



## 营养液 pH 对 3 种藤本植物生长和 叶绿素荧光的影响

吴沿友<sup>1,2</sup>, 邢德科<sup>1</sup>, 朱咏莉<sup>1</sup>, 梁 铮<sup>1</sup>

(1 现代农业装备与技术省部共建教育部重点实验室/江苏省重点实验室, 江苏大学农业工程研究院, 江苏镇江 212013; 2 中国科学院地球化学研究所 环境地球化学国家重点实验室, 贵阳 550002)

**摘要:**以金银花、牵牛花、爬山虎 3 种藤本植物为材料, 在不同 pH 营养液培养, 对其株高、茎粗、植株干重、叶绿素含量、叶绿素荧光等指标进行了测定分析。结果表明: (1) 随着营养液 pH 的升高, 金银花各生长指标和叶绿素含量逐渐升高并在 pH 为 8.2 时达到最大值, 爬山虎在 pH 为 6.2 时各生长指标和叶绿素含量达到最大值, 牵牛花在 pH 从 5.2 变化到 9.2 之间, 除了植物干重外, 各生长指标和叶绿素含量的值变化不大。(2) 随着 pH 的升高, 金银花的 PS 最大光能转化效率( $F_v/F_m$ )、PS 的潜在活性( $F_v/F_0$ )、PS 捕获激发能的效率( $F_m/F_0$ )及 PS 实际光化学效率( $\Phi_{PSII}$ )明显上升, 并在 pH 为 8.2 处达到最大值, 爬山虎各参数值则明显下降; 牵牛花在 pH 为 6.2 处达到最大值后, 随着 pH 的升高再无明显变化。可见, 金银花更适应于喀斯特等偏碱性(pH 8.2)的环境生长。

**关键词:**金银花; 牵牛花; 爬山虎; 叶绿素荧光; 喀斯特; pH

中图分类号: Q945.79 文献标识码: A

## Effects of pH on Growth Characters and Chlorophyll Fluorescence of Three Vine Plants

WU Yan-you<sup>1,2</sup>, XING De-ke<sup>1</sup>, ZHU Yong-li<sup>1</sup>, LIANG Zheng<sup>1</sup>

(1 Key Laboratory of Modern Agricultural Equipment and Technology, Ministry of Education & Jiangsu Province, Institute of Agricultural Engineering Jiangsu University, Zhenjiang, Jiangsu 212013, China; 2 State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China)

**Abstract:** The plant height, stem diameters, dry weights, chlorophyll contents and chlorophyll fluorescence characteristics of leaves of several vine plants, Honeysuckle, Morning glory, and Japanese creeper, which were cultured in solution at different pH level (5.2, 6.2, 7.2, 8.2, and 9.2), were determined. The result indicated that the growth parameters and chlorophyll contents of Honeysuckle increased with the increase of pH, and reached the highest value at pH 8.2. Those parameters and chlorophyll contents of Japanese creeper reached the highest value at pH 6.2. The growth parameters except plant dry weights and chlorophyll contents of Morning glory had no significant differences with the increase of pH.  $F_v/F_m$ ,  $F_v/F_0$ ,  $F_m/F_0$  and  $\Phi_{PSII}$  in Honeysuckle increased with the increase of pH, and reached also the highest value at pH 8.2. Those of chlorophyll fluorescence parameters in Japanese creeper decreased with the increase of pH. The chlorophyll fluorescence parameters in Morning glory reached the highest at pH 6.2. Subsequently, those of chlorophyll fluorescence parameters had no significant variation with the increase of pH. Thus, we

\* 收稿日期: 2008-11-06; 修改稿收到日期: 2009-01-18

基金项目: 国家重点基础研究发展计划项目(2006CB403206); 中国科学院百人计划项目

作者简介: 吴沿友(1966-), 男(汉族), 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事环境地球化学方面的研究。E-mail: yanyouwu@ajs.edu.cn

can infer that Honeysuckle adapted itself to the alkaline Karst environment (pH 8.2).

