

海水中四种重金属对蒙古裸腹溞的毒性*

安育新 何志辉

(大连水产学院, 116023)

提 要 本文反映了 Hg^{2+} 、 Cu^{2+} 、 Cd^{2+} 、 $Cr(6)$ 对蒙古裸腹溞(*Moina mongolica* Daday)的存活、生长、生殖及内禀增长率(r_m)毒性的研究工作。得出这四种重金属对该溞的48hr LC_{50} 分别为0.00334、0.0888、3.89、4.24mg/l。文中还反映了这四种重金属的不同混合方式对蒙古裸腹溞生长、生殖和内禀增长率的毒性。两种金属混合后的毒性加强(Hg/Cu除外);三种和四种金属的混合毒性低于两金属的混合毒性。

关键词 重金属,蒙古裸腹溞,毒性

枝角类对毒物特别是对重金属要比鱼类等水生动物敏感得多。它们还具有生活史短、室内易于培养、取材方便、试验容器小便于操作等优势,因而在淡水毒性试验中经常被用作受试生物。但是海水枝角类不易采集和培养,海水毒性试验大多使用生活史较长的桡足类、等足类或其它海洋生物。

蒙古裸腹溞(*Moina mongolica* Daday)是采自内陆盐水的一种枝角类,已成功地驯养于海水中生长和繁殖。这不仅可以为海水养殖提供一种新的活饵料,还可以为海水毒性试验提供一种新的受试生物。基于此,我们进行了海水中汞、铜、镉和铬四种金属离子对蒙古裸腹溞的毒性试验。

材 料 和 方 法

试验主要按美国《水和废水标准检验法》(美国公共卫生协会等,1985)中有关规定进行。试验水温控制在 $25 \pm 2^\circ C$ 。

1. 受试生物 在试验前对蒙古裸腹溞进行纯系培养五代,其间投喂海水小球藻(*chlorella*),试验选用 24 ± 12 小时龄的雌性幼溞,共计1000个。

2. 药品 氯化汞($HgCl_2$)、硫酸铜($CuSO_4 \cdot 5H_2O$)、氯化镉($CdCl_2 \cdot 2.5H_2O$)、重铬酸钾($K_2Cr_2O_7$)均为分析纯试剂。用去离子水配成母液后备用。

3. 稀释水 采自大连市黑石礁海区,经 $0.45\mu m$ 滤膜过滤后使用。黑石礁海区海水的 Hg^{2+} 、 Cu^{2+} 、 Cd^{2+} 的背景浓度分别为0.004ppb、1.20ppb、0.50ppb,碱度为 $2.40 \pm 0.05 meq/l$,盐度为31.7‰,pH值为7.85。

4. 急性毒性试验 用125毫升广口瓶,配好四种金属不同浓度梯度(等对数浓度)的试验液,每一浓度设两个平行组,并设对照组。每瓶内放雌性幼溞10个,内盛有100ml的试验液。每种金属的试验

* 这项研究工作是第一作者(现在工作单位为辽宁省海洋水产研究所)在本院时完成的;国家自然科学基金资助项目38970589号。

收稿年月:1991年4月;同年7月修改。

重复3次以上。试验期间不投饵,观察48小时,以蚤的心脏停止跳动为死亡标准。

5. 慢性毒性试验 试验进行七天。首先进行单一金属对蒙古裸腹蚤生长、生殖的毒性,用20ml折管瓶,内盛10ml试验液,放♀幼蚤一个,并设对照组,试验前测幼蚤的初始体长,试验期间投喂小球藻的密度控制在50万个/毫升左右,每隔一天换试验液一次,在蚤成熟怀幼前每天测量体长,成熟后记录蚤的产幼时间、每胎产幼数及两次产幼间隔的时间,然后进行四种金属的不同混合方式对蒙古裸腹蚤的生长、生殖的毒性。两种金属的混合形式有 Hg/Cu, Hg/Cd, Hg/Cr, Cu/Cd, Cu/Cr, Cd/Cr。三种金属的混合形式有 Hg/Cu/Cd; Hg/Cu/Cr; Hg/Cd/Cr; Cu/Cd/Cr 以及四种金属的混合 Hg/Cu/Cd/Cr。每种金属在混合液中存在的浓度为各自的 $1/2(48hrLC_{50})$ 。试验材料及方法、死亡标准均同单一金属的毒性试验。

