

无机镉对魁蚶(*Scapharca broughtonii*)毒性 效应及其安全性评价*

刘天红¹ 于晓清¹ 刘广斌^{1,2} 王颖¹ 吴莹莹^{1,2}
刘恩孚^{1,2} 邱兆星^{1,2}①

(1. 山东省海洋生物研究院 青岛 266100; 2. 青岛市浅海底栖渔业增殖学重点实验室 青岛 266100)

摘要 为研究无机镉对不同规格魁蚶的毒性,采用急性毒性试验方法和定性定量研究 Cd^{2+} 对不同规格魁蚶(*Scapharca broughtonii*) 24、48、72、96 h 的半致死浓度(LC_{50})和安全养殖浓度(SC_{50})。结果显示, Cd^{2+} 对小规格魁蚶 24、48、72、96 h 的 LC_{50} 和 SC_{50} 分别为 131.11、41.40、3.57、3.37、1.24 mg/L; Cd^{2+} 对中规格魁蚶 24、48、72、96 h 的 LC_{50} 和 SC_{50} 分别为 54.10、9.46、2.54、0.50、0.09 mg/L; Cd^{2+} 对大规格魁蚶 24、48、72、96 h 的 LC_{50} 和 SC_{50} 分别为 157.36、38.13、8.90、3.46、0.67 mg/L, Cd^{2+} 对于各规格魁蚶的安全养殖浓度均高于国内各类养殖水质标准。结果表明, Cd^{2+} 对于小规格魁蚶属于中毒类物质,对于中规格魁蚶属于剧毒类物质,对于大规格魁蚶属于高毒类物质,小规格魁蚶可能对无机镉产生明显的毒物兴奋效应。

关键词 Cd^{2+} ; 不同规格; 魁蚶; 安全养殖浓度; 毒物兴奋效应

中图分类号 S966.9; S967.5 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2015)06-0088-07

魁蚶(*Scapharca broughtonii*)是一种大型底栖贝类,属双壳纲(Bivalvia)、翼形亚纲(Pteriomorpha),主要分布于俄罗斯东南部、日本、朝鲜半岛、菲律宾和中国,我国主要分布于黄、渤海、辽东半岛东南部、山东半岛北部和东部沿岸的软泥底(卓亮亮, 2010¹); 阮飞腾等, 2014)。现代营养学分析表明,魁蚶是一种高蛋白、低脂肪、氨基酸含量丰富且均匀、营养价值较高的贝类(王颖等, 2013)。魁蚶多栖息于 3–50 m 水深的泥或泥沙质海底,而进入水体中的重金属绝大多数迅速由水相转为固相,最终进入水体底泥中(晏丽蓉, 2013)²。魁蚶属潜沙性滤食性贝类,食性决定了魁蚶

具有易富集重金属的特性。

镉对人体危害较大,一旦进入食物链,很难完全代谢。1993年,镉已被国际癌症研究机构(International Agency for Research on Cancer, IARC)归为 I 级致癌物(IARC, 1993; 顾捷, 2014³; 陈忠翔, 2014⁴)。孙安强(1978)研究表明,“骨痛病”与食物或水中镉有关。2013年中国湖南“镉大米”事件引起各界广泛关注(李国庆, 2013)。镉能在生物体内蓄积和放大(刘浩明等, 2012),海洋中镉对海产品的可给性主要是体表接触、内脏吸收、沉积物暴露,崔岩山等(2013)认为,动物实验能很好地反映污染物的生物有效性。近年

* 国家海洋局公益性行业专项(201205023)、现代农业产业技术体系建设专项资金(NYCYTX-47)和山东省优秀中青年科学家科研奖励基金(BS2010HZ017)项目共同资助。刘天红, E-mail: oucthl@126.com

① 通讯作者: 邱兆星, 研究员, E-mail: 13808956497@163.com

收稿日期: 2015-01-23, 收修改稿日期: 2015-04-28

1) 卓亮亮. 魁蚶养殖中有害生物东亚壳菜蛤(*Musculista senhousia*)的污染控制及繁殖生物学研究. 中国海洋大学硕士研究生学位论文, 2010

2) 晏丽蓉. 几种沉水植物对底泥中镉、铜、铅、锌修复作用的研究. 浙江师范大学硕士研究生学位论文, 2013

3) 顾捷. 浙江沿岸养殖贝类重金属(铅、镉)含量的调查与分析. 浙江海洋学院硕士研究生学位论文, 2014

4) 陈忠翔. 重金属镉胁迫细胞氧化毒理分子机制研究. 东华大学硕士研究生学位论文, 2014

来,关于扇贝、牡蛎等贝类对重金属镉的富集与代谢情况、毒理学研究颇多,但魁蚶的相关研究较少。因此,镉对魁蚶的毒性,尤其对不同规格魁蚶的毒性,涉及到魁蚶育苗和养成水体中重金属对其存活的影响,以及养成后魁蚶产品的质量安全问题,亟待探讨。

