

文章编号: 1674 - 5566(2014)06 - 0897 - 07

里塘河亚洲苦草分布特点及光照因子影响分析

温文科^{1,2}, 邵 留^{1,2}, 吴建勇^{1,2}, 于克锋^{1,2}, 胡忠军^{1,2}, 何培民^{1,2}

(1. 上海海洋大学 水产与生命学院, 上海 201306; 2. 上海海洋大学 水域环境生态上海高校工程研究中心, 上海 201306)

摘 要: 2012 年对上海市临港新城里塘河水体状况和亚洲苦草 (*Vallisneria natans*) 分布特点进行了调查, 并研究了不同光照强度对亚洲苦草生长及光合放氧速率的影响。调查结果表明, 里塘河透明度为 80 ~ 100 cm, 苦草生物量按生长在水深 20 ~ 30 cm、30 ~ 60 cm、60 ~ 90 cm、90 ~ 120 cm 4 个范围计算, 随水深增加先增大后减小, 其中 60 ~ 90 cm 水深范围内亚洲苦草生物量最大。苦草密度与水深成负相关, 而平均叶长与水深呈正相关, 河道近岸苦草密集, 中间最深处无水草生存。室内进一步研究表明, 平均每株生物量、分蘖数、平均根长、光合放氧速率均随着光照强度降低而降低 ($P < 0.01$), $10 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 为临界光照强度, 这时亚洲苦草生物量开始出现负增长, 其光合放氧速率为 $10.52 \mu\text{mol}/(\text{g} \cdot \text{h})$, 仅为 $80 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 光照强度组的 22.79%。该研究表明河道苦草分布深度与透明度深度相一致, 进一步揭示了低光条件下苦草群落难以繁殖扩散的原因。

研究亮点: 水下光照强度对苦草等沉水植物生长发育有非常重要的影响, 通过野外调查, 并结合室内实验, 比较系统地探讨了水下光照强度对亚洲苦草生长的影响, 以揭示苦草群落在河道中难以繁殖扩散的原因, 为今后治理沉水植物荒漠化提供理论基础。

关键词: 亚洲苦草; 光照强度; 光合放氧速率; 退化

中图分类号: Q 178.1

文献标志码: A

作为水生态系统的初级生产者, 沉水植物不仅在其生长繁殖过程中从水中吸收营养盐改善水质^[1], 也能通过分泌化感物质及竞争营养和阳光抑制藻类生长繁殖^[2], 并且还能扎根于底泥, 通过对底质的固定作用抑制底质再悬浮^[3]等。但沉水植物的生存、生长及繁殖均受光照强度、营养盐、底质、悬浮物、水流、温度及其他因子等多重因素的影响^[4-6]。随着水体富营养化的加剧, 沉水植物衰退和消失的现象在世界范围内普遍出现, 严重时会导致水底“荒漠化”^[7-8]。

苦草是基生叶型沉水植物, 广泛分布于南北各省, 在淡水湖泊、沟渠、池塘、内河航道的静水或流动水体中均能很好地生长^[9], 其生态适应性广, 吸附污物能力强, 是减少水体污染, 缓解水体富营养化程度的重要沉水植物^[10-11]。光照强度是苦草生长必需的环境因子及主要的限制因

素^[6]。光照强度在水中的衰减主要受水体中非生物悬浮颗粒、浮游植物、溶解性有机物等 3 种物质和水体本身的影响^[12], 因此, 雨水、风浪等自然因素导致的非生物悬浮颗粒增加、溶解性有机物增加造成的水色变化、或者富营养化引起的浮游植物大量爆发等原因, 都会导致水下光照强度减弱^[13], 而沉水植物为补偿减少的光因子, 常常产生形态结构、生理特性的改变^[14-15], 一旦水体透明度降低严重或长时间处在低透明度状态将致使水体中苦草退化^[16-17]。

研究光照强度对苦草影响的文章较多^[18-19], 但通过野外调查和室内实验相结合的文章较少, 本文调查了里塘河亚洲苦草 (*Vallisneria natans*) 分布状况, 并通过液相氧电极实验模拟, 研究不同光照强度对亚洲苦草生长及光合放氧速率的影响, 以揭示苦草群落在河道中

收稿日期: 2014-03-25

修回日期: 2014-05-10

基金项目: 上海市科学技术委员会科研项目 (09DZ1200903); 国家水专项课题 (2008ZX07101 - 012 - 03 - 03)

