

蓝藻水华及其次生危害

谢平

(中国科学院水生生物研究所东湖湖泊生态系统试验站, 武汉 430072)

摘要:简要介绍了蓝藻水华、蓝藻的次生代谢产物——微囊藻毒素以及与此有关的重大事件。微囊藻毒素是一种小分子的环肽化合物,能损害脊椎动物的肝、肾、心脏、性腺等器官组织和神经系统,是一类毒性很强的生物毒素,尤其对哺乳动物的毒性很强。蓝藻水华及微囊藻毒素危害,是饮用水源安全保护的一项重大挑战。建立政府、企业和科学家的合作模式,集流域污染源控制、生态修复(保育)与可持续渔业为一体,通过维持水域生态系统代谢机制的良性过程,达到保护水质的目的,是未来的一个重要发展方向。

关键词:蓝藻水华;微囊藻毒素;饮水安全;水产品安全

中图分类号:X52 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-3075(2015)04-0001-13

世界范围内的藻类水华泛滥及其危害已经引起国际社会的高度重视。与此同时,蓝藻产生的一类毒性很强的生物毒素——微囊藻毒素,也被研究者逐渐揭开面纱,它对哺乳动物毒性很强,能危害肝脏、肾脏、心脏、性腺等器官组织和神经系统,尤其需要对其提高警惕。

1 水华的泛滥

陆地上养分(氮、磷)贫瘠,而水中却堆积如山,这是一个多么无情的玩笑,同样的元素放错了地方,“宝”却变成了“害”……地球上的水资源大部分以海水和冰川的形式而存在,湖泊、河流、水库中的淡水资源不足总量的0.01%,可它为人类及其他所有陆生动物提供了宝贵的饮用水源,而清澈又甘甜的水是健康的保障。

但是,当水体中N、P富集时,一种古老而原始的低等植物——蓝藻(也称之为蓝细菌)往往大量暴发,并常常在水体表面形成一层厚厚的水华。那N、P从何而来呢?主要来自生活污水的排放以及农业面源污染的输入。富营养化的产物不一定是蓝藻水华,还会产生硅藻水华(常常出现于河流)、甲藻水华(常常出现于鱼池)、绿藻水华等,但经验上,出现蓝藻水华的概率最大(谢平,2007;Yang et al, 2012)。

我国深受蓝藻水华折磨的最著名的湖泊有滇

池、太湖和巢湖(图1),周边的自来水厂大部分已经关闭,损失惨重,剩下的一些水厂其源水的安全状况也令人堪忧。在过去的20年,国家和地方政府在“三湖”治理上已耗资数千亿元,但依然挡不住滚滚的“绿波”,乐观的估计还要继续奋斗20年(谢平,2008;2009),悲观的说也许遥遥无期……不仅如此,浩瀚的洞庭湖和鄱阳湖(图2)似乎准备赴其后尘,云南秀丽的洱海(图3,图4)也即将步入水华的常态化状态……。当然,蓝藻水华也非中国特有,全世界都有发生,有些惨况比中国一点都不逊色(图5)。

2 无形的杀手

蓝藻的主要危害之一就是产生各种各样的生物毒素(表1),其中一类毒性很强的生物毒素——微囊藻毒素(如图6)最为常见,危害最大,受到广泛关注。已知微囊藻毒素有90多种异构体。虽然微囊藻毒素还未达到用于制造大规模杀伤性生物武器(Mass Casualty Biological Weapon, MCBW)的程度(由于生产困难、毒性还不是足够强烈),但其毒性已经达到引起军事专家关注的程度(表2)。一些神经毒素能有效地终止神经和肌肉的功能而不引起组织显微结构的破坏,而其他一些毒素直接破坏和损伤组织,对这些毒素,预防十分重要,因为常常在几分钟或数小时内就可发生不可逆的病理变化,微囊藻毒素就属于这种类型。

微囊藻毒素专一性地与细胞(如肝、肾)内的蛋白磷酸酶结合,在致死剂量暴露的情况下,15~60 min之内即发生不可逆的器官损伤,在这种情况下

收稿日期:2015-10-13

作者简介:谢平,1961年生,男,研究员,主要从事湖泊生态学、蓝藻生态与毒理学和异味物质化学生态学研究。

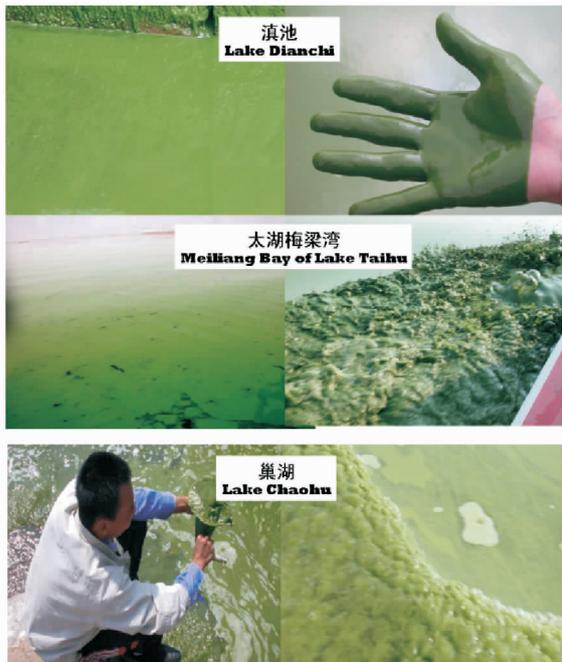


图1 壮观的蓝藻水华(滇池、太湖和巢湖)
 Fig.1 Impressive cyanobacteria blooms
 (Lakes Dianchi, Taihu and Chaohu)

下,具有重要功能的肝脏、肾脏等被严重损伤以致治疗可能作用甚微或毫无价值。最新的研究表明,这种毒素对生殖、神经和心脏等的影响亦不可小视(Qiu et al,2009; Liu et al,2010;Li et al, 2012;Zhao et al,2012; Chen et al, 2015)。

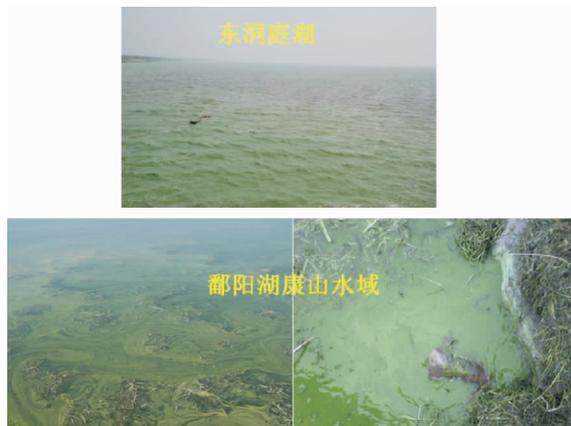


图2 洞庭湖和鄱阳湖局部水域的蓝藻水华
 Fig.2 Cyanobacterial blooms in some areas of
 Lakes Dongting and Poyang



图3 云南洱海蓝藻水华的演变趋势,水华发生日益频繁。2013年夏季,水华最盛时覆盖了近80%的湖面,令人吃惊的是,从一只死在岸边水华中的野鸟(下排最右边的图片)体内还检测出了微囊藻毒素

Fig.3 Trends of cyanobacterial blooms in Lake Erhai, with an increase of occurrence frequency. In the summer of 2013, the blooms covered nearly 80% of the surface area of the lake. Surprisingly, microcystins were detected from a dead wild bird floating in the scums nearshore (picture in the lower right corner)

