

文章编号:1001-7380(2016)01-0005-05

3种模拟基质对香蒲和芦苇生理生态的影响

仇曙光¹,王永平²

(1. 江苏省林业科学研究院,江苏 南京 211153;2. 南京水利科学研究院水文水资源
与水利工程科学国家重点实验室,江苏 南京 210024)

摘要:为研究不同性质的基质对香蒲和芦苇2种优势挺水植物生长的影响,模拟了3种基质(100%粘土、50%淤泥+50%粘土和100%淤泥),研究了香蒲和芦苇的生理生态响应情况。结果显示:香蒲叶片的电子传递速率、最大量子产率和光合能力均随基质中淤泥含量的增加而上升,最大电子传递速率(P_m)和对强光的耐受能力(P_m/α)得到强化,株高也随之增加;在50%淤泥+50%粘土混合基质中生长的芦苇,获得最大株高(138.6 cm)和最大叶长(24.5 cm),而在100%淤泥中株高最低;淤泥比例高的基质中生长的植物对强光的耐受能力(P_m/α)略高于粘土比例高的基质中生长的植物。结论:香蒲更适合生长在肥沃的生态环境中,而芦苇则适合生长在营养水平适中的环境中,即50%淤泥+50%粘土的混合基质可能最适合芦苇生长。

关键词:芦苇;香蒲;基质;淤泥;粘土

中图分类号:S564⁺·2 **文献标志码:**A **doi:**10.3969/j.issn.1001-7380.2016.01.002

The physiological responses of *Typha angustifolia* and *Phragmites communis* to 3 different substrates

QIU Shu-guang¹, WANG Yong-ping²

(1. Jiangsu Academy of Forestry, Nanjing 211153, China; 2. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210024, China)

Abstract: To study the effects of different substrates on the growth of *Typha angustifolia* and *Phragmites communis*, after such 3 planting substrates as 100% clay, 50% sludge + 50% clay, and 100% sludge being mimicked, the physiological responses of *T. angustifolia* and *P. communis* were investigated. We got the following results as under 100% sludge condition, *T. angustifolia* had the largest of photosynthesis; and fitting parameters of the light response curve revealed the maximum electron transfer rate (P_m); the tolerance to strong light (P_m/α) and the plant height were enhanced with the increased proportion of sludge. In addition, the substrate composed of 50% sludge + 50% clay might be the most suitable for the growth of *P. communis*, with the maximum plant height of 138.6 cm and the maximum leaf length of 24.5 cm while the plant height was the lowest in the 100% sludge substrate. As for these two plant species, the tolerance to strong light (P_m/α) was increased in the high proportion of sludge. Therefore we concluded that the response of *P. communis* and *T. angustifolia* to organic matter was different from each other, i. e. *T. angustifolia* tended to grow well in more fertile sediment while *P. communis* tended to grow better in moderate fertile sediment.

Key words: *Phragmites communis*; *Typha angustifolia*; Substrate; Sludge; Clay

水生高等植物在维持水生生态系统结构和功能方面具有重要作用,而基质的理化性质对水生植物的兴衰有不可忽视的影响^[1]。基质不但提供沉水植物的附着基质,还供应植物生长发育所需的大

量元素^[2]。不同的基质所含有营养元素含量和物理特性不同,往往影响水生高等植物的生长与繁殖和群落的组成与结构^[3]。因此,研究水生高等植物生理生态对基质的响应具有重要意义。

