

水生植物的生态敏感度研究

李宏文¹, Paul K. Chien²

(1. 苏州城建环保学院环保系, 江苏 苏州 215011; 2. 美国旧金山大学生物系)

摘要: 通过人工室外玻璃水槽养殖试验, 研究了几种水生植物在两个不同的生态水平上对重金属 Pb 和 Zn 的生态效应。结果发现, 水生植物对有害环境因子的生态敏感度, 在植物组织水平上与在分子水平上的表现截然相反。根据植物体内过氧化氢酶(CAT)的活性反应来排序, 几种水生植物的(CAT)敏感度为: 水花生> 紫背萍> 满江红> 轮叶黑藻> 马来眼子菜。这与植物受 Pb 和 Zn 伤害后的形态症状表现的生态敏感度(种敏感度)顺序完全相反。把不同的生态敏感度概念(CAT 敏感度和种敏感度)引入生态规划, 作为生态敏感区域划定的指标。对具有不同敏感等级和不同的保护水平要求的生态区域, 应采用不同的生态敏感度, 即 CAT 敏感度或种敏感度。

关键词: 生态敏感度; CAT 敏感度; 重金属; 生态水平

中图分类号: X503. 23 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000 – 0267(2001)03 – 0160 – 04

A Study on Ecological Sensitivities of Several Plants

LI Hong-wen¹, Paul k. Chien²

(1. Suzhou Institute of Urban Construction and Environmental Protection, Dept. of Environmental Protection, Suzhou 215011 China; 2. Dept. of Biology, San Francisco University, U. S. A.)

Abstract: By measuring ecological effects of several aquatic plants on heavy metals of Pb and Zn, it has been shown that the ecological sensitivities of plants on danger environmental factors are quite different between organism level and molecular level. According to CAT activity, an order for CAT – sensitivities of plants was found to be: Alternanthera philoxeroides> Spirodella polyrrhiza> Azolla imbricata> Hydrilla verticillata> Potamogeton malaianus. This result was contrary to the species – sensitivities based on injured levels of plants, such as: Potamogeton malaianus> Hydrilla verticillata> Azolla imbricata> Spirodella polyrrhiza> Alternanthera philoxeroides. The ecological sensitivity introduced into ecological planning has been recognized as index for delimiting ecological sensitive areas. The different idea of CAT – sensitivity and species – sensitivity may be applied to different areas with different ecological stabilities and different protecting needs.

Keywords: ecological sensitivity; CAT – sensitivity; heavy metal; ecological level

把生态敏感度概念引入生态规划, 作为一种规划工具, 在美国、瑞典已广泛开展了这一领域的研究^[1]。确定植物的生态敏感度, 一般是基于植物对有害环境因子的生态效应, 以植物体组织受伤害后的形态症状表现来确定的, 这是植物组织水平上的生态敏感度, 即种敏感度。按照种敏感度, 通常把水花生、紫背萍、满江红确定为耐污种类, 而轮叶黑藻和马来眼子菜为敏感种类。在生态规划中, 应用种敏感度指标来评价一些较为脆弱但又要求特别保护的生态区域, 为其划定区域边界, 这样的指标精度是不理想的, 本研究还试图从分子水平上探求植物的生态敏感度, 即 CAT 敏感

度。以种敏感度相比较, CAT 能更为精确地对有害环境因子的影响作出敏感反应, 是生态规划的理想指标之一。

1 确定生态敏感度的原则

(1) 生态敏感度是指生物体对来自生存环境中的各种因子的影响所作出的反应。环境因子可以是单个的, 也可以是复合的, 生态敏感度表现为生物体对单因子的敏感度和对多因子的综合敏感度。

(2) 生物体对环境影响的反应, 可以在分子、细胞、个体、种群、群落和生态系统等多个层次水平上表现出来。因此, 生态敏感度也就存在有敏感种, 敏感群落和敏感生态系统的概念。