6. 数据处理 对于急性毒性试验的数据,按浓度对数—死亡概率法计算出各种金属的 $24hrLC_{50}$ 和 $48hrLC_{50}$ 及各自的95%置信区间;生长以试验蚤的体长增长率(LR_i)为指标,令 $LR_i = \frac{l_i - l_0}{l_0} \times 100\%$,式中, LR_i 为体长增长率(%), l_0 为初始体长(μm), i 为试验天数, l_i 为试验期间每天的体长(μm)。生殖以产幼前发育期、每胎产幼数、产幼间隔为指标。内禀增长率(r_m)按公式 $\sum_0^7 e^{-r_m \cdot t} m_x = 1$ 计算。对于生长、生殖各指标的数据与对照组相应数据进行 $t_{0.05}$ 显著性检验。

结果和讨论

(一) 急性毒性试验

蒙古裸腹蚤在 Hg、Cu、Cd、Cr 四种金属的不同浓度下的死亡率见表1。对表1的数

表1 四种重金属不同浓度下蒙古裸腹蚤的死亡率

Table 1 The mortality rate of *M. mongolica* on different concentrations of heavy metals

金属名称	试验时间(小时)	浓度(mg/l)					
		死亡率(%)					
Hg ²⁺	24	$\frac{0.0012}{0}$	$\frac{0.0019}{5.10}$	$\frac{0.0030}{10.33}$	$\frac{0.0047}{25.00}$	$\frac{0.0074}{90.22}$	$\frac{0.0117}{100.00}$
	48	$\frac{0.0012}{0}$	$\frac{0.0019}{10.30}$	$\frac{0.0030}{20.50}$	$\frac{0.0047}{80.15}$	$\frac{0.0074}{100.00}$	
Cu ²⁺	24	$\frac{0.0631}{0}$	$\frac{0.0794}{20.13}$	$\frac{0.1000}{45.25}$	$\frac{0.1259}{75.18}$	$\frac{0.1585}{90.00}$	$\frac{0.1995}{100.00}$
	48	$\frac{0.0631}{0}$	$\frac{0.0794}{25.74}$	$\frac{0.1000}{65.00}$	$\frac{0.1259}{90.50}$	$\frac{0.1585}{100.00}$	
Cd ²⁺	24	$\frac{1.970}{0}$	$\frac{3.110}{10.66}$	$\frac{4.920}{25.18}$	$\frac{7.800}{65.27}$	$\frac{12.36}{100.00}$	
	48	$\frac{1.970}{10.00}$	$\frac{3.110}{30.32}$	$\frac{4.920}{70.46}$	$\frac{7.800}{95.50}$	$\frac{12.36}{100.00}$	
Cr(6)	24	$\frac{1.600}{0}$	$\frac{2.510}{5.15}$	$\frac{4.000}{10.00}$	$\frac{6.310}{25.13}$	$\frac{10.00}{90.50}$	$\frac{12.58}{100.00}$
	48	$\frac{1.600}{0}$	$\frac{2.510}{10.40}$	$\frac{4.000}{30.14}$	$\frac{6.310}{90.00}$	$\frac{10.00}{100.00}$	

据进行处理后列于表 2, 从中可见这四种重金属对蒙古裸腹蚤的毒性顺序为 $Hg^{2+} > Cu^{2+} > Cd^{2+} > Cr(6)$ 。

表 2 对蒙古裸腹蚤的急性毒性试验结果

Table 2 Results of the acute toxicity to *M. mongolica*

金 属	24hr LC ₅₀ (95%置信限)	48hr LC ₅₀ (95%置信限)	回归方程 $y = ax + b$	相关系数 (r)	样本数 (n)
Hg ²⁺	0.00462	0.00334	$y_{24} = 4.188x + 2.218$	0.9530	6
	(0.0035~0.0061)	(0.0020~0.0056)	$y_{48} = 5.044x + 2.335$	0.9770	5
Cu ²⁺	0.1034	0.0888	$y_{24} = 7.160x - 9.428$	0.9990	4
	(0.0953~0.1130)	(0.0815~0.0937)	$y_{48} = 8.520x - 11.60$	0.9990	4
Cd ²⁺	6.520	3.890	$y_{24} = 4.136x + 1.633$	0.9870	4
	(4.620~9.200)	(2.820~5.370)	$y_{48} = 4.420x + 2.392$	0.9980	4
Cr(6)	6.620	4.240	$y_{24} = 4.717x + 1.128$	0.9270	4
	(5.170~8.470)	(3.080~5.840)	$y_{48} = 6.341x + 1.025$	0.9710	4

