



Universiteit
Leiden
The Netherlands

Quantitative modelling of the response of earthworms to metals

Qiu, H.

Citation

Qiu, H. (2014, June 10). *Quantitative modelling of the response of earthworms to metals*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/25885>

Version: Corrected Publisher's Version

License: [Licence agreement concerning inclusion of doctoral thesis in the Institutional Repository of the University of Leiden](#)

Downloaded from: <https://hdl.handle.net/1887/25885>

Note: To cite this publication please use the final published version (if applicable).

Cover Page



Universiteit Leiden



The handle <http://hdl.handle.net/1887/25885> holds various files of this Leiden University dissertation

Author: Qiu, Hao

Title: Quantitative modelling of the response of earthworms to metals

Issue Date: 2014-06-10

Samenvatting

Metalen in de bodem kunnen een ernstige bedreiging voor het bodemleven, planten en dieren, en mogelijk zelfs voor mensen zijn. Een belangrijke onzekerheid in terrestrische ecologische risicobeoordeling voor metalen is het effect van de fysisch-chemische eigenschappen van de bodem op de toxiciteit. Deze eigenschappen beïnvloeden de vertaling van toxiciteitsgegevens over verschillende bodemtypen. De erkenning dat bodemtype een belangrijke factor is in het beschrijven van ecotoxicologische effecten, gaat samen met een toenemende inzicht in de factoren die de biobeschikbaarheid van een metaal bepalen. Er is een groeiende consensus dat slechts een deel van het in de bodem aanwezige metaal, beschikbaar is voor opname door organismen en dat slechts dit deel de toxische effecten indiceert. Ontwikkeling van mechanistisch onderbouwde benaderingen voor het verklaren en voorspellen van biologische effecten van de aanwezigheid van metalen in de bodem is het onderwerp van veel onderzoek in terrestrische ecotoxicologie geweest.

Het biotische ligand model wordt vaak gebruikt als de state-of-the-art aanpak om het effect van de biobeschikbaarheid op de toxiciteit van metalen in aquatische systemen te kwantificeren. Het biotische ligand model is een synthese van tientallen jaren werk op het gebied van metaalspeciatie, accumulatie, toxiciteit en fysiologie. De BLM combineert twee belangrijke aspecten die de toxiciteit beïnvloeden: metaalspeciatie en kation concurrentie. De fractie van de plaatsen van het biotische ligand die bezet worden door de vrije metaalionen beschrijft de toxiciteit die optreedt. De andere kationen hebben een competitieve invloed met de metaalionen op de biotische ligand sites, wat kan leiden tot vermindering van de toxiciteit bij een gelijkblijvend metaalgehalte. Deze factoren worden gebruikt om te verklaren waarom in veel gevallen de toxiciteit voor zoetwater organismen sterk varieert met chemische parameters zoals pH, hardheid, en DOC gehalte. De BLM theorie is aantoonbaar toepasbaar op een breed scala aan waterorganismen, waaronder bijvoorbeeld vissen, evertibraten en algen. In dit proefschrift hebben we de toepasbaarheid van de BLM theorie onderzocht voor bodemorganismen, met de focus op regenwormen (hoofdstuk II en hoofdstuk III). Om de BLM theorie te gebruiken voor het voorspellen van de effecten van metalen op bodemorganismen, hebben we de evenwichtspartitie-theorie en de poriewater-hypothese vanuit de aquatische ecotoxicologie geadopteerd. Dit wil zeggen dat we aannemen dat er een dynamisch evenwicht is tussen metalen in de vaste fase van de bodem en de metalen in het poriewater. Daarbij is aangenomen dat de vrije metaalionen in het poriewater de toxiciteit op het bodemleven bepalen. En dat de aanwezige kationen in het poriewater, de metaal toxiciteit op het bodemleven verminderen door hun competitieve binding aan de biotische ligand van de organismen.