(3) 把生态敏感度概念引入生态规划, 作为敏感

收稿日期: 2000 – 06 – 09

作者简介: 李宏文(1946—), 男, 苏州城建环保学院环保系副教授, 硕士。

区域划定的指标。对于具有不同的脆弱性和不同保护目标要求的生态区域，应采用不同的生态敏感度概念，如分子水平上的 CAT 敏感度或生物组织水平上的种敏感度。

2 材料与方法

采集常见的水生植物种：水花生（*Alternanthera philoxeroides*）、紫背萍（*Spirodela polyrrhiza*）、满江红（*Azolla imbricata*）、轮叶黑藻（*Hydrilla verticillata*）、马来眼子菜（*Potamogeton malaianus*）。

采集时间:5 月—7 月,植物营养生长季节。
试验设计:设 4 个浓度组,每个组有 5 种植物试验,同时设对照组。试验在 70 × 30 × 25 cm³ 的多个玻璃水槽里进行。

试验用植物的生物量:挺水植物水花生和沉水植物轮叶黑藻和马来眼子菜各为 1 kg · 组⁻¹, 飘浮植物紫背萍和满江红各为 0.5 kg · 组⁻¹, 保持群落盖度不

低于 95%。
重金属选用分析纯的 PbCl₂ 和 ZnCl₂, 分别配制成一个浓度系列:5、25、50、100(10⁻⁶ g · cm⁻³)。
Pb 和 Zn 的浓度测定:采用原子吸收分光光度法。

CAT 活性测定:采用植物的过氧化氢酶被释放后分解 H₂O₂ 所放出的氧气量(体积)法^[2,3]。

CAT 活性测定:当植物暴露到金属溶液中 24 h 后测定一次,植物体出现退绿时再测定一次(伤害症状)。测定出的 CAT 数据作转化处理,以对照组的样品测定值定为 1, 试验组的实测值与对照组的测定值相比,确定其 CAT 活性。

3 结果与讨论

3.1 几种水生植物在植物组织水平上的生态敏感度
几种水生植物对不同浓度的 Pb 和 Zn 的生态效应见表 1。试验结果表明,几种水生植物对重金属 Pb

表 1 5 种水生植物对 Pb 和 Zn 的生态效应
Table 1 Ecological effects of 5 aquatic plants on lead and zinc

试验植物	重金属浓度 /10 ⁻⁶ g · cm ⁻³	停留时间/d				退绿 /d	一半生物量死亡 /d
		2	4	6	8		
水花生	5	3. 12/4. 01	2. 03/2. 98	1. 14/1. 72	1. 01/0. 87	8/8	- / -
	25	21. 13/22. 31	18. 42/19. 02	11. 68/10. 73	9. 24/10. 12	5/4	8/6
	50	33. 92/35. 12	21. 14/26. 78	18. 26/16. 94	15. 03/16. 00	4/4	6/5
	100	68. 35/62. 84	52. 44/56. 21	43. 14/45. 31	38. 92/34. 87	3/3	5/5
紫背萍	5	4. 02/4. 27	2. 94/3. 12	1. 35/1. 25	0. 94/0. 73	8/8	9/8
	25	20. 06/21. 23	17. 27/19. 02	10. 53/13. 14	10. 07/9. 05	4/4	8/7
	50	37. 46/33. 92	22. 19/20. 87	17. 13/16. 47	16. 38/15. 72	3/3	6/6
	100	70. 42/69. 41	59. 19/56. 78	48. 97/50. 01	40. 07/39. 43	2/1	4/4
满江红	5	4. 87/4. 01	3. 12/3. 67	2. 01/2. 66	1. 67/1. 21	6/5	7/7
	25	23. 22/22. 89	18. 12/17. 34	14. 43/14. 54	11. 39/10. 81	5/4	6/5
	50	39. 41/41. 01	28. 70/26. 65	20. 13/18. 17	20. 19/17. 34	4/4	5/5
	100	78. 42/72. 47	50. 12/48. 25	41. 03/40. 12	39. 23/34. 17	3/2	4/4
轮叶黑藻	5	3. 92/4. 03	2. 87/2. 42	1. 82/1. 34	1. 12/0. 94	5/5	6/6
	25	24. 51/22. 32	18. 73/16. 03	12. 42/10. 34	10. 00/8. 74	4/3	6/5
	50	40. 31/41. 45	28. 67/30. 14	20. 54/21. 53	18. 67/16. 44	3/3	5/4
	100	81. 03/78. 67	56. 32/51. 45	43. 34/39. 12	40. 50/32. 15	2/2	4/3
马来眼子菜	5	4. 31/3. 74	2. 98/3. 31	2. 51/1. 67	1. 86/0. 58	4/4	6/6
	25	22. 17/23. 54	18. 67/17. 45	15. 12/13. 23	12. 38/10. 79	3/3	5/4
	50	38. 12/37. 27	24. 57/21. 13	19. 04/18. 56	17. 25/14. 76	3/2	4/4
	100	75. 38/77. 34	61. 97/59. 64	57. 42/48. 86	48. 10/46. 25	2/1	3/2

