

汞离子及铬离子对黄鳝脾免疫细胞的影响

谢嘉华 袁建军*

(泉州师范学院化学与生命科学学院 泉州 362000)

摘要:采用毒性实验方法,用不同浓度的汞离子(Hg^{2+})、铬离子(Cr^{6+})分别处理黄鳝(*Monopterus albus*),经1、2、4、8 d后,通过光镜观察黄鳝脾组织结构及免疫细胞数量的变化。结果表明,对照组黄鳝脾被膜较薄,未见明显的小梁,实质由红髓和白髓构成。白髓中淋巴细胞聚集成群,未见明显脾小结,但可见动脉周围淋巴鞘。红髓由脾索与脾窦组成。脾中有椭圆体,其末端向脾髓开放。黑色素巨噬细胞中心形成。经两种重金属离子分别染毒后的黄鳝脾与对照组相比,组织结构表现出相似的变化,即随着重金属离子浓度的增加和染毒时间的延长,脾组织中的黑色素巨噬细胞中心逐渐增大、增多,最后减少;黑色素巨噬细胞先增加后减少。淋巴组织逐渐松散,排列稀疏混乱,淋巴细胞界限逐渐不清晰,呈退化趋势,数量先增加后减少。粒细胞数量的变化趋势与淋巴细胞一致。红血细胞大量破坏,血窦扩张。

关键词:黄鳝;铬离子;汞离子;脾;组织结构

中图分类号:X171.5 文献标识码:A 文章编号:0250-3263(2010)06-113-07

Effects of Hg^{2+} and Cr^{6+} on the Spleen Immune Cells of *Monopterus albus*

XIE Jia-Hua YUAN Jian-Jun*

(School of Chemistry and Life Science, Quanzhou Normal University, Quanzhou 362000, China)

Abstract: The changes of microscopic structures and the number of immune cells of spleen of the Ricefield Eel (*Monopterus albus*) were investigated after the fish were exposed separately to different concentrations of mercury ions (Hg^{2+}) and the Chromium ions (Cr^{6+}) for 1, 2, 4, and 8 days. The results showed that the splenic capsule was very thin and the trabeculae could not be found in the control group. The splenic parenchyma was composed of white pulp and red pulp. The lymphocytes of white pulp aggregated into groups. The splenic nodule could seldom be observed, but periarterial lymphatic sheath could be observed in the spleen. The red pulp was made of splenic cord and splenic sinus. In the spleen, the ellipsoids opened to the white and red pulps. The melano-macrophages gathered to form a centre. Comparing with the control, histological structure of fishes exposed to two kinds of heavy metal ions displayed similar changes. Along with increasing heavy metal ion concentration and lengthening treatment time, melano-macrophage centre gradually increased in the number and distribution, then reduced. The number of melano-macrophages first increased, and then reduced. Lymphatic tissue gradually loosened, and its arrangement was sparse and chaotic. The lymphocyte border was unclear, and its number first increased, and then reduced, showing a degenerative tendency. The change of granulocytes was similar to that of lymphocytes. The red blood cells were massively damaged, and the sinusoid

基金项目 福建省科技厅科技计划项目(No. 2007F5088) 福建省高校服务海西重点建设项目(No. A102);

* 通讯作者, E-mail: yuanjianjun2005@qztc.edu.cn;

第一作者介绍 谢嘉华,女,教授,硕士;研究方向:动物解剖学和生理学的教学与研究;E-mail: xjh921258@tom.com。

收稿日期:2010-04-30,修回日期:2010-09-01

was expanded.

