

Vergleich der Empfindlichkeit von Algen und Wasserlinsen in Biotests

Eine Simulation

Die Toxizität eines Stoffes oder Stoffgemisches beruht immer auf der Wechselwirkung der Stoffe mit dem jeweiligen Organismus. Da Organismen sehr unterschiedlich strukturiert sind, ist es deshalb nur logisch, daß sie mit unterschiedlicher Empfindlichkeit (also vergleichbare Schädigung bei anderen Konzentrationen) auf denselben Stoff reagieren.

Vergleiche der Empfindlichkeit von Organismen werden immer dann durchgeführt, wenn man das Ziel hat, Stoffe in möglichst niedrigen Konzentrationen zu detektieren, oder z. B. in Biotestbatterien das toxische Potential von Stoffen oder Stoffgemischen auf die Umwelt zu bewerten.

Aus diesen Gründen gibt es auch für Algen und Wasserlinsen eine große Zahl von vergleichenden Studien (siehe Literaturangaben unten).

EC-Werte für annähernd exponentiell wirkende Systeme, die auf der Basis von Biomasseintegral oder Biomassezuwachs berechnet werden, sind jedoch (im Gegensatz zu Werten auf der Basis von Wachstumsraten) abhängig von der Testdauer und der Wachstumsrate der Kontrolle (Nyholm 1985, Nusch 1982).

Abbildungen 1 und 2 zeigen diese Abhängigkeit der Hemmung für den EC₂₀- und den EC₅₀-Wert jeweils für den Bereich von Wasserlinsentests ($\mu = 0,275; 0,325; 0,375$) und für Algentests ($\mu = 0,9; 1,4; 1,9$). Dies bedeutet, daß die so ermittelten Ergebnisse und Empfindlichkeiten abhängig vom Testdesign sind. Schon an diesen Grafiken zeigt sich der erhebliche Einfluß von Testdauer und Wachstumsrate auf die Hemmung.

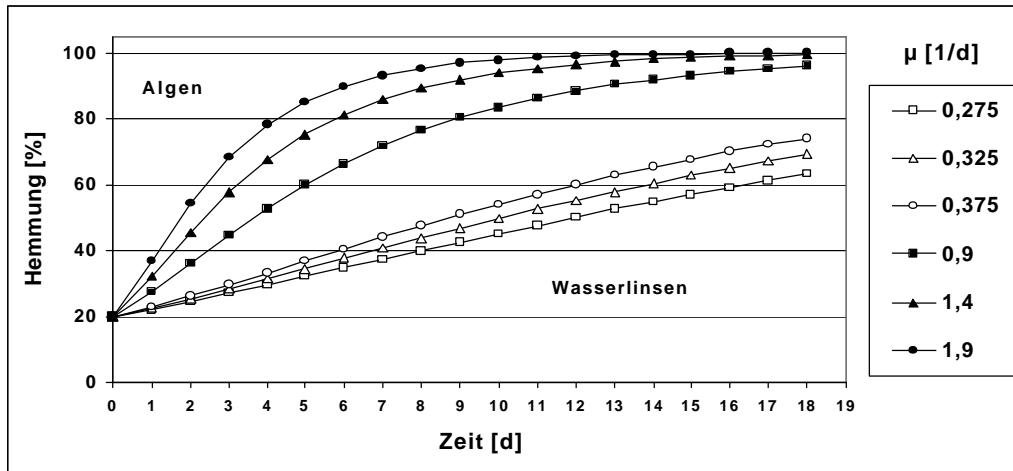


Abb. 1: Einfluß der absoluten Wachstumsrate der Kontrolle und der Testdauer auf die Hemmung des Biomassezuwachses bei einer konstanten Hemmung der Wachstumsrate von 20 %.

