

## 新疆天池水体环境质量变化原因分析及治理措施

### The water quality in the Heavenly Lake (Tianchi), Xinjiang: causes behind its water quality changes and relevant policy analysis

牛生明<sup>1</sup> 马健<sup>2</sup> 金发军<sup>3</sup> 尹湘江<sup>3</sup> 杨维娜<sup>3</sup> 张强<sup>3</sup> (1.新疆阜康国有林管理局, 新疆 阜康 831500; 2.中国科学院新疆生态与地理研究所, 新疆 乌鲁木齐 830011; 3.新疆天池博格达峰自然保护区管理局, 新疆 阜康 831500)

**摘 要** 湖泊的富营养化会造成水体中藻类和水生植物的大量繁殖, 从而导致水质恶化, 引发一系列生态问题。为研究新疆天池博格达峰自然保护区水体环境质量现状, 对天池和三工河水体水质进行了环境监测, 结果显示天池、西小天池和三工河水体已经出现中度富营养化倾向。根据监测和研究结果, 目前天池湖水发生富营养化的主要原因包括过度放牧, 外来鱼种大量投放, 污水处理设施欠缺及气候变化的影响。针对天池高海拔流域水体特征, 从国内外湖泊富营养化治理的经验措施中进行筛选, 我们建议继续施行区域草场的全面禁牧, 加强服务区配套污染物处理设施建设及对内外源污染的控制, 并通过实地调研与长期监测, 研究适合天池自然环境条件和要素治理特征的水体综合整治技术, 在各方相关单位的合作下, 实现湖泊治理的系统化与生态化。

**关键词** 天山天池; 富营养化; 污染成因; 治理对策

**免责声明** 本文仅代表作者个人观点, 与中国 21 世纪议程管理中心、中国可持续发展研究会及联合国均无关。

*Disclaimer: This brief was submitted through the Administrative Centre for China's Agenda 21 (ACCA21), Ministry of Science and Technology, China, and the Chinese Society for Sustainable Development (CSSD). The views and opinions expressed are those of the author(s) and do not necessarily represent the views of, and should not be attributed to, the Secretariat of the United Nations, the ACCA21 or the CSSD. Online publication or dissemination does not imply endorsement by the United Nations. For further information, please contact Mr. Sun Xinzhang (sunxzh@acca21.org.cn)*

## 1. 新疆天山天池简介及现状

天山天池位于天山东段的博格达峰下, 面积 4.9km<sup>2</sup>, 海拔 1910m, 平均深度约 60m, 是典型的高海拔贫营养型湖泊, 也是新疆天池博格达峰自然保护区的重要区域, 该保护区是 1980 年经新疆维吾尔自治区人民政府批准成立的省级自然保护区, 全区总面积 380.69 km<sup>2</sup>; 1982 年天山天池被国务院公布为首批全国 44 处国家重点风景名胜区之一, 景区总面积 548 km<sup>2</sup>; 2006 年荣获国家首批 66 家 5A 级荣誉称号。1990 年, 被联合国教科文组织批准为人与生物圈“博格达峰生物圈保护区”, 是我国第七个被纳入国际生物圈地网的保护区, 生态地位十分重要, 受到国际关注。2009 年 3 月荣获中央文明委、国家旅游局、国家住房与城乡建设部联合评选的“全国文明风景旅游区”荣誉称号; 2009 年 8 月被

国土资源部授予国家地质公园资格。2013 年 6 月 21 日, 在柬埔寨金边举行的第 37 届世界遗产大会上, 新疆天山成功入遗, 被批准列入联合国教科文组织《世界遗产名录》中的自然遗产目录。

随着天池国内外影响力的不断提升, 慕名而来的国内外游客数量不断攀升, 天池以哈萨克族为主的当地人口也在持续增加, 放牧强度不断加大。日益加剧的人类活动带来了各种交通工具的污染、生活生产的废水废弃物、高强度放牧以及周边陡坡与山地的水土流失, 使得天池水体受到了持续的、累积的污染。

## 2 天池水体富营养化状况

水体富营养化 (Eutrophication) 是湖泊、水库、河口、海湾等缓流水体中氮、磷等营养物质的含量超过一

定的界限，在光照和水温又比较合适的条件下，引起藻类以及其他水生生物异常繁殖，水体的透明度和溶解氧大大降低，鱼类及其它生物大量死亡、水质恶化的现象<sup>[1]</sup>。一般说来，界定天然水体是否处于富营养化状态的氮磷浓度临界值为：总磷浓度 0.02mg/L，总氮浓度 0.2mg/L，一旦超过这一标准则认为水体处于富营养化状态。磷元素相对氮元素来说，对于湖泊富营养化的限制处于相对次要位置<sup>[2]</sup>。

