

香果树 (*Emmenopterys henryi*) 幼苗生长特性和叶绿素荧光对不同光强的响应

刘 鹏¹, 康华靖^{1,4}, 张志祥¹, 徐根娣¹, 张争艳¹, 陈子林², 廖承川³, 陈卫新³

(1. 浙江师范大学植物学实验室, 金华 321004; 2. 大盘山国家级自然保护区管理局, 磐安 322300;

3. 九龙山国家级自然保护区管理局, 遂昌 323300; 4. 温州市绣山中学, 温州 325027)

摘要:研究了室内人工气候箱中相对高、中和低(($5\,000 \pm 230$) lx、($2\,200 \pm 110$) lx 和($1\,000 \pm 80$) lx)光强下香果树幼苗的生长特性及荧光参数的动态变化,结果表明,中光强下的幼苗生长迅速,株高和生物量一直维持最高水平;高光强下的幼苗,生长极其缓慢,株高和生物量均处于最低水平;低光强下的幼苗比叶面积最大;而根冠比则以高光强下的为最高;叶绿素(a + b)含量在低光强下最高,中光下次之,强光下最小。前期,低光强下幼苗叶片的叶绿素 a/b 值较大,随着幼苗的生长呈下降的趋势,120 d 后与其他处理相比达到最小。荧光参数的结果显示,高光强下,香果树幼苗的电子传递速率(ETR)、光化学猝灭系数(qP)和非光化学猝灭系数(qNP)均处于最低水平,而测定初始荧光(F_0)和最大荧光(F_m)却处于最高水平,在低和中光强下则刚好相反。由此可见,高光强对香果树幼苗生长极其不利,而低和中光强下生长较好。建议在室内培育香果树幼苗时,适当减弱光强,保证其正常生长。

关键词:香果树; 幼苗; 不同光强; 生长特性; 荧光参数

文章编号:1000-0933(2008)11-5656-09 中图分类号:Q948.1 文献标识码:A

Responses of growth and chlorophyll florescence of *Emmenopterys henryi* seedlings to different light intensities

LIU Peng¹, KANG Hua-Jing^{1,4}, ZHANG Zhi-Xiang¹, XU Gen-Di¹, ZHANG Zheng-Yan¹, CHEN Zi-Lin², LIAO Cheng-Chuan³, CHEN Wei-Xin³

1 Institute of Ecology, Zhejiang Normal University, Jinhua 321004, China

2 The Administration Bureau of Dapanshan National Natural Reserve, Pan'an 322300, China

3 The Administration Bureau of Jiulongshan Natural Reserve Suichang 323300, China

4 Xiushan middle school of Wenzhou City, Wenzhou 325027, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(11): 5656 ~ 5664.

Abstract: *Emmenopterys henryi* Oliv., an endemic species in China, is one of the Chinese national second-grade state protection wild plants. Considering it is a particular rare, highly endangered plant, the conservation of *E. henryi* should be carried out without delay. The purpose of this paper was to determine the effect of different light intensities on the morphological and physiological responses of *E. henryi* and offer some suggestion for the conservation. Based on indoor culture under different light intensities (i. e. ($5\,000 \pm 130$) lx, ($2\,200 \pm 110$) lx and ($1\,000 \pm 80$) lx), the changes of

基金项目:浙江省自然科学基金资助项目(399277);金华市科技重点资助项目(2005-1-318)

收稿日期:2008-01-05; 修订日期:2008-09-16

作者简介:刘鹏(1965~),男,湖南冷水江人,博士,教授,从事植物生理生态、环境生态和生物多样性保护研究. E-mail: sky79@zjnu.cn

Foundation item: The project was financially supported by Natural Science Foundation of Zhejiang Province (No. 399277); the science technology item of Jinhua (No. 2005-1-318)

Received date: 2008-01-05; **Accepted date:** 2008-09-16

Biography: LIU Peng, Ph. D., Professor, mainly engaged in plant physiological ecology, environmental ecology and protection of biodiversity. E-mail: sky79@zjnu.cn

the growth characteristics and chlorophyll fluorescence of *E. henryi* seedlings were studied, respectively. The results showed that plant height and biomass maintained at the highest levels under middle light intensity ($(2\ 200 \pm 110)$ lx), while at the lowest levels under high light intensity ($(5\ 000 \pm 130)$ lx). The specific leaf area (SLA) was the highest under low light intensity ($(1\ 000 \pm 80)$ lx), whereas, the root/shoot ratio was the highest in high light intensity. The content of chlorophyll (a + b) decreased with increasing the light intensity. The value of chlorophyll a/b under low light intensity was relatively higher at first, followed by decreasing to the lowest level after 120 days. The measurements of chlorophyll fluorescence parameter showed that the electronic transfer rate (*ETR*), the photochemical quench (*qP*) and the non-photochemical quench (*qNP*) of *E. henryi* seedlings under high light intensity were all the lowest at all times, while the initial fluorescence (*F_o*) and maximum fluorescence (*F_m*) were the highest. The results were opposite in low and middle light intensities. By synthesizing the results, it is concluded that the seedlings of *E. henryi* will grow better in relatively low light environment ($2\ 200$ lx) when cultured in the indoor.

