

有毒铜绿微囊藻对鱼和蚤的毒性*

何家菀 何振荣 郭琼林

(中国科学院水生生物研究所, 武汉 430072)

提要 用有毒铜绿微囊藻细胞及其从毒细胞中提取的毒素喂养和腹腔注射鱼类, 结果表明: (1) 微囊藻毒素 MCYST-LR 对所有实验过的鱼有毒害作用 (LD_{50} 为 110—500 $\mu\text{g}/\text{kg}$). 注射毒素 24h 后, 鱼肝电镜超微结构观察均表现出肝损伤. (2) 在受控条件下, 当用有毒铜绿微囊藻作为食物喂养白鲢和罗非鱼时, 鱼类能在以毒藻为唯一食物的环境中生活 20d 以上. 白鲢和罗非鱼粪便的毒性比喂食藻类的毒性分别降低约 2—4.5 倍, 其肝的超微结构观察仍有轻度损伤. (3) 在培养液中加入 15 $\mu\text{g}/\text{mL}$ MCYST-LR 和用实验室纯培养的铜绿微囊藻作为食物培养枝角类时, 均可使它们在 48h 死亡. 以无毒微囊藻培养时则生长不良亦不怀卵, 表明它不是枝角类合适的食物.

关键词 铜绿微囊藻 鱼类 蚤 毒性

铜绿微囊藻 *Microcystis aeruginosa* 水华是世界各国湖泊、池塘中分布广, 规模大, 持续时间长的产毒藻类^[1]水华. 这种藻类产生的毒素被称为微囊藻毒素 (Microcystin, MCYST), 结构为小分子环状七肽的微囊藻毒素进入生物体内, 对蛋白磷酸酶 I 和 2A (PPI 和 PP2A) 起抑制作用, 从而被认为是促肝癌剂^[2]. 世界各地曾有饮用毒水华而引起野生动物和家畜中毒, 甚至死亡的报道^[3]. 而我国不少浅水湖泊如武昌东湖、安徽巢湖、江苏太湖等均为饮用及娱乐水体, 每年夏秋季节蓝藻水华大量形成, 研究表明: 其中 80% 的水华是有毒的. 同时, 这些湖泊中有丰富的浮游动物以及以它们为食的鱼类, 那么, 有毒水华藻类及其毒素对水生无脊椎动物、鱼类有无毒害? 的确是一个引起人们关注的问题. 已有报道, 在严重蓝藻水华出现时有引起鱼类肝损伤而死亡的事例发生^[4,5]. 但也有研究指出某些鱼类如鲢鱼、草鱼和罗非鱼对微囊藻毒素有抗性, 并产生某些生理上及行为上的适应使之能与毒藻共存. 这是一个很复杂的生理生态问题, 尚属探索之中. 本文仅就这一问题的某些方面进行了研究, 现将结果报道如下.

1 材料和方法

1.1 微囊藻细胞及毒素的制备

从中国科学院水生生物研究所鱼池, 用 25 号浮游生物网采集形成水华的铜绿微囊藻 (镜检纯度达 90% 左右), 除去有机碎屑和杂物后, 用蒸馏水洗, 接着用 20 目铜筛过滤藻细胞于体积为 60cm × 40cm × 30cm 的白色塑料缸内, 加自来水通气培养 24h, 用 25 号尼龙筛绢网 (孔径为 64 μm) 捞取藻细胞, 经生物测试 (腹腔注射小白鼠), 如有毒, 该微囊藻细胞便作为喂养鱼类

* 国家自然科学基金项目 (编号: 39370151).

收稿日期: 1996-01-04; 收到修改稿日期: 1996-02-05.

作者简介: 何家菀, 女, 1941 年生, 副研究员. 1963 年毕业于西北大学生物学系. 主要从事藻类学及藻类毒素研究. 发表有“东湖铜绿微囊藻毒素的分离与鉴定”等论文 20 余篇.

