

· 中药农业 ·

不同光强对柔毛淫羊藿生长特性和淫羊藿黄酮醇苷含量的影响[△]

马文青^{1,2}, 徐超群², 郭宝林^{2*}, 张丽娟^{1*}

1. 天津中医药大学, 天津 301617;

2. 中国医学科学院 北京协和医学院 药用植物研究所, 北京 100193

[摘要] 目的: 分析不同光照强度(以下简称光强)对柔毛淫羊藿(“贵同柔毛1号”品种)生长、光合特性及有效成分含量的影响, 为确定适宜的栽培生产措施提供参考。方法: 设置 L1[(36.4±5.0) μmol·m⁻²·s⁻¹]、L2[(91.0±5.0) μmol·m⁻²·s⁻¹]、L3[(145.6±5.0) μmol·m⁻²·s⁻¹]和 L4[(200.2±5.0) μmol·m⁻²·s⁻¹]4种光强, 连续处理40 d, 分别在10、20、30、40 d测定生长发育指标(分枝数、叶片数), 于第40天测定处理期间同期萌发且已经成熟的叶片的光合生理指标[净光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)、气孔导度(G_s)和胞间CO₂浓度(C_i)]及淫羊藿黄酮醇苷类成分(朝藿定A、朝藿定B、朝藿定C、淫羊藿苷)含量。结果: 生长指标方面, 随着光强从L1增大至L4, 总分枝数及总叶片数显著增加, 快速增加期出现在20~40 d, 其中, L1~L3处理均在30 d时增幅最高, 分别为48.52%、70.00%和83.53%, L4处理下在20 d达到最高增幅165.00%, 约为L3处理的2倍; 光合生理指标方面, 叶绿素含量整体呈小幅下降趋势, P_n 、 T_r 、 G_s 整体呈上升趋势, C_i 整体呈下降趋势; 药用成分方面, 淫羊藿黄酮醇苷类成分质量分数先增加后基本持平, L3处理下达到最高, 为(61.49±1.00) mg·g⁻¹。结论: 柔毛淫羊藿在强光下的分枝数增加、 P_n 增加和淫羊藿黄酮醇苷类成分含量增加的趋势和其他淫羊藿属物种一致, 但对更高光强的适应性和耐受性显著高于其他物种。

[关键词] 柔毛淫羊藿; 光强; 萌发能力; 光合作用; 淫羊藿黄酮醇苷; 含量测定

[中图分类号] R282.2 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1673-4890(2023)04-0847-07

doi:10.13313/j.issn.1673-4890.20230213002

Effects of Different Light Intensities on Growth Characteristics and Content of Icariin Flavonol Glycosides of *Epimedium pubescens*

MA Wen-qing^{1,2}, XU Chao-qun², GUO Bao-lin^{2*}, ZHANG Li-juan^{1*}

1. Tianjin University of Traditional Chinese Medicine, Tianjin 301617, China;

2. Institute of Medicinal Plant Development, Peking Union Medical College & Chinese Academy of Medical Sciences, Beijing 100193, China

[Abstract] **Objective:** To determine appropriate cultivation and production measures by analyzing the effects of different light intensities on the growth, photosynthetic characteristics, and bioactive content of *Epimedium pubescens* (Cultivar Guitong Roumao No. 1). **Methods:** Four light intensities were set, including L1 [(36.4±5.0) μmol·m⁻²·s⁻¹], L2 [(91.0±5.0) μmol·m⁻²·s⁻¹], L3 [(145.6±5.0) μmol·m⁻²·s⁻¹], and L4 [(200.2±5.0) μmol·m⁻²·s⁻¹], and the treatment lasted for 40 d. Growth parameters (the number of branches and leaves) were determined at 10, 20, 30, and 40 d, respectively. In 40 d, photosynthetic parameters [net photosynthetic rate (P_n), transpiration rate (T_r), stomatal conductance (G_s), and intercellular CO₂ concentration (C_i)] and the icariin flavonol glycoside content (epimedin A, epimedin B, epimedin C, and icariin) of leaves that germinated and matured at the same time during treatment were determined. **Results:** In terms of