由表 3 可见, 蒙古裸腹蚤对汞的急性毒性的敏感性与淡水枝角类大型蚤、蚤状蚤、僧帽蚤相近, 而高于海洋桡足类有刺美丽猛水蚤; 蒙古裸腹蚤对铜的急性毒性的敏感程度不如大型蚤、蚤状蚤、僧帽蚤、棘爪网纹蚤、老年低额蚤这几种淡水枝角类, 但其敏感性要高于海洋桡足类小拟哲水蚤、单纯纺锤水蚤等(见表 3); 蒙古裸腹蚤对镉的急性毒性的敏感性要远远低于某些淡水枝角类和海洋桡足类, 虽然蒙古裸腹蚤对铬(6)的急性毒性的敏感性不如某些淡水枝角类, 却高于海洋桡足类一种底栖猛水蚤(*Tisbe holothuriae*)。由蒙古裸腹蚤的敏感性及其在取材、培养等方面的优势, 在 Hg^{2+} 、 Cu^{2+} 、 $Cr(6)$ 的毒性试验或海洋污染检测中可以用蒙古裸腹蚤替代某些海洋桡足类。

表 3 四种重金属对某些淡水枝角类和海洋桡足类的 LC₅₀Table 3 LC₅₀ of these metals to some freshwater cladoceran and marine copepod

受 试 生 物	金属名称	试验时间 (小时)	LC ₅₀	资 料 来 源
大型蚤(<i>Daphnia magna</i>)	Hg ²⁺	48	0.0050	Biesinger 等(1972)
	Cu ²⁺	72	0.0865	Winner 等(1976)
	Cd ²⁺	48	0.065	Biesinger 等(1972)
	Cr(6)	48	0.022	Mount 等(1984)
蚤状蚤(<i>D. pulex</i>)	Hg ²⁺	48	0.0030	Catton 等(1978)
	Cu ²⁺	72	0.070	Winner 等(1976)
	Cd ²⁺	48	0.145	Catton 等(1978)
	Cr(6)	48	0.048	Mount 等(1984)
僧帽蚤(<i>D. cucullata</i>)	Hg ²⁺	48	0.0032	Catton 等(1978)
	Cu ²⁺	48	0.2000	

续表 3

受 试 生 物	金属名称	试验时间 (小时)	LC ₅₀	资 料 来 源
蕨爪网纹蚤(<i>Ceriodaphnia reticulata</i>)	Cu ²⁺	48	0.017	Mount 等(1984)
	Cd ²⁺	48	0.066	
	Cr(6)	48	0.045	
老年低额蚤(<i>Simocephalus vetulus</i>)	Cu ²⁺	48	0.057	
	Cd ²⁺	48	0.066	
	Cr(6)	48	0.050	
蒙古裸腹蚤(<i>Moina mongolica</i>)	Hg ²⁺	24	0.00462	本项研究
		48	0.00334	
	Cu ²⁺	24	0.103	
		48	0.0888	
	Cd ²⁺	24	6.52	
		48	3.89	
	Cr(6)	24	6.62	
		48	4.24	
有刺美丽猛水蚤(<i>Nitocra spinipes</i>)	Hg ²⁺	96	0.230	Bengtsson (1978)
小拟哲水蚤(<i>Paracalanus parvus</i>)	Cu ²⁺	24	0.190	Arnot 等(1979)
单纯纺锤水蚤(<i>Arcalia simplex</i>)	Cu ²⁺	24	0.200	Reeve 等(1977)
寡毛纺锤水蚤(<i>A. tonsa</i>)	Cu ²⁺	24	0.104— 0.311	
亮石唇角水蚤(<i>Labidocera scotti</i>)	Cu ²⁺	24	0.192	
太平洋长腹水蚤(<i>Metridia pacific</i>)	Cu ²⁺	24	0.176	
海洋真刺水蚤(<i>Euchaeta marina</i>)	Cu ²⁺	24	0.188	
胶刺纺锤水蚤(<i>A. spinicauda</i>)	Cd ²⁺	48	0.05	
钳状歪水蚤(<i>Tortanus forcipatus</i>)	Cd ²⁺	48	0.13	
猛水蚤(<i>Tisbe holothuriae</i>)	Cr(6)	48	8.14	Apostolopoulou 等(1982)
	Cr(6)	48	14.18	Verriopoulos 等(1988)

本文中蒙古裸腹蚤对某些重金属的敏感性较淡水枝角类低的原因应与试验用水有一定的关系。崔可铎等(1987)认为,同一种金属离子在不同水质中的毒性顺序为:无离子水 > 淡水 > 半咸水 > 海水,随着水中离子强度的增加,金属可能被水中的某些配位体所络合或螯合从而影响毒性。William 等(1978)、Bengtsson (1978) 均发现海水中可以形成络离子的氯复合物; Ginter(1980) 在研究六价铬对大型蚤的毒性时发现碱度和钙镁比值会影响铬对受试生物的毒性。

