

不同光质及肥料浓度对小报春生长发育的影响

傅茜^{1,2}, 潘会堂^{3,4}, 廖景平^{1*}

(1. 中国科学院华南植物园, 广州 510650; 2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 北京林业大学园林学院, 北京 100083; 4. 国家花卉工程技术研究中心, 北京 100083)

摘要: 不同光质和肥料浓度对小报春(*Primula forbesii*)幼苗生长的影响进行了研究。结果表明:蓝光能促进小报春幼苗的光合速率和蒸腾速率,黄光能明显地促进小报春幼苗增高,红光则促进植株开花;肥料浓度 EC 2.0 mS cm⁻¹对促进小报春幼苗生长及叶面积增大的效果最佳;交互处理试验以红光/EC 2.0 mS cm⁻¹的效果最明显,对小报春幼苗的营养生长和生殖生长均有促进作用。因此,选择合适的光质和肥料浓度有利于促进植物的生长发育。

关键词: 小报春; 光质; 肥料; 生长发育

doi: 10.3969/j.issn.1005-3395.2013.01.013

Effects of Light Quality and Fertilizer Concentration on Seedling Growth of *Primula forbesii*

FU Qian^{1,2}, PAN Hui-tang^{3,4}, LIAO Jing-ping^{1*}

(1. South China Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. College of Landscape Architecture, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 4. National Flower Engineering Technology Research Center, Beijing 100083, China)

Abstract: The effects light quality and fertilizer concentration on seedling growth of *Primula forbesii* were studied. The results showed that blue light could enhance photosynthetic rate and transpiration rate of seedlings, yellow light significantly increase seedling height, and red light promote flowering. There were the best effects of seedling growth and increased leaf area with fertilizer concentration of EC 2.0 mS cm⁻¹. When treated with red light and EC 2.0 mS cm⁻¹ fertilizer, the vegetative and reproductive growth of seedlings enhanced. It suggested that suitable light quality and fertilizer could promote plant growth.

Key words: *Primula forbesii*; Light quality; Fertilizer; Growth and development

报春花属植物小报春(*Primula forbesii* Franch.)广泛分布于云南、四川南部等海拔较低地区^[1],它们的观赏价值高,群植效果好,可自播繁衍,引种驯化容易,是一种具有园林应用潜力的野生花卉^[2]。目前国内对小报春的研究主要集中在生物学特性方面,对其栽培领域的研究报道尚少。张艳丽等^[3]认为在大气 CO₂ 浓度下,光强是影响小报春光合作用的关键因子,栽培管理中应提供小于 1400 μmol m⁻²s⁻¹

的光照,并给予适当遮荫。光和肥料是促进植物生长的重要因素^[4],栽培管理操作简单,见效快,对其它植物的相关研究也较为成熟^[5-12]。研究表明,采用有色聚氯乙烯薄膜,黄瓜(*Cucumis sativus*)的株高和鲜重因光质不同而有所差异^[5],而番茄(*Lycopersicon esculentum*)在红光下有较高的光合活性^[6],仙客来(*Cyclamen persicum*)的开花时间和花梗长度可通过光周期和光质来调控^[7]。欧报春

收稿日期: 2011-12-06 接受日期: 2012-02-17

基金项目: 国家自然科学基金项目(31200246, 31200176); 华南植物园-上海植生所联合所长基金项目资助

作者简介: 傅茜(1987~),女,硕士研究生,主要从事园林植物与观赏园艺研究。E-mail: onlyfuqian@sina.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: liaojp@scib.ac.cn

(*Primula vulgaris*) 在营养液 pH 为 5.8 ~ 6.2 时的叶绿素含量最高^[8]。为探讨小报春的栽培管理, 本文主要研究不同光质补光和不同浓度的肥料对小报春幼苗生长发育的影响效果, 通过测定株高、冠幅、叶片数、叶面积、花葶数、花序、叶绿素含量、光合速率、蒸腾速率等指标, 筛选出能促进小报春生长的最佳光质和肥料浓度, 为小报春的栽培生理研究、引种驯化以及园林应用提供参考依据, 为其商品生产和推广奠定基础。

1 材料和方法

1.1 材料

从昆明野外采集小报春(*Primula forbesii*) 种子, 千粒重为(0.116 ± 0.0032) g, 于 2008 年 12 月下旬播种于北京林业大学林业科技股份有限公司温室, 采用 72 孔标准穴盘, 置于温室遮荫高湿环境中。2009 年 1 月 16 日萌发, 选取长势相对一致、健壮的幼苗, 3 月移栽于规格为 Φ120 mm × 160 mm 的红色培养钵中, 配制 Sphagnum Peat 进口泥炭: 珍珠岩(体积比 2:1 ~ 3:1) 栽培基质, 每 3 ~ 5 d 浇水 1 次, 每 10 d 补充 1 次营养液, 每盆 100 mL, 营养液为比利时利玛公司生产的利花宝 20-20-20 通用肥。

