

文章编号: 1674 - 5566(2014)05 - 0753 - 05

浮床植物芦苇在长江口水域的生长特性及对氮、磷的固定能力

姚东方^{1,2}, 赵峰¹, 高宇¹, 宋超¹, 杨刚¹, 章龙珍^{1,2}

(1. 中国水产科学研究院东海水产研究所 农业部东海与远洋渔业资源开发利用重点实验室, 上海 200090; 2. 上海海洋大学 水产与生命学院, 上海 201306)

摘要: 以芦苇为浮床植物, 在长江口青草沙水库下游水域构建人工生态浮床, 研究了芦苇的生长特性和氮磷固定能力。结果表明, 在实验期间(2013 年 5 - 7 月), 浮床芦苇的平均密度逐月增加, 5 月份最低为 (25.6 ± 2.5) 株/ m^2 , 7 月份最高达到 (100.7 ± 15.3) 株/ m^2 。相应地, 浮床芦苇的平均株高也逐月增加, 5 月份最低为 (2.6 ± 1.4) cm, 7 月份最高为 (55.0 ± 15.5) cm。不同月份间植株密度和植株高度都存在显著性差异 ($P < 0.05$), 芦苇密度与株高高度正相关 ($R = 0.904$)。浮床芦苇单位面积鲜重为 (0.212 ± 0.045) kg/ m^2 , 干重为 (0.063 ± 0.013) kg/ m^2 ; 植株体内的总氮含量为 (1.33 ± 0.03) mg/g, 总磷含量为 (0.27 ± 0.01) mg/g; 浮床芦苇单位面积总氮固定量为 (83.67 ± 17.01) mg/ m^2 , 总磷固定量为 (17.33 ± 4.16) mg/ m^2 。

研究亮点: 生态浮床的研究目前多集中在湖泊、河流、池塘等狭小封闭水体, 在开放的大水体中的研究较少。本实验在长江南支北港、青草沙水库周边水域构建了芦苇生态浮床, 研究了芦苇在长江口水域的生长特性和对氮磷的吸收能力, 为生态浮床在长江口水域的应用提供参考依据。
关键词: 生态浮床; 芦苇; 生长特性; 氮磷固定能力; 长江口
中图分类号: X 522
文献标志码: A

生态浮床是一种在轻质材料上种植高等水生植物或驯化之后的陆生植物的漂浮结构, 它通过浮床植物对水体中营养物质的吸收、根系微生物的分解、遮蔽阳光等作用, 降低水体富营养化水平, 抑制藻类繁殖, 实现对水体的修复^[1]。生态浮床具有造价低、运行稳定、管理方便、不产生二次污染等优点, 因此生态浮床在水体的原位修复中得到越来越广泛的应用^[2-3]。高阳俊等^[4] 2009 年在淀山湖千墩浦河口区实施了生态浮床实验工程, 并取得良好效果。

长江口水域营养物质丰富、水文条件多变, 不但为众多的水生生物提供了栖息、繁殖、索饵育肥的场所, 而且是多种鱼类洄游的重要通道。但与经济的飞速发展相伴而生的严峻的环境污染问题已经对长江口及其邻近海域的生态系统造成了不良影响, 目前长江口水体中化学需氧量、无机氮和活性磷酸盐具有很高的载荷值, 导

致长江口海域内赤潮事件发生的规模和频率都大大增加^[5-7]。长兴岛青草沙水库位于长江口水域, 是国内最大的蓄淡避咸江心水库, 也是解决上海原水增量缺口和提高供水品质的主要战略水源地^[8-9]。目前青草沙水库周边水域氮磷浓度已经达到使水库内发生富营养化的营养盐水平^[10]。本文通过研究浮床植物芦苇在长江口青草沙水库周边水域的生长特性、生物量和植物体内的氮磷含量, 确定芦苇作为浮床植物在长江口动态水体中的氮磷吸收能力, 为生态浮床在长江口水生态修复中的实际应用提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 实验区概况