Key words: *Monopterus albus*; Cr^{6+} ; Hg^{2+} ; Spleen; Histological structure

随着工业化的快速发展及城市化程度的不断推进,生态环境污染尤其是水环境污染日趋严重。水体污染物可分为无机类和有机类两大类,主要来自废水排放、径流洗刷及大气沉降。据统计,全世界年废水和污水排放量约 6 000 亿吨,导致水生生物特别是鱼类的生存受到严重威胁。重金属污染,尤其铬离子(Cr^{6+})、汞离子(Hg^{2+})是工业废水中主要的无机类污染物,其对鱼类的毒害作用,已日益受到人们的关注。

鱼类免疫系统是鱼体执行免疫防御功能的机构,包括免疫组织器官、免疫细胞和体液免疫因子三大类。胸腺、头肾、脾和黏膜淋巴组织是鱼类最主要的免疫组织器官^[1],它们是免疫细胞发生、分化、成熟、定居、增殖以及产生免疫应答的场所。免疫细胞则是指参与免疫应答反应或与应答反应相关的细胞,包括淋巴细胞和吞噬细胞(巨噬细胞、各种粒细胞和单核细胞等),它们参与机体的特异性和非特异性免疫反应。由于鱼类是较低等的脊椎动物,特异性免疫机制很不完善,因此,非特异性免疫防御机制作为鱼类抵抗病原的第一道屏障,在鱼类维持机体健康、抗病防御中具有更为重要的作用。黄鳝(*Monopterus albus*)是我国主要名优淡水鱼类之一。迄今为止,有关硬骨鱼类脾的形态结构国内外学者已有一些研究^[2-6],也有对黄鳝脾正常形态结构的描述^[7],但关于黄鳝脾在重金属污染下的毒理变化尚未见报道。本文应用光镜技术对不同浓度的 Hg^{2+} 、 Cr^{6+} 处理前后黄鳝脾形态结构及免疫细胞数量进行比较研究,为进一步了解重金属对鱼类免疫系统的影响提供实验依据。

1 材料与方 法

1.1 实验材料 黄鳝购自泉州新门菜市场,体重(31.17 ± 4.11) g,体长(33.92 ± 2.65) cm。实验前在 90 cm × 60 cm × 45 cm 的塑料水族箱

中暂养 5 d,不投食。实验时挑选外观正常、健康、活泼的个体进行处理。

实验用水为曝气的自来水,pH 6.9 ~ 7.2,用加热器使水温保持在(20 ± 1) °C。氯化汞(HgCl_2 ,分析纯)和重铬酸钾($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$,分析纯)用蒸馏水配成 1 000 mg/L 母液,实验时稀释成所需浓度。

1.2 实验方法

1.2.1 急性毒性实验 正式实验前先进行预实验,采用静水法,不投食。实验持续 96 h,每 48 h 换实验液一次,每次换 1/3,并及时清除死鱼。根据预实验,求出 Cr^{6+} 对黄鳝全部致死的最低浓度为 $\text{LC}_{100} = 100$ mg/L,全部存活的最大浓度为 $\text{LC}_0 = 30$ mg/L; Hg^{2+} 对黄鳝全部致死的最低浓度为 $\text{LC}_{100} = 1.8$ mg/L,全部存活的最大浓度为 $\text{LC}_0 = 0.3$ mg/L。

按照急性毒性实验方法^[8],根据预实验的结果,正式实验的浓度按等对数间距设置, Cr^{6+} 污染组的浓度为 0 mg/L(对照组)、30.00 mg/L、41.00 mg/L、55.00 mg/L、74.00 mg/L、100.00 mg/L; Hg^{2+} 污染组的浓度为 0 mg/L(对照组)、0.30 mg/L、0.47 mg/L、0.74 mg/L、1.16 mg/L、1.80 mg/L,各设置 2 个平行组。实验时每组随机放鱼 6 尾,实验药液体积为 10 L。连续观察 96 h,记录实验鱼的中毒症状、死亡时间、死亡数量。

采用寇氏法(Karber 法)^[9]计算半致死浓度(LC_{50}),求得 96 h 汞 $\text{LC}_{50} = 0.75$ mg/L,铬 $\text{LC}_{50} = 60$ mg/L。由此得出 Cr^{6+} 对黄鳝的急性毒性属于高毒, Hg^{2+} 对黄鳝的急性毒性属于剧毒^[10]。