经中科院新疆生态与地理研究所、天池管委会环境监测站对天池和三工河水体水质进行的监测，结果显示（见附表 1、2）：天池地表水总体水质低于国家地表水 I 类水标准，部分指标低于国家地表水 II 类水标准。水中磷、氮含量超标（总氮含量均大于 0.2mg/L，达到 0.6-0.7 mg/L；总磷含量在 0.02mg/L 左右），表明天池、西小天池和三工河水体有中度富营养化倾向。水体出现富营养化现象时，由于浮游生物大量繁殖，往往使水体呈现蓝色、红色、棕色、乳白色等，这种现象在江河湖泊中叫水华，在海中叫赤潮。这会容易造成水体生态环境失衡，加速藻类生长，藻类死亡腐败后气味难闻，污染水体，破坏景观<sup>[3]</sup>。

### 3 水体富营养化的表现

在自然条件下，湖泊从贫营养状态向富营养状态的转变十分缓慢，但是由于人类活动的影响，往往会加快很多倍，湖泊富营养化的主要表现包括<sup>[4]</sup>：

(1) 水体的 pH 值偏高或偏低。水华现象较容易爆发于 pH 值偏高或偏低的水体中。当 pH 值在中性范围内时，底泥中的磷释放量最小，pH 值的升高或者降低将会使底泥中磷的释放量成倍增加，磷的释放量和水体中的 pH 值呈抛物线相关。

(2) 水体的透明度降低。水体富营养化污染程度的高低可以由水体透明度来反映，小于 0.5m 时可以认为水体的富营养化程度很高。

(3) 水体带有一定颜色。富营养化水体中由于藻类及其他水生植物的疯狂繁殖，带有一定颜色，常见为蓝色、绿色、红色等。

(4) 溶解氧含量偏低。溶解氧的含量通常是衡量水体自净能力的重要指标，洁净水体中溶解氧值一般都接近于饱和，一旦水体受到污染，溶解氧的值便会低于饱和值，而若水体中的溶解氧不能及时得到补充，水体中的厌氧菌将会大量繁殖，影响有机物的降解，而使水体变黑、变臭。

(5) 化学需氧量偏高。化学需氧量又称化学耗氧量（chemical oxygen demand），简称 COD。COD 的单位为 ppm 或 mg/L，其值越小，说明水质污染程度越轻。反之，表明污染程度重。

### 4 湖泊富营养化的危害

水体富营养化的危害主要表现在以下几个方面<sup>[5, 6]</sup>：

(1) 改变水体的理化性质。如水体的嗅觉改变、水体自身的透明度明显下降、水体带色等理化性质的改变。

(2) 加速水体的富营养化恶性循环。

(3) 影响湖泊生态系统。湖泊的富营养化增加了藻类等浮游植物的生物量，同时改变了水体中浮游植物的群落组成，影响了以其为食物的水中浮游动物的组成。导致了水生生物的多样性和稳定性降低，并通过食物链的传递对整个生态平衡产生了不利影响。

(4) 降低湖泊水体的经济价值。湖泊一旦发生富营养化，藻类大量繁殖，湖泊变得浑浊不堪、臭味弥漫，一是严重影响到了湖泊的旅游观光价值。二是堵塞航道，影响到水运。三是严重的富营养化。藻类释放毒素，导致水中大量鱼类死亡，四是会给水净化带来困难，增加水处理难度和费用。

(5) 毒害人畜健康：富营养化水体中的藻类会产生会释放出微囊藻毒素，这种毒素是肝脏的强烈促癌剂，可能引发肝癌甚至死亡。其中（MC-LR 的半致死剂量

(LD50) 约为  $50 \mu\text{g}/\text{kg} \sim 100 \mu\text{g}/\text{kg}$ )。微囊藻毒素具有水溶性和耐热性, 加热煮沸混凝沉淀、过滤、加氯、氧化、活性炭吸附等也不能将其完全去除。化学性质相当稳定, 自然降解过程十分缓慢。微囊藻毒素在去离子水中可保持稳定状态长达 27 天, 在灭菌的河水中可保持稳定 12 天<sup>[7-10]</sup>。

中国生活饮用水卫生标准 (GB 5749-2006) 的颁布, 将饮用水中微囊藻毒素含量限制为  $1 \mu\text{g}/\text{L}$ , 该标准的实施对水源水的质量提出了更高的要求。

