

太湖原位围隔中水深对苦草生长的影响

刁若贤^{1,2}, 徐兆安¹, 吴东浩¹

(1. 太湖流域水文水资源监测中心, 江苏 无锡 214024; 2. 河海大学水文水资源学院, 江苏 南京 210098)

摘要:2015年6月15日至7月27日,在太湖北部湖湾原位围隔中,通过盆栽试验方法,利用不锈钢架,采用湖泥培养的苦草(*Vallisneria natans*),进行为期45 d的原位试验。试验共设置3个水深梯度,分别为1.0 m、1.5 m和2.0 m,依次记为D₁、D₂、D₃;将试验架顶部固定在围隔的浮体上,通过上下浮动保持试验水深,观测苦草在不同水深梯度下生长指标的变化,分析水深对苦草生长的影响,探究苦草在太湖北部湖湾生长的适宜水深。结果表明,不同水深围隔间的总氮、总磷浓度和蓝藻数量不存在显著差异($P>0.05$)。水深是影响苦草生长的关键因子,不同水深梯度下苦草的成活率、分蘖数和平均叶长等指标均存在一定差异。苦草的成活率随水深增加明显降低,1.0 m水深苦草的成活率与其他2组差异显著($P<0.05$),试验第7天,3个水深处理组苦草的成活率分别为91%、30%和27%;第28天,3组成活率依次降至64%、9%和5%。试验前期,苦草的平均叶片长度随水深增加而减小,试验后期D₁组苦草叶片出现断裂现象,试验第14~28天,D₁组苦草平均叶长由10.3 cm缩短到4.46 cm,缩减了57%。1.0 m水深苦草有分蘖出现,1.5 m和2.0 m均未出现分蘖现象。1.0 m以内湖滨带较适合太湖北部湖湾苦草的恢复重建,但需借助消浪桩和软围隔等措施降低风浪和蓝藻水华对沉水植物生长的影响。

关键词:苦草;水深;原位试验;太湖

中图分类号:Q142 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-3075(2017)04-0043-05

大型水生植物是水生态系统的重要组成部分和主要的初级生产者之一,可以显著提高富营养水体的水质,对有毒的有机污染也有明显的净化作用(吴振斌等,2001);其中,沉水植物繁殖能力强,生态适应性好(胡莲等,2006),在净化水质和抑藻方面效果明显(浦寅芳等,2009;方焰星等,2010),对于维护湖泊的清水状态和生态系统稳定性有重要作用(宋福等,1997),一直是水生态系统保护与修复研究的热点和重点。

与20世纪相比,太湖沉水植物分布面积有所减少,北部湖湾沉水植物几乎消失(Zhao et al,2013),水质恶化(毛新伟等,2009;钱益春等,2009),富营养水质出现频次持续偏高(吕学研等,2014),进行沉水植物的恢复重建有助于太湖富营养化治理和生态系统修复,但沉水植物的恢复受许多因素的影响,光照、营养盐、底泥、悬浮物等是影响湖泊沉水植物生长的主要环境因子(张兰芳等,2006;谢贻发等,2007;朱丹婷,2010;张俊,2014);其中,光照强度是影响沉水植物生长和分布的关键因子(王华等,2008)。水深对于进入水体的光照强度具有重要影

响,较大的水深会导致水体中被沉水植物吸收利用的光照强度降低,不利于沉水植物的萌发、生长和分布;同时,水深还会影响水下温度、养分和溶解氧等,是多因子的综合(何伟等,2009)。