(二) 慢性毒性试验

1. 单一金属对蒙古裸腹蚤生长、生殖的毒性

从表 4 中可见, 蒙古裸腹蚤对汞最敏感的指标是内禀增长率(r_m), 当汞浓度 $\leq 1.20\mu\text{g/l}$ 时 r_m 即与对照组有明显的差别。第 2 至 4 天的体长增长率(LR_2, LR_3, LR_4) 在 $\geq 1.90\mu\text{g/l}$ 的汞浓度下和对照组有明显的差异。当汞浓度达到 $7.39\mu\text{g/l}$ 时, 产幼前发育期和每胎产幼数才与对照出现显著差异, 这说明成蚤对汞毒性的耐受力强于幼蚤。蒙古裸腹蚤的产幼间隔几乎不受汞浓度的影响; 铜浓度 $\geq 39.81\mu\text{g/l}$ 时, 蚤第 2 到 4 天的体长增长率与该蚤的产幼前发育期和对照组的差异明显。该蚤第一天的体长增长率(LR_1)、每胎产幼数和产幼间隔在铜的几种浓度下和对照组没有明显的差别。当铜浓度为 $25.12\mu\text{g/l}$ 时蚤的 r_m 值反而稍高于对照组, 显示低浓度铜对生殖有刺激作用; 当镉浓度 $\leq 1.97\text{mg/l}$ 时, r_m 值即开始同对照出现明显的不同。镉浓度 $\geq 3.11\text{mg/l}$ 时, 蒙古裸腹蚤在第 2 至 4 天的体长增长率及每胎产幼数与对照组的差异明显, 而蚤的第一天增长率(LR_1) 在镉浓度 $\geq 4.92\text{mg/l}$ 时才出现差异, 而产幼间隔在能够繁殖的浓度下几乎不受影响; 当铬(6)浓度 $\leq 1.60\text{mg/l}$ 时, r_m 与对照的差异明显, 铬(6)浓度 $\geq 2.50\text{mg/l}$ 时, 蚤第四天的体长增长率下降明显。蚤第一天的体长增长在铬的几种浓度下同对照组的差异均不显著。在生殖指标中, 仅每胎产幼数在 2.50mg/l 浓度下与对照有明显差别, 其它指标的差异不显著。

由上述试验结果可见, 作为蒙古裸腹蚤慢性中毒的敏感指标是 r_m 值和幼蚤在第 2 至 4 天的体长增长率。这种蚤的生活史短, 仅需一周的肉眼观察即可得出 r_m 值; 测定生长所需的时间更短(2~4 天), 因此这两项指标有很大的实用价值。

在汞、铜、铬这三种金属的试验中, 蒙古裸腹蚤幼蚤在第一天的体长增长与对照的差异均不显著, 这可能由于重金属的毒性往往是累积的。而镉试验中高浓度时蚤第一天的生长与对照有差异可能由于蚤对镉的累积较快。

在四种单一金属对蒙古裸腹蚤生殖的毒性指标中, 产幼间隔和对照的差异均不明显。Bertram 等(1979)在研究镉对蚤状蚤的寿命和繁殖的影响时发现, 蚤状蚤的生殖间隔在试验浓度内不受镉的影响。看来枝角类的固有生殖频率不易受到重金属的干扰。

庄德辉等(1984)得到, $1\sim 2\mu\text{g/l}$ 的汞长时间作用下对大型蚤的生殖有影响, Biesinger 等(1982)发现, 21 天内使大型蚤的生殖受到影响的无机汞浓度为 $1.82\mu\text{g/l}$ 。这些结果与本文中蒙古裸腹蚤生殖对汞的敏感指标的参数($1.20\sim 1.90\mu\text{g/l}$) 非常接近, 再次表明该蚤对海水中汞的敏感性与淡水枝角类相近; Жазарева(1985)发现, $5\sim 20\mu\text{g/l}$ 的铜浓度就抑制大型蚤的生殖力。Apostolopoulou 等(1979)观察到, 海水中铜浓度在 $1\sim 10\mu\text{g/l}$ 之间, 克劳氏纺锤水蚤(*A. clausi*)的寿命和生殖均呈下降的趋势, $10\mu\text{g/l}$ 铜时则没有卵子产生, 和这些结果相比, 蒙古裸腹蚤生殖指标的敏感性稍差。

2. 混合重金属对蒙古裸腹蚤生长生殖的毒性

(1) 两种金属混合后的毒性 从表 5 中可见, 除 Hg/Cu 组合对蒙古裸腹蚤后期的

表 4 四种重金属对蒙古裸腹蚤生长、生殖的毒性
Table 4 Toxicity of these four metals to the growth and reproduction of *M. mongolica*