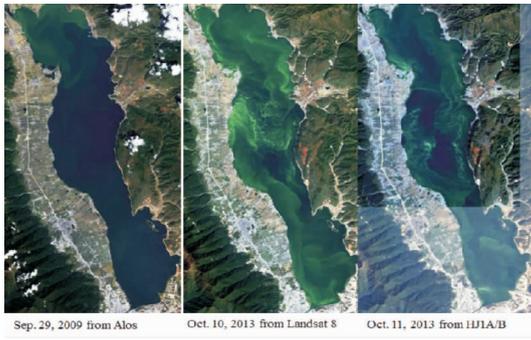


图4 2013年发生在云南洱海的蓝藻水华的卫星遥感图(由虞功亮博士和李仁辉教授提供)

Fig.4 Satellite imagery of cyanobacterial blooms in Lake Erhai, Yunnan, in 2013 (provided by Drs. Gongliang Yu and Renhui Li)



图5 世界各地的蓝藻水华(引自 Paerl et al, 2001)

Fig.5 Worldwide occurrence of dense cyanobacterial blooms (cited from Paerl et al, 2001)

表1 蓝藻毒素的名称及产毒生物

Tab.1 Cyanotoxin name and producer organisms

毒素类别 Toxic group	毒性或刺激效应 Toxic or irritant effect	产毒蓝藻属名 Producer of cyanobacteria genera
环肽 Cyclic peptides		
微囊藻毒素 Microcystins	肝毒性 Hepatotoxic	鱼腥藻 <i>Anabaena</i> , 项圈藻 <i>Anabaenopsis</i> , 隐球藻 <i>Aphanocapsa</i> , 陆生软管藻 <i>Hapalosiphon</i> , 微囊藻 <i>Microcystis</i> , 念珠藻 <i>Nostoc</i> , 颤藻 <i>Oscillatoria</i>
节球藻毒素 Nodularins	肝毒性 Hepatotoxic	节球藻(主要在咸淡水) <i>Nodularin</i> (mainly brackish water)
生物碱 Alkaloids		
神经毒性生物碱 Neurotoxic alkaloids		
类毒素-a Anatoxin-a	神经毒性 Neurotoxic	鱼腥藻 <i>Anabaena</i> , 束丝藻 <i>Aphanizomenon</i> , 颤藻 <i>Oscillatoria</i>
拟类毒素-a(s) Anatoxin-a(s)	神经毒性 Neurotoxic	鱼腥藻 <i>Anabaena</i> , 颤藻 <i>Oscillatoria</i>
石房蛤毒素 Saxitoxins	神经毒性 Neurotoxic	鱼腥藻 <i>Anabaena</i> , 束丝藻 <i>Aphanizomenon</i> , 拟柱胞藻 <i>Clindrospermopsis</i> , 鞘丝藻 <i>Lyngbya</i>
细胞毒性的生物碱 Cytotoxic alkaloids		
筒胞藻毒素 <i>Cylindrospermopsin</i>	细胞毒性 Cytotoxic, 肝毒性 hepatotoxic, 神经毒性 neurotoxic, 遗传毒性 genotoxic	鱼腥藻 <i>Anabaena</i> , 束丝藻 <i>Aphanizomenon</i> , 拟柱胞藻 <i>Clindrospermopsis</i> , <i>Umezakia</i>
皮炎毒性生物碱 Dermatotoxic alkaloids		
海兔毒素 Aplysiatoxin	皮炎毒性 Dermatotoxic	鞘丝藻 <i>Lyngbya</i> , 裂须藻 <i>Schizothrix</i> , 颤藻 <i>Oscillatoria</i>
鞘丝藻毒素 <i>Lyngbyatoxin-a</i>	皮炎毒性 Dermatotoxic 口腔和肠胃发炎 oral and gastrointestinal inflammation	鞘丝藻 <i>Lyngbya</i>
脂多糖内毒素 <i>Lipopolysaccharides (LPS)</i>	具有刺激任何暴露组织的可能 Potentially irritates any exposed tissue	所有 All

引自 Svrcek and Smith ,2004
Cited from Svrcek and Smith ,2004

微囊藻毒素的化学性质十分稳定,能耐高温(达300℃),耐酸碱,因此,泡茶和烹饪对其影响甚微(Zhang et al, 2010)。这也意味,在自来水中或进入水产品中的毒素大部分将通过饮水或食物链危害消费者的健康,长期的慢性暴露将带来不容忽视的

健康风险(Xie et al, 2005; 谢平,2006; Chen et al, 2009; Zhang et al, 2009)。

产毒蓝藻众多,它们在显微镜下十分艳丽(图7)。水体中的蓝藻水华可由1至数个优势种组成,已知的蓝藻水华中有60%~70%含有产毒的株系。

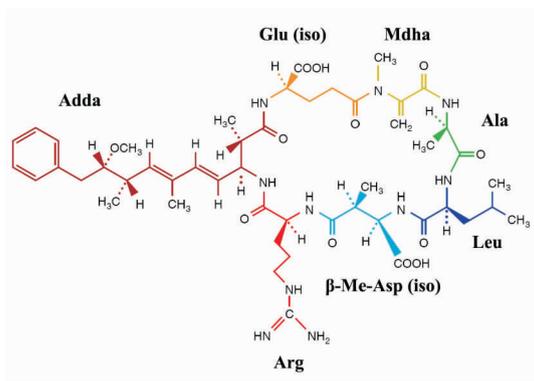


图6 常见的一种微囊藻毒素 MC-LR 的化学结构

Fig. 6 Chemical structure of MC-LR, a common microcystin

在某一个期间的水华可产生几种微囊藻毒素,有时甚至可达20多种。一种蓝藻水华的毒性取决于有毒株细胞的浓度,以及所出现的毒素的相对毒性。已报道的从自然水体中采集的水华蓝藻中的MC含量,以中国的7300 $\mu\text{g}/\text{g}$ (干重)(Zhang et al, 1991)和葡萄牙的7100 $\mu\text{g}/\text{g}$ (干重)(Vasconelos et al, 1996)为最高。

3 可怕的案例

微囊藻毒素对人类健康危害公认的证据或事件如图8所示,其中有2项来自中国,1项研究表明,我国南方原发性肝癌的高发病率被认为与饮水中的微囊藻毒素污染有密切关系。世界最著名的藻毒素

表2 所选的毒素与化学毒剂对实验小白鼠致死性的比较

Tab. 2 Comparative lethality of selected toxins and chemical agents in laboratory mice

