

水体锰暴露对草鱼碱性磷酸酶、酸性磷酸酶及代谢率的影响^{*}

唐婉琴, 张江惠, 袁伦强

(西南大学 淡水鱼类资源与生殖发育教育部重点实验室, 重庆 400715)

摘要:【目的】研究水体锰暴露对草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)碱性磷酸酶(AKP)和酸性磷酸酶(ACP)活力及静止代谢率的影响。【方法】设置水体中二价锰离子质量浓度分别为30, 60, 120和240 mg·L⁻¹的4个锰暴露处理组和1个水体中二价锰离子质量浓度为0 mg·L⁻¹的对照组, 处理28 d后测定各处理组实验鱼静止代谢率及肝脏、肾、肠、鳃、脑等器官组织的AKP和ACP活力。【结果】1) 60, 120 mg·L⁻¹锰暴露处理组肝脏AKP活力均比对照组的更低, 60 mg·L⁻¹锰暴露处理组肾AKP活力比对照组的更高, 各锰暴露处理组肠AKP活力均比对照组的更低; 上述比较结果均具有统计学意义($p < 0.05$)。2) 30 mg·L⁻¹锰暴露处理组肝脏ACP活力比对照组的更高, 各锰暴露处理组肠ACP活力均比对照组的更低, 120 mg·L⁻¹锰暴露处理组鳃ACP活力比对照组的更低; 上述比较结果均具有统计学意义($p < 0.05$)。3) 60 mg·L⁻¹锰暴露处理组的静止代谢率高于对照组及120, 240 mg·L⁻¹的锰暴露处理组的静止代谢率, 上述比较结果均具有统计学意义($p < 0.05$)。【结论】草鱼肝、肾和肠的AKP和ACP活力对水体锰暴露相对较敏感。在一定质量浓度范围的水体锰暴露下, 草鱼静止代谢率出现相应的升高以满足机体解毒时额外的能量需求; 而高质量浓度的锰暴露则可对鱼体造成损伤并引起静止代谢率下降。

关键词: 锰; 草鱼; 碱性磷酸酶; 酸性磷酸酶; 静止代谢率

中图分类号: Q175

文献标志码: A

文章编号: 1672-6693(2018)03-0069-06

鱼类的生殖发育、神经调节、骨的形成、血液的生成等生理过程都需要微量的锰元素^[1]。当锰的摄入量过少时, 鱼类会出现多种锰缺乏症状, 如生长受阻、发育迟缓、骨和软骨的形成不正常、心脏内的铜锌超氧化物歧化酶和锰超氧化物歧化酶活力明显降低等^[2]。但当生物体内锰过量时, 会出现中毒现象。例如有研究表明, 当人体摄入过量锰时, 会出现如神经衰弱及神经功能紊乱一类的症状^[3]。

草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)是中国四大家鱼之一。有资料表明, 许多鱼类生存的水体或多或少地受到重金属污染^[4]。不同的水生动物对水环境中的重金属有不同程度的富集作用^[5-6]。大部分重金属会对鱼类的呼吸、免疫、代谢等各种生理活动造成危害^[7], 但目前过量锰对鱼类的毒性影响研究相对少见。为此, 本研究探讨了水体中不同质量浓度的二价锰离子暴露对草鱼几种器官组织的碱性磷酸酶(AKP)、酸性磷酸酶(ACP)活力以及鱼体静止代谢率的影响, 从而为过量锰对草鱼的生态毒理学影响研究提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验鱼购自重庆市歇马镇水产养殖中心。将实验鱼在室内用曝气自来水驯化饲养7 d。水温为(27.5 ± 0.5) °C, 溶氧质量浓度大于6 mg·L⁻¹, 光照条件为12 h光照: 12 h黑暗, 每日换掉1/2体积的水并投喂1次饲料(粗蛋白、粗脂肪及碳水化合物的质量分数分别为33.0%, 3.0%和10.0%)。