本文研究了在不同 Cd^{2+} 浓度下,24、48、72、96 h 内 Cd^{2+} 对不同规格魁蚶的半致死浓度和安全养殖浓度,为魁蚶等底栖贝类的急性毒理学研究提供基础数据,可用于魁蚶养殖水体安全的监测预报,进而指导魁蚶安全生产,也可为评价海洋生态环境质量和修订渔业水质标准提供相应的生物学研究基础。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

不同规格魁蚶于 2014 年 4 月采自山东日照两城养殖场,于暂养池内暂养 3 d,每 12 h 换水 1 次,每天 06:00、12:00 投饵(金藻 1×10^5 cell/ml)两次,暂养期间活动正常,受刺激后闭壳反应迅速,死亡率低于 5%。实验前 24 h 停止投饵,选择健康、闭壳肌刺激反应灵敏的魁蚶,取样时避免损伤其基部,同一规格的魁蚶随机分组(表 1)。

$CdCl_2 \cdot 2.5H_2O$ (A. R. 100 g)产自国药集团化学试剂有限公司,用蒸馏水配成质量浓度为 10 mg/ml 的 Cd^{2+} 母液,然后根据实验设计制成暴露液质量浓度分别为:4.67、8.32、14.79、26.30、46.77、83.18、147.91 mg/L。

表 1 不同规格受试魁蚶生物学参数
Tab.1 Biological parameters of *S. broughtonii* in different sizes (cm)

规格 Size	壳长 Length	壳高 Height	壳宽 Width
小规格 Small	2.34±0.15	1.70±0.11	1.26±0.09
中规格 Medium	3.68±0.15	2.76±0.17	2.26±0.18
大规格 Large	5.12±0.33	3.90±0.31	3.19±0.31

1.2 理化条件

该研究在山东省海洋生物研究院海水良种繁育中心(鳌山卫)贝类生产车间内进行,试验过程中水温为(18.5±1.5)℃,溶解氧含量 ≥ 6 mg/L,24 h 不间断充氧;pH 为 7.93–8.25;盐度为 3.10±0.03;实验过程中白天光照为 200–600 lx,夜间无光照。

1.3 攻毒试验

试验期间,养殖用海水符合标准《GB11607-89 渔业水质标准》要求,其中, Cd^{2+} 浓度为 0.4×10^{-3} mg/L。取 70 L 聚乙烯养殖箱,加 1.1 所述含不同浓度 Cd^{2+}

海水溶液 50 L,并放入同一规格魁蚶 10 粒,根据等比梯度浓度试验结果,确定 Cd^{2+} 的 100%致死浓度与 0 致死的最大浓度,试验重复 3 次。根据上述结果,按浓度对数等差数列设试验组和 1 个对照组,平行两组,试验进行 96 h,期间不投饵,不换水,注意观察记录 24、48、72、96 h 各组试验魁蚶累计死亡粒数,及时清理死亡魁蚶。

魁蚶死亡标准为外套膜萎缩 0.3–0.5 cm 左右(小规格和中规格魁蚶萎缩约为 0.3 cm,大规格魁蚶萎缩约 0.5 cm),双壳张开,无闭壳反应,斧足部外伸,多次刺激无收缩反应,视为死亡。

使用 SPSS18.0 数理统计软件计算不同时间的半致死浓度 LC_{50}^{24} 、 LC_{50}^{48} 、 LC_{50}^{72} 、 LC_{50}^{96} 及各自的 95% 置信区间,并利用下列公式计算安全养殖浓度:

$$SC = \frac{LC_{50}^{48} \times 0.3}{(LC_{50}^{24} / LC_{50}^{48})^2}$$

2 结果

2.1 不同规格魁蚶的中毒症状

暴露试验开始时,所有受试组的魁蚶外套膜均外伸约 0.4–0.6 cm,1 h 左右对照组中小规格魁蚶基部足丝口开始分泌少量足丝,附着于箱体,中规格和大规格魁蚶基部足丝口在 2–8 h 后开始分泌足丝,基本在 24 h 后达到量多,明显可见;小规格魁蚶低浓度组(4.5、6.5、10 mg/L)在开始试验 1 h 后分泌了少量足丝,但暴露 3 h 后,其足丝分泌量并未大量上升,外套膜触手伸出;中规格魁蚶斧足部外伸,双壳张合状态(魁蚶无水管)较积极,大规格魁蚶次之,小规格魁蚶活动最少;小规格和中规格的魁蚶高浓度组中只有 1–2 个在 24 h 后观察到少量足丝,且不能挂壁,贝壳紧闭,外套膜触手和斧足部极少伸出;大规格魁蚶高浓度组的基部无足丝粘连,贝壳微开,开口约为 0.3–0.5 cm,外套膜外伸 0.2–0.3 cm,斧足外伸 0.3 cm 左右;24 h 后除了对照组和低浓度组(4.5、6.5 mg/L)的魁蚶足丝口分泌足丝与箱体相连,斧足部和触手外伸,反应迅速,呈现出正常生活状态;稍高浓度试验组(20、30 mg/L)各规格的贝壳张开为 0.2–0.8 cm,外套膜收缩为 0.3–0.5 cm,斧足处呈现大小不一的白斑或黑斑,内脏团有充血现象,刺激后双壳闭合无力,偶见魁蚶有足丝分泌,但量很少,不挂壁;高浓度组(50、79 mg/L)的各规格魁蚶双壳可以闭合,但外套膜极少外伸,刺激后有轻微的收缩反应,闭壳反应较慢,无足丝分泌现象。48 h 后各规格魁蚶闭壳反应均较微弱,各水体

中呈现白色浑浊现象,氨氮范围为 35.40–79.45 μg/L;当魁蚶贝壳完全张开,斧足外伸、刺激无反应,外套膜萎缩,判为死亡。

2.2 镉对不同规格魁蚶的毒性影响

2.2.1 Cd²⁺对不同规格魁蚶急性毒性试验结果

Cd²⁺对不同规格魁蚶的 24 h、100% 致死浓度为 140 mg/L 左右, 24 h、0 致死的最大浓度为 4.7 mg/L 左右,因此,各试验组浓度设定在 4.67–147.91 mg/L,根据浓度对数规则设置攻毒浓度见表 2。

使用 SPSS18.0 对试验结果进行数据处理,计算出 Cd²⁺浓度对数与不同规格魁蚶死亡概率方程,分别求出 LC₅₀²⁴、LC₅₀⁴⁸、LC₅₀⁷²、LC₅₀⁹⁶,并计算出 95%(α=0.05) 置信区间,结果见表 3–表 5。由表 3–表 5 可以看出,Cd²⁺对不同规格魁蚶的 LC₅₀²⁴、LC₅₀⁴⁸、LC₅₀⁷²、LC₅₀⁹⁶ 组间和组内差异较大,24 h 半致死浓度最高的是大规格魁蚶(157.36 mg/L),其次为小规格魁蚶(131.11 mg/L),最低为中规格魁蚶(54.10 mg/L); 48 h 半致死浓度最高的是小规格魁蚶(41.40 mg/L),其次为大规格魁蚶

表 2 Cd²⁺对不同规格魁蚶急性毒性试验结果
Tab.2 The results of Cd²⁺ toxicity to different-sized *S. broughtonii*

浓度 Concentration (mg/L)	受试 总数 Total	24 h 累计死亡数 Cumulative mortality at 24 h			48 h 累计死亡数 Cumulative mortality at 48 h			72 h 累计死亡数 Cumulative mortality at 72 h			96 h 累计死亡数 Cumulative mortality at 96 h		
		小规格 Small	中规格 Medium	大规格 Large	小规格 Small	中规格 Medium	大规格 Large	小规格 Small	中规格 Medium	大规格 Large	小规格 Small	中规格 Medium	大规格 Large
		0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.67	10	0	0	0	0	0	0	2	1	5	10	10	10
8.32	10	0	1	0	2	4	0	5	7	6	10	10	10
14.79	10	1	2	0	3	5	1	6	8	7	10	10	10
26.30	10	2	4	1	4	7	4	8	10	8	10	10	10
46.77	10	3	5	2	5	10	6	8	10	8	10	10	10
83.18	10	6	4	3	7	10	6	8	10	8	10	10	10
147.91	10	10	5	4	10	10	8	9	10	10	10	10	10

注: 结果以 3 次平行取平均值表示, 四舍五入
Note: Results are shown as the mean of three tests and rounded

表 3 Cd²⁺对小规格魁蚶急性毒性试验数理统计结果
Tab.3 The statistical results of Cd²⁺ toxicity to small-sized *S. broughtonii*

时间 Time(h)	浓度对数-死亡概率方程 logC-death probability equation	LC ₅₀ (mg/L)	RSD _{LC50} (mg/L)	95% 置信区间 95% confidence interval(mg/L)	R ²
24	P=1.64X-3.48	131.11	4.12	79.30–458.68	0.82
48	P=0.90X-1.46	41.40	3.48	25.61–108.28	0.99
72	P=1.08X-0.60	3.57	0.16	0.43–7.19	0.83
96	P=2.68X-1.41	3.37	0.97	0.40–5.40	0.97

