

沉水植物在治理滇池草海污染中的作用

黄文成

(昆明市环境科学研究所, 昆明 650032)

摘要 本文论证了在滇池草海中恢复沉水植物并建立以优化的沉水植物为基础的湖泊生态系统, 是利用水生植物治理草海的最佳生物防治措施。这种以优化的沉水植物为基础的湖泊生态系统优于以浮游植物或以漂浮植物为基础的湖泊生态系统。结合水生植物的综合利用, 它是一种一举多得、经济而又实效的治理手段。

关键词 沉水植物; 污染治理

The effect of using submerged vegetation for the pollution treatment of Dianchi Caohai Lake

Huang Wen-Cheng (Kunming Municipal Environment Research Institute, Kunming 650032), *J. Plant Resour. & Environ.* 1994, 3(4): 29~33

The thesis has expounded and proved that the recovering of submerged vegetation and establishing lake ecological system based on optimal submerged plants are the best biological treatment for the pollution of Dianchi Caohai Lake. This ecological system is better than those which base on phytoplankton or neuston vegetation. To combine with the multi-utilization of hydrophytes, it is advantageous in economic and effective treatment.

Key words submerged vegetation; pollution treatment

1. 引言

滇池位于东经 $102^{\circ}36' \sim 102^{\circ}47'$, 北纬 $24^{\circ}40' \sim 25^{\circ}02'$, 面积 297.7 km^2 , 湖体略呈弓形, 北部有一横亘, 东西长 3.5 km , 宽 300 m 的障壁沙坝(海埂)将湖体分隔为南北两个部份, 海埂中间有一航道相通。海埂以北称草海, 面积约 8.3 km^2 (图1), 湖底浅平, 平均水深 1.44 m 。多年来污染严重: 草海一年的纳污水量是其容积的 5.42 倍, 注入滇池的 6 条污水河中有 4 条流入草海, 富集大量污染物的淤泥在湖底约有 1676.11 万吨, 有些地区腐泥厚达 2 m 多。由于草海在滇池的上源, 偏黑发臭的污水外流而污染全湖, 使已进入富营养化阶段的滇池湖水急剧恶化, 因而草海成了治理滇池最主要和最优先的部位。建立优化的生态系统是治理草海、保护草海的关键, 尽管治理草海涉及多学科多部门, 但湖泊生态学规律是治理滇池的指导原则。在截污和疏浚草海底泥这两项主要的工程措施完成之后, 非点源污染每年输入草海的悬浮物达 3403 t , 总磷 12.81 t , 总氮 $128.97 \text{ t}^{(1)}$, 污染物仍然十分庞大和惊人。根据总磷控制目标, 即便截污和疏浚底泥后, 要求含磷量到达 0.025 mg/L 以下是极其困难的, 水体中的磷只可降至 0.05 mg/L , 就是如此, 仍然是藻类过量生长的营养条件。磷是营养元素中的限制因子, 据多年监测结果表明, 当磷含量在 0.05 mg/L 以上时, 滇池藻量在 1500 万个/升以上。因此, 要草



图1 滇池示意图

Fig 1 Dianchi lake sketch

草海 Caohai (inlake of Dianchi) 8.3 km²

外海 Outlake 290.1 km²

海不再变坏和逐步恢复,关键在于草海本身的自净能力和环境容量,而良好的自净能力和巨大的环境容量又取决于优化的生态系统,只有这样才能通过物质交换和能量流动吸收、转化并带走不断进入湖中的外源物质,实现保护和提高草海水质的目标。

滇池是一个富营养化的湖泊,其生态系统因初级生产者的不同形成以沉水植物、浮游植物和漂浮植物为基础的三种生态系统类型。这三种生态系统不仅结构功能差异很大,而且对水体的影响和作用也大不相同。