1.2.2 慢性毒性实验 根据 96 h LC_{50} 确定正式染毒实验的 Cr^{6+} 浓度分别为 0 mg/L、12 mg/L、16 mg/L、20 mg/L; Hg^{2+} 浓度分别为 0 mg/L、0.15 mg/L、0.20 mg/L、0.25 mg/L。每组放鱼 5 尾,实验共进行 8 d,分别于暴露开始后 0、1、2、4、8 d 取材。

1.2.3 观察及数据处理 黄鳝断头处死,迅速

解剖,取出脾,用 Bouin 液固定,常规石蜡切片,切片厚 6~8 μm ,H. E 染色,Olympus 显微镜观察细胞形态,Olympus IX51 显微摄影。同时对每个组的免疫细胞分布密度进行统计。计数方法是:在显微镜下每组每尾鱼选取形态清晰、染色较好的 3 张切片,每张切片再根据整体细胞分布情况随机取 3 个视野,使用目测微尺量度。在 600 倍 0.006 4 mm^2 的视野(一个正方形视野中,边长为 0.08 mm)下计数出各类免疫细胞个数。所有数据用 *t*-检验方法检测其差异显著性。

2 结果

2.1 对照组黄鳍脾的组织结构 黄鳍正常脾组织结构分为脾膜和脾髓。脾膜(被膜)由扁平上皮组织和薄层结缔组织组成,脾髓(脾实质)由红髓与白髓构成。红髓比例远大于白髓,由大量红细胞、淋巴细胞、粒细胞等聚集成团索状的脾索,脾索之间为脾窦。白髓通常为较为密集的淋巴细胞聚集而成,可见形状不规则,类似淋巴小结的结构,但没有明显的生发中心。中央动脉周围也有一定量淋巴细胞聚集(图版 I:1)形成动脉周围淋巴鞘。可以看到中央动脉的分支末端开放于脾索。椭圆体较大而明显,位于脾髓中,与脾髓相通。其周围常有较多的淋巴细胞密集,椭圆体与淋巴组织区分明显(图版 I:2)。黑色素巨噬细胞多数已开始聚集成群,形成黑色素巨噬细胞中心,位于椭圆体和血管附近,周围也常有淋巴细胞聚集(图版 I:3)。

2.2 重金属对黄鳍脾组织结构的影响 为叙述方便,将两种重金属各分为低(12 mg/L Cr^{6+} 、0.15 mg/L Hg^{2+})、中(16 mg/L Cr^{6+} 、0.20 mg/L Hg^{2+})、高(20 mg/L Cr^{6+} 、0.25 mg/L Hg^{2+})3 个浓度组进行比较。随着 Cr^{6+} 、 Hg^{2+} 离子浓度的增加和染毒时间的延长,黄鳍脾的组织结构表现出较为明显的时间和剂量累积效应。

2.2.1 染毒 1 d 的黄鳍脾组织结构 在 Cr^{6+} 染毒组,与对照组相比,低、中浓度组所有黄鳍脾的组织结构变化不大,组织致密,黑色素巨噬

细胞中心逐渐增多变大,颜色也逐渐由淡黄色变为黄棕色。到高浓度组,可见染成淡黄色、多突起的巨噬细胞向红细胞中迁移。

在 Hg^{2+} 染毒组,组织结构与 Cr^{6+} 染毒组类似,低浓度组中已可见巨噬细胞向红细胞中迁移的现象。由中浓度组到高浓度组,黄鳍脾小部分区域内的红细胞胞质中出现淡黄色颗粒并逐渐过渡为黄棕色颗粒。

2.2.2 染毒 2 d 的黄鳍脾组织结构 在 Cr^{6+} 染毒组,黄鳍脾组织中淋巴细胞和粒细胞仍大量增殖。由低浓度组到高浓度组,黑色素巨噬细胞中心呈现逐渐增多又逐渐变少的趋势。巨噬细胞继续迁移入红细胞中,胞质中出现黄棕色颗粒的红细胞面积逐渐扩大。