1.2 实验处理方法

经预实验测得氯化锰对草鱼的96 h半致死质量浓度为541.07 mg·L⁻¹, 安全质量浓度为54.11 mg·L⁻¹, 故按照等比法设置水体中二价锰离子质量浓度分别为30, 60, 120和240 mg·L⁻¹的4个锰暴露处理组和1个水

* 收稿日期: 2017-08-09 修回日期: 2018-04-06 网络出版时间: 2018-05-22 10:02

资助项目: 国家自然科学基金(No. 31672287)

第一作者简介: 唐婉琴, 女, 研究方向为鱼类生理生态学, E-mail: 15620629458@163.com; 通信作者: 袁伦强, 男, 副教授, 博士, E-mail: yuanlq@swu.edu.cn

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1165.N.20180522.1001.032.html>

体中二价锰离子质量浓度为 $0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的对照组。每个处理组 8 尾鱼,暴露处理 28 d。处理前的实验鱼体质量为 $(17.54 \pm 0.50) \text{ g}$,体长为 $(10.61 \pm 0.29) \text{ cm}$ 。处理期间,实验鱼的投喂以及水温、溶氧、光照、水源等条件与驯化期相同。

1.3 样品采集及测定方法

在处理结束并进行取样的前一日对实验鱼停止饲料投喂,从各个处理组中分别随机选取 4 尾实验鱼(其中 $240 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 锰暴露处理组的实验鱼在实验结束时死亡率接近 70%,样本量不足以用于测定 AKP 和 ACP 活力),洗净擦干表面水分后, 4°C 条件下于解剖盘迅速取出肝、肾、肠、鳃、脑等器官组织,用溶质质量分数为 0.7% 的生理溶液洗净再用吸水纸吸干,装入离心管内,液氮处理后置于 -20°C 冰箱保存。在进行酶活力测定前,将上述器官组织用按质量体积比 1:9 加入 4°C 溶质质量分数为 0.7% 的生理溶液, 4°C 下匀浆,随后以 $1000 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 离心 10 min,取上清液存于 4°C 条件下准备进行后续测定。使用购自南京建成生物工程研究所的 AKP, ACP 检测盒并按附带操作说明对 AKP 和 ACP 活力进行检测;样品组织蛋白含量的测定采用考马斯亮蓝法^[8]。

采用实验室自制的鱼类流水式呼吸仪对实验鱼的静止代谢率进行测定。以曝气 2 d 后的自来水作为实验用水,水温控制在 $(27.5 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ 。每个处理组中均取 4 尾鱼,将鱼装入代谢检测室中 24 h 后,每间隔 2 h 测 1 次代谢率,一共测 5 次,取平均值。静止代谢率^[9]的计算公式为:

$$R = \frac{\Delta \text{Co}_2 \times v}{m}$$

其中: R 为静止代谢率(单位: $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$); ΔCo_2 为空白检测室与实验鱼检测室的溶氧质量浓度差(单位: $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$); v 为水流速度(单位: $\text{L} \cdot \text{h}^{-1}$); m 为鱼的体质量(单位: kg)。

1.4 数据处理

使用 Excel 2003 软件对实验数据进行初步整理,各指标结果以“平均值±标准误”表示。采用 SPSS 17.0 软件中的单因素方差分析及 LSD 多重比较对数据进行统计分析;当 $p < 0.05$ 时,统计结果具有统计学意义。

2 结果与分析

2.1 对肝脏、肾、肠、鳃、脑等器官组织 AKP 和 ACP 活力的影响

经过 28 d 处理后,各处理组实验鱼肝脏、肾、肠、鳃、脑等器官组织的 AKP 活力如表 1 所示。 $60, 120 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 锰暴露处理组肝脏的 AKP 活力均比对照组的更低, $60 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 锰暴露处理组肾的 AKP 活力比对照组以及 $30, 120 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 锰暴露处理组的更高;上述比较结果均具有统计学意义($p < 0.05$)。 $30, 60, 120 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 锰暴露处理组肠 AKP 活力比对照组肠 AKP 活力更低,且比较结果均具有统计学意义($p < 0.05$)。不同质量浓度的锰暴露处理组鳃和脑的 AKP 活力与对照组 AKP 活力相比,有关差异均不具有统计学意义。