收稿日期:2015-12-21;修回日期:2016-01-26

作者简介:仇曙光(1977-),男,江苏丰县人,工程师,大学本科毕业,主要从事景观规划设计与生态修复的研究。

研究显示,随着基质中有机质含量的增加,大量无机还原物会对植物根系产生毒害作用,水生高等植物生长受到抑制^[4],但也有研究得出二者关系成负相关的结论^[5]。有研究认为植物生物量与基质总磷和总氮总量呈显著正相关^[6-7],然而也有一些不同的观点,认为基质理化性质与沉水植物生长之间关系不密切。Robach等证实植物组织氮磷与基质总磷之间相关性未达到显著水平,表明沉水植物还可以通过其他途径吸收营养元素^[8]。随后, Demars等通过大量数据表明,沉水植物的分布与基质的理化性质没有必然的联系,只与沉水植物的繁殖策略和生活史相关^[9]。许多研究是在室内受控条件下进行的,水生高等植物的生长状况与不同基质类型之间有良好的响应模式^[2, 10]。在自然条件下,多种影响因素共同作用,相互影响,因而二者的相关性可能变得模糊。研究显示国内湿地挺水植物优势种主要为芦苇和香蒲。故本文选取芦苇、香蒲2种植物在野外现场进行人工受控试验,研究挺水植物生长对不同基底的响应,以期通过最终的试验数据筛选出最适生长的基质类型,为湿地植物生境营造、物种的空间配置提供科学依据。

1 材料与方 法

试验设计如下:淤泥来自长期淹水的南四湖湿地,地理坐标为 N34.576271°, E117.533050°, 粘土采自湿地的台地,地理坐标为 N34.577478°, E117.534257°。按照 100%粘土、50%淤泥+50%粘土(质量比)和 100%淤泥配制 3 种基质,将混合均匀的基质装入 80 L 的塑料桶中,桶内基质高度为 35 cm。选择长势一致的幼苗进行种植:芦苇幼苗株高 20~25 cm,质量约 40~48 g;香蒲幼苗株高 20~25 cm,质量约 30~36 g。每个桶种 12 株,每个处理设置重复 3 个。植物种植后沿着离岸边约 1 m 处依次排开,桶内始终保持田间最大持水量或略高于最大持水量,让植物生长不受水深的胁迫。

1.1 植物生理和生态参数测定

于 2015 年 7、8 和 9 月中旬,选取植株顶部第 3 张完全展开的叶片,用 Diving PAM 2000 原位测定叶绿素荧光。测量时间安排在 6:00-7:30,连体叶片经暗适应 15 min 后,打开调制测量光 [$0.15 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$],测得 F_0 ,随后启动饱和脉

冲 [$1000 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$],得到叶绿素荧光(F_m),每组重复 2 次。根据 F_m 和 F_0 可以计算出光系统 II(PS II)的最大量子产率 $F_v/F_m = (F_m - F_0)/F_m$ 。

于 10:00-11:00 和 14:00-15:00 之间测定叶片的快速光响应曲线。为了使得到的荧光参数具有可比性,光源由 Diving PAM 2000 机器提供,光强梯度定为 18, 62, 109, 149, 190, 272, 357, 516, 729 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。每个强度的光化光照射 10 s,2 次光化光间隔 20 s。根据 PS II 的实际量子产量 ($\Delta F/F_m'$) 和光合有效辐射 (PAR),计算出光合电子传递速率 $rETR = \Delta F/F_m' \times PAR \times 0.84 \times 0.5$ ^[11]。最后,绘出 $rETR$ 平均值的快速光响应曲线,并用公式 $P = P_m \times (1 - e^{(-\alpha \cdot x/P_m)}) \cdot e^{(-\beta \cdot x/P_m)}$ 进行曲线拟合^[12], P_m 为最大电子传递速率。

8 月中旬,每个处理随机挑选 6 株,测量其株高并绘制成箱式图,同时记录叶片的宽度和幼苗的萌发数。

1.2 基质理化性质测定

每个处理随机选择 3 个桶采集基质,自然风干后研磨过 100 目筛。基质总氮、总磷和总有机碳的测定参照《湖泊生态调查观测与分析》^[13]。取 40~50 g 土样,在 105 °C 下烘干至恒重,测含水率;取 3~4 g 基质样品(干质量),在 550 °C 的条件下烧 2 h,测定烧失量^[14]。

容重测定采用环刀法。

1.3 数据分析

光响应曲线的拟合曲线和多重比较方差分析 (Tukey 法)均采用软件 Origin8.0。表中和图中的数据格式为平均值±标准差。除特殊说明,显著性水平均为 0.05。