在 Hg^{2+} 染毒组,黑色素巨噬细胞中心继续增多,颗粒颜色也不断加深,在中、高浓度组均可见到较大面积的红细胞黄棕色区域。到高浓度组,淋巴组织开始松散,出现了小范围的淋巴细胞退化区(图版 I:4)。

2.2.3 染毒 4 d 的黄鳍脾组织结构 在 Cr^{6+} 染毒组,黑色素巨噬细胞中心开始减少、减小。有的个体可见结缔组织被膜增厚并伸入脾实质中(图版 I:5),淋巴组织分布区域相对缩小,出现了淋巴细胞退化区。红细胞受破坏的面积仍在增加,现象更明显。红细胞界限逐渐模糊,胞质中充满了棕黑色的颗粒(图版 I:5)。

Hg^{2+} 染毒组的变化与 Cr^{6+} 染毒组相似,红细胞与淋巴细胞大量破坏,黑色素巨噬细胞中心减少、减小。且随着浓度的增高,病变范围和程度也逐渐扩大加重。

2.2.4 染毒 8 d 的黄鳍脾组织结构变化 此时 Cr^{6+} 染毒组和 Hg^{2+} 染毒组的黄鳍脾组织结构与染毒 4 d 后的变化大体一致,只是范围更广,程度更重。黑色素巨噬细胞中心明显减少,椭圆体也出现退化解体现象(图版 I:6)。

2.3 脾免疫细胞分布密度 脾各种免疫细胞的分布密度见表 1、表 2。由表中可以看出,随着染毒时间的延长和染毒浓度的增加,淋巴细胞、粒细胞和黑色素巨噬细胞在单位面积内的数量,先增加后减少。

表 1 Cr⁶⁺ 染毒黄鳝脾免疫细胞的分布密度 (细胞数/0.02 mm²)
Table 1 The distribution density of immune cells in the spleen of the Cr⁶⁺ challenged Ricefield Eel (Cells/0.02 mm²)

染毒天数 (d) Treatment time	染毒浓度 (mg/L) Treatment concentration	淋巴细胞 Lymphocytes	粒细胞 Granulocytes	黑色素巨噬细胞 Melano-macrophages
1	0	62.80 ± 1.64	7.60 ± 1.52	6.00 ± 0.71
	12	72.20 ± 2.17 **	13.80 ± 2.28 **	10.20 ± 1.64 **
	16	74.20 ± 1.48 **	15.60 ± 1.67 **	12.00 ± 3.00 **
	20	75.80 ± 1.48 **	15.00 ± 1.58 **	12.60 ± 3.69 **
2	0	63.20 ± 2.17	8.00 ± 1.58	7.20 ± 1.79
	12	78.60 ± 1.95 **	16.00 ± 2.24 **	15.00 ± 3.08 **
	16	81.60 ± 2.07 **	15.40 ± 1.52 **	12.00 ± 3.00 *
	20	81.00 ± 2.35 **	16.40 ± 1.67 **	9.80 ± 1.64 *
4	0	63.80 ± 0.84	8.80 ± 1.64	6.40 ± 1.52
	12	72.80 ± 2.17 **	12.60 ± 1.95 *	12.80 ± 3.06 **
	16	69.40 ± 3.44 **	13.20 ± 1.79 **	11.20 ± 1.15 **
	20	66.60 ± 1.67 *	10.00 ± 1.00	9.60 ± 2.15 *
8	0	64.40 ± 1.67	8.40 ± 2.07	6.80 ± 2.59
	12	61.40 ± 3.05	8.40 ± 1.14	9.00 ± 1.10
	16	58.20 ± 2.68 **	8.00 ± 1.58	8.80 ± 2.49
	20	56.60 ± 2.97 **	7.20 ± 0.84	8.20 ± 1.64

* 表示处理组与对照组之间差异显著 $P < 0.05$; **表示处理组与对照组之间差异极显著 $P < 0.01$ 。

* Represents significant difference ($P < 0.05$); ** Represents remarkably significant difference ($P < 0.01$).