[△] **[基金项目]** 中国医学科学院医学与健康科技创新工程项目(2021-I2M-1-031)

* **[通信作者]** 郭宝林, 研究员, 研究方向: 中药资源鉴定与栽培; Tel: 010-57833072, E-mail: guobaolin010@163.com
张丽娟, 教授, 研究方向: 中药鉴定及质量评价; E-mail: lijuanzhang63@163.com

growth parameters, with the increase in the light intensity from L1 to L4, the total number of branches and leaves increased significantly. The rapid increase period occurred in 20-40 d, wherein the treatment of L1-L3 had the highest increase in 30 d, which increased by 48.52%, 70.00%, and 83.53%, respectively. Notably, the L4 treatment reached the highest increase of 165.00% in 20 d, which was twice that of the L3 treatment. In terms of photosynthetic characteristics, chlorophyll content showed a slight downward trend from L1 to L4, while P_n , T_p and G_s showed an overall upward trend and C_i showed a decreasing trend. The icariin flavonol glycoside content increased gradually and then remained unchanged from L1 to L4. The total content reached the highest level in the L3 treatment, which was $(61.49 \pm 1.00) \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$. **Conclusion:** Under high-light treatment, the number of branches and leaves, P_n , and the icariin flavonol glycoside content reveal an increased trend, which is consistent with those of other *Epimedium* species. However, the adaptability and tolerance to higher light intensity for cultivar *E. pubescens* are significantly higher, which is significantly different from other *Epimedium* species.

[Keywords] *Epimedium pubescens* Maxim.; light intensity; germination ability; photosynthesis; icariin flavonol glycosides; content determination

淫羊藿为小檗科植物淫羊藿 *Epimedium brevicornu* Maxim.、箭叶淫羊藿 *E. sagittatum* (Sieb. et Zucc.) Maxim.、柔毛淫羊藿 *E. pubescens* Maxim. 或朝鲜淫羊藿 *E. koreanum* Nakai 的干燥叶, 具有补肾阳、强筋骨、祛风湿等功效, 在抗炎、抗氧化、抗骨质疏松等方面疗效显著^[1]。淫羊藿药材的市场需求日益增加, 其中本课题组培育的柔毛淫羊藿品种——“贵同柔毛1号”^[2]种植推广数量最大。该品种具有淫羊藿黄酮醇苷类成分含量高和根状茎芽萌发能力强(从而产量较高)等特性, 在生产中1年采收2次(第1次在6月、第2次在12月), 采收期的药材(淫羊藿叶)一般为萌发后生长40~90 d。淫羊藿属所有品种均为阴生植物, 喜半阴湿润环境, 对光环境敏感, 光合特性有所差异^[3]。箭叶淫羊藿的净光合速率(P_n)始终高于拟巫山淫羊藿 *E. pseudowuhannense* B. L. Guo^[4]。适度的高光照强度(以下简称光强)可以促进箭叶淫羊藿茎叶分枝数的增加, 分枝数的增加带来产量的显著增加^[5]。“贵同柔毛1号”因根状茎芽具有较强萌发能力而具有高产特性, 但光强对其分枝数的影响是否与淫羊藿其他基原相似尚无深入研究。淫羊藿中的有效成分为具有异戊烯基取代的黄酮醇苷类成分^[6], 本课题组前期研究也发现, 适度光强对淫羊藿黄酮醇苷类成分含量的增加有促进作用, 如发现 $(72.7 \pm 2.5) \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 光强下拟巫山淫羊藿的淫羊藿苷类成分含量最高^[7]。发光二极管(LED)光源由于波长易于精准控制, 已经成为光合作用研究的主要光源^[8]。本研究以“贵同柔毛1号”为材料, 研究柔毛淫羊藿的需光特性及光强对其主要农艺性状和品质性状的影响, 以期淫羊藿工厂化生产过程中精细化光调控提供参考。