2 试验结果

2.1 不同基质理化性质结果

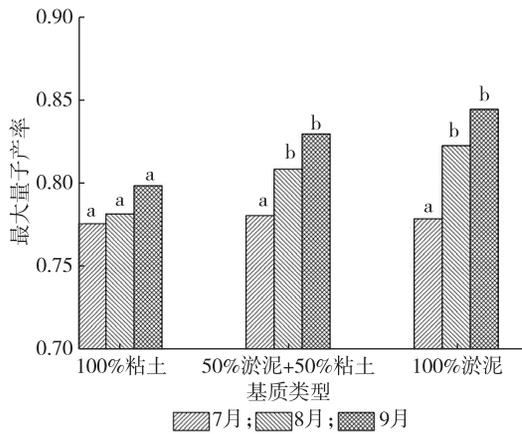
试验中 3 种基质的理化性质差异较大,如表 1 所示。100%淤泥处理组的含水率最高,平均值为 53.83%,总有机碳、总氮和总磷的含量均为处理中的最大值;随着淤泥在其他基质中份额的降低,含水率、有机碳、总磷和总氮都呈现下降趋势,总氮的下降幅度达到 73.2%;总磷的下降幅度最小,仅为 9.9%;含水率和有机碳的最大降幅分别为 14.4%和 72.9%。由于淤泥中含有大量有机质,熟化程度高,所以土壤容重只有 1.11 g/cm³,而粘土的容重则高达 1.46 g/cm³。

表 1 不同基质的理化性质

| 基质 | 含水率/% | 总有机碳/(g/kg) | 总氮/(g/kg) | 总磷/(g/kg) |
|-------------|--------------|--------------|-------------|-------------|
| 100%淤泥 | 55.497±2.309 | 23.774±1.157 | 2.365±0.120 | 0.706±0.006 |
| 50%淤泥+50%粘土 | 50.536±1.159 | 11.216±1.094 | 1.082±0.114 | 0.649±0.004 |
| 100%粘土 | 47.513±1.957 | 6.446±0.320 | 0.635±0.022 | 0.636±0.004 |

2.2 不同基质对香蒲生理生态的影响

2.2.1 不同基质处理对香蒲叶片光合最大量子产率的影响 叶绿素荧光参数的测定结果如图 1 所示:7 月的最大量子产率低于 8 月和 9 月,且差异一般呈显著性 ($P<0.05$);8 月植物叶片的最大量子产率,呈现出一定的趋势,数据从 0.782 增加到 0.823;9 月的最大量子产率最高,且规律性强。100%淤泥中植物叶片的荧光参数 (F_v/F_m) 明显高于 100%粘土的处理。这可能是由于试验初期,所有处理的植物生长状况偏差,缓苗后,植物生理指标逐渐趋于正常;试验末期,处理间差异明显,全淤泥处理的叶绿素拥有最高的最大量子产率,叶片潜在最大光合能力最强。



不同小写字母表示同月不同基质间结果存在显著性差异 ($P<0.05$)

图 1 不同基质中香蒲叶片的最大量子产率的变化

2.2.2 不同基质处理对香蒲叶片光响应的影响 光响应曲线是了解植物光合作用对光强响应的重要手段,一方面可以提供植物的最大电子传递速率和饱和光强参数,另一方面能够判定植物在某一光强下的光合能力,同时能够通过一系列光强的变化来判定植物的潜在光合活性^[15]。试验初期,移栽导致植物组织受损,光响应曲线波动较大。本文主要分析 8 月植物叶片的光响应曲线。如图 2 所示,香蒲叶片的电子传递速率随基质中淤泥含量的增加而上升。光响应曲线的拟合参数也表明:淤泥比例越高,最大电子传递速率 (P_m) 和对强光的耐受能