表 2 Hg²⁺ 染毒黄鳝脾免疫细胞的分布密度 (细胞数/0.02 mm²)
Table 2 The distribution density of immune cells in the spleen of the Hg²⁺ challenged Ricefield Eel (Cells/0.02 mm²)

染毒天数 (d) Treatment time	染毒浓度 (mg/L) Treatment concentration	淋巴细胞 Lymphocytes	粒细胞 Granulocytes	黑色素巨噬细胞 Melano-macrophages
1	0	62.80 ± 1.64	7.60 ± 1.52	6.00 ± 0.71
	0.15	66.20 ± 1.48 **	11.80 ± 1.48 **	11.00 ± 1.58 **
	0.20	68.80 ± 1.10 **	14.00 ± 1.58 **	11.60 ± 2.19 **
	0.25	69.00 ± 3.74 **	14.20 ± 0.84 **	12.80 ± 2.95 **
2	0	63.20 ± 2.17	8.00 ± 1.58	7.20 ± 1.79
	0.15	75.00 ± 1.87 **	13.60 ± 2.30 **	12.60 ± 2.19 **
	0.20	73.00 ± 2.00 **	15.40 ± 3.85 **	13.20 ± 2.86 **
	0.25	67.80 ± 2.39 *	14.40 ± 2.30 **	11.80 ± 1.64 **
4	0	63.80 ± 0.84	8.80 ± 1.64	6.40 ± 1.52
	0.15	70.40 ± 2.61 **	13.40 ± 1.82 **	12.00 ± 1.58 **
	0.20	67.80 ± 2.59 *	12.80 ± 3.03 *	11.40 ± 2.19 **
	0.25	64.00 ± 2.55	11.40 ± 2.41	9.60 ± 1.82 *
8	0	64.40 ± 1.67	8.40 ± 2.07	6.80 ± 2.59
	0.15	58.80 ± 1.92 **	9.40 ± 1.14	10.00 ± 1.41 *
	0.20	56.20 ± 2.49 **	9.00 ± 1.87	9.60 ± 1.52
	0.25	52.60 ± 2.30 **	7.80 ± 2.28	7.80 ± 1.64

* 表示处理组与对照组之间差异显著 $P < 0.05$; **表示处理组与对照组之间差异极显著 $P < 0.01$ 。

* Represents significant difference ($P < 0.05$); ** Represents remarkably significant difference ($P < 0.01$).

3 讨 论

水环境中的重金属污染可造成黄鳝免疫障碍,这在黄鳝免疫器官头肾中已得到证实^[11]。关于重金属对脾的影响,Arunkumar 等^[12]的研究表明:三价铬和六价铬这两种形式的铬均造成脾细胞数量和血淋巴细胞百分比减少。Farag 等^[13]证实铬会引起多个器官包括脾显微结构的改变,而这种改变提供了细胞死亡开始的证据,这可能与细胞程序死亡有关。本研究结果也证明,随着重金属污染物毒性增大,污染浓度增加,污染时间延长,脾组织中的淋巴细胞、粒细胞和黑色素巨噬细胞数量均显著减少,此时,脾结构和功能被破坏,鱼类健康受到严重损害。由此可见,重金属离子引起水生动物免疫机能的改变是显而易见的。

钾离子和氯离子在维持鱼体细胞内外的渗透压平衡,维持体液的酸碱平衡并在神经刺激传导中起重要作用。钾离子还参与维持神经肌肉的应激性。淡水鱼类由于体液的高渗性,不断有离子渗出到水环境中^[14]。因此,水体中 K^+ 浓度的改变直接影响鱼类与水环境之间的渗透压和离子平衡。根据来琦芳等^[15]对中国明对虾 (*Fenneropenaeus chinensis*) 幼虾的研究,水体中钾离子浓度高到一定程度时才会对水生生物产生毒性作用并影响其生存。在本实验钾离子浓度范围内,钾离子对鱼体的毒性作用较弱,故重铬酸钾的毒性主要来自铬离子。