苦草(*Vallisneria natans*)是最常见的沉水植物之一,因其生态适应性广、吸附能力强、光补偿点低、繁殖能力强,常被作为富营养化浅水湖泊中沉水植物恢复重建的先锋物种(宋睿等,2011)。曹昀等(2014)基于玻璃温室内实验池,研究了水深梯度对苦草生长和生物量的影响,认为在透明度较好的水域生态恢复中,应考虑在100~140 cm的水深范围恢复苦草种群;陈开宁等(2014)通过在水塔中悬挂吊桶的方式设置不同水深梯度,发现水深0.6~2.0 m处苦草叶片数、分株数等形态指标呈显著差异,0.6 m处苦草长势最好;但以上研究主要在室内或室外实验池开展,在野外进行推广应用具有一定的局限性。王丽卿等(2011)进行野外模拟试验,研究淀山湖苦草植被恢复的适宜环境条件,发现水深0.5~1.0 m处苦草成活率较高,长势较好,综合考虑水深、光照强度及风浪等因素,认为1.0 m以浅沿岸带较适合苦草群落的恢复重建;但此试验是在在淀山湖生态修复综合示范区内开展,试验水体不是自然形态。本文选取太湖北部的梅梁湖开展原位围隔试验,研究水深梯度对营养期苦草生长的影响,探

收稿日期:2016-06-06

作者简介:刁若贤,1992年生,女,硕士研究生,研究方向为水生态环境保护与修复。E-mail:15705189230@163.com

讨苦草在太湖生长的适宜水深,以期为太湖沉水植物恢复重建提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本试验所用苦草采自金墅湾水厂附近水域,采集过程中保证苦草的根部基本不受损伤,并选取高度、长势基本一致的苦草作为试验材料。试验苦草保留根部及以上 6 cm 叶片,在实验室蓄水池中进行 2d 的恢复生长,然后投入试验。

1.2 试验设计

2015 年 6 月 15 日至 7 月 27 日,在梅梁湖北部靠近杨湾藻水分离站水域进行为期 45 d 的原位试验(图 1-a)。试验共设置 3 个水深梯度,分别为 1.0 m、1.5 m 和 2.0 m,依次记为 D_1 、 D_2 、 D_3 。选用不锈钢材料制作 3 个长宽均为 1.2 m 的试验架(图 1-b),底部根据花盆的大小设置方格(8×8)。将试验架顶部固定在围隔的浮体上,通过浮体的上下浮动以保持试验水深。

从围隔内采集底泥并搅拌均匀,分装至花盆中,保证花盆中试验底泥性状的均一性。将试验苦草栽种至花盆后,用绳子将其固定在试验架底部的方格中。放置试验架前,将围隔内的鱼类去除,避免鱼类取食对试验结果造成影响。

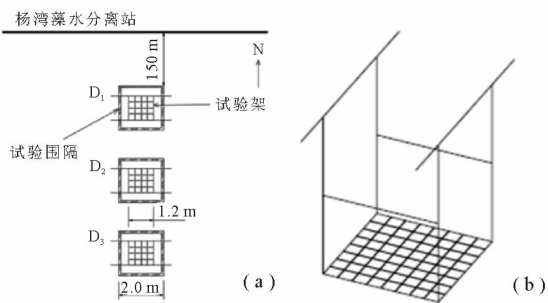


图1 试验围隔(a)与试验架(b)设计

Fig.1 Schematic diagram of the experimental enclosure and test frame

1.3 指标测定

试验期间,每 7 d 采集 1 次水样,测定总氮、总磷含量以及浮游植物数量等指标,同时测定存活率、叶长和分蘖数等生长指标。

水体总氮、总磷含量和浮游植物数量的测定依据相关国家标准。用目测法记录苦草成活率和叶片数,用直尺测量苦草的叶长。试验期间太湖的水位数据以及风速数据来自于太湖流域管理局水文局的水文遥测系统。

1.4 数据分析

原始试验数据的整理分析和相关的图形绘制在 Excel 中进行。采用 SPSS 23.0 的两独立样本 T 检验对不同围隔间的总氮、总磷浓度及蓝藻数量进行差异性分析,采用两配对样本 T 检验对不同处理组苦草的存活率和形态指标进行差异性分析。