作者简介: 温文科 (1988—), 男, 硕士研究生, 研究方向为水域环境生态修复。E-mail: wkw1988@163.com

通信作者: 何培民, E-mail: pmhe@shou.edu.cn

难以繁殖扩散的原因,为今后治理沉水植物荒漠化提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 采样点设置及采样方法

调查在上海市临港新城果园镇里塘河(30°52'17"N ~ 30°52'30"N, 121°51'38"E ~ 121°51'42"E)进行,2014年1月、4月、7月、12月各采样一次,里塘河是一条人工开凿的潮汐性河道,调查期间水位属于丰水期同一水位,河道长0.5 km,宽15 ~ 20 m,深1.2 ~ 2.0 m。根据观察,亚洲苦草均生长在河道近岸,本次调查选取6个断面(图1),6个断面沿河道两边垂直于驳岸各选取4个以中心对称的样点(4个点分别在近岸和苦草生长的临界点间选取),记录每个点的水深,另外每个断面河中间取1个点,共计54点。由于河道底质为有机质较多的淤泥,采用较为方便的抓斗式采泥器(规格20 × 30 cm)进行苦草样品的采集,同一点采泥器放入采集2~3次,并将采上来的苦草洗净放入10号自封袋保存。

1.2 实验材料准备

亚洲苦草采自上海市临港新城芦潮港镇里塘河,剪去老叶和老根,用毛笔将叶表面固着物刷净,并用1%高锰酸钾溶液浸泡10 min将植物

表面有害微生物清除;河泥采自临港新城里塘河河中心底泥,去除底泥中的杂质并用16目(孔径约1 mm)筛绢过滤底泥;实验用水取自里塘河道,用孔径为0.45 μm的醋酸纤维滤膜抽滤后添加NaNO₃和KH₂PO₄补充苦草生长的营养需求,主要水质指标含量见表1。

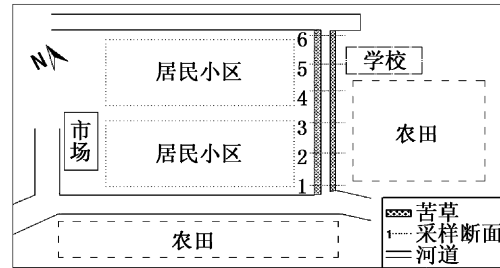


图1 采样点分布图

Fig.1 Sampling point distribution

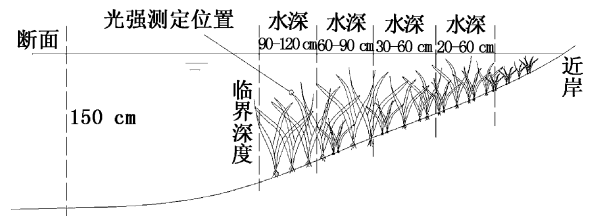


图2 采样断面示意图

Fig.2 The sketch map of sampling section

表1 添加营养盐后各水质指标的最终浓度

Tab.1 The values of water parameters after nutrients adding

水质指标	总有机氮(TN)	总磷(TP)	硝酸盐氮(NO ₃ -N)	亚硝酸盐氮(NO ₂ -N)	氨氮(NH ₄ ⁺ -N)
浓度	2.23 ± 0.03	0.17 ± 0.01	1.05 ± 0.01	0.084 ± 0.003	0.73 ± 0.01

1.3 实验设计

将亚洲苦草洗净,减去老叶和根部,选取5株叶长(10 ± 1) cm、湿重(1.2 ± 0.2) g的健康植株栽种于2000 mL烧杯中,经添加营养后的河水2000 mL。放入光照强度为10、20、40、60、80 μmol/(m² · s)的光照培养箱中,每个光照强度设置3个平行,温度为25 °C,光照周期12 L:12 D,实验周期为25 d。

1.4 亚洲苦草生长指标和水质的测定

实验结束后采用观察称量法测量亚洲苦草的生物量,测量前将其清洗干净并去除其他植物和异物,放于吸水纸上阴干即可;分蘖数测量用直接观测法计数得出;将植株摊开放于有水托盘

中,用直尺直接测量植株最长叶长和最长根长。

水下光照强度采用ZDS-10W系列多探头自动换挡数字式水下照度计进行测量(上海嘉定学联仪表厂),测量时将探头受光面平行于水面,并放于苦草叶面测定冠层处光照强度,测定时间为晴天中午12:00 ~ 13:00时间段的瞬时值,于每个深度范围测定10次并算出平均值。

