

5 Schlussfolgerungen

Die Anreicherungsfaktoren von *E. fetida* und den Ackerarten unterscheiden sich nicht, mit Ausnahme von *Lumbricus terrestris*, der sich von den hier verwendeten Wildarten durch seine Lebensweise unterscheidet. *E. fetida* erweist sich wegen des repräsentativen Anreicherungsverhaltens in Verbindung mit den erprobten Eigenschaften eines international gebräuchlichen Wirkungsindikators als geeigneter Modellorganismus zur Abbildung der Biomagnifikation im Boden.

1. Die Differenz der Anreicherungsfaktoren zwischen dem OECD-Kunstaboden und dem BBA-Feldboden ist so gering, dass auf die Vorteile eines international standardisierten Bodensubstrates nicht verzichtet werden muss.
2. Die errechneten log BCF-Werte weisen eine gute Übereinstimmung mit den nach der Formel von Connell und Markwell abgeleiteten BCF-Werten auf, was zu der noch zu überprüfenden Annahme ermutigt, diese Beziehung für eine erste Abschätzung des Akkumulationspotentials eines Stoffes – mit Einschränkungen bezüglich des Molekulargewichts und des Oktanol/Wasserkoeffizienten – für terrestrische Organismen heranzuziehen.
3. Der Vergleich der für die Wasserphase errechneten log BCF-Werte von *E. fetida* und den Ackerarten mit den BCF-Werten für Fische weist auf ein ähnliches Anreicherungsverhalten, sofern ein übertragbares Verteilungsmodell angenommen wird. Eine Validierung dieses Ergebnisses durch Prüfung weiterer Stoffe ist erforderlich.
4. Die Ergebnisse haben gezeigt, dass der Regenwurmtest mit *E. fetida* (OECD 1984, ISO 1998) ein geeignetes Grundkonzept für einen terrestrischen Bioakkumulationstest darstellt. Sie ermutigen daher zur weiteren Validierung des Prüfkonzeptes und Abfassung eines detaillierten Methodenvorschlages.

Literatur

- Belfroid AC, Seinen W, van Gestel KCAM, Hermens JLM, van Leeuwen KJ (1995): Modelling the Accumulation of Hydrophobic Organic Chemicals in Earthworms. *ESPR – Environ Sci & Pollut Res* 2 (1) 5–15
- Connell W, Markwell RD (1990): Bioaccumulation in the soil to earthworm system. *Chemosphere* 20 (1–2) 91–100
- Ebing W, Pflugmacher J, Ajaz-ul Haque (1982): Untersuchungen über die Eignung des Regenwurms (*Lumbricus terrestris*) als Schlüsselorganismus für die im Boden befindlichen, bioverfügbaren Schadstoffspuren. Umweltforschungsplan des Bundesministers des Innern, Forschungsbericht 10605008, 125 S
- Füll C (1996): Bioakkumulation und Metabolismus von g-1,2,3,4,5,6-Hexachlorcyclohexan (Lindan) und 2-(2,4-Dichlorphenoxy)-propionsäure (Dichlorprop) beim Regenwurm *Lumbricus rubellus* (Oligochaeta, Lumbricidae). Dissertation, 156 S
- Haimi J, Salminen J, Huhta V, Knuutinen J, Palm H (1992): Bioaccumulation of Organochlorine Compounds in Earthworms. *Soil Biol. Biochem.* 24 (12) 1699–1703
- Hatanaka K, Ishioka Y, Furuichi E (1983): Cultivation of *Eisenia fetida* using dairy waste sludge cake. In: JE Satchell (Ed): *Earthworm Ecology*. S 323–329
- Isnard P, Lambert S (1988): Estimating Bioconcentration Factors from Octanol-Water Partition Coefficient and Aqueous Solubility. *Chemosphere* 17 (1) 21–34
- ISO 11268-2 (1998): (E) Soil quality – Effects of pollutants on earthworms (*Eisenia fetida*) – Part 2: Determination of effects on reproduction
- Kraus M, Wilcke W, Zech W (2000): Availability of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH's) and Polychlorinated Biphenyls (PVB's) to Earthworms in Urban Soils. *Environ. Sci. Technol.* 34, 4335–4340
- Ma WC, Immerzeel J, Bodt J (1995): Earthworm and Food Interactions on Bioaccumulation and Disappearance in Soil of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: Studies on Phenanthrene and Fluoranthene. *Ecotoxicol. Environ. Safety* 32 (3) 226–232
- Mackay D (1982): Correlation of bioconcentration factors. *Environ. Sci. Technol.* 16, 274–276
- OECD (1984): Guidelines for testing of chemicals 'Earthworms, Acute Toxicity Tests'. No. 207
- OECD (1996): Guidelines for testing of chemicals 'Bioconcentration: Flow-through Fish Test'. No. 305
- OECD (n): Test Guideline for the Determination of the Total Lipid Content of Fish. (Proposal for Review Panel, C 126/80 JAP: OECD Test Guideline for the Determination of the Total Lipid Content of Fish
- Pflugmacher J (1992): Struktur-Aktivitätsbeziehungen (QSAR) zwischen der Biokonzentration von Pflanzenschutzmitteln und dem Oktanol-Wasser-Koeffizienten. *UWSF – Z Umweltchem Ökotox* 4 (2) 77–81
- Eingegangen: 11. 07. 2001; Akzeptiert: 28.03.2002; OnlineFirst: 31. 05. 2002

