

岱海水质咸化过程中营养状况的变化

赵斌 蔡庆华 黎道丰 刘瑞秋

(中国科学院水生生物研究所;淡水生态与生物技术国家重点实验室,武汉 430072)

摘要: 通过1996年夏季对岱海的综合考察,采用营养状态指数(TSI)法对岱海进行了水质营养状况的综合评价和比较分析,并结合自往年关于岱海的理化因子和营养元素含量资料,对岱海水质咸化过程中水体营养状况的变化进行了比较分析。在此基础上,还初步探讨了岱海水质咸化过程与营养状况变化之间的关系。

关键词: 岱海;营养状况;TSI;水质咸化

中图分类号: X824 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3207(2000)05-0509-05

岱海(110°33'31"—46°40'E, 40°29'7"—37°6'N)位于内蒙古自治区乌兰察布盟凉城县境内,是一个规模不大的内流微咸水湖泊。岱海处于岱海盆地的最低处,主要依靠盆地内暂时性地表径流和地下径流以及湖面降水补给。没有出水口,水量支出全靠蒸发。注入岱海的河流以及河沟有20余条,全部具有间歇性流水的特点,没有常年流水的河流。较大的河有弓坝河、天成河、目花河、五号河、步量河、沙袋河、园子河和百窑河等,这些河流的年入湖量约占总入湖水量的50%以上。近年来,由于气候干旱,流入岱海的河流多数干涸。又因农田灌溉,一些河流在上游修建水坝、水库,使得岱海水位逐年下降,水面不断缩小,渔业生产趋于下降。

1953年,水产部门开始在岱海养鱼,使之成为当地重要的产鱼湖泊。1974年后,环保部门开始对岱海进行水质监测。数十年的监测资料说明,岱海的盐碱化仍然是比较突出的问题。岱海湖区周围没有大的工业,污染物主要由地表径流挟持而来,故水质与大气降水、湖区经济发展密切相关。

1 采样点设置

1996年7月,笔者在岱海进行了湖水理化因子和营养元素的综合考察。考察之中,根据湖盆形态、水深、常年风向和径流入口的分布等情况的不同在全湖设置了13个采样点(同文献[4])。水样根据实测水深分两层或三层采样。现场测定气温、水温、水深、透明度、pH、电导率和溶解氧等理化因子,其他理化项目的分析均在采样后不超过48h内完成,

收稿日期: 1999-10-15; **修订日期:** 2000-05-30

基金项目: 国家自然科学基金(39670150);中国科学院湖沼特别支持领域第二期资助课题;中国科学院内蒙古草原生态系统定位研究站资助项目

作者简介: 赵斌(1969—),男,湖北钟祥人,主要从事淡水生态学研究 and 网络信息系统开发工作。参加部分采样工作的还有中国科学院南京地理与湖泊研究所姜加虎、黄群、黄文钰等三位同志

所采用的分析方法均按常规进行。各样点在采样同时用 GPS 定位仪定位。

2 水质状况分析

2.1 与水质咸化和硬化相关的指标及其评价

岱海水质盐碱化和硬化问题早在数年前就引起了许多学者的注意^[1-3]。从本次调查的结果来看,上述问题不但没有缓解,而且愈演愈烈。与水质盐碱化相关的指标主要为 pH、碱度、氯化物;与水质硬化相关的指标主要为钙、镁离子含量和总硬度。从表 1 可以清晰地看出:岱海的水质咸化过程正在逐渐加强,与此同时,岱海的水质还在不断硬化,钙、镁比率也严重失调^[4]。这些变化结果都将对岱海的渔业生产构成严重威胁。

表 1 岱海水质咸化和硬化指标的比较

Tab. 1 Comparisons of salinization and hardness indices of water in Daihai Lake

| 项 目 Items | 年 Year | | | | 变化趋势 |
|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 1975 | 1985 | 1994 | 1996 | Change |
| pH | 8.7 | 8.6 | 8.9 | 9.33 | 增加 |
| 总碱度 ALK | 6.681 | | 9.43 | 9.68 | 增加 |
| 总硬度 HD | 20.42 | 22.12 | 28.85 | 36.66 | 增加 |
| Cl ⁻ | 1349.8 | 1575.0 | 2131 | 2306.1 | 增加 |
| Ca ²⁺ | 33.89 | 26.05 | 30.6 | 40.41 | 增加 |
| Mg ²⁺ | 68.18 | 79.54 | 101.31 | 134.39 | 增加 |