实验区位于长江口南支北港、青草沙水库东南侧堤坝和丁字坝之间, 具体位置如图 1 所示。实验水域属于非正规半日潮, 流速较大, 平水期

收稿日期: 2014-03-21 修回日期: 2014-05-16

基金项目: 上海市科技兴农重点攻关项目(沪农科攻字(2012)第 4-1 号)

作者简介: 姚东方(1988—), 男, 硕士研究生, 研究方向为水生态修复。E-mail: yaodf1988@126.com

通信作者: 章龙珍, E-mail: longzhen2885@hotmail.com

大潮最大涨、落潮流速分别为 1.73 m/s、2.04 m/s, 平水期水体中泥沙含量最大为 0.33 kg/m^3 、最小为 0.09 kg/m^3 ^[5], 水体总氮(TN)浓度在 1.6 ~ 2.5 mg/L 之间, 总磷(TP)浓度在 0.08 ~ 0.20 mg/L 之间, 实验期间水温在 23 ~ 30 °C 之间。

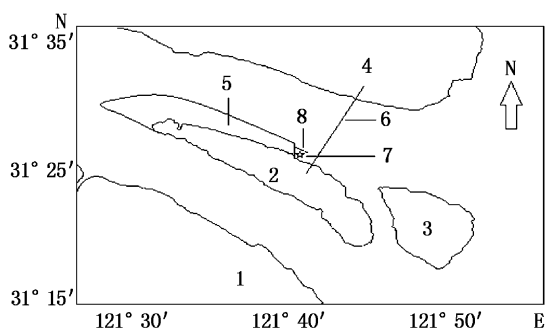


图 1 实验地点

Fig. 1 The experiment site

1. 上海市; 2. 长兴岛; 3. 横沙岛; 4. 崇明岛; 5. 青草沙水库;
6. 上海长江大桥; 7. 实验地点; 8. 丁字坝。

1.2 实验设计

1.2.1 浮床

浮床单体采用框架式结构, 以毛竹作为主要材料, 其规格为 4 m × 4 m, 可以分为框架结构、栽培结构、浮力结构和固定结构几部分。在长 64 m, 宽 40 m, 总面积为 2 560 m² 的实验区域内, 共设浮床单体 44 个, 单体面积为 16 m², 浮床总面积为 704 m², 整体浮床覆盖率为 27.5%。每 11 个浮床单体横向连成一排, 共 4 排, 浮排固定在水底竹桩上, 浮床之间用聚丙烯绳相连(图 2)。

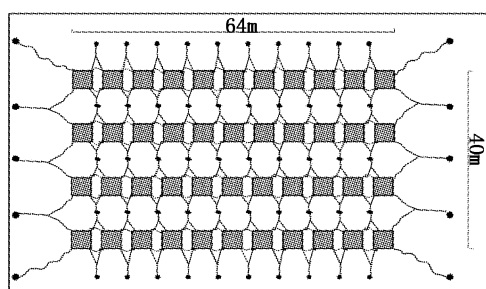


图 2 浮床布局

Fig. 2 Artificial floating beds layout

1.2.2 浮床植物选择

实验采用了长江口常见种芦苇 (*Phragmites australis*) 作为浮床植物。芦苇在自然界中主要以根状茎进行繁殖, 根状茎生命力强, 对水分的适应幅度很宽, 从湿润的土壤到常年积水都可正常

生长。选取深黄色至褐色、茎壁较厚的优良根状茎进行实验, 根状茎长 30 ~ 50 cm, 5 节以上, 每节均带有明显的侧芽, 每公斤含侧芽数 40 ~ 50 个, 并有较多分枝。