试剂 Agent	LD50/ $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	相对分子质量 Molecular weight	来源 Source
肉毒菌毒素 Botulinum Toxin	0.001	150000	细菌 Bacterium
志贺毒素 Shiga Toxin	0.002	55000	细菌 Bacterium
破伤风毒素 Tetanus Toxin	0.002	150000	细菌 Bacterium
相思子豆毒素 Abrin	0.04	65000	植物(相思豆) Plant (Rosary Pea)
白喉毒素 Diphtheria Toxin	0.10	62000	细菌 Bacterium
刺尾鱼毒素 Maitotoxin	0.10	3400	海洋鞭毛类 Marine Dinoflagellate
岩沙海葵毒素 Palytoxin	0.15	2700	海洋软珊瑚 Marine Soft Coral
雪卡毒素 Ciguatoin	0.40	1000	鱼/海洋双鞭毛类 Fish/Marine Dinoflagellate
组织毒素 Textilotoxin	0.60	80000	毒蛇 Elapid Snake
产气荚膜梭菌毒素 Clostridium perfringens toxins	0.1 ~ 5.0	35000 ~ 40000	细菌 Bacterium
哥伦比亚箭毒蛙毒素 Batrachotoxin	2.0	539	箭毒蛙 Arrow-Poison Frog
蓖麻毒素 Ricin	3.0	64000	植物(蓖麻子) Plant (Castor bean)
海蜗牛毒素 Conotoxin	5.0	1500	海蜗牛 Cone Snail
泰攀蛇毒素 Taipoxin	5.0	46000	毒蛇 Elapid Snake
河鲀毒素 Tetrodotoxin	8.0	319	河鲀 Puffer Fish
蝎毒素 Tityustoxin	9.0	8000	蝎子 Scorpion
石房蛤毒素 Saxitoxin	10.0 (吸入 Inhal, 2.0)	299	海洋双鞭毛类 Marine Dinoflagellate
VX 神经毒剂 VX	15.0	267	化学毒剂 Chemical Agent
葡萄球菌肠毒素 B (Rhesus/Aerosol)	27.0 (半数有效剂量 ED50 ~ μg)	28494	细菌 Bacterium
SEB (Rhesus/Aerosol)			
拟类毒素-A(s) Anatoxin-A(s)	50.0	500	蓝藻 Blue-Green Alga
微囊藻毒素-LR Microcystin-LR	50.0	994	蓝藻 Blue-Green Alga
索曼毒剂(GD) Soman (GD)	64.0	182	化学毒剂 Chemical Agent
沙林毒气(GB) Sarin (GB)	100.0	140	化学毒气 Chemical Agent
乌头碱 Aconitine	100.0	647	植物(乌头) Plant (Monkshood)
T-2 毒素 T-2 Toxin	1210.0	466	真菌毒素 Fungal Mycotoxin

引自 Franz, 1997

Cited from Franz, 1997

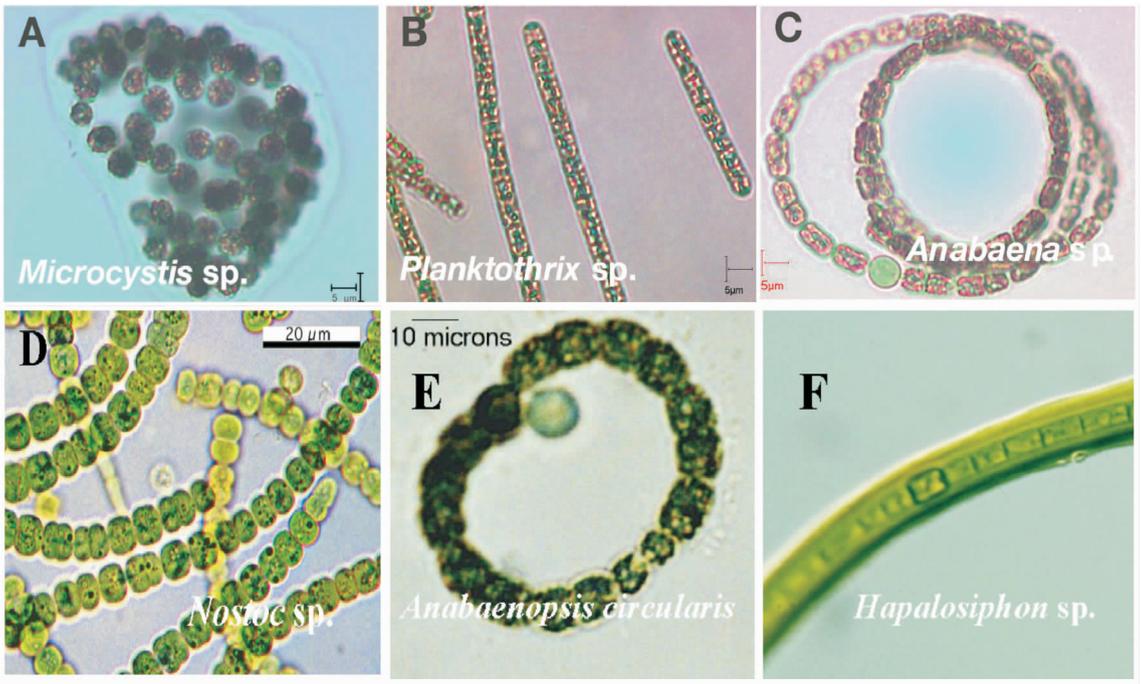


图 7 艳丽的产毒蓝藻

Fig. 7 Flamboyant toxin-producing cyanobacteria

MC-LR代表性的致毒机制

慢性染毒的流行病学证据
未检测人群体内的MC浓度, 致肝癌—乙肝、黄曲霉毒素

急性染毒证据
但透析用水多达120升, 且通过静脉注射, 自然条件下难以发生

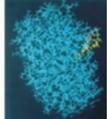
慢性染毒条件下MC危害人类健康的直接证据

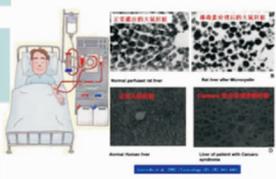
a) 1990年, 三组科学家同时报道MC-LR能强烈地抑制蛋白磷酸酶 (PP1、PP2A) 的活性 (Honkanen et al. 1990, MacKintosh et al. 1990, Yoshizawa et al. 1990) ;

b) 中国南方原发性肝癌的高发病率被认为与饮水 (沟塘、小河、浅井、深井) 中MC污染有关 (Ueno et al. 1996; 俞顺章等2001) ;

c) 1996年, 巴西血透析水藻毒素污染导致60多人死亡 (Pouria et al. 1998) ;

d) 慢性染毒人群血清中MC含量与主要肝功能指标间存在正相关关系, 表明长期慢性暴露引起一定程度的肝损伤 (Chen et al. 2009)






1998年WHO颁布饮用水MC-LR临时性指导值: 1 μg/L

图 8 蓝藻毒素重大进展或事件回顾

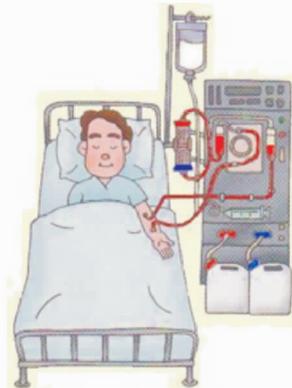
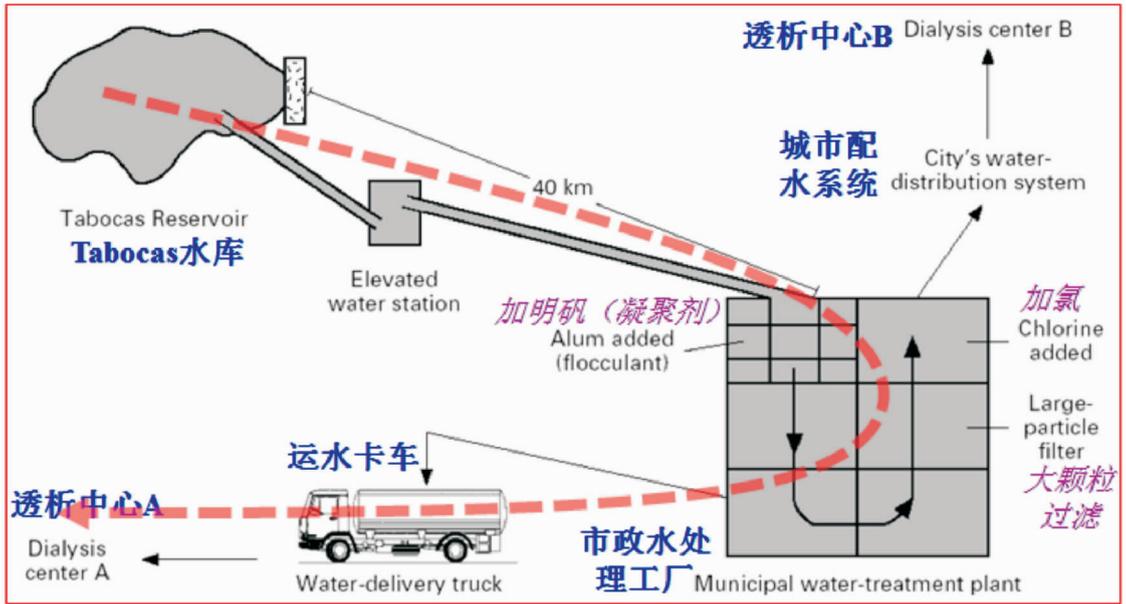
Fig. 8 Looking back at important advancements or events of cyanotoxins