力 (P_m/α) 均得到强化 (见表 2)。

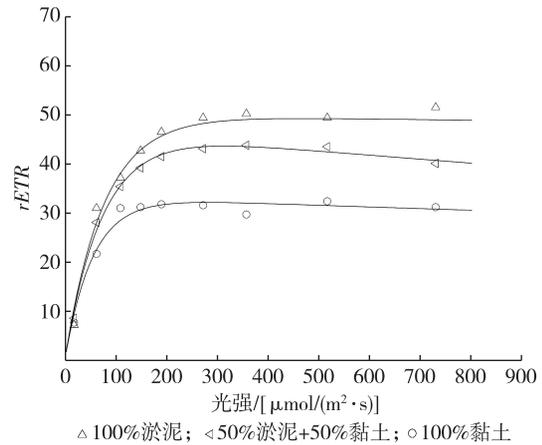


图 2 不同基质处理中香蒲叶片的光响应曲线

表 2 不同基质处理中香蒲叶片的光响应曲线参数的拟合

| 基质 | P_m | α | β | P_m/α | R^2 |
|-------------|-------|----------|----------|--------------|---------|
| 100%淤泥 | 49.75 | 0.658 | -0.001 3 | 75.61 | 0.984 8 |
| 50%淤泥+50%粘土 | 46.93 | 0.633 3 | 0.009 4 | 74.10 | 0.992 7 |
| 100%粘土 | 33.16 | 0.606 9 | 0.003 6 | 54.64 | 0.967 7 |

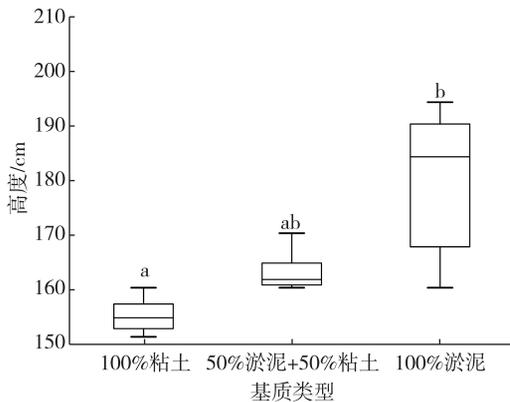
2.2.3 不同基质处理对香蒲株高的影响 不同处理中香蒲株高(叶片最高)的差异较大(见图 3),全粘土的处理中植株矮小,随着淤泥比例的提高,株高不断增加。8 月香蒲平均叶长的变化趋势与株高一致,新株的萌发数则表现出单峰曲线,50%淤泥+50%粘土的处理中新株数最多,达到 7 株,其他处理均为 4 株(见表 3)。

表 3 不同基质处理中植株叶长和新株萌发数

| 基质 | 香蒲叶长/m | 香蒲新株萌发数 | 芦苇叶长/m | 芦苇新株萌发数 |
|-------------|-------------|---------|-------------|---------|
| 100%淤泥 | 1.808±0.343 | 4 | 0.218±0.038 | 13 |
| 50%淤泥+50%粘土 | 1.626±0.404 | 7 | 0.24±0.044 | 21 |
| 100%粘土 | 1.485±0.343 | 4 | 0.157±0.028 | 12 |

2.3 不同基质对芦苇生理生态的影响

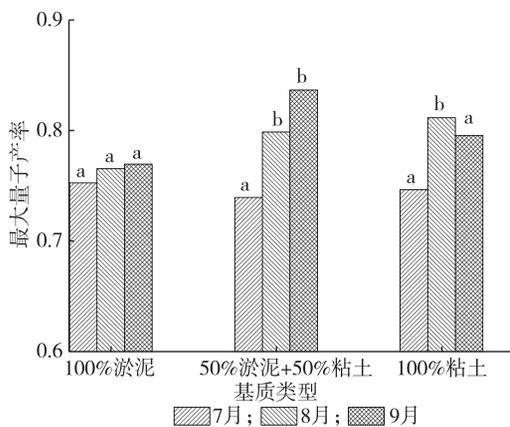
2.3.1 不同基质处理对芦苇叶片光合最大量子产率的影响 7 月芦苇叶片叶绿素荧光参数低于 8 月和 9 月的数据(见图 4),且数据没有明显的规律性,



