

## 内蒙古乌梁素海沉水植物的收割工程技术\*

尚士友 申庆泰 杜健民 吴利斌 王丽敏

(内蒙古农业大学湖泊环境研究所,呼和浩特 010018)

**提 要** 在我国典型的草型湖泊——内蒙古乌梁素海设立试验示范基地,进行较大规模沉水植物收割工程试验,探索以机械化方式收割沉水植物转移氮、磷营养盐对草型湖泊进行生态治理的实用技术.试验表明:有计划、合理地收割沉水植物不仅能够有效地削减草型湖泊内源性营养物负荷的积累与释放,使输入与输出的营养盐趋于平衡,使湖泊生态系统逐渐进入良性循环状态;而且不影响沉水植物的繁殖与再生,不会造成藻类蔓延.从而解决了草型湖泊富营养化适度控制的生物治理技术可以长期正常运行的一个关键问题,提供了在湖泊生态治理的同时可以持续开发利用沉水植物资源的可能性.

**关键词** 乌梁素海 草型湖泊 富营养化 沉水植物 收割工程技术

**分类号** X171.4;S963.22

在大型水生植物响应型的富营养化草型湖泊内沉水植物过量生长给湖泊内源性营养物负荷的积累造成了沉重的负担,为这些湖泊的沼泽化进程提供了巨大的动力,直接威胁到了湖泊的各项生态功能,给这些地区环境与经济的可持续发展造成了不可挽回的损失.

防治湖泊富营养化通常要同时控制外源性营养物的输入以及内源性营养物的积累和释放,但是对许多湖泊来说,当内源性营养物负荷储备量已经很高的情况下,控制外源性营养物输入的恢复效应要在很长时间以后才能体现出来,而且耗资巨大,在这种情况下如果能够有效地抑制内源性营养物负荷的积累与储备可能更为重要,这是大多数草型湖泊所面临的现实的技术问题.为此,在典型的草型湖泊——内蒙古乌梁素海设立试验研究基地,投入8个9GSCC-1.4H型水草收割机船队,实施较大规模沉水植物收割工程试验,进行富营养化适度控制与水生植物资源开发利用的研究.试验表明通过机械化技术收割大型水生植物向湖外转移氮、磷营养盐,削减内源性营养物负荷的积累和释放,并最大程度地减缓生物促淤速度,是草型湖泊生态恢复工程的一项主要技术措施.

目前,国际上对“通过控制营养盐来控制湖泊营养状况的途径”已经达成共识<sup>[1]</sup>,1990年在第四届国际湖泊会议上,内蒙古农业大学提出了“以机械化方式控制湖泊富营养化的实用技术”,中国环境科学研究院肯定此项技术是“湖泊富营养化适度控制与水生资源开发利用兼顾的技术典型”<sup>[2]</sup>.现在,加拿大、日本、俄罗斯、德国等都有一些水生植物收割机械在使用,形成一项湖泊生物利用的治理技术<sup>[3]</sup>,但是在较大的湖泊内全面实施生态恢复工程的报道还未曾见过.我国在退化生态系统恢复与重建方面刚刚起步取得了初步的成果,本研究

\* 国家自然科学基金(30160022)和国家科技成果重点推广项目(2002EC000128)联合资助.

2003-06-10收稿;2003-10-14收修改稿.尚士友,男,1943年生,教授,E-mail: shang@public.hh.nm.cn.

为我国草型湖泊生态保护提供了一项较为成熟的实用技术, 是一项可开发式的环境保护的技术模式.

## 1 乌梁素海富营养化概况

乌梁素海位于内蒙古自治区乌拉特前旗境内, 湖区界于  $40^{\circ}47' - 41^{\circ}03'N$ ,  $108^{\circ}43' - 108^{\circ}57'E$ , 湖面高程 1018.5 m, 库容量  $2.5 - 3 \times 10^8 m^3$ , 最大水深 3.9 m, 80% 水域水深 0.8 - 1.0m, 现有水域面积 293 km<sup>2</sup>. 目前, 乌梁素海沉水植物分布面积 97.5 km<sup>2</sup>, 以龙须眼子菜 (*Potamogeton pectinatus*) 为优势种, 群落盖度 100%, 生产量  $8.5 \times 10^4 t/a$  (干重), 平均生物量  $875 g/m^2$  (干重)<sup>[4]</sup>.

