

表 4 小麦籽粒中金属元素的含量

含量 (ppm) / 处 理	Fe	Cu	Zn	Mn	Pb	Cd	Ni
垃圾+化肥	252.63	7.70	7.42	33.48	1.05	0.045	0.054
垃圾	271.37	6.37	9.96	33.40	1.08	0.109	0.045
对照	272.75	3.25	4.75	33.58	/	0.038	0.031

表 5 用垃圾作肥归田的金属含量

含量 (ppm) / 代换量 (meq/100g)	重金属	Pb	Zn	Cu	Ni	Cd
当土壤中阳离子代换量为右列数值时 (meq/100g) 的最大金属含量 (磅/英亩)	<5	440	220	110	110	4.4
	5-15	880	440	220	220	8.8
	>15	1760	880	440	440	47.6

垃圾归田时最大金属含量的建议(见表 5)^[3], 可作为我们建立类似污染控制指标的参考依据。

九、结 语

综上所述, 目前我国面临着严重的城市垃圾污染问题, 要有效地控制这种污染状况继续发展, 必须强化开发城市垃圾处理技术的研究工作。同时, 提高科学管理艺术是技术

开发的重要方面, 加强环境立法工作是促进技术开发的可靠保证。现行的每天耗费大量资金将污染向农村转移的状况亟待迅速改变。

参 考 文 献

- [1] 我国每年霉烂果蔬产品达三十六亿斤, 科技咨询, 1984 年 1 月 5 日第三版。
- [2] 张夫道等, 农业环境保护, 2, 14(1984)。
- [3] 美国索莫斯等 (夏荣基译), 农业环境保护, 2, 30 (1984)。

关于软体动物在水质监测中的新近研究

刘 保 元

(中国科学院水生生物研究所)

软体动物是底栖无脊椎动物的一大类, 广泛分布在海洋、江河、湖泊和池塘等水域中。如果水质受到农药、重金属的污染, 必然对其产生各种影响。相对来说, 软体动物个

体较大, 生活周期长, 运动缓慢, 并在食物链中占有重要位置, 是监测水污染的重要生物之一。软体动物在野外容易采集, 室内易于饲养, 并便于观察测量其生长和繁殖情况, 是

一种较好的试验材料。目前,国外较多地使用软体动物进行生物检测和生物积累试验。近几年,国内也做了些初步研究。

一、生物检测

国外较多地使用椎实螺 (*Lymnaea*) 进行毒理学研究。Bluzat 等^[4] (1979) 使用农药西维因、倍硫磷和林丹测定椎实螺的半数致死浓度 (LC_{50}), 24 h 的 LC_{50} 分别是 21.0, 6.4, 7.3 ppm。表明椎实螺有较大的抗药性。用农药对其进行慢性中毒试验观察死亡率, 发现 1 ppm 的西维因对椎实螺有轻度影响。2 ppm 的林丹使螺生长速度从第三个月起明显地减慢。Bluzat 等^[4] 研究了西维因和林丹对静水椎实螺 (*L. stagnalis*) F_1 代幼螺壳生长的影响。4 ppm 的西维因是幼螺的致死量, 但成螺能够耐受, 其壳生长明显地减慢。1—2 ppm 的林丹能抑制壳生长。 F_0 代螺中毒的严重程度直接影响到 F_1 代。这两种农药在壳的矿化中起着复杂的作用。Seuge 等 (1981)^[12] 使用倍硫磷对成螺和幼螺进行慢性中毒试验, 表明 2 ppm 抑制成螺壳生长, 2.15 ppm 使其壳生长不规则; 使幼螺开始生长较缓慢, 以后变快。倍硫磷使雌螺产卵量明显地减少, 在浓度为 2—2.15 ppm 时减少每个螺的卵块数量, 但这种影响与浓度不成比例, 仅推迟产卵时间。超过 2.15 ppm 时使繁殖能力减弱。所以静水椎实螺耐受倍硫磷的最高浓度为 2.15 ppm。