按《湖泊富营养化调查规范》^[20]对采样样品和实验用水进行分析。采用过硫酸钾消解紫外分光光度法(GB 11894—89)测定TN,纳氏试剂比色法(GB 7479—87)测定NH₄⁺-N,对氨基苯环酰胺-萘乙二胺分光光度法(GB 7493—87)测定NO₂-N,酚二磺酸分光光度法(GB 7480—87)测定

NO₃-N, 钼酸铵分光光度法(GB 11892—89)测定 TP, 消化炉加热法测定底泥总有机碳^[21]。

1.5 亚洲苦草生长指标及光合放氧速率曲线的测定

亚洲苦草的光合放氧曲线采用 Clark 型氧电极(Hansatech Ltd., U. K.)测定^[22]。测定前, 从烧杯中剪取第 2 或第 3 片叶片, 用软毛笔刷干净并剪成 1 mm × 2 mm 左右的碎片, 把样品放在饱和光强下适应 30 min 以上, 然后将样品放入 0.1 mol/L 的 NaHCO₃ 溶液中, 打开光源, 稳定片刻后进行测定。每隔 5 天测定亚洲苦草的光合放氧曲线。

亚洲苦草光合放氧速率按照下式计算:

$$P = R \cdot V \cdot 60/m \quad (1)$$

式中: P 为光合放氧速率; R 为光合放氧曲线的斜率; V 为反应室体积; m 为所取亚洲苦草的质量。

1.6 统计分析

本研究数据分析和图表绘制使用 Excel 软件进行处理。

2 结果

2.1 里塘河全年理化条件

由表 2 可知, 按我国地表水环境质量标准进行判定, 里塘河 TN、TP 劣于地表水Ⅲ类水质标准, 水体透明度为 80 ~ 100 cm; 晴天亚洲苦草冠层光照强度按 20 ~ 30 cm、30 ~ 60 cm、60 ~ 90 cm、90 ~ 120 cm、150 cm 5 个范围计算, 随水深增大而减小, 而河中心底部光强在 12 ~ 20 μmol/(m² · s) 之间; 底泥总有机碳含量各水深差异不大, 1 月、4 月、7 月和 11 月各水深底泥总有机碳含量分别为 17.37 ~ 27.4 g/kg、20.23 ~ 26.91 g/kg、20.09 ~ 25.94 g/kg、16.19 ~ 25.60 g/kg。

表 2 里塘河全年透明度、水质、冠层光照强度及底泥总有机碳含量

Tab. 2 Transparency, water quality and light intensity of Litang River all year

指标		4 月	7 月	11 月	1 月
透明度/cm		80 ~ 100	80 ~ 90	80 ~ 100	80 ~ 100
水质指标 (mg/L)	TN	0.89 ± 0.03	0.70 ± 0.07	0.72 ± 0.05	1.06 ± 0.03
	TP	0.17 ± 0.05	0.11 ± 0.02	0.13 ± 0.01	0.22 ± 0.03
冠层光照 μmol/(m ² · s)	20 ~ 30 cm	465.0 ± 15.0	566.0 ± 20.0	422.0 ± 13.0	410.0 ± 14.0
	30 ~ 60 cm	316.0 ± 13.0	429.0 ± 11.0	233.0 ± 8.0	243.0 ± 9.0
	60 ~ 90 cm	139.0 ± 7.0	168.0 ± 8.0	118.0 ± 5.0	157.0 ± 5.0
	90 ~ 120 cm	46.0 ± 0.5	70.0 ± 2.0	45.0 ± 1.0	55.0 ± 4.0
	150 cm(河底)	12.0 ± 0.2	20.0 ± 0.5	17.0 ± 0.4	20.0 ± 0.1
底泥总碳 (g/kg)	20 ~ 30 cm	17.37 ± 0.03	21.56 ± 0.01	20.09 ± 0.05	16.19 ± 0.05
	30 ~ 60 cm	21.30 ± 0.02	20.23 ± 0.02	20.17 ± 0.03	20.39 ± 0.03
	60 ~ 90 cm	19.88 ± 0.07	22.32 ± 0.04	21.19 ± 0.01	21.58 ± 0.01
	90 ~ 120 cm	20.13 ± 0.03	25.31 ± 0.06	24.19 ± 0.05	23.19 ± 0.03
	150 cm	27.40 ± 0.01	26.91 ± 0.03	25.94 ± 0.01	25.60 ± 0.07