乌梁素海补给水源主要是河套灌区的农田退水, 河套灌区化肥用量已由 1978 年的  $7 \times 10^4 t$  迅速上升到 1997 年的  $43.8 \times 10^4 t$ , 至 2002 年化肥用量已经超过  $52 \times 10^4 t$ , 化肥利用率仅为 35%, 大量流失的化肥随农田退水进入乌梁素海. 据 1970 - 2002 年入海口水质监测, 总氮平均 1.74 mg/L, 总磷平均 0.07 mg/L, 分别为国际通用判断富营养水平标准的 8 倍与 3.5 倍<sup>[2]</sup>, 使乌梁素海成为以大型水生植物过量生长为主要表征的富营养化草型湖泊. 沉水植物具有很高的初级生产力, 它们充塞水体空间, 破坏自然景观, 危害渔业生产, 腐败沉落后造成二次污染, 每年自生自灭沉积湖底造成强烈的生物促淤作用, 湖底正在以 7 - 13 mm/a 的速度在抬高, 现在底质淤积深度已达到 360mm. 对比 1975 年 6 月与 2001 年 7 月乌梁素海卫星遥感图象, 当乌梁素海芦苇产量由 1975 年  $2.3 \times 10^4 t$  (干重) 提高 2001 年  $12 \times 10^4 t$  (干重) 时, 芦苇区面积蔓延扩大了约 7 倍, 照此演化速度, 乌梁素海将在 30 年内演变成成为芦苇沼泽地. 2001 年与 1987 年乌梁素海卫星遥感各类地貌解析如表 1 所示.

表 1 乌梁素海 1987 与 2001 年卫星遥感各种地类解析分析 (面积: km<sup>2</sup>)

Tab. 1 The geomorphologic analysis of the region around Wuliangsu Lake by satellite remote sensor in 1987 and 2001 (area unit: km<sup>2</sup>)

接收日期 (年. 月. 日)	湖中明水区	湖 中 芦苇及蒲草区	湖 中 沙洲区	沿岸浅水 沼泽区	洪积扇区	人造芦苇区
1987. 4. 6	128. 31	94. 88	26. 19	21. 03	0	7. 76
2001. 7. 25	102. 17	115. 89	27. 96	26. 84	1. 10	26. 83
对比结果	- 26. 14	+ 21. 01	+ 1. 77	+ 5. 81	+ 1. 10	+ 19. 07

## 2 乌梁素海内源性营养负荷的积累与转移

每年排入乌梁素海氮、磷的途径包括农田排水、地下水、山洪、灌渠退水、降水等, 近年来平均每年入湖总氮约 1088.59 t, 总磷约 65.75 t; 每年排出乌梁素海氮、磷的途径包括排入黄河、收割芦苇、捕鱼、鸟类取食等, 平均每年出湖总氮约 759.9 t, 总磷约 37.8 t; 每年留在湖中参与积累储备的总氮约 328.7 t, 总磷约 28.0 t.

据近年水质分析, 乌梁素海总氮平均含量 2.03 mg/L, 总磷平均含量 0.38 mg/L, 以湖水容量  $2.8 \times 10^8 m^3$  计, 目前水体中总氮储备约 568.4 t, 总磷储备约 106.4 t. 据叶雪梅等

关于中国主要湖泊营养氮沉降临界负荷的研究,乌梁素海氮沉降临界负荷为 40.295 t<sup>[5]</sup>,乌梁素海水体中总氮储备量已达临界负荷的 14 倍.按国际通用水质营养标准氮 0.2 mg/L,磷 0.02 mg/L 计算,乌梁素海水体中总氮超负荷储备量 512.4 t,总磷超负荷储备量 53.8 t.乌梁素海总氮、总磷平衡的计算见表 2.