Seuge 等 (1983)^[13] 使用上述三种农药在慢性中毒的情况下研究了静水椎实螺的产卵量和壳生长情况。在西维因 3 ppm, 倍硫磷和林丹 2.2 ppm 以上时, 孵化的幼螺第一个月后全部死亡。农药影响使椎实螺推迟产卵开始的时间, 不同农药的不同浓度, 使其产卵推迟的时间也不同。中毒螺产卵量 (F) 的减少与农药的浓度明显的相关 (见表 1), 可看出每个椎实螺产卵块 (P) 的数量减少, 而每个卵块的卵 (Nm) 平均数量同样明显地减少。

因此中毒螺总的产卵量亦减少。林丹的毒性大约是西维因和倍硫磷的 2 倍, 这种高毒性可能与它在生物介质中的稳定性有关。

表 1 农药对 F_0 螺产卵量的影响*

试验物质	浓度 ppm	螺龄 月	减少率 (%)		
			P	Nm	F
丙酮	1	2.25	—	—	—
	1	2.75	8.2	7.8	15.2
西维因	2	3.5	27.1	(+7)	21.9
	2.5	3.5	39.9	7.9	44.6
倍硫磷	2	3	2.37	13.9	34.1
	2.15	4.25	34.6	0.8	35.1
林丹	1	3	13.3	26.9	32.4
	2	6.5	40.1	53.9	72.4

* P: 每个螺卵块的数量; Nm: 每个卵块的卵数量;
F: 卵的总数/螺的总数。

从中毒螺 (F_0 和 F_1) 的生长和产卵量的变化清楚地看出, 产卵的变化比壳的变化较明显。试验表明三种农药对椎实螺都有一定的毒性作用, 1 ppm 的林丹和 2 ppm 的西维因和倍硫磷将威胁其生命, 再增大农药浓度时将会导致软体动物的消灭。

Misra 等 (1984)^[9] 提出用普通椎实螺 (*L. vulgaris*) 的壳和组织对 ^{45}Ca 摄取的生物静态测试方法, 来研究洗涤剂污染对生态系统的影响。在洗涤剂污染水中普通椎实螺对 ^{45}Ca 的摄取与对照比较, 暴露的活螺壳对 ^{45}Ca 的摄取减少 34.43% ($P > 0.001$); 软体组织减少 37.72% ($P > 0.001$)。在对照和试验组的尸壳中未发现异常。

静水椎实螺活体的壳对于钙离子有很高的亲和力。因钙在新陈代谢和壳形成中的作用, 使钙的摄取具有生理学的重要性。洗涤剂可能抑制碳酸酐酶的活性, 从而影响钙的正常交换, 并降低了壳形成的速度。虽然壳形成机能衰退所包含的生物化学、生理学和病理学变化过程还不十分清楚, 但探索性研究表明洗涤剂具有潜在的水生态毒理学的影响。由此可见, 使用摄取 ^{45}Ca 的方法能够作

为预测生态变化的可靠试验系统。

Harrison 等^[7]报道了铜对淡水宽扁蚬 (*Corbicula manilensis*) 的成体和幼体的毒性。蚬对铜的敏感度决定于它的发育阶段。在不同的发育阶段, 幼体对铜的敏感性显著不同。面盘幼虫和幼蚬 24 h 的 LC_{50} 分别是 28 和 600 ppb。担轮幼虫暴露于 10 ppb 中, 1 h 的死亡率是 91.5%。这说明蚬的早期发育阶段对铜敏感性高, 因担轮幼虫的壳还没有发育完全。增加幼体壳沉积物的数量, 能减少对铜的敏感性。

成体蚬对铜 96 h 的 LC_{50} 大于 2600 ppb, 幼蚬的 LC_{50} 小于 10 ppb, 显然成熟淡水宽扁蚬对铜是不敏感的。Rodgers 等(1980)^[10]发现河蚬 (*C. fluminea*) 对锌的耐受性与铜相同。在静态和流水急性试验中, 他们测定河蚬对铜的敏感性, 96 h 的 LC_{50} 分别为 40 和 490 ppb。