## 5 天池水体富营养化成因

根据中国科学院新疆生态与地理研究所、成都山地灾害与环境研究所、植物研究所等科研单位的监测和研究表明, 目前天池湖水发生富营养化的主要原因如下:

(1) 过度放牧造成天池南岸, 三工河上游水土流失严重, 每次遇到超过 50mm 的降雨, 就会形成洪水和泥石流, 携带大量泥土和牲畜粪便进入天池, 这是造成天池水质下降和水体富营养化的主要原因。据 2007 年调查数据, 在海拔 2000-3000 米的山地草原和亚高山草甸带, 样方调查生物量为  $50-100\text{g}/\text{m}^2$ , 远远低于优质草场  $3000\text{g}/\text{m}^2$  的标准。中科院水利部成都山地灾害与环境研究所从 2002 年开始对天池保护区进行调查研究, 结果显示, 天池 1971—2003 年的 32 年间, 由于泥石流频发, 进入天池的泥沙达  $1.86 \times 10^6 \text{m}^3$ , 使天池湖岸线向湖中推进了 217m, 而 2003 年—2006 年的 3 年间天池的湖岸线又向湖中前进了 54m。

基于以上原因 2012 年起对天山天池周边  $2.255 \times 10^4 \text{hm}^2$  草场实施彻底禁牧, 涉及三工河乡、水磨沟乡和九运街镇牧业队共计 89 个作业组, 牧民 725 户、3583 人, 牲畜 6.9 万羊单位。

(2) 近几年在天池湖水中大量投放虹鳟、高白鲑等外来鱼种 (仅 09 年一次性投放 24 万尾), 虹鳟、高白鲑以浮游生物为食, 浮游生物则以藻类为食, 浮游生物数量的降低, 会造成藻类大量滋生, 扰乱生态平衡。

(3) 目前在天池周边建立的污水处理设施规模较小, 不能满足逐年增加的游客所带来的生活污水的处理需求。

(4) 近年来受全球变化的影响, 天池景区降水量异常偏少 (2007 年以来每年降雨量平均为 380mm, 较以往减少一半), 导致水体温度升高; 径流减少, 水交换量小, 水体自净能力下降, 加剧了水环境恶化<sup>[11]</sup>。

这些因素造成了水环境问题影响范围广、危害程度深、治理难度大等特征, 水环境问题产生的原因是多方面的, 但主要是人类主观因素的影响。

## 6 国内外对水体富营养化的控制和治理措施

根据国内外的经验, 对已经发生富营养化水体通常采用的一些方法有<sup>[12]</sup>:

### 6.1 污染源控制

1) 建立污水处理厂将工农业生产和生活污水等点源污染净化;

2) 封山禁牧, 减少因为水土流失而导致的面源污染。

3) 迁移生态环境脆弱区域居民、工厂、矿场、生活设施和牲畜, 减少对生态环境的破坏。

### 6.2 治理措施

1) 物理方法:

A: 机械捞法 B: 底泥挖掘 C: 深层曝气

D: 超声波除藻: 20 世纪 90 年代日本开始进行超声波抑藻杀藻技术的研究, 目前在千叶湖进行较大规模的试验。我国清华大学等单位也进行了一定研究。

2) 化学方法:

A: 混凝除磷 B: 药物除藻

3) 生态修复<sup>[13, 14]</sup>:

A: 生物控制: 利用水生生物对藻类捕食或竞争作用, 如一定程度的投放浮游动物或滤食性鱼类控制藻类。鲢、

鳙是典型的滤食性鱼类，作为内陆水域主要养殖品种，其对放养水体中浮游生物的控制作用备受关注。

B: 化感抑藻：利用植物的化感作用抑制藻类生长，如对羟基苯甲酸是重要的化感物质，属于植物的次生代谢物，对植物的生长发育具有他毒和自毒作用，并能在自然水体中被生物降解，不会导致二次污染的现象。

上述治理方法都有一定效果，但也存在很多弊端。多数方法是在末端上治理，治标不治本，科学的治理措施是必须强化流域生态意识，依赖于全流域水环境的综合整治，将天池周边及其上游各支流地区的水土保持、营养源的控制消除、去除藻类措施统一起来。中断污染源，尊重自然的选择，实行生态自我修复，辅以必要的人工治理措施，提高水体抗污染荷载能力，才能真正控制和发挥天池湿地生态系统的功能和作用，实现有限湿地资源的综合开发和循环利用。