Key Words: *Emmenopterys henryi*; seedlings; different light intensity; growth characteristics; chlorophyll fluorescence parameters

香果树(*Emmenopterys henryi*)属茜草科(Rubiaceae)香果树属(*Emmenopterys*),是第四纪冰川幸存孑遗植物之一,为中国特有单种属植物,是研究茜草科系统发育、形态演化及中国植物地理区系的重要种类。由于现存数量有限,濒临灭绝,故被列为国家Ⅱ级重点保护植物^[1]。近年来,对香果树的研究主要集中宏观生态^[2~6]、分子遗传上^[7~9]和无性繁殖上^[9~14],对濒危植物研究的主要目的就是为了解除其濒危状态,由于无性繁殖用于濒危植物遗传多样性的保护上具有较大的局限性,因而对其有性生殖繁育技术的研究就显得尤为重要。

香果树始花期长达20a,且有隔年开花的现象,通常每2a或4a开花结果1次^[15],母树在光照不足的条件难以开花结实^[12]。管康林^[16]研究表明,香果树种子属于典型的光敏感性种子,自然苗圃下繁育的萌发率较低(20%~35%)。而甘聃等^[17]对冷藏(4℃)的香果树种子在室内(光强为1 500 lx,处理时间为12 h/d)进行萌发实验表明,其发芽率可以达到98%,同时发现该光照对香果树种子的萌发有很大的促进作用。同样,李铁华等^[18]在室内对香果树种子进行研究也表明,给予合适的光照条件其种子的萌发率可达到92.01%,且种子萌发最适宜的光照强度为1 000 lx。由此可见,香果树对所处的光环境要求较为严格。然而目前对于香果树生理的相关研究均停留在种子萌发特性上,幼苗生长特性及其对光强需求究竟如何尚未见报道。本实验通过在室内设置高、中和低(分别为 $(5\ 000 \pm 130)$ lx、 $(2\ 200 \pm 110)$ lx和 $(1\ 000 \pm 80)$ lx)3个光照强度,对香果树幼苗生长特性及叶绿素荧光参数进行动态研究,探讨香果树幼苗对不同光强的响应,以期对香果树幼苗的繁育及种群复壮提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

香果树种子于2005年11月采自浙江省丽水市遂昌县九龙山国家级自然保护区。采集的果实于干燥阴凉处阴干,至果实完全开裂,筛去果壳和杂质,密封保存。

1.2 实验方法

1.2.1 幼苗培养

香果树幼苗的培养于2006年4月在PQX多段人工气候箱内(宁波莱福科技有限公司,光强为 $(6\ 400 \pm 700)$ lx)进行预实验。具体方法为:挑选饱满的种子播于装有洗净沙子,直径20 cm的塑料盆内,将种子均匀地撒在沙子上,每两个星期定量(200 ml)浇1次1/2 Hoagland营养液,每2d浇1次水,常规管理,然而40 d以后幼苗全部死亡。综合预实验和相关文献,推断幼苗的死亡与强烈的光照有关。于是同年9月份,参考甘聃及李铁华^[17,18]对不同光强下种子萌发的实验,设置了3个光强(高、中、低光强分别为: $(5\ 000 \pm 130)$ lx、

($2\,200 \pm 110$) lx 和 ($1\,000 \pm 80$) lx, 光照时间为 12 h, 白天和夜晚的温度分别为 25 ℃ 和 20 ℃。每个光照水平一个培养箱。每个处理 10 盆, 每盆约 20 株幼苗。管理同上述预实验。幼苗出土 90 d 后开始取样, 每次取样均从 10 盆中选取长势一致的幼苗, 进行株高、比叶面积、根冠比、叶绿素含量和叶绿素荧光参数的测量。以后每隔 30 d 取样测量 1 次, 共 4 次。每个实验 5 个重复。

1.2.2 幼苗形态的测定

选取长势一致的幼苗, 用刻度尺 (0.1 cm) 测量其株高; 电子天平 (0.0001 g) 测定烘干后的地下和地上部分的生物量, 计算其根冠比; 另外, 选取香果树幼苗顶部由上至下第 3 张叶片, 采用叶面积仪 LI-3000A 测定叶面积, 再用电子天平 (0.0001 g) 测定叶干重, 计算比叶面积: 比叶面积 (SLA) = 叶片面积/叶片干重。

1.2.3 叶绿素含量及其荧光参数测定

叶绿素含量的测定采用唐延林等^[19]的方法; 用 FMS2.02 型脉冲调制荧光仪 (英国 Hansatech 公司) 测定荧光参数, 每一处理重复测定 5 株, 取平均值。选取长势均匀的幼苗, 暗适应 15 min 后, 选取第 3 片平展叶片进行测定。开启检测光 ($0.15 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) 得到初始荧光 (F_0), 随后给叶片施加 $3\,000 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 测得最大荧光 (F_m)。然后, 打开作用光 ($600 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), 此时, 再给一个强闪光 ($3\,000 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 脉冲时间 0.7 s), 荧光上升到能化类囊体最大荧光 (F_m') 时, 随后打开远红光, 让荧光信号重新平衡, 在荧光下降至施加饱和光前稳定水平之后, 测得能化类囊体稳态时的荧光 (F_s) 和最小荧光 (F_0')。通过计算得出原初光能转换效率 (F_v/F_m)、潜在光化学效率 (F_v/F_0)、电子传递速率 (ETR)、光化学猝灭系数 (qP) 和非光化学猝灭系数 (qNP)。各荧光参数的具体计算公式^[20~22]为: $F_v/F_m = (F_m - F_0)/F_m$, $F_v/F_0 = (F_m - F_0)/F_0$, $ETR = (F_m' - F_s)/F_m' \times PFD \times 0.5 \times 0.84$, $qP = (F_m' - F_s)/(F_m' - F_0')$, $qNP = (F_m - F_m')/F_m'$ 。

