

黄河三角洲菹草生长模型及其对水质的影响

王宇庭¹, 曲明敏², 任志勇², 曲 晓¹, 衣海英², 张月辉¹, 焦晓霞¹, 赵 睿³

(1. 莱阳农学院 水生生物科学与工程系, 山东 莱阳 265200; 2. 胜利石油管理局 供水公司, 山东 东营 257097; 3. 北京市水产技术推广站, 北京 100021)

摘要:通过连续对菹草生长过程的观测,用指数方程拟合了菹草从 10 月中旬至第 2 年 5 月底的整个生长过程($p < 0.002$),设 $K = 2.5 \text{ kg/m}^2$ 时,用 Logistic 方程拟合了从 3 月到 5 月底的生长过程($p < 0.000$)。通过 7 月底至 8 月初、10 月、翌年 3 月和 5 月份对一个菹草型水库和无或有不同规模水草的 5 座水库水生生物的周年调查发现:(1)菹草型水库 TP 最高峰的月份比其它水库的推迟,其它水库 10 月份 TP 最高,而菹草型水库 3 月份最高;(2)菹草型水库浮游植物最高峰的月份比无水草水库的推迟,无水草水库出现在夏季(7~8 月份),草型水库的出现在秋季(10 月份);(3)菹草型水库 3 月份浮游植物生物量明显高于其它水库的,其硅藻占据更高的优势度;(4)菹草型水库和其它水库之间的总磷和浮游植物数量的年平均值无明显差别;(5)不同水库藻类数量年平均值与 TP 年平均值相关极显著($p < 0.005$),而 TP 又与氯化物(Cl)相关极显著($p < 0.005$);(6)水草的存在使 pH 略有提高,并使其在不同时间的波动幅度减小。

关键词:菹草;生长方程;浮游植物;总磷

Growth curve of *Potamogeton crispus* and its influence on water quality of plain reservoir in the Yellow River Delta

WANG Yu-Ting¹, QU Ming-Min², REN Zhi-Yong², QU Xiao¹, YI Hai-Ying², ZHANG Yue-Hui¹, JIAO Xiao-Xia¹, ZHAO Rui³ (1. Hydrobiology and Engineering Department of Laiyang Agricultural College, Laiyang, Shandong, 265200; 2. Water Supply Company of Shengli Oil Field, Dongying, 257097; 3. Beijing Fishery-tech Popularizing Station, Beijing, 100021, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(5): 888~894.

Abstract: Several studies have demonstrated the influence of submerged macrophytes on eutrophication or water quality with different results. To assess the effect of a submerged macrophyte, one should evaluate the ecosystem throughout a year in combination with the growth curve of the plant.

The growth curve of *Potamogeton crispus* was determined from seven investigations from October 2002 to May 2003 in a reservoir with 70% of area covered by *P. crispus*. The effects of the grass on water quality were assessed by analyses of fluctuations in total phosphorus (TP), phytoplankton, and pH in the reservoir and in five other reservoirs with 0~30% of areas covered by *P. crispus*, *Myriophyllum spicatum* or a combination of both in July and October 2002, and March and May 2003. All six reservoirs are located in the Yellow River Delta (38° N, 118° E). The grass growth equation from October to May was regressed as $GB = 34.1 \times e^{0.018t}$ ($p < 0.002$), where GB refers to the wet weight of grass per m^2 , and t refers to days after germination. The equation from March to May was $GB = \frac{2500}{1 + e^{14.97 - 0.0833t}}$ ($p < 0.000$). The fluctuations of TP, phytoplankton, and pH in six reservoirs exhibited (1) maximum TP in the reservoir dominated by *P. crispus* (RDP) occurred in March rather than October; (2) maximum cell abundance and maximum biomass of phytoplankton in RDP and the reservoirs with more than 25% of area covered by macrophytes occurred in October rather than in July; (3) of the values of

基金项目:胜利石油管理局滨河供水公司资助项目

收稿日期:2003-09-12; **修订日期:**2004-02-25

作者简介:王宇庭(1966~),男,满族,辽宁锦州人,硕士,副教授,主要从事水生生物学及水环境科学的教学研究。E-mail:wyuting@yahoo.com

致谢:承蒙大连水产学院金送笛教授对本文给予帮助,在此表示感谢!

Foundation item: by Binhe Water Supply Company of Shengli Oil Field

Received date: 2003-09-12; **Accepted date:** 2004-02-25

Biography: WANG Yu-Ting, Master, Associate professor, mainly engaged in hydrobiology and aquatic environment.

phytoplankton in March, the RDP contained the highest biomass, dominated by diatoms; (4) annual average TP and cell abundance of phytoplankton in RDP did not differ significantly from the other five reservoirs; (5) annual average cell abundance of phytoplankton correlated significantly positive with TP ($p < 0.005$) in all reservoirs, and annual average TP correlated significantly positive with chloride concentration (Cl) ($p < 0.005$); (6) submerged macrophytes could stabilize pH and appreciably increased annual average pH; (7) in reservoirs except for the grassless and shallow one, phytoplankton cell abundance correlated significantly with zooplankton abundance.

The result indicates that the submerged macrophyte *P. crispus* grows mainly from March to May when the temperature ranges from 7 to 25 °C, with a maximum biomass of 2.5 kg/m². Two species of submerged macrophytes in these reservoirs can only delay the platforms in the yearly curves of TP and abundance of phytoplankton while buffering the effect of eutrophication; they cannot control eutrophication because their decay or germination may increase pelagic nutrients in late autumn and early spring during diatom blooms. The trophic state is regulated by the concentration of TP. Excessive seasonal blooms of the grass can decrease the circulation of nutrients and reduce ecosystem productivity. Moreover, there is a risk that flourishing submerged macrophytes could increase pH so much that it might cause a change in ecosystem structure. To reduce the coverage of *P. crispus* in a reservoir by fish predation, both herbivorous fish and omnivorous fish should be used because of the high growth rate of the grass in spring.