的有毒藻类。同时,每天用含有大量微型藻类的湖水及不喂食作为对照。将喂食的微囊藻细胞及室内纯培养的毒株(微囊藻 7820)细胞,用丁醇:甲醇:水(5:20:75)进行提取,然后用 Bond Elut C₁₈柱及 Sephadex G₂₅柱分离,获得粗毒素,最后用 HPLC 按文献[1,6]方法进一步纯化,获纯毒素 Microcystin-LR。

1.2 对鱼类的毒性实验

选用鲢鱼 *Hypophthalmichthys molitrix*、草鱼 *Ctenopharyngodon idellus* 和罗非鱼 *Tilapia* sp. 为实验鱼,这三种鱼均为水生所关桥养殖场当年人工繁殖鱼种。将以上鱼种先在室内暂养 3d,选择规格较为一致的实验鱼放入白色塑料缸内停食。用浓度为 0.3mg/kg 的呋喃唑酮洗澡,待鱼肠排空后,作为实验用鱼。

1.2.1 腹腔注射

用不同剂量的纯毒素 MCYST-LR 和从微囊藻 7820 细胞得到的粗毒素从鱼类腹鳍下端注入鱼体。求出半致死剂量 LD₅₀。并用电镜观察鱼类肝脏变化。

1.2.2 喂食实验

(1) 选用体积为 90L,含 60L 水的 6 个玻璃钢圆桶。1、2 号桶各放 10 条鲢鱼(共 200g),3、4 号各放 10 条草鱼(共 200g),5、6 号各放 10 条罗非鱼(共 400g),其中 1、3、5 号为实验桶,2、4、6 号为对照桶。每天上午投喂经以上处理的微囊藻,投喂量参照文献[7],即每升水 0.4—0.8g(干重)(每天喂食前换去桶中的 2/3 的水)。2、4、6 号喂含丰富微型藻的东湖水作对照。

(2) 选用体积为 60cm×40cm×30cm 的白色塑料缸 4 个,加自来水至 2/3 处,每缸放 8 条鱼,每天早上换水,加经前述处理的微囊藻,11:00—12:00 将鱼捞入另一不含藻的缸中,17:00—18:00 和次日晨换水前收集粪便,用显微镜观察粪便中藻类细胞的消化程度。用 UV6000 分光光度计测喂食细胞及粪便的吸收光谱,用生物监测(小白鼠腹腔注射)测粪便的毒性。

1.2.3 鱼肝电镜切片制备

将实验和对照组的鱼肝脏组织切成 1mm³ 左右,先后固定于 2.5%戊二醛溶液(4℃)和 1%锇酸中,丙酮系列脱水,Epon812 包埋。LKB-5 型超薄切片机切片,醋酸铀、柠檬酸铅染色。H-600 型透射电子显微镜观察。

1.3 对大型溞 *Daphnia magna* 的毒性实验

在容量为 500mL 的烧杯中进行。杯中加入经 0.45μm 膜过滤和高压灭菌的湖水 300mL,然后再加入生长良好的大型溞,烧杯置于 25℃ 的恒温培养箱中。光照 800 lx,光/暗周期各 12h,用实验室纯培养的小球藻作为食物,喂养 5—6d 后,将怀卵的雌体至晚上单独转入 200mL 烧杯中,次日晨收集新生的溞作为实验动物。

1.3.1 纯毒素对溞的毒性测定

选上述新生幼体,每 6 个放入 100mL 烧杯中,内含 60mL 过滤、灭菌湖水和小球藻悬液,按上述培养条件培养 5d,将 MCYST-LR 配置成不同浓度(0.1、1.5、15、40、50μg/mL)加入每个烧杯中,每种浓度二个重复,记录死亡个数。求出 LD₅₀。

1.3.2 喂食对溞的毒性测定

选新生幼体,在上述条件下培养 4d,选体长较为一致个体,每 6 个放入 100mL 含新鲜过滤灭菌湖水 60mL 的烧杯中。停食 1d,接着用本实验室培养的铜绿微囊藻 7820 毒株和 8508 无毒株作为食物(用小白鼠腹腔注射检测无毒性),次日投喂换培养液。每种藻设 2 个平行,共做

3 次重复(取平均值). 喂小球藻作为对照组.

