

· 技术方法 ·

湖泊水上农业试验研究

李兆华¹, 卢进登¹, 马清欣², 张圣书²

(1. 湖北省农业资源与区划研究所, 湖北大学, 武汉 430062; 2. 湖北省发展和改革委员会, 武汉 430072)

摘要 我国910万hm²天然湖泊中, 85%的湖泊出现了不同程度的富营养化。富营养化是由于湖泊中氮、磷等营养元素过度富集而导致水生生态失衡的异常现象, 从环境角度看, 这是一种灾害; 但从资源角度看, 却是一种不可多得的农业资源。该研究利用“生物浮岛”技术, 在武汉沙湖进行了湖泊循环农业的试验, 将30种陆生和湿生植物利用“生物浮岛”技术, 通过“水上花园”、“水上菜园”、“水上草原”、“水上稻田”等农业形式转移到水面栽培。试验表明, 27种植物生长良好, 植物产量高于陆地, 而且重金属和亚硝酸盐含量均远低于国家食品安全标准, 可以作为绿色食品或安全饲料进入市场。生物浮岛水上农业可以变“污染”为“资源”, 实现农业与环保双赢, 具有很大的推广价值。

关键词 湖泊 农业 研究

我国湖泊资源丰富, 天然湖泊约910万hm²。但水污染问题日趋严重, 其中水体富营养化问题是水污染的主要问题之一, 具有发展快、危害大、治理难等特点。湖泊富营养化污染造成的直接后果, 一是使湖泊减少。由于水体藻类及浮游生物急剧生长, 造成湖泊入水口被堵塞和泥砂淤积, 使湖泊面积日益缩小, 加剧湖泊沼泽化, 减小了它对人类的可利用功能。50年来, 全国湖泊(面积在1km²以上者)数量减少500多个, 湖泊水面比新中国成立初期减少约1.4万km²。其中, 鄱阳、洞庭两大湖水面比20世纪50年代初期缩小2970km²。较新中国成立初期, 湖北省湖泊总数减少了500多个, 湖泊面积减少5500km², 造成这种现象的主要原因是大规模围垦, 但富营养化也是原因之一。湖泊面积的减少, 减弱了蓄洪水能力, 加剧了湖区洪涝灾害。同时, 有些湖泊由于水体藻类丛生, 航运已严重受阻。二是破坏水产资源。许多研究表明, 富营养化湖泊有一种生物神经毒素, 它使鱼类等水生动物中毒、病变和死亡, 使湖泊渔业生产受到影响。湖泊养殖面积减少。每年由于水生态环境系统破坏, 造成淡水鱼损失10万t左右。三是污染水源, 使水源不能利用。随着水质富营养化, 水中的氮、磷含量不断增高, 形成硝酸盐、亚硝酸盐, 从而使水源不能用于饮用和灌溉^[1]。

湖泊的污染与富营养化已成为政府和人民群众十分关心的头等环境问题之一, 但水体富营养化是水污染治理中十分棘手而又代价昂贵的困难问题^[2]。这主要是导致水质富营养化的氮、磷等营养物质来源复杂, 清除难度高。至今还没有任何单一的化学和物理措施能彻底去除水中的氮、磷营养物质, 通常的二级处理方法只能除去30%~50%的氮磷, 且化学和物理措施需投入较大成本。用生物技术的方式进行治理已被提到应用日程^[3]。

按照宽泛的资源观来看, 世界上的任何物质都是一种资源, 世界上并没有垃圾, 只有放错了地方的财富。富营养化是由于湖泊的中氮、磷等生物需要的营养元素过度富集而导致水生生态失衡的异常现象^[4-5]。从环境的角度看, 这是一种灾害; 但从资源角度看, 其中的营养元素却是一种不可多得的农业资源, 是一种“放错了地方的财富”。氮、磷元素都是农业肥料中主要部分, 是可以而且应该被人类利用的重要物资, 探索出一种技术模式利用富营养化水体中的氮、磷, 无疑对循环农业的发展是一种积极的促进。

湖泊富营养化水污染治理, 套用解决城市和规模以上工业企业水污染的末端治理手段, 都存在技术、

经济障碍,常会出现既治不起,也治不净的情况^[6]。因此,该项目秉承循环农业废物利用的思想,提出利用水上农业技术,将富营养化水体中的营养转化为可资利用的农业资源,通过农业回报改变环境保护只有投入、没有经济收益的现状,从而将富营养化水污染治理由政府行为转化为农民的农业生产行为,进而通过农业技术本身解决农村的水环境问题。