1.3 数据处理

每个处理重复 5 次, 取相近 3 个重复的平均值。运用 SPSS12.0 对各个时期的不同处理进行显著性检验, 作图所用软件为 Excel 2003。

2 结果与分析

2.1 不同光强对香果树幼苗生长的影响

2.1.1 不同光强对香果树幼苗株高和生物量的影响

由图 1 和图 2 可以看出, 前 90 d, 香果树幼苗生长极其缓慢, 这主要由于香果树种子极小, 千粒重只有 $0.30 \sim 0.51 \text{ g}$ ^[18], 导致刚出土的幼苗较小。之后, 中光强下的幼苗生长迅速, 其株高和生物量一直维持最高水平; 高光强下的幼苗, 生长较为缓慢, 其株高和生物量均处于最低, 与中光强相比差异均达到显著水平 ($P < 0.05$); 而低光强下的幼苗株高和生物量均介于两者之间。

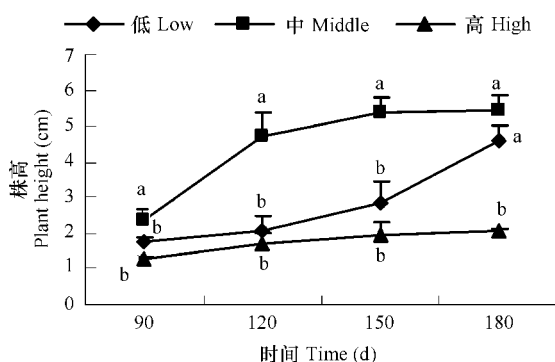


图 1 不同光强对香果树幼苗株高的影响

Fig. 1 The effects of different light intensity on height of *E. henryi* seedlings

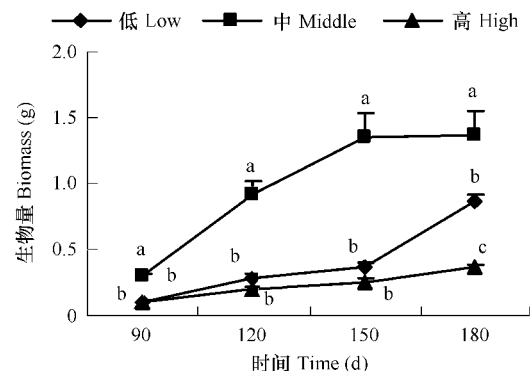


图 2 不同光强对香果树幼苗生物量的影响

Fig. 2 The effects of different light intensity on biomass of *E. henryi* seedlings

2.1.2 不同光强对香果树幼苗比叶面积(SLA)和根冠比的影响

随着幼苗的生长,不同光强下的幼苗比叶面积整体呈下降的趋势(见图3)。由图3还可以看出,与高、中光强处理相比,低光强下的幼苗比叶面积明显较高,除120 d外,其余时期差异均达到显著水平($P < 0.05$)。另外,随着幼苗的生长,在150 d时,高光强处理下的幼苗比叶面积降至最低。由图4可知,不同光强下的幼苗根冠比随着幼苗的生长而整体呈上升的趋势,但不同光强处理下,其根冠比有较大的差异:根冠比在高光强下一直维持在最高;中光强下的次之;低光强下的处于最低,与其他处理相比其差异均达到显著水平($P < 0.05$)。

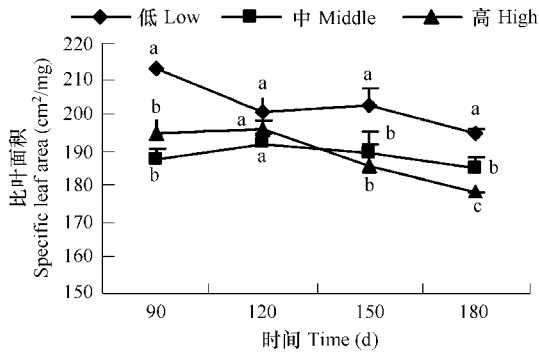


图3 不同光强对香果树幼苗比叶面积的影响

Fig. 3 The effects of different light intensity on specific leaf area of *E. henryi* seedlings

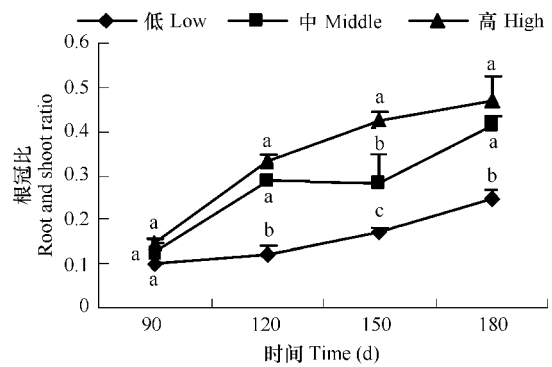


图4 不同光强对香果树幼苗根冠比的影响

Fig. 4 The effects of different light intensity on root/shoot ratio of *E. henryi* seedlings

2.2 不同光强对香果树幼苗叶绿素含量和叶绿素 a/b 的影响

由图5可知,随着幼苗的生长,低光强和中光强下的幼苗叶绿素(a + b)含量逐渐增加,在150 d之前呈直线上升,之后的增加趋于平缓;而高光强下的幼苗叶绿素含量则先升后降,180 d时明显低于其他光强下幼苗的叶绿素含量。由图5还可以看出,低光强下的叶绿素(a + b)含量一直处于最高水平,强光下最小,两者差异达到显著水平($P < 0.05$)。由图6可知,幼苗叶绿素 a/b 在中光强和高光强处理下,均随幼苗的生长而整体呈上升的趋势,但变化较小,与90 d相比,在180 d时幼苗叶绿素 a/b 值分别只增加了5.9%和10.6%。低光强下幼苗叶绿素 a/b 值随生长而呈下降的趋势,120 d后与其他处理相比达到最小,但差异均未达到显著水平($P > 0.05$)。