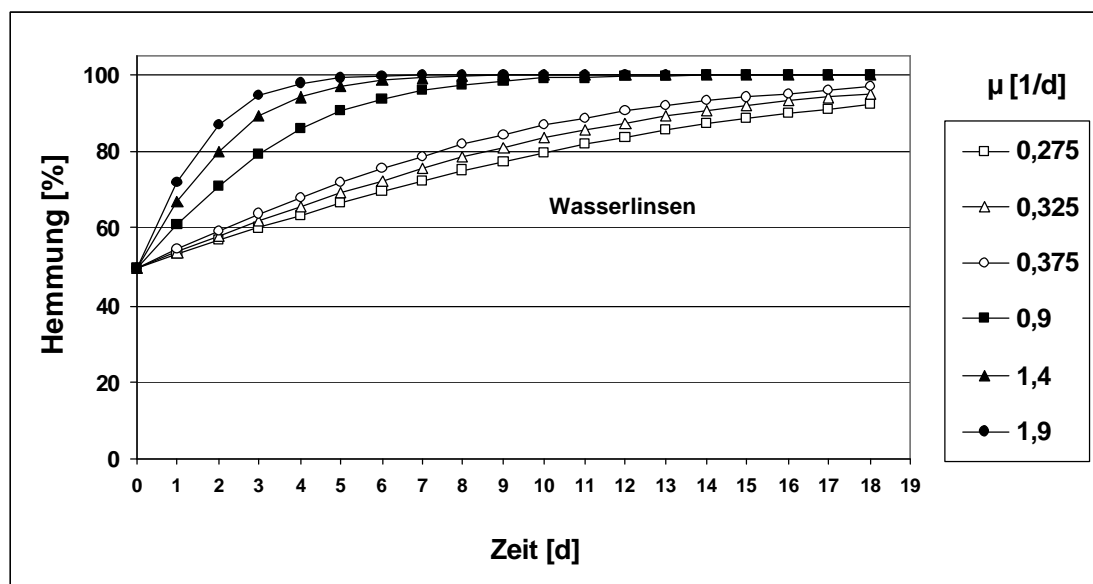


Abb. 2: Einfluß der absoluten Wachstumsrate der Kontrolle und der Testdauer auf die Hemmung des Biomassezuwachses bei einer konstanten Hemmung der Wachstumsrate von 50 %.

Um einen quantitativen Eindruck diese Phänomens und seiner Auswirkung auf die Bewertung von Vergleichsstudien zu bekommen, wurden einige Vergleichsszenarien ausgewählt und numerisch Hemmwerte simuliert. Ziel war die Beantwortung der Frage, wie weit sich die Vergleichsergebnisse auf der Basis des im Einzeltest sensibleren Biomassezuwachses von den Werten der ökologisch relevanten, aber in Einzeltests weniger sensiblen Wachstumsrate, unterscheiden.

Drei Vergleichsszenarien wurden aus der Literatur ausgewählt. Wasserlinsen- und Algentest mit jeweils 4 Tagen Dauer (Modell W4A4, Fairchild et al. 1997), ein 7 Tage Wasserlinsentest gegen einen eintägigen Algentest (Modell W7A1, Grossmann et al. 1992) und Tests nach OECD-Normen, Alge (3 Tage) gegen Wasserlinse (7 Tage)(Modell W7A3). In allen Fällen wurde nach Biomassezuwachs ausgewertet, wobei Biomasseintegrale generell zu sehr ähnlichen Ergebnissen geführt hätten (Nyholm 1985).

Abbildung 3 stellt die Abhängigkeit der Hemmung von der Wachstumsrate der Kontrolle für beide Tests mit jeweils 4 Tagen Dauer dar (Modell W4A4)). Die Hemmung des Biomassezuwachses verändert sich besonders für Algen im Bereich der in der Praxis vorkommenden Wachstumsraten sehr erheblich. So kann eine Hemmung der Wachstumsrate von 20 % zu einer Hemmung des Biomassezuwachses für Algen zwischen 57 ($\mu = 1,0 \text{ d}^{-1}$) und 77 % ($\mu = 1,8^{-1}$) führen. Beim Vergleich beider Organismen bei mittlerer Wachstumsrate unterscheiden sich die Hemmwerte um 35 % für den EC₂₀- und 30 % für den EC₅₀-Wert. Dies führt bei steilen Konzentrations-Wirkungsbeziehungen EC-Werten (Biomassezuwachs) für Wasserlinsen, die um Faktor 2 höher sind als die der Algen bei gleicher Hemmung der Wachstumsrate. Bei flachen Konzentrations-Wirkungsbeziehungen kann sogar bis Faktor 7 der EC-Konzentrationen zwischen Wasserlinsen und Algen liegen, obwohl über die Wachstumsrate der gleiche EC-Wert ermittelt worden wäre.