2 实验结果

2.1 毒藻及其毒素对鱼的毒性

2.1.1 腹腔注射对鱼的毒性

大量实验结果已证明,微囊藻毒素被认为一种“肝毒素”可使哺乳动物(小白鼠等)肝脏肿大(充血),导致动物失血休克而死亡. 而鱼类特别是鲢鱼和罗非鱼经常生活在含微囊藻水华的水体中,并以它们为食而一般不引起死亡,作者用纯毒素 MCYST-LR 从鱼的腹鳍下端进行腹腔注射,结果列入表 1.

可以看出,微囊藻毒素 MCYST-LR 对三种鱼均有毒害作用. LD_{50} 从 110—500 $\mu\text{g}/\text{kg}$,它比文献[4]中哺乳动物(小白鼠) LD_{50} 60—70 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 要高,说明鱼类对毒素的敏感性比哺乳动物低,其中罗非鱼又比白鲢和草鱼低.

2.1.2 毒藻喂养对鱼的毒性

(1) 鱼类粪便的显微镜观察:由于草鱼不以藻类为食,所以选用白鲢和罗非鱼按前述方法,用较纯的毒微囊细胞作为唯一食物进行喂食. 实验证明,其喂养量是足够的,收集的总粪便重量占总喂食的 1/3 强,用显微镜观察粪便中藻类细胞发现,白鲢对微囊藻的消化能力差,80%左右的完整藻细胞被排出,并且粪便呈绿色;罗非鱼对藻细胞的消化能力强,有 70%左右的细胞被消化吸收,而且粪便呈红褐色. 色素变化的吸收光谱见图 1. 可以看出白鲢粪便与喂食的藻类光吸收峰相近,而罗非鱼的粪便在 670nm 和 620nm 处的叶绿素吸收峰明显降低,并且 440nm 处的叶绿素吸收峰消失,从色素变化表明罗非鱼对微囊藻的消化吸收能力比白鲢强.

(2) 鱼类粪便毒性的测定:按前述方法,喂食 7—8h 以后,收集粪便,放入冰箱反复冰融后(3 次),用生物测试(小白鼠腹腔注射)测定食物和粪便的毒性,结果列入表 2.

表 2 喂食铜绿微囊藻的鱼类(白鲢和罗非鱼)粪便的毒性

Tab. 2 Toxicity of feces from Silver Carp and Tilapia fed with *Microcystis aeruginosa*

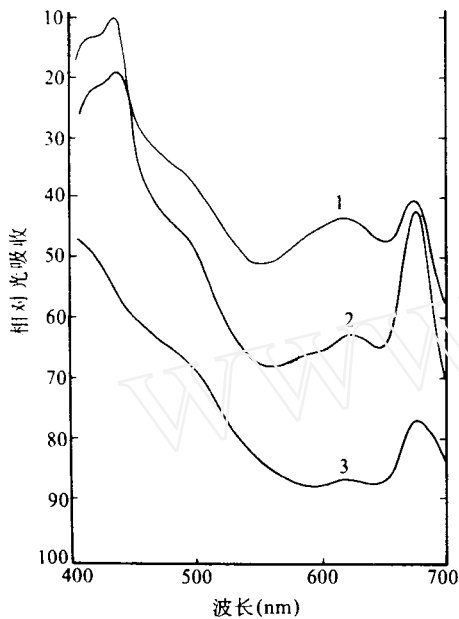
试验日期	鱼种	实验鱼数目	鱼体重量(g)	喂食藻的 LD_{50} (mg/kg)	粪便藻的 LD_{50} (mg/kg)
1993.9.6—9.22	白鲢	8	15—20	275	510
1993.9.6—9.22	白鲢	5	100	123	225
1993.9.6—9.22	罗非鱼	18	65—75	100	450
1994.9.6—9.22	白鲢	8	160	90	178
1994.9.6—9.22	罗非鱼	8	240	90	417

表 1 注射微囊藻毒素 MCYST-LR 对鱼的毒性

Tab. 1 Toxicity of MCYST-LR to fish by injection

鱼种	平均体重(g)	注射剂量 ¹⁾ ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	存活时间(h)	LD_{50} ($\mu\text{g}/\text{kg}$)
草鱼	10—12	65	8	110
		100		
		170		
		300		
白鲢	18—20	150	5	350
		300		
		400		
罗非鱼	32—35	400	20—24	500
		600		
		800		

1) 用 0.1mL 不同浓度的 MCYST-LR 注射每条鱼.



