

蓝藻威胁下的水源地 ——2015 太湖、巢湖饮用水源地微囊藻毒素检测报告

由于水体富营养化，我国湖泊、水库等地表水常年发生蓝藻聚集。蓝藻发生最严重的地区集中在长江中下游和云贵高原区域，以太湖、巢湖、滇池尤为严重。由蓝藻释放的毒素——微囊藻毒素对饮用水和食品安全的影响一直没有引起人们足够的重视。作为典型常年受面源污染影响的湖泊，太湖和巢湖每年发生数十次不同规模的蓝藻聚集。两湖周边是经济发达人口密集地区，周围居民的生活饮用水和水产品多来自湖区¹，水源地和水产品的安全对于两地居民意义巨大。2015 年 8 月，新闻媒体报出太湖巢湖蓝藻聚集。绿色和平在太湖和巢湖的饮用水源地，共采集 7 个样本进行微囊藻毒素的检测。结果显示 7 个样品中有 5 个的微囊藻毒素-LR 含量²超过国家标准，最高一个样品超国标 2600 倍³。这样的结果显示，藻毒素对于饮用水源地和水产品的潜在威胁是存在的，且可以想见，这个情况不局限于巢湖和太湖，而可能广泛存在于蓝藻爆发的其他河流湖泊中。绿色和平呼吁地方政府加强对水源地水体以及水产品藻毒素的监测，并且公开信息；从源头控制化肥过量施用和养殖业造成的农业面源污染；当地居民应该避免在蓝藻爆发的水域中游泳、钓鱼，同时谨慎食用污染水域的水产品。

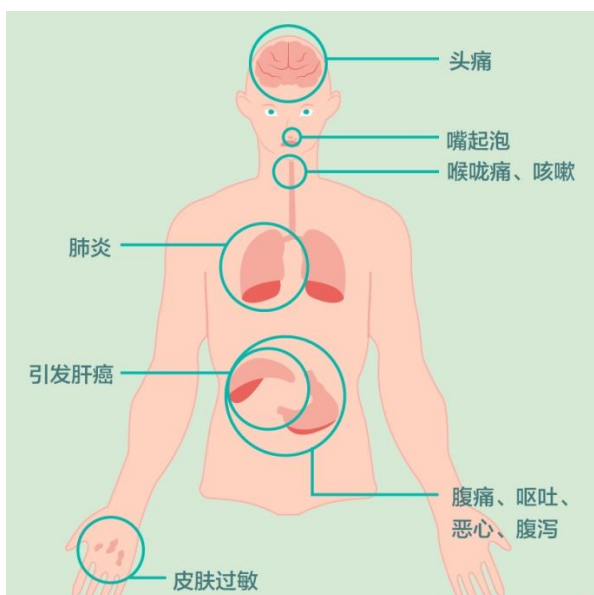


图 1 微囊藻毒素的健康影响

¹ 巢湖是巢湖市的水源地，太湖是无锡市的水源地。2007 年后，无锡开始使用长江作为部分水源。

² 检测微囊藻毒素-LR 是因为其为最常见、毒性最大的微囊藻毒素，并且在内地表水和生活饮用水标准中有限值。

³ 依照标准《地表水环境质量标准 GB 3838-2002》中表 3 集中式生活饮用水地表水源地特定项目标准限值，第 69 项微囊藻毒素-LR 限值 1 $\mu\text{g/L}$ 。

一、背景介绍

目前不断加剧的面源污染导致我国地表水富营养化程度日趋严重，引发蓝藻聚集频繁发生。我国淡水水体中蓝藻水华发生的区域十分广泛，南到广东，北到吉林，西到新疆均有发生记录⁴。

一直以来人们对于蓝藻等水华的关注，主要集中在发生面积、频率、治理措施上，蓝藻等水华产生的最大的威胁—藻毒素却很少被报道，没有得到足够的重视。微囊藻毒素对于人类和水生动物有很大的毒性，容易对环境安全和人体健康构成威胁。⁵微囊藻毒素具有较高的水溶性，同时性质稳定，抗 pH 变化、耐高温，不易沉淀或吸附，因而常规自来水处理工艺中的过滤、加氯等均不能彻底去除毒素。如果不能及时发现并重视藻毒素，容易残留在饮用水中，所以检测水源地中微囊藻毒素含量具有重要意义。微囊藻毒素对地表水的影响是一个值得被关注的全国普遍的问题。我国超过 85% 的湖泊面临富营养化威胁⁶，蓝藻聚集频繁发生于全国多地地表水。以我国东部湖泊为例，研究表明 105 个湖泊全部检测出微囊藻毒素⁷。