Key words: *Potamogeton crispus*; growth equation; phytoplankton; total phosphorus (TP)

文章编号:1000-0933(2004)05-0888-07 中图分类号:Q948, S949, X173 文献标识码:A

水草特别是沉水植物的恢复,常常作为藻型湖泊富营养化修复的措施之一^[1~5],但在外源营养物质不能完全消除的水体,水草的大量发生会缓冲(buffer)营养物质在水中的富积程度,直至水草突然消失而藻类大量孳生的严重富营养化状态^[4, 5]发生。因而评价水草在治理富营养化的作用,需要结合水生态系统的演替趋势及水草的生活史,即要考虑水草生长时期对水生态系统的积极意义,又要考虑水草大量死亡(秋季或夏季)给水生态系造成的消极影响。

黄河三角洲平原型浅水水库(水深<6m),为工业用水和居民生活用水的水源性水库,由于黄河水源营养物质丰富^[6],同时由于当地土壤为黄河从黄土高原冲刷下来的土母质形成的次生性土壤,均匀细致的土壤缝隙对地下海水的毛细作用,导致水体矿化度较高(氯化物 140~250mg/L,硫酸盐 130~240mg/L),悬浮营养物质沉降速度快,使底泥中磷等营养物质含量较高(含磷量 1~3mg/g)^[7],沉水植物成为许多浅水水库的优势群落,而其中以穗状狐尾藻(*Myriophyllum spicatum*)和菹草(*Potamogeton crispus*)最为常见。菹草大量死亡的6月,导致水体景观恶化,并阻塞输水管道,也有个别水库在水草旺盛生长后,出现鱼类大批死亡的现象。因而如何抑制水草孳生,成为当地供水部门关心的问题。

菹草广泛分布于欧亚大陆,19世纪中叶扩展到美洲,成为很多碱性湖泊的优势植物种群。关于菹草的生活史及与水环境的关系,国内外有许多研究报道^[8~15],但主要是短期或局部观测的结果,以年为周期的同一地区有、无大规模菹草水库的调查评价,目前尚未见报道。本文以浮游植物、总磷(Total phosphorus, TP)、pH和氯化物(Chloride, Cl)为主要环境指标评价菹草大量发生对水质的影响。

1 材料与方方法

1.1 水库概况

表 1 被调查各水库水草分布情况

Table 1 Distribution of macrophytes in the researched reservoirs

水库 Reservoir	孤东 Gudo	净站 Puri. Plant	五号 Res. 5	孤北 Gubei	孤岛一库 Guda. 1	孤岛二库 Guda. 2
面积 Area (hm ²)	322	68	75	1216	157	186
深度 Depth (m)	3.0	2.0	3.5	2.0	1.5	5.5
水草 Grass	菹草 <i>P. cri.</i>	聚草 <i>M. spi.</i>	菹草+聚草 <i>P. cri. + M. spi.</i>	无 NP*	聚草 <i>M. spi.</i>	无 NP*
覆盖 Coverage (%)	70	30	25	0	10	0

* NP refers to no grass

本调查的黄河三角洲平原型水库(位于东营市河口区),为地上式或半地上式全人工坝围成,水源由黄河水泵入干渠后,经相近距离的流程泵入水库。水库间由于形态、使用年限、输入输出水量以及渔业状况的差异,而使水库之间的化学和生物状况有不同特征。本项研究选择全无水草、有一定数量的聚草、有一定数量的聚草和菹草、有大量的菹草水库进行研究,并重点对菹草大量发生的水库进行跟踪测定,以评价其生物量变化的同时,水质发生的变化。调查水库及水草分布情况如表 1,其中除净化站

水库为半地上式水库外其它均为地上式水库。

1.2 调查指标及方法

TP 是评价水体富营养化的主要指标,而浮游植物的丰度是评价水体富营养化程度的主要生物指标,pH 是水体合成代谢与分解代谢、大气和水体之间气体交换、水体酸碱缓冲能力共同作用的结果,同时影响着水体的生物、化学、物理等作用。所以本研究选定这 3 个指标评价菹草大量生长对水库水质的影响。不同水库由于不同时期输入水量的不同,会对 TP 构成影响。由于水的驻留时间越长,蒸发和土壤的毛细作用将导致 Cl 浓度越高,为此监测水体 Cl,以评价水交换对 TP 测定结果的干扰。

根据菹草的生活史,在 3~5 月 5 次监测菹草的现存量,2 次监测水质的变化(水温 5℃和 22℃),并在夏季(7 月底 8 月初,水温 28℃)和秋季(10 月中旬,水温 15℃),各进行 1 次水质监测和菹草生长状况的监测,冬季封冰前(11 月下旬,水温 4℃)再进行一次菹草生长状况的检测。

1.3 采样方法及检测方法

(1)距离岸边 5m,于水库中均匀定点 4~8 个,采集水草样、浮游生物样和水化学指标样。

(2)水草使用 1/16m² 采样器采集,当水草体积小于采泥器体积时,仅采集采泥器内的水草(超出部分剪去);当水草体积超过采样器体积时,人工辅助的方式将采样器覆盖范围内的水草全部采集(超出部分剪去)。将采集的水草表面水阴干后称湿重,再经 110℃ 烘干后称干重。