2 结果与分析

2.1 不同处理组的水体理化指标及蓝藻数量比较

不同水深处理组围隔间 TN、TP 和蓝藻数量均没有显著差异($P > 0.05$),不同围隔间 TN、TP 和蓝藻数量的变化趋势也基本一致。试验期间 3 项指标均呈现出“升-降-升”的变化趋势,前期逐渐升高,在试验第 28 天降至最小值,第 35 天急剧升高。TN 变化趋势较为平缓(图 2-a),TP 和蓝藻数量在第 21 天出现峰值, D_1 和 D_3 组 TP 最大值分别达到 0.388 mg/L 和 0.450 mg/L,远高于 D_2 组的 0.209 mg/L(图 2-b)。 D_2 组的蓝藻数量达到 22.94×10^8 个/L,试验第 7 天,3 个处理组蓝藻数量均超过 1×10^8 个/L,除了第 28 天,围隔内蓝藻数量一直处于较高水平(图 2-c)。

对比结果表明,试验围隔的氮磷水平以及蓝藻数量明显高于试验期间的梅梁湖, D_1 、 D_2 、 D_3 的总氮平均浓度分别是同期梅梁湖的 1.71 倍、1.85 倍和 2.11 倍,总磷平均浓度分别是 1.94 倍、1.78 倍和 2.33 倍,蓝藻平均数量分别是 2.01 倍、3.32 倍和 3.74 倍。

2.2 苦草生长指标的变化

不同水深处理对苦草生长影响明显,随着水深的增加,苦草的成活率明显降低。 D_1 组苦草的成活率与 D_2 、 D_3 组差异显著($P < 0.05$), D_2 组苦草成活率略高于 D_3 组,但差异不显著($P > 0.05$)。3 个水深处理组苦草成活率呈现随时间变化的趋势,试验初期苦草成活率较高,后期逐渐降低。试验第 7 天,3 个水深处理组苦草的成活率分别为 91%、30% 和 27%;第 28 天,3 组成活率依次降至 64%、9% 和 5%,与第 7 天相比,分别降低了 30%、70% 和 81%。试验第 35 天,苦草全部死亡(图 3-a)。

水深对苦草叶长和分蘖数的影响,不同水深处理组苦草的平均叶片长度差异不显著($P > 0.05$)。试验前期,苦草平均叶片长度随水深增加而减小,第 21 天之后, D_1 组苦草的平均叶长小于 D_2 、 D_3 组(图 3-b)。另外, D_1 组苦草在试验第 21 天和第 28 天出现分蘖, D_2 、 D_3 组均未产生分蘖。

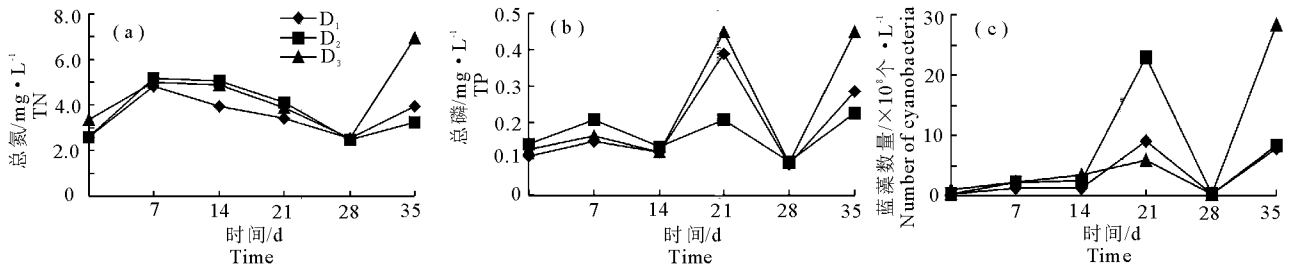


图 2 试验围隔内主要营养盐和蓝藻数量变化
Fig. 2 Variation of TN, TP concentrations and cyanobacteria density in the enclosure