1.2.3 实验方法

将芦苇根状茎均匀铺放在浮床栽培结构上, 以网片和竹片夹加以固定, 芦苇的种植密度平均为 300 芽/m² (以侧芽计算)。

实验于 2013 年 5 月开始, 7 月台风季开始前结束。实验过程中, 每月定期采样 1 次。采样方法为随机选取 5 个浮床, 在每个浮床上各取 1 个样方, 每个样方的规格为 1 m × 1 m, 现场测量样方内芦苇植株数量, 每个样方随机取芦苇 10 株, 分别测量植株株高。7 月份实验结束时, 再随机取 5 个样方, 每个样方的规格为 1 m × 1 m, 将样方内的芦苇收割并带回实验室, 分别测量芦苇总体鲜重和干重, 以及芦苇体内总氮、总磷含量。

芦苇干重测定方法: 将芦苇洗净后放入烘箱, 105 °C 杀青 1 h, 然后在 70 °C 下烘干至恒重, 测定其干重。之后将烘干后的样本用粉碎机粉碎, 过 100 目网筛, 装瓶保存, 用于氮磷含量测定^[11]。

芦苇总氮测定方法: 称取 0.500 0 g 粉碎后植物样品, 以浓硫酸-过氧化氢法消解, 消解液以过硫酸钾氧化吸光光度法测定总氮含量^[12]。

芦苇总磷测定方法: 称取 0.500 0 g 粉碎后植物样品, 以浓硫酸-过氧化氢法消解, 消解液以钼锑抗比色法测定总磷含量^[13]。

实验期间每月监测 1 次水体中总氮、总磷含量, 水质总氮测定采用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法(GB 11894—89); 水质总磷测定采用钼酸铵分光光度法(GB 11893—89)。

1.3 数据统计与分析

实验数据经 Excel 处理后, 应用 SPSS 17.0 对浮床芦苇植株密度、植株高度的月间差异性进行单因素方差分析, 并对密度和高度进行相关性分析。

2 结果

2.1 芦苇生长状况

实验期间浮床芦苇植株密度和植株高度的逐月变化情况如表 1 所示。浮床芦苇的植株密度逐月增加, 5 月份最低为 (25.6 ± 2.5) 株/m², 7

月份最高达到 (100.7 ± 15.3) 株/ m^2 ,密度增加了近4倍;植株高度也是逐月增加的,5月份最低为 (2.6 ± 1.4) cm,7月份最高为 (55 ± 15.5) cm。不同月份间植株密度和植株高度都存在显著性差异($P < 0.05$)。芦苇密度与植株高度呈高度正相关($R = 0.904$)。

2.2 芦苇生物量及氮磷固定能力

浮床芦苇的生物量以及植株的氮磷含量如表2所示。浮床芦苇地上部分单位面积鲜重为 (0.212 ± 0.045) kg/ m^2 ,干重为 (0.063 ± 0.013) kg/ m^2 ;植株体内的总氮含量为 (1.33 ± 0.03) mg/

g(干重),总磷含量为 (0.27 ± 0.01) mg/g(干重),芦苇植株体内氮磷质量比为4.93。浮床芦苇总氮固定量为 (83.67 ± 17.01) mg/ m^2 ,总磷固定量为 (17.33 ± 4.16) mg/ m^2 。

表1 浮床上芦苇生长状况

Tab.1 Growing state of the tested plant

月份	密度/(株/ m^2)	高度/cm
5月	25.6 ± 2.5^a	2.6 ± 1.4^a
6月	86.6 ± 11.2^b	36.2 ± 16.7^b
7月	100.7 ± 15.3^c	55.1 ± 15.5^c

注:不同小写字母表示同一列存在差异显著($\alpha = 0.05$)。

表2 芦苇生物量和氮磷含量

Tab.2 The biomass and TN and TP content of the tested plant

植物	鲜重/(kg/ m^2)	干重/(kg/ m^2)	总氮含量/(mg/g)	总磷含量/(mg/g)	N/P
芦苇	0.212 ± 0.045	0.063 ± 0.013	1.33 ± 0.03	0.27 ± 0.01	4.93