JSS – J Soils & Sediments 3 (1) 13–20 (2003)

Lethal Critical Body Residues as Measures of Cd, Pb, and Zn Bioavailability and Toxicity in the Earthworm *Eisenia fetida*

Jason M. Conder* and Roman P. Lanno [*Corresponding author (jasonmconder@yahoo.com)]

Oklahoma State University, Department of Zoology, 430 Life Sciences West, Stillwater, OK 74078, USA

Background. Earthworm heavy metal concentrations (critical body residues, CBRs) may be the most relevant measures of heavy metal bioavailability in soils and may be linkable to toxic effects in order to better assess soil ecotoxicity. However, as earthworms possess physiological mechanisms to secrete and/or sequester absorbed metals as toxicologically inactive forms, total earthworm metal concentrations may not relate well with toxicity.

Objective. The objectives of this research were to: i) develop LD₅₀s (total earthworm metal concentration associated with 50% mortality) for Cd, Pb, and Zn; ii) evaluate the LD₅₀ for Zn in a lethal Zn-smelter soil; iii) evaluate the lethal mixture toxicity of Cd, Pb, and Zn using earthworm metal concentrations and the toxic unit (TU) approach; and iv) evaluate total and fractionated earthworm concentrations as indicators of sublethal exposure.

Methods. Earthworms (*Eisenia fetida* (Savigny)) were exposed to artificial soils spiked with Cd, Pb, Zn, and a Cd-Pb-Zn equitoxic mixture to estimate lethal CBRs and mixture toxicity. To evaluate the CBR developed for Zn, earthworms were also exposed to Zn-contaminated field soils receiving three different remediation treatments. Earthworm metal concentrations were measured using a procedure devised to isolate toxicologically active metal burdens via separation into cytosolic and pellet fractions.

Results and Discussion. Lethal CBRs inducing 50% mortality (LD₅₀, 95% CI) were calculated to be 5.72 (3.54–7.91), 3.33 (2.97–3.69), and 8.19 (4.78–11.6) mmol/kg for Cd, Pb, and Zn, respectively. Zn concentrations of

dead earthworms exposed to a lethal remediated Zn-smelter soil were 3-fold above the LD₅₀ for Zn and comparable to earthworm concentrations in lethal Zn-spiked artificial soils, despite a 14-fold difference in total soil Zn concentration between lethal field and artificial soils. An evaluation of the acute mixture toxicity of Cd, Pb, and Zn in artificial soils using the Toxic Unit (TU) approach revealed an LD₅₀ (95% CI) of 0.99 (0.57–1.41) TU, indicating additive toxicity.

Conclusions. Total Cd, Pb, and Zn concentrations in earthworms were good indicators of lethal metal exposure, and enabled the calculation of LD₅₀s for lethality. The Zn-LD₅₀ developed in artificial soil was applicable to earthworms exposed to remediated Zn-smelter soil, despite a 14-fold difference in total soil Zn concentrations. Mixture toxicity evaluated using LD₅₀s from each single metal test indicated additive mixture toxicity among Cd, Pb, and Zn. Fractionation of earthworm tissues into cytosolic and pellet digests yielded mixed results for detecting differences in exposure at the sublethal level.

Recommendation and Outlook. CBRs are useful in describing acute Cd, Pb, and Zn toxicity in earthworms, but linking sublethal exposure to total and/or fractionated residues may be more difficult. More research on detoxification, regulation, and tissue and subcellular partitioning of heavy metals in earthworms and other invertebrates is needed to establish the link between body residue and sublethal exposure and toxicity.