1 材料

1.1 样品

取种植于四川乐山种植基地的1年生“贵同柔毛1号”品种健康苗(由乐山市沙湾区长宏中药材种植专业合作社提供), 于2022年1月下旬移栽到中国医学科学院药用植物研究所温室中。分单株定植于直径10 cm、高10 cm的花盆中, 花盆基质为育苗基质-蛭石(3:1)。2022年2月上旬(新叶萌发前), 选择长势一致(1年生叶片为7~9片)的植株移入光培室(温度: 20~25 °C, 相对湿度: 60%~70%)中, 实验时间2022年2月8日至2022年3月10日。光强设置4个梯度, 分别是L1[$(36.4 \pm 5.0) \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$]、L2[$(91.0 \pm 5.0) \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$]、L3[$(145.6 \pm 5.0) \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$]和L4[$(200.2 \pm 5.0) \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$], 光照时间为 $12 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$, 每个光强3个重复, 每个重复9株, 持续培养40 d, 每3 d浇水1次。实验期间如萌发新分枝为茎(即开花分枝), 剪掉幼小花序。

1.2 仪器

L6500K型全光谱LED植物专用灯板(宁波杨辉仪器有限公司); LI-6400型便携式光合作用测定仪(美国LI-COR公司); SPAD-502型便携式手持叶绿素仪(日本Konica Minolta Inc公司); ACQUITY超高效液相色谱系统(美国Waters公司); GZX-9070 MBE型数显鼓风干燥箱(上海博迅实业有限公司); BP211D型十万分之一电子天平(美国Sartorius公司); FA2104N型万分之一电子天平(上海精密科学仪器有限公司); KQ-500DE型数控超声波清洗器(昆山市超声仪器有限公司)。

1.3 试药

对照品朝藿定A、朝藿定B、朝藿定C、淫羊藿苷 (HPLC 纯度>98%, 江苏永健医药科技有限公司); 乙腈、甲醇、乙醇 (色谱纯, 美国Fisher公司); 实验用水为娃哈哈纯净水; CO₂充气囊 (宜致餐饮科技有限公司)。

2 方法

2.1 分枝数及叶片数测定

在处理10、20、30、40 d时, 分别记录根状茎上新萌发的分枝数及新萌发的总叶片数。分枝数类型包括单叶分枝 (基生叶, 单叶)、三叶分枝 (基生叶, 3小叶复叶)、六叶分枝 (茎, 具2枚对生的3小叶复叶)。

2.2 光合指标测定

于40 d时, 对4个光强梯度开展测定, 每个处理重复测定4株植物, 每株植物选取3枚叶片, 选择同期萌发且已经成熟的叶片进行测定 (淫羊藿萌芽到完全展叶约30 d, 叶片继续成熟革质化约10 d^[9]), 采用光合作用测定仪分别测定 P_n 、蒸腾速率 (T_r)、气孔导度 (G_s) 和胞间CO₂浓度 (C_i), 使用叶绿素仪在波长650、940 nm下测定叶片的叶绿素相对含量 (SPAD) 值。

2.3 淫羊藿黄酮醇苷类成分的含量测定

于40 d时, 按《中华人民共和国药典》2020年版^[1]含量测定方法, 每个处理重复取9株植物, 每株植物取1片叶片, 混合为1个样品, 测定叶片中朝藿定A、朝藿定B、朝藿定C、淫羊藿苷4种淫羊藿黄

