

池永宽,熊康宁,王元素,等. 喀斯特石漠化地区肾蕨的光合特性[J]. 江苏农业科学,2015,43(4):341-344.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2015.04.121

# 喀斯特石漠化地区肾蕨的光合特性

池永宽<sup>1,2</sup>,熊康宁<sup>1,2</sup>,王元素<sup>1,3</sup>,张锦华<sup>1,4</sup>,董颖苹<sup>1,2</sup>

(1. 贵州师范大学中国南方喀斯特研究院, 贵州贵阳 550001; 2. 贵州省喀斯特山地生态环境国家重点实验室培育基地, 贵州贵阳 550001; 3. 贵州省草原监理站, 贵州贵阳 550001; 4. 贵州省畜牧兽医研究所, 贵州贵阳 550005)

**摘要:**晴天,利用英国 Lepro + 光合仪研究了喀斯特石漠化地区肾蕨 [*Nephrolepis auriculata* (L.) Trime] 的光合日变化特征。结果表明:光合有效辐射与肾蕨净光合速率显著相关,与其他因子相关性不明显。光合有效辐射、大气温度是影响肾蕨蒸腾速率的限制性因素,和细胞间 CO<sub>2</sub> 浓度极显著负相关。测得肾蕨日均净光合速率 6.54 μmol/(m<sup>2</sup>·s)、蒸腾速率 5.49 mmol/(m<sup>2</sup>·s)、水分利用效率 1.29 μmol/mmol。地域环境是影响光合生理的重要因素。研究石漠化地区肾蕨光合生理特性,对石漠化生态环境恢复、水土流失防护、生态环境变化响应机制研究具有重要意义。

**关键词:**石漠化;生态环境;修复;园艺花卉;肾蕨;光合速率;蒸腾速率;水分利用效率;初步研究

**中图分类号:** Q945.11 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2015)04-0341-03

以贵州高原为中心的中国南方喀斯特地区达 55 万 km<sup>2</sup>, 是世界喀斯特分布面积最大、发育最强烈的地区,喀斯特环境与生态安全问题具有很强的典型性和代表性<sup>[1]</sup>。喀斯特石漠化是指在亚热带脆弱的喀斯特环境背景下,受人类不合理社会经济活动的干扰破坏,造成土壤严重侵蚀,基岩裸露,土地生产力下降,地表出现类似荒漠的土地退化过程<sup>[2]</sup>。石漠化不仅破坏生态环境,使土地生产力衰减,而且严重影响农、林、牧业生产,甚至危及到人类生存,是制约中国西南地区可持续发展最严重的生态地质环境问题<sup>[3]</sup>。研究该地区植物光合生理特性,探讨石山植物对环境的适应能力,对恢复喀斯特山区退化的植被生态系统有着重要意义<sup>[4]</sup>。肾蕨为骨碎补科肾蕨属多年生草本植物,是一种西南喀斯特地区常见的蕨类植物。自然条件下,肾蕨的生长方式有地生型和附生型 2 种类型,前者一般都生长在林下、溪边等潮湿半阴的环境中;而附生类型则附着生长于树干上或石隙中,依靠吸收空气中的水分、养分来生长<sup>[5]</sup>。光合作用是植物生长发育的基础,而光照可以提供植物同化力形成所需要的能量,活化参与光合作用的关键酶,促进气孔开放,一般认为,光照可以通过调节植物光合机构的组成与光合酶的含量调节植物的光合速率<sup>[6]</sup>。在自然状态下,结合环境因子测定该物种的光合作用更能直接反映该物种的光合生理过程<sup>[7]</sup>。光合特征参数的变化在很大程度上能够代表植物对环境因子的适应性反应<sup>[8]</sup>。

经过查询相关文献资料,在喀斯特石漠化这个特殊背景下研究肾蕨光合特性的文献报道几乎没有,因此本试验选取喀斯特石漠化治理区野生肾蕨为研究对象,通过研究肾蕨光合日动态变化,为石漠化治理选择适生植物提供依据,为科学开发利用提供指导。研究肾蕨在石漠化地区的光合特性不仅对石漠化生境恢复具有重要指导意义,而且有着巨大的园艺花卉经济潜力<sup>[9]</sup>。

