-185.

57 Clapperton, M.J., Lee, N.O., Binet, F., Conner R.L. (2001) Earthworms indirectly reduce the effects of take-all (*Gaeuumannomyces graminis* var. *tritici*) on soft white spring wheat (*Triticum aestivum* cv. Fielder). *Soil Biol.Biochem.* 33, 1531-1538.

58 Chan, K.Y. (2001) An overview of some tillage impacts on earthworm population abundance and diversity – implications for functioning in soils. *Soil and Tillage Research* 7, 179-191.

59 Emmerling, C. 2001 Response of earthworm communities to different types of soil tillage. *App. Soil Ecol.* 17, 91-96.

60 Emmerling, C. (2009) Impact of five different tillage systems on soil organic carbon content and the density, biomass, and community composition of earthworms after a tenyear period. *Eur. J. Soil Biol.* 45, 247-251.

61 Whalen, J.K. (2004) Spatial and temporal distribution of earthworm patches in corn field, hayfield and forest systems of south western Quebec, Canada. *Appl. Soil Ecol.* 27,143-151.

62 Maboeta, M.S., Reinecke, S. A., Reinecke, A.J. (2003) Linking lysosomal biomarker and population responses in a field population of *Aporrectodea caliginosa* (Oligochaeta) exposed to the fungicide copper oxychloride. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 56, 411-418.

63 Johnson-Maynard, J.L., Umiker, K.J., Guy S.O. (2007) Earthworm dynamics and soil physical properties in the first three years of no-till management. *Soil and Tillage Research 94, 338-345.*

64 Edwards, C.A., Bohlen, P.J. (1996) *Earthworm Ecology and Biology*. Chapman & Hall, London.

65 Haynes, R.J., Dominy, C. S., Graham, M. H (2003) Effect of agricultural land use on soil organic matter status and the composition of earthworm communities in KwaZulu-Natal, South Africa. *Agric. Ecosyst. & Environ.* 95, 453-464.

66 Eriksen-Hamel, N.S.. Speratti, A.B., Whalen, J.K., Légère,A., Madramootoo, C.A. (2009) Earthworm populations and growth rates related to long-term crop residue and Tillage management. *Soil and Tillage Research 104, 311-316.*

67 Hopp, H. (1946) Earthworms fight erosion too. *Soil Conservation* 11, 252-254.

68 Eijsackers, H., Beneke, P., Maboeta, M., Louw, J.P.E., Reinecke, A.J. (2005) The implications of copper fungicide usage in vineyards for earthworm activity and resulting sustainable soil quality. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 62, 99-111.

69 Hopp, H., Hopkins, H.T. (1946) The effect of cropping systems on the winter population of earthworms . *J. Soil Water Conserv*. 1, 85-98.

70 Fraser, P.M., Williams, P.H., Haynes, R. J. (1996) Earthworm species, population size and biomass under different cropping systems across Canterbury Plains, New Zealand. *Appl. Soil Ecol.* 3, 49-57.

71. Reinecke, A.J., Visser, F.A. (1980) The influence of agricultural land use practices on the population densities of *Allolobophora trapezioides* and *Eisenia rosea* (Oligochatea) in southern Africa. In D.L. Dindal (ed.). *Soil Biology as Related to Land Use Practices*. EPA, Washington, pp. 310-324.

72 Mozumder, P., Berrens, R.P. (2007) Inorganic fertilizer use and biodiversity risk: An empirical investigation. *Ecol. Econ. 538-543.*

73 Ma, W.C., Brussaard, L., de Ridder, J.A. (1990) Long-term effects of nitrogenous fertilizers on grassland earthworms (Oligochaeta, Lumbricidae): Their relation to soil acidification. *Agric. Ecosyst. & Environ.* 30, 71-80.

74 Reinecke, S.A., Reinecke, A.J. (2007) Biomarker response and biomass change of earthworms exposed to chlorpyrifos in microcosms. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 66, 92-101.

75 Reinecke, A.J., Albertus, R.M.C., Reinecke, S.A., Larink, O. (2008) The effects of organic and conventional management practices on feeding activity of soil organisms in vineyards. *African Zoology* 43, 66-74.

76 Curry, J.P. Doherty, P., Purvis, G., Schmidt, O. (2008) Relationships between earthworms and management intensity in cattle-grazed pastures in Ireland. *App. Soil Eco.*, 39, 58-64.

77 Lobry de Bruyn,L.A., Kingston, T.J. (1997) Effects of summer irrigation and trampling in dairy pastures on soil physical properties and earthworm numbers and species composition, *Austr. J. Agric. Res.* **48**,1059-1079.

78 Owojori, O.J., Reinecke, A.J., Rozanov, A.B. (2009) The combined stress effects of salinity and copper on the earthworm *Eisenia fetida. Appl. Soil Ecol. 41, 277-285.*

79 [a]Department of Soil Quality, Wageningen University, PO Box 8005, 6700 EC Wageningen, The Netherlands
[b]International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT), Apdo. Postal 6-641, CP 06600 México DF, México
[c]Centre Écologique Albert Schweitzer, 01 BP 3516, Ouagadougou 01, Burkina Faso
[d]International Centre for Soil Fertility and Agricultural Development (IFDC), BP 4483, Lomé, Togo
[e]Department of Agronomy and Range Science, University of California, One Shields Avenue, Davis, CA 95616, USA Received 5 October 2006; accepted 5 October 2006. Available online 13 November 2006.
Chan, K. Y., Baker, G. H., Conyers, M. K., Scott. B., Munro, K. (2004) Complementary ability of three European earthworms (Lumbricidae) to bury lime and increase pasture production in acidic soils of south-eastern Australia. *Appl. Soil Ecol.* 26, 257-271.

80 Potthoff, M., Asche, N., Stein, B., Muhs, A., Beese, F. (2008) Earthworm communities in temperate beechwood forest soils affected by liming. *Eur. J. Soil Biol.,* 44, 247-254.

81 Ouellet,G., Lapen, D.R. Topp, E., Sawada, M., Edwards, M. (2008) A heuristic model to predict earthworm biomass in agroecosystems based on selected management and soil properties. *App. Soil Ecol.* 39, 35-45.