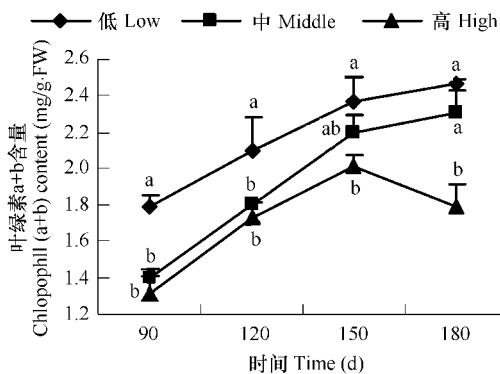


图5 不同光强对香果树幼苗叶绿素(a + b)含量的影响

Fig. 5 The effects of different light intensity on chlorophyll (a + b) content of *E. henryi* seedlings

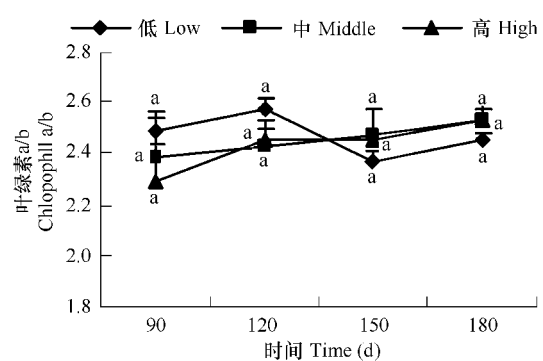


图6 不同光强对香果树幼苗叶绿素 a/b 的影响

Fig. 6 The effects of different light intensity on chlorophyll a/b of *E. henryi* seedlings

2.3 不同光强对香果树幼苗叶绿素荧光的影响

2.3.1 不同光强对香果树幼苗 F_o 、 F_m 的影响

随着幼苗的生长,低和中光强下的幼苗 F_o 值变化较小,一直处于较低水平;而在高光强下, F_o 则呈直线

上升的趋势,显著高于其他处理($P < 0.05$,图 7)。同样,高光强下幼苗的 F_m 值相对较高,而低和中光强下的幼苗的 F_m 值随着幼苗的生长而先增加后减小,120 d 时均达到最大,之后的 F_m 值处于较低水平且趋向稳定(图 8)。

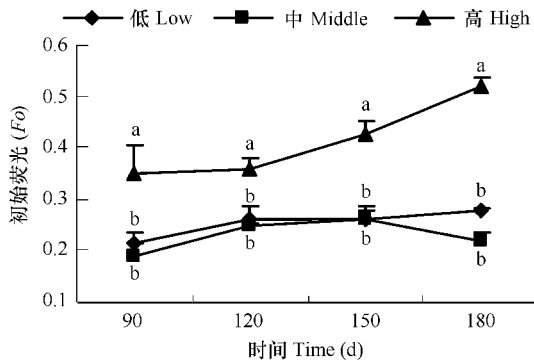


图 7 不同光强对香果树幼苗荧光参数 F_o 的影响

Fig. 7 The effects of different light intensity on F_o of *E. henryi* seedlings

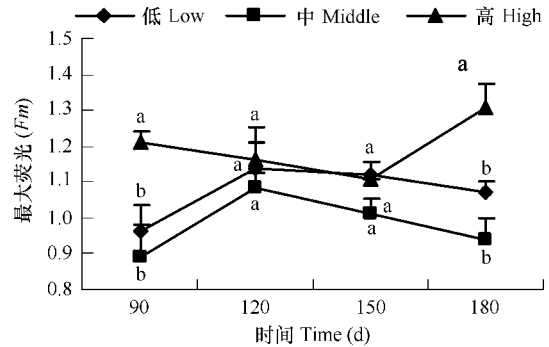


图 8 不同光强对香果树幼苗荧光参数 F_m 的影响

Fig. 8 The effects of different light intensity on F_m of *E. henryi* seedlings

2.3.2 不同光强对香果树幼苗 F_v/F_m 、 F_v/F_o 的影响

图 9 和图 10 为不同光强处理下香果树幼苗的 F_v/F_m 和 F_v/F_o 。由图 9 可以看出,随着幼苗的生长,叶片 F_v/F_m 在低和中光强下均表现为先减小后增加,然而变化较小;在高光强下则呈递减的变化趋势。而幼苗的 F_v/F_o 在不同光强下均随着幼苗的生长而减小(图 10)。由图 9 和图 10 还可以看出,与高光强下相比,幼苗在低和中光强下的 F_v/F_m 和 F_v/F_o 均显著较高($P < 0.05$)。

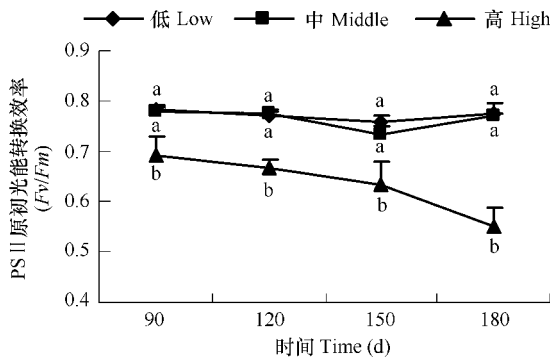


图 9 不同光强对香果树幼苗荧光参数 F_v/F_m 的影响

Fig. 9 The effects of different light intensity on F_v/F_m of *E. henryi* seedlings