一、材料与方法

(一) 浮岛构建

该研究选用 100cm×100cm×4cm 平整泡沫板,按间距 6cm、孔径 4cm 打孔,用于扦插植物。栽培植物时用海绵包裹植物茎的下部,插入孔中。根据植物体的大小或每孔扦插、或隔孔扦插。将栽培好植物的泡沫板放入受试水体,用竹片和软绳把浮岛模板一块块连接起来。浮岛整体组装完成后,用竹竿插在浮岛的四周固定,浮岛构建完毕。

(二) 植物遴选

该研究共进行了 30 种植物的浮岛栽培,其中花卉类 10 种:美人蕉、旱伞草、海芋、吉祥草、芝麻花、紫罗兰、鸭跖草、葱兰、马兰、鸢尾;蔬菜类 5 种:蕹菜、芹菜、大白菜、白菜、葱;饲料类 7 种:水稻、牛筋草、水花生、稗草、狗尾草、一年蓬、飞蓬;其它类 8 种:芦苇、荻、香蒲、羊蹄、席草、水蓼、毛蓼、夹竹桃。

(三) 水体试验

密切观察浮岛植物的生长状况,统计植物的成活率;按照生物统计调查的方法采集浮岛植物样品;按照“生物污染监测”的方法制备植物样品;对植物样品进行含水率、氮、磷含量的测定。

(四) 盆栽试验

采用上口口径 23cm、下口径 17cm、高 22cm 的塑料桶作为容器,每桶盛入 5000ml 已监测水质指标的水样,用带孔泡沫板栽培一株植物放入塑料桶中,放在阳台上培养。每隔 10 天用蒸馏水补充因蒸发、蒸腾损失的水量,补充水后采样监测一次水质,监测指标包括 COD、BOD₅、TN、TP。

(五) 指标监测

植物体含水率:重量法;植物体氮含量:凯氏定氮法;植物体磷含量:ICP 法;COD:重铬酸钾法;BOD₅:5 天培养法;TN:碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法;TP:钼酸铵分光光度法。

二、实验结果

(一) 浮岛植物的生长情况

2005 年 4 月 30 日、5 月 15 日和 6 月 5 日,在武昌沙湖边,湖大池塘内利用人工生物浮岛技术分 3 批栽培了 30 种植物。除大白菜、白菜、葱等少数植物不能成活外,所选择的浮岛栽培植物都有较高的成活率,成活率最低的香蒲也达到了 70%,成活率达到或接近 100% 的有牛筋草、稗草、毛蓼、水稻、空心菜、美人蕉。从两个月的生长期生物的生长量来看,超过 20kg 鲜重/m² 的植物有美人蕉、空心菜、牛筋草、芦苇、荻、水稻、稗草,其中生长量最大的是空心菜(接近 30kg 鲜重/m²),其次分别是牛筋草、荻、稗草、水稻、芦苇和美人蕉。

(二) 浮岛植物的遴选结果

从成活率和生长量的角度,研究认为美人蕉、空心菜、牛筋草、香蒲、芦苇、荻、水稻等 7 种植物作为人工生物浮岛植物用于富营养化水体的治理是可行的。

(三) 水体富营养化治理情况

几种主要植物内氮、磷含量:项目选择了 7 种主要植物,分别测定了其植物体内凯氏氮(凯氏定氮法)、磷(ICP 法)和含水率(重量法),其中凯氏氮和磷含量由湖北省农科院农业测试中心监测。由表 1 可以看出,植物体干重氮磷含量以空心菜最高,但由于其含水率也是最高的,其鲜重氮、磷含量并不是很高,鲜重氮、磷含量最高的是芦苇,其次是荻。

表1 植物的含水率及体内氮、磷含量

| 植物 | 干重含量 | | 含水率 | 鲜重含量 | |
|-----|--------|------|-------|--------|-------|
| | 凯氏氮(%) | P(%) | | 凯氏氮(%) | P(%) |
| 水稻 | 3.22 | 0.30 | 84.38 | 0.503 | 0.047 |
| 牛筋草 | 1.76 | 0.23 | 86.36 | 0.240 | 0.031 |
| 空心菜 | 4.19 | 0.59 | 93.68 | 0.265 | 0.037 |
| 香蒲 | 2.00 | 0.27 | 89.58 | 0.208 | 0.028 |
| 芦苇 | 3.15 | 0.26 | 70.55 | 0.928 | 0.077 |
| 荻 | 2.32 | 0.18 | 71.06 | 0.671 | 0.052 |
| 美人蕉 | 1.36 | 0.15 | 88.53 | 0.156 | 0.017 |

