



## UvA-DARE (Digital Academic Repository)

### Predicting effects of multiple stressors on aquatic biota.

Heugens, E.H.W.

**Publication date**  
2003

[Link to publication](#)

#### **Citation for published version (APA):**

Heugens, E. H. W. (2003). *Predicting effects of multiple stressors on aquatic biota*. IBED, Universiteit van Amsterdam.

#### **General rights**

It is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), other than for strictly personal, individual use, unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

#### **Disclaimer/Complaints regulations**

If you believe that digital publication of certain material infringes any of your rights or (privacy) interests, please let the Library know, stating your reasons. In case of a legitimate complaint, the Library will make the material inaccessible and/or remove it from the website. Please Ask the Library: <https://uba.uva.nl/en/contact>, or a letter to: Library of the University of Amsterdam, Secretariat, Singel 425, 1012 WP Amsterdam, The Netherlands. You will be contacted as soon as possible.

Over the last few years, the levels of several toxicants in the aquatic environment have declined. Standard toxicity tests with these low toxicant concentrations often suggest that present pollution levels have no impact on ecosystems. However, toxicity testing is generally performed under optimal and constant experimental conditions (e.g. temperature and food level), while in the field, species are exposed to combinations of biological, physical, and chemical stressors. These suboptimal and variable field conditions are likely to influence the toxicity of chemicals to organisms. Although knowledge of interactions between different types of stressors is vital to predict effects of multiple stressors in the field and to protect ecosystems, relatively little is known about the interactions and effects of jointly acting stressors. Therefore, this thesis addressed the combined effects of toxicants and environmental factors on aquatic biota and explored the mechanisms of their interaction.

The first step in this study was to evaluate the existing literature on multiple stressors. This literature review revealed that temperature, nutritional state and salinity had a major impact on the toxicity of various chemicals to aquatic organisms (Chapter 2). Organisms exposed to conditions close to their environmental tolerance limits were generally more sensitive to additional chemical stress, while exposure to toxicants narrowed the tolerance range for natural factors. Overall, toxicity increased at high temperatures and low levels of food or nutrients. The influence of salinity on toxicity depended on the type of chemical, but the relationship between both factors was not clear for all classes of compounds. Quantitative analyses of litera-

ture data resulted in coefficients for the three natural factors studied, which gave an indication of the magnitude of uncertainty factors that could be used to extrapolate results obtained under laboratory conditions to the field. Although the observed interactions were explained by changes in toxicant bioavailability, accumulation kinetics, and sensitivity of the test organisms due to the natural factors, these processes were have rarely been investigated so far.

The mechanisms responsible for temperature-dependent toxicity of cadmium to *Daphnia magna* were therefore studied in toxicity and accumulation experiments and the data were analyzed with the DEBtox model (Chapter 3). Extreme temperatures caused complete mortality, independent of cadmium exposure. Below this upper thermal tolerance limit, temperature increased cadmium toxicity. This temperature-dependent cadmium toxicity was attributable to various mechanisms. In the lower temperature range, a temperature rise accelerated uptake kinetics, causing higher cadmium toxicity. In the higher temperature range, increased uptake was less important, while the contribution of increased intrinsic sensitivity of the daphnids became more significant.

To increase the ecological relevance of the study, chronic experiments were performed in an intermittent flow-through system and food level was introduced as a second natural factor. In these life history experiments, the joint effects of temperature, food, and cadmium on population growth of *D. magna* were analyzed (Chapter 4). High temperature and food level were found to stimulate population growth rate, whereas negative effects of cadmium were enhanced at elevated temperatures and low food levels. Tissue cadmium concentrations showed that increased cadmium accumulation at high temperature and low food conditions contributed to the observed temperature- and food-modified toxicity.

In Chapter 5, the data of the chronic experiments reported in Chapter 4 were analyzed with the DEBtox model. The findings presented are preliminary and will be adjusted when new parameter estimates become available. Model runs suggested that cadmium indirectly influenced reproduction of the daphnids by reducing the amount of energy assimilated from food in cadmium-exposed daphnids. In addition to the increased cadmium accumulation (Chapter 4), the model fits revealed that the intrinsic sensitivity of the daphnids to cadmium was increased as well under the combined conditions of high temperature and low food levels.