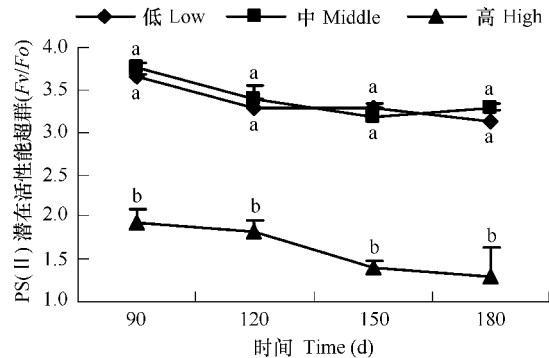


图 10 不同光强对香果树幼苗荧光参数 F_v/F_o 的影响

Fig. 10 The effects of different light intensity on F_v/F_o of *E. henryi* seedlings

2.3.3 不同光强对香果树幼苗的 ETR 、 qP 和 qNP 的影响

低和中光强处理下的幼苗 ETR 和 qP 的变化趋势较为一致:均随生长而先下降后升高,在 180d 时达到最高水平;而高光强处理下,幼苗的 ETR 和 qP 随着生长呈波动变化,一直处于最低水平(图 11、图 12),显著低于其他处理($P < 0.05$)。由图 13 可知,随着幼苗的生长,不同光强处理幼苗的 qNP 变化趋势均有所差异:弱光下的幼苗 qNP 呈递减的趋势,180d 时基本趋于稳定;中光强下的幼苗的 qNP 则先稍有降低,120d 处达到最低,而后一直呈上升趋势;强光下幼苗 qNP 则是先上升后下降,在 180d 时达到最小。由图 13 显示,强光下幼苗的 qNP 要明显低于其他处理($P < 0.05$)。

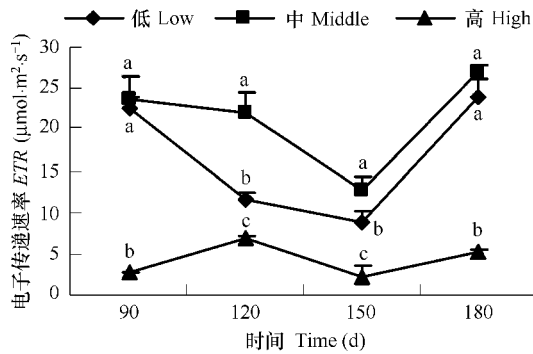


图 11 不同光强对香果树幼苗荧光参数 ETR 的影响

Fig. 11 The effects of different light intensity on ETR of *E. henryi* seedlings

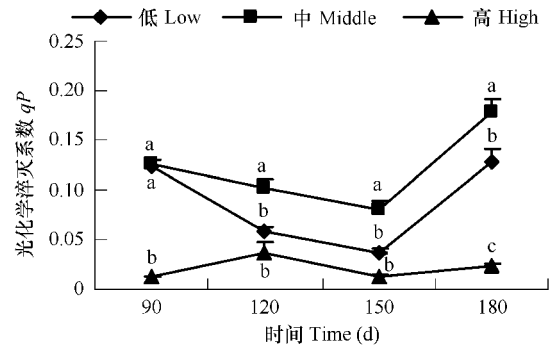


图 12 不同光强对香果树幼苗荧光参数 qP 的影响

Fig. 12 The effects of different light intensity on qP of *E. henryi* seedlings

3 结论与讨论

比叶面积(SLA)是植物叶片的重要性状之一,由于其与植物的生长和生存对策有紧密的联系,能反映植物对不同生境的适应特征,是比较生态学研究中的植物首选指标^[23~25]。由图 3 可知,低光强下香果树幼苗比叶面积最大。比叶面积越大,单位干重的叶片面积越大,叶片越薄;而相对较大的叶片面积有利于捕获更多的光能,提高植物具有更快的生长速度的可能性^[26, 27],Penning 等^[28]的研究也显示,在养分供应充足时,植物叶片最大光合速率与比叶面积存在比例关系。然而,香果树幼苗的株高和生物量却以中光强下的为最大,说明比叶面积的大小并不能完全决定香果树幼苗的株高和生物量的增加。随着幼苗的生长,150 d 时高光强处理下的幼苗比叶面积降至最低。作者认为这主要由于长期的强光环境抑制叶面积的生长引起的。根冠比是经过植物体内许多基本变化过程 and 自适应、自调节后最终表现出的综合效应,因此,可以看作是植物的结构和功能的基础^[29]。与中、高光强下的幼苗相比,低光强下的幼苗地上部分生物量分配较多,即在弱光条件下,幼苗把更多的能量用于地上部分各器官的生长,以有利获取更多的光能用于光合作用。总之,从外部形态来看,低和中光强下的幼苗生长状况较好,尤其是在中的光强下。