In hoofdstuk II is een multicomponent Freundlich model gebruikt om de variaties in Cu toxiciteit te kwantificeren voor de regenwormen soorten (*Lumbricus rubellus*, *Aporrectodea longa*, en *Eisenia fetida*), welke blootgesteld waren in een reeks van bodems met verschillende eigenschappen. Het multicomponenten Freundlich model voldoet in de basis aan de uitgangspunten van de BLM. Het Freundlich model heeft een aantal conceptuele en praktische voordelen ten opzichte van de BLM, allereerst omdat het minder parameters vereist dan de BLM terwijl het model daarnaast de heterogeniteit van de biotische sites meeneemt. Onze resultaten laten zien dat alleen H^+ , en dus niet de andere kationen (K^+ , Ca^{2+} ,

Na^+ en Mg^{2+}) in het poriewater, in competitie waren met koper. De pH speelt daarmee een belangrijke rol in het beschrijven van de Cu^{2+} toxiciteit voor regenwormen. Het Freundlich model kon met het meenemen van de H^+ -competitie, respectievelijk 84, 94 en 96 % van de variaties in $\text{LC50}\{\text{Cu}^{2+}\}$ verklaren voor *L. rubellus*, *A. longa* en *E. fetida*. De voorspelde $\text{LC50}\{\text{Cu}^{2+}\}$ waarden verschilden nooit meer dan een factor 2 van de gemeten waarden. Externe validatie van het model toonde een vergelijkbaar niveau van precisie, zelfs als er toxiciteitdata voor andere bodemorganismen en andere eindpunten werden gebruikt. Onze bevindingen toonden de extrapolatie mogelijkheid van de ontwikkelde modellen voor één regenworm soort naar andere soorten regenwormen aan. Het model kon zelfs gevalideerd worden naar andere bodemorganismen met verschillende toxicologische eindpunten.

In hoofdstuk III onderzochten we de effecten van Cd en Ni op de overleving van twee soorten regenwormen (*L. rubellus* en *A. longa*) in de bodem. Uit de resultaten van het empirische onderzoek in combinatie met de BLM theorie werd de vrije ion aanpak voorgesteld als een adequate alternatieve methode om Cd en Ni toxiciteit te voorspellen voor regenwormen. Voor de twee geteste regenwormen werd geen invloed van kationen (H^+ , K^+ , Ca^{2+} , Na^+ en Mg^{2+}) op de Cd^{2+} toxiciteit waargenomen, terwijl het kation Mg^{2+} wel de Ni^{2+} toxiciteit significant verminderde. Een iets andere benadering, genaamd het 'vrije ion activiteit' model beschreef de variabiliteit in Cd^{2+} toxiciteit in de bodem beter maar kon niet afdoende de Ni^{2+} toxiciteit voorspellen. Het 'vrije ion activiteit' model waarbij de beschermende effecten van Mg^{2+} werden opgenomen, verklaarde respectievelijk 89 en 84 % van de variaties in $\text{LC50}\{\text{Ni}^{2+}\}$ waarden voor *L. rubellus* en *A. longa*. De voorspelling kon gemaakt worden binnen een factor 2. Voor ieder metaal dat we getest hadden, bleek een andere kation de competitieve binding op het biotische ligand te beïnvloeden en daarmee dus de toxiciteit. We concluderen daaruit dat de toxiciteit van metalen voor regenwormen moet worden beoordeeld op een metaal-specifieke basis.

Een andere onzekerheid in de ecologische risicobeoordeling is de soort-specifieke response. Het is duidelijk geworden dat een op taxonomie gebaseerde benadering de toxiciteit van metalen slecht inschat. Dit komt omdat taxonomisch verwante soorten niet noodzakelijkerwijs een gelijkwaardige gevoeligheid voor metalen hebben. In plaats daarvan kan elke soort verschillende combinaties van eigenschappen (organisme kenmerken) hebben die de metaal stress kunnen beïnvloeden.