表 1 还显示了经过 28 d 处理后,各处理组实验鱼肝脏、肾、肠、鳃、脑等器官组织的 ACP 活力。 $30 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 锰暴露处理组肝脏和肾的 ACP 活力较对照组及 $60, 120 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 锰暴露处理组 ACP 活力更高,有关差异具有统计学意义($p < 0.05$)。 $60, 120 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 锰暴露处理组肠 ACP 活力不具有统计学意义上的差异,但均比对照组和 $30 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 锰暴露处理组的肠 ACP 活力更低,与后两者的差异均具有统计学意义($p < 0.05$)。 $120 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 锰暴露处理组鳃 ACP 活力比对照组以及 $30, 60 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 锰暴露处理组 ACP 活力更低,与后三者的差异均具有统计学意义($p < 0.05$)。各个处理组脑 ACP 活力之间的差异均不具有统计学意义。

2.2 对静止代谢率的影响

图 1 显示,随着水体中二价锰离子质量浓度的升高,实验鱼的静止代谢率呈先升高再降低的趋势。 $30, 60 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 锰暴露处理组的静止代谢率分别为 $(116.92 \pm 7.35), (126.52 \pm 6.29) \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$,无统计学意义上的差异;但 $60 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 锰暴露处理组的静止代谢率比对照组以及 $120, 240 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 锰暴露处理组的静止代谢率更高,与后三者的差异均具有统计学意义($p < 0.05$)。 $120, 240 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 锰暴露处理组的静止代谢率分别为 $(92.64 \pm 6.39), (76.13 \pm 7.90) \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$,无统计学意义上的差异;但 $240 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 锰暴露处理组的静止代谢率比对照组的更低,差异具有统计学意义($p < 0.05$)。

表 1 不同锰离子质量浓度暴露下草鱼几种器官组织的 AKP 和 ACP 活力

Tab. 1 Activities of AKP and ACP in several tissues of <i>C. idellus</i> exposed to different mass concentrations of manganese ions			酶活力/(U · mg ⁻¹)			
器官组织	酶	统计量	对照	30 mg · L ⁻¹ 锰暴露处理	60 mg · L ⁻¹ 锰暴露处理	120 mg · L ⁻¹ 锰暴露处理
肝脏	AKP	$F=5.870, p=0.006$	5.67±0.50 ^a	4.91±0.57 ^{ab}	3.80±0.40 ^{bc}	3.15±0.43 ^c
	ACP	$F=15.278, p<0.001$	116.92±12.94 ^a	175.41±12.32 ^b	103.10±6.08 ^a	96.42±6.07 ^a
肾	AKP	$F=5.502, p=0.007$	166.12±17.27 ^a	209.15±26.67 ^a	293.95±31.98 ^b	215.19±7.83 ^a
	ACP	$F=3.005, p=0.061$	367.51±28.45 ^a	586.51±12.56 ^b	354.51±29.08 ^a	331.74±31.50 ^a
肠	AKP	$F=81.160, p<0.001$	310.93±23.35 ^a	226.20±11.71 ^b	156.46±24.28 ^c	132.17±11.37 ^c
	ACP	$F=15.562, p=0.001$	476.84±36.98 ^a	373.26±33.25 ^b	274.11±14.32 ^c	221.18±26.10 ^c
鳃	AKP	$F=1.381, p=0.279$	72.67±6.06 ^a	64.54±7.51 ^a	74.50±3.69 ^a	80.81±5.31 ^a
	ACP	$F=3.415, p=0.040$	462.17±7.23 ^a	464.12±14.37 ^a	460.34±24.70 ^a	319.08±30.99 ^b
脑	AKP	$F=0.989, p=0.422$	90.22±11.20 ^a	101.71±8.69 ^a	113.63±13.99 ^a	95.53±4.29 ^a
	ACP	$F=0.232, p=0.873$	184.79±13.10 ^a	157.77±20.82 ^a	181.93±33.46 ^a	177.91±12.95 ^a