2.2 里塘河全年亚洲苦草分布特点

从调查发现, 里塘河沉水植物资源以亚洲苦草为主, 有少量穗花狐尾藻(*Myriophyllum spicatum* L.)、金鱼藻(*Ceratophyllum demersum* L.)、轮叶黑藻(*Hydrilla verticillata*)。图 3 表示里塘河全年各水深范围内苦草的鲜重、株数、平均叶长、光照强度平均值。由图 3a 可知, 苦草生物量按生长在水深 20 ~ 30 cm、30 ~ 60 cm、60 ~ 90 cm、90 ~ 120 cm 4 个范围计算, 随水深的增加先增大后减小, 其中 60 ~ 90 cm 水深单位面积苦草生物量最大, 为 1.96 kg/m²、90 ~ 120 cm 水

深单位面积苦草生物量最小, 为 0.77 kg/m²。由图 3b、c、d 可知, 苦草密度随着水深增大而减小, 最大约 870 株/m², 最小约 120 株/m²。苦草叶长随着水深的增大而增大, 平均最长约 44.11 cm, 最短约 14.77 cm。晴天亚洲苦草冠层平均光强随水深增加而减少, 20 ~ 30 cm 水深处光强最大, 约为 464.20 μmol/(m² · s), 90 ~ 120 cm 水深处光强最小约 17.20 μmol/(m² · s)。

尽管河道中部(大于 120 cm 水深区域)光照强度在苦草光补偿点以上^[19], 但亚洲苦草分布稀疏或无分布。

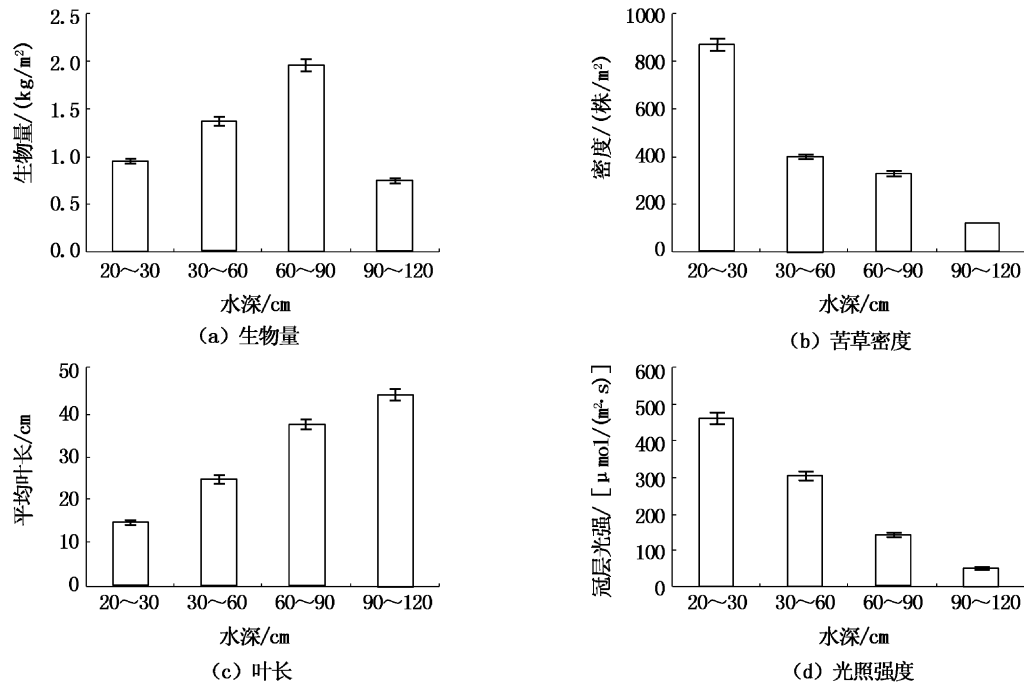


图3 里塘河亚洲苦草全年各水深范围内生物量、密度、平均叶长、冠层光强
Fig. 3 The biomass, density, average leaf length, light intensity of *Vallisneria natans* in each depth range of Litang River all year