铜对淡水蚬生理效应的资料较少。Martin 等(1971)报道河蚬暴露于 12—50 ppb 铜中的组织病理学变化, 首先发生在消化腺, 然后在鳃和表层上皮细胞。在 125—250 ppb 时, 首先影响鳃, 接着是消化腺。大于 250 ppb 时, 首先影响消化腺, 然后是鳃和表层上皮细胞。

二、生物积累

众所周知, 软体动物能够浓缩重金属、农药等污染物。双壳类能滤过大量的水, 对有毒物质具有很强的浓缩作用。因此, 它们是监测水环境污染的理想动物。国外学者较多地使用海洋贝类研究生物富集, 监测海洋污染。有关淡水贝类富集污染物的资料比较少。Renberg 等(1985)^[11]使用紫贻贝 (*Mytilus edulis*) 作为生物富集试验动物。从生态学和经济学的观点考虑, 紫贻贝是一种既普遍又重要的动物, 它在淡水和海洋中广泛地分布。在实验室即使没有任何食物, 该贝类也能存活相当长的时间(4—6 周), 适合做生物积累的研究。对较长时间的试验则可用单细胞绿藻饲养。

对于生物积累程度的定量分析, 经常使用生物积累系数 (BCF)。BCF 是在生物体中一种特定物质浓度和在稳定状态条件下水中该物质浓度之间的比率。为了得到稳定状态, 通常在含有固定物质浓度的恒流装置中暴露试验动物。例如, 使用甲氧滴滴涕和五氯苯作为试验物质, 用紫贻贝作为试验生物, 试验进行 21 天, 测得紫贻贝对五氯苯和甲氧滴滴涕积累系数分别为 3,900 和 11,500 (见表 2)。

表 2 紫贻贝对甲氧滴滴涕和五氯苯的积累 (恒流试验)

天 数 (d)	甲 氧 滴 滴 涕			五 氯 苯		
	贻贝中浓度 (ppb)	水中浓度 (ppb)	积累系数 (BCF)	贻贝中浓度 (ppb)	水中浓度 (ppb)	积累系数 (BCF)
1	14,900	10.6	1,400	1,620	1.6	1,000
3	37,200	12.0	3,100	3,150	1.7	1,900
4	46,900	7.8	6,000	2,540	1.1	2,300
7	76,700	8.5	9,000	4,550	1.4	3,300
14	96,700	8.6	11,000	4,100	1.3	3,200
21	108,000 ± 14,000	9.1	12,000	5,220 ± 560	1.2	4,300

近十年来, 水生态系统重金属污染是以精确毒理学研究为目标的。由于生物经济学的重要性, 研究对象主要集中在海洋底栖动物。但许多海洋的污染来源于陆地工业排放

废水, 通过河流径流到达海洋沿岸。废水中包括各种污染物, 在到达海岸以前将严重地毒害淡水生态系统。由于污染物对水生生物的影响, 一个迫切的问题是必须研究淡水生

态系统的污染。

双壳类软体动物在它的生境中对高浓度的金属具有明显的耐受性。淡水和海洋的贝类通过其软体组织高度地积累镉、锌、镍、铜、铅和汞。监测水质污染,贝类是被选择的理想对象。根据无齿蚌 (*Anodonta*) 和珠蚌 (*Unio*) 的个体大小、栖息生活及过滤活动,很适合金属动力学、生物学和形态学效应的研究。Hemelrad 等 (1986)^[8] 在室内将淡水无齿蚌 (*A. cygnea*) 暴露于镉溶液中,定期测定整个动物和单独器官积累的镉。当镉浓度为 5ppb 时,积累曲线近似一条直线。在 25ppb 时,整个动物和大部分器官积累的曲线是双相的。在第四周期间镉的积累直线上升;紧接着两周保持不变的水平,然后积累剧烈地增加;第 10 周以后达到饱和状态。在器官之间镉的分布第 8 周后逐渐出现变化,蚌内积累的镉浓度依次为:鳃>触唇>外套膜>外套、肾、整个动物>中肠腺>肠>性腺复合体>足。

