

不同光环境下 3 种藤本植物幼苗的光合特性

王海艳, 喻理飞

(贵州大学 林学院, 贵阳 花溪 550025)

摘要: 用 100%(ck), 68%~75%(S1), 40%~49%(S2)和 10%~21%(S3)等 4 种人为控光处理常春藤 *Hedera nepalensis* var. *sinensis*, 常春油麻藤 *Mucuna sempervirens* 和葛藤 *Pueraria lobata* 1 年生苗木, 研究其光合特性。结果表明: 常春油麻藤的光饱和点和光补偿点均较高, 为喜光植物; 葛藤的光饱和点和光补偿点较低, 反应了葛藤耐荫性的同时, 它对光能有效辐射的利用范围较窄; 常春藤光饱和点和光补偿点较低, 即常春藤具有一定的耐荫性且对光能有效辐射的利用范围较宽。10%~21%控光处理叶绿素质量分数最高, 葛藤、常春油麻藤、常春藤的叶绿素质量分数分别高达 2.888, 2.242 和 2.955 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$, 叶绿素 a/b 值差异显著。不同光环境下根冠比均表现为 10%~21%控光处理最低, 随着光照强度的增加, 根冠比随之增加。图 3 表 3 参 21

关键词: 森林生物学; 常春藤; 常春油麻藤; 葛藤; 光; 光合特性

中图分类号: S718.3; Q 945.1 文献标志码: A 文章编号: 1000-5692(2010)06-0858-07

Photosynthetic characteristics of three species of liana seedlings in different light environments

WANG Hai-yan, YU Li-fei

(Forestry College, Guizhou University, Guiyang 550025, Guizhou, China)

Abstract: One-year-old liana seedlings of *Hedera nepalensis* var. *sinensis*, *Mucuna sempervirens*, and *Pueraria lobata* were grown in full light (control) and three less than full light conditions: 68% - 75% of full light (S1), 40% - 49% (S2), and 10% - 21% (S3) with photosynthetic characteristics of light saturation point, light compensation point, total chlorophyll, chlorophyll a/b, and root-shoot ratio being studied. Results showed that the light saturation and light compensation points of *M. sempervirens* were highest, whereas *P. lobata* were both lowest. The light saturation point of *H. nepalensis* var. *sinensis* was high, and its light compensation point was low. In 10% - 21% of full light (S3), the total chlorophyll of *P. lobata* (2.888 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$), *M. sempervirens* (2.242 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$), and *H. nepalensis* var. *sinensis* (2.955 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$) were highest. The chlorophyll a/b ratio in different light environments also showed strong differences. Additionally, the root-shoot ratio of the three liana seedlings in different light environments increased with increasing light. From these results, *M. sempervirens* was shade intolerant, *P. lobata* was shade tolerant for a narrow range of light, and *H. nepalensis* var. *sinensis* was somewhat shade tolerant for a wide range of light. [Ch, 3 fig. 3 tab. 21 ref.]

Key words: forest biology; *Hedera nepalensis* var. *sinensis*; *Mucuna sempervirens*; *Pueraria lobata*; light; photosynthetic characteristics

收稿日期: 2010-01-11; 修回日期: 2010-03-30

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(2006CB403206-6); 贵州省科技厅社会发展攻关项目[黔科合 SZ (2008)3016 号]; 贵州大学研究生创新基金资助项目(2009004)

作者简介: 王海艳, 从事恢复生态学研究。E-mail: whyisflying@163.com。通信作者: 喻理飞, 教授, 博士, 从事喀斯特森林生态、恢复生态和自然保护等研究。E-mail: gdyulifei@163.com