最近的研究 (Chen et al, 2009a) 表明, 巢湖专业污染致人类死亡事件发生在 1996 年, 巴西血透析水被污染事件, 导致 60 多人死亡, 震惊全世界 (图 9)。世

界卫生组织因此而制定了饮用水中 MC-LR 的临时性指导值 (1 μg/L)。虽然关于微囊藻毒素的致癌性还存在一定的分歧。

渔民长期暴露于蓝藻毒素的高风险之中,因为他们饮用未经处理的巢湖水,取食含有毒素的各种水产品。通过对在湖面生活过5~10年的专业渔民的流行病学调查,从渔民的血液中普遍检测出毒素

(图10),通过与21种血液生化指标的相关分析,发现血清中微囊藻毒素含量与主要肝功能指标间存在正相关关系(图11)。这亦是在世界上首次从自然染毒人群的血液中检测出蓝藻毒素的存在,并发现



透析用水多达120 L, 且通过静脉注射, 自然条件下难以发生

(Pouria et al, 1998)

图9 导致60多人死亡的巴西透析水藻毒素污染事件

Fig.9 Event causing over 60 victims in a dialysis center, Brazil

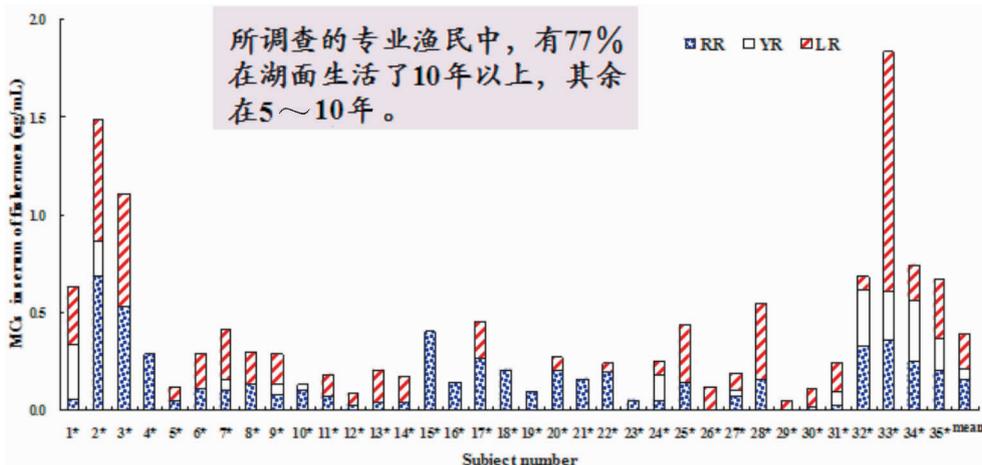


图10 巢湖渔民血液中的MC含量(引自Chen et al, 2009a)

Fig.10 Microcystin content in the serum analysis of fishermen living on Lake Chaohu (cited from Chen et al, 2009a)

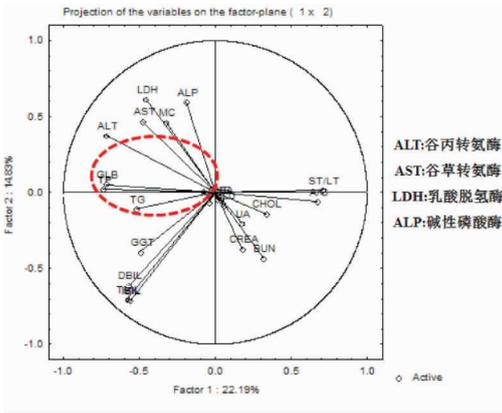


图 11 根据巢湖渔民血液样本中的微囊藻毒素浓度和 21 种血液生化指标相关分析 (引自 Chen et al, 2009a)

Fig. 11 Scatterplot of first two components from a PCCA performed with 21 biochemical variables and MC concentrations from serum samples of fishermen living on Lake Chaohu (cited from Chen et al, 2009a)

了其损伤人肝功能的直接证据, 虽然科学界对人类的近亲——小鼠和大鼠进行了无数次类似的染毒实验。

进一步对从巢湖中捕获的甲壳动物、软体动物和鱼类器官中的毒素含量进行了分析(图 12), 并结合水中的毒素含量, 计算出每个渔民 MC 的日摄入量 2.2 ~ 3.9 μg MC-LReq, 接近或超过了世界卫生组织确定的日容许摄入量(2.4 μg MC-LReq), 这表明世界卫生组织制定的日允许摄入量存在健康风险, 需要向下修订 (Chen et al, 2009a)。利用大鼠的代谢组学研究也支撑了这一结论 (He et al, 2012)。

4 对策与展望

蓝藻近在咫尺, 风险到底几何? 蓝藻毒素的暴露途径包括饮水摄入(主要途径)、水产品消费(我国民众 MC 摄入的重要途径之一)、静脉输入(透析

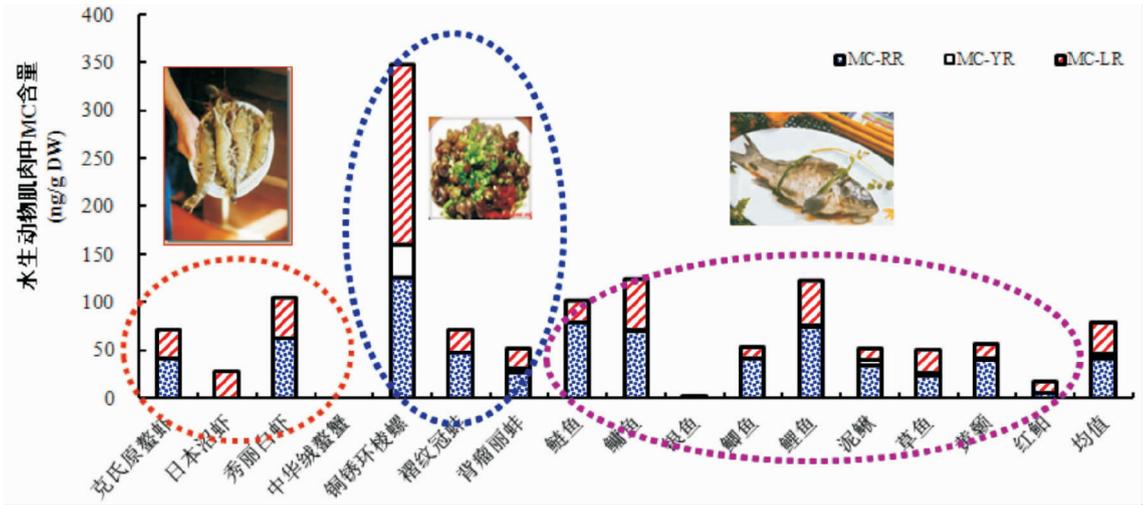


图 12 巢湖甲壳动物、软体动物和鱼类肌肉/足中的毒素含量 (引自 Chen et al, 2009a)