2.3 光照强度对亚洲苦草生长及光合速率的响应

图4表示不同光照强度对亚洲苦草生物量、平均叶长、分蘖数、平均根长及光合速率的影响。由图4可知,实验开始时,平均每株苦草重约1.2 g,叶长约10 cm,实验结束后平均每株生物量、分蘖数、平均根长均随着光照强度降低而降低,其中生物量最大3.11 g、最小0.91 g,分蘖数最多7.9个、最小0.8个,平均根长最长11.3 cm、最短4.38 cm。在低光[$10 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]实验组尽管有植株分蘖,但生物量出现负增长,说明光照强度的降低是影响亚洲苦草生长的首要原因,一旦光照强度低于 $10 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 时,亚洲苦草出现退化。实验结束后平均叶长随着光照强度降低先增大后减小,光照强度为 $40 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 时叶长最长。各实验组水体中亚洲苦草光合放氧速率均随光照强度降低呈逐步下降趋势,25 d后,当光照强度为 10 、 $20 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 时,亚洲苦草光合放氧速率为 $80 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 实验组的22.79%、29.18%,亚洲苦草生物量开始出现负增长时的光合放氧速率为 $10.52 \mu\text{mol}/(\text{g} \cdot \text{h})$,表明在低光照强度[10 、 $20 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]环境中亚洲苦草生长受到较大抑制(图4e)。统计

分析表明不同光照强度对亚洲苦草生物量、平均叶长、分蘖数、平均根长及光合放氧速率的影响极显著($P < 0.01$)。

苦草生物量和分蘖数是表示其生长状况的硬性指标,光合放氧速率间接反映了苦草的生长状况,因此,由结果可知,光照强度为 $10 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 时将会影响苦草在水中的繁殖和扩散。

3 讨论

3.1 低光条件对亚洲苦草生长及光合速率的影响

苦草(*Vallisneria gigantean* L.)光补偿点和光饱和点分别为 $9.4 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 、 $200 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ^[23],本实验中培养箱光照强度设置在 $10 \sim 80 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,在光补偿点以上而小于0.5倍光饱和点,对亚洲苦草来说属于低光条件。有研究指出,无论在水生生境还是在陆生生境中,植物面对贫乏的低光生境都会减少对枝条数、地下生物量的投资而增加对植株长度和枝条长度的投资,这可能是植物应对低光条件的生长策略^[24-26]。KORSCHGEN等研究指出,光照强度降低会通过减少冬芽数量和大小影响美洲苦草(*Vallisneria americana*)的分布和丰度,在植物生

长中期如果缺乏 14 d 的光照,冬芽总生物量就会减少^[27]。野外调查和室内实验也有类似的结果,低光照条件明显抑制了亚洲苦草生物量增加、植株分蘖以及根的伸长,当光照强度低于 $10 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 亚洲苦草开始退化,并降低了光合作用效率,使其不能获得足够的能量满足生长发育的需求。但是野外调查和室内实验对比,亚洲苦草生物量和叶长随光照强度的变化不一,究其原因

因,河道浅水处叶短分蘖数多,叶长随着水深的增加而增大,但分蘖数减少,在 90 cm 水深以内,叶长增加造成生物量的增加比分蘖数的减少造成生物量的减小要大,但到达一定深度后(90 ~ 120 cm)趋势则相反,因此生物量出现峰值。而室内实验中水位一定,尽管光照强度降低或者增大,叶长始终保持在一定的范围,随着分蘖数的减小生物量减小。