注:上标字母不同表示不同处理组的某一组织内同一种酶活力之间差异具有统计学意义($p<0.05$)。

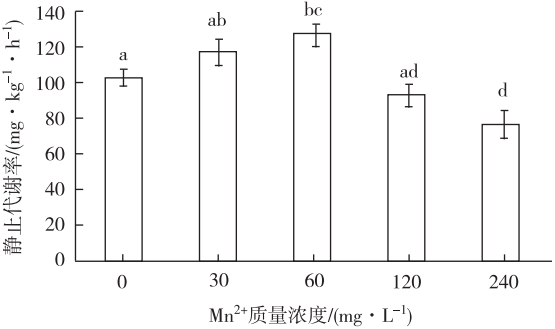
3 讨论

AKP 对鱼类的消化和吸收及生长具有重要的调控作用,是生长发育的重要酶类之一^[10];此外,动物体内转运营营养物质和解毒的过程都需要依赖 AKP^[11]。研究表明,在低剂量的六价铬暴露下,鱼体为维持钙磷平衡将会产生更多的 AKP^[12]。ACP 则在动物的消化和代谢过程起重要作用^[13]。当动物体内缺少锰元素时,醛缩酶、磷酸化酶等酶的活力会降低。研究表明,当饲料中锰含量不足时,虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)和鲤(*Cyprinus carpio*)会出现生长缓慢、尾部骨骼畸形、身体短小等状况^[14]。还有资料显示,不含锰的草鱼血浆 AKP 活力比含锰草鱼血浆 AKP 活力更高^[15],提示锰对鱼体内的 AKP 活力可能具有抑制作用。这与一些研究提出的观点即锰缺乏时最明显的特点是骨骼的生长会出现异常^[16]相互佐证。

本研究中,草鱼肝脏的 AKP 活力随水体中二价锰离子质量浓度的升高呈下降趋势,且 60,120 mg · L⁻¹ 锰暴露处理组这一指标与对照组的相比出现了统计学意义上的差异

($p<0.05$)。这与孔祥会等人^[17]研究汞暴露对草鱼组织中 AKP 活力的影响所得结果近似,均提示了当鱼类受到重金属的影响时肝脏 AKP 活力可能会出现下降。同时本研究结果也说明,在面对高质量浓度的二价锰离子胁迫时,草鱼肝脏本身的解毒能力有限,从而导致肝脏 AKP 活力被抑制。此外,当水体中二价锰离子质量浓度升高时,草鱼肝脏 ACP 活力呈现先升高再下降的变化趋势,提示草鱼肝脏 ACP 活力会受到一定低质量浓度二价锰离子的诱导作用而上升。

本研究结果表明,随水中二价锰离子质量浓度上升,实验鱼的肾 AKP,ACP 活力均呈现先升高再下降的变化趋势。这是动物对毒物反应特征的一种重要形式——抛物线形式。抛物线的顶点表示这种生物对该污染物毒性反应的最大值^[18]。二价锰离子质量浓度在一定范围内升高,肾内的金属硫蛋白可能会增加^[19],这使草鱼肾的排泄及免疫作用不断增强,代谢活跃,肾 AKP,ACP 的活力增加。此外,本研究发现实验鱼的肾 AKP 活力普遍高于肝脏等其他器官组织;结合 Cvancara 等人^[20]研究得到的 8 种硬骨鱼类的各器官组织 AKP 活力变化结果来看,本研究结果也提示鱼类肾 AKP 活力可能普遍高于鱼类其他器官组织中的 AKP 活力。