金属 结果 指标	Hg ⁺⁺ 浓度 (µg/l)					Cu ⁺⁺ 浓度 (µg/l)					
	0.00	1.20	1.90	3.00	4.70	7.39	0.00	25.12	39.81	63.10	100.00
LR ₅₀ (%)	23.26 ± 4.39 (10)	20.43 ± 3.55 (10)	18.62 ± 2.70 (10)	26.70 ± 4.21 (10)	25.85 ± 2.91 (10)	19.55 ± 2.81 (8)	23.49 ± 3.90 (10)	18.41 ± 0.86 (10)	18.08 ± 3.31 (8)	20.10 ± 2.73 (9)	17.54 ± 2.53 (8)
显著性	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LR ₁₀ (%)	52.71 ± 3.26 (10)	53.98 ± 4.20 (10)	44.81 ± 3.19 (10)	42.48 ± 2.49 (10)	43.24 ± 6.29 (10)	42.40 ± 3.58 (8)	54.92 ± 5.35 (10)	52.15 ± 4.24 (10)	39.59 ± 3.71 (8)	40.54 ± 2.73 (8)	-
显著性	-	-	+	+	+	+	-	-	+	+	-
LR ₅₀ (%)	63.81 ± 3.27 (10)	62.87 ± 5.55 (10)	59.73 ± 3.75 (10)	49.01 ± 1.75 (10)	59.73 ± 5.87 (9)	46.50 ± 5.06 (8)	70.96 ± 2.47 (10)	69.14 ± 2.00 (10)	68.06 ± 3.56 (7)	64.59 ± 1.61 (6)	-
显著性	-	-	+	+	+	+	-	-	+	+	-
LR ₁₀ (%)	70.83 ± 3.74 (10)	71.53 ± 4.43 (10)	58.39 ± 4.25 (9)	54.73 ± 2.17 (9)	60.76 ± 3.56 (9)	59.16 ± 5.97 (8)	75.38 ± 3.55 (10)	76.47 ± 2.96 (10)	70.06 ± 3.67 (7)	68.47 ± 2.18 (6)	-
显著性	-	-	+	+	+	+	-	-	+	+	-
产幼前发育 期(天)	3.75 ± 0.49 (10)	4.02 ± 0.21 (9)	3.98 ± 0.40 (8)	4.02 ± 0.54 (9)	4.04 ± 0.01 (6)	4.89 ± 0.46 (6)	3.50 ± 0.26 (10)	4.08 ± 0.23 (9)	4.57 ± 0.43 (7)	4.46 ± 0.32 (6)	-
显著性	-	-	-	-	-	+	-	-	+	+	-
每胎产幼数 (个)	5.65 ± 2.97 (8)	5.70 ± 1.96 (8)	5.87 ± 1.63 (7)	5.00 ± 1.63 (6)	4.71 ± 3.16 (5)	4.23 ± 1.69 (6)	5.95 ± 1.49 (10)	6.11 ± 1.57 (9)	5.32 ± 1.50 (7)	5.60 ± 1.19 (6)	-
显著性	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
产幼间隔 (天)	1.88 ± 0.02 (6)	2.00 ± 0.00 (6)	2.00 ± 0.03 (4)	2.00 ± 0.07 (4)	2.13 ± 0.12 (3)	2.17 ± 0.13 (8)	2.06 ± 0.13 (7)	2.25 ± 0.14 (7)	2.18 ± 0.13 (5)	2.08 ± 0.10 (5)	-
显著性	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
内禀增长率 (个/天)	0.3477	0.3274	0.3323	0.2966	0.2919	0.2834	0.3665	0.3987	0.3313	0.3083	-