2. 调查方法

2.1 样品采集 在滇池草海实地进行。采样点选择要有代表性,使水的化学分析采样点与生物采样点有一致性,并要考虑到水环境的整体性,各次采样根据不同的目的进行。

2.2 分析测定方法

浮游植物的分析采用生物群落法,按《环境监测技术规范》一书^[4](简称《规范》)进行。

叶绿素 a 含量的测定按上述《规范》操作。取 0.5 m 深处的水样 500 ml, 抽滤水样, 将载有浮游植物的滤膜用丙酮处理, 离心, 取上清液 5 ml 用分光光度计测 750 m μ 、663 m μ 、645 m μ 、630 m μ 波长的吸光度, 并用 90% 丙酮作校正测定, 用《规范》所载公式计算。

生化需氧量是测 5 日 20 $^{\circ}$ C 的水样需氧量, 即 BOD₅。

化学需氧量用重铬酸钾法测定。

总磷用钼锑抗比色法测定。

铵氮用纳氏试剂光度法测定。

磷用二乙氨基二硫代甲酸银光度法分析。

3. 结果与分析

3.1 沉水植物分布区与浮游植物分布区的物种结构和水质特点的对比

1990年3月对滇池畔湾水生植物分布区内外作了调查和测定。

该处水生植物分布面积约 1 km², 几乎全为沉水植物, 共有沉水植物 9 种: 菰尾藻 *Myriophyllum spicatum* L.、篦齿眼子菜 *Potamogeton pectinatus* L.、竹叶眼子菜 *Potamogeton malaiianus* Miq.、微齿眼子菜 *Potamogeton maackianus* A. Benn.、穿叶眼子菜 *Potamogeton perfoliatus* L.、轮叶黑藻

Hydrilitia verticillata (L. f.) Royle、苦草 *Vallisneria spiralis* (L.) Hara、大茨藻 *Najas marina* L.、菱 (*Trapa* spp.) 等, 盖度100%, 是目前滇池尚存的水生植物分布区中种类最丰富的地区之一。由于沉水植物繁盛, 鱼、螺、虾等甚多, 成为滇池著名的鱼类产卵保护区。此区内测得透明度高达2 m, 而水生植物区外则景象完全不同, 湖水中无任何大型水生动植物, 由于浮游植物大量繁殖, 湖水呈现暗绿色, 甚至肉眼可见悬浮的藻团颗粒, 透明度仅为45 cm。为进一步掌握这两片紧连在一起而又截然不同的水体的情况, 同时在这两个区域内采水样进行理化及生物项目测试, 结果见表1、表2和表3。

表1 滇池湾沉水植物分布区内外水质分析比较

Tab 1 Water quality analysis of inner and outside distribution area of submerged vegetation in Dianchi Huiwan Lake

采样点 Locality	五日生化需氧量 BOD ₅ (mg/L)	化学需氧量 COD _{Cr} (mg/L)	总磷 TP(mg/L)	铵氮 NH ₄ ⁺ -N(mg/L)	砷 As(mg/L)
分布区内 Inner distribution area	2.10	44.74	0.03	0.014	0.0000
分布区外 Outside distribution area	6.61	64.04	0.07	0.081	0.0006

表2 滇池湾沉水植物分布区内外浮游植物比较

Tab 2 Comparison of phytoplankton between inner and outside distribution area of submerged vegetation in Dianchi Huiwan Lake

采样点 Locality	叶绿素 A Chlorophyll A (mg/m ³)	数量(万个/L) Number (ten thousand/L)	优势种 Dominant species
分布区内 Inner distribution area	12.56	550	无
分布区外 Outside distribution area	25.66	1420	<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>

表3 滇池湾沉水植物分布区内外藻类和数量

Tab 3 Algae and their amount inside and outside the distribution area of submerged vegetation in Dianchi Huiwan Lake