微囊藻毒素能在水产品体内富集，最终成为人们的盘中餐，威胁着人们的食品安全。太湖、巢湖流域淡水渔业资源丰富，太湖近年鱼类捕捞产量超 3 万吨，巢湖近年鱼类捕捞产量超 2 万吨。主要水产品种类包括鲢、鲫、草、鳊、湖鲂、银鱼等鱼类，以及白虾、螺、蚌。2009 年研究者在长江中下游 9 个湖泊的水产品中含有多数鱼类和螺类中检出微囊藻毒素，其中推算出鲤鱼肌肉以及铜锈环棱螺样品中的毒素超过了 WHO 规定的最大日均允许摄入量（TDI）⁸。同年在巢湖渔民的血浆中检测出微囊藻毒素，并且发现渔民肝细胞受损伤⁹。

当前一些国家和组织已经制定了微囊藻毒素含量的相关标准，主要集中在生活饮用水和地表水环境质量标准。例如世界卫生组织（WHO）规定饮水中微囊藻毒素-LR 临时指导限值为 1.0 µg /L。巴西、新加坡、法国等国依照 WHO 的指导限值制定了饮用水中微囊藻毒素含量标准。我国制定了饮用水中以及集中式生活饮用

⁴沈强，《我国蓝藻水华发生格局及监控预警现状》，河海大学学报，2010

⁵Cyanobacterial toxins: Microcystin-LR in Drinking-water. Guidelines for drinking-water quality, 2nd ed. World Health Organization, 1998.

⁶Novotny, V., A. J. Engle, X. Wang, D. Bedoya, L. Promsakorn, X. Huang, and J. Farah. 2007. Use of agricultural chemicals in China, India, Thailand and the Philippines and their environmental and human impact. Boston, MA.

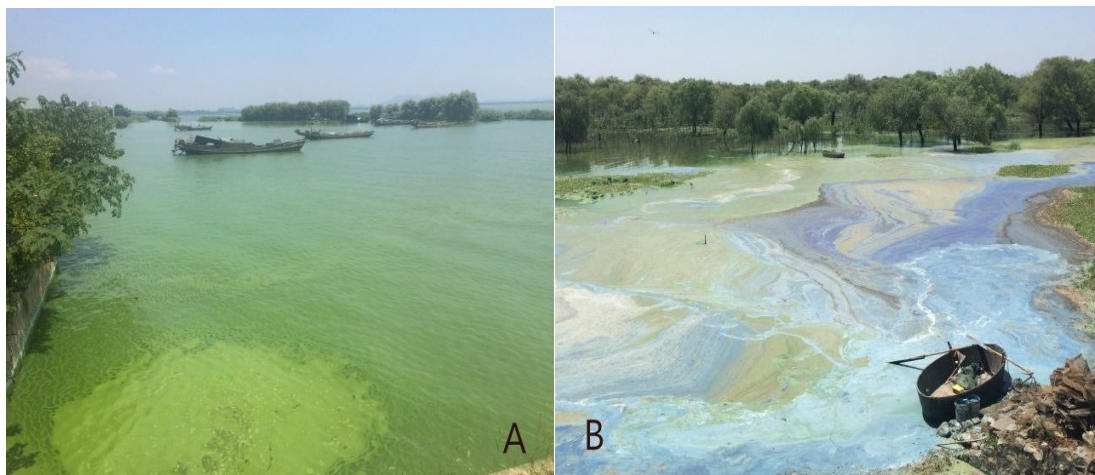
⁷陶敏.中国东部平原主要浅水湖泊浮游植物群落结构、微囊藻毒素污染与蓝藻产毒能力的研究.[博士学位论文].中国科学院水生生物研究所.2012.

⁸张大文.微囊藻毒素在水生食物网内的累积、传递、代谢以及对水产品安全性的潜在威胁.水生生物研究所.中国科学院水生生物研究所.2009.

⁹Chen J, Xie P, Li L & Xu J, First identification of the hepatotoxic microcystins in the serum of a chronically exposed human population together with indication of hepatocellular damage, Toxicol. Sci., (2009) 108: 81-89.