表 2 近年乌梁素海水体中总氮、总磷平衡及收割水草转移氮、磷的计算

Tab. 2 The balance of total nitrogen and total phosphorus of the water body of the Wuliangsu Lake in recent years and the calculation of the nitrogen and phosphorus amount transferred by harvesting aquatic plant from the lake

项目	现水体中储量 (t)	每年合计输入 (t/a)	每年合计输出 (t/a)	每年留湖中参与积累 (t/a)	按营养标准超负荷储备 (t)	维持良性循环应削减 (t)	收割 5 × 10 <sup>4</sup> kg(干重)水草输出 (t)
TN	568.4	1088.6	759.9	328.7	512.4	841.1	825
TP	59.4	65.8	37.8	28.0	53.8	81.8	85

乌梁素海水质控制的一个核心问题是每年留在湖中参与积累的氮量、磷量使超负荷储备的氮量、磷量越来越高,维持生态系统良性循环必须转移或去除这些不断增加的超负荷氮、磷储备,否则乌梁素海的水质只能越来越差.目前,只有收割沉水植物转移氮、磷才能对这一状况有所改善(收割芦苇转移的氮、磷量已计入每年合计输出内).

乌梁素海优势种沉水植物——龙须眼子菜氮平均含量 1.65%,磷平均含量 0.17%,如果每年收获 5 × 10<sup>4</sup> t(干重)即可向湖外转移出 825 t 氮和 85 t 磷.据宋福等实验,沉水植物对水体中总氮和总磷的去除率分别为 80.31% 和 89.82%<sup>[6]</sup>,通过收割 5 × 10<sup>4</sup> t(干重)沉水植物,可从水体中直接去除大量氮、磷营养物负荷,使输入与输出的营养盐趋于平衡,从而使乌梁素海进入良性循环状态乌梁素海各种形态氮、磷的转化见图 1.

乌梁素海沉水植物茂密区水体中硝酸盐氮含量平均为 0.324 mg/L,氨氮含量平均为

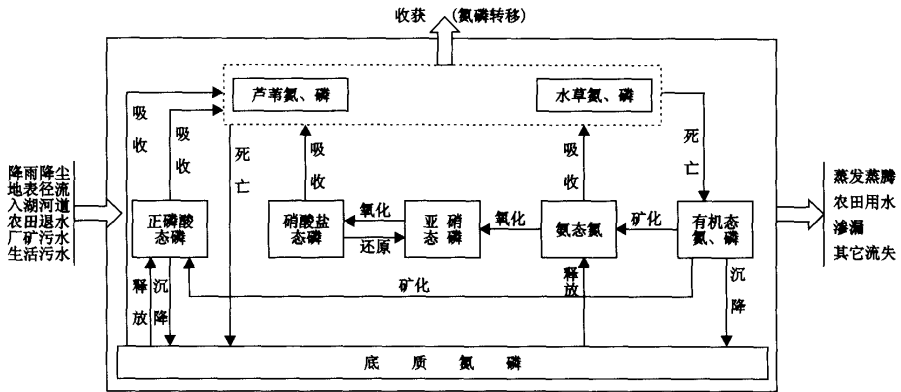


图 1 乌梁素海各种形态氮、磷的转化示意图

Fig. 1 The hinting chart of different transformation form of nitrogen and phosphorus in Wuliangsu Lake

0.432 mg/L, 均高于明水面及深水区 1—3 倍, 说明大型水生植物沉积腐烂后以有机氮的形式存于底泥中, 体现了大型水生植物的生长与底质生物填平作用的关系。目前, 乌梁素海底泥中凯氏氮的含量为 2360 mg/kg, 氨氮含量为 90.4 mg/kg, 有机氮含量为 1985 mg/kg, 总磷含量为 547 mg/kg, 与每年留在湖中参与积累的总氮、总磷的数量有直接关系。由此可知以机械化方式收获大型水生植物转移营养负荷, 可以大大减少有机氮、磷向底质的沉降, 阻断底质氮、磷的来源, 从而有效地控制底质氮、磷的储备和释放。