注:表中 - / - 表示 Pb/Zn 的浓度。
和 Zn 都能产生生态效应,但效应大小随种而异。敏感植物马来眼子菜的退绿时间相对最短,较高浓度作用下为 1—3 d, 较低浓度作用下为 3—4 d, 种的敏感度最高。耐污植物水花生的退绿时间相对最长,较高浓度作用下为 3—4 d, 较低浓度作用下为 4—8 d, 种的

敏感度最低。而其它 3 种植物的种敏感度可排序为轮叶黑藻> 满江红> 紫背萍。从生物量半致死时间(LT₅₀) 来比较,最长耐受时间的是水花生,最短耐受时间的是马来眼子菜,这与植物退绿所表现出的敏感度规律性一致。按照植物组织水平上的种敏感度排

序,则为马来眼子菜> 轮叶黑藻> 满江红> 紫背萍> 水花生。

3.2 几种水生植物在分子水平上的 CAT 敏感度

试验结果表明(表 2),5 种植物的 CAT 对重金属

表 2 5 种植物对 Pb 和 Zn 的不同浓度作用下的 CAT 活性
Table 2 CAT activities in 5 plants at various concentration of lead and zinc

试验植物	重金属浓度 / $10^{-6}\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	CAT 活性	
		24 h	退绿
水花生	5	1.37/1.32	0.83/0.75
	25	1.54/1.41	0.72/0.82
	50	1.81/1.47	0.65/0.19
	100	2.10/1.85	0.50/0.57
紫背萍	5	1.24/1.28	0.57/0.86
	25	1.51/1.17	0.61/0.79
	50	1.72/1.41	0.49/0.62
	100	1.90/1.39	0.32/0.70
满江红	5	1.51/1.16	0.58/0.43
	25	1.48/1.27	0.61/0.47
	50	1.73/1.25	0.50/0.39
	100	1.69/1.34	0.38/0.28
轮叶黑藻	5	1.36/1.09	0.40/0.30
	25	1.41/1.13	0.35/0.55
	50	1.37/1.24	0.26/0.19
	100	1.50/1.47	0.20/0.22
马来眼子菜	5	1.21/1.10	0.32/0.20
	25	1.23/1.06	0.25/0.23
	50	1.20/1.05	0.25/0.14
	100	1.28/1.22	0.16/0.21

注:表中-/-表示 Pb/Zn 的 CAT 活性,以对照组的样品测定值为 1,试验组的实测值与对照组的测定值相比,确定 CAT 活性。

Pb 和 Zn 都能产生生态效应。在不同浓度的 Pb 和 Zn 的作用下,5 种植物的 CAT 活性均偏离正常值水平(对照组的 CAT 活性定为 1)。当暴露 24 h 后,5 种植物的 CAT 活性均增强,超过对照值。这可视作植物的 CAT 对重金属 Pb 和 Zn 的较短时间的敏感反应(急性反应),比植物退绿和半致死的种敏感度更高。