酮醇苷类成分含量。

2.4 数据分析

数据处理和绘图采用Microsoft Excel 2010软件。单因素方差分析和显著性检验采用SPSS 21.0统计分析软件。

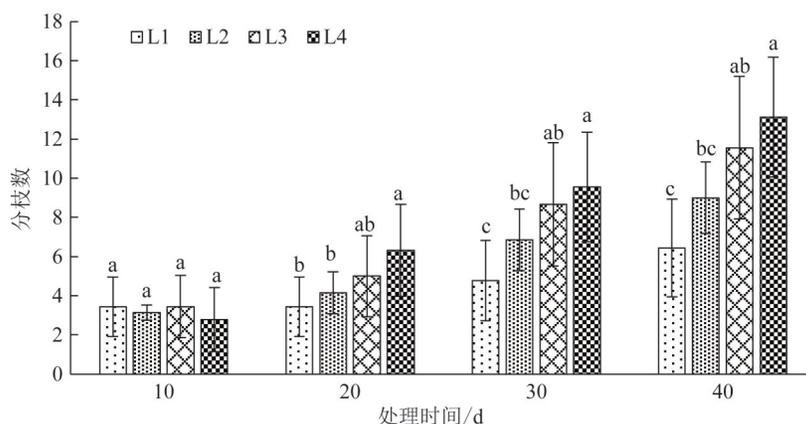
3 结果

3.1 不同光强对分枝数及总叶片数的影响

在各个处理时期, 分枝数都随光强增加呈现上升趋势, 见图1。处理10 d, 各处理的分枝数均有所增加, 差异无统计学意义; 处理20 d, L2、L3与L1相比, 分枝数增加差异无统计学意义, 但L4显著增加 ($P<0.05$); 处理30、40 d, 各处理间分枝数增加差异有统计学意义 ($P<0.05$), 处理30 d, 与L1光强处理相比, L2、L3和L4分别增加43.52%、81.40%、100.00%; 处理40 d, 与L1光强处理相比, L2、L3和L4分别增加39.75%、79.50%、103.57%。对同一处理分析发现, 随着时间推移, “贵同柔毛1号”有新的分枝萌出, L1~L3处理在30 d时, 分枝数较20 d时增幅最大, 分别为48.52%、70.00%和83.53%, 此后增幅下降为44.26%、32.15%和37.81%; L4处理在20 d时, 分枝数较前一时期增幅最大, 为165.00%, 此后增幅有所下降, 分别为69.86%和41.11%。对不同处理下的不同时间叶片数进行统计, 结果见图2。叶片数的增加与分枝数的增加呈相同规律。

3.2 不同光强对“贵同柔毛1号”光合参数的影响

3.2.1 SPAD 不同光强处理40 d后, 叶片的SPAD值随光强的增加而减少, L1下的SPAD值为44.24±



注: 不同小写字母表示同一处理不同时间 $P<0.05$; 图2同。

图1 不同光强处理不同时期“贵同柔毛1号”的分枝数 ($\bar{x}\pm s, n=9$)

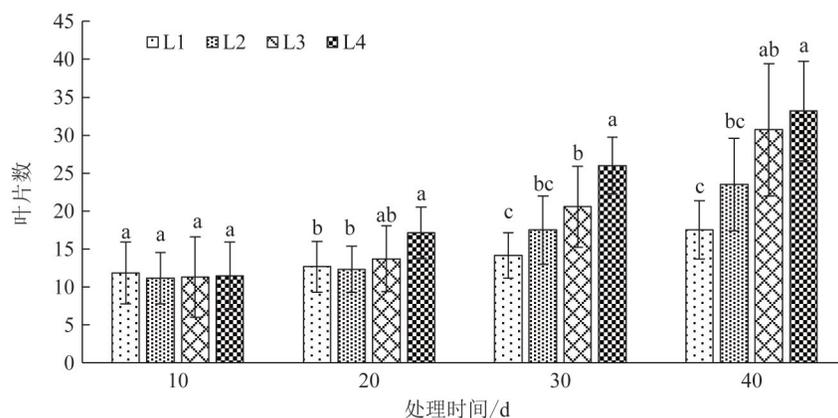
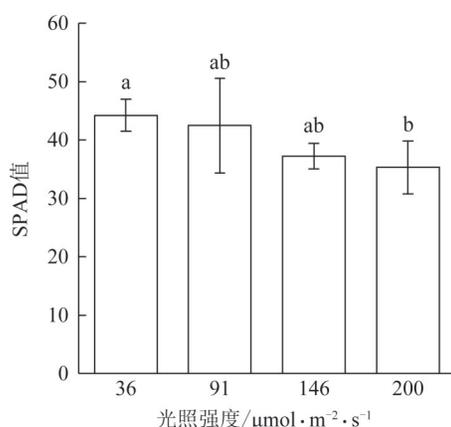