1.2 不同光质处理

光源采用中山市古镇华泰照明电器厂生产的 LN-MGT5 节能灯, 灯管长 120 cm, 功率 28 W。设置 5 个处理, 分别为 R (红光), Y (黄光), B (蓝光), G (绿光), W (白光), 以白光为对照, 每个处理 5 盆, 随机排列, 重复 3 次, 灯管悬挂于幼苗上方 35 cm 处, 从 2009 年 3 月至 5 月每天 10:00 - 16:00 对幼苗进行照射。通过调节光源与试验材料之间的距离, 控制照射到植株叶面上的光照强度为 (20 ± 2) μmol m⁻²s⁻¹。用 LI2250A 照度计在距植株垂直距离为 30 cm 的不同平面测定光强, 取 5 次测定的平均值。

1.3 不同肥料浓度处理

参照李艳等^[8]的方法, 控制营养液的 pH 为 5.8 ~ 6.2。肥料采用比利时利玛公司生产的利花宝 20-20-20 通用肥, 设置 3 个浓度梯度, 用 EC 值(可溶性离子浓度, Electrical conductivity) 表示, 分别为 EC 1.5 mS cm⁻¹、EC 2.0 mS cm⁻¹ 和 EC 2.5 mS cm⁻¹。每

个处理 5 盆, 随机排列, 重复 3 次, 从 2009 年 3 月至 5 月每 15 d 补充 1 次营养液, 共 6 次; 每 10 ~ 15 d 测量 1 次植株的生长指标, 共测定 4 次。

1.4 光质和肥料浓度交互处理

设置不同光质补光和肥料浓度交互处理, 包括红光 / EC 1.5 mS cm⁻¹ (简写为红 / 1.5, 下同)、红 / 2.0、红 / 2.5、黄 / 1.5、黄 / 2.0、黄 / 2.5、蓝 / 1.5、蓝 / 2.0、蓝 / 2.5、绿 / 1.5、绿 / 2.0、绿 / 2.5、白 / 1.5、白 / 2.0、白 / 2.5 共 15 个处理, 每个处理 5 株, 随机排列, 3 次重复。光照处理、施肥处理及栽培措施同单因子实验。

1.5 测定方法

株高、冠幅、叶片数、叶形、花葶数等生长指标每个处理均测定 15 个重复, 取平均值。其中株高和冠幅用卷尺测定。叶片以具有明显的叶柄并完全展开为 1 片, 大于 1/3 小于 1/2 的叶片枯萎或全部变黄计为黄叶, 枯萎部分大于 1/2 的叶片不计入叶片数^[9]。花葶是指伞形花序的花梗。叶形拟以长宽比表示^[10]。

叶绿素含量 采用 SPAD-502 便携式叶绿素含量测定仪测定叶绿素相对含量, 用 SPAD 值表示。通过测量叶片在红色区域和近红外区域的吸收率的比率, 计算 SPAD 值。

光合速率和蒸腾速率 采用 Li6400 光合作用测定仪, 选择天气晴朗的时间, 随机选取植株的叶片测定光合速率和蒸腾速率, 每个处理选取 3 株测定。光响应参数的计算根据 Farquhar 模型^[11-13] 用 SPSS 软件迭代法分别对每一种植物的光响应曲线进行拟合, 并计算光补偿点(LCP)和光饱和点(LSP)。

1.6 统计分析

采用 SPSS 软件和 Excel 对实验得到的数据进行单因素方差分析和多重比较分析。

2 结果和分析

2.1 光质对幼苗生长的影响

2.1.1 光合速率和蒸腾速率的影响

经过不同光质照射一段时间后, 幼苗的光合速率存在差异, 红光、黄光、绿光照射的幼苗光

饱和点为 $1000 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, 蓝光和白光照射的为 $1500 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, 以蓝光照射的幼苗光合速率较高 ($8 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$), 其次为红光 ($7 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) 和黄光 ($6.5 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$), 绿光的最低, 仅有 $4 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (图 1: A)。

相同光强照射相同时间, 以蓝光处理的小报春幼苗蒸腾速率最大 ($5.5 \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$), 红光和黄光处理的较低 (图 1: B)。蓝光处理的小报春幼苗光合速率和蒸腾速率较大, 说明蓝光照射促进幼苗从基质土壤中吸收较多水分, 供应光合作用、呼吸作用所需的水分也越充足。植物正常生长所需的生理代谢活动越旺盛, 有利于促进植物的光合作用, 在相同的时间内积累的干物质较多。

2.1.2 叶绿素含量的影响

采用 LSD 法进行多重比较分析, 光质对小报春叶绿素含量的影响达到极显著差异。红光处理的叶绿素含量 SPAD 值 (38.94 SPAD) 最大, 且其他处理组的叶绿素含量均低于对照 (白光, 37.601 SPAD), 反映了红光处理能促进小报春幼苗叶片叶绿素的形成, 叶绿素含量越高, 光合作用越活跃, 从而促进小报春幼苗生长。