木质藤本植物是热带和亚热带森林群落中重要的组分，它们在森林的多样性、结构、功能和动态等方面具有重要的贡献和作用^[1-2]。大部分木质藤本植物适生性强，生长迅速，且覆盖面积较大，可匍匐在裸岩表面，降低岩石温度，对小气候具调节作用。这些特点使它们能适应西南喀斯特石漠化恶劣生境条件，适合作为石漠化治理的早期植物，但目前关于石漠化治理早期植物的研究大多集中在木本乔灌木及草本植物上^[3-6]，对木质藤本植物的研究极少。喀斯特石漠化区因植被覆盖率低，光照强烈，随着植被恢复，光环境发生改变^[7]，对群落内部的木质藤本植物的生长发育产生影响。已有研究报告，植物在强光照下，光合作用也受到抑制^[8-9]。随着光照强度增强，光合作用下降，植物体内有机物积累减少，生长受阻，引起生物量下降，甚至导致植株饥饿死亡，特别是在植物生活史中最脆弱的苗期阶段。常春藤 *Hedera nepalensis* var. *sinensis*，常春油麻藤 *Mucuna sempervirens* 和葛藤 *Pueraria lobata* 是喀斯特地区常见的 3 种木质藤本植物。目前，对这 3 种藤本植物的光合研究甚少，大多集中在自然光照条件的光强与光合速率关系的研究^[10-13]，对于不同光照条件对藤本植物光合作用的影响仍未见报道。本研究通过对常春藤、常春油麻藤和葛藤 1 年生苗的控光试验，探讨在不同光环境下植物幼苗的生长动态和生理响应，以及对光的生理生态适应性，为喀斯特地区石漠化的治理，以及早期植物种配置提供理论依据，为石漠化地区植被恢复和群落优化配置提供技术支撑。

1 材料与方 法

1.1 试验地自然概况

试验地位于贵州大学林学院苗圃内，地处黔中地区，26°34'N，104°34'E。该区年均气温为 15.8℃，绝对最高气温 39.5℃，最低气温 -9.5℃，≥10℃ 的年活动积温 4 637.5℃；年降水量为 1 229 mm，年平均相对湿度 79%，太阳辐射总量为 3 567 MJ·m⁻²；植物年生长期为 271 d。

1.2 试验材料

常春藤，又名中华常春藤，为五加科 Araliaceae 常春藤属 *Hedera* 常绿攀援藤本植物。茎具气根，幼枝被鳞片状柔毛；叶革质，深绿色有长柄；营养枝上的叶为三角状卵形，全缘或 3 裂；花果枝上的叶椭圆状卵形或卵状披针形。性极耐荫，也能生长在全光照环境中，能耐 7.0℃ 低温；对土壤要求不严，喜温暖、湿润、疏松肥沃的中性或微酸性土壤。

常春油麻藤，豆科 Leguminosae 黧豆属 *Mucuna* 植物，常绿木质藤本。喜光，喜温暖湿润气候，适应性强，耐阴，耐干旱，耐瘠薄，对土壤要求不严，喜深厚、肥沃、排水良好的土壤。

葛藤，属于豆科蝶形花冠亚科 Feboideae 葛属 *Pueraria*，是一种多年生落叶藤本植物。它具有抗寒、耐热、耐旱和耐盐碱等优良特性，对土壤适应能力很强，无论是红土、黄土、泥砂土，还是瘠薄的荒坡、石缝都能扎下根生长，而且生长速度极快。

试验材料均为 1 年生扦插苗。

1.3 试验设计与方法

选用苗高、地径基本一致的 1 年生常春油麻藤、葛藤和常春藤苗，于 2009 年 1 月栽植于口径 21 cm，深 17 cm 的花盆中。土壤取自贵阳市花溪水库白云质灰岩发育的石灰土。土壤 pH 7.2，有机质为 1.75 mg·g⁻¹，全氮 0.053 mg·g⁻¹，碱解氮 0.015 mg·g⁻¹，缓效钾 38.15 mg·g⁻¹。定植后置于贵州大学林学院苗圃的大棚内培养。按常规方法管理。

2009 年 7 月将苗搬至大棚外进行处理。将它们分成 4 组，各 4 个重复，测定初始苗高和地径，采用不同密度、不同厚度的遮阳网遮阳，用 TES 1332A 型照度计测得其中 3 个处理的光照分别为全光照的 68%~75%(S1)，40%~49%(S2)，10%~21%(S3)，对照(ck)为 100%光照。试验期间按常规定量浇水，保持土壤湿润。