2.3 浮床区域水质总氮、总磷的浓度变化

实验期间浮床区域水体中总氮、总磷的浓度变化如表3所示。水体中总氮含量较高,总磷含量较低,且月份间变化幅度较大,整体上呈现出先降低后升高的趋势。

表3 水质总氮、总磷浓度变化

Tab.3 The changes of TN and TP concentrations

水质	5月	6月	7月
TN/(mg/L)	1.58	0.95	2.42
TP/(mg/L)	0.20	0.08	0.11

3 讨论

3.1 浮床芦苇的生长特性

芦苇的根状茎对水分具有很强的适应能力,在漂浮的水生环境中可以正常发芽并生长,芦苇还具有很强的分蘖增生能力,芦苇的分蘖在整个生长期都持续发生^[14],而且在浮床上这种长期积水的环境中,芦苇的密度也会达到最大^[15],因此芦苇的密度在整个实验期间逐月增加。同时芦苇株高也不断增加,密度和株高表现出高度的正相关关系。芦苇是从生型植物,芦苇的密度和高度是反映芦苇群落特征的重要参数之一^[16],在同一生存空间内,阳光、水分、营养物质等资源是有限的,随着植株密度的增加,群落内个体之间的竞争便会加剧,从而影响植株的存活率^[17]。张林

海等^[18]的研究结果表明:芦苇的密度和高度呈显著负相关,而本研究的结论与之相反,芦苇植株的高度随着密度的增加而增加,这可能是由于浮床芦苇的生长期较短,同时气温较高、光照强度较大、水分充足,有利于芦苇的持续快速生长,在试验期浮床上芦苇的密度依然处于正常生长范围之内,个体间的竞争还不是很强。

3.2 浮床芦苇的总氮、总磷固定量

芦苇体内氮的含量远高于磷的含量,这是由于氮元素在生物体内主要参与了蛋白质的构成,而蛋白质在植物干物质中占有50%的比重,磷元素在生物体内主要参与磷脂、核酸等物质的构成,所占比重较小^[19],而且磷元素在植物体内主要以磷酸盐的形式存在,流动性强,容易损失。植物体内的氮磷含量主要受其生境条件的影响^[20],实验期间对实验水域的水质监测结果显示,水体总氮含量在1.6~2.5mg/L之间,总磷含量在0.08~0.20mg/L之间,这与张宏伟等^[10]的调查报告结论基本一致。植物干物质中的氮/磷比可以反映出植物生长中的限制性营养因子状况^[21-22]。当生境中氮不足而磷过剩时,植物过量吸收磷,干物质中氮/磷通常小于14,植物生长表现为氮抑制;当植物干物质中氮/磷大于16时,植物生长表现为磷抑制^[23]。本研究中浮床芦苇干物质的氮/磷为4.93,显示出氮为浮床芦苇生长的限制性营养元素。ROMERO等^[24]的研究

也表明,氮元素对芦苇生长的促进作用明显,而磷元素的促进作用有限。

陈秋夏等^[25]的研究表明:植株的氮磷固定量与植株的生物量呈显著相关关系,这说明植物的生物量越大,对氮磷的固定能力越强。浮床芦苇长期生长在积水环境中,虽然芦苇的根系并不发达,根毛也少,但由于满足了芦苇对水分的需求,因此其生物量较大,低于湿地芦苇,高于旱地芦苇^[26]。邓然等^[27]对5种水生植物在低浓度污水中氮、磷固定能力的研究中发现,芦苇的氮、磷固定能力处于中等水平,但由于芦苇稳定性好,抗倒伏能力强,不容易腐烂,且不会造成生态入侵,因此推荐作为主导植物使用。芦苇体内的氮磷含量在不同的发育阶段是不同的,在5-8月份氮磷吸收量逐月升高,8-9月份达到一个最高值,之后由于氮磷元素向果实和根部转移,芦苇体内的氮磷含量呈下降趋势,因此在芦苇体内氮磷含量最高的时候进行收割,可以最大程度地提高氮磷的去除量^[26]。