2.1.3 叶片数的影响

从表 1 可见, 红光对小报春叶片数的影响最大, 红光处理后单株叶片总数 (27.907 片) 和叶片增量 (21.956 片) 都显著多于其他处理组。试验结束时, 白光和蓝光处理的叶片数最少 (23.361 片), 相比于对

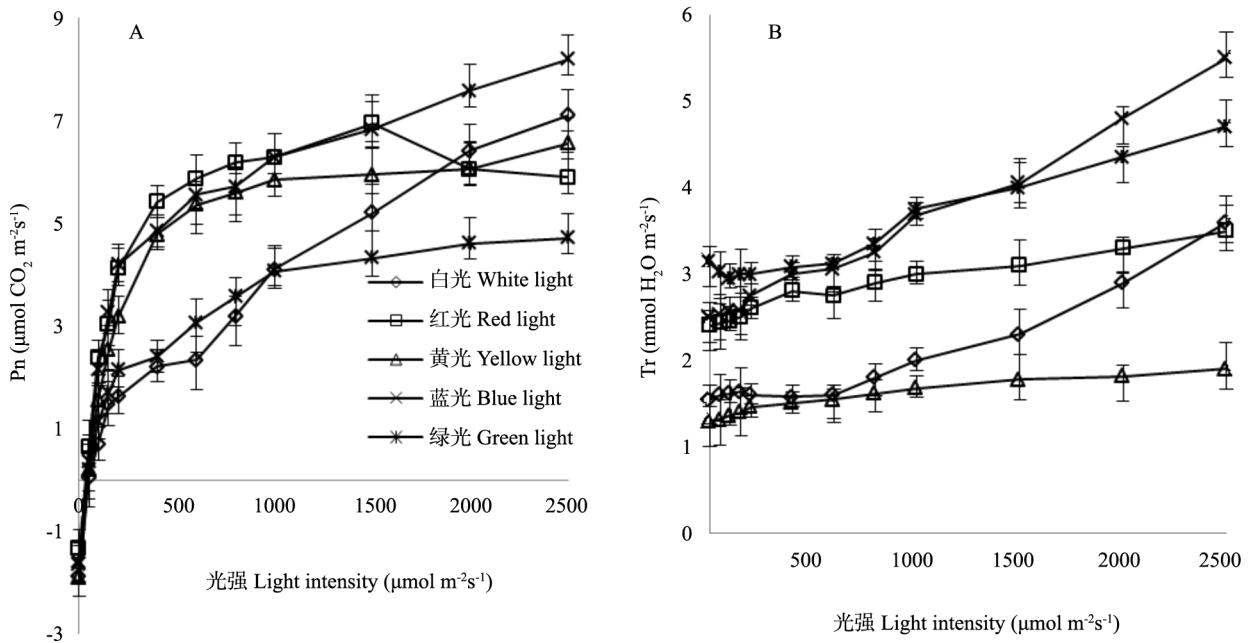


图 1 不同光质处理对小报春光合速率(Pn, A)和蒸腾速率(Tr, B)的影响

Fig. 1 Effects of light quality on photosynthetic rate (Pn, A) and transpiration rate (Tr, B) of *Primula forbesii*

表 1 光质处理对小报春幼苗叶片数的影响

Table 1 Effects of light quality on leaf numbers of *Primula forbesii*

日期 Date (M/D)	白光 White light	红光 Red light	黄光 Yellow light	蓝光 Blue light	绿光 Green light
3/17	4.973cC	5.951aA	5.662abAB	5.309bcBC	4.971cC
3/30	8.317bBC	9.511aA	9.186aAB	9.373aA	8.103bC
4/13	14.741cB	18.209aA	17.168abAB	15.564bcAB	14.806cB
4/26	23.361bA	27.907aA	25.660abA	23.438bA	26.056abA

同行数据后不同大、小写字母分别表示差异极显著 ($P < 0.01$) 和差异显著 ($P < 0.05$)。下同。

Data followed different capital and small letters within line indicate significant difference at 0.01 and 0.05 levels, respectively. The same is followed Tables.

照组,除蓝光处理组外,其余不同光质补光处理的实验组叶片数目和叶片数目增量均高于对照组(表1)。红光能促进植株叶片的生长,促进叶片的增加。

2.1.4 叶形和株型的影响

从表2可见,随着小报春的营养生长,不同光质对小报春的叶形的影响差异显著,其中黄光处理对叶片长宽比增大的影响最大,黄光处理组的叶片长宽比(1.260)最大,增量也最大(0.195),而对照组白光处理的均最小,分别为1.202和0.119。说明黄光能促进小报春幼苗叶片生长和叶面积增大,从而增加有效光合面积。

小报春幼苗在不同光质照射后,黄光处理的幼苗株高(10.042 cm)和株高增量(8.458 cm)最大,蓝光处理的幼苗株高(9.714 cm)也高于对照(9.119 cm)。