2009 年 9 月选择 2 个晴天，用 Li-6400 型便携式光合作用测定系统，在流速为 500 μmol·s⁻¹，叶面温度为 22.7℃ 下，设置 13 个不同光照强度：1 800，1 500，1 200，1 000，800，600，400，200，150，100，50，20，0 μmol·m⁻²·s⁻¹，测量各处理苗木净光合速率对光合有效辐射强度的响应；用体积分数为 95%乙醇提取法测定叶绿素 a，b 质量分数^[14]；最后用烘干法测定各处理苗木地上地下部分生物量。

1.4 数据处理

光响应曲线采用叶子飘等^[15]的方法进行拟合。新模型的理论公式为： $P_n(I) = \alpha \frac{1 - \beta I}{1 + \gamma I} I - R_d$ ； I_m
 $= \frac{\sqrt{(\beta + \gamma)/\beta} - 1}{I}$ ； $P_{max} = \alpha \left(\frac{\sqrt{(\beta + \gamma)} - \sqrt{\beta}}{\gamma} \right)^2 - R_d$ ； $I_c = \frac{\alpha - \gamma R_d - \sqrt{(\gamma R_d - \alpha)^2 - 4\alpha\beta R_d}}{2\alpha\beta}$ 。其
 中 α , β , γ 是 3 个系数； P_n 为净光合速率； I 为光合有效辐射； R_d 为植物的暗呼吸速率； I_c 为光补偿
 点； I_m 为光饱和点； P_{max} 为最大净光合速率。

采用 Excel 和 SPSS 11.5 数据处理软件进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 不同光环境下苗木光合作用光响应曲线

光响应曲线反映了植物光合速率随光照强度改变的变化规律。利用叶子飘等的新模型拟合各个光
 环境下葛藤、常春油麻藤、常春藤 1 年生苗的光响应曲线，拟合效果均较好 (R^2 值均大于 0.922) (图 1
 ~ 3)。根据新模型理论公式计算出暗呼吸速率 (R_d) 初始斜率、最大净光合速率 (P_{max})，光补偿点 (I_c) 和
 光饱和点 (I_m) 等参数 (表 1)。

表 1 不同光环境下葛藤、常春油麻藤和常春藤 1 年生苗的主要光合特征参数

Table 1 Main photosynthesis characteristic parameters of 1 year *Pueraria lobata*, *Mucuna sempervirens* and *Hedera nepalensis* var.
sinensis seedlings in different light environments

物种	处理	I_c	I_m	P_{max}	R_d	初始斜率	R^2
葛藤	ck	23.63	773.41	6.86	1.536	0.075	0.989
	S1	15.03	428.72	4.21	1.196	0.096	0.922
	S2	14.40	550.94	5.52	1.076	0.085	0.982
	S3	11.72	897.00	8.47	0.925	0.085	0.996
常春油麻藤	ck	30.01	990.12	8.56	1.057	0.036	0.990
	S1	24.42	702.99	1.86	0.567	0.028	0.994
	S2	15.09	735.88	4.63	0.814	0.061	0.993
	S3	13.17	1 059.67	5.36	0.934	0.081	0.996
常春藤	ck	28.93	937.81	4.60	1.516	0.067	0.997
	S1	38.06	803.77	2.20	1.374	0.053	0.994
	S2	36.05	1 040.49	1.25	1.359	0.073	0.995
	S3	13.53	609.85	3.41	0.946	0.086	0.968

说明： I_c , I_m , P_{max} , R_d 的单位均为 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