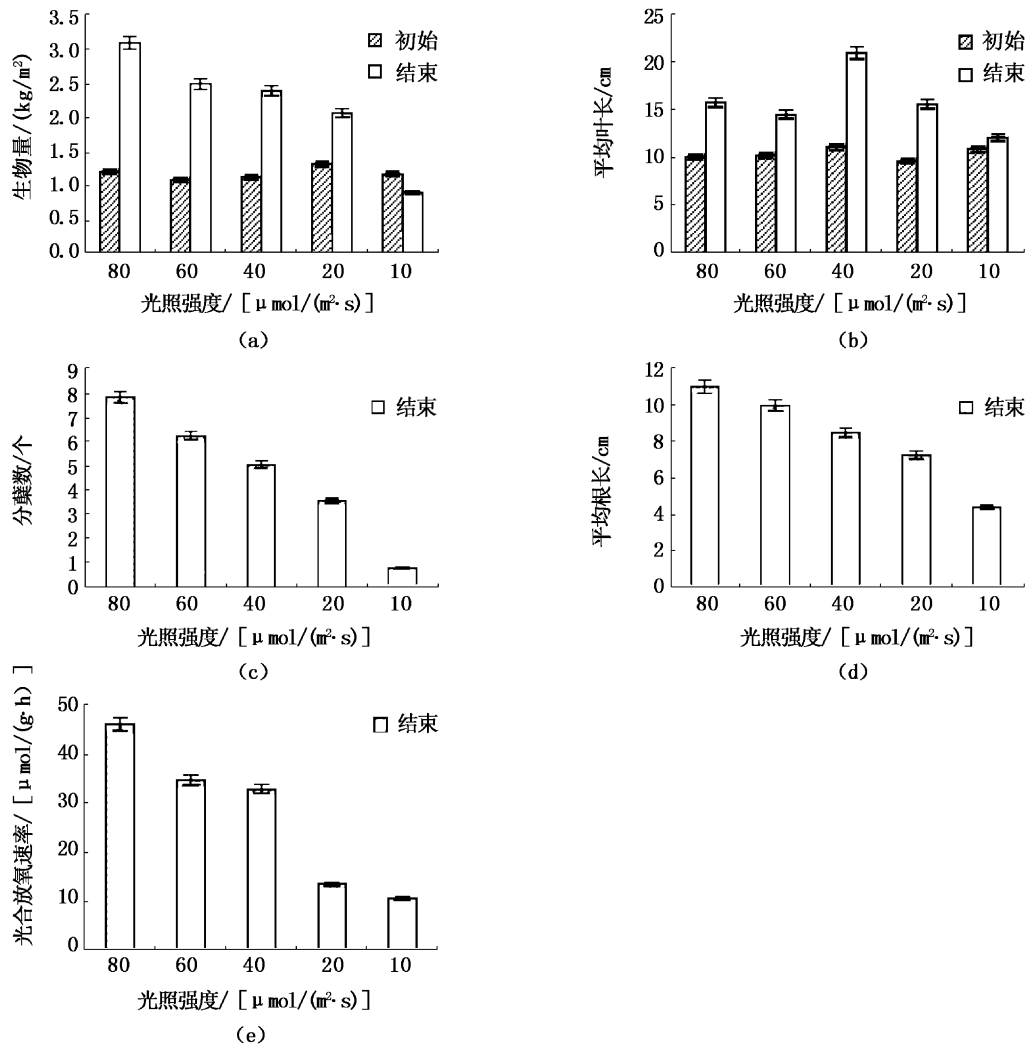


图 4 不同光照强度对亚洲苦草生物量、平均叶长、分蘖、平均根长及光合放氧速率的影响

Fig. 4 Effect of different light intensity on the *Vallisneria natans* biomass, average leaf length, tillers, average root length and photosynthesis oxygen evolution rate

光合速率是单位时间单位面积吸收 CO_2 或放出 O_2 的量,是衡量光合作用量的指标,在饱和光强内随着光照强度降低,光合放氧速率下降^[28]。实验中,低光条件明显抑制了亚洲苦草叶片光合放氧速率,原因是光合作用过程中,光照

强度对 Rubisco 活化酶具有促进作用,从而增大 Rubisco 羧化活性和光合速率^[29],在高光强下 Rubisco 数量较在较低光强下高^[30],光密度的减少将使 Rubisco 趋向于羧化酶方向而非氧化酶方向,因为这些条件减少了植物在光合作用中氧气

的累积^[31],最终使表观光合速率下降,干物质积累减小。

3.2 亚洲苦草在里塘河分布与光照因子的关系

大量研究指出,水体中沉水植物生长和分布主要受水下光强、浮游植物化感作用、鱼类摄食、风浪搅动、底质类型、水体营养盐浓度以及与其他植物竞争等的影响^[32-36],由室内实验和野外调查可知,光照强度是影响亚洲苦草在里塘河水平分布不均的关键因素,悬浮物与不同深度水体对光照强度的衰减使亚洲苦草在水平方向上分布密集,从岸边至河中心密度减小直至无分布;而在垂直方向上,湖泊中苦草一般在 1 ~ 3 m 的水深中均有分布^[37],其中抚仙湖分布最大深度为 20 m^[10]。研究指出,水深越大马来眼子菜对光的趋向性导致产生较多的节间数和较长的节间距以获得更多光,从而导致植株叶长随水深的增加而增加^[38]。苦草在资源斑块性环境中具有生境选择能力,通过克隆生长将更多分株集中到有利生境^[39],本调查中,苦草叶长随着水深增加而增加,苦草在 20 ~ 60 cm 水深光照充足时通过克隆繁殖及横向生长,增加了单位面积的株数,而在 90 ~ 120 cm 水深则通过减少克隆繁殖转向垂直方向生长,叶宽和叶长对水深的响应提高了光照获取能力,并增加了单位面积苦草的生物量。

参考文献:

- [1] BEKLIÖGLU M, MOSS B. Existence of a macrophyte-dominated clear water state over a very wide range of nutrient concentrations in a small shallow lake [J]. *Hydrobiologia*, 1996, 337(1/3): 93-106.
- [2] 鲜啟鸣,陈海东,邹惠仙,等. 四种沉水植物的克隆效应 [J]. *湖泊科学*, 2005, 17(1): 75-80.
- [3] NURMINEN L, HORPPILA J. Life form dependent impacts of macrophyte vegetation on the ratio of resuspended nutrients [J]. *Water Research*, 2009, 43(13): 3217-3226.
- [4] IRFANULLAH H M, MOSS B. Factors influencing the return of submerged plants to a clear-water, shallow temperate lake [J]. *Aquatic Botany*, 2004, 80(3): 177-191.
- [5] HAVENS K E, SHARFSTEIN B, BRADY M A, et al. Recovery of submerged plants from high water stress in a large subtropical lake in Florida, USA [J]. *Aquatic Botany*, 2004, 78(1): 67-82.
- [6] 王华,逢勇,刘申宝,等. 沉水植物生长影响因子研究进展 [J]. *生态学报*, 2008, 28(8): 3958-3968.
- [7] MELZER A. Aquatic macrophytes as tools for lake management [J]. *Hydrobiologia*, 1999, 395: 181-190.
- [8] 王国祥,李正魁. 健康水生态系统的退化及其修复-理论,技术应用 [J]. *湖泊科学*, 2001, 13(3): 193-203.
- [9] 孙祥钟. 中国植物志:第 8 卷 [M]. 北京:科学出版社, 1992:176-180.
- [10] 戴全裕,高礼存,庄大栋. 云南抚仙湖的水生植被及其微量元素 [J]. *海洋湖沼通报*, 1983(1): 52-58.
- [11] GRISE D, TITUS J E, WANGER D J. Environmental pH influences growth and tissue chemistry of the submersed macrophyte *Vallisneria americana* [J]. *Canadian Journal of Botany*, 1986, 64(2): 306-310.
- [12] KIRK J T O. Light and photosynthesis in aquatic ecosystems [M]. United Kingdom: Cambridge University Press, 1994.
- [13] SCHUBERT H, SAGERT S, FORSTER R M. Evaluation of the different levels of variability in the underwater light field of a shallow estuary [J]. *Helgoland Marine Research*, 2001, 55(1): 12-22.
- [14] GOLDSBOROUGH W J, KEMP W M. Light responses of a submersed macrophyte: implications for survival in turbid tidal waters [J]. *Ecology*, 1988, 69(6): 1775-1786.
- [15] BARKO J W, SMART R M. Comparative influences of light and temperature on the growth and metabolism of selected submersed freshwater macrophytes [J]. *Ecological Monographs*, 1981: 219-235.
- [16] WANG W, WANG G, LI Q, et al. Influence of suspended substance on growth of the seedlings of *Vallisneria asiatica* Miki L [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2007, 31(4): 466.
- [17] 王文林,王国祥,李强,等. 悬浮泥沙对亚洲苦草幼苗生长发育的影响 [J]. *水生生物学报*, 2007, 31(4): 460-466.
- [18] 季高华,徐后涛,王丽卿,等. 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*, 2011, 33(10): 29-32.
- [19] 李强,王国祥. 水体泥沙对苦草生长发育和叶片光合生理特性的影响 [J]. *生态学报*, 2009, 29(6): 2852-2860.
- [20] 金相灿,屠清瑛. 湖泊富营养化调查规范 [M]. 北京:中国环境科学出版社, 1990:219-229.
- [21] 霍姮翠,张江江,彭自然. 3 种方法检测水体底泥有机质含量的比较 [J]. *安全与环境学报*, 2010, 10(5): 102-106.
- [22] SHI D J. Energy Metabolism and Structure of the Immobilized Cyanobacterium *Anabaena Azollae* [D]. London: King's College London, 1987.
- [23] 苏文华,张光飞,张云孙,等. 5 种沉水植物的光合特征 [J]. *水生生物学报*, 2004, 28(4): 391-395.
- [24] BARKO J W, SMART R M, MCFARLAND D G. Interactive effects of environmental conditions on the growth of submersed aquatic macrophytes [J]. *Journal of Freshwater Ecology*, 1991, 6(2): 199-207.
- [25] MABERLY S C. Morphological and photosynthetic characteristics of *Potamogeton obtusifolius* from different depths [J]. *Journal of Aquatic Plant Management*, 1993, 31: 34-34.
- [26] ASSMANN S M. Effects of light quantity and quality during