## 7 对天池富营养化现状计划采取的措施

根据国内外研究和治理所取得的成果和经验，我们计划初步采取以下措施对天池水体的富营养化进行治疗：

(1) 继续实施（新疆天山）博格达自然遗产地  $2.255 \times 10^4 \text{ hm}^2$  草场全面禁牧，特别是三工河上游区域实施禁牧，恢复植被，减少径流。

(2) 进一步在天池周边及三工河服务集中区，增设配套污水和固体垃圾，各种生活垃圾及污水处理，在源头上切断污染源。

(3) 加强对污染源的控制与处理，将景区区间车、游艇等交通工具燃料改为使用天然气，减少景区污染物的排放量。

(4) 对天池和西小天池中放养的外来鱼类进行打捞；同时对湖泊浅层可见的藻类进行打捞，减少内源性污染物的产生。

(5) 继续开展对天池和三工河水体水质、气象要素、植被、土壤的长期监测，查明天池和三工河水体富营养化的程度和变化趋势，找准造成天池水体污染的面源污染物、来源和主要影响因素。

(6) 加强与国内相关科研院所的合作与交流，通过实地调查、样区监测和情景模拟相结合，解析天池农牧遗留、生活与旅游、水土流失等主要污染来源途径的贡献和结构特征，甄别水体质量改善的主要控制因子和关键排放途径。对比分析国内外高海拔地区湖库地表水，特别是具有保护区功能水域的污染治理技术成果与成功经验，筛选适合天池自然环境条件和要素治理特征的水体综合整治技术，开展天池关键水体污染治理技术的集成与示范。

## 8 结语

湖泊富营养化既是一个自然演化的“百年”过程，也是人类活动影响下快速发展的“十年”过程。湖泊中蓝藻生长是一个自然现象，但其大量繁殖给生态系统和人体健康带来严重威胁。过多营养盐进入湖泊是蓝藻异常生长并形成水华的主要原因之一，因此富营养化治理是控制蓝藻水华形成的主要途径。确定水华成因后，局部湖区的蓝藻水华可预测预报以便采取应急措施，减轻蓝藻水华危害。对污染比较严重的湖泊进行管理时，不能急于求成，要尊重自然规律，不断完善湖泊管理的法律法规，实现湖泊治理的系统化与生态化，湖泊环境监测的自动化，吸引公众参与湖泊管理。

## 参考文献

- [1] 秦伯强. 湖泊富营养化发生机制与控制技术及其应用[J]. 科学通报, 2006, (16): 1857-1866.
- [2] 王国祥, 成小英, 濮培民. 湖泊藻型富营养化控制: 技术、理论及应用[J]. 湖泊科学, 2002, (3): 273-282.

- [3]秦伯强. 湖泊富营养化及其生态系统响应[J]. 科学通报, 2013, (10): 855-864.
- [4]秦伯强. 我国湖泊富营养化及其水环境安全[J]. 科学对社会的影响, 2007, (3): 17-23.
- [5]马经安, 李红清. 浅谈国内外江河湖库水体富营养化状况[J]. 长江流域资源与环境, 2002, (6): 575-578.
- [6]赵永宏. 我国湖泊富营养化防治与控制策略研究进展[J]. 环境科学与技术, 2010, (3): 92-98.
- [7]张维昊, 徐小清, 丘昌强. 水环境中微囊藻毒素研究进展[J]. 环境科学研究, 2001, (2): 57-61.
- [8]王伟琴, 金永堂, 吴斌, 等. 水源水中微囊藻毒素的遗传毒性与健康风险评价[J]. 中国环境科学, 2010, (4): 468-476.
- [9]谢平. 微囊藻毒素对人类健康影响相关研究的回顾[J]. 湖泊科学, 2009, (5): 603-613.
- [10]姜锦林, 宋睿, 任静华, 等. 蓝藻水华衍生的微囊藻毒素污染及其对水生生物的生态毒理学研究[J]. 化学进展, 2011, (1): 246-253.
- [11]梁培瑜, 王烜, 马芳冰. 水动力条件对水体富营养化的影响[J]. 湖泊科学, 2013, (4): 455-462.
- [12]虞孝感, Nipper J, 燕乃玲. 从国际治湖经验探讨太湖富营养化的治理[J]. 地理学报, 2007, (9): 899-906.
- [13]况琪军, 马沛明, 胡征宇, 等. 湖泊富营养化的藻类生物学评价与治理研究进展[J]. 安全与环境学报, 2005, (2): 87-91.
- [14]袁志宇, 赵斐然. 水体富营养化及生物学控制[J]. 中国农村水利水电, 2008, (3): 57-59.