在幼苗生长前期(3月30日前),白光对株高的影响最小,后期红光对株高的影响最小(表3)。光质对幼苗冠幅的影响在前期差异显著,在后期差异不显著。前期红光对冠幅(10.004 cm)的影响最大,后期黄光对幼苗冠幅增大(22.648 cm)的影响较为明显。由此可知,黄光处理可以促进小报春幼苗的生长,当幼苗株高达到一定高度,出现增长缓慢,此时则促进冠幅的增加。

2.1.5 花葶数的影响

小报春幼苗从营养生长进入生殖生长后,红光对幼苗花葶数的影响最明显,花葶数最多,达40个,说明红光能促进植株的生殖生长(图2),且其他光质处理的植株花葶数目均高于对照组(30个),由此可见适当补光能促进植株生殖生长,促进花葶萌发。

表2 光质处理对小报春幼苗叶片长宽比的影响

Table 2 Effects of light quality on ratio of length to width of leaves of *Primula forbesii*

日期 Date (M/D)	白光 White light	红光 Red light	黄光 Yellow light	蓝光 Blue light	绿光 Green light
3/17	1.083aA	1.081aA	1.065aA	1.085aA	1.117aA
3/30	1.103bA	1.140abA	1.165aA	1.117abA	1.107bA
4/13	1.144bA	1.180abA	1.200aA	1.164abA	1.195aA
4/26	1.202bA	1.219abA	1.260aA	1.223abA	1.247abA

表3 光质处理对小报春幼苗株型的影响

Table 4 Effects of light quality on plant shape of *Primula forbesii*

日期 Date (M/D)		白光 White light	红光 Red light	黄光 Yellow light	蓝光 Blue light	绿光 Green light
3/17	株高 Plant height (cm)	1.544aA	1.602aA	1.584aA	1.707aA	1.526aA
	冠幅 Crown width (cm)	3.358bcBC	4.232aA	3.595bB	3.265cC	3.394bcBC
3/30	株高 Plant height (cm)	3.463aA	3.735aA	3.700aA	3.685aA	3.901aA
	冠幅 Crown width (cm)	8.330bC	10.004aA	9.676aAB	8.706bBC	8.769bBC
4/13	株高 Plant height (cm)	5.601bB	5.671bB	6.583aA	6.000bAB	5.982bAB
	冠幅 Crown width (cm)	15.266abA	16.340aA	16.520aA	14.705bA	15.137abA
4/26	株高 Plant height (cm)	9.119bcAB	8.681cB	10.042aA	9.714abAB	9.093bcAB
	冠幅 Crown width (cm)	21.613abA	20.675bA	22.648aA	21.042abA	21.400abA

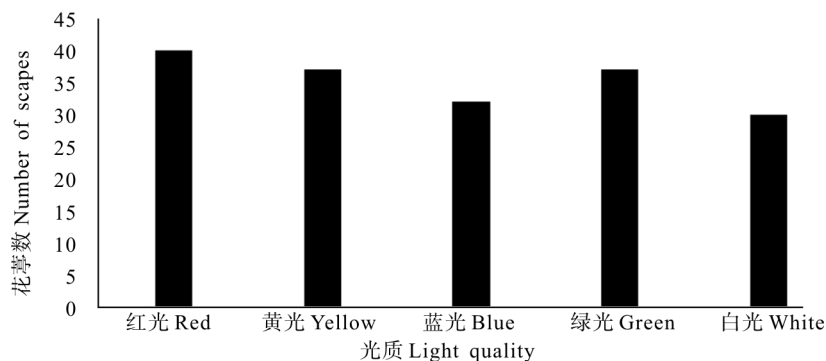


图2 不同光质对小报春花葶数的影响

Fig. 2 Effects of light quality on the number of scapes of *Primula forbesii*

2.2 肥料浓度对幼苗生长的影响

2.2.1 光合速率和蒸腾速率的影响

由图 3: A 可见, 不同浓度肥料处理小报春幼苗的光饱和点($1000 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)基本相同, 但幼苗叶片在光饱和点处的光合速率不同, 光饱和点为 $1000 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 时, EC 2.0 mS cm^{-1} 处理组的光合速率为 $6 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 。

不同浓度肥料对小报春蒸腾速率的影响存在显著性差异, 在相同时间内, 当光强达到 $2500 \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 时, 肥料浓度为 EC 2.5 mS cm^{-1} 的处理组蒸腾速率最大($5.5 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$), EC 1.5 mS cm^{-1} 处理组的蒸腾速率最小($3.5 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$) (图 3: B)。

2.2.2 叶绿素含量的影响

肥料浓度对小报春幼苗叶绿素的影响差异显

著, 以 EC 2.5 mS cm^{-1} 处理的小报春幼苗叶绿素含量最大(38.189 SPAD), 而 EC 1.5 mS cm^{-1} 处理的最小(36.165 SPAD), 可见提高浓度能促进叶片中叶绿素的形成。