图2 不同光强处理不同时期“贵同柔毛1号”的叶片数 ($\bar{x} \pm s, n=9$)

2.74。相较于L1, 仅L4下SPAD值的下降差异有统计学意义 ($P < 0.05$), 下降了20.21%, L3的下降趋势也比较明显, 下降了15.84% (图3)。



注: 不同小写字母表示不同处理之间 $P < 0.05$; 图4同。

图3 不同光强处理40 d时“贵同柔毛1号”的SPAD值 ($\bar{x} \pm s, n=4$)

3.2.2 光合特性 由图4可知, 4种光强处理40 d时, 随着光强的增加, “贵同柔毛1号”叶片的净 P_n 、 T_r 、 G_s 总体呈现增加的趋势。其中, 光强对 P_n 的影响较大, 各个光强处理间差异均有统计学意义 ($P < 0.05$)。L1下 P_n 最低, 为 $(1.00 \pm 0.20) \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$; 较L1处理, L2处理下 P_n 增幅为88.07%, L3、L4处理分别较前一处理的 P_n 增幅为18.98%和67.14%。L4光强下 P_n 达到最高, 为 $(3.72 \pm 0.28) \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。随着光强从L1增至L2, G_s 和 T_r 均无显著增加, 当光照强度增至L4时, 两者均显著增加 ($P < 0.05$), 增幅分别为57.44%和41.82%。 C_i 与 P_n 的变化趋势相反, 随着光强的增加而缓慢降低。

3.3 淫羊藿黄酮醇苷类成分含量

本研究中朝藿定A、朝藿定B、朝藿定C和淫羊藿苷4种成分随光强增加, 含量均有所增加, 但增加规律有所不同 (表1)。其中, 朝藿定C与淫羊藿苷的含量占4种成分总量的70%~80%。随着光强的增加, 朝藿定C与淫羊藿苷的变化趋势大致相同, 均呈现L1~L4持续增加趋势; 与L2处理相比, L3朝藿定C增幅最大; 与L1处理相比, L2淫羊藿苷增幅最大; 朝藿定A、朝藿定B均呈现L3处理比L2处理显著增加, L4处理略有下降的趋势。L2、L3处理淫羊藿黄酮醇苷类成分总含量均显著增加, L3与L4处理间差异无统计学意义。

4 讨论

淫羊藿为多年生常绿草本, 第1年秋冬季于根状茎节上形成休眠芽, 第2年芽萌发长出新枝, 新枝的类型包括单叶分枝 (基生叶, 单叶)、三叶分枝 (基生叶, 3小叶复叶)、六叶分枝 (茎, 具2枚对生的3小叶复叶) 3种类型^[10]。常规萌芽为部分休眠芽 (以顶芽为主), 营养充分或其他外界条件刺激下, 其他休眠芽 (根状茎上的侧芽及基部苞片内的侧芽) 也会萌发。前期已有研究表明, 增加光照或者其他因素处理 (如激素) 可显著促进拟巫山淫羊藿休眠芽萌发形成新枝^[11-12]。

本研究中, 光强梯度设置主要基于以下3点: 1) 本课题组前期对拟巫山淫羊藿30 d室内控制光强研究结果表明, 拟巫山淫羊藿的适宜光强为 $72 \sim 91 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$; 2) 在产地种植过程中发现, 柔毛淫羊藿具有较强的光强耐受能力; 3) 本课题组对该品种进行了高于拟巫山淫羊藿适宜光强的预实验