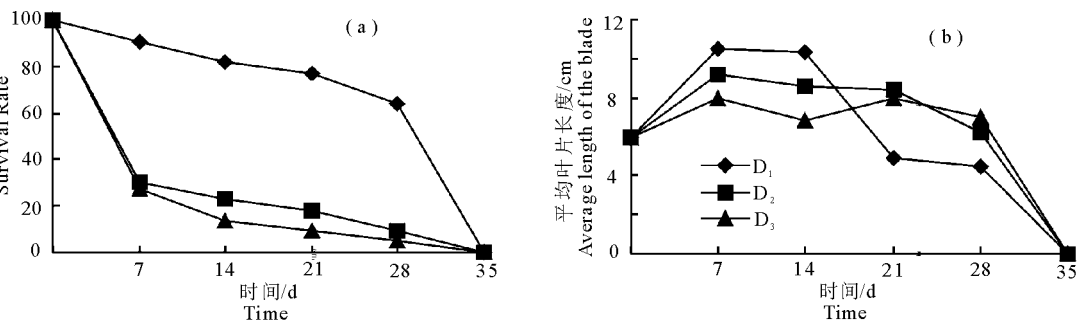


图 3 水深对苦草生长的影响
Fig. 3 Effect of water depth on growth of *Vallisneria natans*

3 讨论

3.1 水深对苦草生长的影响

3 个试验围隔内的主要水质指标均不存在显著差异,且试验所用底泥性状相同,水深是影响围隔间苦草生长存在差异的关键因子。试验期间,不同水深处理组的苦草存活率、分蘖数及叶长等指标都存在一定差异。存活率方面,试验第 7 天, D₁ 组苦草的成活率为 91%, 远高于 D₂、D₃ 组, 与王丽卿等(2011)研究结果一致; D₁ 组苦草在试验后期产生分蘖, D₂、D₃ 组苦草未产生分蘖, 证明了苦草在 1.0 m 水深条件下有可能进行克隆繁殖(符辉等, 2012); 陈开宁等(2014)研究也表明, 随着水深增加, 苦草的生长与克隆繁殖受到抑制。叶长方面, 试验前期, D₁ 组苦草的平均叶长大于其它 2 组, 但后期变小。试验第 14 ~ 28 天, D₁ 组苦草平均叶长由 10.3 cm 缩短到 4.46 cm, 缩减了 57%, 同时观察到了 D₁ 组苦草叶片有折断的痕迹且围隔内有苦草叶片漂浮在水面, D₂、D₃ 组苦草叶片均未出现折断现象, 可能是因为波浪引起苦草植株的摇摆晃动, 导致叶片受损, 且波浪作用深度有限(吴明丽等, 2012)。本次试验结果与其他学者研究结果一致(符辉等, 2012; 杨鑫等, 2014; 曹昀等, 2014)。通过此次试验, 发现 1.0 m 水深苦草的生长状况显著优于 1.5 m 和 2.0 m, 主要是因为随着水深增加, 光照强度显著降

低, 低光条件严重抑制了苦草的光合作用(季高华等, 2011)。曹加杰等(2014)研究发现, 水下光照补偿对苦草幼苗的存活、生长及叶片生理指标均有显著的促进作用, 这也验证了水深对沉水植物生长的影响主要是由光照强度的差异所致。

3.2 太湖沉水植物的恢复重建

苦草在 1.5 m 及 2.0 m 水深条件下成活率低, 叶片数量少, 且不能进行克隆繁殖, 无法形成稳定的种群, 1.0 m 水深苦草成活率高并且可以进行无性繁殖, 因此, 1.0 m 以内的湖滨带较适合苦草的恢复重建。水文遥测系统结果表明, 试验期间围隔附近的风速处于较高水平, 日平均风速达 3.59 m/s, 风速高于 3 m/s 的时间达到总试验时间的 63%, 第 26 天风速达到 10.08 m/s, 经过这次大风的作用, D₁ 组大部分苦草的叶片都被折断。朱金格等(2012)认为较大的风浪会对水生植物生长及恢复产生显著的不利影响, 与本试验结论类似; 另外, 在第 35 天, 不同处理组的苦草全部死亡, 可能是因为试验初期围隔内的蓝藻数量较低, 至中后期, 3 个试验围隔内的蓝藻密度均由 1 × 10⁸ 个/L 上升为 10 × 10⁸ 个/L, 极大地削弱了水下光照强度, 抑制了苦草的生长(王华等, 2008; 朱丹婷等, 2010)。黎慧娟等(2007)研究认为浮游植物能够明显抑制苦草的净光合速率, 进而抑制其生长; 尚媛媛等(2015)研究也发现, 蓝藻堆积会导致沉水植物光照不足, 抑制其生长。因