表 2 还表明,当植物退绿后,其伤害组织的 CAT 活性均降至对照值以下。这可以解释为:被伤害组织的 CAT 酶被破坏,失去了正常的酶功能。CAT 活性一旦降至正常值以下,这意味着植物体内的酶系统崩溃而不能自我修复。

植物的 CAT 活性均增强效应表明了重金属 Pb 和 Zn 对 5 种植物的激活作用。这个结论得到来自国外的有关报道的支持^[4,5]。CAT 对有害环境因子所表现出来的这种生态效应被认为是生物体在有害因子作用下的一种自身保护性反应,生物体通过调节自身的酶机制,增强 CAT 活性,对有害影响作出保护性反

应^[5-7]。因此,CAT 被普遍认为是生物体内的一种生态型保护酶。

从表 2 可以看出,在相同浓度的 Pb 和 Zn 作用下,不同种植物的 CAT 被激活的作用大小是有差异的。耐污性强的水花生在 Pb 和 Zn 作用下,其 CAT 活性增加最大,而敏感植物马来眼子菜的 CAT 活性增加最小。其它 3 种植物的 CAT 活性增加可依次排序为:紫背萍> 满江红> 轮叶黑藻。从分子水平上排序 5 种植物的 CAT 敏感度,则是:水花生> 紫背萍> 满江红> 轮叶黑藻> 马来眼子菜。这个结论与植物组织水平上的种敏感度排序结论恰相反。这说明,5 种植物的生态敏感度在植物组织水平上与在分子水平上的表现是完全不同的。

表 2 还表明了一个事实,在重金属 Pb 和 Zn 的作用下,耐污性强的种类,其 CAT 的抗性强,如水花生在暴露到 Pb 和 Zn 中 24 h 后,其 CAT 活性相对最高,当退绿时,其被伤害组织的 CAT 活性能保持在对照值以下的较高水平。而敏感植物种类,其 CAT 的抗性弱,如马来眼子菜在暴露到 Pb 和 Zn 中 24 h 后,其 CAT 活性相对最低,当退绿时,其被伤害组织的 CAT 活性却保持在对照值以下的较低水平。CAT 酶的这种特性与物种的生物学性质相关。水花生是水、陆适应的广生态幅湿生性种类,其代谢水平高,体内 CAT 酶的功能水平也高;而马来眼子菜和轮叶黑藻是沉水植物,其代谢水平低,体内 CAT 酶的功能水平也低。可以说,植物体内的 CAT 酶的功能水平的高低取决于代谢水平,这与植物生态类型密切相关。

4 生态敏感度应用于生态规划

4.1 生态敏感度分级

把 CAT 敏感度概念引入生态规划,作为较为脆弱的生态区域的评价指标和边界划定指标是理想的。它与种敏感度比较,效应更为灵敏。同时,CAT 敏感度随物种而异,差异性与种的生态类型紧密相关。因此,按照不同的生态类型,可以把 CAT 敏感度划分为三级(见表 3)。

植物的耐污性是根据有害环境因子对植物体的

表 3 植物的 CAT 敏感度分级 Table 3 Classification of CAT - sensitivity of Aquatic plants		
植物种类	生态类型	敏感度等级
水花生	挺水植物	CAT 一级敏感度
紫背萍、满江红	飘浮植物	CAT 二级敏感度
马来眼子菜、轮叶黑藻	沉水植物	CAT 三级敏感度

形态伤害症状来确定。同样的,也可以按照种的耐污性把种敏感度划分为三级(见表 4)。

4.2 敏感度指标应用

在生态规划中,对具有不同性质的生态区域的划定,需要有一个科学的、技术上可行的规划指标体系。对于具有不同功能性质和不同保护目标要求的各类生态区域,应采用不同的生态敏感度指标(见表 5)。

表 5 敏感度指标在生态规划中的应用
Table 5 Application of sensitivity index in ecological planning