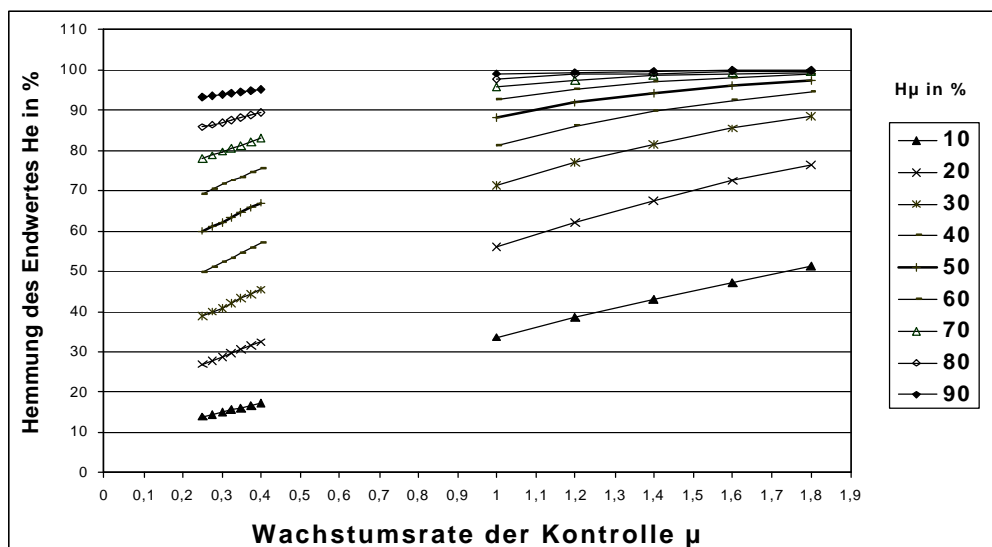


Abb. 3: Abhängigkeit der Hemmung des Biomassezuwachses von der Wachstumsrate der Kontrollen für Wasserlinsen (links) und Algen (rechts) für das Modell W4A4 (Wasserlinsentest 4 Tage, Algen 4 Tage)

Schon die wenigen Beispiele demonstrieren, daß nur auf der Basis von Wachstumsraten wissenschaftlich fundierte Vergleiche von Empfindlichkeiten ver-

schiedener Organismen möglich sind. Studien auf der Basis von Biomasseintegralen oder Biomassezuwachs sind dagegen völlig wertlos, wenn nicht zumindest die jeweilige Wachstumsrate der Kontrollansätze und die Steilheit der Konzentrations-Wirkungsbeziehung mit angegeben werden. Am Beispiel des Algentests wird aber auch deutlich, daß schon bei einer Art aber verschiedenen, von den Normen zugelassenen, Wachstumsraten die dadurch bedingten scheinbaren Sensibilitätsunterschiede sehr groß werden können. Damit führt dieses Szenario von seiner Struktur her dazu, Toxizitäten gegenüber Algen weit höher zu bewerten als solche gegenüber Wasserlinsen. Bei Tests mit 16 Herbiziden und Lemna minor und Selenastrum war dennoch nach der Berechnung des Biomassezuwachses die Wasserlinse bei 8 Stoffen „empfindlicher“.

Ein direkter Empfindlichkeitsvergleich über den Biomassezuwachs zwischen Lemna (4 Tage), verschiedenen Algen (4 Tage) und wurzelnden submerse Makrophyten einschließlich eines Rankings für 4 ist deshalb nicht angemessen (Fairchild et al. 1997).

Werden dagegen Tests nach dem Szenario W7A1 auf Biomassezuwachs basis verglichen, schneiden Wasserlinsen tendenziell 2 – 10 % „empfindlicher“ ab als Algen (Abbildung 4). Dies zeigen auch die Studienergebnisse, bei denen die Wasserlinse bei 8 Pestiziden immer gleich empfindlich oder empfindlicher war als die Algen (Grossmann et al.1992). Das Ergebnis wird also auch hier durch das Testdesign schon fast erzwungen.