## 1 材料与与方法

### 1.1 试验区自然概况

试验在贵州毕节撒拉溪国家“十二五”石漠化综合治理示范区(105°02′01″~105°08′09″E, 27°11′36″~27°16′51″N)的朝营村进行。试验区属于典型的喀斯特高原山地轻中度石漠化地区,平均海拔 1 600 m,主要是高中山地地貌类型,基岩裸露面积大,水土流失严重。主要土壤类型为黄壤,pH 值 6.7 左右。耕地多分布于坡面上、台地和山间谷地,形成环山梯地和沟谷坝地。旱土耕层浅薄、肥力较低。该区属亚热带季风湿润气候,冬春旱,夏季涝,年均气温 12 ℃,无霜期 245 d,年均日照时数 1 360 h,多年平均降水量 984.4 mm,降水季节分布不均匀,80% 以上的降水集中在 6—9 月的雨季,且降水多由岩隙渗入地下,区域内生活及农业用水困难。原始植被以青冈 (*Cyclobalanopsis glauca*)、火棘 (*Pyracantha fortuneana*)、杜鹃 (*Rhododendron simsii*) 等藤刺灌丛为主,局部山坡和居民地四周分布零星的云南松 (*Pinus yunnanensis*)<sup>[10-11]</sup>。石漠化综合治理以来陡坡、水土流失严重的地块都进行了退耕还林还草工程,退耕地植被以人工牧草为主。

### 1.2 试验材料与研究方法

试验材料为野生肾蕨,生长在森林迹地上。田间光合试验测定于 2014 年 4 月晴天进行,在 08:00—18:00 时段内,取中间时段基准,每隔 2 h 测定 1 次,随机选取 3 株,选取肾蕨完整成熟叶片进行试验。光合测定仪器采用英国 ADC Bioscientific 公司生产的 Lepro + 便携式光合测定仪,使用红蓝光源叶室测定叶片瞬时光合速率等指标。主要测定指标包括净

收稿日期:2014-05-23

基金项目:国家科技支撑计划重大项目(编号:2011BAC09B01);贵州省科技计划重大专项(编号:黔科合重大专项字[2014]6007号);贵州省重大科技攻关专项(编号:黔科合重大专项字[2011]6009号)。  
作者简介:池永宽(1988—),男,河北固安人,硕士研究生,主要研究方向为喀斯特草地生态建设与区域经济。E-mail: hebeichiyongkuan@163.com。

通信作者:熊康宁,教授,博士生导师,主要研究方向为石漠化综合治理、喀斯特地貌与洞穴研究。E-mail: xiongkn@163.com。

光合速率( $P_n$ )、蒸腾速率( $T_r$ )、气孔导度( $G_s$ )、细胞间  $CO_2$  浓度( $C_i$ )、大气温度( $T$ )、光合有效辐射(PAR)、大气压( $P$ )。采用 SPSS 20 和 Excel 2007 进行数据统计分析与绘图。水分利用效率  $WUE(\mu\text{mol}/\text{mmol}) = P_n/T_r$ , 反映牧草  $CO_2$  光合同化作用和蒸腾水分消耗的关系。

## 2 结果与分析

### 2.1 大气参数日变化特征

试验日主要大气因子日变化如下: PAR 在 08:00—18:00 期间的变化范围为  $361.25 \sim 2\,250.14 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ , 试验地

表1 肾蕨  $P_n$ 、 $T_r$ 、 $WUE$ 、 $G_s$  及  $C_i$  的日均值(平均值  $\pm$  标准偏差)

物种	净光合速率 [ $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ]	蒸腾速率 [ $\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ]	水分利用效率 ( $\mu\text{mol}/\text{mmol}$ )	气孔导度 [ $\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ]	细胞间 $CO_2$ 浓度 ( $\mu\text{mol}/\text{mol}$ )
肾蕨	$6.54 \pm 2.49$	$5.49 \pm 2.48$	$1.29 \pm 0.64$	$0.15 \pm 0.05$	$263.42 \pm 35.02$