### 3 9GSCC - 1.4H 型水草收割机主要技术经济性能指标

内蒙古农业大学于 1990 年研制成功 9GSCC - 1.4H 型水草收割机船(图 2), 该水草收割机船为我国草型湖泊生态恢复提供了一项实用的机械化技术手段, 大规模收割水生植物可以有效地转移氮、磷营养盐, 削弱草型湖泊内源性营养物负荷的积累, 抑制生物促淤作用。这项技术在对草型湖泊进行治理的过程中还可以收获大量高蛋白水草饲料, 是湖泊生态治理与水生植物资源开发利用兼顾的一个技术典型。



图 2 9GSCC - 1.4H 型水草收割机船

Fig. 2 The fleet of 9GSCC - 1.4H aquatic plant harvester

9GSCC - 1.4H 型水草收割机由船体、动蹼明轮推进器、切割架、往复式割刀、切割架升降机构、液压传动系统、发动机、变速箱、操纵系统等组成, 可在水下对各种沉水植物进行收割, 以切割、捡拾、传送、牵引、运输一体化作业方式进行连续生产。其主要技术经济指标: 工作速度 2.8 km/h, 割幅 1.4 m, 切割深度 1.2m 内可调, 转弯半径 < 6 m, 吃水深度 0.55 m, 平均作业面积 1800 m<sup>2</sup>/h, 平均生产率 9 t/h(鲜重), 漏割率 0, 漏收率 5%, 动力 14.7 kw, 油耗 9 kg/hm<sup>2</sup>, 装草运输船载重量 5t(鲜重)。用 1 台水草收割机与 1 条牵引船和 5 条装草运输船配套使用时可以连续进行生产并取得最好的经济效益, 日产量(两班生产)为 13 t(干重)水草, 年产量以 120 个工作日计可达 1560 t(干重)。

乌梁素海沉水植物收割于每年 5 月中旬至 10 月末进行, 每年实际工作日为 120 -

130d. 每个船队由 1 人操纵水草收割船, 1 人驾驶牵引运输船, 2 人在装草船上传递堆放水草, 岸上安排卸草人员, 实现连续生产作业. 其主要工程技术途径是收割—捡拾—输送—装船—水上运输—卸草—晾晒干燥—除尘清选—压捆或粉碎. 上岸水草的含水率约 82%, 采用人工自然晾晒, 水份干燥到 13%—17% 即可压捆存放. 人工自然晾晒占地面积较大, 易受天气影响, 而且水草营养成分有一定损失, 最好采用连续式干燥设备进行即时干燥.

## 4 乌梁素海沉水植物的收割

### 4.1 收割方式

沉水植物是草型湖泊主要初级生产者之一, 是湖泊生态系统物质与能量流的主要传递者, 直接影响着草型湖泊生态系统的结构与功能. 目前, 乌梁素海每年约有  $9 \times 10^7$  kg(干重)沉水植物沉积湖底, 是造成乌梁素海生态系统严重退化的核心问题. 在草型湖泊生态治理中既要满足水生植物资源的持续开发利用, 又要保证沉水植物净化水质功能长期稳定地运行, 严格控制藻类蔓延泛滥, 必须正确掌握沉水植物最低限度维持量. 综合分析对乌梁素海有效的保护、资源最大程度的利用以及维持湿地生态系统良性循环的需要, 根据三年生态治理实践形成的沉水植物合理的收割方式是: 在给水上湖口区  $900 \times 900$  m<sup>2</sup> 范围内保留所有的沉水植物和挺水植物, 以充分利用其净化水质和拦截固体颗粒物质的作用, 在水鸟栖息取食区以及产粘性鱼卵的鱼类活动区保留足够的水草, 收割量为全湖生产量的 60%, 在水深 0.7m 以下的水面不作收割, 在其余湖面采用分条或分块间隔收割的方法顺序收割, 暂时保留 30% 水草, 在水草沉落之前尽量全部收割. 这种收割方式可以显著改善水体环境, 并将收割区的生物填平速率由 7—13 mm/a 减少到 2—3 mm/a.

### 4.2 收割试验

于 1999—2003 年在乌梁素海连续进行各项收割对比试验及生产性试验, 收割面积约 33 km<sup>2</sup>, 收获高蛋白优质水草饲料 3850 t(干重), 向湖外转移氮 63.525 t, 磷 6.545 t.