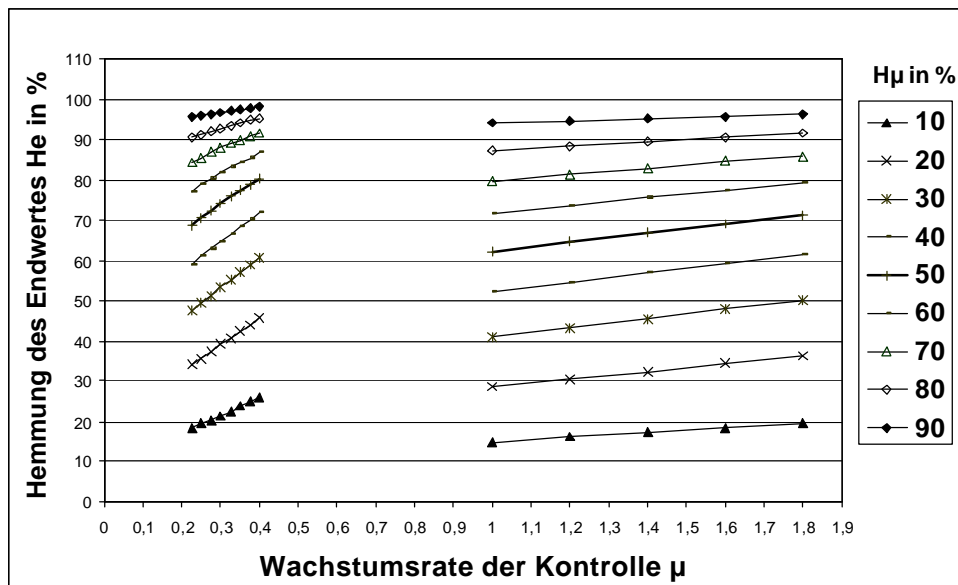


Abb. 4: Abhängigkeit der Hemmung des Biomassezuwachses von der Wachstumsrate der Kontrollen für Wasserlinsen (links) und Algen (rechts) für das Modell W7A1 (Wasserlinsentest 7 Tage, Algen 1 Tag)

Werden der 7 Tage-Wasserlinsentest und der 3 Tage-Algentest zu Vergleichszwecken herangezogen, reagiert der Test durch das Testdesign für Algen bei mittleren Wachstumsraten um etwa 10 – 15 % empfindlicher als für Wasserlinsen (Abbildung 5).

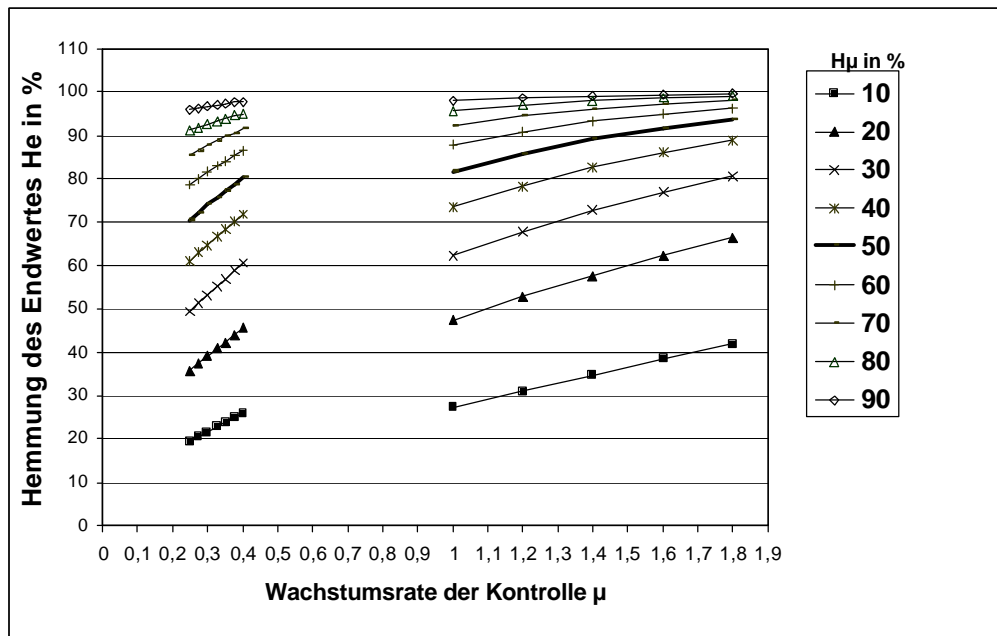


Abb. 5: Abhängigkeit der Hemmung des Biomassezuwachses von der Wachstumsrate der Kontrollen für Wasserlinsen (links) und Algen (rechts) für das Modell W7A3 (Wasserlinsentest 7 Tage, Algen 3 Tage).