此,太湖沉水植物的恢复重建,必须保证太湖水位满足沉水植物生长的适宜水深,同时通过消浪桩和软围隔等降低风浪和蓝藻水华对沉水植物的影响。

参考文献

- 曹加杰,陆俊安,阮宏华,2014. 水下光照补偿对沉水植物苦草生长及主要生理指标的影响[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), (5):102-106.
- 曹昀,张素娟,刘燕燕,等,2014. 水深梯度对苦草生长和生物量的影响[J]. 生态环境学报, (8): 1332-1337.
- 方焰星,何池全,梁霞,等,2010. 水生植物对污染水体氮磷的净化效果研究[J]. 水生态学杂志, 3(6):36-40.
- 符辉,袁桂香,曹特,等,2012. 水深梯度对苦草(*Vallisneria natans*)克隆生长与觅食行为的影响[J]. 湖泊科学, 24(5): 705-711.
- 何伟,王国祥,杨文斌,等,2009. 水深梯度对菹草生长的影响[J]. 生态学杂志, 28(7):1224-1228.
- 胡莲,万成炎,沈建忠,等,2006. 沉水植物在富营养化水体生态恢复中的作用及前景[J]. 水生态学杂志, 26(5): 69-71.
- 季高华,徐后涛,王丽卿,等,2011. 不同水层光照强度对4种沉水植物生长的影响[J]. 环境污染与防治, 33(10): 29-32.
- 黎慧娟,倪乐意,2007. 浮游绿藻对沉水植物苦草生长的抑制作用[J]. 湖泊科学, 19(2):111-117.
- 吕学研,吴时强,张咏,等,2014. 太湖富营养化主要指标及营养水平变化分析[J]. 水资源与水工程学报, (4):1-6.
- 毛新伟,徐枫,徐彬,等,2009. 太湖水质及富营养化变化趋势分析[J]. 水资源保护, 25(1):48-51.
- 浦寅芳,孙颖颖,阎斌伦,等,2009. 3种沉水植物对水华藻类生长的影响[J]. 水生态学杂志, 2(6):46-50.
- 钱益春,何平,2009. 1998~2006年太湖水质变化分析[J]. 江西农业大学学报, 31(2):370-374.
- 尚媛媛,保保华,郑建伟,等,2015. 蓝藻堆积对水环境和沉水植物生长的影响[J]. 中国农学通报, (5):195-198.
- 宋福,陈艳卿,乔建荣,等,1997. 常见沉水植物对草海水体(含底泥)总氮去除速率的研究[J]. 环境科学研究, (4):47-50.
- 宋睿,姜锦林,耿金菊,等,2011. 不同浓度铵态氮对苦草的生理影响[J]. 中国环境科学, 31(3):448-453.
- 王华,逢勇,刘申宝,等,2008. 沉水植物生长影响因子研究进展[J]. 生态学报, 28(8):3958-3968.
- 吴明丽,李叙勇,2012. 光衰减及其相关环境因子对沉水植物生长影响研究进展[J]. 生态学报, 32(22):7202-7212.
- 吴振斌,邱东茹,贺锋,等,2001. 水生植物对富营养水体水质净化作用研究[J]. 植物科学学报, 19(4):299-303.
- 谢贻发,胡耀辉,刘正文,等,2007. 沉积物再悬浮对沉水植物生长的影响研究[J]. 环境科学学报, 27(1):18-22.
- 杨鑫,孙淑云,柏祥,等,2014. 水深梯度对苦草(*Vallisneria natans*)光合荧光特性的影响[J]. 湖泊科学, (6):879-886.
- 张俊,2014. 苦草生理生长对太湖底质的响应研究[J]. 生态科学, 33(2):361-365.
- 张兰芳,朱伟,操家顺,等,2006. 污染水体中悬浮物对菹草(*Potamogeton crispus*)生长的影响[J]. 湖泊科学, 18(1):73-78.
- 赵凤斌,徐后涛,王丽卿,等,2011. 淀山湖沉水植物——苦草群落恢复影响因子研究[J]. 生态环境学报, 20(6): 1097-1101.
- 朱丹婷,李铭红,乔宁宁,2010. 正交试验法分析环境因子对苦草生长的影响[J]. 生态学报, 30(23):6451-6459.
- 朱金格,2012. 东太湖围网对水生植被影响的动力机制[D]. 北京:中国科学院研究生院.
- Zhao D, Jiang H, Cai Y, et al, 2012. Artificial Regulation of Water Level and Its Effect on Aquatic Macrophyte Distribution in Taihu Lake. PLoS ONE, 7(9): 1-10 [2016-06-06]. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0044836>.
- Zhao D, Lv M, Jiang H, et al, 2013. Spatio-Temporal Variability of Aquatic Vegetation in Taihu Lake over the Past 30 Years. PLoS ONE, 8(6): 1-7 [2016-06-06]. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0066365>.