1. 喂食藻类 2. 白鲢粪便 3. 罗非鱼类便

图 1 滤食铜绿微囊藻的鱼类
(白鲢和罗非鱼)粪便的吸收光谱

Fig. 1 Absorption spectra profiles of
the feces of Tilapia and Silver
Carp fed with *M. aeruginosa*

可以看出两种鱼在以较纯微囊藻为唯一食物的水体中可生活 15—20d. 白鲢和罗非鱼粪便藻的毒性比喂食藻的毒性(LD₅₀)分别降低 2 倍和 4.5 倍. 白鲢虽然能滤食大量的微囊藻, 整条肠呈绿色, 但消化能力差, 以致进入体内的毒素, 不能达到引起鱼中毒的剂量. 至于罗非鱼, 是因为消化道酶(呈酸性)分解了部分毒素, 还是鱼体内存在某些抗毒物质, 或在消化吸收过程中毒素构型的变化, 使毒性降低, 使鱼正常生活并能增重, 目前还不得而知, 需作进一步研究.

2. 1. 3 中毒鱼类肝脏超微结构变化

电镜下, 正常鱼肝细胞内含有丰富的细胞器及内含物. 线粒体较多, 呈圆形、卵圆形或长卵圆形, 遍布于胞质内. 嵴间腔基质致密程度不一; 而中毒草鱼、白鲢肝细胞的基质密度较低, 罗非鱼较高. 线粒体嵴清晰可见. 粗面内质网丰富, 多集中在胞核附近, 呈长形扁平囊状. 胞浆内有 2—3 层扁平囊及周围大、小泡结构组成的高尔基复合体. 溶酶体圆形、数量少. 糖原丰富, 其颗粒色较深、较大, 常聚集排列成星状或雪花片状, 与散布于胞质中较小、排列无规律的游离核糖体区别明显. 脂滴较大、圆形、色淡均匀、数量不定. 相比较而言, 罗非鱼肝细胞胞质电子密度较低, 细胞器背景较清晰(图版 1:2). 胞核类圆形或卵圆形, 核膜清晰, 异染色质常聚集于核周形成明显的核带. 核质均匀. 罗非鱼较草鱼、白鲢肝细胞

核的常染色质丰富(图版 I:1、2).

(1) 投喂毒藻 15d 后, 肝细胞超微结构变化特征: 电镜下可见白鲢部分肝细胞肿大, 有嵴裂并消失的线粒体(图版 I:3), 滑面内质网增多. 胞核变化不明显. 罗非鱼肝细胞略肿大, 线粒体变化不明显, 脂滴增多.

(2) 注射毒素的肝细胞超微结构变化特征: 电镜下可见草鱼整个肝细胞高度肿大, 基质高度水肿, 电子密度极低, 细胞器分布松散, 粗面内质网扩张, 线粒体肿胀, 胞核肿胀, 核质电子密度变低, 核带消失(图版 I:4、8). 白鲢肝的细胞超微结构变化基本同草鱼, 但细胞核变化不明显(图版 I:6、7、9). 罗非鱼肝细胞和线粒体略肿大, 部分线粒体嵴已发生断裂(图版 I:5), 胞质内可见体积较大的空泡样变. 胞核变化不明显, 核带清晰, 核周池未见扩张.

从以上电镜观察结果可以看出: 注射毒素的三种鱼肝的损伤比投喂毒藻严重; 草鱼对毒素反应比白鲢和罗非鱼敏感; 罗非鱼的肝细胞超微结构变化较草鱼和白鲢轻, 仅部分细胞器结构变化, 胞核无明显异常变化.