Key words: honeysuckle; morning glory; Japanese creeper; chlorophyll fluorescence; Karst; pH

喀斯特环境是脆弱的生态环境,喀斯特地区基岩裸露,岩石透水、漏水、保水力差,土层浅薄干燥,pH 值及钙镁离子浓度高,影响了植物对营养元素的吸收,妨碍植物的正常生长发育<sup>[1]</sup>。土壤高 pH 值是造成喀斯特环境脆弱的重要因子。

喀斯特山地退化生态环境的综合治理和恢复技术自 20 世纪 80 年代以来得到广泛深入研究,但一些关键性的科技问题尚未完全解决,如喀斯特石漠化地区先锋植物品种的选育等方面的关键技术问题<sup>[2]</sup>。藤本植物在生态防护中具有独特的优势<sup>[3]</sup>。其中的金银花(*Lonicera japonica* Thunb.)根系发达,穿透能力强,可穿越岩缝,向四周岩层深入扎根,吸收范围很大,所以,具有极强的耐旱、耐瘠能力<sup>[4]</sup>。它的适应石漠化地区干旱和高温的生理生态学适应特征和避旱避高温策略,使其成为西南岩溶石漠化地区先锋物种<sup>[5]</sup>。目前,人们对金银花的研究大多集中在栽培、病虫害防治、药用成分分析等<sup>[6,7]</sup>方面,而关于金银花对于喀斯特地区高 pH 的适应性的研究还未见报道。

光合结构特别是光系统 II 对不同环境胁迫非常敏感,逆境胁迫的轻重与 PS II 捕获激发能的效率( $F_m/F_0$ )、PS II 的潜在活性( $F_v/F_0$ )等叶绿素荧光参数值被抑制的程度之间存在着正相关,它们可作为植物抗逆的指标<sup>[8,9]</sup>; PS II 原初光能转化效率( $F_v/F_m$ )也是较常用的参数,它和  $F_v/F_0$  能说明光系统 II 潜在的量子效率<sup>[10]</sup>。利用叶绿素荧光动力学方法可以快速、灵敏、无损伤探测逆境对植物光合作用的影响,可以把叶绿素荧光作为植物对不同环境胁迫响应的指示器,进而研究植物对环境胁迫的忍受能力<sup>[11-14]</sup>。

本实验则以喀斯特适生藤本植物金银花为研究材料,以常见藤本植物牵牛花(*Pharbitis nil*)与爬山虎[*Parthenocissus tricuspidata* (Sieb. et Zucc.) Planch]作为对比植物,模拟西南喀斯特地区土壤高 pH 的环境特点,用 pH 不同的营养液对 3 种藤本植物进行培养,根据其株高、茎粗、植物干重、叶片叶绿素含量及叶绿素荧光特性等生长状况的不同,比较金银花与牵牛花、爬山虎生长的优劣,分析金银花对于土壤高 pH 的适生情况,来验证金银花对于喀斯特地区土壤偏碱性的适应性。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料培养与处理

实验于 2008 年 5~8 月份在江苏大学生物机电工程研究院人工气候室内进行。实验材料为金银花、爬山虎、牵牛花等 3 种藤本植物。采用凡尔赛(Versailles)营养液作为母液,通过盐酸及氢氧化钠调节营养液 pH 值,配成 pH 值分别 5.2、6.2、7.2、8.2 和 9.2 的 5 种营养液。于温度 23~27℃、湿度 70%、光照强度( $280 \pm 20$ )  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  条件下在营养液中水培 3 种植物,每种营养液做 6 次重复,培养周期 1 个月。8 月份于人工气候室内测定植株的各生长指标和叶绿素荧光参数。

### 1.2 测定指标及方法

1.2.1 生长指标的测定 株高利用直尺测定,均为根茎连接处至植株顶端的长度;茎粗用游标卡尺测定(精确度为 0.02 mm),统一测植物根茎连接处的茎粗;叶绿素含量用 SPAD-502 叶绿素含量测量仪测定,在各植株上均匀选取生长良好的叶片进行测定。对各个指标进行测定时,每种植物每个水平处理下选取 3 株,每株植物重复测定 3 次,最后在每个水平下选取余下的 3 株植物在烘箱中 80℃ 下烘干,再用电子天秤称其总干重。