金属 指标	Cd ²⁺ 浓度 (mg/l)					Cr(6) 浓度 (mg/l)						
	0.00	1.97	3.11	4.92	7.80	12.36	0.00	1.60	2.50	4.00	6.31	10.00
LR ₁ (%)	20.41±1.13 (10)	20.19±2.32 (10)	18.02±1.89 (10)	16.82±1.71 (10)	15.22±2.71 (10)	1.00±0.71 (4)	15.14±4.96 (10)	19.88±1.29 (8)	15.17±2.39 (8)	15.70±2.64 (8)	14.91±1.15 (7)	11.75±1.00 (6)
显著性		-	-	+	+	+		-	-	-	-	-
LR ₂ (%)	46.62±2.52 (10)	41.88±1.18 (10)	38.43±3.08 (10)	36.10±4.09 (10)	33.26±2.89 (10)		39.30±4.08 (10)	40.12±3.69 (7)	33.93±3.95 (7)	30.78±4.30 (7)	31.56±4.62 (3)	
显著性		-	+	+	+			-	-	+	+	
LR ₃ (%)	72.51±3.29 (10)	68.21±3.10 (10)	59.97±1.30 (8)	54.87±3.07 (9)	39.32±1.21 (8)		65.44±3.72 (8)	68.81±3.18 (6)	59.50±4.00 (6)	46.16±4.67 (5)		
显著性		-	+	+	+			-	-	+		
LR ₄ (%)	75.86±3.32 (9)	76.41±5.88 (10)	61.29±1.04 (7)	59.02±6.03 (8)	59.02±4.47 (7)		75.20±3.14 (8)	71.33±3.23 (6)	63.49±3.03 (5)	57.28±4.08 (5)		
显著性		-	+	+	+			-	+	+		
产幼期(天)	4.06±0.30 (8)	4.08±0.28 (8)	4.12±0.12 (6)	4.28±0.16 (8)	4.83±0.10 (5)		3.97±0.61 (8)	4.12±0.43 (6)	4.13±0.97 (6)			
显著性		-	-	+	+			-	-			
每胎产幼数(个)	5.38±1.45 (8)	5.26±1.33 (8)	4.67±0.82 (6)	4.67±0.74 (6)	4.33±0.82 (5)		6.63±0.92 (8)	6.40±0.90 (6)	4.50±2.08 (5)			
显著性		-	+	+	+			-	+			
产幼间隔(天)	2.02±0.17 (5)	2.07±0.14 (5)	2.16±0.32 (3)	2.10±0.39 (3)	2.14±0.23 (3)		2.07±0.10 (6)	2.13±0.09 (5)	2.12±0.21 (4)			
显著性		-	-	-	-			-	-			
内隐增长率(个/天)	0.3905	0.3068	0.2813	0.2175	0.1995		0.2921	0.2860	0.1560			

注: (1)括号内的数字为样本数, "±x"为标准差, 以后各表同。(2)空格因溲死亡未得到数据。(3)蒙古裸腹溲幼溲在 Pb²⁺ 浓度 11.70μg/l, Cu²⁺ 浓度 125.89μg/l, Cd²⁺ 浓度 19.56mg/l, Cr(6) 浓度 15.85mg/l 时试验第一天内就全部死亡, 故未列出。

表5 混合重金属对蒙古裸腹蚤生长生殖的影响
 Table 5 Effects of the combined toxicity of these metals to the growth and reproduction of *M. mongolica*

组别	对照	Hg/Cu	Hg/Cd	Hg/Cr	Cu/Cd	Cu/Cr	Cd/Cr	Hg/Cu/Cd	Hg/Cu/Cr	Hg/Cd/Cr	Cu/Cd/Cr	Hg/Cu/Cd/Cr
结果合												
指标												
LR ₅₀ (%)	19.75±2.87 (10)	12.37±3.58 (9)	7.82±2.11 (10)	7.10±2.18 (10)	10.91±3.07 (10)	8.97±2.22 (10)	1.06±0.58 (9)	19.95±1.20 (10)	17.96±1.57 (10)	16.95±0.66 (9)		
显著性		+	+	+	+	+	+++	-	-	-	-	+
LR ₁₀ (%)	48.86±1.97 (10)	26.41±5.80 (8)	16.20±2.60 (10)	14.94±2.65 (8)	18.00±5.70 (9)	20.43±3.61 (9)	12.53±0.56 (9)	40.79±2.85 (9)	36.74±2.08 (10)	22.25±2.76 (9)		
显著性		+	++	++	++	++	+++	-	+	-	+	++
LR ₁ (%)	71.03±2.50 (9)	53.45±5.31 (7)	28.33±3.01 (7)	35.38±5.94 (6)	36.30±5.06 (6)	42.04±3.61 (9)	15.87±0.56 (8)	59.31±4.29 (8)	67.54±3.98 (8)	51.70±2.08 (10)		
显著性		+	++	++	++	++	+++	-	+	-	+	+
LR ₀ (%)	73.69±2.54 (9)	67.90±5.64 (7)	49.63±5.74 (7)	51.02±3.76 (6)	56.80±5.74 (6)	54.75±7.28 (9)	21.21±1.50 (7)	64.33±0.89 (9)	82.30±3.00 (8)	73.75±1.43 (8)	59.81±2.99 (8)	69.79±2.55 (9)
显著性		-	++	++	++	++	+++	+	+	-	+	+
产幼前发育期(天)	3.87±0.29 (8)	3.43±0.44 (5)	4.63±0.40 (4)	4.28±0.68 (7)	4.95±0.57 (4)	4.68±0.37 (6)	10.67 (1)	3.95±0.34 (7)	4.16±0.15 (7)	4.21±0.35 (7)	4.88±0.27 (7)	0
显著性		-	+	-	-	+	++	-	-	-	+	0
每胎产幼数(个)	6.00±1.17 (8)	5.50±1.64 (5)	5.67±1.30 (3)	5.20±0.58 (5)	5.57±1.00 (4)	4.50±0.53 (4)	1.00 (1)	4.86±0.76 (7)	4.29±1.57 (6)	7.14±1.94 (7)	3.72±1.38 (6)	0
显著性		-	-	-	-	+	+	-	+	-	+	0
产幼间隔(天)	2.00±0.09 (8)	2.00±0.01 (8)	2.03±0.53 (3)		3.00±0.01 (2)	2.62±0.02 (3)		2.27±0.04 (5)	2.63±0.31 (5)	2.00±0.01 (4)	2.92±0.11 (4)	0
显著性		-	-		+	+		+	+	-	+	0
产幼增长率(个/天)	0.3069	0.2364	0.2009	0.2328	0.1534	0.2411	0.000	0.2600	0.2409	0.3250	0.2379	0