从表 1 中可以看出，不同的光处理对 3 种木质藤本的光补偿点、光饱和点等参数均有不同程度的
 影响。光饱和点和光补偿点用于衡量植物的需光特性，反应植物对强、弱光的利用能力，是植物对光
 强要求的上、下限^[16]。从表 1 中可以看出，4 个处理中，葛藤、常春油麻藤和常春藤的光补偿点均表
 现为在 S3 光照下的最低，说明这 3 种植物都具有一定的耐荫性。在 ck, S1, S2 和 S3 光照下的光补
 偿点的大小顺序均为常春油麻藤 > 常春藤 > 葛藤，说明葛藤利用弱光的能力比较强，3 种植物的耐荫
 性排序依次为葛藤 > 常春藤 > 常春油麻藤。

ck (全光照) 处理下，葛藤、常春油麻藤、常春藤的光饱和点和光补偿点分别为 773.14, 990.12,
 937.81 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 和 23.63, 30.01, 28.93 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。可以看出：常春油麻藤的光饱和点和光补
 偿点高，说明了常春油麻藤的喜光性；葛藤的光饱和点和光补偿点低，反应了葛藤耐荫性的同时，其

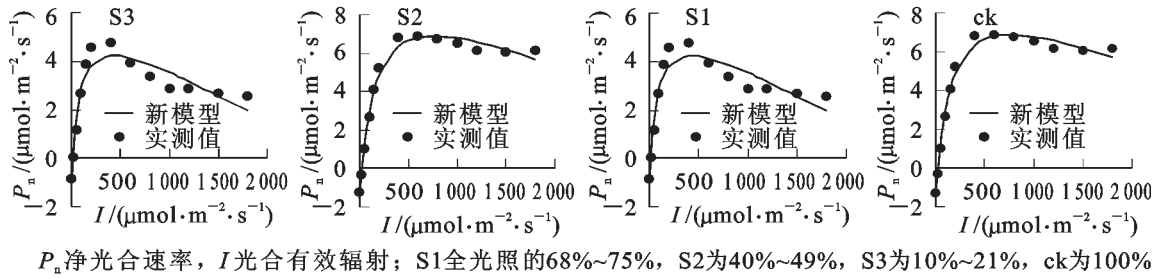


图 1 不同光环境下葛藤的光响应曲线

Figure 1 The light response curve of *Pueraria lobata* in different light environment

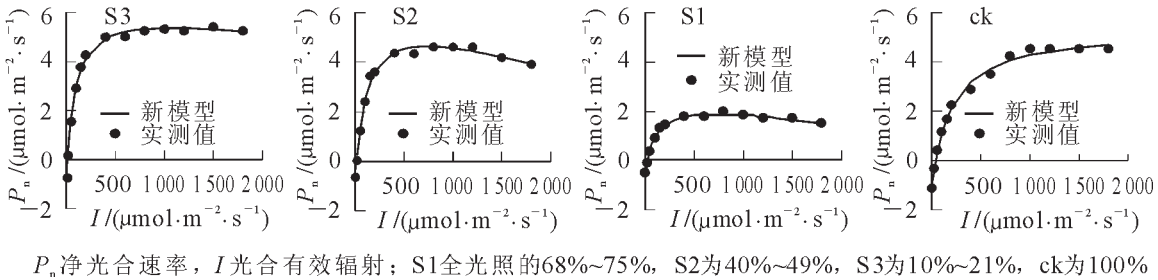


图 2 不同光环境下常春油麻藤的光响应曲线

Figure 2 The light response curve of *Mucuna sempervirens* in different light environment

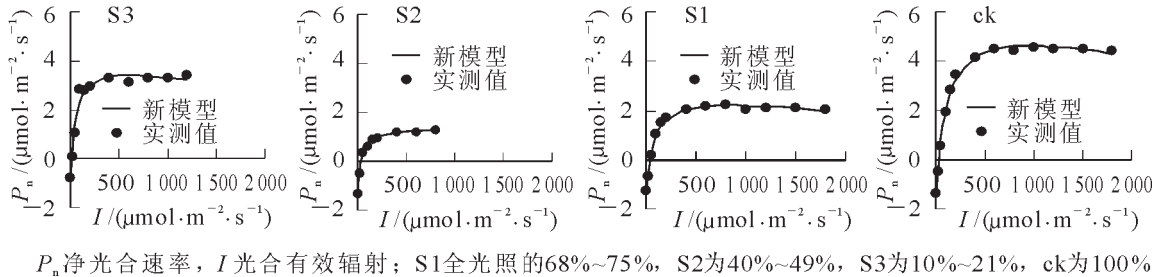


图 3 不同光环境下常春藤的光响应曲线

Figure 3 Light response curve of *Hedera nepalensis* var. *sinensis* in different light environments