试验方案: (1) 试验时间: 1999、2000、2001 年在不同月份进行收割对比试验, 检测单位面积沉水植物收获量, 比较生物量的变化, 并在 2002 年继续进行检测; (2) 试验区: 设 6 块试验区, 每块试验区面积为  $50 \times 50$  m<sup>2</sup>, 布置在乌梁素海小洼子水域东北部, 水深 0.75—1.15 m, 邻近水域为对照区; (3) 试验设备: 9GSCC—1.4H 型水草收割机船队.

#### 4.2.1 1999、2000 年沉水植物对比试验的收割时间及收获量 1999、2000 年沉水植物收割

表 3 1999、2000 年沉水植物收割对比试验记录表 (割刀入水深度 0.7m)

Tab. 3 The record of the contrast test for the aquatic plant being Harvested between 1999 and 2000 (dipping depth of the cutting blade in water is 0.7m)

年份	收割日期(月.日)	收获量(t·干重)	水深(m)	水温(℃)	对照区收获量(t·干重)
1999 年	6.21	3.00	0.75	14	3.00
	7.25	0.87	0.85	21	3.46
	9.10	3.08	0.90	15	3.55
2000 年	9.20	3.23	0.85	13	3.23
	10.29	0.55	0.90	3	2.95

试验以 1、2、3 号水域作试验区,以 4、5、6 号水域作对照区,统一收割,平均计算每块试验区的收获量进行对比,收割时间及收获量见表 3。

4.2.2 2001 年沉水植物收割对比试验收割时间及收获量 为了研究沉水植物收割后的繁殖以及草—藻制约关系等项技术问题,以保证沉水植物收割工程可以长期、稳定地运行,于 2001 年在每块试验区分别作沉水植物收割工程对比试验,2001 年沉水植物收割试验时间及收获量见表 4。

表 4 2001 年沉水植物收割对比试验记录 (割刀入水深度 0.7m)\*

Tab. 4 The record of the contrast test for the aquatic plant being harvested in 2001  
(dipping depth of the cutting blade in water is 0.7m)

试验区号	收割日期 (月.日)	收获量(t,干重)	水深(m)	水温(°C)	备注
1	5.26	1.6	0.9	7	
	6.27	0.65	0.8	15	
	8.20	3.02	0.7	21	水位下降,漏割漏收约 8%
	10.24	3.75	1.1	6	集中收割计平均值
2	6.27	3.53	0.8	15	
	10.24	3.75	1.1	6	集中收割计平均值
3	5.26	1.52	0.9	7	
	10.24	3.75	1.1	6	集中收割计平均值
4	10.24	3.75	1.1	6	集中收割计平均值
5	8.20	3.32	0.7	21	水位下降,漏割漏收约 8%
	10.24	3.75	1.1	6	集中收割计平均值
6	7.21	3.46	0.7	20	水位下降,漏割漏收约 8%
	10.24	3.75	1.1	6	集中收割计平均值

\* 10月24日在6块试验区作生物量样方检测,因样方检测生物量统计为  $1570 \pm 110\text{g}/\text{m}^2$ (干重),故集中收割,收获量计平均值

乌梁素海沉水植物的优势种是龙须眼子菜,藻类植物的优势种是蓝藻,两者进行生存竞争,由于水体中营养物过剩,其竞争不在营养物,而是争夺光照.在水深 0.7 m 以上的湖面采用分条或分块间隔收割的方法顺序收割,不会造成蓝藻泛滥.在水深 0.7 m 以下的湖面,沉水植物生物量较少,沉水植物表层光照很强,温度较高,蓝藻附着其上,竞争优势较大,在这些水域收割沉水植物,则会助长蓝藻泛滥.对乌梁素海来说,收割沉水植物是在每年 6—10 月份间断进行的,而且收割总量为沉水植物生产量的 60%,在这种情况下沉水植物的保有量足以抑制蓝藻和绿藻,可以保证沉水植物净化水质的功能.