注: (1)“0”试验未做,无数据;空格是因蚤死亡未得到数据。(2) $P < 0.05$ 时为“+”; $0.025 < P < 0.05$ 时为“++”; $P < 0.025$ 时为“+++”。

生长已无显著影响外,其余各组两种金属组合对生长的毒性大大加强,特别是 Cd/Cr 组合,不仅严重抑制了试验蚤的生长而且阻碍了蚤的生殖。Cu/Cd、Cu/Cr 两种组合对试验蚤生殖指标的影响也比较明显。而 Hg/Cu 组合对试验蚤的生殖影响不显著, r_m 值和对照的差异很小,这说明汞和铜之间有拮抗作用。Moulder(1980)发现,亚致死水平的 Cu^{2+} 存在时能保护杜邦钩虾(*Gammarus duebeni*)免受 Hg^{2+} 的毒害;周永欣等(1981)得出,汞和铜混合后对食蚊鱼的急性毒性明显下降,两作者的结果与本研究一致。很多作者都发现过两种金属混合后的毒性有加和现象。Apostolopoulou 等(1979)在研究 Cu^{2+} 、 Cd^{2+} 和 Cr(6)对猛水蚤(*Tisbe holothuriae*)的单独及混合毒性时发现,任何一组两金属混合物的毒性均明显加强,尤其是镉和铬组合的毒性最强,与本文结论(Hg/Cu 除外)一致。

(2) 三和四种金属混合后的毒性 由表 5 可见, Hg/Cd/Cr 组合对蒙古裸腹蚤的生长、生殖影响均不显著, r_m 值甚至稍高于对照组,说明这三种金属之间也有拮抗作用。四种金属混合后对试验蚤生长的影响较对照组均很显著。

(3) 两种金属混合后的毒性 在两种金属的混合液中蒙古裸腹蚤的体长增长率普遍低于三种和四种金属混合液中的增长率(Hg/Cu 组合除外),说明多种金属混合后的毒性通常低于两种金属的混合液。Apostolopoulou 等(1979)发现 Cu^{2+} 、 Cd^{2+} 、Cr(6)混合后的毒性小于两种金属的混合物,与本文结论相近。

简短的结语

1. 蒙古裸腹蚤对汞的敏感性与淡水枝角类相近,高于某些海洋桡足类;对铜的敏感性虽然低于淡水枝角类但高于多数的海洋桡足类;对镉的敏感性很差;而该蚤对 Cr(6)的敏感性低于淡水枝角类却高于某些海洋桡足类。