对光能有效辐射的利用范围较窄；常春藤光饱和点高，光补偿点低，即常春藤具有一定的耐荫性且对光能有效辐射的利用范围也较宽。

最大净光合速率表示叶片的最大光合作用能力^[17]。葛藤的最大净光合速率表现为 $S3 > ck > S2 > S1$ ，常春油麻藤和常春藤的最大净光合速率依次为 $ck > S3 > S2 > S1$ ， $ck > S3 > S1 > S2$ 。

初始斜率是植物光响应曲线在光照强度为 0 时的斜率^[18]，反应了植物对弱光的利用效率。比较同等光照条件下不同植物的初始斜率，可以反映出植物对不同光环境的敏感程度，一定程度上说明植物对此种光环境的适应程度。从表 1 中可以看出，不同光照处理下，葛藤的初始斜率最高，常春藤次之，常春油麻藤最低，说明 3 种藤本植物幼苗对光环境反应敏感性大小依次为葛藤 > 常春藤 > 常春油麻藤，所有处理中植物的初始斜率均小于理论值 0.125^[19]。

2.2 不同光环境对苗木叶绿素质量分数的影响

叶绿素是光合作用原初反应的光能“捕获器”，在光能传递转换中起重要作用。叶片中叶绿素质量分数影响光合作用的能力和生长，是植物对光强反映敏感性的重要指标^[20]。

由表 2 知，不同程度的遮光对葛藤、常春油麻藤和常春藤的叶绿素质量分数均产生影响。表现的共同点是随着光照强度增加叶绿素质量分数降低，光照最弱的 S3 处理叶绿素质量分数最高，葛藤、

常春油麻藤和常春藤的叶绿素质量分数分别高达 2.888, 2.242 和 2.950 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$, 分别是各自全光照下的 1.42 倍、2.17 倍和 2.47 倍。这种变化与前人的观点一致。自然界相当低的光强就能有效地引起或促进叶绿素的形成, 太强的光照则引起叶绿素质量分数降低。弱光下植物叶绿素质量分数的增加是对弱光的生理适应, 有利于吸收较多的光能供光合需要。叶绿素更重要的性质是能选择性吸收光。叶绿素 a 在红光部分的吸收带偏向长光波方面, 叶绿素 b 在蓝紫光部分的吸收带较宽^[18]。从表 2 中可以看出, 不同遮光处理下, 叶绿素 a/b 值差异显著。

表 2 不同光环境下葛藤、常春油麻藤和常春藤 1 年生苗的叶绿素质量分数

Table 2 Chlorophyll contents of 1 year *Pueraria lobata*, *Mucuna sempervirens* and *Hedera nepalensis* var. *sinensis* seedlings in different light environment

物种	处理	叶绿素 a/($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)	叶绿素 b/($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)	叶绿素 a+b	叶绿素 a/b
葛藤	ck	1.443 cB	0.586 dD	2.029 bB	2.524 cB
	S1	1.579 bcB	0.657 cC	2.236 bAB	2.434 dC
	S2	1.799 abAB	0.702 bB	2.501 abAB	2.569 aA
	S3	2.073 aA	0.815 aA	2.888 aA	2.567 bA
常春油麻藤	ck	0.769 bB	0.266 cC	1.035 bB	2.954 aA
	S1	0.427 cC	0.223 dD	0.650 cB	2.381 dD
	S2	0.721 bB	0.279 bB	1.000 bB	2.654 bB
	S3	1.582 aA	0.660 aA	2.242 aA	2.433 cC
常春藤	ck	0.818 cC	0.378 dD	1.196 cC	2.170 bB
	S1	1.218 bB	0.569 cC	1.787 bB	2.181 bB
	S2	1.204 bB	0.593 bB	1.798 bB	2.040 cC
	S3	2.102 aA	0.853 aA	2.955 aA	2.470 aA