表 4 Cd²⁺对中规格魁蚶急性毒性试验数理统计结果
Tab.4 The statistical results of Cd²⁺ toxicity to medium-sized *S. broughtonii*

时间 Time(h)	浓度对数-死亡概率方程 logC-death probability equation	LC ₅₀ (mg/L)	RSD _{LC50} (mg/L)	95% 置信区间 95% confidence interval (mg/L)	R ²
24	P=0.94X-1.64	54.10	4.12	33.28–169.70	1.00
48	P=3.13X-3.05	9.46	0.01	7.41–11.43	1.00
72	P=1.73X-0.70	2.54*	0.16	0.27–4.93	0.83
96	P=1.44X+0.44	0.50*	0.07	0.01–1.28	0.99

*表示二组差异不显著(P=0.76>0.05)
* The difference between groups is not significant (P=0.76>0.05)

表 5 Cd²⁺对大规格魁蚶急性毒性试验数理统计结果
Tab.5 The statistical results of Cd²⁺ toxicity to large-sized *S. broughtonii*

时间 Time(h)	浓度对数-死亡概率方程 logC-death probability equation	LC ₅₀ (mg/L)	RSD _{LC50} (mg/L)	95%置信区间 95% Confidence interval (mg/L)	R ²
24	$P=1.74X-3.82$	157.36	4.12	83.80-419.52	0.99
48	$P=2.28X-3.61$	38.13	0.01	29.51-52.49	0.72
72	$P=1.41X-1.34$	8.90	0.16	4.91-13.02	0.72
96	$P=2.10X-1.13$	3.46	0.07	0.01-7.47	0.70

(38.13 mg/L), 最低为中规格魁蚶(9.46 mg/L), 这与 24 h 的结果呈现的不一致; 72 h 半致死浓度最高的是大规格魁蚶(8.90 mg/L), 其次为小规格和中规格魁蚶(均为 0.16 mg/L); 96 h 半致死浓度最高的是大规格魁蚶(3.46 mg/L), 其次为小规格魁蚶(3.37 mg/L), 最低为中规格魁蚶(0.07 mg/L), 与 24 h 所呈现的结果一致。经 SPSS18.0 对不同规格魁蚶的半致死浓度与暴露时间统计学处理, 得出不同的暴露时间对小规格魁蚶和大规格魁蚶的半致死浓度影响极其显著($P<0.001$), 但中规格魁蚶的半致死浓度在 24、48 h 之间差异极其显著, 72、96 h 的半致死浓度之间差异不显著($P=0.76>0.05$); 暴露时间与小规格、中规格魁蚶对 Cd²⁺相应时间的半致死浓度大小均呈明显正相关($R^2>0.80$), 大规格魁蚶的 24 h 半致死浓度与暴露时间相关系数良好($R^2=0.99$), 但 48、72、96 h 的半致死浓度与暴露时间的相关系数一般($R^2<0.80$), 可能和大规格魁蚶的个体差异有关。研究表明, 小规格的魁蚶对各浓度 Cd²⁺的半致死浓度高于中规格魁蚶的响应值可能是由于“毒物兴奋效应(Hormesis)” (顾海龙, 2013¹⁾; Calabrese, 2010), 即低剂量的毒物表现为刺激效应, 而高剂量则表现为抑制效应(Zhang *et al.*, 2013)。已有研究表明, 氯化镉可诱导小鼠成纤维(L929)细胞增殖的毒物兴奋效应, 但对于双壳贝类的毒物兴奋效应研究较少(袁雪峰, 2013)²⁾。

2.2.2 不同规格魁蚶与 Cd²⁺不同时间的半致死浓度关系 不同规格魁蚶与 Cd²⁺不同时间的半致死浓度关系见图 1。由图 1 可见, 不同时间的半致死浓度与暴露时间成幂指数函数关系, 大、中、小规格魁蚶不同时间的半致死浓度与暴露时间成幂指数函数分别为: $y = 1 \times 10^6 x^{-2.757}$ ($R^2 = 0.98, P < 0.001$)、 $y = 2 \times 10^6 x^{-3.251}$ ($R^2 = 0.97, P < 0.001$)、 $y = 2 \times 10^6 x^{-2.901}$ ($R^2 = 0.91, P < 0.001$), 魁蚶规格与半致死浓度呈负相关关系。