2. 2 铜绿微囊藻及其纯毒素对大型溞的毒性

将不同浓度的 MCYST-1R 加入培养液中和用有毒及无毒微囊藻喂食, 对大型溞的毒害

作用列入表 3、4。从表 3、4 可以看出,微囊藻毒素和有毒藻细胞对大型蚤有毒害作用,在含毒素的培养液及含毒藻的悬液中,蚤生存不超过 48h。用作者从武昌东湖分离的无毒微囊藻 8508(小白鼠检测无毒性)喂蚤,没有表现出明显的毒害作用,但生长缓慢,不怀卵。本研究表明,微囊藻不是蚤的合适食物。

表 3 微囊藻毒素 MCYST-LR 对大型蚤的影响
Tab. 3 Effect of MCYST-LR on *Daphnia magna*

浓度($\mu\text{g}/\text{mL}$) ¹⁾	0.1	1	5	15	40	50
24h 后的死亡率(%)	0	0	0	0	66.7	60
48h 后的死亡率(%)	0	0	0	60	100	100

1) 每种剂量用 6 个大型蚤,故值为二次重复实验平均值。

表 4 铜绿微囊藻对大型蚤生长、怀卵量及存活率的影响

Tab. 4 Effect of *M. aeruginosa* on growth number of eggs and survival of *Daphnia magna*

藻类种类 ¹⁾	培养天数 (d)	温度 ($^{\circ}\text{C}$)	实验前平均体长(mm) (3 杯/组,6 个蚤/杯)	实验结束平 均体长(mm)	平均怀卵量	存活率 (%)
有毒铜绿微囊藻 7820	2	25	1.48	2.2	0	30
无毒微囊藻 8508 ²⁾	2	25	1.49	2.2	0	92
小球藻	2	25	1.47	2.6	0	100
有毒铜绿微囊藻 7820	4	25	1.46	0	0	0
无毒微囊藻 8508	4	25	1.48	2.5	0	88
小球藻	4	25	1.45	2.9	7--9	96
无毒微囊藻 8508	6	25	1.47	2.6	0	85
小球藻	6	25	1.46	3.2	10--11	90

1) 每毫升培养液中小球藻细胞数约为 200 万个,微囊藻细胞数约为 50 万个;

2) 作者从武昌东湖分离的微囊藻株 8508,用生物测试(腹腔注射小白鼠)为无毒株。

3 讨论

3.1 关于微囊藻水华的毒性

微囊藻水华是富营养化湖泊、池塘中最常见的一种蓝藻水华。关于该水华藻类对鱼和浮游动物的影响到目前为止,尚没有一致的结论。Penalzoa 等报道,在 Aculeo 湖,鱼的大量死亡与微囊藻水华有关,并伴随浮游动物的大量减少^[5];Nizan 等研究者的实验室工作也证明了铜绿微囊藻毒素对浮游动物和鱼的毒性^[8]。同时也有报道,在前苏联和东欧一些国家,鲢鱼被利用作为控制藻类水华,以达到延缓水体富营养化的一项生物防治措施^[7]。Tapacoba 等在池塘天然条件下,用纯蓝藻(铜绿微囊藻占优势)饲养鲢鱼表明:白鲢的摄食强度及生长良好,试验鱼的肝及肌肉中有关生化指标均属正常,同时以微囊藻为主要食物的白鲢肌肉作为饲养实验动物的食物,通过检验试验动物和对照动物的血清转氨酶及血清胆碱脂酶活性,均未发现明显差异。因此,他们认为夏季生长的微囊藻在鲢鱼的营养中起着重要作用。为什么不同的研究者会

得出不同的结论呢?作者认为主要原因是由于形成微囊藻水华的种类不同,即使同一种微囊藻也有不同的品系,它们是否含毒素及毒性的高低除因种而异外,还受自然因子诸如温度、光照等的调控,由此出现不同结果.作者近期的工作发现,我国湖泊、池塘中夏秋季节出现的大规模微囊藻水华,有不少是以低毒的惠氏微囊藻 *Microcystis wesenbergii* 和无毒水华微囊藻占优势的水华.它们的毒性比南非水体中分离的铜绿微囊藻 7820 毒性约低 20 倍,这也可以解释为什么我国某些湖泊(如巢湖、太湖)出现严重微囊藻水华,但并未引起动物死亡的原因之一.由于人们往往对微囊藻水华不同种类的鉴定存在困难,更难区别有毒、无毒种类,从而产生不同实验结果. Aida Infante 等研究报道还指出:当微囊藻群体被水生动物滤食时,它们首先获取的营养取自群体胶囊和附着的细菌而不是藻细胞本身,因此毒细胞被保护起来没有被消化,如把群体捣成单个或成对细胞作为水生动物食物时则证明有毒性作用^[3],从试验也可以看出,白鲢的粪便及某些浮游动物的消化道中,微囊藻细胞比较完整,因此推测细胞内毒素没有充分被释放出来,这样对动物的危害相对较小.