说明: 小写字母为 $P < 0.05$, 大写字母为 $P < 0.01$ 水平的显著性检验, 字母相同示差异性不显著, 不同则差异显著。

2.3 不同光环境对苗木生物量及根冠比的影响

从表 3 可以看出, 不同光环境下葛藤、常春油麻藤苗木生物量的趋势为 $S3 > S1 > S2 > ck$, 常春藤的生物量变化趋势为 $S3 > S1 > ck > S2$ 。其共同点表现为, 随着光照强度的减弱苗木的生物量均有不同程度的增加, 光照最弱的处理生物量最大。各处理间差异显著(表 3)。另外, 各处理下葛藤的生物量均大于其他 2 种, 说明葛藤的生长快于常春油麻藤和常春藤。

3 种藤本的生物量分配随光照不同而不同, 根/冠比这个指标反映了 3 种藤本的生物量分配状况。从表 3 中可以看出, 葛藤、常春油麻藤和常春藤的根冠比均表现为在 S3 光照下的最低, 即在遮阳条件下, 3 种藤本幼苗把更多的能量用于地上部分各器官的生长, 以有利于获得更多的光能用于光合作用; 随着光照强度的增加, 根冠比随之增加, 即此时的藤本幼苗将生物量相对多地分配到地下根系生长, 以适应高辐射、高光照时间, 吸收更多的矿质养分和水分, 提高生存能力。

3 结论

喀斯特区石漠化植被恢复中造林模式较多, 但成功模式甚少, 植物的选择与配置的不合理是重要原因。尽管不少专家学者对喀斯特区众多植物的生理生态进行了研究, 但并未根据其自身的生理生态适应特点进行合理利用。本研究考虑到木质藤本植物在石漠化的治理及其植被恢复中的重要性, 进行了喀斯特区常见 3 种木质藤本植物对光的生理生态适应性研究, 为喀斯特石漠化区早期造林树种选择及配置提供理论基础。根据以上的研究, 常春油麻藤的光饱和点较高, 为典型的喜光植物, 这与陈柯等^[10]的研究结果一致^[10]; 常春藤具有一定的耐荫性且对光能有效辐射的利用范围较宽; 葛藤具有耐荫

表 3 不同光环境下葛藤、常春油麻藤、常春藤 1 年生苗的生物量及生物量分配

Table 3 The biomass and biomass partition of 1 year *Pueraria lobata*, *Mucuna sempervirens* and *Hedera nepalensis* var. *sinensis* seedlings in different light environments

物种	处理	地上干质量/(g·株 ⁻¹)	地下干质量/(g·株 ⁻¹)	总生物量/(g·株 ⁻¹)	根冠比
葛藤	ck	1.747 bA	6.156 dD	7.903 dD	3.526 cC
	S1	2.123 bA	7.871 cC	9.994 bB	3.727 bB
	S2	1.541 bA	8.192 bB	9.733 cC	5.327 aA
	S3	4.465 aA	8.715 aA	13.18 aA	2.008 dD
常春油麻藤	ck	1.403 bA	1.853 dD	3.255 dD	1.223 bB
	S1	2.384 abA	2.430 aA	4.814 bB	1.036 cC
	S2	1.976 abA	2.389 bB	4.364 cC	1.157 aA
	S3	3.382 aA	2.178 cC	5.560 aA	0.623 dD
常春藤	ck	1.743 abA	1.012 cC	3.000 cC	0.592 bB
	S1	2.224 abA	1.207 bB	3.431 bB	0.538 cC
	S2	1.553 bA	1.002 dD	2.555 dD	0.673 aA
	S3	3.253a A	1.517 aA	4.770 aA	0.465 dD

说明：小写字母为 $P < 0.05$ ，大写字母为 $P < 0.01$ ，字母相同示差异性不显著，不同则差异显著。

性的同时，对光能有效辐射的利用范围较窄，过强或过弱的光能有效辐射均不利于其生长。因此在物种的选择时，应考虑到这些，合理配置。

在本研究中，葛藤 1 年生幼苗的光合特性显示出其具有一定的耐荫性，而通过野外群落调查发现葛藤均表现出其喜光性，这应该是木质藤本生活史的分异，即生活史初期具有耐荫性的特征，而后期表现出喜光种一些特征，是其对环境长期适应的一种结果。这些特征在前人的研究中也已有证实^[21]。