使用淡水贝类监测工业污染源已进行过研究。Foster 等 (1978)^[6] 应用河流监测技术评价了电镀废水(铜)对马斯金格姆 (*Musk-ingum*) 河贝类区系的影响。在电镀厂排污口以下不同距离的笼子中暴露方壳贝 (*Quadrula quadrula*), 第 14、30 和 45 天分别测定其含铜量,方壳贝积累的铜与体重成负相关。实验表明电镀厂排污口以下 21km 内存在有害影响。距离排污口 0.1km 笼子内的方壳贝 14 天积累 20.64ppm 的铜,为上游对照站贝类的 10 倍。在下游 5—53km 笼子内方壳贝的含铜量随排污口距离增加而下降。电镀厂废水对马斯金格姆河贝类区系的影响是明显的。在 5km 处引起种群死亡 60%,而在 21 km 处死亡 39%。

河流生物监测用于评价工业废水污染对水环境的影响是很重要的。这些研究通常包括水生生物群落的调查和挂笼生物监测。在时间和空间上,运动较少而生活史较长的种

类对河流监测提供有利条件。它们无能力回避污染物,在栖息地暴露于流出物中的时间较长。如双壳类原地不动地过滤食物,积累了许多污染物,作为食物链的初级贮藏。

软体动物在食物链中占有重要位置,污染物通过它的积累,再转移到食物链位置较高的动物中。Everad 等 (1984)^[5] 研究了铅从初级生产者到初级消费者即从淡水螺到掠食螺者的积累与转移。铅通过不同营养级最后还回到沉积物。在实验室用富集铅的食物饲养螺时,它的消化腺、足和壳对金属均有不同程度的富集作用。铅在奇异椎实螺 (*L. peregra*) 的组织中分布不均匀,一般来说足和消化腺含铅比壳分别多 2—4 倍和 3—10 倍。可以看出在组成壳的物质中沉积的铅不能转移,但是软体组织能释放铅。当螺被转移到无铅的水环境中,铅可重新转移和排出,螺的含铅总量减少到接近本底水平。水生腹足类刮食周丛生物 (*Aufwuchs*) 的生活能力较强,并从污染生境积累铅。在乌尔斯河 (*Ullswater*) 中,螺是鲑鱼和鳗鲡的主要食物。螺在初级生产者和掠食螺之间的食物链中构成一个重要环节。用淡水螺研究生物对铅的摄取和释放与螺在食物链中的位置有关。

三、国内生物监测

1975 年我们在鸭儿湖农药污染生物调查中,测得圆蚌 (*A. pacifica*) 和铜锈环稜螺 (*Bellamya aeruginosa*) 积累六六六分别为 9.01ppm 和 4.29ppm。为了探讨软体动物对六六六的积累量和速度,初步做了铜锈环稜螺富集六六六的试验。第 7 天积累量达到 8.08ppm,第 14 天下降到 5.86ppm。最近用浮选磷矿尾水对铜锈环稜螺做慢性中毒试验。试验进行五个月,发现含尾矿废水 12.5% 以上各处理组,所产仔螺的数量比对照组减少 7—36%,而仔螺壳高和壳宽也明显地变小。另一方面,仔螺数量随着母螺中毒时间的延长相应地减少,壳高和壳宽亦变小。表明