表2 几种主要植物对氮、磷的吸收量及对富营养化水体治理效果

| 植物 | 生长量 (kg 鲜重/m ²) | 氮磷吸收量(g/m ²) | | 净化水量(m ³ /m ² 浮岛) | |
|-----|--------------------------------|--------------------------|-------|---|--------|
| | | 凯氏氮 | 磷 | 总氮计 | 总磷计 |
| 水稻 | 23.6 | 118.70 | 11.06 | 14.78 | 110.59 |
| 牛筋草 | 26.5 | 63.62 | 8.31 | 7.92 | 83.14 |
| 空心菜 | 29.2 | 77.32 | 10.89 | 9.63 | 108.88 |
| 香蒲 | 15.7 | 32.72 | 4.42 | 4.07 | 44.17 |
| 芦苇 | 23.12 | 214.29 | 17.69 | 26.69 | 176.88 |
| 荻 | 25.31 | 169.87 | 13.18 | 21.15 | 131.79 |
| 美人蕉 | 21.3 | 33.23 | 3.66 | 4.14 | 36.65 |

表3 食品或饲料安全性检测结果

| 植物名称 | 检测指标 | 限量标准 | 标准依据 | 实际检测结果 mg/kg |
|---------|-------------------------------------|------|--------------|-----------------|
| 蔬菜(作食品) | 砷(As) | 0.5 | GB4810-1994 | 0.033 |
| | 铅(Pb) | 0.2 | GB14935-1994 | 0.054 |
| | 汞(Hg) | 0.01 | GB2762-1994 | 0.004 |
| | 镉(Cd) | 0.5 | GB15201-1994 | 0.001 |
| | 氟(F) | 1.0 | GB4809-1994 | 0.37 |
| | 亚硝酸盐(NO ₂ ⁻) | 4.0 | GB15198-1994 | 0.21 |
| 水稻(作饲料) | 砷(As) | 2 | GB13078-1991 | 0.7 |
| | 铅(Pb) | 5 | | 0.5 |
| | 汞(Hg) | 0.1 | | 0.011 |
| | 镉(Cd) | 0.5 | | 0.028 |
| | 氟(F) | 50 | | 2.33 |

注:由于国家《饲料卫生标准》中未明确列出作为牛青饲料的相应标准,表中列出的限量标准是取的《饲料卫生标准》中的最低值。

时,改变了水质和环保建设只有投入而没有产出的现象。以竹叶菜为例,每平方米的生产成本为11元(浮岛材料20元,可连续使用7年,平均每年折旧费为3元;幼苗2元;劳务及管理费6元),年产竹叶菜30~60kg。以武汉市场价(批发价2元/kg),年产值60~120元,投入产出比为1:5.45~10.9。

如果考虑到环境经济价值,生物浮岛水上农业更具有推广意义,例如,每平方米的竹叶菜可净化108m²的水(从V类到Ⅲ类),以目前污水厂的同等处理成本来看(0.6元/t,不包括硬件设施),每平方米的竹叶菜相当于可以创造64.8元的环境效益。

(二) 生态效益

人类的所有活动都必须依托于所栖息的生态环境,生态系统为人类提供了生存维护系统,提供了从事各种活动所需的最基本物质资源。(1)美化景观功能。通过生物修复可缓解因水污染给周边商业、居住区域带来的负面影响和环境能压力。采用浮岛种植的水生花卉青翠、色彩缤纷、鲜艳夺目,构成一幅美丽的人工自然生态景观,美化了环境,产生了良好的景观效应,提升了城市的环境生态水平。(2)促进生物多样性功能。浮岛本身具有适当的遮蔽、涡流、饲料等效果,构成了鱼类生息的良好条件。实验表明,在人工生物浮岛设施下面聚集着各类鱼种,均为繁育的幼鱼。同时在人工浮岛上还发现一些鸟类筑巢生息。

综合整理,可估算出几种主要植物对氮、磷的吸收量及对富营养化水体治理效果。由表2看出,浮岛植物对氮、磷的吸收量都是相当大的。根据我国的《地表水环境质量标准(GHQB 1-1999)》推算,以总磷计(水体富营养化的主要因子是磷),浮岛上栽培芦苇的净化效果最好,芦苇浮岛可以使176.88m³/m²的水从V类水质降为Ⅲ类水质;其次是荻131.79m³,最差的美人蕉也可净化36.65m³的水。

浮岛植物作为食品或饲料的安全性分析:该研究选取有代表性的蔬菜和水稻植株分别作为食品和饲料,对其体内的重金属含量进行了检测(由于未施任何农药,未做农药残留检测),如表3所示。