2.2 水质营养指标及其评价

湖泊生态系统是一个复杂的多元系统,变量因子很多。营养概念也是一个多维概念,因此营养状态不能孤立地由一二个参数来确定。目前关于湖泊营养状况评价的方法很多。经过比较,认为营养状态指数(TSI,trophic state index)的水质评判方法比较合适。

TSI 最早由美国名尼苏达大学陆地水研究所 Carlson 提出^[5],目前在湖泊水质评价中得到了广泛的应用。1981 年日本学者 Aizaki 修正了 TSI(TSI_m)^[6],采用以叶绿素 a 为基准代替了以透明度为基准,具有更大的实用性和广泛性。

选用这种评价方法主要是因为:(1)该方法将湖泊营养状态的贫营养-富营养划分为 0-100 的连续数值,综合地描述湖泊营养状态的连续变化过程,操作简单,可比性较强;(2)TSI 法主要以湖水透明度(Tr)、叶绿素 a(Chla)浓度和湖水总磷(TP)浓度为指标,分别代表物理的、生物的和化学的指标,具有一定的综合性;(3)岱海湖水的色度、水中溶解物和悬浮物等影响光吸收的因素均较小,对透明度测定影响较小,因此选择以透明度(或叶绿素 a)为基准的 TSI 指数比较可靠;(4)由于 TSI 的方法应用比较广泛,采用这种方法进行分析可便于数据的横向(同一时间阶段的不同水体之间)和纵向(岱海历年监测数据)比较。在 Carlson 指标中的三个因子,相对重要性为:叶绿素 a>透明度>总磷。综合评价采用蔡庆华^[7]所指定的权重进行分配,即叶绿素 a、透明度、总磷所占的权分别为 0.540,0.297,0.1630。

一般调和型湖泊按如下标准进行分类:贫营养 TSI<37;中营养 TSI=38—53;TSI>55。表 2 中列出了选用 1—4 号采样点的数据进行了评价的结果。

表 2 岱海 1—4 号采样点的 TSI_m
Tab. 2 TSI_m of sampling points 1—4 in Daihai Lake

| 站 点 sampling points | TSI _m (Chl _a) | TSI _m (Tr) | TSI _m (TP) | TSI _m (Σ) | 评 价 Evaluation |
|------------------------|--------------------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|-------------------|
| 1 [#] | 32 | 44 | 68 | 41 | 中 |
| 2 [#] | 35 | 47 | 56 | 42 | 中 |
| 3 [#] | 30 | 51 | 59 | 41 | 中 |
| 4 [#] | 26 | 43 | 62 | 37 | 贫—中 |
| 平 均 Average | 31 | 46 | 61 | 40 | 中 |

从单个指标 TSI_m 来看,岱海中叶绿素处于贫营养水平,透明度已经达到中营养水平,而总磷则达到了富营养水平。但从综合指标来看,岱海仅处于贫营养刚刚过渡到中营养的水平,这主要是因为综合指标中叶绿素 a 所占的权重比较高,而叶绿素的 TSI 却相对较低的缘故。

与 1989 年同期的数据相比(表 3),不难发现,岱海中引起水体富营养化的指标几乎都有数量级程度的降低。说明岱海的水质状况在富营养化方面有所减轻,岱海已经从中—富营养状态和富营养状态回到了中营养,甚至是贫—中营养状态。

表 3 岱海一些水质指标的比较
Tab. 3 Comparisons of some water quality indices of water in Daihai Lake

| Year | TN (mg/L) | TP (mg/L) | COD OD (mg/L) | 透明度 SD (m) | 叶绿素 a Chl _a a (mg/m ³) |
|------|---------------|-----------------|------------------|---------------|---|
| 1989 | 2.25 富营养 | 0.22 富营养 | 132 富营养 | 0.61 富营养 | 32.56 富营养 |
| 1996 | 0.2504 中营养 | 0.0582 中—富营养 | 6.94 中营养 | 2.40 中营养 | 1.47 中营养 |