1.2.2 叶绿素荧光参数的测定 用德国 Heinz Walz GmbH 公司生产的 IMAGING-PAM 调制式荧光仪,于人工气候室内对不同 pH 营养液培养的 3 种藤本植物进行叶绿素荧光的测定,测定指标包括 PS II 实际光化学效率( $F_{ps}$ )、PS II 最大光能转化效率( $F_v/F_m$ )、PS II 的潜在活性( $F_v/F_0$ )、PS II 捕获激发能的效率( $F_m/F_0$ )等荧光参数,测定前先将叶片暗适应 20 min。

### 1.3 数据处理

数据采用 Excel、SPSS 等软件进行统计分析并整理作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同 pH 对 3 种藤本植物生长和叶绿素含量的影响

2.1.1 株高和茎粗 从图 1, A 中可以看出, pH 从 5.2 增加到 9.2, 牵牛花株高整体上变化不明显, 在 37~51 cm 范围内上下波动。其中, pH 为 6.2 和 8.

2 时,株高出现最大值,株高最小时仍为最大值的 73%;金银花株高则随着 pH 的升高而逐渐增大,并于 pH 为 8.2 时达到最大值,它是株高最小值的 3 倍;爬山虎株高则呈现出与金银花类似的变化趋势,其在 pH 5.2 ~ 8.2 之间变化不大,随着碱性的增强,其株高急剧下降(由 8.2 时的 25.93 cm 急剧下降到 9.2 时的 9.63 cm)。由图 1,C 可以看出,牵牛花和爬山虎的茎粗变化不显著,而金银花的茎粗基本呈逐渐增加的趋势,并在 pH 8.2 时达到最大值。

2.1.2 植株干重 在图 1,B 中,金银花植物干重在 pH 为 8.2 时达到最大值,总体上随着 pH 的升高而逐渐增大,pH 8.2 时的干重比 pH 6.2 时显著增加;牵牛花在 pH 6.2 和 pH 8.2 处植物干重处于较高的水平;爬山虎在 pH 6.2 ~ 9.2 范围内,植物干重随着碱性的增强而逐渐降低,pH 9.2 处的植物干重比 pH 6.2 处显著降低。

总之,随着 pH 的升高,每种植物的株高、茎粗及植物干重的变化都有着明显的一致性,即无论是

株高、茎粗还是植物干重,随着 pH 的升高,金银花各生长指标均一致性升高,并在 pH 8.2 处达到最大值,而牵牛花在 pH 为 7.2 时各指标值有一定的下降,但爬山虎各指标值则是在 pH 6.2 时达到最大值。

2.1.3 叶片叶绿素含量 图 1,D 为不同 pH 下 3 种藤本植物叶片叶绿素含量的变化。其中,牵牛花叶片叶绿素含量随 pH 的逐渐提高大致在 28% ~ 35% 之间波动,不同 pH 处理间差异较小;金银花叶片中叶绿素含量则随着 pH 的升高明显增大,并在 pH 为 8.2 处达到最大值,而在 pH 5.2 ~ 6.2 时叶绿素含量最低;爬山虎的叶片叶绿素含量在 pH 为 6.2 处达到最大值。以上结果说明,金银花在碱性环境下仍能够保持较高的叶绿素含量。