2.2.3 叶片数的影响

施肥一段时间后, 以 EC 2.0 mS cm^{-1} 处理的小报春幼苗单株叶片数最多(27.447 片), 叶片增量达 22 片, 也是最多, 且与其他处理的差异显著。而 EC 1.5 mS cm^{-1} 处理的植株叶片数最少(23.894 片) (表 5), 说明 EC 2.0 mS cm^{-1} 能促进叶片的生长。

2.2.4 叶形和株型的影响

由表 5 可见, 不同浓度肥料对叶形的影响差异不显著。以 EC 2.0 mS cm^{-1} 处理的小报春幼苗叶片长宽比最大(1.243), 说明 EC 2.0 mS cm^{-1} 有利于

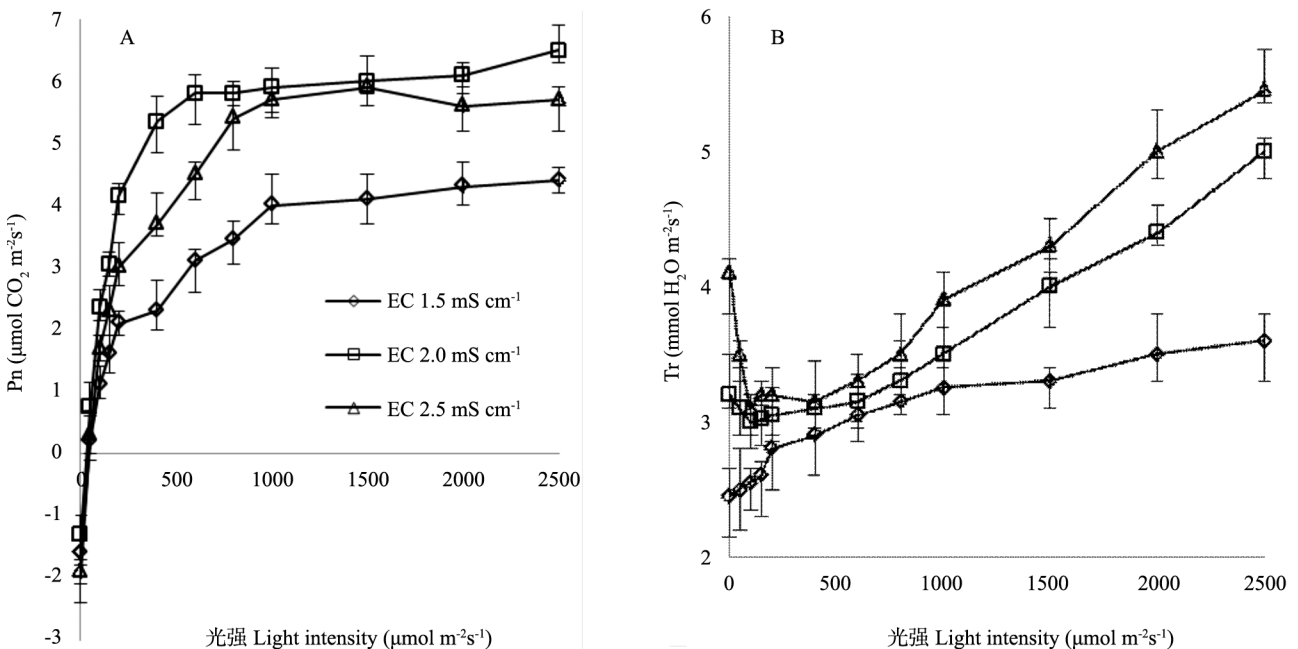


图 3 不同肥料浓度对小报春光合速率(A)和蒸腾速率(B)的影响
Fig. 3 Effects of fertilizer on photosynthetic rate (A) and transpiration rate (B) of *Primula forbesii*

表 5 不同肥料浓度(mS cm⁻¹)对小报春叶片数和叶型的影响

Table 5 Effects of fertilizer (mS cm⁻¹) on number of leaves and ratio of length to width

日期 Date (M/D)	叶片数 Number of leaves			长宽比 Ratio of length to width		
	1.5	2.0	2.5	1.5	2.0	2.5
3/17	5.362aA	5.521aA	5.237aA	1.109aA	1.080aA	1.070aA
3/30	8.650aA	9.041aA	9.003aA	1.141aA	1.123aA	1.114aA
4/13	14.898bA	16.769aA	16.626aA	1.173aA	1.180aA	1.168aA
4/26	23.894bB	27.447aA	24.512bB	1.231aA	1.243aA	1.216aA

叶片的增大,通过影响叶片的长宽比从而增加有效光合面积。

由表 6 可知,肥料浓度对株高影响不显著,以 EC 2.0 mS cm⁻¹ 处理对小报春幼苗株高的影响最大(9.521 cm),而 EC 2.5 mS cm⁻¹ 的最小(9.140 cm)。肥料对前期冠幅的影响(3 月 30 日前)差异显著,后期差异不显著。以 EC 2.0 mS cm⁻¹ 处理的冠幅最大(22.252 cm),而 EC 2.5 mS cm⁻¹ 处理的最小(20.962 cm)。说明不同浓度肥料对小报春前期营