水地表水源地微囊藻毒素的检测方法标准和含量限值（1.0 $\mu\text{g/L}$ ），正在就水产品中微囊藻毒素检测方法标准征求意见。

2015 年 8 月，绿色和平调查员两次走访调查太湖、巢湖水源地情况，发现太湖的梅梁湾、贡湖湾水源地以及巢湖坝口水源地出现明显蓝藻聚集。太湖梅梁湾和贡湖湾为无锡市主要的水源地，包括了沙渚水源地、锡东水源地。其中沙渚水源地主要为南泉水厂、中桥水厂提供水源水，锡东水源地主要为锡东水厂提供水源水。两水源地占无锡市供水比例近六成¹⁰。巢湖西坝口水域为巢湖市第一水厂和第二水厂取水口所在地。今年 4~6 月蓝藻预警监测期间，通过卫星遥感监测共计发现太湖蓝藻水华聚集现象 27 次，分布区域主要集中在竺山湖、梅梁湖、贡湖、西部沿岸和湖心区。¹¹今年 8 月份上半月，巢湖蓝藻出现 2 次区域性聚集和 1 次局部聚集，其中区域性聚集面积占整个湖区面积近一半¹²。安徽省环保厅今夏已两次发出蓝藻水华红色预警¹³。



A: 2015 年 8 月 1 日，江苏无锡。锡东水厂水源保护区太湖岸边。

B: 2015 年 8 月 4 日，安徽合肥。合肥市中埠镇温家套巢湖岸边。

二、取样和检测方法

2015 年 8 月，绿色和平共在两地采集 6 个湖水样品以及 1 个自来水样品。所有样品均严格按照采样规范，使用广口塑料瓶作为采样瓶，使用保温箱 2 ~5 $^{\circ}\text{C}$ 冷藏保存样品。样品 24 小时内被送至具有资质的独立的第三方实验室，委托进行微

¹⁰ <http://js.people.com.cn/n/2015/0529/c360304-25054261.html> 沙渚水源地占无锡取水量的 40%，锡东锡东水源地占 20%。

¹¹ 《江苏省环境质量状况（2015 年上半年）》

¹² <http://www.hfepb.gov.cn/NewsLB.aspx?MenuID=006024> 合肥市环境保护局-巢湖蓝藻防控监测

¹³ <http://news.xinmin.cn/domestic/2015/08/11/28349393.html> 新民网，巢湖蓝藻水华异常 安徽两发预警

囊藻毒素含量检测。结果分析对照《地表水环境质量标准 GB 3838-2002》以及《生活饮用水卫生标准 GB 5749-2006》。采样点具体信息见表 1 和图 2。

表 1 采样点信息

编号	采样位置	水样类型
T01	无锡市太湖锡东水厂水源保护区近岸	水源保护区内湖水样品
T02	无锡市太湖锡东水厂取水口外 200 米	水源保护区内自来水厂取水口外 200 米湖水样品
T03	无锡市太湖南泉水厂水源保护区近岸	水源保护区内湖水样品
C01	巢湖市第二水厂取水口	自来水厂取水口湖水样品
C02	巢湖市第一水厂取水口	自来水厂取水口湖水样品
C03	巢湖市中埠镇温家套温村临巢湖岸边	湖水样品
C04	巢湖市中埠镇温家套孙村居民家中	农村集中供水工程自来水样品



图 2 采样点分布图

三、主要发现

1. 水源地样品中微囊藻毒素-LR 普遍超国家标准

根据第三方实验室检测结果显示，7 个样品中有 5 个的微囊藻毒素-LR 含量超过国家标准。其中 5 个水源地保护区样品中有 4 个的微囊藻毒素-LR 含量超过集中式生活饮用水地表水源地的国家标准¹⁴，分别为太湖样品（T01、T02、T03）和巢湖样品（C02）。除了 5 个水源地样品，我们还检测了一个农村集中供水工程终端自来水样品（C04，未超标），巢湖边居民区临湖湖水样品（C03，超标）。¹⁵

从不同区域来看，来自太湖的 3 个水源地样品全部超标，采自巢湖的 2 个水源地样品中有 1 个超标。直接采自两地自来水厂取水口附近的 3 个样品中，有 2 个超过国家标准，分别来自无锡锡东水厂取水口和巢湖市第一水厂取水口。采自无锡市锡东水厂水源地保护区范围岸边的样品（T01）被检出微囊藻毒素-LR 含量最高（2600 µg/L），超过国家标准两千多倍。甚至唯一的合格水源地样品（C01）微囊藻毒素-LR 含量也临近国家标准限值。