参考文献：

- [1] 曲仲湘. 我国南方山地森林中缠绕藤本植物的初步观察[J]. 植物生态学与地植物学丛刊, 1964, 2 (1): 1 - 9.
QU Zhongxiang. A preliminary observation on the twining shrub of mountain forest in south China [J]. *Chin J Plant Ecol Geobot*, 1964, 2 (1): 1 - 9.
- [2] 袁春明, 刘文耀, 杨国平. 哀牢山湿性常绿阔叶林林窗木质藤本植物的物种组成与多样性[J]. 山地学报, 2008, 26 (1): 29 - 35.
YUAN Chunming, LIU Wenyao, YANG Guoping. Species composition and diversity of lianas in forest gaps of montane moist evergreen broad-leaved forest in Ailao Mts, Yunnan, China [J]. *J Mt Sci*, 2008, 26 (1): 29 - 35.
- [3] 徐利霞. 石漠化山区造林树种幼苗的抗旱性研究[D]. 重庆: 西南大学, 2007.
XU Lixia. *Study on Drought Resistance of Seedlings of the Trees for Rocky Desertification Area* [D]. Chongqing: Southwest University, 2007.
- [4] 何成新, 黄玉清, 李先琨, 等. 岩溶石漠化地区几种生态恢复植物的生理生态学特征[J]. 广西植物, 2007, 27 (1): 53 - 61.
HE Chengxin, HUANG Yuqing, LI Xiankun, et al. The ecophysiology traits of three karst rocky desert restoration species [J]. *Guihaia*, 2007, 27 (1): 53 - 61.
- [5] 刘伟玲, 谢双喜, 喻理飞. 几种喀斯特森林树种幼苗对水分胁迫的生理响应[J]. 贵州科学, 2003, 21 (3): 51 - 55.
LIU Weiling, XIE Shuangxi, YU Lifei. Physiological response of several karst common tree species seedlings to water stress [J]. *Guizhou Sci*, 2003, 21 (3): 51 - 55.
- [6] 韦小丽, 徐锡增, 朱守谦. 水分胁迫下榆科植物 3 种幼苗生理生化指标的变化[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2005, 29 (2): 47 - 50.
WEI Xiaoli, XU Xizeng, ZHU Shouqian. Variation of physiological and biochemical indexes in seedlings of three Ul-