Finally, the predictability of the effects of multiple stressors and the implications for risk assessment are discussed in Chapter 6. Two approaches are worked out and evaluated to predict the population growth data presented in Chapter 4. First, the coefficients for temperature and nutritional state calculated in Chapter 2 were used to predict changes in the toxicity of cadmium at varying temperature and food levels. Second, multiple stress responses were calculated using the responses to the single stress factors observed in Chapter 4 by assuming a comparative, additive, and multiplicative interaction between the factors, of which the multiplicative interaction predicted the responses to the multiple stressors best. When both the predictive potential of the two approaches and the simplicity to use them were taken into account, the use of literature-derived coefficients for temperature and food was considered to be the best approach to predict the joint effects of temperature, food level and cadmium on population growth of *D. magna* presented in Chapter 4.

Current risk assessment for chemicals does not account for the potential effects of multiple stressors. The literature-derived coefficients may help to develop assessment factors to correct for the uncertainties related to differences between laboratory test conditions and natural conditions in ecosystems. Although the application of an assessment factor to correct for multiple stress conditions seems valuable in the short-term, in the long-term the use of constant extrapolation factors should be replaced with statistical and mechanistic models that also specify the margins of uncertainty for the range of factors that modify the toxicity of chemicals.

## **SAMENVATTING**

De laatste jaren zijn de concentraties van veel verontreinigingen in het aquatische milieu gedaald. Standaard toxiciteitstesten met deze lage concentraties suggereren vaak dat de huidige graad van vervuiling geen effect meer heeft op ecosystemen. Deze toxiciteitstesten worden echter veelal uitgevoerd onder optimale en constante experimentele condities, bijvoorbeeld wat betreft temperatuur en voedselniveau, terwijl in het veld soorten bloot staan aan combinaties van stressfactoren van biologische, fysische en chemische oorsprong. Deze suboptimale en variabele veldcondities hebben waarschijnlijk invloed op de toxiciteit van chemicaliën voor organismen. Relatief

weinig is bekend over de interacties en effecten van combinaties van stressoren. Dit belemmert het maken van goede voorspellingen die gebruikt worden in het overheidsbeleid voor stoffen. Dit proefschrift heeft daarom tot doel om de gecombineerde effecten van chemicaliën en natuurlijke factoren op aquatische biota te beschrijven en de onderliggende mechanismen van hun interactie bloot te leggen.

Deze studie begon met het evalueren van de bestaande literatuur over meervoudige stress. Uit dit literatuuronderzoek bleek dat temperatuur, voedselconditie en saliniteit een grote invloed uitoefenen op de toxiciteit van verschillende stoffen voor aquatische organismen (hoofdstuk 2). Organismen die bloot stonden aan condities die de tolerantiegrens voor de desbetreffende natuurlijke factoren bereikten, waren doorgaans meer gevoelig voor additionele chemische stress, terwijl blootstelling aan toxicanten de mate van tolerantie voor natuurlijke stress reduceerde. Over het algemeen nam de toxiciteit van stoffen toe bij hoge temperaturen en lage voedselconcentraties. De invloed van saliniteit op toxiciteit hing af van het type toxicant, maar de relatie tussen beide factoren was niet altijd eenduidig. Kwantitatieve analyse van data verkregen uit de literatuur resulteerde in coëfficiënten voor de drie onderzochte natuurlijke factoren. Deze coëfficiënten geven inzicht in de grootte van extrapolatiefactoren die toegepast kunnen worden bij de vertaling van laboratorium resultaten naar de veldsituatie. De waargenomen interacties tussen toxicanten en natuurlijke factoren worden veelal verklaard door veranderingen in de biologische beschikbaarheid van de toxicant, de accumulatie kinetiek en de gevoeligheid van de testorganismen veroorzaakt door de natuurlijke factoren. De onderliggende processen zijn tot nu toe nog nauwelijks bestudeerd.