表 2 微囊藻毒素-LR 检测结果

样品	样品描述	采样时间	微囊藻毒素-LR (µg/L)	超标情况
T01	无锡市锡东水厂水源保护区内近岸湖水样品	2015/08/11/17:21	2600	超标
T02	无锡市太湖锡东水厂取水口外 200 米湖水样品	2015/08/11/18:30	1.2	超标
T03	无锡市太湖南泉水厂水源保护区近岸湖水样品	2015/08/11/19:22	1.5	超标
C01	巢湖市第二水厂取水口湖水样品	2015/08/12/09:51	0.94	未超标
C02	巢湖市第一水厂取水口湖水样品	2015/08/12/10:30	9	超标
C03	巢湖市中埠镇温家套温村临巢湖岸边湖水样品	2015/08/12/11:12	91	超标
C04	巢湖市中埠镇温家套孙村居民家中自来水样品	2015/08/12/11:30	<0.50	未超标

¹⁴水源地样品依照《地表水环境质量标准 GB 3838-2002》中表 3 集中式生活饮用水地表水源地特定项目标准限值，第 69 项微囊藻毒素-LR 限值 1 µg/L。

¹⁵ C03 采样点位于水源保护区外，非水源地地表水没有微囊藻毒素限量标准，所以只能对比水源地标准。

2. 水源地样品中检测出多种藻毒素

微囊藻毒素具有多种异构体，但被纳入集中式生活饮用水地表水源地限值的仅为微囊藻毒素-LR，为了更全面了解水源地中微囊藻毒素的含量和种类差别，我们在 2 个样点检测了常见的 4 种微囊藻毒素（**Microcystine**）和节球藻毒素（**Nodularine**）。

结果显示，除了微囊藻毒素-LR 之外，其他 3 种微囊藻毒素均被检出，节球藻毒素未被检出。其中微囊藻毒素-RR 和微囊藻毒素-YR 含量较高。鉴于微囊藻毒素的不同异构体都具有类似的毒性，其他结构的微囊藻毒素危害同样不可忽视。标准制定部门在制定饮用水标准，以及水质监测部门在监测时，应当考虑增加检测项目。

表 3 微囊藻毒素检测结果

编号	采样地点	微囊藻毒素 Microcystine (µg/L)				节球藻毒素 Nodularine
		LR	RR	LW	YR	
T01	无锡市太湖锡东水厂水源保护区近岸	2600	6700	26	950	<2.5
C02	巢湖市第一水厂取水口	9	11	<2.0	1.4	<0.5

四、藻毒素背后的污染来源

微囊藻毒素产生自蓝藻，而引发蓝藻的关键因素是水中过高的氮磷元素浓度。相关研究表明，当水体中总氮浓度大于 0.2 mg/L，总磷浓度大于 0.02 mg/L 时，就有可能引起蓝藻水华¹⁶。而包括巢湖和太湖在内，现在绝大多数的河流湖泊和水库等水体中氮、磷浓度已超出数值。2012 年太湖的总氮含量在 2.38 mg/L，总磷含量在 0.07 mg/L¹⁷。巢湖总氮含量在 3.19 mg/L，总磷含量在 0.19 mg/L。

据研究表明，太湖入湖的氮磷超过一半来自面源污染，其中主要是农业源¹⁸。农业面源污染主要来自种植业和畜禽养殖业。随着太湖流域工业点源和城乡污水处理逐步到位，农业面源污染占污染负荷的比重逐步提高。资料显示，苏南太湖流域是我国农业最发达的地区之一，全区面积仅占全国的 0.4%，而化肥消费量占全国的 1.3%。在太湖周边的无锡、常州、苏州等地，单位面积的化肥施用量达到每公顷 500 公斤以上，远远超出世界公认的 225 公斤/公顷的上限¹⁹。太湖流域单位耕地

¹⁶ 金相灿，《湖泊环境》，海洋出版社，1995

¹⁷ 《太湖流域水环境综合治理总体方案（2013 年修编）》

http://www.sdpc.gov.cn/fzgggz/dqjj/zhdt/201401/t20140114_575733.html

¹⁸ 同 17

¹⁹ 潘继征等，《中国氮肥施用及其水污染形势研究报告》，2012

面积猪、禽承载量高达 13.39 头/公顷和 268.4 只/公顷，单位面积承载的粪尿中氮磷含量分布达到 113 kg N/公顷和 69 kg P₂O₅/公顷，均高于全国平均水平²⁰。

巢湖流域农业面源污染对氮素污染贡献最大，而水土流失则对磷面源污染贡献最大。研究发现 2010 年巢湖流域总氮产生量为 1900.3 吨，总磷为 244.1 吨²¹。根据《第一次全国污染源普查》，2007 年，巢湖流域农业面源总氮、总磷排放量分别为 0.87 万吨、0.16 万吨，分别占流域排放总量的 32%、48%。巢湖流域环湖稻田氮肥施用量从 20 世纪 60 年代的 75 公斤/公顷，上升到现在的 960 公斤/公顷水平，有些地方甚至达到 1200 公斤/公顷。巢湖流域散养各类畜禽达猪 188.9 万头、家禽 11542.9 万羽，估算全年产生的畜禽粪便达 2515.35 万吨（猪粪当量计）²²。