蓝藻在水面呈分散漂浮状态,常在气温较高时发生在龙须眼子菜暴露于水面表层的的地方,与水面表层的龙须眼子菜附着在一起形成“水华”,但遇风或雨天则全部消失.每块分散漂浮的蓝藻面积小于  $0.35\text{m}^2$ ,蓝藻分布面积之和约为明水面的 2%—4%.收割沉水植物之后,试验区内水体环境明显改善,蓝藻因失去附着的龙须眼子菜,光照与生成温度受到影响,

繁殖速度和繁殖能力减弱,分布面积之和比周围对照区明显减少。另外,收割区水体透明度与未收割水域的水体透明度基本一致,均超过 1 m,可清晰看到湖底,并可观察到龙须眼子菜的割茬及新生枝芽的生长过程。

龙须眼子菜的繁殖方式主要是无性繁殖,也有有性繁殖。1990 年期间龙须眼子菜的分布面积约占全湖明水面的 45%,至 1999 年其分布面积就已达到明水面的 95%,几乎将其余 7 种沉水植物全部覆盖,其繁殖能力很强,蔓延速度很快。由三年连续收割试验得知,虽然机械收割导致顶枝丧失,造成生物量、资源储存量的损伤,但是不会破坏它们的繁殖体系,其根系呈匍匐状、十分发达,许多生长点仍可在当年发芽生枝,具有很强的再生能力。通常在收割之后 55-60 d 即可恢复到较高的生物量,而且第 2 年的生产量不受任何影响。

4.2.2 2002 年试验区内沉水植物生物量的变化 在进行 3 年收割试验后,于 2002 年 6-10 月份继续监测试验区内沉水植物生物量的变化,全体样方生物量检测结果为  $1383 \pm 116 \text{ g/m}^2$ (干重),周围对照水域沉水植物的生物量检测结果为  $1377 \text{ g/m}^2$ (干重),试验区内沉水植物的生物量和周围对照水域沉水植物的生物量没有显著区别。由此可以肯定收割沉水植物对富营养化进行适度控制的实用技术可以长期持续地进行下去,能够不断地向湖外转移营养盐,直至将乌梁素海湖内氮、磷营养盐的储备量降低到合理的状态。

## 5 乌梁素海沉水植物资源的开发利用

乌梁素海沉水植物是一笔未被利用的巨大财富,其生产量为  $8.5 \times 10^4 \text{ t/a}$ (干重),以收割 60% 计算,每年可开发利用  $5 \times 10^4 \text{ t}$ (干重)高蛋白优质水草饲料。龙须眼子菜粗蛋白含量 15.25%,氨基酸含量 13.35%<sup>[7]</sup>,营养价值优于草原青干草、披碱草、沙打旺、向日葵盘粉、甜菜叶,营养指标符合家畜家禽饲养标准,可喂养牛、羊、猪、鸭、鹅,钙、碘、硒和蛋氨酸、光氨酸含量比紫花苜蓿高,可作为全价配合饲料的重要组元。开发利用水草饲料为草型湖泊保护及湿地利用提供了一个有益的机会,可使草型湖泊生态治理与水生资源开发利用取得和谐统一,这是湖泊保护与水生植物资源开发利用兼顾的一个技术典型,能够使湖泊环境与区域经济同时得到持续发展。乌梁素海几种沉水植物与紫花苜蓿、混合青干草营养成分的对照见表 5。

表 5 几种沉水植物与苜蓿、青干草营养成分(%)对照  
Tab. 5 The contrast of nutrient elements between a few kind of submerged plant and lucerne, green drying grass in percentage

饲料名称	吸附水	粗蛋白	粗脂肪	粗纤维	粗灰分	钙	磷	无氮浸出物
龙须眼子菜	8.75	15.25	2.18	23.57	14.82	6.67	0.16	35.25
狐尾藻	7.25	16.60	2.95	21.77	16.86	7.89	0.35	34.57
紫花苜蓿(锡林浩特)	9.55	15.14	1.26	34.43	6.57	1.41	0.31	33.06
混合青干草(正兰旗)	9.33	7.92	2.55	33.74	4.82	0.76	0.12	41.64

## 6 讨论

(1) 乌梁素海控制外源性营养物质的输入需要处理净化  $4.6 \times 10^8 \text{ m}^3$  补给水源, 耗资巨大, 十分困难, 即使能够完全控制外源性营养物质的输入, 而留在湖中超负荷的氮、磷储备仍在湖中自身循环, 对生态系统的不良影响依然存在. 收获沉水植物可以从水体中转移大量氮、磷营养盐, 能够将乌梁素海内源性氮、磷营养盐储备量降低到合理的状态, 使输入与输出的营养盐处于动态平衡状态, 是草型湖泊富营养化适度控制的一项切实可行的技术措施.