注:不同字母表示组间数据差异具有统计学意义($p<0.05$)。

图 1 水体锰暴露对草鱼静息代谢率的影响

Fig. 1 Effects of the water-borne manganese exposure on resting metabolic rate of *C. idellus*

鱼类的肠道在对摄入食物中的营养物质进行消化吸收时,不易降解的重金属等污染物也随之被肠道吸收并且积累其中,所以鱼类的肠道也是积累重金属的一个重要部位^[21]。鱼类的肠道 AKP,ACP 分布较多^[22]。本研究结果显示:随着二价锰离子质量浓度的升高,实验鱼肠 AKP,ACP 活力均逐渐降低;并且 4 个不同质量浓度的锰暴露处理组的这两项指标均比对照组的更低,且与后者差异具有统计学意义($p < 0.05$)。这一结果与贾秀英等人^[23]研究镉对鲤的肠磷酸酶活力的影响和詹付凤等人^[18]研究镉对鲫(*Carassius auratus*)的肠磷酸酶活力的影响的结果相同。

多种重金属会通过鱼类的鳃呼吸活动进入鱼体内^[24]。本研究中,实验鱼的鳃 AKP 活力随二价锰离子质量浓度上升没有出现统计学意义上的变化;实验鱼的鳃 ACP 活力在较低质量浓度二价锰离子暴露处理时也没有明显变化,仅在二价锰离子质量浓度较高时($120 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$)才出现具有统计学意义的下降($p < 0.05$),这与高举等人^[13]研究的铅对鲫的鳃 AKP,ACP 活力的影响结果较为一致,可以说明草鱼鳃 AKP,ACP 活力对锰的影响不敏感,或与草鱼鳃的特殊结构和生理机能相关。

在不同二价锰离子质量浓度暴露下,实验鱼的脑 AKP,ACP 活力均没有出现统计学意义上的变化。这提示脑组织中的这两种酶对水体锰暴露不敏感,其中原因可能是因为脑组织具有更强的屏障作用,对二价锰离子的蓄积能力比较低,所以没有引起脑 AKP,ACP 活力发生明显变化。

静止代谢率是指鱼类在静止并且处于饥饿状态时的代谢率,有研究用静止代谢率的变化来判断污染物对鱼的影响程度^[25]。当鱼类暴露在重金属水环境中,需要损伤修复以及毒物净化,这些过程都需要额外的能量消耗,所以鱼体的代谢水平会有所提高以适应这些生理需求^[26]。有研究表明,鲤幼鱼受镉的胁迫 14 d 后,静止代谢率明显升高^[27]。呆头鲃(*Pimephales promelas*)在遭受铅暴露时,静止代谢率有所升高^[25]。随着镉质量浓度的升高,草鱼和金体美鳊(*Notemigonus crysoleucas*)的静止代谢率也逐渐升高^[28-29]。本研究中,随着二价锰离子质量浓度的升高,实验鱼的静止代谢率也逐渐升高。但随着二价锰离子质量浓度的进一步升高(大于 $60 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$),高质量浓度的二价锰离子可能对鱼体造成了损伤,使鱼体相关功能受损,从而不能再对锰胁迫做出更大的生理调节反应——此时实验鱼的静止代谢率反而出现下降趋势。有研究表明,随着水体中镉和铜质量浓度的上升呆头鲃的静止代谢率出现下降趋势^[25]。此外,暴露在铅中的中华倒刺鲃(*Spinibarbus sinensis*)和胭脂鱼(*Myxocyprinus asiaticus*)随着铅质量浓度的升高,静止代谢率也出现下降趋势^[30-31]。

综上所述,二价锰离子对草鱼不同器官组织的 AKP,ACP 活力有不同的影响。其中,草鱼肾、肠和肝脏对二价锰离子相对较为敏感,这可能是因为草鱼的不同器官组织由于具有不同的生理功能,也有可能是不同的器官组织对二价锰离子的富集程度有差异,因而对二价锰离子的敏感度会有所不同。此外,在一定质量浓度范围的水体锰暴露下,草鱼静止代谢率出现相应的升高以满足机体解毒时额外的能量需求;而高质量浓度的锰暴露则可对鱼体造成损伤并引起静止代谢率下降。