Je nach Wachstumsrate kann die Hemmung des Biomassezuwachses innerhalb eines Systems um bis zu 18 % unterschiedlich sein - bei konstanter Hemmung der Wachstumsrate. Je nach Steilheit der Konzentrations-Wirkungsbeziehung können eine 18 % höhere Hemmung im Algentest die Konzentration des betreffenden EC-Wertes zwischen Faktor 1,5 (steile Konzentrations-Wirkungsbeziehung, wie z. B. 3,5-DCP) und Faktor 4 (flache Konzentrations-Wirkungsbeziehung, wie bei Kaliumdichromat) gegenüber dem EC-Wert des Biomassezuwachses für Wasserlinsen erniedrigen.

Zukünftige Normungsvorhaben und Vergleichsstudien sollten diese Zusammenhänge berücksichtigen. Dies bedeutet, daß im Falle der Berechnung von Biomasseintegral und Biomassezuwachs für den Vergleich zwischen Organismen, die erlaubten Wachstumsraten, besonders im Algentest, stärker als bisher begrenzt werden sollten. Vergleiche zwischen Organismen auf der Basis von EC-Werten aus Biomasseintegral oder Biomassezuwachs sind grundsätzlich auszuschließen, da es keine einheitliche Vergleichsbasis gibt. Dies zeigt auch Abbildung 6 a, b mit

der Zusammenfassung der EC₂₀- und EC₅₀-Werte für verschiedene Testszenarien und Wachstumsraten deutlich.

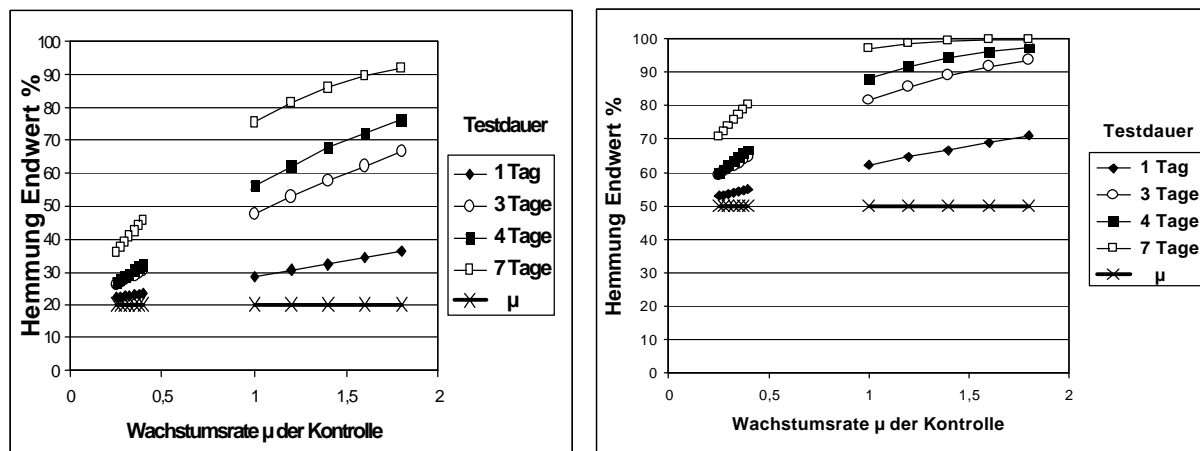


Abb. 6: Abhängigkeit der Hemmung des Biomassezuwachses für eine Hemmung der Wachstumsrate von 20 % (links) und 50 % (rechts) von der Wachstumsrate der Kontrollen für Wasserlinsen (in Graphik links) und Algen (in Graphik rechts)

Werden dagegen Wachstumsraten als Basisgröße ermittelt, treten weder Vergleichsprobleme zwischen Tests mit einem Organismus noch mit mehreren Organismen auf. Dafür liegen jedoch die EC-Werte für exponentiell wachsende Systeme aus mathematischen Gründen höher als die entsprechenden Werte auf Basis von Biomassezuwachs oder Biomasseintegral.

Bis es einen breiten Konsens über die angemessene Art der Auswertung gibt, sollten deshalb wissenschaftliche Ergebnisse und Testresultate so dokumentiert oder veröffentlicht werden, daß entweder sofort alle Auswertungsverfahren angewendet werden oder die Rohdaten für eine nachträgliche Bewertung einfach zugänglich sind.