从三态氮的比较来看(表 4),NO₃⁻ 下降比较显著,NO₂⁻ 基本持平,而 NH₄⁺ 则增加了近一个数量级。一般来讲,NH₄⁺ 增长是水体受污染的标志之一;NO₂⁻ 是水体氮循环过程中不稳定的中间产物,易被氧化为硝酸盐氮,也易被还原成氨氮;硝酸盐氮最易被浮游藻类和水生植物利用。

表 4 1996 年 4[#] 站点分层营养指标(含 1989 年平均指标)(mg/L)
Tab. 4 Trophic state indices of layered water in sampling point 4 in Daihai Lake. 1996(including mean indices of 1989)

| | NH ₄ ⁺ | NO ₂ ⁻ | NO ₃ ⁻ | TN | PO ₄ ³⁻ | TP |
|------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|-------|-------------------------------|-------|
| 表层 Surface | 0.179 | 0.0044 | 0.009 | 0.339 | 0.064 | 0.109 |
| 中层 Middle | 0.235 | 0.0034 | 0.009 | 0.177 | 0.071 | 0.029 |
| 底层 Bottom | 0.257 | 0.0032 | 0.027 | 0.437 | 0.071 | 0.034 |
| 平均 Average | 0.224 | 0.0037 | 0.015 | 0.318 | 0.069 | 0.057 |
| 1989 年 | 0.025 | 0.0035 | 0.204 | 2.25 | 0.091* | 0.22 |

* 为 1990 年测定数据 Assay in 1990.

在调查期间,岱海处于良好的氧化条件(溶解氧为 10.97mg/L),而且较高的 pH 值

(9.30)也不应当维持如此高的氨氮浓度,这种反常的情况值得进一步探讨。岱海氨氮的升高似乎并不能肯定是入湖的河流和溪流污染所造成的,因为 4[#] 站点位于湖中心,其他几个靠近径流的几个站点的氨氮浓度并不比 4[#] 站点高(1,2,3[#] 站点的氨氮浓度分别为 0.160,0.230,0.157mg/L)。从水体营养元素的垂直分布来看,从湖表层到湖底,氨氮浓度逐渐升高,所以可以推测这可能是由于湖底底泥有机质的积累释放所引起的,其他几个站点也有类似的情况。

另一个反常的情况是,湖底的硝酸盐氮浓度反而比湖表层要高,与此相应,湖底的初级生产力也高于湖表层,4[#] 站点初级生产力从湖表层到湖底依次为 0.5562mgO₂/L·d, 0.8652mgO₂/L·d,0.7828mgO₂/L·d。但总的来讲,岱海的初级生产力是较低的。浮游植物叶绿素浓度低下从一个侧面也说明了这个问题。

虽然岱海硝酸盐氮浓度的急速下降,对湖水中浮游植物的生长不利,但磷酸盐的浓度对于浮游植物的生长来讲并不缺乏($\text{PO}_4 - \text{P} = 22.5 \mu\text{g/L} > 5 \mu\text{g/L}$)^[3]。可被植物吸收的无机氮(IN)和活性磷($\text{PO}_4 - \text{P}$)浓度之比来看, $\text{IN}/\text{PO}_4 - \text{P} = 11.8 > 7$,并不能认为 N 是浮游植物生长的营养限制性因子^[3],但是这其中氨氮在无机氮中所占的比率很大, $\text{NH}_4^+ - \text{N}/\text{IN} = 0.92$,而氨氮又不是浮游生物能直接利用的最佳元素,所以仍然可以认为,影响岱海浮游植物生长的潜在营养限制性因子是氮元素。

3 讨论

3.1 岱海的水质咸化和硬化过程正在加强

尽管内陆湖泊的咸化是一个自然过程,但是人为的对自然水文学循环的干扰也是引起湖泊盐度增加的重要因素。在岱海流域,随着人口的增长,农牧业不断发展,耕地面积逐年增加,天然草场变为耕地,植被覆盖率大幅度降低,促使水土流失日趋严重,造成岱海水体的盐碱污染负荷增加。根据近四十年的资料记录来看,盐碱化仍然是岱海突出的问题。而且进入 90 年代,这种趋势更加愈演愈烈。pH 值、总碱度、氯离子含量都清晰地表明,岱海的水质咸化过程正在加强^[4]。岱海从 60 年代以来,其硬度一直在硬水范围之内,而且增加速度很快,镁离子浓度不断增加,进入 90 年代增加更为迅速,钙、镁比率也严重失调。这些变化对渔业生产十分不利。