参考文献:

- [1] 魏万权,李爱杰,李德尚. 牙鲈幼鱼饲料中锰、钴适宜添加量的初步研究[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版),2001,20(s1):83-87.
WEI W Q, LI A J, LI D S. Preliminary studies on optimal supplement of manganese and cobalt in the diet for young founder, *Paralichthys olivaceus* [J]. Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science), 2001, 20(s1): 83-87.
- [2] KNOX D, COWEY C B, ADRON J W. The effect of low dietary manganese intake on rainbow trout (*Salmo gairdneri*) [J]. British Journal of Nutrition, 1981, 46(3): 495-501.
- [3] 孙伟. 职业性接触锰作业工人健康危害及相关影响因素分析[D]. 银川: 宁夏医科大学, 2014.
SUN W. Occupational exposure manganese workers' health hazard and its related factors analytics[D]. Yinchuan: Ningxia Medical University, 2014.
- [4] 杨芝英. 重金属对鱼类的危害[J]. 水产科技情报, 1981, 10(3): 22-23.
YANG Z Y. Heavy metal hazards to fish[J]. Fisheries Science & Technology Information, 1981, 10(3): 22-23.
- [5] TÜZEN M. Determination of heavy metals in fish samples of the middle Black Sea (Turkey) by graphite furnace atomic absorption spectrometry[J]. Food Chemistry, 2003, 80(1): 119-123.
- [6] TÜRKMEN M, TÜRKMEN A, TEPE Y, et al. Determination of metals in fish species from Aegean and Mediterranean seas[J]. Food Chemistry, 2009, 113(1): 233-237.
- [7] 刘家寿, 崔奕波, 杨云霞. 体重和摄食水平对鳊和乌鳢身体的生化组成和能值的影响[J]. 水生生物学报, 2000, 24(1):