态建设的研究、实践工作, 发表有《近 50 年来天山博格达峰地区冰川变化分析》、《遥感影像提取冰川信息方法研究》, 完成了《天山天池地质灾害防治与生态保护关键技术及应用》。电子邮箱: xjgfgf@126.com。

**作者简介:** 牛生明, 高级工程师, 长期在新疆天池博格达峰自然保护区和阜康林区从事自然保护管理和林业生

附表 1. 天池、西小天池以及三工河水水质检测结果

样品编号	采样日期	透明度 (米)	溶解氧 mg/L	化学需氧量 mg/L	PH	全磷 mg/L	全氮 mg/L	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> mg/L	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/L	Cl <sup>-</sup> mg/L	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/L	Ca <sup>2+</sup> mg/L	K <sup>+</sup> mg/L	Mg <sup>2+</sup> mg/L	Na <sup>+</sup> mg/L	电导 (us/cm)	总盐 (mg/l)	总大肠菌群 (MPN/100ML)
小天池	2013/06/26	1.5	6.38	1.82	7.64	<b>0.04</b>	<b>0.61</b>	未检出	0.67	1.73	18.49	28.17	0.95	7.36	15.64	183.3	98.4	
小天池	2013/07/26	1.5	7.57	1.35	7.91	<b>0.03</b>	<b>0.64</b>	<0.03	5.2	4.5	19.9	28.8	<0.5	4.74	5.14	172	113	未检出
三工河	2013/06/26	0.4	5.68	1.79	7.73	<b>0.04</b>	<b>0.92</b>	未检出	1.03	2.83	22.59	31.39	0.70	7.27	14.81	213.0	109.0	
三工河	2013/07/26	0.4	6.89	1.30	8.81	<b>0.02</b>	<b>0.60</b>	<0.03	6.0	4.9	19.5	28.2	<0.5	4.97	7.02	250	123	未检出
天池海南	2013/06/26	3.7	6.66	1.08	8.13	<b>0.05</b>	<b>0.95</b>	未检出	1.01	1.28	15.34	23.49	0.35	4.90	6.44	160.8	74.0	
天池海南	2013/07/26	4.0	7.57	1.20	8.70	<b>0.02</b>	<b>0.58</b>	<0.03	6.0	5.0	13.8	22.9	<0.5	3.89	3.93	140	101	未检出
天池海中	2013/06/26	4.0	7.49	1.17	8.18	<b>0.05</b>	<b>0.77</b>	未检出	0.83	1.71	16.72	23.63	0.34	4.62	3.97	166.8	73.6	
天池海中	2013/07/26	4.0	8.31	1.34	8.80	<b>0.03</b>	<b>0.66</b>	<0.03	3.4	3.7	14.1	22.9	<0.5	3.89	3.89	141	104	未检出
天池海北	2013/06/26	6.0	7.56	1.01	8.00	<b>0.05</b>	<b>0.86</b>	未检出	0.87	1.37	15.81	23.10	0.46	4.96	7.11	162.6	77.6	
天池海北	2013/07/26	6.5	8.58	1.28	8.80	<b>0.02</b>	<b>0.64</b>	<0.03	4.3	4.0	14.0	23.0	<0.5	3.89	3.90	142	104	未检出

注：界定天然水体是否处于富营养化状态的氮磷浓度临界值为：总磷浓度 0.02mg/L，总氮浓度 0.2mg/L，一旦超过这一标准则认为水体处于富营养化状态。磷元素相对氮元素来说，对于湖泊富营养化的限制处于相对次要位置。

附表2 国家地表水环境质量标准基本项目标准限值 (GB 3838—2002)

mg/L

序号	项目	I类地表水	II类地表水	III类地表水	IV类地表水	V类地表水
1	pH值(无量纲)			6-9		
2	溶解氧	≥饱和率 90% (或 7.5)	≥6	≥5	≥3	≥2
3	化学需氧量(COD)	≤15	≤15	≤20	≤30	≤40
4	总磷(以P计)	≤0.02 (湖、库 0.01)	≤0.1 (湖、库 0.025)	≤0.2 (湖、库 0.05)	≤0.3 (湖、库 0.1)	≤0.4 (湖、库 0.2)
5	总氮(湖、库、以N计)	≤0.2	≤0.5	≤1.0	≤1.5	≤2.0
6	粪大肠菌群(个/L)	≤200	≤2000	≤10000	≤20000	≤40000