(3)浮游植物组成及规模,用采水器在水下每隔 0.5m 采一水样,混合后取 1L 加 10ml 鲁哥氏液,沉淀 24h 后浓缩至 30~50ml,400 倍显微镜鉴定和定量,并用 1000 倍辅助鉴定种类。

(4)TP、pH 和 Cl 的测定参照“标准”^[16]进行。

2 结果

2.1 菹草的生长和消亡

2002 年 7 月发现有菹草鳞枝(Turion),10 月中旬发现鳞枝萌发,一直到 2003 年 3 月初,萌发的植株处于缓慢的生长阶段。2003 年 3 月下旬水温升至 6℃,植株开始快速生长,到 5 月底生物量达到最大,同时大部分植株根部开始腐烂,并且大部分鳞枝开始从植株上脱落并沉入水底,植株和部分没有脱落的鳞枝在风浪的作用下成斑块状漂浮在水体表面开始腐烂。其生物量的增加过程如图 1。整个生长过程以指数方程拟合为: $GB = 34.1 \times e^{0.018t}$, $p < 0.002$ 。从 3 月初到 5 月底,是菹草旺盛生长的阶段。根据图 1,在最大现存量(环境负载量) $K = 2.4 \sim 3.5 \text{g/m}^2$ 间以循环逼近法拟合出 $K = 2.5 \text{g/m}^2$ 的 Logistic 生长方程为: $GB = \frac{2500}{1 + e^{14.97 - 0.08334t}}$, 其中 $t > 146$, $p < 0.000$ 。

2.2 水环境的周年变化

2.2.1 水层总磷的周年变化 图 2 显示:①所有水库 TP 从 7 月至 10 月都有不同程度增加的趋势,而且无水草或比水草比较少的水库的 TP 在 10 月为全年调查的最高值;②菹草型水库 3 月份总磷含量最高,水草较多的净化站水库和五号库比前一年 10 月份的降低幅度相对也比较小,其它水库的 TP 都较前一年 10 月份有很大程度的下降;③5 月份菹草型水库的菹草生物量大幅度增加的同时,水层 TP 也大幅度下降,水草比较多的净化站水库和五号库的 TP 也有不同程度的下降,而无水草或少水草的水库 TP 都有不同程度的增加。