叶绿素(叶绿素 a、叶绿素 b)和类胡萝卜素(胡萝卜素和叶黄素)是植物光合作用过程中吸收光能的色素,其中叶绿素是主要的吸收光能物质,直接影响植被光合作用的光能利用^[30,31]。本实验研究表明,低光强下香果树幼苗单位重量下叶绿素(a + b)含量最高,有利于提高香果树幼苗对弱光的利用率,从而保证叶片在弱光环境中吸收更多的光能用于光合作用,这与刘文海等^[32]研究结果相一致。叶绿素 a/b 是植物对环境光强适应性的一种指标,弱光处理会降低叶绿素 a/b 值^[33],本实验也得到相似的结果。弱光下植物叶片的叶绿素含量升高,且以叶绿素 b 含量升高为主,作为天线色素之一的叶绿素 b 含量的提高可提高植物在弱光下的捕光能力^[34]。一般而言,随着叶绿素含量逐渐降低,叶绿素 a/b 值却逐渐升高,主要是因为叶绿素 b 比叶绿素 a 减少相对较快。低光强下,150 d 后香果树幼苗叶绿素 a/b 值随幼苗的生长呈上升的趋势,且与其他光照处理相比均为最小。

F_o 的大小取决于 PSII 天线色素内的最初光子密度、天线色素之间以及天线色素到 PSII 反应中心的激发能传递的有关结构状态,非光化学能量耗散可以使 F_o 降低,而强光下光合机构遭到破坏 F_o 值会升高^[21]。由

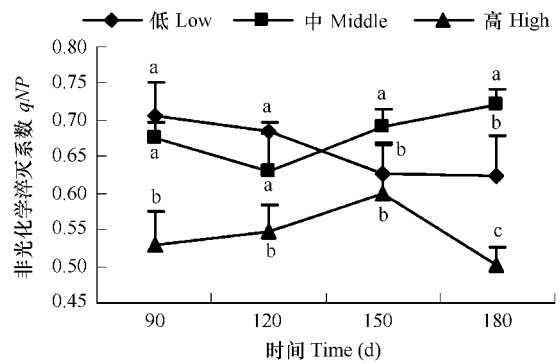


图 13 不同光强对香果树幼苗荧光参数 qNP 的影响

Fig. 13 The effects of different light intensity on qNP of *E. henryi* seedlings

图 7 可以看出,低和中光强下 F_o 值一直较低;而高光强下, F_o 值明显高于其他处理,说明高光强下香果树幼苗的光合机构遭到了破坏。一般来说, F_v/F_m 下降是植物叶片发生光抑制的重要特征^[35,36]。低、中光强处理下, F_v/F_m 变化较小,而高光强处理下, F_v/F_m 呈直线下降,说明高光强对香果树幼苗产生了光抑制效应。另外,与高光强处理相比,低光强处理下幼苗的 F_v/F_m 值相对较高,说明弱光并没有导致 PSII 反应中心的伤害,而是增加了 PSII 反应中心的活性及原初光能转换效率。缴丽莉等^[37]对青榨槭(*Acer davidii*)的研究结果也表明了这一点。

光化学淬灭系数 qP 反映 PS II 天线色素吸收的光能用于光化学电子传递的份额,并进一步反映 PS II 反应中心的开放程度和电子传递活性的大小^[21,38,39]。强光处理下香果树幼苗 ETR 、 qP 均比低中光强下的低,表明其光合电子传递受阻,植株正常的光合作用受到影响。但是,植物可通过非光化学淬灭(qNP)过程来调整过量能量的耗散,保护 PS II 反应中心免受因吸收过多光能而引起的光氧化和光抑制伤害^[22]。随着香果树幼苗的生长,120 d 后,中光强下的 qNP 处于最高水平,说明中光强下植物能很好的调整和合理分配过量能量的耗散,避免光抑制和膜受到伤害,从而能更好地进行光化学反应,合成更多的有机物。因此,在该光强下的幼苗生长较好,无论是株高还是生物量均为最大。

本实验研究表明,不同的光强对香果树幼苗的生长产生了不同的影响,高光强对幼苗生长极其不利,而在相对较弱的光强环境下香果树生长较好。但是,由于室内人工气候箱中的环境与自然中变化的气候相差较大,尤其在温度、水分和光照强度时间变异上,故最终确定香果树幼苗的光合特性还需进一步的研究。此外,如果能在香果树野外种群中,采用不同遮阴处理,进行叶绿素荧光和幼苗生长特性的测定,对于探讨香果树幼苗对不同光强的响应和香果树的繁育及种群复壮将更具实践意义。

References:

- [1] Yu Y F. The milestone of the work of protecting wild plant of China-The list of Chinese National Protected Wild Plant (1th). Plant, 1999, 5: 3-11.
- [2] Zhang F, Liang W H, Xiong D. Study on the change of physiology and biochemistry during seed germination of *Emmenopterys henryi* Oliv. Seed, 2007, 26(10): 21-23.
- [3] Kang H J, Liu P, Chen Z L, et al. Size-Class structure and distribution pattern of *Emmenopterys henryi* in different habitats. Scientia Silvae Sinicae, 2007, 43(12): 22-27.
- [4] Chen Z L, Kang H J, Liu P, et al. Study on the community structure features of *Emmenopterys henryi* in Dapanshan National Natural Reserve of Zhejiang Province. Acta Botanica Yunnanica, 2007, 29(4): 461-466.
- [5] Yang K J, Zhang X P, Zhang Z X, et al. Analysis of actuality of *Emmenopterys henryi* community in Tiantangzhai of Anhui Province. Journal of Plant Resources and Environment, 2007, 16(1): 79-80.
- [6] Kang H J, Chen J L, Liu P, et al. The Population structure and distribution pattern of *Emmenopterys henryi* in Dapanshan Natural Reserve of Zhejiang Province. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(1): 389-396.
- [7] Yang J Y, Xiong D, Liang H W, et al. Optimal reaction system for random amplified polymorphic DNA with endangered *Emmenopterys henryi*. Journal of Zhejiang Forest College, 2007, 24(3): 279-283.
- [8] Li J M, Jin Z X. Optimization of the RAPD conditions of *Emmenopterys henryi* and primary study on the genetic diversity. Journal of Fujian Forestry Science and Technology, 2004, 31(2): 36-40.
- [9] Xiong D, Chen F J, Li X P, et al. Genetic diversity of endangered *Emmenopterys* in Shennongjia region of Hubei Province. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2006, 26(6): 1272-1276.
- [10] Xiong D, Chen F J, Liang H W, et al. Establishment of in vitro plant regeneration system of rare endangered plant *Emmenopterys henryi* Oliv. Journal of Beijing Forestry University, 2007, 29(5): 44-49.
- [11] Wang T, Wei X L, Liao M. The rooting and transplanting technology of *Emmenhenry henryi* test-tube seedling. Journal of Mountain Agriculture Biology, 2007, 26(4): 292-295.
- [12] Xie Y F, Pan L, Yang Y F, et al. The technology of grow seedlings of *Emmenopterys henryi*. Journal of Jiangsu Forest & Technology, 2004, 31: 39-40.
- [13] Wei X L, Zhu Z R, Liao M, et al. Study on tissue culture technique of *Emmenopterys henryi*. Seed, 2005, 24(10): 27-29.