养生长有显著促进作用,但对后期生殖生长阶段的促进作用不明显。

2.3 光质和肥料交互处理的影响

2.3.1 叶绿素含量的影响

由图 4 可见,光质和肥料浓度交互处理对小报春幼苗叶片叶绿素含量的影响达差异极显著水平。以红光 / EC 2.5 mS cm⁻¹ 处理的叶绿素含量 SPAD 值最大(40.8 SPAD),蓝光 / EC 1.5 mS cm⁻¹ 处理的

表 6 不同肥料浓度处理对小报春株型(株高和冠幅)的影响

Table 6 Effects of light quality on plant shape (plant height and crown width) of *Primula forbesii*

日期 Date (M/D)	株高 Plant height (cm)			冠幅 Crown width (cm)		
	1.5	2.0	2.5	1.5	2.0	2.5
3/17	1.564aA	1.630aA	1.584aA	3.456bA	3.661aA	3.588abA
3/30	3.713aA	3.732aA	3.646aA	8.844aA	9.437aA	9.012aA
4/13	6.049aA	6.134aA	5.719aA	15.136bA	16.417aA	15.228bA
4/26	9.328aA	9.521aA	9.140aA	21.213aA	22.252aA	20.962aA

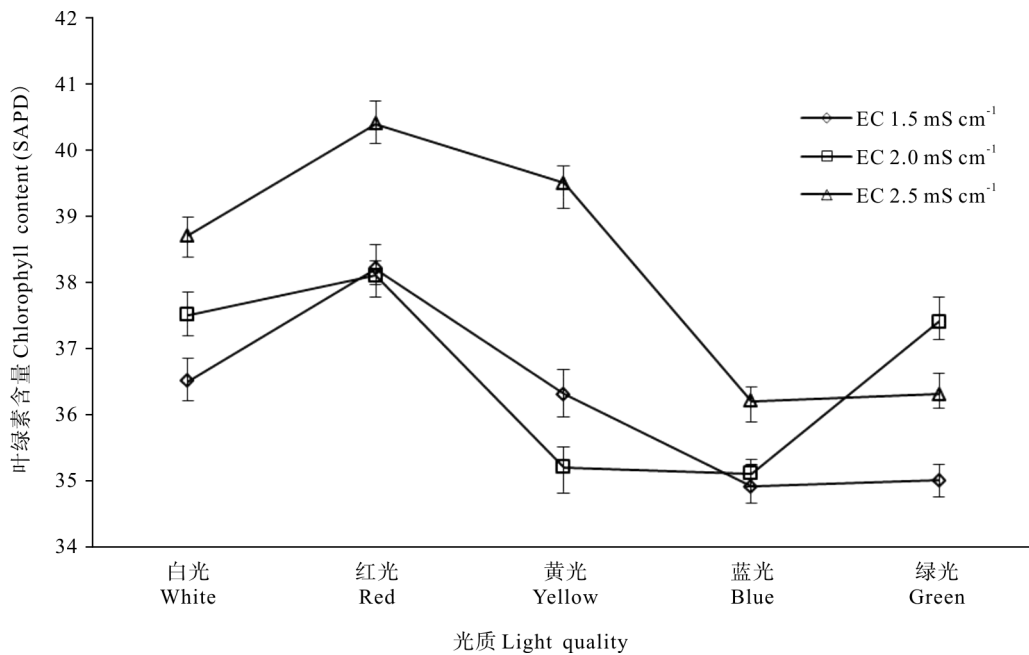


图 4 光质及肥料浓度对小报春幼苗叶绿素含量(SPAD 值)的影响

Fig. 4 Effects of light quality and fertilizer on chlorophyll content of *Primula forbesii* seedlings

最小(34.7 SPAD)。

2.3.2 株型和叶形的影响

光质和肥料浓度交互作用对小报春幼苗冠幅的影响达差异极显著水平。多重比较分析表明,黄光 / EC 2.0 mS cm⁻¹ 处理的株高(11.05 cm)比其

他处理的大,红光 / EC 2.0 mS cm⁻¹ 处理对冠幅(26.00 cm)的影响最大,且与其他处理存在显著差异,红光 / EC 1.5 mS cm⁻¹ 处理的冠幅(19.35 cm)最小。说明红光或黄光结合肥料浓度 EC 2.0 mS cm⁻¹ 处理对植株株型的影响较大。

光质和肥料的交互作用对叶形的影响也存在显著差异。不同浓度肥料和不同光质处理的小报春幼苗叶片长宽比均高于对照,以红光/EC 2.0 mS cm⁻¹处理的最大(1.265),与其他处理间差异显著。