Fig. 12 MC contents in muscle of crustaceans, mollusks and fish from Lake Chaohu (cited from Chen et al, 2009a)

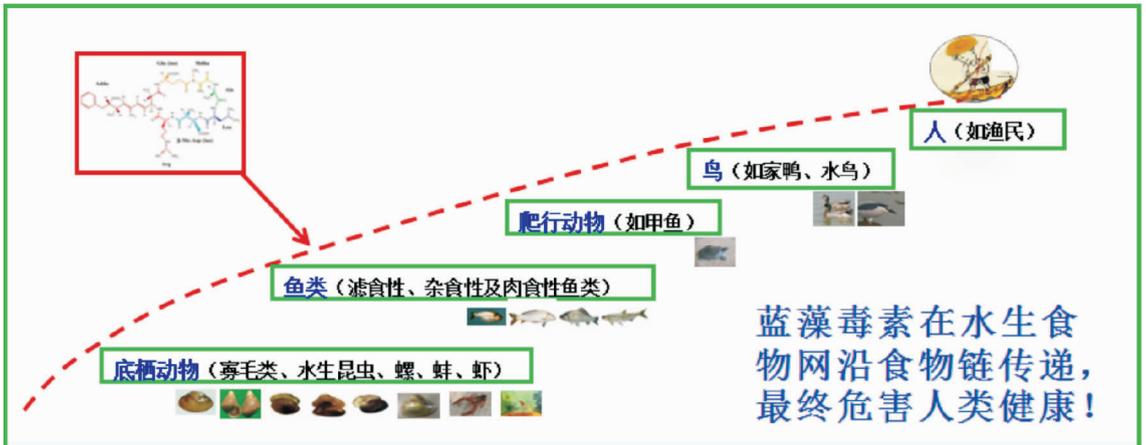


图 13 微囊藻毒素通过食物链向人的传递

Fig. 13 Transfer of microcystins to humans through food chain

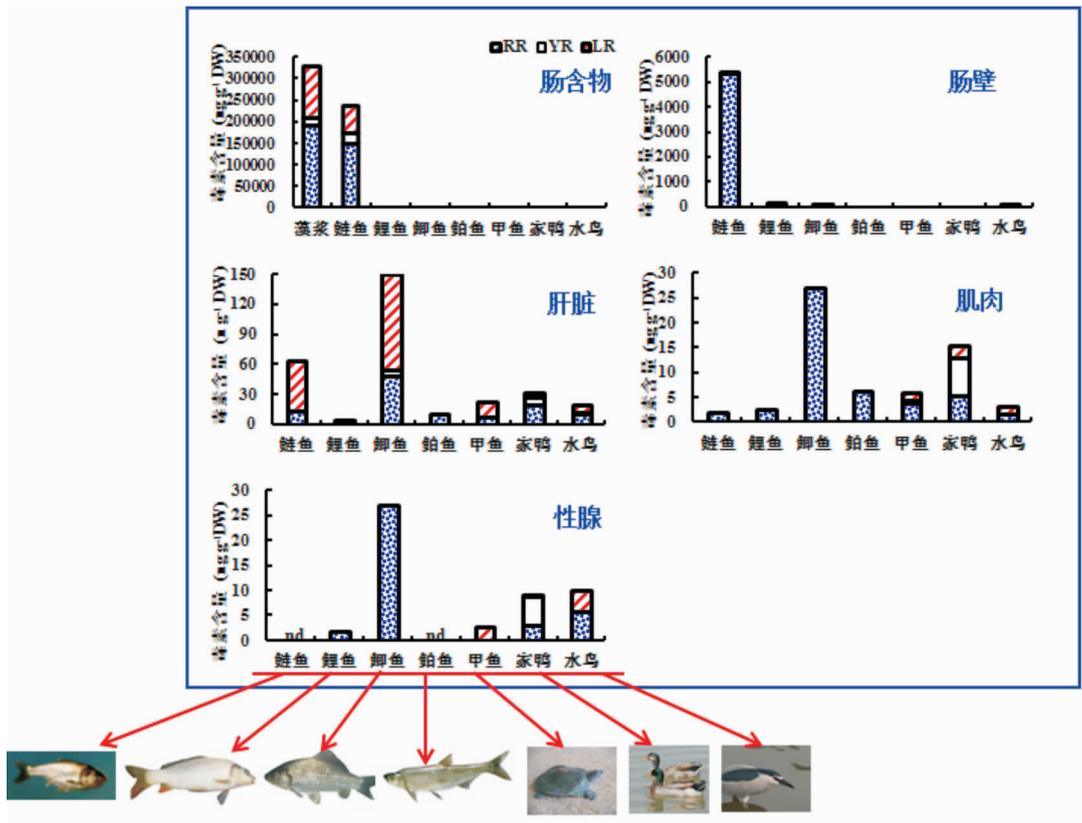


图 14 江苏太湖各种鱼类、甲鱼、家鸭以及水鸟中的微囊藻毒素含量 (引自 Chen et al, 2009b)

Fig. 14 Mean microcystin contents in the intestinal contents, intestinal walls, livers, muscles and gonads of various vertebrates in Lake Taihu (cited from Chen et al, 2009b)

种类	食用肌肉/足的安全性	每日摄入量	食用整体的安全性	每日摄入量	备注
 秀丽白虾	√	0.031	×	0.57	
 日本沼虾	√	0.022	×	0.26	
 克氏原螯虾 (小龙虾)	√	0.025	×		性腺中含量很高
 铜锈环棱螺	√	0.007	—		通常不食用“整体”
 河蚬	—		×	0.15	通常只食用“整体”
 背角无齿蚌	×	0.043	×	0.32	
 三角帆蚌	×	0.109	×	0.94	
 褶皱冠蚌	×	0.051	×	0.48	
 背瘤丽蚌	×	0.107	×	0.66	

单位: $\mu\text{g MC-LReq/kg bw}$, 超过 $0.04 \mu\text{g MC-LReq/kg bw}$ 为不安全。计算时采用统一的每日摄入量

图 15 基于动物体内微囊藻毒素含量以及每人每日平均消费量,对太湖和巢湖经济水产品的食用安全性的评估

Fig. 15 Safety estimation of commercial fisheries products of Lakes Taihu and Chaohu based on the daily food consumption and the average microcystin contents in various species

病人)和娱乐活动的皮肤暴露(图13)。我国是淡水水产品生产与消费大国,根据农业部2012年渔业经济统计公报,我国水产品养殖总量占世界的60%以上,淡水占49%。与欧美国家相比,我国湖泊蓝藻水华发生总体情况更为严重,蓝藻毒素对淡水水产品安全性的风险更大!