- [14] Ji F P, Li F L, Gao S M, *et al.* Somatic embryogenesis of *Emmenopterys henryi* Oliv. *Plant Physiology Communication*, 2005, 41(5): 619—621.
- [15] Liu J. Conservation and utilization of *Emmenopterys henryi*, a grade II Chinese National Protected Wild Plant. *Gansu Science and Technology*, 2003, 19(10): 151—152.
- [16] Guan K L. Study on the light demanding germination of the seed of *Emmenopterys henryi* Olive. *Journal of Zhejiang Forest College*, 1985, 2(2): 43—46.
- [17] Gan D, Chen F J, Liang H W, *et al.* Study on the characteristics of seed germination of the endangered plant *Emmenopterys henryi* Oliv. *Seed*, 2006, 25(5): 27—30.
- [18] Li T H, Zhou Y X, Duan X P, *et al.* Physiological characteristics of the dormancy and light-sensitive germination of *Emmenopterys henryi* seeds. *Journal of Center South Forest University*, 2004, 24(2): 82—84.
- [19] Tang Y L, Huang J F, Wang R C. Change law of hyperspectral data with chlorophyll and carotenoid for rice at different developmental stages. *Chinese J Rice Sci*, 2004, 18(1): 59—66.
- [20] Bilger W, Bjorkman O. Role of the xanthophylls cycle in photoprotection elucidated by measurements of light-induced absorbance changes, fluorescence and photosynthesis in *Hedera canariensis*. *Photosynthesis Research*, 1990, 25(3): 173—185.
- [21] Zhang S R. A discussion on chlorophyll fluorescence kinetics parameters and their significance. *Chinese Bulletin of Botany*, 1999, 16(4): 444—448.
- [22] Wang Y X, Sun G R, Wang J B, *et al.* Relationships among MDA content, plasma membrane permeability and the chlorophyll fluorescence parameters of *Puccinellia tenuiflora* seedlings under NaCl stress. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(1): 122—129.
- [23] Meziane D, Shipley B. Interacting determinants of specific leaf area in 22 herbaceous species, effects of irradiance and nutrient availability. *Plant, Cell Environment*, 1999, 22: 447—459.
- [24] Poorter H, De Jong R. A comparison of specific leaf area, chemical composition and leaf construction costs of field plants from 15 habitats differing in productivity. *New Phytologist*, 1999, 143: 163—176.
- [25] Garnier E, Shipley B, Roumet C, *et al.* Standardized protocol for the determination of specific leaf area and leaf dry matter content. *Functional Ecology*, 2001, 15: 688—695.
- [26] Cornelissen J H C, Diez P C, Hunt R. Seedling growth, allocation and leaf attributes in a wide range of woody plant species and types. *Journal of Ecology*, 1996, 84: 755—765.
- [27] Wright I J, Wearoby M. Cross-species relationship between seedling relative growth rate, nitrogen productivity and root vs. leaf function in 28 Australian woody species. *Functional Ecology*, 2000, 14: 97—107.
- [28] Penning F W T, Zhu D F, Cheng S H. Simulation of ecophysiological processes of growth in several annual crops. Beijing: Chinese Agricultural Science and Technology Press, 1991. 34—36.
- [29] Zhao C G. The relationship between root/shoot ratio and quality in tobacco. *Science & Technology Information*, 2006, 18: 133.
- [30] Lin Z F, Lin G Z, Kong G H, *et al.* Effect of irradiance and winter temperature on physiological properties of leaves of three subtropical trees. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 1994, 2(3): 54—61.
- [31] Maxwell K, Johnson G N. Chlorophyll fluorescence: A practical guide. *Journal of Experimental Botany*, 2000, 51(345): 659—668.
- [32] Liu W H, Gao D S, Shu H R. Effects of different photon flux density on the characteristics of photosynthesis and chlorophyll fluorescence of peach trees in protected culture. *Scientia Agriculture Sinica*, 2006, 39(10): 2069—2075.
- [33] Zhang Y J, Feng Y L. Difference in light acclimation mechanisms between light-loving and shade-tolerant *Ficus* species. *Acta Photophysiolica Sinica*, 2004, 30(3): 297—304.
- [34] Israeli Y, Plaut Z, Schwartz A. Effect of shade on banana morphology, growth and production. *Scientia Horticulturae*, 1995, 62: 45—56.
- [35] Dodd I C, Critchley C, Woodall G S, *et al.* Photoinhibition in differently colored juvenile leaves of *Syzygium* species. *Journal of Experimental Biology*, 1998, 49(325): 1437—1445.
- [36] Krause G H, Weis E. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: The basics. *Annual Reviews in Plant Physiology Plant Molecular Biology*, 1991, 42: 313—349.
- [37] Jiao L L, Lu B S, Zhou R J, *et al.* Effect of shading on net photosynthetic rate and chlorophyll fluorescence parameters of leaf in David maple (*Acer davidii* Franch.), *Acta Horticulturae Sinica*, 2007, 34(1): 173—178.
- [38] Yordanova R Y, Alexieva V S, Popova L P. Influence of root oxygen deficiency on photosynthesis and antioxidant status in barley plants. *Russian Journal of Plant Physiology*, 2003, 50(2): 163—167.
- [39] Demmig-Adams B, Adams W W III. Photoprotection and other responses of plant to high light stress. *Annual Reviews in Plant Physiology Plant Molecular Biology*, 1992, 43: 599—626.