(2) 乌梁素海 3 年连续收割沉水植物的试验表明, 乌梁素海优势种沉水植物—龙须眼子菜具有很强的再生繁殖能力, 在水温  $15 - 20^\circ\text{C}$  时收割之后的 55 - 60 d 即可恢复到较高的生物量, 而且第 2 年的生产量也不受影响, 因此只要采取合理收割方式是不会造成藻类泛滥的, 采用机械化技术收割沉水植物转移氮、磷营养盐的生物治理工程技术可以长期正常地运行.

(3) 据调查, 乌梁素海、哈素海、红山水库、伊胡塔湖、于桥水库、异龙湖、南四湖、东太湖、固城湖、滇池、洱海、赤湖、保安湖、漏湖等都在不同程度上存在着大型水生植物过量生长的影响, 在我国草型湖泊生态建设中可供开发利用的沉水植物资源量约为  $108 \times 10^4 \text{ t/a}$  (干重), 可生产高蛋白优质水草饲料, 年产值近 4 亿元. 应用沉水植物收割技术可以使耗资巨大的湖泊保护工作变成开发性的环保工程, 对我国湖泊保护及湿地综合利用具有广泛性和实用性.

## 参 考 文 献

- 1 章家恩, 徐琪. 恢复生态学的一些基本问题探讨. 应用生态学报, 1999, 10(1): 109 - 112
- 2 金相灿, 刘鸿亮, 屠清瑛等. 中国湖泊富营养化. 北京: 中国环境科学出版社, 1990: 100 - 101, 509 - 512
- 3 金相灿, 尚榆民, 徐南妮等. 湖泊富营养化控制和管理技术. 北京: 化学工业出版社, 2001: 120 - 145
- 4 尚士友, 乌云塔娜, 杜健民等. 乌梁素海湿地生态保护的. 中国学术期刊文摘(科技快报), 1998, 4(8): 970 - 972
- 5 叶雪梅. 中国主要湖泊营养氮沉降临界负荷的研究. 环境污染与防治, 2002, 24(1): 54 - 58
- 6 宋福, 陈艳卿. 常见沉水植物对草海水体(含底泥)总氮去除速率的研究. 环境科学研究, 1997, 10(4): 34 - 35
- 7 尚士友, 杜健民, 张志毅等. 沉水植物资源开发与湖泊保护的研究. 农业工程学报, 1997, 13(3): 11 - 15



## The Harvesting Project Technology of Submerged Plant in Lake Wuliangsu Hai of Inner Mongolia

SHANG Shiyou, SHEN Qingtai, DU Jianmin, WU Libin, WANG Limin

(*Lake Environment Institute of Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, P. R. China*)

### Abstract

The experiment demonstration base was established in Wuliangsu Hai Lake that is a typical macrophyte-dominated lake in China. In this base, the harvesting project experiments of submerged plant have been carrying out on a large-scale. The aim of those experiments is to search for a utility technology that can improve the environment of plant type eutrophic lake by harvesting submerged plant to transfer nitrogen and phosphor nutrients. The result of those experiments indicated that the planned and reasonable harvesting submerged plant can effectively cut back the accumulation and release of inner nutritious loads. At the same time, it also can make the lake environment achieve the balance between input and output nutrients and make the lake enter into good circulation gradually. Except of the above, it can't affect the reproduce of submerged plant and result in the blooming of algae. Therefore, the key problem that the ecological management technology may chronically and normally work can be resolved. The technology can be used to moderately control macrophyte-dominated eutrophic lake. Applying the technology make it possible to manage lake environment and continually utilize submerged plant resource simultaneously.

**Keywords:** Wuliangsu Hai Lake; macrophyte-dominated lake; eutrophication; submerged plant; harvesting project technology