3.2 关于微囊藻毒性的调控

微囊藻产生的毒素称微囊藻毒素,该毒素为小分子环状七肽肝毒素,其化学结构如图 2.

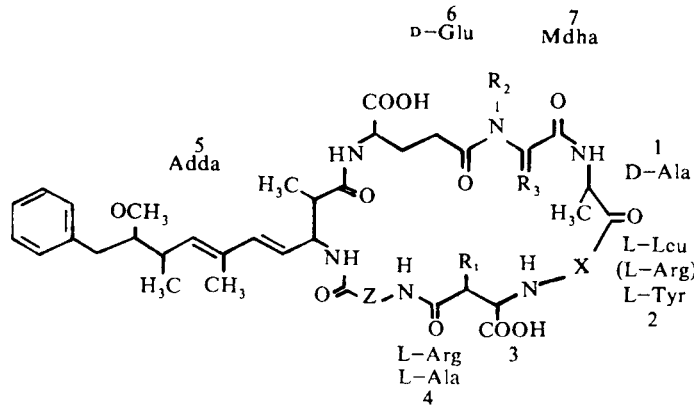


图 2 Microcystins 分子的化学结构

Fig. 2 Structure of Microcystins

图中第 2、4 是两个可变换的 L-氨基酸,前者常见的是亮氨酸(L)、精氨酸(R)和酪氨酸(Y),后者多为精氨酸和丙氨酸(A).由于这两个氨基酸的更替及其它氨基酸的去甲基化,衍生出众多的毒素类型.到目前为止,已发现近 50 种.由于毒素构型的变化使毒性的大小差异很大,微囊藻中两种主要毒素 MCYST-IR 和 RR,由于 $R = \text{CH}(\text{CH}_3)_2$ 和 $R = \text{CH}_2\text{CH}_2\text{NHC}(\text{NH}_2) = \text{NH}$ 的微小差别使 IR 的毒性大大高于 RR.并且这两种毒素又分别有一个无毒的几何异构体.在自然条件下,温度和光照对构型的变化似乎起着很重要的作用,从不同季节、不同水域甚至同一水域采集到同种微囊藻毒株,毒性表现出很大差异.一般初春秋末水温在 20℃ 以下时,毒性较高;而夏季水温在 25℃ 以上,光照强烈,水华大量发生时毒性低^[9],但夏季长,是鲢、鳙鱼类摄食旺季,这也可能成为用鲢鱼控制水华的依据之一.至于微囊藻毒素进入动物体内在消化过程中构型是否变化,尚需进一步观察研究.

参 考 文 献

- 1 何家苑,何振荣,俞家禄等. 东湖铜绿微囊藻毒素的分离与鉴定. 海洋与湖沼,1988,19(5):424—430
- 2 Nishiwaki-Matsushima R. *et al.* Liver tumor promotion by the Cyanobacterial Cyclic peptide toxin microcystin - LR. *Cancer Res Clinoncol.* 1992,118:420—424
- 3 Aida Infante and Wendum Riechl. The effect of cyanophyta upon zooplankton in a eutrophic tropical Lake. *Hydrobiology.* 1984,113(29):293—298
- 4 Carmichael W W. A status report on planktonic Cyanobacteria (blue-green algae) and their toxins. Environmental Monitoring Systems Laboratory, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio, 1992
- 5 Penaloza R. *et al.* Toxicity of a soluble peptide from *Microcystis* sp. to zooplankton and fish. *Freshwater Biol.* 1990,24:233—240
- 6 Harada K U. *et al.* Analysis and purification of toxic peptides from Cyanobacteria by reversed phase highpressure liquid chromatography. *J Chromat.* 1988,448:275—283
- 7 陈少莲,刘肖芳,胡传林等. 论鲢、鳙对微囊藻的消化利用. 水生生物学报,1990,14(1):49—58
- 8 Nizan S. *et al.* Acute toxic effects of the Cyanobacterium *aeruginosa* on *Daphnia magna*. *Limnol Oceanogr.* 1984,31(3):497—502
- 9 何振荣,俞家禄,何家苑等. 东湖蓝藻水华毒性的研究(II):季节变化及微囊藻毒性. 水生生物学报,1989,13(3):201—209