指标类别	敏感度等级	生态区域类别	保护级别
CAT 敏感度	CAT 一级 CAT 二、三级	物种多样性区域,濒危物种保护区,水源地保护区,干旱、半干旱水源区 富营养化湖泊,荒漠化沼泽地	一类保护 一类保护
种敏感度	种敏感度一、二级 种敏感度三级	湖沼,河流,池塘,水库 渔业用水区,工业用水区,农灌用水区	二类保护 三类保护

5 结论

5.1 5 种水生植物的生态敏感度在植物组织水平上与在分子水平上的表现是完全不同的,按 CAT 敏感度排序为:水花生> 紫背萍> 满江红> 轮叶黑藻> 马来眼子菜,这与种敏感度排序正好相反,即:马来眼子菜> 轮叶黑藻> 满江红> 紫背萍> 水花生。

5.2 植物的 CAT 活性反应取决于植物体的代谢水平,它与植物生态类型密切相关。挺水植物的代谢水平高,其 CAT 活性反应强,CAT 敏感度高,而沉水植物的代谢水平低,其 CAT 活性反应弱,CAT 敏感度低。

5.3 把生态敏感度概念引入生态规划,对不同功能性质和具有不同保护目标要求的区域作生态评价及其边界划定,应采用不同的生态敏感度指标(CAT 敏感度指标或种敏感度指标)。

(上接第 159 页)

3.2 讨论

3.2.1 杀虫双

(1) 土壤中杀虫双残留浓度范围为 0.000 3—0.030 mg · kg⁻¹,检出率达 100%;米壳中为 0.055—0.350 mg · kg⁻¹,米粒中为 0.002 4—0.224 mg · kg⁻¹,检出率均达 100%。

(2) GB/T14928.12—94 大米中杀虫双(单)最大残留限量标准 MRL 值为 0.2 mg · kg⁻¹,故其中 9 号的米粒样超标,其它样本不超标。但对照绿色食品标准 0.1 mg · kg⁻¹,则超标率达 55.6%。

3.2.2 甲胺磷

表 4 植物的种敏感度分级 Table 4 Classification of sensitivity for species of aquatic plants		
植物种类	耐污性	敏感度等级
马来眼子菜、轮叶黑藻	弱	种敏感度一级
满江红	中	种敏感度二级
水花生、紫背萍	强	种敏感度三级

参考文献:

[1] Sonia Eriksson. The orerational concept of ecological sensitivity [M]. Stockholm: Royal Istitute of Technology Publisher, 1996.

[2] 李宏文. 紫外光对几种水生植物过氧化氢酶(CAT)活性的影响 [J]. 环境科学,1993,14(4):74—77.

[3] [英] P C 恩格尔. 孙冠文译. 酶动力学 [M]. 北京:科学出版社,1981,78—90.

[4] 王焕校. 污染生态学基础 [M]. 昆明:云南大学出版社,1990,179—197.

[5] Tao Chen. The effects of Cadmium and Iron on Catalase activities in Tubifex [J]. Journal of the American College of Toxicology, 1994, 13(2): 112—120.

[6] Ragan HA. Effects of Iron deficiency on the absorption and distribution of Lead and Cadmium in rates [J]. J Lab Clin Med, 1997, 14(3): 90, 700—706.

[7] Furst A & Nguyen Q. Cadmium induced in metallothionein in earthworms Imbricus terrestries [J]. Biol Trace Elen Res, 1989, 21(2): 81—85.

(1) 土壤中甲胺磷残留浓度范围为 0.003 1—0.042 mg · kg⁻¹,米壳中为 0.008—0.508 mg · kg⁻¹,米粒中为 0.034—0.210 mg · kg⁻¹,检出率均达 100%。

(2) GB14873—94 稻谷中甲胺磷最大限量标准为原粮 0.1 mg · kg⁻¹,在调查范围内,稻谷中甲胺磷农药的超标率达 41.7%。

参考文献:

[1] GB/T 14929.8—94,大米中杀虫双残留量测定方法 [S].

[2] 马庆立,樊德方,陈鹤鑫. 土壤及水中甲胺磷残留量的气相色谱测定方法 [J]. 农业环境保护,1990,9(5):35—36.