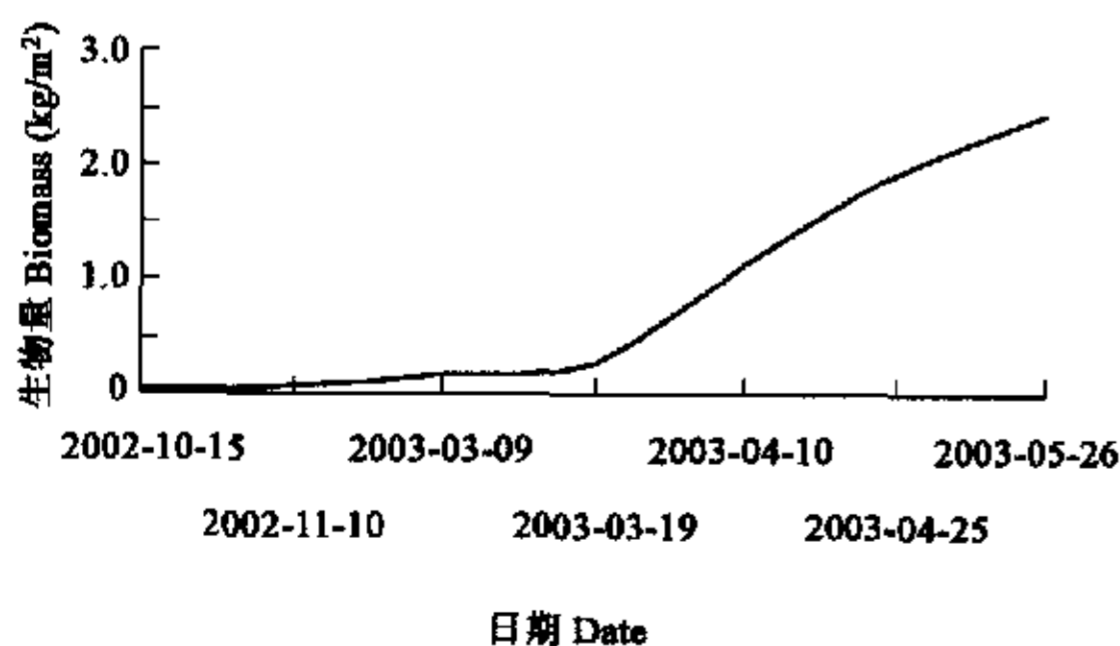


图 1 孤东菹草生物量递增曲线

Fig. 1 Growth curve for the biomass of *Potamogeton crispus* in Gudong Reservoir

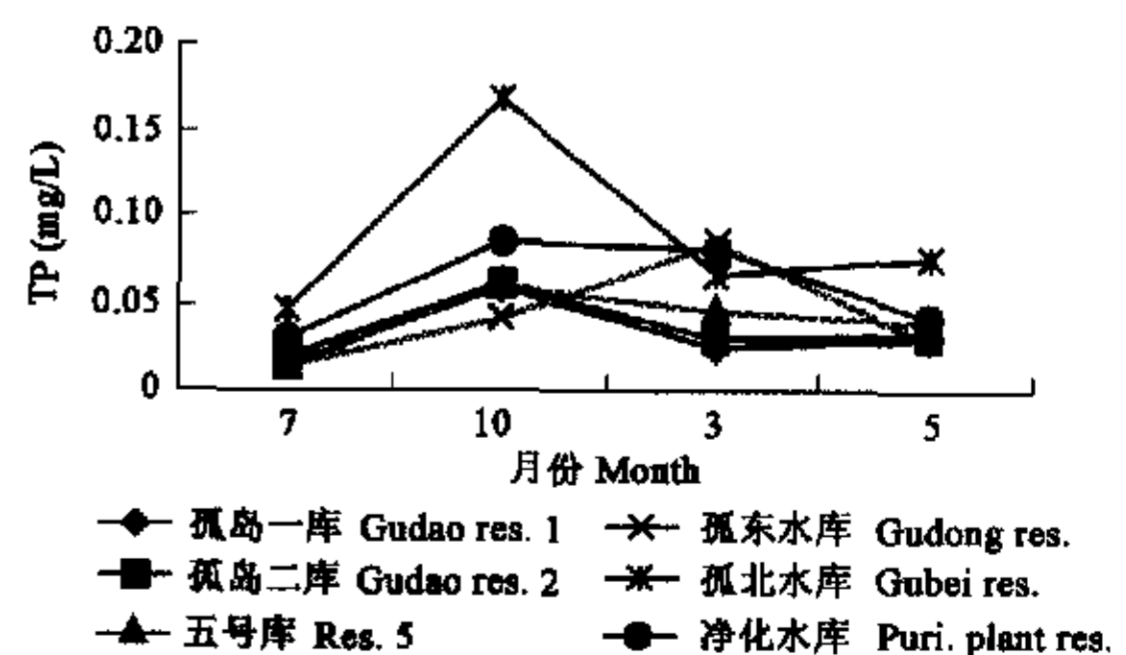


图 2 不同水库 TP 的变化

Fig. 2 The fluctuations of TP in the 6 reservoirs

2.2.2 浮游植物群落的周年变化 浮游植物数量的变化如图 3,有水草水库藻类数量在 10 月份最高,无水草或少水草的水库藻类数量在 7 月份最高。浮游植物的生物量(如图 4)显示:菹草型的孤东水库 3 月份生物量比 10 月的最高峰略有降低,而 5 月