不同小写字母表示 $P < 0.05$ 上存在显著性差异

图3 不同基质处理对香蒲株高的影响

数据范围为 0.747~0.76; 8 月植物叶片的最大量子产率数据范围为 0.77~0.837; 9 月芦苇进入生殖生长期, 所有处理的最大量子产率均有所下降。以上结果说明, 试验初期, 移栽造成植株组织受损, 荧光参数难以反映植物生长对不同基质的响应; 随着时间的延长, 植物生理指标逐渐趋于正常, 能准确反映不同基质对植物生长的影响, 50% 淤泥+50% 粘土可能最适合芦苇生长, 芦苇在十分肥沃或贫瘠的生境中均会受到胁迫; 试验末期, 植物进入生殖生长期, 营养生长处于劣势, 最大量子产率开始回落, 叶片的光合效率下降。



不同小写字母表示同月不同基质间结果存在显著性差异 ($P < 0.05$)

图4 不同基质中芦苇叶片的最大量子产率的变化

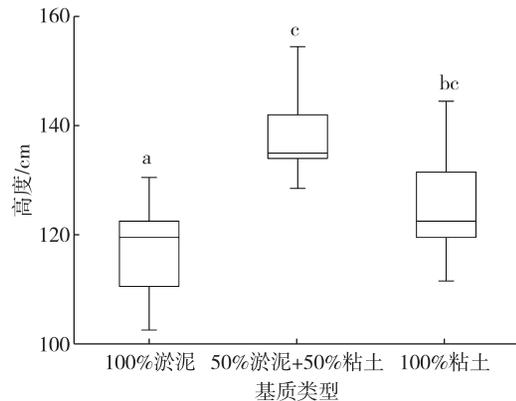
2.3.2 不同基质处理对芦苇叶片光响应的影响 8 月芦苇叶片的光响应曲线的拟合结果如表 4 所示。芦苇叶片的最大电子传递速率随基质中淤泥含量的增加而呈现单峰曲线变化, 50% 淤泥+50% 粘土处理组的植物叶片最大电子传递速率最高; 光能利用效率 (α) 的变化规律基本一致, 淤泥比例高的基质

中植物对强光的耐受能力 (P_m/α) 略高于高粘土比例的基质。表明芦苇更适合生长在 50% 淤泥+50% 粘土的基质中, 在粘土或淤泥比例较高基质上, 其光合能力均有所削弱。

表4 不同基质处理中芦苇叶片的光响应曲线参数的拟合

| 基质 | P_m | α | β | P_m/α | R^2 |
|-------------|-------|----------|----------|--------------|---------|
| 100%淤泥 | 105.0 | 0.423 5 | 0.042 92 | 247.93 | 0.994 6 |
| 50%淤泥+50%粘土 | 131.6 | 0.536 2 | 0.059 03 | 245.43 | 0.982 6 |
| 100%粘土 | 105.3 | 0.459 3 | 0.045 89 | 229.26 | 0.986 6 |

2.3.3 不同基质处理对芦苇株高的影响 芦苇株高分布和差异显著性如图 5 所示, 株高最大值出现在 50% 淤泥+50% 粘土的处理中, 平均高度为 138.6 cm; 100% 淤泥处理中芦苇株高最低, 仅为 117.8 cm。如表 3 所示, 叶片长度最大值出现在 50% 淤泥+50% 粘土的基质中, 达到 24.5 cm, 最小值位于 100% 粘土处理 (15.8 cm)。



不同小写字母表示 $P < 0.05$ 上存在显著性差异

图5 不同基质处理对芦苇株高的影响

3 讨论

植物叶片的叶绿素荧光参数对于研究植物的光合作用和逆境生理等生理生态学具有重要作用。 F_v/F_m 反映了当所有的光合反应系统 II 反应中心均处于开放态时的量子产率。 F_v/F_m 不受物种和生长条件的影响, 在非环境胁迫条件下叶片的 F_v/F_m 参数极为稳定, 能客观体现植株的生理状态^[16]。试验开始时植株叶片的荧光参数 F_v/F_m 处于较低水平, 表明植物组织在移栽过程中受到损害, 生长受到抑制; 经过几个月生长后, F_v/F_m 荧光参数值开始反映不同类型基质对植物的影响。香蒲的最大量子产率随淤泥比例增加而增加, 证明香