植物对氮磷的去除一方面为植株的吸收作用,另一方面为植株根系微生物的分解转化作用。芦苇通气组织发达,可以将氧气从上部输送到根部,可以在根部形成一个好氧区域,利于有机物的分解和硝化细菌的生长,从而实现去除氮和其他有机污染物的目的^[28]。李淑英等的研究表明植物根际的细菌数量与总氮的变化有着良好的正相关关系,而与总磷的相关性不高,表明总磷的去除主要是植物的吸收作用,而总氮的去除中,尽管有植物的吸收,但主要还是硝化细菌和反硝化细菌的作用,硝化作用与反硝化作用占总去除率的45%以上^[29-31]。

参考文献:

- [1] 王涛,周晓琴,苏翔,等.人工浮岛在水体原位修复中的应用[J].重庆工商大学学报,2012,29(6):63-66.
- [2] HUBBARD R K. Floating vegetated mats for improving surface water quality [J]. *Emerging Environmental Technologies*, 2010, 2:211-244.
- [3] SOOKNAH R D, WILKIE A C. Nutrient removal by floating aquatic macrophytes cultured in anaerobically digested flushed dairy manure wastewater [J]. *Ecological Engineering*, 2004, 22(1):27-42.
- [4] 高阳俊,阮仁良,孙从军,等.淀山湖千墩浦河口生态浮床试验工程净化效果[J].水资源保护,2011,27(6):28-31.
- [5] 濮培民,李正魁,王国祥.提高水体净化能力控制湖泊富营养化[J].生态学报,2005,25(10):2757-2763.
- [6] 高利利,吴澄,程金平.长江口主要污染因子研究及富营养化状况评价[J].上海环境科学,2010,29(5):192-196.
- [7] 屠建波,王宝栋.长江口及其邻近海域富营养化状况评价[J].海洋科学进展,2006,24(4):532-537.
- [8] 孙陆宇,温晓曼,陈立侨,等.上海青草沙水库夏秋时节浮游动物群落结构的初步研究[R].厦门:中国海洋湖沼学会甲壳动物学分会、中国动物学会甲壳动物学分会,2011.
- [9] 胡静,黄国玲,王重工.青草沙水源地水域水文泥沙特征[R].苏州:中国水利协会河口治理与保护专业委员会,2007.
- [10] 张宏伟,吴键,车越,等.长江口青草沙水源地开发的生态环境影响[J].华东师范大学学报,2009(3):38-47.
- [11] 蒋跃,童琰,由文辉,等.3种浮床植物生长特性及氮、磷吸收的优化配置研究[J].中国环境科学,2011,31(5):774-780.
- [12] 吴建之,葛滢,王晓月.过硫酸钾吸光光度法测定植物总氮[J].理化检测—化学分册,2000,36(4):166-167.
- [13] 卢超.两种测定湿地植物总磷方法的比较研究[J].江西农业学报,2009,21(8):142-144.
- [14] 苏芳莉,张潇予,郭成久,等.地下水埋深与芦苇生长的相应机制研究[J].灌溉排水学报,2010,29(6):129-131.
- [15] 李冬林,张纪林,潘伟明,等.地表积水状况对芦苇形态结构及生物量的影响[J].江苏林业科技,2009,36(3):17-20.
- [16] 贾庆宇,周莉,谢艳兵,等.盘锦湿地芦苇群落生物量动态研究[J].气象与环境学报,2006,22(4):25-29.
- [17] 孙儒泳,李庆芬,牛翠娟,等.基础生态学[M].北京:高等教育出版社,2002:109-120.
- [18] 张林海,曾从盛,仝川.闽江河口湿地芦苇和互花米草生物量季节动态研究[J].亚热带资源与环境学报,2008,3(2):25-33.
- [19] 王镜岩,朱圣庚,徐长法,等.生物化学(上)[M].北京:高等教育出版社,2002:133-500.
- [20] DEMARS B O L, EDWARDS A C. Tissue nutrient concentrations in aquatic macrophytes: Comparison across biophysical zones surface water habitats and plant life forms[J]. *Chemistry and Ecology*, 2008, 24(6):413-422.
- [21] GÜSEWELL, KOERSELMAN. Variation in nitrogen and phosphorus concentrations of wetland plants[J]. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 2002, 5(1):37-61.
- [22] GÜSEWELL S. N: P ratios in terrestrial plants: Variation and functional significance[J]. *New Phytologist*, 2004, 164:243-266.
- [23] KOERSELMAN W, MEULEMAN A F M. The vegetation N: P ratio: A new tool to detect the nature of nutrient limitation [J]. *Journal of Applied Ecology*, 1996, 33(6):1441-1450.