份较 3 月份有较大幅度的下降,原因是 3 月份其硅藻占据更大的优势度,5 月份当其它水库大都仍以硅藻占据优势时,该水库则以小型的蓝藻占据优势(如表 2)。

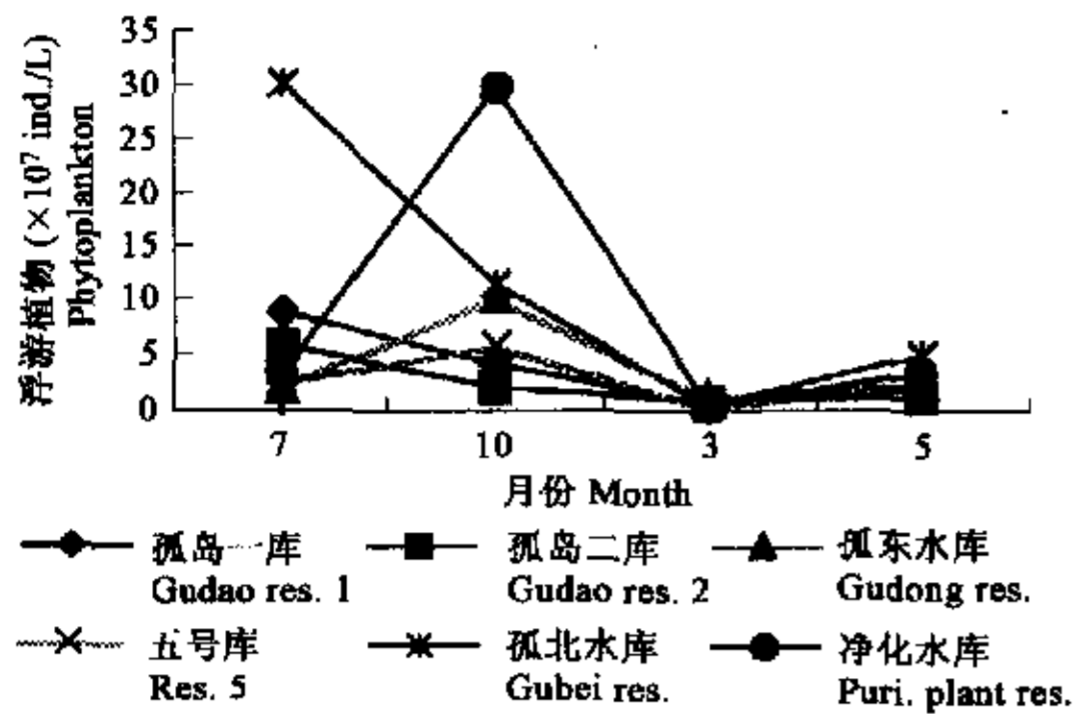


图 3 浮游植物数量的波动

Fig. 3 Fluctuations of phytoplankton abundance in the 6 reservoirs

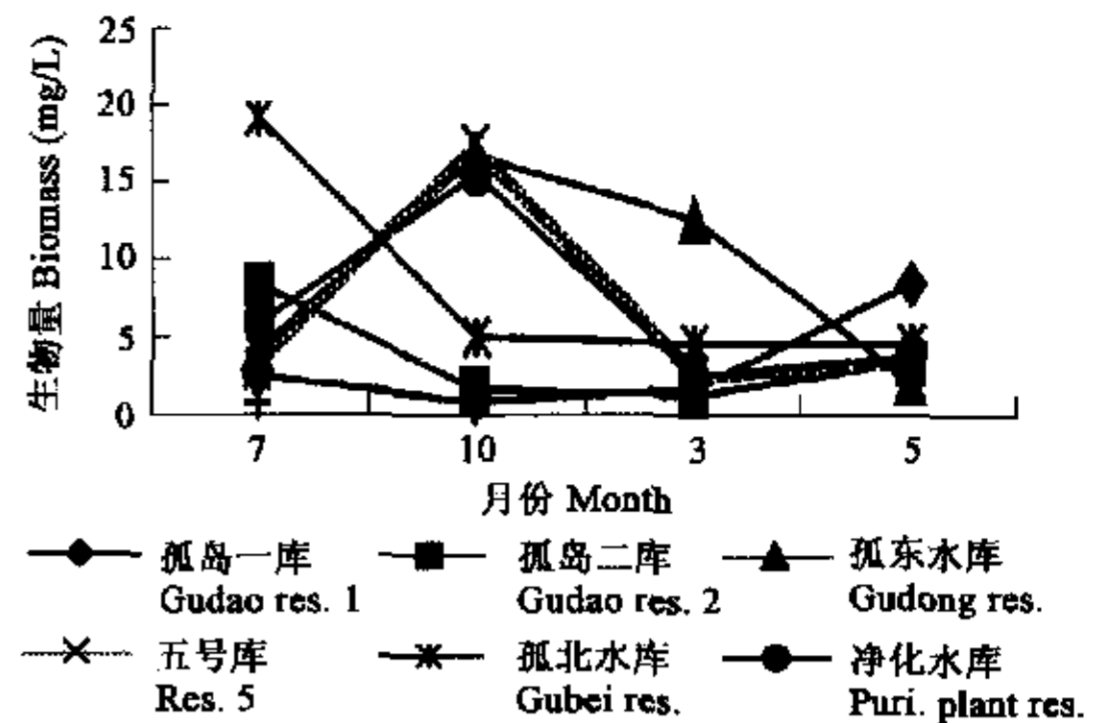


图 4 浮游植物生物量的波动

Fig. 4 Fluctuations of biomass of phytoplankton in the reservoirs

2.2.3 pH 的周年变化 孤东水库、五号库、孤岛一库、孤北水库 pH 的周年波动如图 5;10 月份和 5 月份有水草水库的 pH 高于无水草水库的,而且以菹草型的孤东水库为最高。各水库 pH 的平均值和标准差如表 3;水草覆盖面积越大,pH 的平均值越高,同时 pH 的波动幅度越小。

2.2.4 不同水库浮游动植物之间的关系 浮游动物与浮游植物作为捕食与被捕食的关系,在数量上表现出的相互关系常常受到多种因素的影响,水环境的空间异质性能够稳定二者之间的关系。水草的存在能够增加水体的空间异质性,有水草水库的浮游植物和浮游动物数量之间有显著的相关关系,而无水草水库的孤北水库却没有(如表 3),显示了没有水草,水比较浅、水库形状比较简单的水体,浮游动植物之间的关系相对不够稳定。

表 2 不同水库不同季节浮游植物的生物量优势种及优势度

Table 2 Variation of the dominant phytoplankton species and its dominance of biomass

水库 Reservoir	7 月 July		10 月 October		3 月 March		5 月 May	
	优势种 Dominant species	优势度 Dominant ratio	优势种 Dominant species	优势度 Dominant ratio	优势种 Dominant species	优势度 Dominant ratio	优势种 Dominant species	优势度 Dominant ratio
孤岛一库 Gudao Res. 1	平列藻 <i>Merismopedia</i>	22	色胞藻 <i>Chroococcus</i>	23	针杆藻 <i>Synedra</i>	31	针杆藻 <i>Synedra</i>	54
孤岛二库 Gudao Res. 2	针杆藻 <i>Synedra</i>	78	色胞藻 <i>Chroococcus</i>	21	小环藻 <i>Cyclotella</i>	25	拟鱼腥藻 <i>Anabaenopsis</i>	38
孤东水库 Gudong Res.	颤藻 <i>Oscillatoria</i>	38	针杆藻 <i>Synedra</i>	37	针杆藻 <i>Synedra</i>	83	平列藻 <i>Merismopedia</i>	20
五号库 Res. 5	尖头藻 <i>Raphidiopsis</i>	49	尖头藻 <i>Raphidiopsis</i>	74	针杆藻 <i>Synedra</i>	53	针杆藻 <i>Synedra</i>	28
孤北水库 Gubei Res.	尖头藻 <i>Raphidiopsis</i>	33	颤藻 <i>Oscillatoria</i>	48	针杆藻 <i>Synedra</i>	63	针杆藻 <i>Synedra</i>	17
净化站水库 Puri. Plant Res.	针杆藻 <i>Synedra</i>	57	针杆藻 <i>Synedra</i>	62	针杆藻 <i>Synedra</i>	54	针杆藻 <i>Synedra</i>	15

3 讨论

3.1 菹草的生长方程及最大现存量

调查发现:菹草的生长速度比较快,生物量从 170g/m² 生长到 2500g/m²,仅用 81d,增重倍数近 15 倍,这段快速生长的过程可以很精确地用 Logistic 方程拟合($p < 0.000$),这与陈中义等^[13]湖北梁子湖菹草乘幂形式的生长方程不同,也与杨富亿等^[14]嫩江平原菹草直线形式的生长方程不同,而与任久长等^[9]北京输密河道的菹草生长曲线相似。菹草的最大密度也有不同的报道,可能是因为计算方法的差异,如以水体总面积计算其平均生物量,会因为水草覆盖面积的差异导致结果差异较大,如输密河道的 450 g/m²,嫩江平原一湖泊最大时达到 5500 g/m²。金送笛等^[12]研究认为:菹草产生鳞枝后在 25~30℃ 的大批死亡,是自身种群规模过大使环境化学条件和光照条件发生改变造成的。因而不同的水质条件,不同的水文条件,不同的光照条件,菹草可能