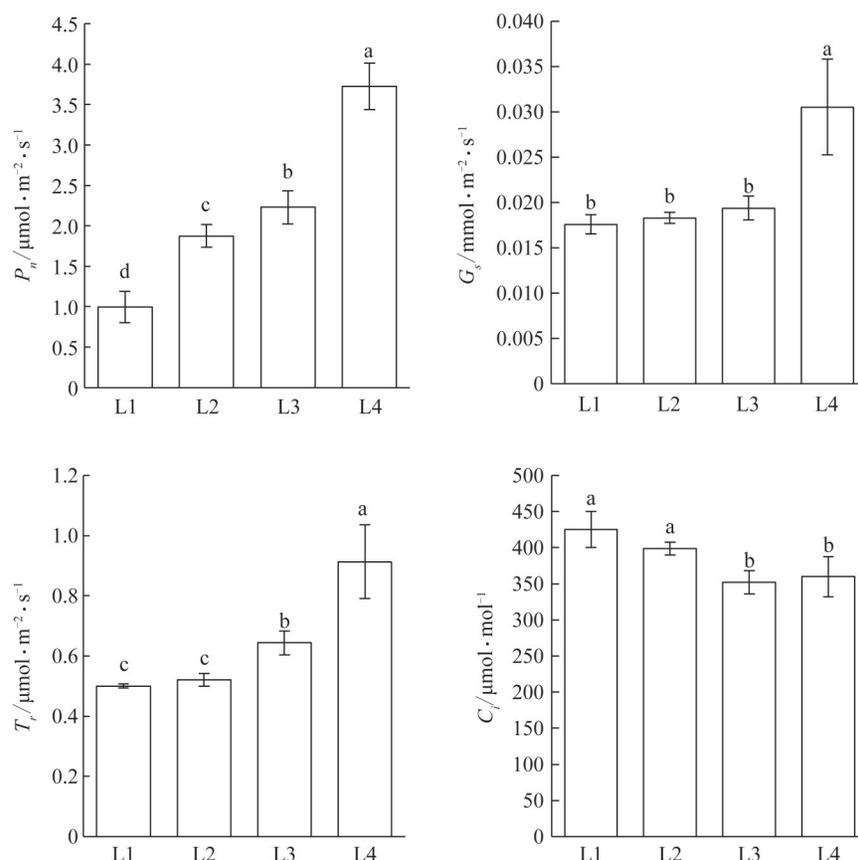


图4 不同光强处理40 d的“贵同柔毛1号”叶片光合特征参数 ($\bar{x} \pm s, n=4$)

表1 不同处理40 d的“贵同柔毛1号”4种黄酮醇苷类成分质量分数 ($\bar{x} \pm s, n=3$)

处理	质量分数				总质量分数
	朝藜定A	朝藜定B	朝藜定C	淫羊藿苷	
L1	4.43±0.02d	5.19±0.05c	8.69±0.08d	22.14±0.26d	40.45±0.40c
L2	4.61±0.07c	4.58±0.07d	9.96±0.13c	29.08±0.38c	48.23±0.65b
L3	7.65±0.12a	9.39±0.16a	13.70±0.26b	30.75±0.49b	61.49±1.00a
L4	6.61±0.05b	8.12±0.06b	14.83±0.10a	31.79±0.21a	61.35±0.40a

注: 不同小写字母表示同一成分下不同光强处理之间 $P < 0.05$ 。

(最高设置光强为 $163 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), 发现该品种耐受高光的能力更强。因此, 本研究设置了1个较低光强L1, 1个中等光强L2, 2个较高光强L3、L4, 研究光强对“贵同柔毛1号”主要农艺性状和品质性状的影响。

本研究结果表明, 增加光强可大幅度促进“贵同柔毛1号”根状茎上的芽萌发形成新的地上分枝, 与本课题组前期对拟巫山淫羊藿^[9]和箭叶淫羊藿^[13]的研究结果一致。从不同光强处理下分枝数最高增幅出现的时间和增加效应看, 随着光强增加, “贵同柔毛1号”的分枝数也随之大量增加, 且出现最高增