基于以往的研究数据(如图12、图14),对太湖和巢湖各种水产品的食用安全性进行了初步分析(图15),总体来说,食用上述无脊椎动物的整体(即包括各种内脏,如肝胰腺、性腺等)都存在健康风险,其中蚌的风险最大(食用足也不安全)。当然,这些阈值还依赖于每年蓝藻水华的严重程度、产毒状况等(Tao et al, 2012)。当然,这是水华盛行期间的数据,这时的消费风险最大,而进入冬季,动物体内的蓝藻毒素大部分将被代谢掉,毒素含量一般亦会下降到安全消费的水平。当然,这与种类也有一定关系,有的降解能力较强,有的则较弱。此外,水华的持续时间亦会产生影响,像滇池这样水华一年四季都不消退的湖泊,风险就会一直存在,而在太湖和巢湖,冬季水产品的安全性就要好得多。还有,不同的湖泊,即使蓝藻的生物量相似,也会因为蓝藻产毒能力的差异而使水产品的安全状况有所差异。

迄今为止,人们并不清楚如此之多的蓝藻为何要产生这般强烈的毒素,没有任何可靠的证据证明它就是为了某个目的,只知道很多蓝藻产它,但同样一个种类有时也可以变成无毒株。毒性的存在也妨碍了蓝藻的资源化利用,如它无法作为猪或家禽的饲料(虽然蓝藻的蛋白质含量很高)。但有些土著的鱼类(如鲢、鳙)却能以有毒蓝藻为食,并能快速生长,在冬季还能将体内的毒素降解到人类可以安全消费的水平(Chen et al, 2006; 2007)。在武汉东湖面积达12 km²的主题湖区,用这种技术(称之为非经典生物操纵技术)成功清除与遏制东湖的蓝藻水华达30年之久,每年通过渔获物净带走的N和P相当于水柱现存量的19.2%和140%,当然,污水输入的N、P远大于这个量(Xie & Liu, 2001; 谢平等, 2003)。

遗憾的是,这种生物控藻技术只能使普通的渔民受惠,而不能给那些水处理企业或设备制造商或收藻船制造者等带来利润,因此决策者毫无兴趣。更为讽刺的是,有聪明的科学家仿造鲢的原理制造出了一种仿生收藻船(虽然也能应一下急,但仅限于非常局部的蓝藻堆积地,而不可能解决大面积的水华问题),其实这种“高科技”产品的发明人就是

食藻鱼,真品一钱不值(有时还要被冤枉成“坏蛋”而被斩尽杀绝),而它的仿制品却价格不菲,一条就数百万元,政府倒是乐意掏钱去购买,还要花钱雇人买油去运行,所收的蓝藻有时还要买地挖坑去填埋……GDP是一连串地增加了,秀也做了……决策者就这么“任性”,宁愿花冤枉钱去收藻,也不要勤勉的食藻鱼,尽管后者还能带来可观的经济收益。期待有一天这种境况能够得到改善。

一些环境政策的决策者,对自然生态系统的认知十分局限,谈“鱼”色变,认为渔业是水体富营养化的罪魁祸首,虽然不排除在一些水体还存在不合理的渔业方式(如投肥、投饵),像三湖这样的大型湖泊并未存在规模化的渔业养殖活动,富营养化的主要原因还是生活污水和农业面源的输入。自然生态系统就是由生产者、消费者和分解者所组成,鱼类是水体的主要消费者,它通过牧食或捕食,直接或间接地收割初级生产者,并通过生长将N、P富集于身体之中,再通过渔获物将所富集的N、P从生态系统中移出,从而达到改善水质的效果。只要我们维护与管理好一种良性的生态系统结构,维持好生态系统的代谢机制,就既能有利于水质改善,也能收获优质的鱼产品,最终,就可以同时满足人们对清洁饮水和优质动物蛋白的需求。因此,可以预料,在大型湖泊,以水质保护为前提的集流域污染源控制、生态修复(保育)与生态渔业等为一体的政府、企业家和科学家合作运营模式也许是未来的一个重要发展方向,期待出现一种全新的“大湖生态模式”。

如何保护好饮用水源的安全是我们未来将要面临的重大挑战(图16)。水处理专家可能认为技术可以解决一切问题,但实际情况则是,当水污染到一定程度之后,任何技术都变得束手无策,成本的飙升将会迫使人们去寻找替代水源,而且处理过程中的副产物也是一个问题。因此,早在数十年前开始,人们就从沉淀池走向了水源地、再扩展到涵养它的大水体(湖泊、水库或河流)、并最终延伸到了整个流域。在这个过程中,管理的作用显得日益重要。但这与社会发展的矛盾越来越突出,而且变成了一个综合性的技术与管理问题,这里人们更加关注一些宏观尺度的问题,譬如水域生态系统的调控、修复与重建、面源污染控制、产业结构调整、流域生态圈层构建等,这种尺度的综合技术与管理问题将科学家、政治家、企业家和社会公众等不同类型的人群扭在了一起。其实,这是一个极为复杂的系统工程,设想一下,要成功地对象太湖这样一个涵盖36 900 km²

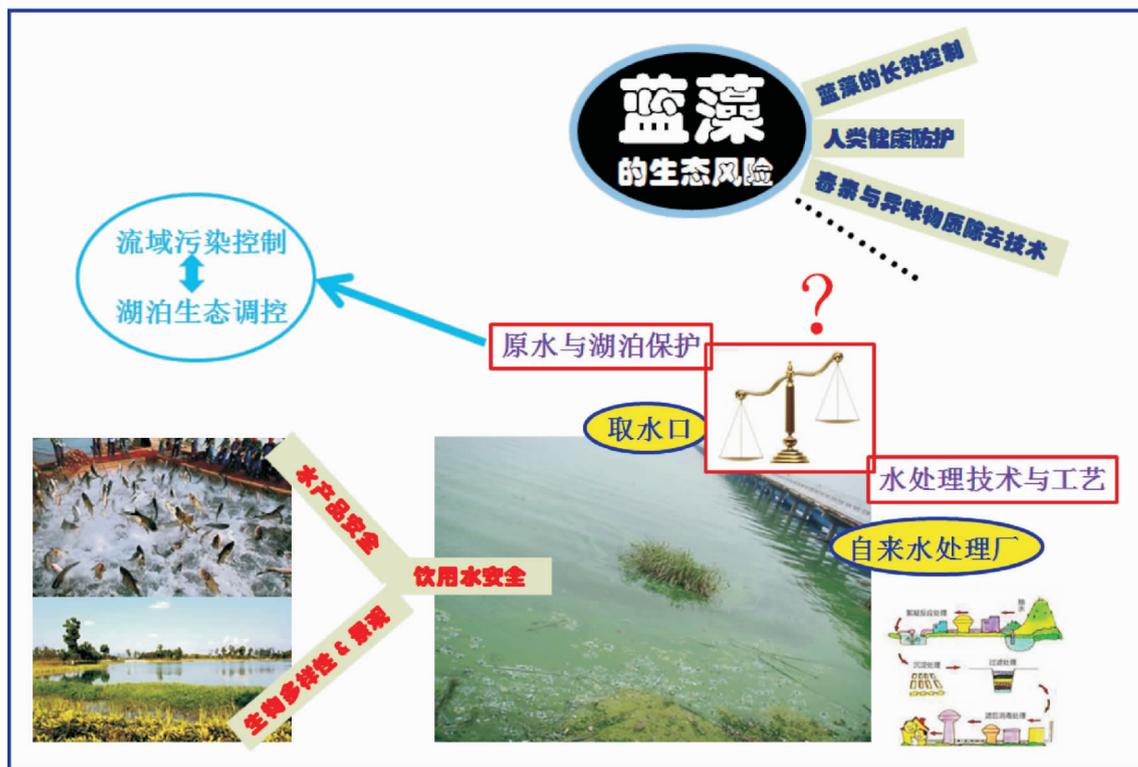


图 16 蓝藻生态风险的管控对策

Fig. 16 Strategies for risk management of cyanobacteria

的巨大流域进行有效的生态与水质管控,无论是在理论上还是实践上都没有成熟的经验可以借鉴,都还得进行持续的艰苦探索!