表 3 不同水草规模的水库 pH 年统计特征

Table 3 Average and standard deviation of pH in reservoirs with different submerged macrophytes coverage

项目 Index	孤岛一库 Gudao Res. 1	孤东水库 Gudong Res.	孤北水库 Gubei Res.	五号库 Res. 5
平均值 Average	8.503	8.573	8.473	8.565
标准差 Stdev	0.216	0.148	0.268	0.207

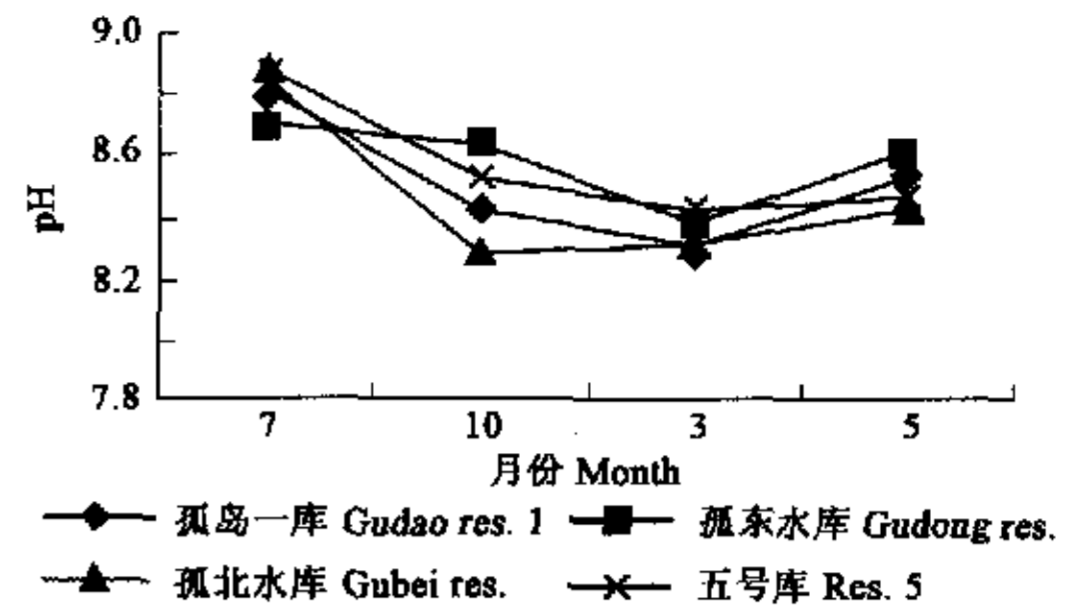


图 5 不同规模水草的水库 pH 的周年变化

Fig. 5 Fluctuation of pH in 4 reservoirs

有不同的生长曲线和最大生物量。

3.2 菹草对水质的影响

菹草在生长过程中吸收水中的营养物质使水层 TP 下

降^[11], 当其死亡腐烂后又将使体内的磷释放到水中, 因而菹草型水库 TP 的年平均值与其它水库并无明显差别。本研究中的菹草型水库 TP 的高峰没有发生在菹草大量死亡后迅速腐烂的一个月之内^[14], 而是发生与 Van Eeckhout, 等^[15]研究结果一致的现象, 即菹草型湖泊水层总磷在冰雪初融的季节最高。这可能是有 3 个原因: (1) 由于夏季水温稳定的正分层, 没有被捞出的植株将磷释放到水底被底泥吸附, 同时由于该水库底泥磷吸附尚未饱和, 所以这部分磷相对比较稳定^[7]; (2) 休眠的鳞枝在春季将体内储存的磷大量释放到水中, 恰逢此时水层昼夜温差比较大, 上下水层水团对流作用强, 使这部分磷相对在水层中驻留时间比较长; (3) 水库管理部门为了保护水质, 在菹草漂浮到水面后, 组织人力进行打捞上岸, 一定程度减少了死亡植株腐烂对水质的影响。测定发现菹草鳞枝湿重 470g/m² (磷含量为 1.4g/kg), 相当于水体有 0.65g/m² 的磷被菹草植株吸收或释放到水中。金送笛等^[11]研究发现菹草植株能够将根部吸收的营养物质通过叶和茎释放到水中。因而可能在冬季或早春, 幼苗将鳞枝内的部分磷释放到了水中。

浮游植物的丰度主要由两个因素决定——营养盐和浮游动物, 其中浮游动物又受到鱼类的捕食。水草的存在一方面为浮游动物提供庇护所^[17], 另一方面其旺盛生长的阶段与浮游植物竞争营养盐并有他感效应而使浮游植物的丰度受到抑制。这是通过水草修复水体富营养化、净化水质的主要原理。有水草或水体比较深的水库, 不同季节浮游植物和浮游动物存在显著的相关关系, 而水浅又无水草的水库没有相关关系(如表 4), 说明这种庇护作用。菹草型水库菹草对藻类的抑制作用仅表现在菹草旺盛生长的阶段, 而在菹草生长比较缓慢的 10 月和 3 月, 浮游植物却达到比较高的水平, 而且优势种为喜丰富营养盐的硅藻; 在其旺盛生长的 3 月~5 月, 由于营养盐浓度的降低, 优势种类被小型的蓝藻代替, 同时藻类的生物量大幅度下降; 因而浮游植物的年平均数量与有无菹草并无关系。