2.2 不同 pH 对金银花等 3 种藤本植物叶绿素荧光参数的影响

$F_v/F_m$ 、 $F_v/F_0$  和  $F_m/F_0$  分别代表 PS 最大光能转化效率、潜在活性和捕获激发能的效率,是研究

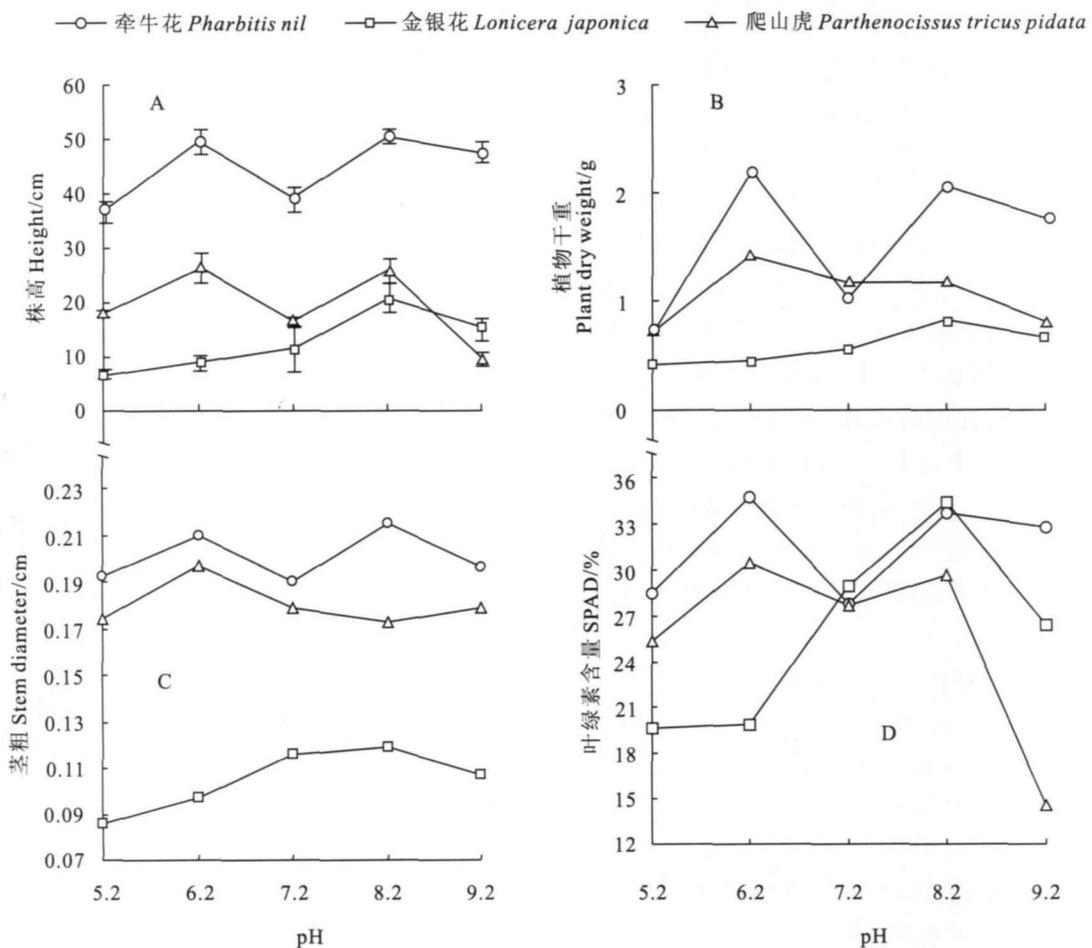


图 1 不同 pH 下 3 种藤本植物株高(A)、植株干重(B)、茎粗(C)和叶绿素含量(D)的变化  
 Fig. 1 Changes of plant height (A), plant dry weight (B), stem diameter (C) and chlorophyll content (D) of three vine species at different pH levels

植物胁迫的重要参数,而  $F_v/F_m$  代表 PS 实际光合效率<sup>[15]</sup>.本实验结果表明(图 2),在 5 种不同 pH 的营养液中培养的金银花、牵牛花和爬山虎,其各自的 4 种叶绿素荧光参数随 pH 的升高有着几乎相同的变化曲线.其中,随着 pH 的升高,金银花的上述 4 种叶绿素荧光参数值均明显上升,并都在 pH 为 8.2 处达到最大值;爬山虎的各个参数值则明显下降;牵牛花则在 pH 为 6.2 处达到最大值后,随着 pH 的增高再无明显变化.

$F_v/F_m$  是 PS 最大光化学量子产量,反映 PS 反应中心内光能转换效率或称最大 PS 的光能转换效率,其变化代表 PS 光化学效率的变化,是光合作用抑制程度的重要指标之一<sup>[15]</sup>.随着 pH 的升高,金银花的 PS 原初光能转换效率增大,潜在活性被激发出来,从而促进了金银花叶片光合作用的原初反应;爬山虎的 PS 原初光能转换效率则下

降,其潜在活性中心受损,从而抑制了爬山虎叶片光合作用的原初反应;牵牛花 PS 原初光能转换效率下降但降幅较小,表明其 PS 反应中心内光能转换效率和潜在活性只受到轻微影响或影响不大.