3.2 岱海的富营养化程度减轻

岱海的富营养化程度同 80 年代相比,都有不同程度的降低。究其原因,可能是因为岱海入水中污染物减少所致,也可能是因为渔业产量的提高而产生的“下行效应”,但目前如此低的浮游植物初级生产力对岱海渔业生产的持续发展并不十分有利。当然,岱海中氨氮浓度的急速上升也应当是一个值得引起注意的问题。1994 年杜昭宏等^[8]在岱海未检出氨氮,而仅仅过去两年时间,就增加到如此高的程度,这种大起大落的变化,确实值得注意和研究。在岱海周围没有大的工业^[9],所以基本上可以排除工业污染的可能性,但是这种不调和的发展,对于水体其它资源的开发构成了潜在的威胁。

3.3 水质咸化与水体营养状态的变化

在岱海中,与水质咸化过程相伴而行的是水体中营养物质的降低,必将导致水体的初

级生产力下降,水中浮游生物稀少,鱼类体质瘦弱,鱼产量下降。这种状况如果不能得到改善,必将对岱海渔业资源的开发产生负面影响。但是岱海的营养物质并不是一直处于减少状态,在 80 年代,曾经有许多学者对岱海的富营养化状况担忧。而如今这种情况是由于富营养化治理的结果,还是由于水质咸化发展到一定程度是否必然会导致水体营养物质的降低?这种降低是短暂还是持续的?今后岱海水体的营养状况将会怎样?凡此等等,都是未来岱海研究中值得注意和探讨的问题。

参考文献:

- [1] 王苏民,余源盛,吴瑞金,等. 岱海——湖泊环境与气候变化[M]. 合肥:中国科学技术大学出版社,1990
- [2] 金相灿,等. 中国湖泊环境(第二册)[M]. 北京:海洋出版社,1995
- [3] 金相灿,等. 中国湖泊富营养化[M]. 北京:中国环境科学出版社,1990
- [4] 赵 斌,蔡庆华,刘瑞秋,等. 岱海水质咸化过程中若干生态因子的变化[J]. 水生生物学报,2000,24(5): 502—508
- [5] Carlson R E. A trophic state index for lakes[J]. *Limnol. Oceanogr.*, 1977,22(2):361—369
- [6] Aizaki M, et al. Application of modified Carlson's trophic states index to Japanese lake and its relationships to other parameters related to trophic state[J]. *Res. Rep. Natl. Inst. Environ. Stud.*, 1981, (23):13—31
- [7] 蔡庆华. 湖泊富营养化综合评价方法[J]. 湖泊科学, 1997,9(1):89—94
- [8] 杜昭宏,张建华,张彩青. 内蒙古岱海水质环境演变及对渔业资源的影响[J]. 干旱区资源与环境, 1995,9(1): 34—39
- [9] 哈伦,白韶丽. 岱海湖盐碱化的预测[J]. 环境保护, 1986,6(7):26—30

PRELIMINARY STUDY ON THE CHANGES OF TROPHIC STATE DURING THE PROCESS OF WATER SALINIZATION IN DAIHAI LAKE, CHINA

ZHAO Bin, CAI Qing-hua, LI Dao-feng and LIU Rui-qiu

(Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences; State Key Laboratory of Freshwater Ecology and Biotechnology, Wuhan 430072)

Abstract: Daihai Lake is a semi-saline-alkaline lake, which located in Inner Mongolia plateau of China, its geographical position being 112°33'31"—40"E, 40°29'7"—37'6"N. Based on the results of the chemical and biological surveys of Daihai Lake in summer 1996, this study dealt with a trophic state assessment of water-quality in 1996 and comparative analysis on the changes of trophic state during the process of water salinization. Chloride ion, pH and total alkalinity of the lake were gradually increased during the study period, which approach to the upper limit of freshwater fish survival. According to above significant changes, the conclusion could be drawn that the process of salinization of Daihai Lake is getting strong. Also, in the study, the concentration changes of calcium and magnesium ion, ratio of calcium and magnesium, and total hardness is regarded.

Key words: Daihai Lake; Trophic state; TSI; Salinization of water