表 4 各水库浮游植物与浮游动物的相关关系和相关程度

Table 4 Correlations between phytoplankton and zooplankton in the 6 reservoirs

水库 Reservoir	孤岛一库 Gudao Res. 1	孤岛二库 Gudao Res. 2	孤东水库 Gudong Res.	五号库 Res. 5	孤北水库 Gubei Res.	净化站水库 Puri. Plant Res.
相关方程 Equation	$y = -a + blnx$	$y = -a + blnx$	$y = -a + bx$	$y = a - bx + cx^2$		$y = a + bx$
相关显著程度 Significant	0.001	0.017	0.017	0.003	NA	0.026

* $a, b, c > 0$; NA refers to no significant correlation

经对浮游植物数量 (Pl) 和 TP 年平均值的相关分析发现, 二者存在极显著的相关关系 ($Pl = -2679.3 + 168906TP$, $p < 0.005$), 同时 TP 又和 Cl 存在极显著的相关关系 ($TP = 0.0913 - 5 \times 10^{-4}Cl + 0.5 \times 10^{-7}Cl^2$, $p < 0.005$)。但从各水库 TP 和浮游植物的关系看, 所有水库浮游植物数量的变化均与 TP 无相关关系; 而 TP 与 Cl 的关系分析中, 只有五号库二者存在显著相关关系。因而可以说水草的存在只改变了水库水层 TP 和浮游植物的季节波动规律; 水中藻类、TP 的丰度最终由水的交换情况决定, 而与有否水草无关。

水草的存在一定程度上能稳定水层 pH, 并使之小幅度提高。水草使 pH 提高的原因是水草持续利用了更多 C 使之沉入水底, 使得水层的 pH 提高。金送笛等^[12]研究认为: 菹草旺盛生长导致的高 pH (>10) 是导致菹草大量死亡的主要原因之一。本调查的结果没有得到如此高的 pH, 原因如下: ① 本调查测定的 pH 为整个水体的平均值, 而不是菹草附近水体的; ② 调查水体缓冲能力比较强, $ALK = 3.4 \text{ mmol/L}$, $T.H = 3.3 \text{ mmol/L}$; ③ 本研究的菹草型水库水流及水的交换率比较大。如果后两者成立, 那么本地菹草死亡是否另有原因尚需要进一步研究。

另外, 菹草的大量发生会影响水生动物的生产力, 因为水生动物代谢旺盛的夏季大量营养盐被菹草鳞枝固定 (磷 0.65 g/m²) 不能参与物质循环。

3.3 菹草的控制

菹草的大量孳生对 TP 和藻类的控制并没有表现出积极的作用,秋季和早春的水质比同期其它水库要差得多。由于菹草生长 81d 的增重倍数相当于本地一般 100g 草鱼种约 210d 的增重倍数,而且鳞枝上萌发的嫩芽在秋天被啃食后,冬天仍能萌发出新的嫩芽^[16],因而仅用草食性鱼类控制菹草,只能控制其一段时间的生长,其后要么水草被吃光而使草食性鱼类没有足够天然饵料而不能正常生长,要么菹草的生长速度超过鱼类的摄食速度而迅速生长。因而控制菹草在合理的规模,需要杂食性鱼类的参与。祖国掌等^[19]研究认为多于 30 只/hm² 河蟹可能会使菹草的规模减少,但本研究中的孤东水库 2001 和 2002 年秋季投放 300 只/kg 规格的河蟹 150 和 60 只/hm²,在 2002 和 2003 年的 5~6 月菹草依然泛滥;五号库水库 2000~2002 年连续 3a 每年放养 300 只/kg 的河蟹 3500 只/hm²,2003 年依然有一定的菹草规模,显示了菹草旺盛的生活能力。国外近年仍在研究用除草剂抑制^[20]菹草的孳生,但这种方法显然不能根治水体营养物质过多的问题,而且有二次污染的可能,不适用于水源水库。用鱼类直接摄食控制菹草的风险则是,如果鱼类使用不当可能会导致其它植物的孳生,如聚草等草食性不好摄食的种类。因此,治理菹草需要多种鱼类的参与,并以最快速度地实现营养物质上岸或稳定沉淀为根本目标,以从根本上减少水草、藻类的规模,修复水体的富营养化,其中人工捞草是最环保的方法,但相对投入的成本也比较高。

4 结语

与长江中下游湖泊的藻型化趋势比较,黄河三角洲的湖泊草型化趋势明显,而且以多以菹草和聚草为优势种。结合菹草的生活史和生长方程发现,菹草的存在并不能改善水质,水体的富营养化程度最终由水体的 TP 的水平决定,而 TP 的水平由水的交换率决定:当水交换率低时,随着水中盐分的不断浓缩,水体 Cl 和 TP 不断增加,水体的藻类数量随之增加。另外,菹草的大量发生因为占用了大量的营养物质,而影响了水层中物质的循环,降低鱼产力,同时其迅速生长导致的高 pH 对水生态系统的结构和功能也会造成不良的影响。菹草的生长主要在春季草食性鱼类摄食尚不旺盛的时期,因此仅通过草食性鱼类控制该草有一定难度。

References:

- [1] Yu D, Cheng Y B, Zhang H H, et al. Restoration of aquatic vegetation and its role in the ecological pool of natural resources in Lake Yunihu. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1996, 7(4): 401~406.
- [2] Qin B Q. Approaches to mechanisms and control of eutrophication of shallow lakes in the middle and lower reaches of the Yangze River. *Journal of Lake Science*, 2002, 14(3): 193~202.
- [3] Wang G X, Chen X Y, Pu P M. Lake eutrophication control in technology, theory and application. *Journal of Lake Science*, 2002, 14(3): 273~282.
- [4] Strand J A, Weisner S E. Dynamics of submerged macrophyte populations in response to biomanipulation. *Freshwat. Biol.*, 2001, 46(10): 1397~1408.
- [5] Scheffer M. Alternative attractors of shallow lakes. *The Scientific World J.*, 2001, 1: 254~263.
- [6] Duan S W, Zang S. The variations of nitrogen and phosphorus concentrations in the monitoring stations of the three major rivers in China. *Scientia Geographica Sinica*, 1999, 19(5): 411~416.
- [7] Wang Y T, Qu M M, Ren Z Y, et al. Fluctuation and tendency of phosphorus in shallow reservoirs at Huanghe Delta. *Journal of China Oceanological University*, 2004, 34(1): 37~42.
- [8] Wu Y S, Yu G Y. Purification of Dianchi Lake by radial submerged hydrophyte (*Potamogeton crispus*). *Acta Scientiae Circumstantiae*, 1991, 11(4): 411~416.
- [9] Ren J C, Qiao J R, Dong W, et al. Study on ecological habit of *Potamogeton crispus* and its growth in Jing-Mi canal, Beijing. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 1997, 33(6): 749~755.
- [10] Li Y H, Jin S D, Liu G C. Physical, chemical and hydrobiological characteristics in water with *Potamogeton crispus*. *Journal of Dalian Fisheries Collge*, 1992, 6(2): 1~11.
- [11] Jin S D, Li Y H, Ni C H, et al. Uptake by *Potamogeton crispus* of nitrogen and phosphorus from water and some affecting factors. *Acta Ecologica Sinica*, 1994, 14(2): 168~173.
- [12] Jin S D, Li Y H, Wang Y L. Effects of ecological factors on photosynthesis of *Potamogeton crispus*. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1991, 15(4): 295~302.
- [13] Chen Z Y, Lei Z X, Zhou J, et al. Monthly quantitative and biomass dynamics of six submerged macrophytes populations in Liangzi Lake. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2000, 24(6): 582~588.
- [14] Yang F Y, Hu G H, Zhang Y. *Potamogeton crispus* resource and its fishery utilization in the Songnen Plain. *Chinese Natural Resource*, 1993, 6: 39~47.

- [15] Van Eeckhout G, Quade HW. An examination of nutrient partitioning in a eutrophic south central Minnesota lake dominated by the macrophyte *Potamogeton crispus*. *Lake Reserv. Manage.*, 1994, **9**(2): 120.
- [16] The Second Compiling Group of the Standards Press of China. *The complication of Chinese standards of analyzing water quality(S)*. Beijing: Standards Press of China, 1996. 188~191.
- [17] Shapiro J. Biomanipulation; the next phase-making it stable. *Hydrobiologia*, 1990, **200/201**:13~27.
- [18] Jian Y X, Wang J B, He G Q, et al. Effects of water-depth gradients, matrices, light and removal of plantlets on germination of turions of *Potamogeton crispus* L. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2001, **25**(3): 224~229.
- [19] Zu G Z, Guan Y L, Hou G J, et al. Utilization and protection of the submerged plant resources by pen-crab culturing in Nushan Lake. *Journal of Lake Science*, 1999, **11**(1): 91~96.
- [20] Poovey AG, Skogerboe JG, Owens CS. Spring Treatments of Diquat and Endothall for Curlyleaf Pondweed Control. *J. Aquat. Plant Manage.*, 2002, **40**: 63~67.

参考文献:

- [1] 于丹,曾一本,张汉华,等.淤泥湖退化水生植被恢复及其在湖泊资源天然生态库中作用的研究.应用生态学报,1996,7(4):401~406.
- [2] 秦伯强.长江中下游浅水湖泊富营养化发生机制与控制途径初探.湖泊科学,2002,14(3):193~202.
- [3] 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.湖泊科学,2002,14(3):273~282.
- [6] 段水旺,章申.中国主要河流控制站氮、磷含量变化规律初探.地理科学,1999,19(5):411~416.
- [7] 王宇庭,曲明敏,任志勇,等.黄河三角洲平原型水库磷的变化趋势.中国海洋大学学报(自然科学版),2004,34(1):37~42.
- [8] 吴玉树,余国莹.根生沉水植物菹草(*Potamogeton crispus*)对滇池水体的净化作用.环境科学学报,1991,11(4):411~416.
- [9] 任久长,乔建荣,董巍,等.菹草(*Potamogeton crispus*)的生态习性和在京密饮水集的发生规律研究.北京大学学报(自然科学版),1997,33(6):749~755.
- [10] 李永函,金送笛,刘国才.菹草型水体的理化因子和水生生物状况.大连水产学院学报,1992,6(2):1~11.
- [11] 金送笛,李永函,倪彩虹,等.菹草(*Potamogeton crispus*)对水中氮磷的吸收及若干影响因子.生态学报,1994,14(2):168~173.
- [12] 金送笛,李永函,王水利.几种生态因子对菹草光合作用的影响.水生生物学报,1991,15(4):295~302.
- [13] 陈中义,雷泽湘,周进,等.梁子湖六种沉水植物种群数量和生物量周年动态.水生生物学报,2000,24(6):582~588.
- [14] 杨富亿,胡国红,张悦.松嫩平原菹草资源及其渔业利用.自然资源,1993,6:39~47.
- [16] 中国标准出版社二编室编.水质分析方法国家标准汇编(S).北京:中国标准出版社,1996.188~191.
- [18] 简永兴,王建波,何国庆,等.水深、基质、光和去苗对菹草鳞枝萌发的影响.水生生物学报,2001,25(3):224~229.
- [19] 祖国掌,管运亮,侯冠军,等.围栏养蟹利用与女山湖沉水植物资源保护.湖泊科学,1999,11(1):91~96.