幅的时间变短, 如L1~L3处理均在30 d时增幅最高, L4处理下则在20 d达到最高增幅, 且增幅约为L3处理的2倍。本研究中L4处理已经显著高于本课题组前期对其他淫羊藿物种光强研究处理, 如在相同培养条件下, 拟巫山淫羊藿出现显著光抑制的光强仅为 $(163.6 \pm 2.5) \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 而“贵同柔毛1号”对于光强增加的适应能力更强。

光强变化可以直接影响植物叶片中叶绿素含量的变化, 进而影响植物的光合特性^[14]。SPAD为相对叶绿素含量, 与叶绿素含量有极显著正相关关系^[15]。本研究通过对“贵同柔毛1号”开展40 d不同光强的研究, 发现随着光强的增加, 叶片的SPAD值逐渐降低, 仅L4处理下SPAD值显著下降, 其他处理差异无统计学意义; P_n 则持续增加。这与Jang等^[16]对2年生人参6月遮阴的研究结果一致。随着光强的增加, 人参也出现SPAD值小幅度下降, 但 P_n 仍持续增加的结果。结果表明, 叶片高 P_n 的必需条件并不一定是高叶绿素含量, 而光强增加引起的叶片叶绿素含量适当降低, 在叶绿素合成过程中, 将有助于减少叶片氮素的消耗, 优化其在叶片内的合理配

置；在一定程度上提高光系统Ⅱ的效率，缓解光强增加引起的光抑制现象，最终提高叶片 P_n ^[17]。

本研究结果显示，光强为L2时， P_n 为(1.87±0.14) $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ，光强增至L4时， P_n 达到最高(3.72±0.28) $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。对比前期本课题组潘俊倩^[9]对拟巫山淫羊藿和箭叶淫羊藿连续30 d的光强实验，两者 P_n 均呈现随着光强的增加，表现出先增加后降低的趋势，均在72 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 下 P_n 达到最高，达到1.8~2.0 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。箭叶淫羊藿在强光145 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 下， P_n 能在较长时间维持较高水平；拟巫山淫羊藿的光强耐受能力为18.2~91.0 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。本结果显示，随光照加强， P_n 持续增加，一方面可能由于研究中设置的光强尚未达到胁迫光强，另一方面可能是当前光强的处理时间较短，未达到长期的光胁迫效应。综合比较后得出，“贵同柔毛1号”比拟巫山和箭叶淫羊藿更能耐受高光强，其在较强光照下仍具有较强的光合能力，有利于其进一步积累光合作用产物，为其高萌发能力奠定基础。

此外，本研究结果显示，随着光强的增加， C_i 变化与 P_n 的变化趋势呈负相关。这与张勤涛等^[18]在LED黄光不同光强对滇重楼叶片光合特性的影响研究结果一致。 C_i 变化与 P_n 的变化呈负相关的结果表明，当前光强尚未达到“贵同柔毛1号”的光饱和点，光强仍是影响 P_n 进一步增长的主要因素，推测 P_n 随光强增加而增大的原因主要是叶肉细胞的光合活性增大，而不是 C_i 降低。相反， C_i 降低是叶肉细胞的光合活性增大乃至 P_n 增高的结果^[19]。

植物的化学成分及其积累过程受光强影响显著。“贵同柔毛1号”光照处理40 d时，主要成分朝藿定C和淫羊藿苷在L4处理下最高，但与L3处理差别不大；朝藿定A与朝藿定B在L3处理下最高，光强增加到L4处理有所下降；淫羊藿黄酮醇苷类成分总含量在上述2个光强下差异无统计学意义。这与本课题组前期对拟巫山淫羊藿的研究结果^[9]有所区别。光照处理30 d时，随着光强的增加，拟巫山淫羊藿的4种主要淫羊藿黄酮醇苷类成分总含量在(54.6±2.5) $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 光强下达到最高，在(90.9±2.5) $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 光强下开始显著下降。相比于拟巫山淫羊藿，“贵同柔毛1号”淫羊藿黄酮醇苷类成分也能在更高的光强下维持积累的较高水平。此外，在比L4处理更高的光强及处理时间下，