由表3可以看出,无论是蔬菜作为蔬菜、还是水稻植株作为饲料,检测的5种重金属和亚硝酸盐含量均远低于国家有关标准。因此,可以认为在该研究的浮岛试验环境下,利用浮岛栽培蔬菜和饲料都是符合国家卫生标准的,是安全的。

三、效益分析

(一) 经济效益

生物浮岛水上农业将水耕栽培和水质净化结为一体,延伸了农业空间,将农业种植扩展到水体。从而为建立大规模水上花园、水上农场提供了可能。这样就可以突破我国种植业耕地少的瓶颈制约。同

综上所述,与传统的污水治理技术和方法相比,生物浮岛水上农业由于整个制作过程贯穿“变废为宝”的资源循环利用思维方式,在达到净化水质的同时,一举多得,费用低廉,永远消除污染源,能保护湖泊景观的完整性,生物终端能产生经济和生态效益。其投入产出比一般可达1:14(包括生态效益折算在内)。这样的投入产出效果为政府水体治理积累和拓宽了资金来源,促使富营养化水体治理进入市场化和社会化,易被治理者和地方政府接受。

四、结论

1. “水上花园”种植10种,全部成活;“水上菜园”种植植物5种,成活2种,大白菜、白菜、葱等不能在水中自然成活;“水上草原”种植植物7种,全部成活;其它经济植物8种,全部成活。

2. 从两个月的生长期生物的生长量来看,超过20kg鲜重/m²的植物有美人蕉、空心菜、牛筋草、芦苇、荻、水稻、稗草。空心菜种植效益最高,每平方米生产成本价为38元(包括浮岛建造一次性投入和生产成本),年产量为56kg。

3. 以总磷计,浮岛上栽培芦苇的净化效果最好,每平方米的芦苇浮岛在两个月之内可以使176.88m³的水从V类水质降为Ⅲ类水质,其次是荻131.79m³,最差的美人蕉也可以净化36.65m³的水。

4. 蔬菜和水稻植株的重金属和亚硝酸盐含量均远低于国家有关标准。因此,可以认为在该研究的浮岛试验环境下,利用浮岛栽培蔬菜和饲料都是符合国家卫生标准的,是安全的。

参考文献

- 1 陈水勇,吴振明,俞伟波,等. 水体富营养化的形成、危害和防治. 环境科学与技术, 1999, (2): 11~15
- 2 顾宗谦. 中国富营养化湖泊的生物修复. 农村生态环境, 2002, 18 (1): 42~45
- 3 孙刚, 盛连喜. 湖泊富营养化治理的生态工程. 应用生态学报. 2001, 12 (4): 590~592
- 4 宋祥甫, 邹国燕, 吴伟明, 等. 浮床水稻对富营养化水体中氮、磷的去除效果及规律研究. 环境科学学报, 1998, 18 (5): 489~491
- 5 刘淑媛, 任久长, 由文辉, 等. 利用人工基质无土栽培经济植物净化富营养化水体的研究. 北京大学学报(自然科学版), 1999, 35 (4): 518~522
- 6 马立珊, 骆永明, 吴龙华, 等. 浮床香根草对富营养化水体氮磷去除动态及效率的初步研究. 土壤, 2000, (2): 99~101

STUDIES ON AQUATIC AGRICULTURE EXPERIMENTS ON LAKES

Li Zhaohua¹, Lu Jindeng¹, Ma Qingxin², Zhang Shengshu²

(1. Institute of Agriculture Resources and Regional Planning of Hubei Province, Hubei University, Wuhan 430062;

2. Development and Reformation Committee of Hubei Province, Wuhan 430072)

Abstract Among 9.10 million hm² of natural lakes in China, over nutrition of different degrees has occurred in 85 % of those lakes. It is an abnormal phenomena of aquatic ecology imbalance caused by over gathering of nitrogen, phosphorus, etc. nutritional elements in the lakes. It is a disaster from environment point of view, but they are rare agriculture resources from resources angle. The studies utilizes “Biological Floating Island” technology and conducts lake circling agriculture experiments on Sha Lake in Wuhan, transplanting 30 species of dry land and aquatic plants to water surface through agriculture forms of “Aquatic Garden”, “Aquatic Vegetable Garden”, “Aquatic Grassland”, “Aquatic Paddy Field” etc. The results of experiments show that 27 species of those plants grow very well and yield higher than in dry land with low contents of heavy metal and nitrite, much lower than the state’s food security standard. Those plants can enter into the market as green food or safe feedstuff. Aquatic agriculture of “Biological Floating Island” technology can change “pollutes” into “resources” and realize double wins of both agriculture production and environment protection. This technology is of great value for extension.

Keywords lake; agriculture; study