包括水在内的许多环境问题还有更深、更复杂的渊源。技术的盲目崇拜者认为技术可以解决一切,这实际上是在妄想人可以超越自然界,但这是不可能的,因此,那些所谓的可持续发展(增长)观念也只是一种蛊惑人心的口号,因为地球在空间上是有限的,它的承载能力亦如此。在人类尚未统治自然界之前,数以千万计的物种共存在这个地球表面,在一定的气候背景和生存条件下,一个物种大致会保持一种震荡的平衡趋势,一个典型的例子就是猞猁和兔子,它们每隔 10 年左右出现一个波动周期(图 17,左上图),但是,人类凭借自己的智慧和科技,开始掌控自然界,将自然界中每一寸可用的土地据为己有,打破了自身的平衡波动模式,导致了人口的狂飙(图 17,左下图)。

几个方面的因素助推了这一过程。首先是医疗的进步,大大降低了疾病导致的死亡率。再就是农业的进步:①人类不断扩展耕地,把大地一步步变成自己的粮食生产基地,这直接导致了大量的动植物栖息地的丧失,无数的物种惨遭绝灭;②通过肥料提

升农作物产量,人们利用埋藏的化石能源,把空气中不能被利用的分子态氮用化学的方法变成作物可利用的氮肥(现在全世界人工固氮总量可能超过了自然生物固氮的总和),开采埋藏的磷矿;③人们通过大量的农药,控制虫害与杂草,保证稳定的产量;④人们通过品种的选育,培育所谓超级稻,增加粮食产量;⑤在水资源短缺的北方,人们疯狂地开采地下水(有地方深达数十米),利用着数万年前的库存水,或者把南方的水调往北方,甚至通过人工降水等手段;等等。

不可否认,这确实是在一步步提升这个美丽的地球养育我们人类的承载能力,但问题是我们却在一步步地将它蹂躏与摧毁,淡水的持续环境恶化就是这部史诗般的宏大悲剧的情景之一,巨量的养分在人工的农业生态系统中循环之后大量流入容量极为有限的河湖之中(全球淡水资源不足整个水资源量的 0.01%),从而导演了触目惊心的富营养化和蓝藻水华。事实上,我们是在一步一步地蚕食地球环境的可塑性,使这根本已紧绷的弦不断更新极限……但可以确信的是,成长终会引来嘎然而止的那一天,如果我们放纵自身,总有一天会重蹈 St Paul 岛上驯鹿种群崩溃(图 17,右图)的命运!

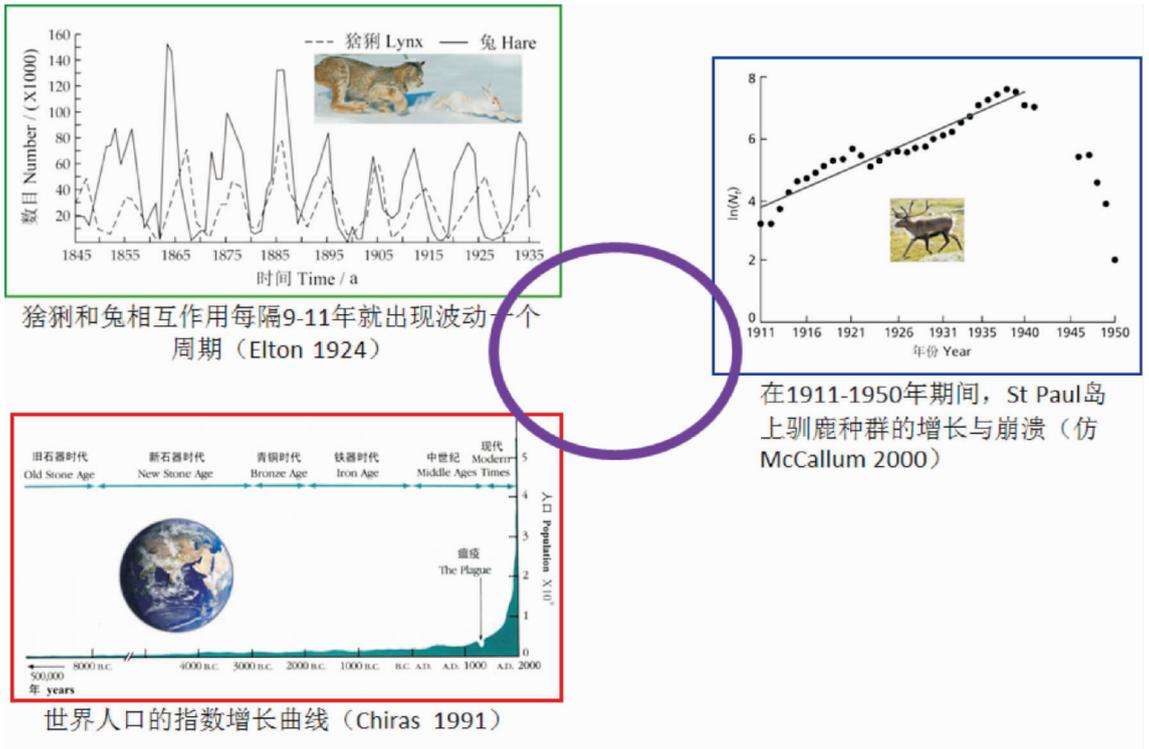


图 17 种群的极限——人类也是一个动物种群

Fig. 17 Population limitation—human is also an animal population

放眼未来,我们需要目光远大的政治家与各类具有良知的科学家的精诚合作,掌控流域的生态环境承载能力,优化流域的产业结构,构建、修复与保护自然原始的水生态系统,特别是要恢复有水下森林美誉的水生植被,保育好珍稀的物种及其栖息之地,继承与发展传统的生态渔业模式。要实现对水生态系统的科学管控,生产优质的自来水,收获优质的渔产品(这需要将渔业巧妙地组合到生态系统的自然代谢之中),提供生态的休闲地,保护好人类的健康!

我们人类寄居的这个自然界亦是由无数种大大小小的循环构成的一种极为错综复杂的地球系统,如生态系统中的生产者-消费者-分解者就是贯穿了一系列生源要素(C、N、P、S等)的循环。德国哲学家叔本华曾说,“不论在哪里都无例外,自然的纯粹象征是圆形,因为圆形是循环的图示。这实是自然界中最普遍的形式,上至天体的运行,下至有机体的生生死死,万物之中的所行所为,只有借这种图示,才可能在时间的流动中产生一种现实存在,即眼前的自然。”这亦是尊重自然与敬畏自然的伦理基石。人类可以实现的绝非可持续的增长,而是在一定平衡域附近震荡的良性循环,这亦是生态文明的原点之一!

参考文献

谢平. 2003. 鲢、鳙与藻类水华控制[M]. 北京: 科学出版社.

谢平. 2006. 水生动物体内的微囊藻毒素及其对人类健康的潜在威胁[M]. 北京: 科学出版社.

谢平. 2007. 论蓝藻水华的发生机制-从生物进化、生物地球化学和生态学观点[M]. 北京: 科学出版社.

谢平. 2008. 太湖蓝藻的历史发展与水华灾害[M]. 北京: 科学出版社.

谢平. 2009. 翻阅巢湖的历史-蓝藻、富营养化及地质演化[M]. 北京: 科学出版社.

俞顺章, 赵宁, 资晓林, 等. 2001. 饮水中微囊藻毒素与我国原发性肝癌关系的研究[J]. 中华肿瘤杂志, 23(2): 96-99.

Chen J, Xie P, Li L, et al. First identification of the hepatotoxic microcystins in the serum of a chronically exposed human population together with indication of hepatocellular damage[J]. Toxicol Sci, 108: 81-89.

Chen J, Xie P, Zhang D, et al. 2006. In situ studies on the bioaccumulation of microcystins in the phytoplanktivorous silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) stocked in Lake Taihu with dense toxic Microcystis blooms[J]. Aquaculture, 261: 1026-1038.