参考文献:

- [1] 于永福. 中国野生植物保护工作的里程碑——国家重点保护野生植物名录(第一批)出台. 植物杂志, 1999, 5: 3~11.
- [2] 张帆, 梁宏伟, 熊丹. 香果树种子萌发过程中生理生化变化的研究. 种子, 2007, 26(10): 21~23.
- [3] 康华靖, 刘鹏, 陈子林, 等. 不同生境香果树种群的径级结构与分布格局. 林业科学, 2007, 43(12): 22~27.
- [4] 陈子林, 康华靖, 刘鹏, 等. 大盘山自然保护区香果树群落结构特征的研究. 云南植物研究, 2007, 29(4): 461~466.
- [5] 杨开军, 张小平, 张中信, 等. 安徽天堂寨保护植物香果树群落现状分析. 植物资源与环境学报, 2007, 16(1): 79~80.
- [6] 康华靖, 陈子林, 刘鹏, 等. 大盘山自然保护区香果树种群结构与分布格局. 生态学报, 2007, 27(1): 389~396.
- [7] 杨敬元, 熊丹, 梁宏伟, 等. 珍稀濒危植物香果树 RAPD 反应条件的优化. 浙江林学院学报, 2007, 24(3): 279~283.
- [8] 李钧敏, 金则新. 香果树 RAPD 扩增条件的优化及遗传多样性初步分析. 福建林业科技, 2004, 31(2): 36~40.
- [9] 熊丹, 陈发菊, 李雪萍, 等. 神农架地区濒危植物香果树的遗传多样性研究. 西北植物学报, 2006, 26(6): 1272~1276.
- [10] 熊丹, 陈发菊, 梁宏伟, 等. 珍稀植物香果树植株再生体系的建立. 北京林业大学学报, 2007, 29(5): 44~49.
- [11] 王涛, 韦小丽, 廖明. 香果树试管苗内外生根与移栽技术. 山地农业生物学报, 2007, 26(4): 292~295.
- [12] 谢玉芳, 潘林, 杨玉芳, 等. 香果树育苗技术. 江苏林业科技, 2004, 31: 39~40.
- [13] 韦小丽, 朱忠荣, 廖明, 等. 香果树组织培养技术研究. 种子, 2005, 24(10): 27~29.
- [14] 姬飞腾, 李凤兰, 高述民, 等. 香果树体细胞胚胎发生. 植物生理学通讯, 2005, 41(5): 619~621.
- [15] 刘军. 国家 II 级重点保护植物香果树的保护与利用. 甘肃科技, 2003, 19(10): 151~152.
- [16] 管康林. 香果树种子的光萌发特性初步研究. 浙江林学院学报, 1985, 2(2): 43~46.
- [17] 甘聃, 陈发菊, 梁宏伟, 等. 珍稀濒危植物香果树种子萌发特性研究. 种子, 2006, 25(5): 27~30.
- [18] 李铁华, 周佑勋, 段小平, 等. 香果树种子休眠和萌发的生理特性. 中南林学院学报, 2004, 24(2): 82~84.
- [19] 唐延林, 黄敬峰, 王人潮. 水稻不同发育时期高光谱与叶绿素和类胡萝卜素的变化规律. 中国水稻科学, 2004, 18(1): 59~66.
- [21] 张守仁. 叶绿素荧光动力学参数的意义及讨论. 植物学通报, 1999, 16(4): 444~448.
- [22] 汪月霞, 孙国荣, 王建波, 等. NaCl 胁迫下星星草幼苗 MDA 含量与膜透性及叶绿素荧光参数之间的关系. 生态学报, 2006, 26(1): 122~129.
- [29] 赵成刚. 根冠比与烟草品质的关系. 烟草科技资讯, 2006, 18: 133.
- [30] 林植芳, 林桂珠, 孔国辉, 等. 生长光强和冬季低温对三种热带木本植物生理特性的影响. 热带亚热带植物学报, 1994, 2(3): 54~61.
- [32] 刘文海, 高东升, 束怀瑞. 不同光强处理对设施桃树光合及荧光特性的影响. 中国农业科学, 2006, 39(10): 2069~2075.
- [33] 张亚杰, 冯玉龙. 喜光榕树和耐荫榕树光适应机制的差异. 植物生理与分子生物学学报, 2004, 30(3): 297~304.
- [37] 缴丽莉, 路丙社, 周如久, 等. 遮光对青榨槭光合速率及叶绿素荧光参数的影响. 园艺学报, 2007, 34(1): 173~178.