蒲更偏好生长在淤泥比例高的肥沃基质上。而高比例的淤泥条件下,芦苇的最大量子产率降低,芦苇受到抑制,表明芦苇倾向生长在中生型的生境中。

光响应曲线是探索植物光合作用对光强响应的重要手段,可以提供植物的最大电子传递速率,另一方面能揭示植物的潜在光合活性^[17]。在典型的光响应曲线变化中,随着光强的升高, $rETR$ 逐渐升高,光强达到饱和点后, $rETR$ 达到最大值,此后随着光强的进一步升高, $rETR$ 逐渐下降。本试验设置的最大光强为 $729 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,此时 2 种挺水植物的电子传递速率趋于稳定,没有出现明显的下降,表明这 2 种挺水植物利用光强的幅度较广。然而在光能利用效率方面存在一定的种间差异:芦苇 PS II 的最大电子传递速率、半饱和光强均高于香蒲,表明芦苇的光利用能力超过香蒲。本文结果显示芦苇更适合生长在 50% 淤泥 + 50% 粘土的基质中,在粘土或者淤泥比重较高基质上的光合能力均有所削弱。而香蒲叶片的电子传递速率随基质中淤泥含量的增加而上升,100% 淤泥基质更适合香蒲生长。

香蒲的平均株高随基质中淤泥比重的升高而增加,其萌发数呈相反趋势。可能是因为淤泥含有大量矿质营养,高有机质含量保证了肥力供应,此时光照和空气成为香蒲生长的限制因子,香蒲通过减少萌发数,增加株高以提高地上资源的竞争能力。这一现象与前人的试验结果类似:施加营养盐能显著提高香蒲的生长速率^[18];而营养盐匮乏的生境抑制香蒲的生长,甚至导致香蒲大面积衰退^[19]。本试验中粘土难以满足香蒲生长的营养需求,植株瘦小,香蒲通过增加个体数量来应对环境胁迫。

芦苇在不同基质上的生理生态响应与香蒲有所不同,这可能是植物长期适应不同环境而产生的。20 世纪 90 年代,欧洲芦苇群落大幅度衰减,研究显示这一过程与水体富营养化密切相关^[20]。一方面,肥沃的基质干扰了植物体内的碳循环^[21];另一方面,肥沃土壤中大量还原性基质抑制植物生长,尤其是硫化氢的毒害作用^[22]。

本研究表明香蒲比芦苇更适合生长在肥沃的生境中,进一步证实香蒲地下根系的输氧能力胜过芦苇,Mckee 等^[23] 比较了 5 种挺水植物的通气组织,发现香蒲根系单位横切面的通气组织面积远高于芦苇。在自然条件下,香蒲分布区域水深常超过

芦苇^[24]。

参考文献:

- [1] HOUGH R A, FORNWALL M D, NEGELE B J, et al. Plant community dynamics in a chain of lakes: principal factors in the decline of rooted macrophytes with eutrophication [J]. *Hydrobiologia*, 1989, 173 (3): 199-217.
- [2] BARKO J W, SMART R M. Sediment-based nutrition of submersed macrophytes [J]. *Aquatic Botany*, 1981, 10 (4): 339-352.
- [3] BARKO J W, GUNNISON D, CARPENTER S R. Sediment interactions with submersed macrophyte growth and community dynamics [J]. *Aquatic Botany*, 1991, 41 (1/3): 41-65.
- [4] CARPENTER S R. Submersed vegetation: An internal factor in lake ecosystem succession [J]. *American Naturalist*, 1981, 118 (3): 372-383.
- [5] BARKO J W, SMART R M. Sediment-related mechanisms of growth limitation in submersed macrophytes [J]. *Ecology*, 1986, 67 (5): 1328-1340.
- [6] CARR G M, CHAMBERS P A. Macrophyte growth and sediment phosphorus and nitrogen in a Canadian prairie river [J]. *Freshwater Biology*, 1998, 39 (3): 525-536.
- [7] SHORT F T. The seagrass, *Zostera Marina* L.: Plant morphology and bed structure in relation to sediment ammonium in izembek lagoon [J]. *Alaska Aquatic Botany*, 1983, 16 (2): 149-161.
- [8] ROBACH F, HAJNSEK I, EGLIN I, et al. Phosphorus sources for aquatic macrophytes in running waters: water or sediment [J]? *Acta Botanica Gallica*, 1995, 142 (6): 719-731.
- [9] DEMARS B O L, HARPER D M. Distribution of aquatic vascular plants in lowland rivers: separating the effects of local environmental conditions, longitudinal connectivity and river basin isolation [J]. *Freshwater Biology*, 2005, 50 (3): 418-437.
- [10] BARKO J W. The growth of *Myriophyllum spicatum* L. in relation to selected characteristics of sediment and solution [J]. *Aquatic Botany*, 1983, 15 (1): 91-103.
- [11] GENTY B, BRIANTAIS J M, BAKER N R. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence [J]. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1989, 990 (1): 87-92.
- [12] PLATT T, GALLEGOS C L, HARRISON W G. Photoinhibition of photosynthesis in natural assemblages of marine-phytoplankton [J]. *Journal Of Marine Research*, 1980, 38 (4): 687-701.
- [13] 黄祥飞. 湖泊生态调查观测与分析 [M]. 北京: 北京标准出版社, 2000.
- [14] HÅKANSON L, JANSSON M. Principles of Lake Sedimentology [M]. New York: Springer Verlag, 1983.
- [15] RALPH P J, GADEMANN R. Rapid light curves: A powerful tool to assess photosynthetic activity [J]. *Aquatic Botany*, 2005, 82 (3): 222-237.

(下转第 17 页)

3.2 苗高和地径年生长量多重比较

LSD 法多重比较结果显示(见表 3),苗高指标无性系天演、2001 超过 69 杨,其增幅分别为 15.05% 和 8.24%;地径指标无性系天演、W9-90 超过 69 杨,其增幅分别为 20.63% 和 15.63%。针对苗

高指标,无性系天演均值最大,为 402.00 cm,比均值最小的无性系毛 4 高出 18.51%,且差异达极显著水平。地径指标也为无性系天演均值最大,为 3.86 cm,比均值最小的毛 4 和 84K 无性系高出 41.91%,差异达极显著水平。

表 3 供试杨树无性系苗高、地径 LSD 法多重比较

| 品种 | 天演 | 2001 | 69 | W9-90 | 84K | 毛 14 | 中华常青 | 毛 4 |
|----|-----------|-------------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 苗高 | 402.00 aA | 378.20 abAB | 349.40 bAB | 346.40 bB | 345.00 bB | 342.75 bB | 340.80 bB | 339.20 bB |
| 地径 | 3.86 aA | 3.14 bcABC | 3.20 abcABC | 3.70 abAB | 2.72 cC | 2.83 cBC | 2.98 cABC | 2.72 cC |

不同大写字母表示 1% 极显著水平的差异;不同小写字母表示 5% 显著水平的差异。

4 讨论

对 69,84K,W9-90,2001,毛 4,中华常青、天演和毛 14 等 8 个杨树无性系 1 年生扦插苗年生长节律进行的初步研究表明:在相同立地条件和栽培管理方式下,各供试无性系间的生长存在差异,苗高和地径的速生期主要集中于 6 月 20 日至 9 月 20 日这 3 个月中,因此,6-9 月是管理的关键时期,应积极做好水肥管理,创造苗木快速生长的适宜条件,确保齐苗壮苗,提高优质苗出圃率。1 年生扦插苗的苗高年生长量和地径年生长量在无性系间差异达到显著或极显著水平,这为优选适宜本地区栽植的杨树无性系提供了理论基础。多重比较结果显示,天演、2001 苗高均值超过 69 杨,其增幅分别为 15.05% 和 8.24%;天演、W9-90 地径均值超过 69 杨,其增幅分别为 20.63% 和 15.63%。