Chen J, Xie P, Zhang D, et al. 2007. In situ studies on the distribution patterns and dynamics of microcystins in a bio-manipulation fish-bighead carp (*Aristichthys nobilis*) [J]. Environ Pollut, 147: 150-157.

- Chen J, Zhang DW, Xie P, et al. 2009b. Simultaneous determination of microcystin contaminations in various vertebrates (fish, turtle, duck and water bird) from a large eutrophic Chinese lake, Lake Taihu, with toxic *Microcystis* blooms[J]. *Sci Total Environ*, 407: 3317 – 3322.
- Chen L, Chen J, Zhang XZ, et al. 2015. A review of reproductive toxicity of microcystins [J]. *J Hazard Mater.* (in press).
- Chiras D D. 1991. *Environmental Science, Action for a Sustainable Future*[M]. California: The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc.
- Elton C. 1924. Periodic fluctuations in the numbers of animals, their causes and effects[J]. *Brit Jour Exp Biol*, 2: 119 – 163.
- Franz D R. 1997. Defense against toxin weapons[OL]. <http://www.usamriid.army.mil/education/defensetox.html>.
- He J, Chen J, Wu LY, et al. 2012. Metabolic response to oral microcystin-LR exposure in the rat by NMR-based metabolic study[J]. *J Proteom Res*, 11: 5934 – 5946.
- Honkanen R E, Zwiller J, Moore R E, et al. 1990. Characterization of microcystin-LR, a potent inhibitor of type 1 and type 2A protein phosphatases [J]. *J Biol Chem*, 265: 19401 – 19404.
- Li GY, Cai F, Yan W, et al. 2012. A proteomic analysis of MCLR-induced neurotoxicity: implications for Alzheimer's disease[J]. *Toxicol Sci*, 127: 485 – 495.
- Liu Y, Xie P, Qiu T, et al. 2010. Microcystin extracts induce ultrastructural damage and biochemical disturbance in male rabbit testis[J]. *Environ Toxicol*, 25: 9 – 17.
- MacKintosh C, Beattie K A, Klumpp C, et al. 1990. Cyanobacterial microcystin-LR is a potent and specific inhibitor of protein phosphatase 1 and 2A from both mammals and higher plants[J]. *FEBS Lett*, 264: 187 – 192.
- McCallum H. 2000. *Population Parameters: Estimation for Ecological Models*[M]. UK: Blackwell Science Ltd.
- Paerl HW, Fulton R S III, Moisaner P H, et al. 2001. Harmful freshwater algal blooms, with an emphasis on cyanobacteria[J]. *Sci World J*, 1: 76 – 113.
- Pouria S, Andrade A, Barbosa J, et al. 1998. Fatal microcystin intoxication in haemodialysis unit in Caruaru, Brazil[J]. *Lancet*, 352: 21 – 26.
- Qiu T, Xie P, Liu Y, et al. 2009. The profound effects of microcystin on cardiac antioxidant enzymes, mitochondrial function and cardiac toxicity in rat[J]. *Toxicology*, 257: 86 – 94.
- Svrcek C, Smith D W. 2004. Cyanobacteria toxins and the current state of knowledge on water treatment options: a review [J]. *J Environ Eng Sci*, 3: 155 – 185.
- Tao M, Xie P, Chen J, et al. 2012. Use of a generalized additive model to investigate key abiotic factors affecting microcystin cellular quotas in heavy bloom areas of Lake Taihu. *PLoS ONE* 7: e32020.
- Ueno Y, Nagata S, Tsutsumi T, et al. 1996. Detection of microcystins, a blue-green algal hepatotoxin, in drinking water sampled in Haimen and Fusui, endemic area of primary liver cancer in China, by highly sensitive immunoassay [J]. *Carcinogenesis*, 17: 1317 – 1321.
- Vasconcelos V M, Sivonen K, Evans W R, et al. 1996. Microcystin (heptapeptide hepatotoxins) diversity in cyanobacterial blooms collected in Portuguese fresh waters [J]. *Wat Res*, 30: 2377 – 2384.
- WHO. 1998. *Guidelines for Drinking-water Quality [M]*// World Health Organization. Health Criteria and Other Supporting Information; Second edition, Volume 2. Geneva.
- Xie LQ, Xie P, Guo LG, et al. 2005. Organ distribution and bioaccumulation of microcystins in freshwater fishes with different trophic levels from the eutrophic Lake Chaohu, China[J]. *Environ Toxicol*, 20: 293 – 300.
- Xie P, Liu JK. 2001. Practical success of biomaniipulation using filter-feeding fish to control cyanobacteria blooms: a synthesis of decades of research and application in a subtropical hypereutrophic lake[J]. *The Scientific World*, 1: 337 – 356.
- Yang Q, Xie P, Shen H, et al. 2012. A novel flushing strategy for diatom bloom prevention in the lower-middle Hanjiang River[J]. *Water Res*, 46: 2525 – 2534.
- Yoshizawa S, Matsushima R, Watanabe M F, et al. 1990. Inhibition of protein phosphatases by microcystins and nodularin associated with hepatotoxicity[J]. *J Cancer Res Clin Oncol*, 116: 609 – 614.
- Zhang DW, Xie P, Chen J. 2010. Effects of temperature on the stability of microcystins in muscle of fish and its consequences for food safety[J]. *Bull Environ Contam Toxicol*, 84: 202 – 207.
- Zhang DW, Xie P, Liu YQ, et al. 2009. Transfer, distribution and bioaccumulation of microcystins in the aquatic food web in Lake Taihu, China, with potential risks to human health [J]. *Sci Total Environ*, 407: 2191 – 2199.
- Zhang Q X, Carmichael W W, Yu M J, et al. 1991. Cyclic peptide hepatotoxins from freshwater cyanobacterial (blue-green algae) waterblooms collected in central China [J]. *Env Toxicol Chem*, 10: 313 – 321.
- Zhao SJ, Xie P, Li GY, et al. 2012. The proteomic study on cellular responses of the testes of zebrafish (*Danio rerio*) exposed to microcystin-RR [J]. *Proteomics*, 12: 300 – 312.

Zhao YY, Xie P, Fan HH. 2012. Genomic profiling of microRNAs and proteomics reveals an early molecular alteration associated with tumorigenesis induced by MC-LR in mice [J]. *Environ Sci Technol*, 46: 34–41.

(主编按:谢平教授发表在科学网的博文《警钟——“碧水”孕育美丽的杀手》(<http://blog.sciencenet.cn/blog-1475614-927464.html>),引用大量例证论述了蓝藻水华及其次生危害。该文被阅读已超

过10 000次,并引起了热烈讨论。应本刊邀请,谢平教授将该博文格式调整后,作为综述在本刊发表,以便相关科研论文引用。水华及微囊藻毒素的危害是当今中国面临的一个非常严峻的问题,本刊将就此问题开辟讨论专栏,欢迎各位同仁发表高见。来稿请注明“水华及微囊藻毒素危害和控制讨论”。多谢!)

Cyanobacterial Blooms and Their Secondary Harms

XIE Ping

(Donghu Experimental Station of Lake Ecosystems, CERN, Institute of Hydrobiology, CAS, Wuhan 430072, P. R. China)

Abstract: This review gives an introduction to cyanobacterial blooms and their secondary metabolic products, microcystins. Microcystins are a kind of biotoxin, which effects harmfully on liver, kidney, gonad, nerve and heart of vertebrates, and mammals are especially sensitive to them. It also discusses how to manage the inland water ecosystem to prevent the outburst of cyanobacterial blooms.

Key words: cyanobacterial blooms; microcystins; drinking water safety; aquatic product safety