2.2.3 Cd²⁺对不同规格魁蚶的安全养殖浓度 按安

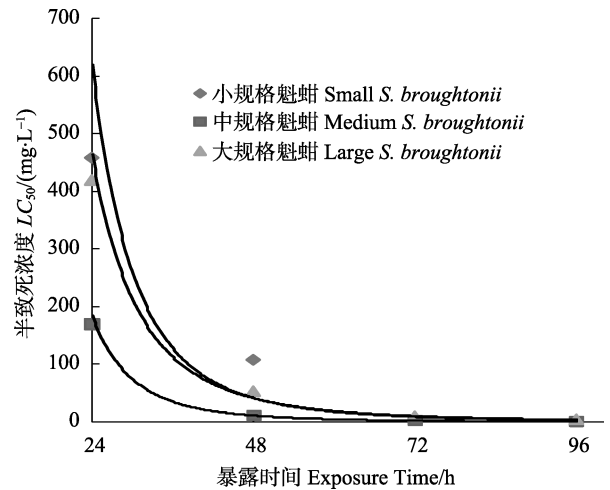


图 1 不同规格魁蚶 Cd²⁺的半致死浓度与暴露时间的关系
Fig.1 The relationships of LC₅₀ exposure time among different specifications *S. broughtonii*

全养殖浓度公式, 计算得出 Cd²⁺对不同规格魁蚶的安全养殖浓度见表 6。不同规格魁蚶对 Cd²⁺的安全养殖浓度依次为小规格(1.24 mg/L)>大规格(0.67 mg/L)>中规格(0.09 mg/L)。其中, 小规格魁蚶对 Cd²⁺的安全养殖浓度分别是大规格魁蚶的 1.85 倍、中规格魁蚶的 13.78 倍($P<0.001$), 说明海水中 Cd²⁺的含量对中规格魁蚶的影响大于小规格和大规格魁蚶。因此, 建议魁蚶生长中后期尤其是壳长 3.68 cm 时, 应注意密切监测水中 Cd²⁺的含量。不同规格魁蚶对 Cd²⁺的安全养殖浓度均高于国家二类水质标准 18-248 倍, 但水质标准指标应结合魁蚶体内镉含量和相应的风险评估结果, 这有待进一步研究。

2.2.4 Cd²⁺对不同规格魁蚶的毒性分类 依据有毒物质对水产类的毒性分类标准(张志杰等, 1991)与不同规格魁蚶对 Cd²⁺的安全养殖浓度, 对 Cd²⁺对不同规格魁蚶的毒性进行分级, 具体情况见表 7。Cd²⁺对不同规格魁蚶的毒性大小不一致, Cd²⁺对小规格魁

1) 顾海龙. Cd、Pb、Hg 暴毒下泥蚶的分子生态毒理学研究. 上海海洋大学硕士研究生学位论文. 2013, 15-16, 48
2) 袁雪峰. 低剂量氯化镉诱导 L929 细胞增殖 hormesis 效应的研究. 暨南大学硕士研究生学位论文. 2013, 32-36

表6 不同规格魁蚶对 Cd²⁺的安全养殖浓度与国标限量对比
Tab.6 Comparison between national standard and SC₅₀ of different specifications (mg/L)

魁蚶规格 Size	小规格 Small	中规格 Medium	大规格 Large
安全养殖浓度 Safety concentration	1.24 ^a	0.09 ^b	0.67 ^c
95%置信区间 95% confidence interval	0.29–1.81	0.02–0.11	0.25–1.10
NY5052-2001*	≤0.005		
GB3097-1997*	第1类 primary ≤0.001	第2类 secondary ≤0.005	第3类、第4类 third&fourth-class ≤0.010
GB11607-1989*	≤0.005		

注：*表示国家强制性标准；不同的肩注表示二者差异极其显著(P<0.001)

Note: * National mandatory standard, Different shoulder means highly significant difference (P<0.001)

表7 有毒物质对水产类的毒性标准

Tab.7 The classification standard of toxicants for aquatic animal (mg/L)

等级 Class	剧毒 Rank poison	高毒 High toxic	中毒 General toxicity	低毒 Low toxicity
MRLs	<0.1	0.1–1	1–10	>10
小规格 Small			1.24	
中规格 Medium	0.09			
大规格 Large		0.67		

蚶属于中毒物质，对中规格魁蚶属于剧毒物质，对于大规格魁蚶是高毒物质，这可能是由于中规格魁蚶的活动能力较大规格和小规格魁蚶强，实际暴露时间长，这一推论是经长期观察，大、中、小规格魁蚶闭壳肌打开滤水时间所得，有待进一步验证。