- 19-24.
- LIU J S, CUI Y B, YANG Y X. Effects of weight and ration level on the body composition and emergy content of *Siniperca chuatsi* and *Channa argus* [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2000, 24(1): 19-24.
- [8] 王孝平, 邢树礼. 考马斯亮蓝法测定蛋白含量的研究[J]. 天津化工, 2009, 23(3): 40-42.
- WANG X P, XING S L. Determination of protein quantitation using the method of coomassie brilliant blue[J]. *Tianjin Chemical Industry*, 2009, 23(3): 40-42.
- [9] XIE X, SUN R. The bioenergetics of the southern catfish (*Silurus meridionalis* Chen). I. resting metabolic rate as a function of body weight and temperature[J]. *Physiological Zoology*, 1990, 63(6): 1181-1195.
- [10] 张辉, 张海莲. 碱性磷酸酶在水产动物中的作用[J]. 河北渔业, 2003(5): 12-13.
- ZHANG H, ZHANG H L. The role of alkaline phosphatase in aquatic animals[J]. *Hebei Fishery*, 2003(5): 12-13.
- [11] 何海琪, 孙凤. 中国对虾酸性和碱性磷酸酶的特性研究[J]. 海洋与湖沼, 1992, 23(5): 555-560.
- HE H Q, SUN F. Studys on the characteristics of acidic and alkaline phosphatase in Chinese shrimp[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1992, 23(5): 555-560.
- [12] 程卫东, 唐婉琴, 张江惠, 等. 水体中铬暴露对斑点叉尾鮰血液生理生化指标的影响[J]. 重庆师范大学学报(自然科学版), 2017(3): 33-37.
- CHENG W D, TANG W Q, ZHANG J H. Effects of exposure to chromium in water on physiological and biochemical indices in blood of *Ictalurus punctatus* [J]. *Journal of Chongqing Normal University (Natural Science)*, 2017(3): 33-37.
- [13] 高举, 赵欣平, 詹付凤, 等. 铅对鲫鱼碱性磷酸酶和酸性磷酸酶活力的影响[J]. 四川动物, 2008, 27(2): 201-204.
- GAO J, ZHAO X P, ZAN F F, et al. Effects of lead on alkaline phosphatase and acid phosphatase in *Carassius auratus* [J]. *Sichuan Journal of Zoology*, 2008, 27(2): 201-204.
- [14] CGINO C, YANG G Y. Requirements of crap and rainbow trout for dietary manganese and copper[J]. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, 1980, 46(4): 455-458.
- [15] 刘希召. 家禽的锰缺乏症[J]. 中国禽业导刊, 2000, 17(20): 43.
- LIU X Z. Manganese deficiency in poultry[J]. *Chinese Journal of Poultry*, 2000, 17(20): 43.
- [16] 王道尊, 赵亮. 一龄草鱼对锰的需要量[J]. 上海海洋大学学报, 1994 (Z1): 34-39.
- WANG D Z, ZHAO L. Requirement of the fingerling grass carp for manganese[J]. *Journal of Shanghai Fisheries University*, 1994 (Z1): 34-39.
- [17] 孔祥会, 刘占才, 郭彦玲. 汞暴露对草鱼器官组织中碱性磷酸酶活力的影响[J]. 中国水产科学, 2007, 14(2): 270-274.
- KONG X H, LIU Z C, GUO Y L. Effects of Hg^{2+} on alkaline phosphatase activity in different organs and tissues of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2007, 14(2): 270-274.
- [18] 詹付凤, 赵欣平. 重金属镉对鲫鱼碱性磷酸酶和酸性磷酸酶活力的影响[J]. 四川动物, 2007, 26(3): 641-643.
- ZAN F F, ZHAO X P. Effects of cadmium on AKP and ACP in *Carassius auratus* [J]. *Sichuan Journal of Zoology*, 2007, 26(3): 641-643.
- [19] 孟紫强. 环境毒理学[M]. 北京: 环境科学出版社, 2002.
- MENG Z Q. *Environmental toxicology* [M]. Beijing: China Environmental Science Press, 2002.
- [20] CVANCARA V A, HUANG W. Tissue alkaline phosphatase activity in selected freshwater teleosts[J]. *Comparative Biochemistry & Physiology B*, 1978, 60(3): 221-224.
- [21] 张征, 何力, 倪朝辉. 三峡库区鱼体组织残毒分析[J]. 吉首大学学报(自然科学版), 2006, 27(1): 101-104.
- ZHANG Z, HE L, NI C H. Analysis of residual pollutants in the fish tissue in the Three Gorges reservoir[J]. *Journal of Jishou University (Natural Science Edition)*, 2006, 27(1): 101-104.
- [22] GOEL K A. Histochemical study of the activity of acid and alkaline phosphatases and lipase in the gastro-intestinal tract of *Cirrhinus mrigala* [J]. *Acta Histochemica*, 1975, 54(1): 48-55.
- [23] 贾秀英, 陈志伟. 镉对鲤鱼磷酸酶活力的影响[J]. 上海环境科学, 1998(6): 40-41.
- JIA X Y, CHEN Z W. Effects of cadmium on phosphatase activity of carp[J]. *Shanghai Environmental Science*, 1998(6): 40-41.
- [24] 蔺玉华, 张冰艳, 卢健民, 等. 鱼体汞的甲基化及其甲基汞的吸收与代谢[J]. 水产学报, 1994, 18(4): 326-329.
- LIN Y H, ZHANG B Y, LU J M, et al. Methylation of mercury and methylmercury metabolism in fish body[J]. *Journal of Fisheries of China*, 1994, 18(4): 326-329.
- [25] MAGER E M, GROSELL M. Effects of acute and chronic waterborne lead exposure on the swimming performance and aerobic scope of fathead minnows (*Pimephales promelas*) [J]. *Comparative Biochemistry & Physiology Part C*, 2011, 154(1): 7-13.
- [26] 彭涛. 水体中铅的浓度对南方鲇的生理生态学影响[D]. 重庆: 西南大学, 2013.
- PENG T. *Ecophysiological effects of the water-bone lead (Pb) concentrations on Southern Catfish* [D]. Chongqing: Southwest University, 2013.