Bassi M., Corradi M. G. Favali M. 1990 Effects of chromium in freshwater algae and macrophytes, 204-224, in: Plants for toxicity assessment ASTM STP 1091, Wang W., Gorsuch J. W., Lower W. R. (eds.) ASTM Philadelphia

Cowgill U. M., Milazzo D. P. and Landenberger B. D., 1989. A comparison of the effect of triclopyr triethylamine salt on two species of duckweed (*Lemna*) examined for a 7- and 14-day test period. *Water Research* 23: 617 - 623.

Cowgill U. M., Milazzo D. P. and Landenberger B. D., 1991. The sensitivity of *Lemna gibba* G-3 and four clones of *Lemna minor* to eight common chemicals using a 7-day test. *Research Journal of the Water Pollution Control Federation* 63:991 - 998.

Fairchild J.F., Ruessler D.S., Haverland P.S. and A.R. Carlson 1997 Comparative sensitivity of *Selenastrum capricornutum* and *Lemna minor* to sixteen herbicides. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 32, 353-357.

Fletcher J.S. 1991 Assessment of published literature concerning pesticide influence on nontarget plants. In: „Plant tier testing: a workshop to evaluate nontarget plant testing in

- Subdivision J pesticide guidelines". U.S. Environmental Protection Agency, EPA/600/9-91/041, Corvallis, OR, pp. pp. 28-36.
- Fletcher J.S. 1990 Use of algae versus vascular aquatic plants to test for chemical toxicity. In: Plants for Toxicity Assessment, edited by W. Wang, J.W. Gorsuch and W.R. Lower. ASTM STP 1091, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA, pp. 33-39.
- Fletcher J.S. 1990 Use of algae versus vascular plants to test for chemical toxicity. In: „Plants for Toxicity Assessment“, ASTM STP 1091, Wang W., J.W. Gorsuch and W.R. Lower (eds) American Society for Testing and Materials, Philadelphia, pp. 33-39.
- Garten C.T. and M.L. Frank 1984 Comparison of toxicity to terrestrial plants with algal growth inhibition by herbicides. Publ. No. 2361. Environmental Sciences Division, Oak Ridge National Laboratory, TN.
- Grossmann K. Berghaus R. Retzlaff G. 1992 Heterotrophic plant cell suspension cultures for monitoring biological activity in agrochemicals research. Comparison with screens using algae, germination seeds and whole plants Pesticide Science 35, 283-289
- Hartman W.A. Martin D.B. 1985 Effects of four agricultural pesticides on *Daphnia pulex*, *Lemna minor* and *Potamogeton pectinatus*
- Nusch EA (1982) Evaluation of growth curves in bioassays. ISO/TC 147/SC 5/WG5 N62. Nederlands Normalisatie-instituut, Delft, The Netherlands.
- Nyholm N (1985) Response variable in algal growth inhibition tests - biomass or growth rate? Wat Res 19:273-279.
- Nyholm N (1990) Expression of results from growth inhibition toxicity tests with algae. Archives of Environ Contam Toxicol 19:518 - 522.
- Peterson H.G., C. Boutin, K.E. Freemark, P.A. Martin 1997 Toxicity of hexazinone and diquat to green algae, diatoms, cyanobacteria and duckweed. Aquatic Toxicology 39: 111-134.
- Peterson H.G., C. Boutin, P. Martin, K.E. Freemark, N.J. Ruecker, and M. J. Moody 1994 Aquatic phyto-toxicity of 23 pesticides applied at Expected Environmental Concentrations. Aquatic Toxicology 28: 275-292
- Roshon R.D., McCann J.H., Thompson D.G., and G.R. Stephenson (in press) Effects of seven forestry management herbicides on *Myriophyllum sibiricum*, as compared with other non-target aquatic organisms. Canadian Journal of Forest Research
- Sloof W.J., H.Canton and J.L.M Hermens 1983 Comparison of the susceptibility of 22 freshwater species to 15 chemical compounds. I. (Sub)acute toxicity tests. Aquatic Toxicology 4, 113-128.
- Wang W.C. 1990 Literature review on duckweed toxicity testing. Environmental Research 52, 7-22
- Wang W.C., Williams J.M. 1988 Screening and biomonitoring of industrial effluents using phytotoxicity tests. Environmental Toxicology and Chemistry 7, 645-652