本研究仅限于 8 个供试杨树无性系 1 年生扦插苗在江苏东台沿海地区生长的试验结果。选择更加适应本地土壤、气候和水分等条件的优良杨树无性

系,还需与当地主栽杨树品种进行深入的对比试验。

参考文献:

- [1] 江苏省植物研究所.江苏植物志[M].南京:江苏科学技术出版社,1982.
- [2] 王宝松.意杨栽培与加工[M].南京:江苏科学技术出版社,2001.
- [3] 黄宝龙.江苏森林[M].南京:江苏科学技术出版社,1998.
- [4] 施蔚,余光辉,杨加猛.江苏杨树加工产业规模发展策略[J].林业科技开发,2007,21(4):5-8.
- [5] 王保松,韩杰峰,郭群,等.35 杨等黑杨派杨树无性系区域化试验[J].江苏林业科技,2010,37(4):1-5.
- [6] 王定胜,王永昌,张永忠,等.连云港市平原绿化建设几点思考[J].江苏林业科技,2001,28(3):53-57.
- [7] 缪桂成,江成兰,周梅,等.如东沿海垦区良种杨树引种栽培试验初报[J].江苏林业科技,2006,33(6):33-36.
- [8] 王保松.沿海造林技术手册[M].南京:江苏科学技术出版社,2013.
- [9] 何小弟,胡锦农,朱惜晨.杨树速生丰产栽培[M].南京:江苏科学技术出版社,2005.
- [10] 葛恒兵.沭阳县杨树产业建设发展存在的问题及对策[J].现代农业科技,2008,26(21):96-98.
- [11] (1994-1999) [J].Hydrobiologia,2000,441(1):25-36.
- [12] WEISNER S E B.Effects of an organic sediment on performance of young *Phragmites australis* clones at different water depth treatments[J].Hydrobiologia,1996,330(3):189-194.
- [13] KÜHL H, KOHL J-G. Seasonal nitrogen dynamics in reed beds (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex. Steudel) in relation to productivity[J].Hydrobiologia,1993,251(1):1-12.
- [14] AR MSTRONG J, ARMSTRONG W. *Phragmites* die-back: toxic effects of propionic, butyric and caproic acids in relation to pH[J]. New Phytologist,1999,142(2):201-217.
- [15] MCKEE K L, MENDELSSOHN I A, BURDICK D M.Effect of long-term flooding on root metabolic response in five freshwater marsh plant species[J].Canadian Journal of Botany,1989,67(12):3446-3452.
- [16] GOPHEN M.Nutrient and plant dynamics in Lake Agmon Wetlands (Hula Valley, Israel):a review with emphasis on *Typha domingensis*

(上接第 9 页)

- [16] BJÖRK MAN O, DEMMING-ADAMS B. Regulation of photosynthetic light energy capture, conversion, and dissipation in leaves of higher plants[M] // Schulze E D, Caldwell M M. Eco-physiology of Photosynthesis. Berlin: Springer, 1994: 17-47.
- [17] WALDHOFF D, FURCH B, JUNK W J. Fluorescence parameters, chlorophyll concentration, and anatomical features as indicators for flood adaptation of an abundant tree species in Central Amazonia: *Symmeria paniculata* [J]. Environmental and Experimental Botany, 2002, 48(3): 225-235.
- [18] DAVIS S M. Phosphorus inputs and vegetation sensitivity in the Everglades [M] // Davis S M, Ogden J C. Everglades: the ecosystem and its restoration. Florida: St. Lucie Press, 1994: 357-378.
- [19] GOPHEN M. Nutrient and plant dynamics in Lake Agmon Wetlands (Hula Valley, Israel): a review with emphasis on *Typha domingensis*