属名 Genera	多度 Abundance*		属名 Genera	多度 Abundance	
	分布区内 Inside the distribution area	分布区外 Outside the distribution area		分布区内 Inside the distribution area	分布区外 Outside the distribution area
束丝藻 <i>Aphanizomenon</i>	++	+++	纤维藻 <i>Ankistrodesmus</i>	+	
鱼腥藻 <i>Anabaena</i>		+	卵囊藻 <i>Oocystis</i>	+	+
隐藻 <i>Cryptomonas</i>	+	+	栅藻 <i>Scenedesmus</i>	+	+
蓝隐藻 <i>Chroomonas</i>	+	+	微芒藻 <i>Microactinium</i>	+	
小环藻 <i>Cyclotella</i>	+	+	转板藻 <i>Mougeotia</i>	+	++
针杆藻 <i>Synedra</i>	+	+	水绵 <i>Spirogyra</i>	+	
舟形藻 <i>Navicula</i>	++		窗纹藻 <i>Epithemia</i>	+	
衣藻 <i>Chlamydomonas</i>	+		鼓藻 <i>Cosmarium</i>	+	
四角藻 <i>Tetraedron</i>	+	+	锥囊藻 <i>Dinobryon</i>	+	
弓形藻 <i>Schroederia</i>	+				

* + 为一般 general; ++ 为常见 common; +++ 为很多 abundant

从表中看出, 在沉水植物分布区内, 一些主要水质指标的数值都远低于区外无沉水植物而以浮游植物为主的水域的数值, 甚至滇池中含量普遍较高的砷也未检出。表3说明沉水植物分布区内浮游藻类的数量也大大降低, 仅为沉水植物分布区外的38%, 而且种类增多, 还出现了清净水体才有的鼓藻和金藻门的锥囊藻, 各种藻类的数量相差不多, 无明显的优势种(见表2, 3)。沉水植物分布区外, 尽管水体紧相连, 但藻类数量猛增, 种类减少, 优势种水华

束丝藻 *Aphanizomenon flos-aquae* (L.) Ralfs. 占比例近 50%，远高于其他种类。

调查证明，分布区内生态系统是建立在以沉水植物为基础上的，分布区外则是一个建立在以浮游植物为基础上的生态系统，两个紧连的水域因生态系统的差异，而明显反映出了前者自净能力强、环境容量大、水质良好，后者自净能力弱、环境容量小、水质差。故以沉水植物为基础的生态系统远优于以浮游植物为基础的生态系统。

3.2 以沉水植物组成的生态系统和以漂浮植物组成的生态系统的差异

1993年9月24日对草海以沉水植物和漂浮植物组成的紧相连的两片水体作同步现场测定溶解氧。一片水域内有篦齿眼子菜群落，面积约 0.24 km²，在此沉水植物分布区的中心和边缘取水样，现场测得溶解氧分别为 10.3 mg/L 和 9.9 mg/L；而与此篦齿眼子菜群落分布区相连的是面积达 2.4 km²，盖度为 100%的水葫芦分布区，拨开水葫芦取水样现场测定，其溶解氧仅为 2.2 mg/L。同时对草海全湖作了 12 个点位的测定，凡有水葫芦和接近水葫芦分布区的点位，其溶解氧均不高于开阔的水域，尽管这些水域里既无水葫芦也无其他沉水植物。而在草海北部水葫芦密布生长区，取表层湖水水样分析，测得总氮为 23.69 mg/L，总磷为 3.00 mg/L，竟与大观河水相差无几：据我所监测，大观河水总氮在 17.46~47.78 mg/L，总磷在 1.90~3.73 mg/L。其净化效果也并非理想。

两项结果证明：漂浮植物水葫芦水域中的溶解氧大大低于沉水植物分布区水域中的溶解氧。尽管水葫芦吸收了大量的营养元素，但由于溶解氧低下，湖水本身的自净能力得不到提高，一旦污水源源不断流入，湖水又会迅速恶化。

对水葫芦分布区水样作生物项目分析，藻类数量仅为 290~728.3 万个/升，为无水葫芦区的 1/10~1/6；浮游动物为 60~280 个/升，也仅为无水葫芦区的 1/20~1/10；并经常有死鱼发生。故虽然藻类数量减少，但种类也从无漂浮植物覆盖区的 26 种降至水葫芦覆盖区的 18 种，而且在篦齿眼子菜群落分布区还有鱼、虾、螺等漂浮植物覆盖区所没有的生物。所以漂浮植物水葫芦为基础的湖泊生态系统，很难组织起优化的生态系统，而是非良性循环的生态系统。