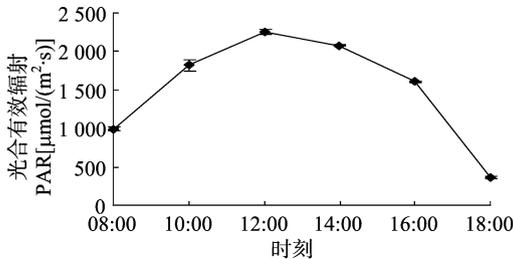


图1 光合有效辐射(PAR)日变化

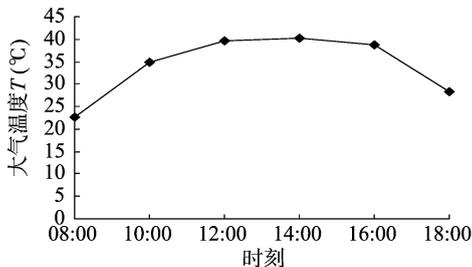


图2 大气温度(T)日变化

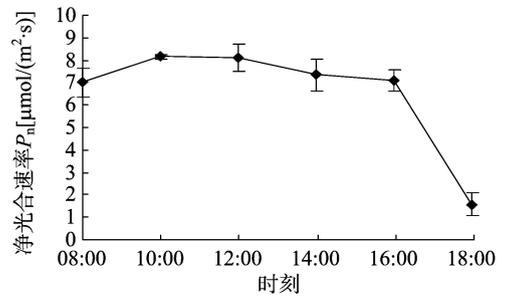


图3 肾蕨净光合速率( $P_n$ )日变化

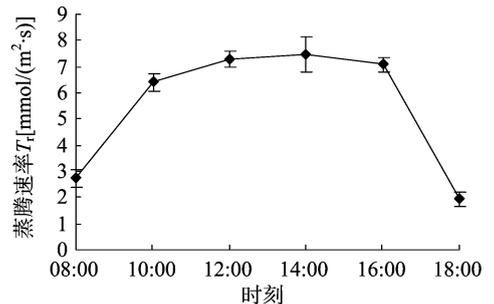


图4 蒸腾速率( $T_r$ )日变化

### 2.2 净光合速率( $P_n$ )和蒸腾速率( $T_r$ )日变化特征

肾蕨日均净光合速率  $P_n$  值为  $6.54 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。由图3可知,肾蕨的  $P_n$  日变化曲线最大值出现在 10:00,为  $8.14 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,最低值出现在 18:00,为  $1.57 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。 $P_n$  的日变化曲线在 08:00—16:00 保持较平稳的状态,变化幅度在  $6.99 \sim 7.08 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  之间,峰值较不明显,但在 16:00—18:00 期间受光照辐射影响  $P_n$  值变化较大,由  $7.08 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  很短的时间内下降到  $1.57 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,未出现光合“午休”现象。 $P_n$  与 PAR 显著相关,PAR 是影响肾蕨净光合速率的限制性因素。

肾蕨日均蒸腾速率  $T_r$  值为  $5.49 \text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。肾蕨的  $P_n$  日变化曲线为“单峰”型(图4),不存在蒸腾“午休”现象。峰值出现在下午 14:00,为  $7.48 \text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,和  $P_n$  值一样最低值出现在 18:00,为  $1.95 \text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。08:00 和 18:00  $P_n$  值较低,在 10:00—16:00 之间变化较为平缓,峰值相对不明显,在 16:00—18:00 期间同  $P_n$  一致,受 PAR 影响, $T_r$  值变化较大,由  $7.08 \text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  很短的时间内下降到  $1.95 \text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。16:00  $P_n$  值同  $T_r$  值相等。