图版 I 说明

1. 正常草鱼肝细胞,×24 000;
2. 正常罗非鱼肝细胞,×12 000;
3. 部分线粒体肿大、嵴断裂并消失,G 为正常高尔基复合体,×13 600;
4. 胞核肿胀、核带消失,×16 000;
5. 线粒体肿大、嵴断裂,×13 600;
6. 胞核肿胀、核带消失,细胞质水肿,粗面内质网扩张,×16 000;
7. 线粒体肿大、嵴断裂并消失,×12 000;
8. 肝细胞肿胀、基质水肿,粗面内质网扩张,线粒体肿胀,细胞核肿胀,核周池扩张,×20 000;
9. 线粒体肿胀、嵴消失,胞核正常,×12 000.

Caption of Plate II

1. Normal hepatocyte of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*). ×24 000;
2. Normal hepatocyte of *Tilapia* sp. , ×12 000;
3. Swollen mitochondria with broken and collapsed cristae in a part of hepatocytes, G shows Golgi apparatus. ×13 600;
4. Swollen nucleus, disappeared peripheral chromatin, ×16 000;
5. Swollen mitochondria with broken cristae. ×13 600;
6. Swollen nucleus, disappeared peripheral chromatin, swollen cytoplasm, enlarged rough endoplasmic reticulum, ×16 000;
7. Swollen mitochondria with broken and collapsed cristae. ×12 000;
8. Swollen hepatocyte, mitochondria and nucleus, enlarged rough endoplasmic reticulum and perinuclear cisterna, ×20 000;
9. Swollen mitochondria with disappeared cristae, N shows the normal nucleus. ×12 000.

THE TOXICITY OF *MICROCYSTIS AERUGINOSA* TO FISHES AND DAPHNIA

He Jiawan He Zhenrong Guo Qionglin

(Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072)

Abstract

This study is dealt with the effects of toxic *Microcystis aeruginosa* and Microcystin (MCYST) on fishes and *Daphnia magna* by feeding and intraperitoneal injection. The results suggested were as follows:

1. MCYST -LR was pernicious to all of the tested fishes. 1) Grass Carp; mean weight was about 10—12 g. The dosage of injection was about 65—300 $\mu\text{g}/\text{kg}$, LD_{50} 110 $\mu\text{g}/\text{kg}$; 2) Silver Carp; mean weight 18—20 g, dosage of injection 150—400 $\mu\text{g}/\text{kg}$, LD_{50} 350 $\mu\text{g}/\text{kg}$; 3) Tilapia; mean weight 32—35 g, dosage of injection 400—800 $\mu\text{g}/\text{kg}$, LD_{50} 500 $\mu\text{g}/\text{mg}$. Liver injury was discovered by observing fish liver ultrastructure 24hrs after the injection with Microcystins. The liver damage of Grass Carp was more serious than that of the other two fishes.

2. When Silver Carp and Tilapia fed on toxic *M. aeruginosa* as the only diet, they can be alive for more than 20 days. The toxicity of feces decreased 2—4.5 times respectively compared with that of *M. aeruginosa*. The absorption spectra and microscope observation of the feces of both fishes reflected that the ability of digesting and absorbing of toxic algae cell and toxin for Tilapia was greater than that of Silver Carp; both fishes had little liver damage by observing their liver ultrastructure.

3. Fed on *Microcystis aeruginosa* or added with 15 $\mu\text{g}/\text{mL}$ MCYST -LR to the medium, *Daphnia magna* may die 48hrs later. *Daphnia magna* grew slowly and did not carry eggs when fed on nontoxic *M. aeruginosa* 8508, showing that *Microcystis* was not a suitable food for *Daphnia*.

Key Words *Microcystis aeruginosa*, fishes, *Daphnia*, toxicity