鱼类脾中的吞噬细胞主要是粒细胞和巨噬细胞,嗜中性粒细胞是硬骨鱼类中最主要的粒细胞,具有吞噬作用和呼吸爆发作用,通过吞噬作用破坏异物,其溶酶体中含有的水解酶对大多数微生物是致死性的。而呼吸爆发能够产生高度反应性的氧化代谢产物,这些氧化代谢产物对微生物有很大毒性^[16]。黑色素巨噬细胞具有清除血液中可溶的或颗粒状物质的作用^[17]。黑色素巨噬细胞常集结形成黑色素巨噬细胞中心,金属影响巨噬细胞聚集的数量^[18]。陆家长等^[19]的研究也证实了铬可直接影响血液中吞

噬细胞、中性粒细胞和巨噬细胞的吞噬能力,并降低血清中溶菌酶活力。因此,可以认为,当重金属离子进入机体时,吞噬细胞总是最先与其接触,并加以清除,在清除过程中,吞噬细胞由于重金属的毒性作用而发生损伤,活性受到抑制,数量减少,从而损害鱼类非特异性免疫功能。

淋巴细胞是脾中数量最多的细胞,主要参与机体的特异性免疫反应。研究表明,粒细胞、黑色素巨噬细胞和淋巴细胞之间存在着密切的关系。当粒细胞和巨噬细胞数量增加时淋巴细胞数量减少,同时红细胞退化增加^[20]。本研究结果显示,粒细胞、黑色素巨噬细胞和淋巴细胞的数量基本呈现相同的变化趋势,而红细胞则伴随着巨噬细胞的增加而破坏加剧。推测这种差异的存在可能与环境污染物种类、污染浓度和污染时间有关。

总之,随着污染浓度和污染时间的增加,免疫细胞的数量迅速减少,反映了鱼类的特异性和非特异性免疫功能均遭到破坏。与此同时,椭圆体被破坏,红细胞大量解体,脾的造血、滤血功能也大大削弱。

参 考 文 献

- [1] Press C M, Evensen O. The morphology of the immune system in teleost fishes. *Fish & Shellfish Immunology*, 1999, 9: 309 - 318.
- [2] Espenes A, Press C M, Dannevig B H, et al. Investigation of the structural and functional features of splenic ellipsoids in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Cell Tissue Research*, 1995, 279: 469 - 474.
- [3] Fishelson L. Cytomorphological alterations of the thymus, spleen, head-kidney, and liver in cardinal fish (*Apogonidae*, *Teleostei*) as bioindicators of stress. *Journal of Morphology* 2006, 267: 57 - 69.
- [4] 胡成钰, 洪一江, 王军花, 等. 植物血凝素对兴国红鲤头肾和脾的比较组织学研究. *水生生物学报*, 2002, 26(5): 489 - 492.
- [5] 郭琼林, 卢全章. 鳊鱼肝脏、脾脏显微与超微结构. *动物学报*, 1994, 40(2): 125 - 130.
- [6] 李长玲, 曹伏君, 刘楚吾, 等. 花尾胡椒鲷脾脏和头肾显微结构的观察. *海洋通报*, 2002, 21(2): 30 - 36.