位于山体顶部接受太阳光辐射时间较早,08:00 左右为  $989.50 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,12:00 达到峰值,为  $2\,250.14 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,一天中最低值均出现在 18:00,为  $361.25 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ (图1),PAR 日均值  $1\,517.30 \pm 716.42 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。因无遮阴影响, $T$  主要受 PAR 影响,其变化范围在  $22.67 \sim 40.10 \text{ }^\circ\text{C}$  之间,07:00 左右最低,为  $22.67 \text{ }^\circ\text{C}$ ,此后由于 PAR 的迅速增加而上升较快,到 14:00 左右达到最高值  $40.10 \text{ }^\circ\text{C}$ ,19:00 下降到  $27.94 \text{ }^\circ\text{C}$ (图2), $T$  日均值为  $28.40 \text{ }^\circ\text{C}$ 。表1为肾蕨  $P_n$ 、 $T_r$ 、 $WUE$ 、 $G_s$  及  $C_i$  的日均值。

### 2.3 水分利用效率(WUE)日变化特征

水分利用效率(WUE)是指植物消耗单位水分所生产同化物质的量<sup>[12]</sup>。肾蕨的 WUE 日均值为  $1.29 \mu\text{mol}/\text{mmol}$ ,WUE 曲线近似“L”形(图5),在 08:00 有最大值  $2.56 \mu\text{mol}/\text{mmol}$ ,最低值出现在 18:00,为  $0.80 \mu\text{mol}/\text{mmol}$ 。除在 08:00 时 WUE 超过  $2 \mu\text{mol}/\text{mmol}$  之外,其余时间 WUE 曲线较为平缓,变化在  $0.80 \sim 1.27 \mu\text{mol}/\text{mmol}$  之间。WUE 与 PAR 极显著相关。

### 2.4 气孔导度( $G_s$ )与细胞间 $CO_2$ 浓度( $C_i$ )日变化特征

肾蕨的  $G_s$  日变化曲线呈现递减趋势(图6),日均值为  $0.15 \text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。 $G_s$  曲线峰值出现在 08:00,为  $0.22 \text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,此后 10:00—18:00 之间  $G_s$  逐渐下降,10:00—16:00 之间变化不明显,变化幅度不超过  $0.1 \text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。

肾蕨的  $C_i$  日变化曲线呈现“U”形,日均值为  $263.42 \mu\text{mol}/\text{mol}$ (图7),在 08:00 时  $C_i$  较高,为  $293.33 \mu\text{mol}/\text{mol}$ ,此后缓慢下降,在 12:00 出现谷值,为

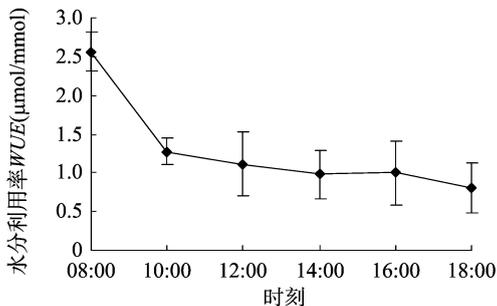


图5 肾蕨水分利用率(WUE)日变化

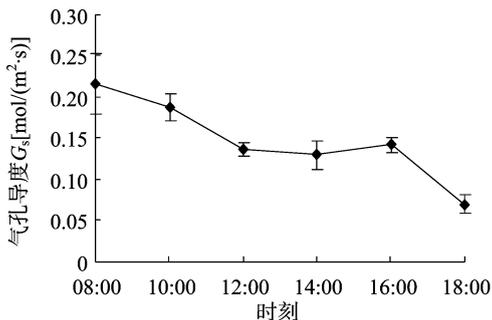
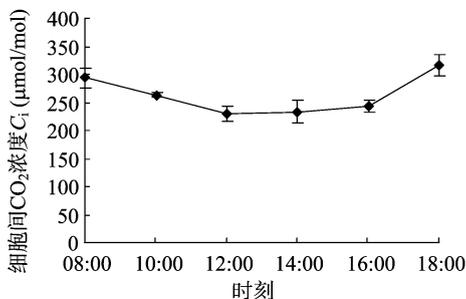


图6 肾蕨气孔导率(Gs)日变化

图7 肾蕨细胞间CO<sub>2</sub>浓度(Ci)日变化

230.71 μmol/mol, 然后缓慢上升, 在 18:00 达到最大值 316.75 μmol/mol。T<sub>r</sub> 和 C<sub>i</sub> 呈现极显著相关性。