Vervolgens werd in hoofdstuk 3 de interactie tussen temperatuur en cadmium voor de watervlo *Daphnia magna* experimenteel onderzocht, waarbij onderscheid gemaakt werd tussen de effecten van temperatuur op cadmium accumulatie en toxiciteit. De waarnemingen werden vervolgens geanalyseerd met het zogenaamde DEBtox model, waardoor ook onderzocht kon worden of temperatuur de intrinsieke gevoeligheid van de watervlooiën voor cadmium beïnvloedde. Extreem hoge temperaturen veroorzaakten volledige sterfte, onafhankelijk van cadmium blootstelling. Onder deze limiet versterkte toenemende temperatuur de toxiciteit van cadmium. Deze temperatuursafhankelijke effecten van cadmium konden toegeschreven worden

aan verschillende mechanismen. In het lagere temperatuurstraject versnelde een temperatuurssteiging de opname kinetiek van cadmium, wat een hogere toxiciteit tot gevolg had. In het hogere temperatuurstraject was verhoogde cadmium opname van minder belang, maar werd de hogere toxiciteit voornamelijk veroorzaakt door een toename van de intrinsieke gevoeligheid van de watervlooiën voor cadmium.

Om de ecologische relevantie van de studie te vergroten werden vervolgens chronische experimenten uitgevoerd in een semi-continu doorstroom-systeem waarbij naast temperatuur ook voedsel als natuurlijke factor werd geïntroduceerd. In deze levenscyclustesten werden de gecombineerde effecten van temperatuur, voedsel en cadmium op de populatiegroei van *D. magna* onderzocht (hoofdstuk 4). Hoge temperaturen en voedselconcentraties bleken zoals verwacht stimulerend te werken op de populatiegroei-snelheid, terwijl de negatieve effecten veroorzaakt door cadmium versterkt werden door hoge temperaturen en lage voedselniveaus. Uit cadmiumconcentraties gemeten in de watervlooiën kwam naar voren dat de door temperatuur en voedsel veranderde cadmium toxiciteit deels veroorzaakt werd door hogere accumulatie van dit metaal bij hoge temperaturen en lage voedselconcentraties.

In hoofdstuk 5 werden de data verkregen uit de chronische experimenten (hoofdstuk 4) geanalyseerd met het DEBtox model. De modelanalyses suggereerden dat cadmium de reproductie van de watervlooiën indirect beïnvloedde door het reduceren van de energie-assimilatie uit voedsel. Naast de hogere accumulatie van cadmium (hoofdstuk 4) wezen de modelanalyses uit dat de intrinsieke gevoeligheid van de watervlooiën voor cadmium eveneens toenam bij hoge temperatuur en lage voedselconcentratie.

Tenslotte werd in hoofdstuk 6 de voorspelbaarheid van de effecten van gecombineerde stressoren bediscussieerd. Twee benaderingen om de populatiegroei (gepresenteerd in hoofdstuk 4) te voorspellen werden uitgewerkt en geëvalueerd. Ten eerste werden de coëfficiënten voor temperatuur en voedsel zoals berekend in hoofdstuk 2 gebruikt om veranderingen in toxiciteit als gevolg van verschillen in temperatuur en voedselconcentratie te berekenen. Ten tweede werd de respons op meervoudige stress berekend met behulp van de in hoofdstuk 4 waargenomen respons op de afzonderlijke stressfactoren. Hiervoor werd achtereenvolgens een comparatieve, additieve en multiplicatieve interactie tussen de factoren verondersteld, waarvan de multiplicatieve interactie de populatiegroei het beste bleek te

voorspellen. Wanneer de de twee benaderingen werden vergeleken, waarbij zowel de voorspelbaarheid als de toepasbaarheid van de methoden in beschouwing werden genomen, bleken de coëfficiënten verkregen door middel van data uit de literatuur de beste methode om de gecombineerde effecten van temperatuur, voedsel en cadmium op de populatiegroei van *D. magna* gepresenteerd in hoofdstuk 4 te voorspellen.

De huidige risicobeoordeling voor stoffen houdt geen rekening met potentiële effecten van combinaties van stressfactoren. Coëfficiënten afgeleid uit literatuurdatabank kunnen helpen bij de ontwikkeling van extrapolatiefactoren waarmee gecorrigeerd kan worden voor de verschillen tussen experimentele condities tijdens laboratoriumtesten en natuurlijke condities in ecosystemen. Op de korte termijn lijkt de toepassing van extrapolatiefactoren om te corrigeren voor de effecten van natuurlijke factoren op de toxiciteit van stoffen waardevol. Echter, op de lange termijn zou het gebruik van een constante extrapolatiefactor vervangen moeten worden door de toepassing van statistische en mechanistische modellen die onzekerheidsmarges aangeven voor een reeks van factoren die de toxiciteit van chemicaliën beïnvloeden.