2.3.3 花葶数的影响

小报春幼苗进入生殖生长阶段后,以红光/EC 2.0 mS cm⁻¹处理的花葶数最多,达40个,花序轮数(2.4轮)也最多,与其他处理差异显著,说明红光/EC 2.0 mS cm⁻¹处理能促进小报春幼苗的生殖生长。

3 结论和讨论

光质对小报春的生长发育有着重要的作用,其中红光和黄光对小报春幼苗的生长影响较大,黄光促进幼苗的株高和叶片长宽比增加,从而增加有效光合面积;红光则主要是促进植株的开花,同时有利于植株萌发新叶和增加冠幅生长量。而绿光处理的植株光合速率和叶片数均最低,这是由于不同波长的光对植物形态结构及色素形成的影响不同,在可见光光谱中,植物光合作用吸收的光主要集中在红橙光和蓝光^[14-16],其中,红光下有较高的光合活性^[5],绿光在光合作用中吸收最少,这与前人对莴笋(*Asparagus lettuce*)、草莓(*Fragaria ananassa*)等在不同光质下净光合速率的研究结果一致^[17-18]。在相同的时间内,红光和黄光处理的植株叶片积累的干物质较多,有利于植物的营养生长。有研究表明,植物进入开花期主要是受环境因素,如温度和光的影响,同时认为植株间为避免光遮挡,促进茎伸长而牺牲叶的扩张,并加速开花,植物中存在一种光质途径以调节植物的开花时间^[19]。本研究中,红光处理的小报春幼苗最先进入生殖生长阶段,开花数最多,开花比例也最高,说明红光能诱导幼苗开花,调节开花时间,促进生殖生长。

不同浓度肥料对小报春幼苗生长发育均有促进作用,施肥处理的幼苗生长势都优于对照,EC 2.5 mS cm⁻¹处理的幼苗光合速率高,叶绿素含量高;EC 2.0 mS cm⁻¹处理的株高和冠幅较大,叶片数较多且叶片较大;EC 1.5 mS cm⁻¹能明显促进生殖生长,开花早,开花比例较高。这说明高浓度肥料促进植株的营养生长,抑制生殖生长,而低浓度肥料促进生殖生长。另外,EC 1.5 mS cm⁻¹处理的小报春幼苗叶色偏淡,但未出现缺素症和营养不良等

症状,而EC 2.0 mS cm⁻¹和EC 2.5 mS cm⁻¹处理的叶色鲜艳油绿,观赏效果较好。徐师华等^[4]采用有色聚氯乙烯薄膜大棚种植蔬菜作物,通过改变薄膜来吸收不同的光质,保证了光谱成分的稳定性,避免受其他光质的影响和干扰。但有色聚氯乙烯薄膜大棚不利于栽培环境的通风和气体循环,由于植物本身的光合作用、呼吸作用、蒸腾作用的影响,可能导致薄膜内O₂和CO₂不平衡,不利于植物正常的生理代谢活动。而本研究采用LN-MGT5节能灯进行补光试验,蓝光的光照强度最小,其次为红光,白光的最大。本研究结果与徐师华等^[4]的一致,验证了植物的株高和冠幅等因光质不同会产生差异。

另外,本研究采用节能灯提供不同的光质,灯管在发光的同时会放热,夏季随着气温的升高,部分叶片出现萎蔫和黄斑,建议选取发热不高的节能光源,如LED灯,设置灯架等装置固定并严格遮光,降低因灯管晃动引起光质成分不稳定的影响。另外,关于不同肥料种类和施肥时间以及施肥数量对小报春幼苗生长的影响还有待于进一步研究。

参考文献

- [1] Hu C M, Chen F H. Flora Reipublicae Popularis Sinicae, Tomus 59(2) [M]. Beijing: Science Press, 1990: 7-8.
胡启明, 陈封怀. 中国植物志 第59(2)卷 [M]. 北京: 科学出版社, 1990: 7-8.
- [2] Fan M T. Wild Flower in Yunnan [M]. Yunnan: Yunnan Science and Technology Press, 2001: 85-88.
范眸天. 云南野生花卉 [M]. 云南: 云南科学技术出版社, 2001: 85-88.
- [3] Zhang Y L. Preliminary studies on biological characteristics of *Primula forbesii* [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2003: 23-25.
张艳丽. 小报春的生物学特征初步研究 [D]. 北京: 北京林业大学, 2003: 23-25.
- [4] Xu S H, Wang X L, Wu Y M. Effects of different light quality (spectrum) on crop growth and development [J]. Eco-Agri Res, 2000, 8(1): 18-20.
徐师华, 王修兰, 吴毅明. 不同光质(光谱)对作物生长发育的影响 [J]. 生态农业研究, 2000, 8(1): 18-20.
- [5] Chu Z X, Tong Z, Feng L J, et al. Effect of different light quality on photosynthetic characteristics of cucumber leaves [J]. Acta Bot Sin, 1999, 41(8): 867-870.
储钟稀, 童哲, 冯丽洁, 等. 不同光质对黄瓜叶片光合特性的影响 [J]. 植物学报, 1999, 41(8): 867-870.
- [6] Liu Y Y, Liao X R, Xu J Z, et al. Effect of illumination