3 讨论

3.1 Cd²⁺对不同规格魁蚶的毒性机理

镉对毛蚶(*Scapharca subcrenata*)的致毒机理主要是 Cd²⁺引发毛蚶体内脂质过氧化、DNA 链的断裂以及蛋白质的氧化修饰等损伤(陈建华等, 2010)。陈彩芳等(2012)研究发现, Cd²⁺对泥蚶(*Tegillarca granosa*)肝胰腺的显微和超微结构损伤均远大于鳃,可能是 Cd²⁺经由鳃进入血液循环后在内脏团重新分布积累,最终对内脏团造成巨大损伤。本研究也发现,高浓度组魁蚶内脏团有充血现象。王召根(2013)¹⁾认为,不同浓度 Cd²⁺(0.1–1.6 mg/L),对泥蚶呼吸和排泄有较明显抑制作用,即随着 Cd²⁺浓度增加,泥蚶耗氧率和排氨率出现逐渐减弱趋势,且影响极其显著。本研究结果表明,

不同浓度 Cd²⁺对不同规格斧足和外套膜有不同的影响,基本表现为外套膜收缩,斧足外伸不能收回,斧足有大小不一的白斑或黑斑,内脏出血,且足丝脱离箱体,无附着力,刺激后双壳无力闭合。这是魁蚶对 Cd²⁺中毒的表现,与泥蚶的中毒机理类似,均可能是由呼吸和排泄异常引起的。其中, Cd²⁺对魁蚶基部足丝分泌的影响与刘天红等(2010)的研究较为一致,具体机理有待进一步确证。

3.2 Cd²⁺对不同规格魁蚶的毒性分析

Cd²⁺对不同规格魁蚶的 24、48、72、96 h 半致死浓度差别较大,表现为 24、72、96 h 半致死浓度为 大规格魁蚶>小规格≥中规格,48 h 半致死浓度变化为小规格魁蚶>大规格>中规格。陈建华等(2010)发现, Cd²⁺对毛蚶(壳长为 2.87–3.66 cm,壳高为 2.35–2.77 cm)的 24、48、72、96 h 的半致死浓度分别为 12.27、7.86、6.16、5.17 mg/L,远低于本研究小规格魁蚶[壳长为(2.34±0.50) cm,壳高为(1.70±0.11) cm] 24、48 h 的半致死浓度(131.11、41.40、3.57、3.37 mg/L),而泥蚶 72、96 h 的半致死浓度约为小规格魁蚶的 1.73 倍和 1.53 倍,说明同等规格的蚶类对 Cd²⁺的耐受力差别较大。霍礼辉(2012)²⁾研究了壳长为(2.67±0.15) cm 的泥蚶对 Cd²⁺的耐受性,其 96 h 的半致死浓度为 2.25 mg/L,低于小规格魁蚶的 96 h 半致死浓度 (3.37 mg/L)。王召根(2013)¹⁾研究结果表明,壳长在(2.82±0.16) cm 的泥蚶对 Cd²⁺的 96 h 半致死浓度为 0.46 mg/L,远远低于小规格魁蚶的 96 h 半致死浓度(3.37 mg/L)。上述学者均是研究了泥蚶对 Cd²⁺的耐受性,对比发现,总体上小规格魁蚶对 Cd²⁺的耐受性要远高于同等规格的泥蚶,虽然二者均为蚶类,但因生活环境(盐度)不同,种的不同,个体差异较为

1) 王召根. 重金属镉和铜对泥蚶的毒性效应研究. 上海海洋大学硕士研究生学位论文, 2013, 1, 11, 16–17

2) 霍礼辉. 泥蚶对重金属(铜、铅、镉)的富集和响应初步研究. 宁波大学硕士研究生学位论文, 2012, 14–19

明显。

同为海水双壳贝类, 李玉环等(2006)研究表明, 镉对海湾扇贝(*Argopecten irradians*)的 24、48、96 h 的半致死浓度分别是 5.85、4.52、3.45 mg/L, 安全养殖浓度为 0.035 mg/L, 是小规格魁蚶安全养殖浓度的 1/35; 刘天红等(2010)研究认为, Cd^{2+} 对栉孔扇贝(*Chlamys farreri*)的 24、48、96 h 的半致死浓度分别是 5.74、3.30、0.97 mg/L, 安全养殖浓度为 0.33 mg/L, 是小规格魁蚶安全养殖浓度的 1/11; 徐彦(2012)¹⁾研究了 Cd^{2+} 对菲律宾蛤仔 24、48、96 h 的半致死浓度分别是 11.15、7.58、4.74 mg/L, 安全养殖浓度为 0.65 mg/L; 张聪(2012)²⁾通过模拟褶牡蛎(*Ostrea picatula* Gmelin)生长环境, 利用富集系数计算褶牡蛎对 Cd^{2+} 的安全养殖浓度为 0.96 $\mu\text{g/L}$, 是小规格魁蚶安全养殖浓度的 1/1292, 说明褶牡蛎对 Cd^{2+} 的敏感性更高; 上述海水贝类的急性毒性研究结果均低于大规格魁蚶相应时间的半致死浓度(157.36、38.13、3.46 mg/L)和安全养殖浓度 0.67 mg/L, 说明不同种类之间存在较大的差异性, 魁蚶(2.19–5.45 cm)对 Cd^{2+} 的耐受性高于其他双壳海水贝类(如扇贝、牡蛎等), 可能与魁蚶体内的金属硫蛋白含量有关。有学者认为, 一定暴露浓度范围内, Cd^{2+} 可诱导近江牡蛎(*Ostrea rivularis*)金属硫蛋白的表达, 表现出“阈值效应”, 即体内镉含量达到一定值时, 本底金属硫蛋白开始迅速表达, 使其体内金属硫蛋白含量显著升高, 但当金属硫蛋白浓度太高时又产生负反馈调节, 这时会抑制其生存状态, 以上研究是基于蛋白质介导的离子通道转运的结果(周湖明, 2013)³⁾。