4. 讨 论

(1) 利用水生植物建立优化的生态系统，能够提高草海的自净能力并增大其环境容量。但只有重建并依靠优化的沉水植物在草海大面积地稳定存在，才能实现逐步恢复和提高草海水质的目标。所谓“优化”，即是筛选出一批经济价值高、净化力强、耐污性能好的沉水植物物种，能在一年四季的时间里、在水体上下层空间中配置起优化的植物群落。有了优化的植物群落，可以建立与之相配的多样性物种，如浮游动物、着生生物、底栖动物、软体动物以及鱼类等丰富的生物种类，使之形成优化的生态系统。

(2) 沉水植物的恢复在草海不成问题，虽然目前水质很差，但目前草海已有小部份地区自然恢复了沉水植物群落。不过应加强管理，对草海水生植物作布局规划，但这一工作比较复杂，涉及多学科技术、工程和政策法规等问题，需要专门研究。

象草海这样的浅水湖泊，沉水植物产量很大，数以万吨计。在富集了湖水中的许多营养元素后，必须取出，因此，沉水植物的利用也就成了相当关键的一环。① 结合治理草海的其

他工程,如草海底泥疏浚等,利用瑞士苏黎世提供的成熟工艺,把水生植物与疏浚出的底泥制成绿肥是可行的。②利用水草作为饲料,喂养家畜,特别是养鱼,是一个主要方向。水生植物用于动物饲料必须考虑容易收获,含水量低,含多种蛋白质,纤维素和木质素少,收获季节时间长以及加工方面的技术等条件,使之形成生产规模,产生经济效益。③沉水植物水分含量多,适宜作沼气发酵原料。南京地理与湖泊研究所也正在做此项实验,国外也有不少报道,如美国 NASA 实验室里用干重 1 kg 的洋雨久花(即水葫芦)能得到 373 升的沼气。德永隆司实验,用消化温度 35℃,消化数十日,干重 1 kg 的水草得到约 200~300 升沼气^[4]。此外利用的途径不应该单一化,随着草海水质的改善和提高,更新或引进一些可用于工业、食品、医药等行业的水生植物是能实现的。利用草海近 10 km²的面积,使水生植物资源化、经济效益化也是治理草海的一个内容。

(3) 漂浮植物大面积、高密度地分布于草海并随风漂移,影响航运、渔业和旅游等多方面的问题,故只能限制在某些水域上使用。

参 考 文 献

- 1 昆明市环境科学研究所编著. 1992: 滇池富营养化调查研究, 云南人民出版社, 昆明. 10~16, 42~80 页.
- 2 金湘灿, 屠清瑛主编. 1990: 湖泊富营养化调查规范, 中国环境科学出版社, 北京. 239~271 页.
- 3 国家环保局编. 1986: 环监字第 405 号环境监测技术规范(生物监测水环境部份), 1~15 页.
- 4 德永隆司. 1981: 用水と废水 23(2).

(责任编辑: 盛国英)

书 讯

《植物抗性生理学》

南京农业大学刘祖祺教授和山西农业大学张石城教授主编, 中国农业出版社 1994 年 9 月出版, 58 万字, 共分九章, 即抗寒(冷、冻)、抗热、抗旱、抗涝、抗盐碱、抗病、抗环境污染及现代测试技术等, 内容新颖、全面, 系统性强。对抗性生理的新理论作了详细阐述, 对取得的新成就作了精炼概括, 对南北农业生产中存在的大量问题提出了行之有效的技术措施, 同时首次把

植物抗性生理与分子生物学结合起来, 为开创跨学科的学术思想和新的研究体系提供理论依据。因此本书具有广泛的应用价值。

本书定价 26 元(每册另加邮费 2.6 元), 需要者可汇款至南京市卫岗, 南京农业大学植物生理教研室刘祖祺处邮购。邮政编码: 210095。