### 2.5 净光合速率(P<sub>n</sub>)、蒸腾速率(T<sub>r</sub>)与各因子相关性分析

由表 2 可知, PAR 与肾蕨的 P<sub>n</sub> 呈显著正相关, 说明 PAR 是影响植物 P<sub>n</sub> 的重要因子; 可能受环境因素和植物趋同适应性影响, 肾蕨的 P<sub>n</sub> 与其他因子相关性不显著; PAR、T 是 T<sub>r</sub> 的限制性因素, 呈现极显著相关性, 和 C<sub>i</sub> 极显著负相关。

表 2 肾蕨净光合速率、蒸腾速率与各因子之间相关性分析

指标	相关系数					
	PAR	T	P	C <sub>i</sub>	G <sub>s</sub>	T <sub>r</sub>
P <sub>n</sub>	0.858*	0.459	0.751	-0.777	0.707	0.750
T <sub>r</sub>	0.946**	0.930**	0.611	-0.974**	0.082	

注: \* 表示在 0.05 水平显著相关, \*\* 表示在 0.01 水平极显著相关。

### 3 结论与讨论

植物的光合生理特性与其长期生长的环境密切相关, 植物可以通过改变代谢来适应环境, 在长期进化过程中形成适应环境的光合特性, 以保证其正常生长、发育、繁殖<sup>[13]</sup>。植物净光合速率的大小决定着物质积累能力的高低, 在一定程度上也决

定着植物生长的快慢, 植物生长的快慢是其在群落中占领空间取得优势的重要条件<sup>[14]</sup>。由于地理因素及肾蕨对环境的适应性, 其光照饱和点并不在 300 ~ 500 μmol/(m<sup>2</sup>·s) 之间, 而是显著高于 500 μmol/(m<sup>2</sup>·s), 并未体现明显的阴生植物的饱和和强度。受不同地理环境的影响肾蕨的净光合速率表现出不同的日变化特点<sup>[6,9,15]</sup>, 其对环境的适应性在其中起到重要作用。本研究中净光合速率与 PAR 显著相关, 与其他因素相关性不大, 说明有效辐射光合强度是其主要限制性因素。肾蕨在石漠化地区并没有表现出双峰型的净光合速率日变化, 而是表现出日变化曲线较为平缓的态势, 说明其受光、温度抑制现象不显著。肾蕨对光适应的生态幅较宽, 这将会有利于其生长、繁殖扩散, 进而在群落中取得优势地位<sup>[9]</sup>。

蒸腾速率是植物水分运营强弱的重要标志。一般净光合速率与蒸腾速率相关性很高, 因为光合产物的生成需要水分以及通过水分运载的矿物质营养成分的不断供应<sup>[16]</sup>。本研究中肾蕨的净光合速率曲线与蒸腾速率曲线差异较大, 表明二者相关性不显著。肾蕨的蒸腾速率最大值出现在 14:00, 说明其蒸腾速率与光合有效辐射相关性极显著, 并未受光合有效辐射影响而导致光合午休现象, 这与其他地区研究有所差异。此外, 蒸腾速率还与温度呈现极显著相关性, 随着温度升高, 蒸腾速率也随之上升, 高温也不是抑制蒸腾速率的原因。蒸腾速率与细胞间 CO<sub>2</sub> 浓度极显著负相关, 蒸腾速率越高细胞间 CO<sub>2</sub> 浓度越低, 此时细胞内 CO<sub>2</sub> 大量被用于光合作用。一般情况下在中午受光照和温度影响蒸腾速率会受到抑制, 但本研究中却不明显, 研究也从此说明在石漠化地区肾蕨调控水分能力与其他地区存在很大差异。