- [24] ROMERO J A. BRIX F. COMÍN F A. Interactive effects of N and P on growth, nutrient allocation and NH_4^+ uptake kinetics by *Phragmites australis* [J]. *Aquatic Botany*, 1999, 64:369–380.
- [25] 陈秋夏,郑坚,金川,等. 水生植物对 N、P 的富集作用研究 [J]. *江西农业大学学报*, 2008, 30(3):437–442.
- [26] 尹炜,李培军,裘巧俊,等. 植物吸收在人工湿地去除氮、磷中的贡献 [J]. *生态学杂志*, 2006, 25(2):218–221.
- [27] 邓然,卜俊超,蔡雄斌. 5 种水生植物在低浓度污水中氮、磷固定能力比较研究 [J]. *绿色科技*, 2012(6):97–101.
- [28] 梁威,胡洪营. 人工湿地净化污水过程中的生物作用 [J]. *中国给水排水*, 2003, 19(10):28–31.
- [29] 李淑英,周元清,胡承,等. 水生植物组合后根际微生物及水净化研究 [J]. *环境科学与技术*, 2010, 33(3):148–153.
- [30] 屠晓翠,蔡妙珍,孙建国. 大型水生植物对污染水体的净化作用和机理 [J]. *安徽农业科学*, 2006, 34(12):2843–2844, 2867.
- [31] 任玲,杨军. 海洋中氮营养盐循环及其模型研究 [J]. *地球科学进展*, 2000, 15(1):58–64.

Growth characteristics and nutrient uptake ability of common reed (*Phragmites australis*) on artificial floating beds in the Yangtze River Estuary

YAO Dong-fang^{1,2}, ZHAO Feng¹, GAO Yu¹, SONG Chao¹, YANG Gang¹, ZHANG Long-zheng^{1,2}

(1. Key Laboratory of East China Sea and Oceanic Fishery Resources Exploitation and Utilization, Ministry of Agriculture, East China Sea Fisheries Research Institute, China Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090, China; 2. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: An artificial floating bed experimental project in which reeds served as the floating bed plants was carried out on the adjacent water of Qingcaosha Reservoir in the Yangtze River Estuary to study its growing state and nutrient uptake ability. The results showed that the average density of reeds increased gradually during the experiment with the lowest value of $(25.6 \pm 2.5) \text{ ind/m}^2$ in May and highest $(100.7 \pm 15.3) \text{ ind/m}^2$ in July, and the difference between months was significant ($P < 0.05$). The plant height increased from $(2.6 \pm 1.4) \text{ cm}$ in May to $(55 \pm 15.5) \text{ cm}$ in July with significant difference between months ($P < 0.05$). The average density of reeds was highly correlated with the plant height ($R = 0.904$). The fresh weight of reeds per unit area was $(0.212 \pm 0.045) \text{ kg/m}^2$, the dry weight of reeds per unit area was $(0.063 \pm 0.013) \text{ kg/m}^2$, the TN concentration of reeds was $(1.33 \pm 0.03) \text{ mg/g}$, the TP concentration of reeds was $(0.27 \pm 0.01) \text{ mg/g}$. TN fixed amount per square meter was $(83.67 \pm 17.01) \text{ mg/m}^2$, TP fixed amount per square meter was $(17.33 \pm 4.16) \text{ mg/m}^2$.

Key words: ecological floating beds; reeds; growth characteristics; nutrient uptake ability; the Yangtze River Estuary