- [7] 张训蒲,熊传喜,黎会平. 黄鳝造血组织的组织学观察. 华中农业大学学报, 1993, 12(3): 285-288.
- [8] 周永欣,章宗涉. 水生生物毒性实验方法. 北京:农业出版社, 1989, 36-44.
- [9] 王心如. 毒理学实验方法与技术. 北京:人民卫生出版社, 2003, 34-51.
- [10] 祝寿芬,裴秋玲. 现代毒理学基础. 北京:中国协和医科大学出版社, 2003, 370-383.
- [11] 罗朝晖,袁建军,黄周英,等. 汞、铬离子对黄鳝头肾脏组织结构的影响. 动物学杂志, 2008, 43(5): 120-127.
- [12] Arunkumar R I, Rajasekaran P, Michael R D. Differential effect of chromium compounds on the immune response of the African mouth breeder *Oreochromis mossambicus* (Peters). *Fish & Shellfish Immunology*, 2000, 10: 667-676.
- [13] Farag A M, May T, Marty G D, et al. The effect of chronic chromium exposure on the health of Chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*). *Aquatic Toxicology*, 2006, 76: 246-257.
- [14] 林浩然. 鱼类生理学. 广州:广东高等教育出版社, 1999, 28-30.
- [15] 来琦芳,王慧,房文红. 水环境中 K^+ 、 Ca^{2+} 对中国明对虾幼虾生存的影响. *生态学杂志*, 2007, 26(9): 1359-1363.
- [16] 刘洪伟,印明昊,张峰. 重金属污染对水生动物免疫毒性的研究进展. *中国水产*, 2005, (1): 76-79.
- [17] 张耀光,罗泉笙,钟明超. 长吻鮠肾脏黑色素巨噬细胞发育过程的超微结构变化. *水生生物学报*, 1997, 21(2): 187-189.
- [18] Manera M, Serra R, Isani G, et al. Macrophage aggregates in gilthead sea bream fed copper, iron and zinc enriched diets. *Journal of Fish Biology*, 2000, 57: 457-465.
- [19] 陆家长,瞿建宏,胡庚东. 铬对鲤非特异性免疫功能的影响. *浙江海洋学院学报*, 2002, 21(1): 13-15.
- [20] Agius C, Roberts R J. Melano-macrophage centres and their role in fish pathology. *Journal of Fish Diseases*, 2003, 26: 499-509.

图 版 说 明

黄鳝脾正常与病理组织的显微图像

1. 脾实质: * 示动脉周围淋巴鞘, ↑ 示中央动脉末端向脾髓的开口 × 800; 2. 脾实质: ↑ 示椭圆体, * 示淋巴组织 × 800; 3. 脾实质: ↑ 示黑色素巨噬细胞中心, ⤴ 示椭圆体, * 示淋巴组织 × 200; 4. 染毒 2 d 高浓度 Hg^{2+} 组: * 示淋巴细胞退化区 × 800; 5. 染毒 4 d 高浓度 Cr^{6+} 组: 示结缔组织(↑)增生并向脾实质内侵入, ⤴ 示红细胞破坏区 × 200; 6. 染毒 8 d 高浓度 Hg^{2+} 组: 示椭圆体(↑)破坏解体 × 800。