2. 蒙古裸腹蚤对海水中四种重金属的敏感指标是内禀增长率(r_m)和幼蚤的生长率。这两项指标仅需几天的观察即可获得,有很大的实用价值。

3. 两种金属混合后的毒性强于多种金属的混合毒性(Hg/Cu 组合除外)。Hg/Cu、Hg/Cd/Cr 两种组合的毒性减弱,有拮抗作用。

参 考 文 献

- 庄德辉等,1984. 氯化高汞对大型蚤的慢性毒性. 水生生物学集刊,8(4):259—268.
- 杨树勤主编,1987. 卫生统计学(第二版),26—40. 人民卫生出版社(京).
- 周永欣等,1981. 汞—铜、六六六—对硫磷对食蚊鱼的急性中毒. 中国环境科学,(4):38—42.
- 美国公共卫生协会等(宋仁元等译),1985. 水和废水标准检验法(第十四版),566—690. 中国建筑工业出版社.
- 崔可峰等,1987. 汞等六种重金属对鱼卵的孵化和仔鱼成活的影响. 海洋与湖泊,18(2):138—144.
- Apostolopoulou, M. M. & G., Verriopoulos. 1979. Some effects of sublethal concentrations of copper to a marine copepod. *Mar. Pollut. Bull.*, 9: 278—280.
- Apostolopoulou, M. M. & G., Verriopoulos, 1982. Individual and combined toxicity of three heavy metals, Cu, Cd and Cr for marine copepod *Tisbe holothuriae*. *Hydrobiol.*, 87: 83—87.
- Arnott, G. H. & M. Ahsanullah, 1979. Acute toxicity of copper, cadmium and zinc to three species of marine copepod. *Aust. J. Mar. Freshwater Res.*, 30: 63—71.
- Bengt-erik, Bengtsson, 1978. Use of a harpacticoid copepod in toxicity test. *Mar. Pollut. Bull.*, 9: 228—241.

- Bertram, P. E. & B. A. Hart, 1979. Longevity and reproduction of *Daphnia pulex* (De Geer) exposed to cadmium contaminated food or water. *Environ. Pollut.*, 19(4): 295—305.
- Blesinger, K. E. & G. M. Christenson, 1972. Effects of various metals on survival, growth, reproduction and metabolism of *Daphnia magna*. *J. Fish Res. Bd. Canada*, 29: 1691—1700.
- Blesinger, K. E. *et al.*, 1982. Chronic effects of inorganic and organic mercury on *Daphnia magna*: toxicity accumulation and loss. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 11: 769—774.
- Catton, J. H. & D. M. Adema, 1978. Reproducibility of short-term and reproduction toxicity experiments with *Daphnia magna* and comparison of the sensitivity of *Daphnia magna* with *Daphnia pulex* and *Daphnia cucullata* in short-term experiments. *Hydrobiol.*, 59(2): 135—140.
- Hans-Ginter, 1980. Acute toxicity of potassium dichromate to *Daphnia magna* as a function of the water quality. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 25: 133—147.
- Madhupratap, C. F. *et al.*, 1981. Toxicity of some heavy metals to copepods, *Acartia spinicauda* & *Tortanus forcipatus*. *India J. Mar. Sci.*, 10: 383—388.
- Moulder, S. M., 1980. Combined effect of the chlorides of mercury and copper in sea water on the euryhaline amphipod, *Gammarus duebeni*. *Mar. Biol.*, 59: 198—200.
- Mount, D. I. & T. J., Norberg, 1984. A seven-day life cycle cladoceran toxicity test. *Environ. Toxicol. Chem.*, 3: 425—434.
- Reeve, M. R. *et al.*, 1977. Experimental observations on the effects of copper on copepod and other zooplankton: controlled ecosystem pollution experiment. *Bull. Mar. Sci.*, 27(1): 91—104.
- Verrioponlos, G. & S., Dimas, 1988. Combined toxicity of copper, cadmium, zinc, lead, nickel and chrome to the copepod *Tisbe holothuriae*. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 41: 373—384.
- William, G. S. *et al.*, 1978. Effect of chemical speciation on toxicity of cadmium to grass shrimp, *Palaemonetes pugio*: importance of free cadmium ion. *Environ. Sci. Technol.*, 12(4): 409—413.
- Winner, R. W. *et al.*, 1976. Acute and chronic toxicity of copper to four species of *Daphnia*. *J. Fish Res. Bd. Canada*, 33: 1658—1691.
- Лаварева, Л. П., 1984. Изменения биологических параметров при хроническом воздействии низких концентраций меди и никеля на *Daphnia magna* Страуса. *Гидробиол. Журн.*, 21(5): 53—56.

TOXICITY OF FOUR HEAVY METALS IN MARINE WATER TO *MOINA MONGOLICA*

An Yuxin and He Zhihui

(Dalian Fisheries College, 116023)

ABSTRACT The acute and chronic toxicity of mercury, copper, cadmium and chromium to the survival, growth, reproduction and the intrinsic rate of increase (r_m) of *M. mongolica* were studied. The 48 hr LC_{50} of Hg^{2+} , Cu^{2+} , Cd^{2+} and Cr (6) was 0.0034, 0.0888, 3.89 and 4.24 mg/l respectively. The toxicity of combined different metals to the organism was also studied. The result reveals that the toxicity of mixtures of two metals was much stronger than the single one (except Hg/Cu). While the toxicity of three or four metals combination was lower than that of two metals.

KEYWORDS toxicity, *Moina mongolica*, heavy metal