- supplement on growth of tomato plantlets [J]. *J Hebei Univ (Nat Sci)*, 2002, 4(1): 21–23.
- 刘玉颖, 廖祥儒, 徐景智, 等. 补充光照对番茄幼苗生长的影响 [J]. *河北大学学报: 自然科学版*, 2002, 4(1): 21–23.
- [7] Heo J W, Lee C W, Murthy H N, et al. Influence of light quality and photoperiod on flowering of *Cyclamen persicum* Mill. cv. 'Dixie White' [J]. *Plant Growth Regul*, 2003, 40(1): 7–10.
- [8] Li Y, Zhang X, Li L M, et al. Effects of different applications and pH of nutrient solution on the growth and photosynthetic rate of *Primula acaulis* species [J]. *J NW For Univ*, 2007(2): 33–36.
- 李艳, 张显, 李莲梅, 等. 不同营养液及其pH值对欧洲报春生长及光合速率的影响 [J]. *西北林学院学报*, 2007(2): 33–36.
- [9] Mao J J, Pan H T, Tang M. Effects of different light quality on the growth of *Primula maximowiczii* [J]. *J Anhui Agri Sci*, 2009, 37(17): 7961–7962, 7982.
- 毛娟娟, 潘会堂, 唐明. 光质对胭脂花幼苗生长的影响 [J]. *安徽农业科学*, 2009, 37(17): 7961–7962, 7982.
- [10] Ajayi N A, Wen X J, Sun C H. Rapid estimation oval leaf area by using leaf length and width [J]. *Hebei For Sci Techn*, 1991(3): 15–17.
- Ajayi N A, 温秀军, 孙朝晖. 利用叶长和叶宽快速估测具有卵圆形叶片的植物叶面积 [J]. *河北林业科技*, 1991(3): 15–17.
- [11] Ye Z P. Application of light-response model in estimating the photosynthesis of super-hybrid rice combination- II Youming 86 [J]. *Chin J Ecol*, 2007, 26(8): 1323–1326.
- 叶子飘. 光响应模型在超级杂交稻组合- II 优明86中的应用 [J]. *生态学杂志*, 2007, 26(8): 1323–1326.
- [12] Farquhar G D, von Caemmerer S, Berry J A. Models of photosynthesis [J]. *Plant Physiol*, 2001, 125(1): 42–45.
- [13] Thornley J H M. Translated by Wang T D. *Mathematical Models in Plant Physiology* [M]. Beijing: Science Press, 1983: 85–106, 307–320.
- Thornley J H M. 王天铎译. *植物生理的数学模型* [M]. 北京: 科学出版社, 1983: 85–106, 307–320.
- [14] Jiang M Y, Pan Y Z. Effects of light quality on the photosynthetic characteristics and growth of *Poinsettia* [J]. *Acta Hort Sin*, 2006, 33(2): 338–343.
- 江明艳, 潘远智. 不同光质对盆栽一品红光合特性及生长的影响 [J]. *园艺学报*, 2006, 33(2): 338–343.
- [15] Wang W R, Chen S, Ouyang G C, et al. Effect of light quality on activities of peroxidase and content of proteins in germination process of cucumber seeds [J]. *Acta Agri Shanghai*, 1991, 7(4): 17–20.
- 王维荣, 陈松, 欧阳光察, 等. 光质对黄瓜种子萌发过程中过氧化物酶活性及蛋白含量的影响 [J]. *上海农业学报*, 1991, 7(4): 17–20.
- [16] Wei S L, Wang J B, Li C B. Effects of blue light and red light on *Dendranthema* growth and flowering [J]. *Acta Hort Sin*, 1998, 25(2): 100–101.
- 魏胜利, 王家保, 李春保. 蓝光和红光对菊花生长和开花的影响 [J]. *园艺学报*, 1998, 25(2): 100–101.
- [17] Xu L, Liu S Q, Liu L D, et al. Effect of light quality on leaf lettuce photosynthesis and chlorophyll fluorescence [J]. *Chin Agri Sci Bull*, 2007, 23(1): 96–100.
- 许莉, 刘世琦, 齐连东, 等. 不同光质对叶用莴苣光合作用及叶绿素荧光的影响 [J]. *中国农学通报*, 2007, 23(1): 96–100.
- [18] Xu K, Guo Y P, Zhang S L. Effect of light quality on photosynthesis and chlorophyll fluorescence in strawberry leaves [J]. *Sci Agri Sin*, 2005, 38(2): 369–375.
- 徐凯, 郭延平, 张上隆. 不同光质对草莓叶片光合作用和叶绿素荧光的影响 [J]. *中国农业科学*, 2005, 38(2): 369–375.
- [19] Cerdán P D, Chory J. Regulation of flowering time by light quality [J]. *Nature*, 2003, 423(6942): 881–885.