太湖和巢湖流域畜禽粪便利用率较低，大量废弃物没有还田或者制成商品有机肥，而是直接进入环境成为污染源。而与此同时，种植业却施用大量的化肥，近 7 成养分没被作物吸收而流失到环境中。种植业、畜禽养殖业都成为独立的污染来源。要根治蓝藻爆发的问题，光靠每年数千万的打捞是治标不治本的，关键只是还是从源头解决农业面源污染，提高畜禽粪便的利用率并减少化肥的使用。

五、建议

绿色和平呼吁地方政府加强对水源地藻毒素以及水产品的监测，并且公开信息；治理控制面源污染，推进畜禽粪便资源化，减少化肥施用；当地居民应该避免在蓝藻爆发的湖水中游泳、钓鱼，同时谨慎食用污染水域的水产品。

六、附录

1. 微囊藻毒素是什么？

微囊藻毒素是最为常见，发生量最大，危害最大的一类蓝藻毒素。它是一类具有生物活性的环状七肽化合物，为分布最广泛的肝毒素，能够强烈抑制蛋白磷酸酶的活性。此外还有肾毒性、遗传毒性、胚胎发育毒性²³。它具有相当的稳定性，煮沸也难以灭活。微囊藻毒素产生于蓝藻胞内，随藻类死亡裂解而释放到水中。微囊藻毒素可以在水产品体内积累，一般含量从高到低依次为蚌类>螺类>鱼类。国内正在进行水产品中微囊藻毒素的测定方法的征求意见²⁴。

²⁰ 李志宏等，《太湖流域农业氮磷面源污染现状及防治对策》，中国农学通报, 2008

²¹ 王雪蕾等，《巢湖流域氮磷面源污染与水华空间分布遥感解析》，中国环境科学, 2015 年 05 期

²² 钱一夫，《巢湖流域畜牧养殖污染环境政策探讨》，安徽农学通报, 2014,20(15).

²³ 谢平，水生动物体内的微囊藻毒素及其对人类健康的潜在威胁.北京:科学出版社.2006.

²⁴ <http://www.moh.gov.cn/sps/s3593/201508/077b818189e9436bbf5179a000b2146c.shtml>

2. 微囊藻毒素的健康影响

摄入途径：可以通过饮用水和被污染的水产品进入人体。

急性暴露：微囊藻毒素是一种急性毒素，主要表现为肝毒性。常见急性健康影响：腹痛、头痛、喉咙痛、呕吐、恶心、干咳、腹泻、嘴起泡、肺炎²⁵。

长期暴露：微囊藻毒素的长期健康影响目前虽然还并不明确，但是已有相当数量的动物实验和流行病学的研究证据说明长期暴露可能会引起肿瘤的生长，引起诸如肝癌等癌症。如研究表明在中国江苏海门和广西扶绥的部分地区的原发性肝癌和饮用地表池塘水有相关性²⁶。在巢湖地区的研究表明，长期微囊藻毒素暴露引起当地渔民肝细胞损伤，并且血清中检出微囊藻毒素²⁷。

3. 微囊藻毒素造成的健康事件²⁸：

时间	摄入途径	地点	症状
1975	饮用水	美国	急性肠胃炎
1981	饮用水	澳大利亚	肝损伤
1996	饮用水	中国	肝炎、肝癌
1996	肾透析	巴西	肝衰竭,造成 45 人死亡
1987-1989	饮用水	中国厦门同安	促进肝癌
2005	饮用水、水产品	中国巢湖	肝损伤

²⁵ <http://www2.epa.gov/nutrient-policy-data/health-and-ecological-effects>

²⁶ Ueno Y *et al.* (1996) Detection of microcystins, a blue-green algal hepatotoxin, in drinking water sampled in Haimen and Fusui, endemic areas of primary liver cancer in China, by highly sensitive immunoassay. *Carcinogenesis*, 17(6):1317-1321.

²⁷ Chen J, Xie P, Li L & Xu J, First identification of the hepatotoxic microcystins in the serum of a chronically exposed human population together with indication of hepatocellular damage, *Toxicol. Sci.*, (2009) 108: 81-89.

²⁸ 谢平,微囊藻毒素对人类健康影响相关研究的回顾.湖泊科学,2009,21(5):603-613.