(责任编辑 万月华)

**In Situ Enclosure Study on Growth of *Vallisneria natans* at
Different Water Depths in Taihu Lake**

DIAO Ruo-xian^{1,2}, XU Zhao-an¹, WU Dong-hao¹

(1. Taihu Basin Hydrology and Water Resources Monitoring Center, Wuxi 214024, P. R. China;
2. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, P. R. China)

Abstract: Eutrophication is a serious threat to water supply safety and ecological security. Eco-restoration, such as planting submerged macrophytes, can control eutrophication effectively and water depth is an important factor affecting the growth and distribution of submerged macrophytes. Thus, studying the effect of water depth on the growth of submerged macrophytes would benefit efforts to control eutrophication. The main purpose of this study was to investigate the growth response of *Vallisneria natans* (*V. natans*) to different water depth in an enclosure study. From June 15 to July 27, 2015, a pot experiment was conducted in the northern area of Taihu Lake. Pots were held in stainless steel frames suspended from floats at different depths ($D_1 = 1.0$ m, $D_2 = 1.5$ m and $D_3 = 2.0$ m). During the 45 day experiment, samples were collected once a week for measurement of total nitrogen, total phosphorus, cyanobacteria density, and growth parameters of *V. natans*. No significant differences were observed in TN, TP or cyanobacteria among the three groups ($P > 0.05$) and water depth was the key factor affecting growth of *V. natans*. Survival rate, tiller number and average blade length varied by group. Survival rate of *V. natans* decreased with increasing water depth and the survival rate at D_1 was significantly higher than at D_2 and D_3 ($P < 0.05$). From day 7 to the day 28, the survival rates at D_1 , D_2 and D_3 decreased, respectively, from 91% to 64%, 30% to 9% and 27% to 5%. In the early stage of the experiment, the average blade length of *V. natans* decreased with increasing depth, and blade breakage occurred in group D_1 near the end of the experiment. From day 14 to day 28, average length of the leaves in D_1 decreased from 10.3 cm to 4.46 cm, a 57% reduction and tillering was only observed in group D_1 . Our study indicates that the restoration of *V. natans* is best carried out at water depths of less than 1.0 m and it is necessary to reduce the influence of wind, waves and cyanobacteria blooms on the growth of submerged macrophytes using wave attenuations and soft enclosures.

Key words: *Vallisneria natans*; water depth; in situ enclosure; Taihu Lake