In hoofdstuk IV is de accumulatie en toxiciteit van Cu, Cd, Ni en Zn voor drie soorten regenwormen (*L. rubellus*, *A. longa* en *E. fetida*) onderzocht. Wanneer de regenworm soorten zijn blootgesteld aan gelijke metaal concentraties, is de hoogste interne van Cu en Ni concentratie te vinden in: *L. rubellus* > *E. fetida* > *A. longa*. Voor Cd is de volgorde als volgt: *L. rubellus* \approx *E. fetida* \approx *A. longa*. En voor Zn is de volgorde: *L. rubellus* > *A. longa* > *E. fetida*. De concentraties van Cu, Cd en Zn in *E. fetida* waren in het algemeen gestabiliseerd bij hoge blootstellingen concentraties, maar niet voor de andere twee species. *A. longa* toonde een hoge capaciteit voor het reguleren van de interne Ni concentraties. *L. rubellus* was de meest gevoelige regenwormsoort voor alle geteste metalen, gevolgd door *A. longa* en *E. fetida*. Vanuit de theorie kunnen verschillen in metaalgevoeligheid worden verklaard vanuit de organisme kenmerken, waaronder de leefomgeving (habitat), mobiliteit van organismen, en hun oppervlak/massa ratio. Verschillen in metaal-gevoeligheid van de regenwormsoorten kan worden verklaard vanuit organisme kenmerken zoals habitat, activiteit van de calcium-

klieren, verhouding van oppervlak tot gewicht, en aanwezigheid van immuun-competente cellen. Het kwantitatief relateren van gemeten accumulatiepatronen en gevoeligheid van verschillende regenwormsoorten met de soort kenmerken bleek lastig te zijn en meer onderzoek is nodig in dit verband.

Metalen in de bodem komen voor als mengsels. De componenten in een mengsel kunnen op verschillende toxicologisch niveaus interacteren, waardoor het moeilijk is om de toxiciteit van metalen mengsels te voorspellen. Klassieke mengselmodellen (zogenaamde Concentration Addition (CA) of Independent Action (IA)) met additiviteit als basis negeren deze interacties. Deze afwijking van additiviteit kan overschatting of onderschatting van de werkelijke effecten veroorzaken.

In hoofdstuk V werden individuele en binaire mengseffecten van Cd en Zn op de overleving van de regenworm *Aporrectodea caliginosa* onderzocht. Bij verhoogde Cd concentraties, verminderde de Zn toxiciteit. De toevoeging van Zn (tussen de 100 tot 1000 mg Zn/kg bodem) verminderde de Cd toxiciteit voor de regenworm. Boven een kritische Zn concentratie van ongeveer 1000 mg Zn/kg bodem, nam de Cd toxiciteit sterk toe. De verdeling van Cd en Zn tussen de vaste fase en het poriewater werd noch door de concentratie of de aanwezigheid van andere metalen beïnvloed. Dit suggereert dat er geen interacties van beide metalen zijn op het blootstellingsniveau. Wel werden interacties van Cd en Zn op het organismeniveau gevonden. Deze interacties limiteerden het voorspellende vermogen van de eenvoudige additiemodellering zoals binnen de MIXTOX module wordt gehanteerd. De afwijking van additiviteit was voornamelijk richting antagonisme en de omvang van antagonisme hangt af van zowel de relatieve concentraties van Cd en Zn, als van de gebruikte concentratiesniveau's. Deze bevindingen benadrukken het belang van het identificeren van de relatieve invloed van de verschillende interacties van externe blootstelling op de interne assimilatie bij de beoordeling van de toxiciteit van metalen.

Tot slot, onze studies laten duidelijk het belang van biobeschikbaarheid zien binnen de modellering van metaal toxiciteit in de bodem. De resultaten laten zien dat de BLM theorie toepasbaar is voor bodemorganismen. De modellen (multicomponenten Freundlich model en het 'vrije ion activiteit' model) zoals in proefschrift ontwikkeld, bieden een mechanistisch basis voor het koppelen van de poriewaterchemie aan de metaal toxiciteit. De op organisme kenmerken gebaseerde benadering helpt bij het verklaren van verschillen in de accumulatie en toxiciteit tussen regenwormsoorten. Integratie van de verschillende benaderingen kan een middel zijn om tot extrapolatie van accumulatie en toxiciteit inschattingen over verschillende diersoorten te komen. Onze studie toont duidelijk het belang van het identificeren van interacties op relevante niveaus, waarna de biobeschikbaarheid ingepast kan worden binnen de toxiciteitsmodellen. Dit kan vooral zijn nut hebben bij het verklaren van de verschillen in interactiepatronen die aanwezig zijn bij verschillende grondsoorten. Uiteindelijk zijn de bevindingen in dit proefschrift goed toe te passen in het bredere beeld van de risicobeoordeling van metalen in de bodem.