本研究中, 各规格魁蚶对于 Cd^{2+} 的安全养殖浓度均低于相关水质标准的规定, GB3097-1997 中规定第 3 类、第 4 类水质(≤ 0.01 mg/L)不适于养殖。作者认为, 在此条件下魁蚶仍能健康存活, 但可能不适于安全食用, 应结合其体内镉含量的变化和风险分析进行评估。 Cd^{2+} 对于小规格魁蚶属于中毒类物质, 对于中规格魁蚶属于剧毒类物质, 对于大规格魁蚶属于高毒类物质。这与刘天红等(2010)研究发现, Cd^{2+} 对于栉孔扇贝属于高毒类物质的结果一致。李玉环等(2006)

认为, Cd^{2+} 对于海湾扇贝属于剧毒类物质与本研究稍有差异; 田鹏(2013)⁴⁾和杨艳红(2013)⁵⁾研究认为, 水产动物(鱼类)对 Cd^{2+} 有一定的耐受力与本研究结果一致。其他学者少有对 Cd^{2+} 对水产动物毒性进行定性, 作者认为, 本部分的研究定性可能会有助于渔业标准和养殖环境区域划分定性。

3.3 镉对中规格魁蚶和小规格魁蚶半致死浓度的影响分析

Cd^{2+} 对不同规格魁蚶的 24、48、72、96 h 半致死浓度和安全养殖浓度结果不同, 可能与魁蚶对镉胁迫应答机制有关。动物在镉胁迫下主要有 3 种应答机制, 以保护机体的免受损伤: 1) 启动应激反应, 如 SOD、CAT 等其他抗氧化防御系统; 2) 合成更多的可螯合镉的蛋白质(如金属硫蛋白)以消除多余的镉; 3) 降低自身的代谢速率, 减少与外界物质的交换, 以避免更多对镉的吸收。当机体内镉的积累速度超出自身的解毒和代谢能力时, 便会产生毒性作用(Cuyper *et al*, 2010)。因此, 作者认为, 中规格魁蚶因处于足丝分泌和生长快速期, 可能会降低自身对镉的代谢速率导致其体内镉含量较高, 引起中毒表现。上述推断有待进一步从细胞毒理学角度进行验证。

参 考 文 献

- 王颖, 吴志宏, 李红艳等. 青岛魁蚶软体部营养成分分析及评价. 渔业科学进展, 2013, 34(1): 133–139
- 孙安强. 西方对镉的论谈. 环境科学研究, 1978, (3)7: 7–79
- 刘天红, 孙福新, 王颖, 等. 无机镉对栉孔扇贝(*Chlamys Farreri*)急性毒性研究及其安全评价. 食品研究与开发, 2010, 31(4): 161–165
- 刘浩明, 董迎辉, 霍礼辉, 等. Cu^{2+} 对缢蛏稚贝的急性毒性及对抗氧化酶活力和丙二醛含量的影响. 中国水产科学, 2012, 19(1): 182–187
- 阮飞腾, 高森, 李莉, 等. 山东沿海魁蚶繁殖周期与生化成分的周年变化. 水产学报, 2014, 38(1): 47–55
- 李玉环, 林洪. 镉对海湾扇贝的急性毒性研究. 海洋水产研究, 2006, 27(6): 80–83
- 李国庆. 从广东“镉大米”事件看我国粮食质量安全的监管.