- [27] FERRAR L, EISSA B L, SALIBIAN A. Energy balance of juvenile *Cyprinus carpio* after a short-term exposure to sublethal water-borne cadmium[J]. Fish Physiology and Biochemistry, 2011, 37(4): 853-862.
- [28] ESPINA S, SALIBIAN A, DIAZ F. Influence of cadmium on the respiratory function of the grass carp *Ctenopharyngodon idella* [J]. Water, Air & Soil Pollution, 2000, 119(1): 1-10.
- [29] PELES J D, PISTOLE D H, MOFFE M. Influence of Cadmium concentration and length of exposure on metabolic rate and gill Na^+/K^+ ATPase activity of golden shiners (*Notemigonus crysoleucas*) [J]. Comparative Biochemistry & Physiology Part C, 2012, 156(1): 24-28.
- [30] 岳南南. 水体铅暴露对中华倒刺鲃能量收支的影响[D]. 重庆: 西南大学, 2014.
- YUE N N. Effects of the water-borne lead (Pb) on energy budget of *Spinibarbus sinensis* [D]. Chongqing: Southwest University, 2014.
- [31] 邓冬富. 水体中铅的浓度对胭脂鱼的生理生态学影响[D]. 重庆: 西南大学, 2012.
- DENG D F. Ecophysiological effects of the water-borne lead (Pb) concentrations on rouge fish [D]. Chongqing: Southwest University, 2012.

Animal Sciences

Effects of the Water-Borne Manganese on Alkaline Phosphatase, Acid Phosphatase and Resting Metabolic Rate of *Ctenopharyngodon idellus*

TANG Wanqin, ZHANG Jianghui, YUAN Lunqiang

(Key Laboratory of Freshwater Fish Reproduction and Development of Ministry of Education, Southwest University, Chongqing 400715, China)

Abstract: [Purposes] To study the effects of the water-borne manganese exposure on alkaline phosphatase (AKP), acid phosphatase (ACP) activity and resting metabolic rate in *Ctenopharyngodon idellus*. [Methods] *Ctenopharyngodon idellus* were exposed to water bodies with different concentration of manganese (0, 30, 60, 120, 240 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) for 28 days, the resting metabolic rate and AKP, ACP activity in the liver, kidney, intestine, gill, brain tissue of experimental fish in each exposure group was measured. [Findings] 1) The AKP activity in the liver of 60, 120 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ manganese exposure group was lower than that of the control group. The AKP activity in the kidney of 60 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ manganese exposure group was higher than that of the control group. The AKP activity in the intestine of each manganese exposure group was lower than that of the control group; the above differences were statistically significant ($p < 0.05$). 2) The ACP activity in the liver of 30 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ manganese exposure group was higher than that of the control group. The ACP activity in the intestine of each exposure group was lower than that of the control group. The ACP activity in the gill of 120 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ manganese exposure group was lower than that of the control group; the above differences were statistically significant ($p < 0.05$). 3) The resting metabolic rate of 60 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ manganese exposure group was higher than that of the control group and 120, 240 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ manganese exposure group, and the difference was statistically significant ($p < 0.05$). [Conclusions] The AKP and ACP activity in the liver, kidney and intestine of *C. idellus* were relatively sensitive to manganese exposure. In a certain range of concentration of water body manganese exposure, the resting metabolic rate of *C. idellus* increased accordingly to meet the additional energy requirements for detoxification of the body, but high-quality concentrations of manganese exposure can cause damage to the fish and cause a decline in resting metabolic rate.

Keywords: manganese; *Ctenopharyngodon idellus*; alkaline phosphatase; acid phosphatase; resting metabolic rate

(责任编辑 方 兴)