植物的水分效率主要取决于净光合速率与蒸腾速率, 受植物组织结构特征影响, 也与环境及土壤水分等因子密切相关<sup>[17-19]</sup>。肾蕨在 08:00 时净光合速率很高, 蒸腾速率较低, 随着光合有效辐射值的增加达到最大水分利用效率。此后光合速率和蒸腾速率较为接近, 导致水分利用效率较低。较低的水分利用效率是肾蕨在石漠化地区生长的主要限制性因素, 也是其在特别干燥地区的难以生长发育原因。细胞间 CO<sub>2</sub> 浓度和气孔导率一般情况下是净光合速率和蒸腾速率的限制性因子, 但在石漠化地区细胞间 CO<sub>2</sub> 浓度并未对肾蕨净光合速率表现出很强的限制性, 相关性分析也表现出相关性不是特别明显, 但是对蒸腾速率却表现出极显著的负相关性。同时, 气孔导度对净光合速率和蒸腾速率表现出的相关性不明显, 不同于其他地区。

本试验同已往试验对比得出, 肾蕨在不同地区的光合日变化特性表现出不同的趋势。地理环境因素不同可能是导致肾蕨产生机体适应性的主要原因。肾蕨在石漠化地区生理生态特性研究, 对石漠化生态环境恢复、水土流失防护治理、生态环境变化响应机制研究有重要意义。此外, 肾蕨作为一种重要园林观赏植物和药用植物, 具有重要开发前景和潜在市场, 对石漠化地区扶贫攻坚具有重要辅助作用。因此, 肾蕨在石漠化地区的光合生理特性还需要进一步研究。

### 参考文献:

- [1] 熊康宁, 陈永华, 陈 浒, 等. 点石成金——贵州石漠化综合治理技术与模式[M]. 贵阳: 贵州科技出版社 2011: 1-9.

赵 飞,蔡晓布. 不同海拔高度对藏北高寒草甸丛枝菌根真菌的影响[J]. 江苏农业科学,2015,43(4):344-346.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2015.04.122

# 不同海拔高度对藏北高寒草甸丛枝菌根真菌的影响

赵 飞, 蔡晓布

(西藏大学农牧学院,西藏林芝 860000)

**摘要:**藏北高寒草甸地区不同海拔高度对丛枝菌根真菌(*Arbuscular mycorrhizal fungi*, AMF)影响的研究结果表明,海拔高度不仅在一定范围内与 AMF 孢子密度呈负相关,而且对菌丝密度、侵染率的影响均是在一定范围内先升高后降低,在中间海拔出现最高值;通过计算发现,Shannon - Weiner 多样性指数和物种丰度在一定范围内随海拔增加表现为先升高再降低,有规律地在 4 121 ~ 4 452 m 之间出现较大值。综合比较可知,AM 真菌对莎草科植物嵩草根系具有良好的侵染效应。

**关键词:**海拔;丛枝菌根真菌;藏北;高寒草甸

**中图分类号:** Q935 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002 - 1302 (2015)04 - 0344 - 03

丛枝菌根真菌 (*Arbuscular mycorrhizal fungi*, AMF) 能与陆地上 90% 的维管植物形成专性共生体系,在植物群落演替方向、植物生态系统变化、植物种群竞争力等生态过程中发挥着重要作用<sup>[1]</sup>,在全球各个大陆都有分布<sup>[2]</sup>。尽管 AMF 在生态环境和植物生产力方面有着重要的作用,有关它的生物地理分布模式目前仍知之甚少。相关研究涉及到 AMF 在高海拔地区的分布,例如北极<sup>[3]</sup>、阿尔卑斯山<sup>[4]</sup>等,却发现没有菌根结构的形成。在相关研究中发现 AMF 不但在高海拔地区有分布<sup>[5]</sup>,在青藏高原这类被认为是较少受到人类活动影响的

少数几个地区之一也发现了 AMF 明显的分布。西藏区域内的代表性草原藏北高寒草甸,平均海拔 4 500 m 左右,因其独特的地质历史和自然条件,以及丰富的生物组成和生物群落类型,为研究 AMF 的地理分布格局提供了理想的条件。