- development on the morphology and stomatal physiology of *Commelina communis*[J]. *Oecologia*, 1992, 92(2): 188 – 195.
- [27] KORSCHGEN C E, GREEN W L, KENOW K P. Effects of irradiance on growth and winter bud production by *Vallisneria americana* and consequences to its abundance and distribution [J]. *Aquatic Botany*, 1997, 58(1): 1 – 9.
- [28] 潘瑞焜,王小菁,李娘辉. 植物生理学[M]. 6版. 北京:高等教育出版社, 2008:95 – 99.
- [29] PORTIS J R A R. Regulation of ribulose 1, 5-bisphosphate carboxylase/oxygenase activity [J]. *Annual Review of Plant Biology*, 1992, 43(1): 415 – 437.
- [30] SUKENIK A, BENNETT J, FALKOWSKI P. Light-saturated photosynthesis—limitation by electron transport or carbon fixation [J]. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Bioenergetics*, 1987, 891(3): 205 – 215.
- [31] FROST-CHRISTENSEN H, SAND-JENSEN K. The quantum efficiency of photosynthesis in macroalgae and submerged angiosperms [J]. *Oecologia*, 1992, 91(3): 377 – 384.
- [32] 黎慧娟,倪乐意. 浮游绿藻对沉水植物苦草生长的抑制作用[J]. *湖泊科学*, 2007, 19(2): 111 – 117.
- [33] 李传红,谢贻发,刘正文. 鱼类对浅水湖泊生态系统及其富营养化的影响[J]. *安徽农业科学*, 2008, 36(9): 3679 – 3681.
- [34] 谢贻发,李传红,刘正文,等. 基质条件对苦草 (*Vallisneria natans*) 生长和形态特征的影响[J]. *农业环境科学学报*, 2007, 26(4): 1269 – 1272.
- [35] 熊汉锋,谭启玲,刘艳玲. 不同营养状态下苦草的生理响应[J]. *华中农业大学学报*, 2009(4): 442 – 445.
- [36] 雷泽湘,陈光荣,谭镇,等. 富营养水体中3种沉水植物的生长竞争及其净化效果[J]. *湖北大学学报:自然科学版*, 2009, 31(2): 192 – 196.
- [37] 熊秉红,李伟. 我国苦草属 (*Vallisneria* L.) 植物的生态学研究[J]. *武汉植物学研究*, 2000, 18(6): 500 – 508.
- [38] XIAO K, YU D, WANG J. Habitat selection in spatially heterogeneous environments: a test of foraging behaviour in the clonal submerged macrophyte *Vallisneria spiralis* [J]. *Freshwater Biology*, 2006, 51(8): 1552 – 1559.
- [39] GRIME J P. Evidence for the existence of three primary strategies in plants and its relevance to ecological and evolutionary theory [J]. *American Naturalist*, 1977: 1169 – 1194.

Distribution properties and effects of light intensity on *Vallisneria natans* in Litang River

WEN Wen-ke^{1,2}, SHAO Liu^{1,2}, WU Jian-yong^{1,2}, YU Ke-feng^{1,2}, HU Zhong-jun^{1,2}, HE Pei-min^{1,2}

(1. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Engineering Research Center for Water Environment Ecology in Shanghai, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: Water quality and distribution of *Vallisneria natans* in the Litang River in Shanghai were investigated in 2012. We also studied the effects of different light intensity on the growth and photosynthetic oxygen evolution rate of *V. natans*. Results showed that the transparency of Litang River was 80 – 100 cm, and when the water depth increases, the *V. natans* biomass firstly increased and then decreased, and the turning point is at the depth of 60 – 90 cm in the four experiment groups, which showed the largest biomass. The density of *V. natans* was negatively correlated with the depth of water while the average leaf length of *V. natans* was positively correlated. Investigation showed that plenty of *V. natans* was found in offshore area of the river, but no *V. natans* was found in the center of the river. Experiment in lab circumstances showed that plant biomass, tiller number, average root length and photosynthetic oxygen evolution rate of *V. natans* were all reduced with the decrease of the light intensity ($P < 0.01$). The critical light intensity of *V. natans* was $10 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, and at that point, the photosynthetic oxygen evolution rate was $10.52 \mu\text{mol}/(\text{g} \cdot \text{h})$, and the *V. natans* biomass started to decrease. This study showed that the *V. natans* distribution at different depth in Litang River was consistent with transparency. This study further revealed the reason why *V. natans* communities were difficult to reproduce and spread in low light conditions.

Key words: *Vallisneria natans*; light intensity; photosynthesis oxygen evolution rate; degeneration