- maceae species under water stress [J]. *J Nanjing For Univ Nat Sci Ed*, 2005, **29** (2): 47 – 50.
- [7] 卢永飞. 退化喀斯特植被恢复与生境协变关系研究——以花江地区为例[D]. 贵阳: 贵州大学, 2007.
LU Yongfei. *Soil Microbial Activities During Regeneration of the Degraded Karst Vegetation: A Case Study at Hua-jiang, Guizhou* [D]. Guiyang: Guizhou University, 2007.
- [8] 宋安庆, 童方平, 易霁琴, 等. 虎杖光合生理生态特性研究[J]. 中国农学通报, 2006, **22** (12): 71 – 76.
SONG Anqing, TONG Fangping, YI Aiqin, *et al.* Studies on eco-physiological characteristics of photosynthetic of *Polygonum cuspidatum* [J]. *Chin Agric Sci Bull*, 2006, **22** (12): 71 – 76.
- [9] 卢训令. 不同干扰背景下常绿阔叶林主要优势种幼苗幼树光合生理生态特性比较——以浙江天童常绿阔叶林为例[D]. 开封: 河南大学, 2006.
LU Xunling. *Comparing Ecophysiological Characteristics of Castanopsis fargesii Seedlings and Saplings Under Different Disturbance Regimes: A Case Study of the Tiantong Evergreen Broad-Leaved Forest, Zhejiang Province of China* [D]. Kaifeng: Henan University, 2006.
- [10] 陈柯, 王小德. 常春油麻藤、中华常春藤和扶芳藤的光合特性比较分析[J]. 安徽农业大学学报, 2008, **35** (2): 196 – 199.
CHEN Ke, WANG Xiaode. Comparative analysis on photosynthetic characteristics and shade tolerance between *Mucuna sempervirens*, *Hedera nepalensis var. sinensis* and *Euonymus fortunei* [J]. *J Anhui Agric Univ*, 2008, **35** (2): 196 – 199.
- [11] 方大风, 张昌贵, 薛君艳. 3种攀援植物生理生态学特性的研究[J]. 杨凌职业技术学院学报, 2006, **5** (4): 5 – 8.
FANG Dafeng, ZHANG Changgui, XUE Junyan. Studies on the physiological and ecological characteristics of three climbing plants [J]. *J Yangling Vocat & Tech Coll*, 2006, **5** (4): 5 – 8.
- [12] 黄成林, 傅松玲, 梁淑云, 等. 5种攀缘植物光合作用与光因子关系的初步研究[J]. 应用生态学报, 2004, **15** (7): 1131 – 1134.
HUANG Chenglin, FU Songling, LIANG Shuyun, *et al.* Relationships between light and physiological characters of five climbing plants [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2004, **15** (7): 1131 – 1134.
- [13] 梁刚毅, 朱首军, 李琪. 葛藤的光合作用和光强的关系[J]. 西北林学院学报, 2007, **22** (5): 19 – 22.
LIANG Gangyi, ZHU Shoujun, LI Qi. Relationship between photosynthetic rate and light intensity in *Pueraria lobata* [J]. *J Northwest For Univ*, 2007, **22** (5): 19 – 22.
- [14] 张立军. 植物生理学实验教程[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2007.
- [15] 叶子飘, 于强. 一个光合作用光响应新模型与传统模型比较[J]. 沈阳农业大学学报, 2007, **38** (6): 771 – 775.
YE Zipiao, YU Qiang. Comparison of a new model of light response of photosynthesis with traditional models [J]. *J Shenyang Agric Univ*, 2007, **38** (6): 771 – 775.
- [16] 李洪军, 吴玉环, 张志祥, 等. 温度变化对木本植物光合生理生态的影响[J]. 贵州农业科学, 2009, **37** (9): 39 – 42.
LI Hongjun, WU Yuhuang, ZHANG Zhixiang, *et al.* Effect of temperature stress on photosynthetic physioecological characteristic of wood plants [J]. *Guizhou Agric Sci*, 2009, **37** (9): 39 – 42.
- [17] 宋安庆, 童方平, 易霁琴, 等. 光胁迫下欧洲荚蒾的光合生理生态特性[J]. 林业科学, 2008, **24** (5): 166 – 170.
SONG Anqing, TONG Fangping, YI Aiqin, *et al.* Studies on physiological characteristics of photosynthetic of *Viburnum opulus* L. under light stress [J]. *Chin Agric Sci Bull*, 2008, **24** (5): 166 – 170.
- [18] 叶子飘, 赵则海. 遮光对三叶鬼针草光合作用和叶绿素质量分数的影响[J]. 生态学杂志, 2009, **28** (1): 19 – 22.
YE Zipiao, ZHAO Zipiao. Effects of shading on the photosynthesis and chlorophyll content of *Bidens pilosa* [J]. *Chin J Ecol*, 2009, **28** (1): 19 – 22.
- [19] 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.
YE Zipiao. 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.
- [20] 代莉, 谢双喜. 皂荚1年生幼苗对不同光照强度的生态适应性[J]. 贵州农业科学, 2004, **32** (4): 14 – 16.
DAI Li, XIE Shuangxi. The ecological adaptation of 1-year *Gleditsia sinensis* seedling to different light intensities [J]. *Guizhou Agric Sci*, 2004, **32** (4): 14 – 16.
- [21] GERWING J J. Life history diversity among six species of canopy lianas in an old-growth forest of the eastern Brazilian Amazon [J]. *For Ecol Manage*, 2004, **190**: 57 – 72.