“贵同柔毛1号”中成分下降的拐点仍有待研究。

综上所述，“贵同柔毛1号”在强光下的分枝数增加、 P_n 增加和淫羊藿黄酮醇苷增加的趋势和淫羊藿属其他物种一致，但对更高光强的适应性和耐受性显著高于其他物种。在柔毛淫羊藿和箭叶淫羊藿的亚热带种植区域，夏季高辐射期间，午间75%遮阳网下的光强可达到620 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ，因此耐受高光强的“贵同柔毛1号”较其他物种和类型具有更好的适应性。如果进行工厂化生产，在淫羊藿未萌发前，给予较强的光照（如L4）可显著增加分枝数，进而提高叶片生物量，增加淫羊藿黄酮醇苷类成分的含量。“贵同柔毛1号”对更高光强、更长的作用时间的效果还有待进一步探究。

参考文献

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典:一部[M]. 北京:中国医药科技出版社,2020:340-341.
- [2] 国药集团同济堂(贵州)制药有限公司. 贵同柔毛1号:20201006175[P]. 2020-10-06.
- [3] 雷荣. 淫羊藿属15份种质资源评价及利用研究[D]. 贵阳:贵州大学,2022.
- [4] 潘俊倩,谷小红,郭宝林. 2种淫羊藿的光合日变化比较[J]. 农学学报,2017,7(4):51-57.
- [5] 雷荣,汪卓逸,汪永平,等. 遮阴度对“黔藿1号”箭叶淫羊藿生长及产质量的影响[J]. 中药材,2021,44(11):2501-2505.
- [6] 张悦. 基于淫羊藿苷类黄酮差异的柔毛淫羊藿种质遴选及候选基因挖掘[D]. 天津:天津中医药大学,2022.
- [7] 潘俊倩,李小明,杨倩茹,等. 不同光强处理下拟巫山淫羊藿生物学性状和淫羊藿苷类黄酮的变化[J]. 中国现代中药,2021,23(1):89-93.
- [8] 王佳淇,韦晓桐,何莹钰,等. LED补光系统对设施园艺作物的影响[J]. 浙江农业科学,2020,61(5):950-954.
- [9] 潘俊倩. 光影响拟巫山淫羊藿生理特性以及黄酮类化合物合成的分子机制初步研究[D]. 北京:北京协和医学院,2017.
- [10] 田景,金华,姜志海. 植物生长调节剂及氮素处理对拟巫山淫羊藿采后再萌发的影响[J]. 中国中药杂志,2018,43(11):2236-2241.
- [11] PAN J, GUO B. Effects of light intensity on the growth, photosynthetic characteristics, and flavonoid content of *Epimedium pseudowushanense* B. L. Guo[J]. Molecules, 2016, 21(11): 1475-1486.
- [12] 田景,金华,申国安,等. 6-BA及尿素对拟巫山淫羊藿根芽形成的影响[J]. 中国现代中药,2019,21(1):71-75.

- [13] 李小明. 淫羊藿的光特性及需肥规律初步研究[D]. 贵阳:贵州中医药大学,2020.
- [14] 罗美佳. 光照对三七生长、光合特性及有效成分积累的影响[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2014.
- [15] 冯恩英,岳延滨,杨国,等. 猕猴桃叶片 SPAD 值与叶绿素含量的相关性[J]. 农技服务,2022,39(12):22-26.
- [16] JANG I B. Photosynthesis rates, growth, and ginsenoside contents of 2-yr-old *Panax ginseng* grown at different light transmission rates in a greenhouse [J]. *J Ginseng Res*, 2015, 39(4): 345-353.
- [17] 周振翔. 水稻叶片叶绿素含量对光合生理及产量的影响[D]. 扬州:扬州大学,2016.
- [18] 张勤涛,梁社往,曹嘉芮,等. 不同光强LED黄光对滇重楼生长、光合特性和皂苷含量的影响[J]. 现代食品科技,2018,34(3):178-183.
- [19] 许大全. 光合作用学[M]. 北京:科学出版社,2013:79-82.

(收稿日期: 2023-02-13 编辑: 戴玮)