近 10 年来,针对西藏高原的 AMF 多样性研究在逐渐增多,研究区域范围不断扩大,方法也在快速改进。蔡晓布等于 2010 年对西藏高原 37 种草地植物中 70 个带根土样的 AMF 进行了研究,发现海拔对 AMF 多样性具有重要影响,4 000 ~ 4 600 m AM 真菌多样性最丰富,显著高于 3 700 ~ 4 000 m 及 >4 600 m 地带<sup>[6]</sup>。Gai 等研究西藏色季拉山 AMF 多样性沿海拔梯度变化规律时发现,孢子密度与海拔呈负相关,但是 Shannon - Weiner 多样性与海拔关系不大<sup>[7]</sup>。但到目前为止,引起 AMF 群落变化的驱动因素还不能被最终确定下来。目前,海拔对西藏高原 AMF 种群多样性、侵染率及孢子密度的影响等问题正日益受到国内外研究者的重视。为此笔者开展了海拔对藏

收稿日期:2014 - 11 - 11

基金项目:国家自然科学基金(编号:41161043)。

作者简介:赵 飞(1989—),女,河南平顶山人,硕士研究生,研究方向为植物营养。E - mail:zhaofei52502@163.com。

通信作者:蔡晓布,博士,教授,从事土壤与植物营养教学与研究。E - mail:xbcai21@163.com。

[2]熊康宁,池永宽. 中国南方喀斯特生态系统面临的问题及对策[J]. 生态经济,2015,31(1):23-30.

[3]王世杰. 喀斯特石漠化——中国西南最严重的生态地质环境问题[J]. 矿物岩石地球化学通报,2003,22(2):120-126.

[4]张中峰,黄玉清,莫 凌,等. 岩溶区 4 种石山植物光合作用的光响应[J]. 西北林学院学报,2009,24(1):44-48.

[5]曹轩峰,陈红武. 肾蕨栽培管理技术[J]. 北方园艺,2004(4):48-49.

[6]崔秋芳,先旭东,石章锁. 肾蕨的耐荫性及园林应用研究[J]. 现代农业科技,2007(19):24-25,30.

[7]林夏珍,卢 婷. 遮光对窄头藁吾形态及光合特性的影响[J]. 浙江林学院学报,2008,25(5):614-618.

[8]李小俊,张明如,张利阳,等. 太行山低山丘陵区 5 种木本植物光合特性的比较[J]. 浙江农林大学学报,2011,28(2):180-186.

[9]刘海岗,黄忠良. 不同附生植物种类光合生理生态特性的研究[J]. 湖北农业科学,2008,47(8):874-879.

[10]池永宽,熊康宁,张锦华,等. 喀斯特石漠化地区三种豆科牧草光合与蒸腾特性的研究[J]. 中国草地学报,2014,36(4):116-120.

[11]池永宽,熊康宁,王元素,等. 贵州石漠化地区灰绿藜和鹅肠菜

光合日动态[J]. 草业科学,2014,31(11):2119-2124.

[12]徐祥明,曹建华,李小方,等. 岩溶环境下牧草光合速率日动态和水分利用效率研究[J]. 江苏农业科学,2007(3):161-165.

[13]马阔东,高 丽,闫志坚,等. 库布齐沙地三种植物光合、蒸腾特性和水分利用效率研究[J]. 中国草地学报,2010,32(2):116-120.

[14]Pinker R T, Zhang B, Dutton E G. Do satellites detect trends in surface solar radiation? [J]. Science, 2005, 308(5723):850-854.

[15]钱璐璐,雷江丽,庄雪影. 华南地区 7 种常见园林地被植物水分适应性研究[J]. 中国园林,2012(12):95-99.

[16]孙启忠,桂 荣,那日苏,等. 赤峰地区不同生长年限沙打旺生产力的研究[J]. 中国草地,1999,05(5):30-35.

[17]沈 羽,张开梅,方焱明. 蕨类植物修复土壤与净化水体的研究进展[J]. 江苏农业科学,2014,42(1):11-14.

[18]丁晓浩,何云核. 10 种观赏蕨类植物的耐阴性[J]. 江苏农业科学,2013,41(6):148-150.

[19]杨 劼,高清竹,乌力吉,等. 库布齐沙地油蒿蒸腾作用特征及其与环境因子的关系[J]. 内蒙古大学学报:自然科学版,1999,3(30):372-376.