Explanation of Plate

Microscopic figure of the spleen of Ricefield Eel

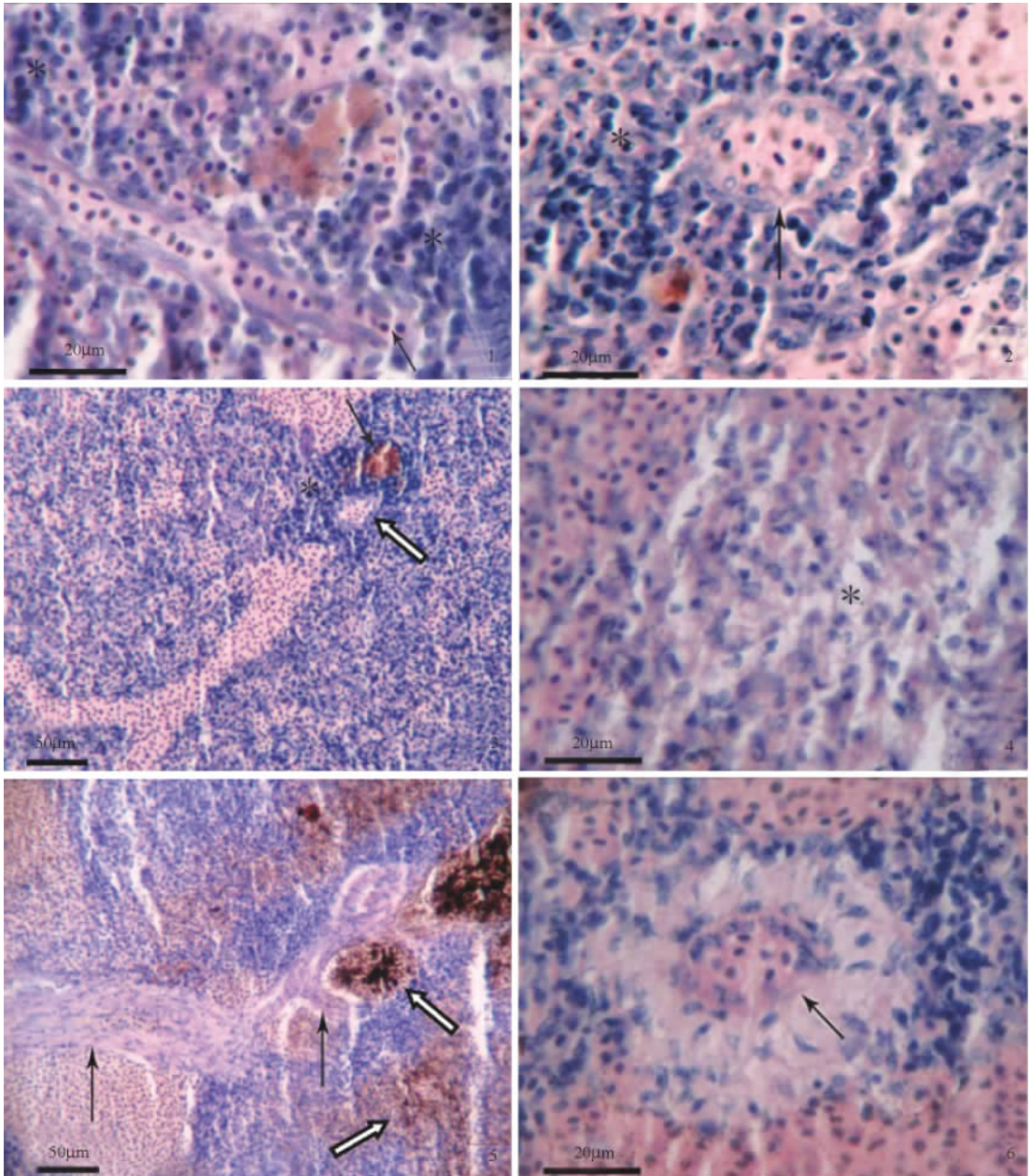
1. Spleen parenchyma, * showing periarterial lymphatic sheath, ↑ showing the terminal parts of splenic artery open into the red pulp × 800; 2. Spleen parenchyma, ↑ showing the ellipsoid, * showing lymphatic tissue × 800; 3. Spleen parenchyma, ↑ showing melano-macrophage centre, ⤴ showing the ellipsoid, * showing lymphatic tissue × 200; 4. Spleen parenchyma exposed to a high concentration of Hg^{2+} (0.25 mg/L) for 2 days, * showing degenerative region of lymphocyte × 800; 5. Spleen parenchyma exposed to a high concentration of Cr^{6+} (20 mg/L) for 4 days, showing hyperplastic connective tissue(↑) invaded spleen parenchyma, ⤴ showing red blood cells destruction region × 200; 6. Spleen parenchyma exposed to a high concentration of Hg^{2+} (0.25 mg/L) for 8 days, showing disintegrating ellipsoid(↑) × 800.

谢嘉华等:汞离子及铬离子对黄鳝脾免疫细胞的影响

图版 I

XIE Jia-Hua *et al.*: Effects of Hg^{2+} and Cr^{6+} on the Spleen Immune Cells of *Monopterus albus*

Plate I



图版说明见文后