1) 徐彦. 菲律宾蛤仔(*Ruditapes philippinarum*)对重金属离子 Cd^{2+} 、 Pb^{2+} 免疫应激响应的研究. 中国海洋大学硕士研究生学位论文, 2012, 24–26

2) 张聪. 褶牡蛎对重金属的富集与释放规律及相关安全限量研究. 上海海洋大学硕士研究生学位论文, 2012, 48–52

3) 周湖明. 近江牡蛎富集和排出 Cd、Pb 及其与金属硫蛋白含量相关性的研究. 广东海洋大学硕士研究生学位论文, 2013, 16–18

4) 田鹏. 水体中镉暴露对草鱼的氧化胁迫研究. 西南大学硕士研究生学位论文, 2013, 25–28

5) 杨艳红. 重金属(Hg^{2+} 、 Pb^{2+} 、 Cr^{6+})对厚颌鲂幼鱼生物毒性效应的研究. 西南大学硕士研究生学位论文, 2013, 10–12

- 河南工业大学学报(社会科学版), 2013, 9(3): 20–23
- 陈建华, 阎斌伦, 李盈蕾, 等. 石油烃和镉对毛蚶的急性毒性与联合毒性效应研究. 水生态学杂志, 2010, 3(3): 85–89
- 陈彩芳, 沈伟良, 霍礼辉, 等. 重金属离子 Cd^{2+} 对泥蚶鳃及肝脏细胞显微和超微结构的影响. 水产学报, 2012, 36(4): 522–528
- 张志杰, 张维平. 环境污染生物监测与评价. 北京: 中国环境科学出版社, 1991, 68–69
- 崔岩山, 陈晓晨. 土壤中镉的生物可给性及其对人体的健康风险评估. 环境科学, 2010, 31(2): 403–407
- Calabrese EJ. Hormesis is central to toxicology, pharmacology and risk assessment. *Hum Exp Toxicol*, 2010, 29(4): 249–261
- Cuypers A, Plusquin M, Remans T, *et al.* Cadmium stress: an oxidative challenge. *Biometals*, 2010, 23(5): 927–940
- IARC In. IARC Monographs on evaluation of carcinogenic risks to humans. Lyon, France: International Agency for Research on Cancer, 1993
- Zhang J, Liu SS, Yu ZY, *et al.* Time-dependent hormetic effects of 1-alkyl-3-methylimidazolium chloride and their mixtures on *Vibrio qinghaiensis* sp. -Q67: Luminescence, redox reactants and antioxidases. *Chemosphere*, 2013, 91(4): 462–467

(编辑 陈严)

The Safety Evaluation of the Acute Toxicological Effects of Inorganic-Cadmium on *Scapharca broughtonii*

LIU Tianhong¹, YU Xiaoqing¹, LIU Guangbin^{1,2}, WANG Ying¹, WU Yingying^{1,2},
LIU Enfu^{1,2}, QIU Zhaoxing^{1,2}^①

(1. Marine Biology Institute of Shandong Province Qingdao 266100;

2. Key Laboratory of Benthic Fisheries Aquaculture and Enhancement Qingdao 266100)

Abstract Heavy metals are considered as the most deleterious contaminants in the environment due to their non-degrading and bioaccumulative properties. Shellfish have been used as an indicator for the toxicity of Cd, Pb, and other heavy metals. However, there are very few studies about the effects of heavy metals on *Scapharca broughtonii*. The safety of the seafood largely depends on the level of heavy metals accumulated in the body, which is determined by the content of heavy metals in the aquaculture environment. Here qualitative and quantitative methods were conducted to study the acute toxicity of cadmium on *S. broughtonii* with different sizes, which serves as a sign of the seafood safety. We determined the semi lethal concentration (LC_{50}) and the safety concentration (SC_{50}) of cadmium in different time courses (24 h, 48 h, 72 h and 96 h), by SPSS18.0 statistical software (Prob-Ig). The LC_{50} values of small *S. broughtonii* were 131.11, 41.40, 3.57 and 3.37 mg/L corresponding to the time courses above, and the SC_{50} value was 1.24 mg/L. In the medium *S. broughtonii* the LC_{50} values were 54.10, 9.46, 2.54, and 0.50 mg/L, and the SC_{50} value was 0.09 mg/L. About the large *S. broughtonii* the LC_{50} values were 157.36, 38.13, 8.90, 3.46 mg/L and the SC_{50} value was 0.67 mg/L. These results demonstrated that the SC_{50} values of Cd^{2+} in *S. broughtonii* were higher than the water quality standard in aquaculture. The toxicity of Cd^{2+} was identified as moderate for small *S. broughtonii*, extreme toxicity medium *S. broughtonii*, and high toxicity for large *S. broughtonii*. There was hermetic effect on inorganic cadmium for small *S. broughtonii*.

Key words Inorganic-cadmium; Different size; *Scapharca broughtonii*; SC_{50} ; Hormesis

① Corresponding author: QIU Zhaoxing, E-mail: 13808956497@163.com