中毒母螺繁殖能力降低。

谭燕翔^[3] (1982)曾在海河口海区研究毛蚶 (*Arca subcrenata*) 对汞的积累规律,测得软体组织对汞的积累系数为 $1.3 \times 10^3 - 3.2 \times 10^3$ 。软体组织中的含汞量随外界环境汞浓度的变化而相应地变化,能反映汞污染的时空变化趋势。用毛蚶作为汞污染的指示生物具有一定的实用价值^[3]。黄玉瑶等(1979)报道了用河蚬监测蓟运河汞污染的初步研究。在下游河段的不同断面采集河蚬,发现河蚬个体数量分布与水质污染有一定的关系。测定软体组织和底泥的含汞量,两者之间存在一定的回归关系^[2]。任淑智(1984)以河蚬为试验材料对蓟运河的六六六污染进行了研究。室内试验测得的结果与野外调查所得到的地段差异是一致的,即污染严重的地方软体组织的六六六含量高。河蚬对河水中六六六的积累系数为 $3.7 \times 10^2 - 1.7 \times 10^3$ 。在软体组织和河水中的六六六含量之间存在一定的回归关系。由于河蚬数量丰富,分布广泛,其个体数量也能大体反映污染的变化趋势,所以河蚬是蓟运河河口污染的指示生物之一^[1]。

综上所述,软体动物在食物链中占重要位置,它能较多地积累农药、重金属等污染

物,特别是幼体对污染物比较敏感。所以从生态学和经济学的观点考虑,在流水条件下进行急性和慢性中毒试验,结合野外生态调查,监测水质污染,制定水质标准,淡水软体动物的幼体是较理想的动物之一。上述还说明用软体动物监测江河、湖泊等水域污染是可行的生物学监测方法。

参 考 文 献

- [1] 任淑智, 环境科学, 5(3), 4(1984).
- [2] 黄玉瑶等, 环境科学, (6), 47(1979).
- [3] 谭燕翔等, 环境科学, 3(1), 21(1982).
- [4] Bluzat, R. et al., *Hydrobiologia*, 65(3), 245(1979).
- [5] Everard, M. et al., *Environmental Pollution*, 35(4), 299(1984).
- [6] Foster, R. B. et al., *Environ. Sci. Technol.*, 12(8), 958(1978).
- [7] Harrison, F. L. et al., *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 13(1), 85(1984).
- [8] Hemelraad, J. et al., *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 15(1), 9(1986).
- [9] Misra, V. et al., *Ecotoxicol. Environ. Safety*, 8(1), 97(1984).
- [10] Rodgers, J. H. Jr. et al., *Aquatic Toxicology ASTM STP 707*, 266(1980).
- [11] Renberg, L. et al., *Ecotoxicol. Environ. Safety*, 9(2), 171(1985).
- [12] Seuge, J. et al., *Hydrobiologia*, 76(3), 241(1981).
- [13] Seuge, J. et al., *Hydrobiologia*, 106(1), 65(1983).

(上接第40页)相关。Clarkson 报道生活在 White Dog 和 Grassy Narrows 附近印第安人和白种人,发总汞与血总汞含量比值为 300:1, Phelps, Kerrshaw 报道北美洲食用甲基汞污染鱼人群,发中总汞与血中总汞和发中有机汞与血中有机汞比值为 200—300:1^[7,8],这些报道与本研究结果相一致。

第二松花江 5 名临床重点追踪观察渔民,其发、血汞含量已接近或超过日本新潟水俣病发病的最低发、血汞值^[9]。结合国内报道第二松花江汞污染对人体健康影响的临床、病理和毒理学研究资料^[1,2,10],我们认为第二松花江部分渔民属于慢性甲基汞中毒。

参 考 文 献

- [1] 包礼平等, 环境科学, 3(1), 42(1982).
- [2] 裴腹茹等, 中国环境科学, 2(1), 72(1982).
- [3] Nord, P. T. et al., *Arch. Environ. Health*, 27(1), 40(1973).
- [4] 姜照罗等, 吉林医科大学学报, 1(1), 74(1975).
- [5] Bergland, F. et al., *Nord. Hgy.*, 4(3), 364(1971).
- [6] Harrada, M. et al., *Bull. Inst. Constit. Med.*, 26(3,4), 169(1976).
- [7] Phelps, R. W. et al., *Arch. Environ. Health*, 35(2), 161(1980).
- [8] Kerrshaw, T. G. et al., *Arch. Environ. Health*, 35(1), 28(1980).
- [9] 喜田村正次, 神経研究の進歩, 18(5), 825(1974).
- [10] 李志超等, 中国环境科学, 2(2), 53(1982).