另外,金银花的  $F_v/F_0$  和  $F_m/F_0$  值随着 pH 增大明显升高,同样都在 pH 为 8.2 处达到最大值,说明其 PS 捕获激发能的效率和光合作用的原初反应都明显增强;爬山虎的  $F_v/F_0$  和  $F_m/F_0$  值则明显下降,说明 pH 逆境影响了爬山虎 PS 捕获激发能的效率和光合作用的原初反应;而牵牛花则似乎受到影响不大.

同时,随着 pH 的升高,金银花的 PS 实际光合效率( $\phi_{PSII}$ )增强,表现出较好的光合特性,并在 pH 为 8.2 时达到最大值;而爬山虎实际光合效率则明显下降,牵牛花实际光合效率同其它叶绿素荧光参数值一样,并无明显变化.

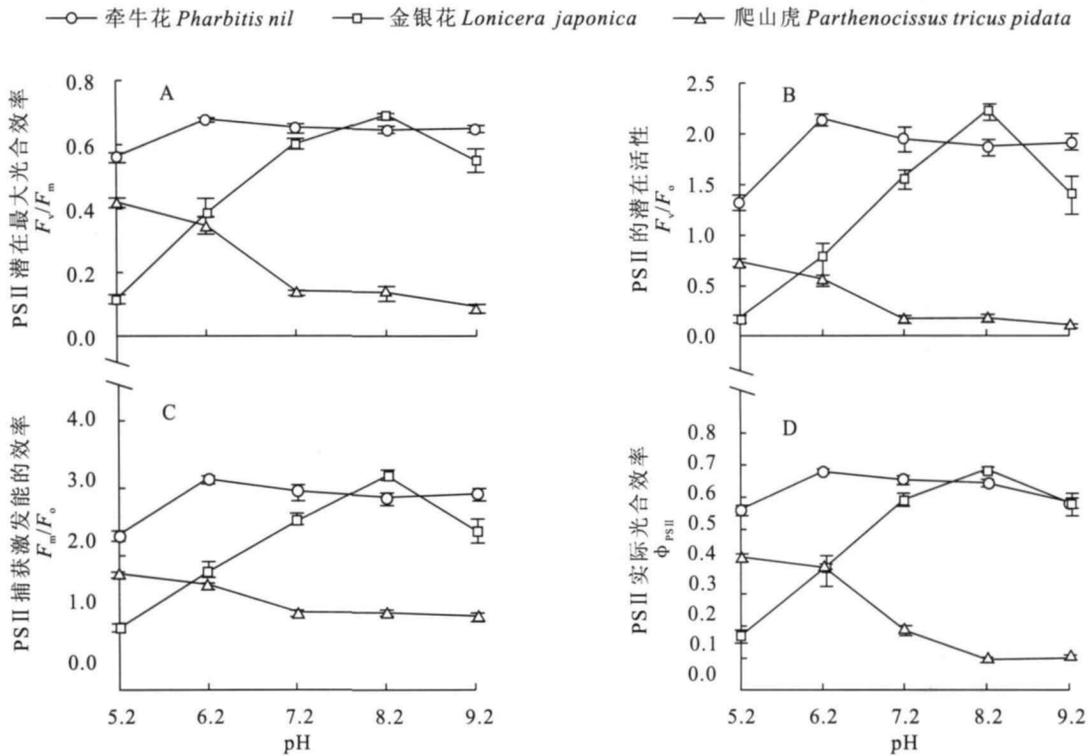


图 2 不同 pH 下 3 种藤本植物叶绿素荧光参数的变化

Fig. 2 Changes of chlorophyll fluorescence characteristics in three vine species at different pH levels

### 3 讨论

在本实验条件下,牵牛花、金银花、爬山虎的生长指标在不同 pH 营养液中呈现出不同的变化趋势.总的来说,金银花的株高、茎粗、植物干重都随着 pH 的升高而明显增大,并在 pH 为 8.2 时达到最大值;而爬山虎则明显不同,自 pH 大于 6.2,其各生

长指标则明显下降,牵牛花则在整个 pH 变化范围内,大多数生长指标都没有明显变化.结果表明,在酸性至中性环境下,爬山虎的株高、茎粗、植物干重各指标值明显大于碱性情况下,说明爬山虎在酸性至中性环境下生长良好,一旦营养液碱性增强,爬山虎的生长即受到明显抑制;而在偏碱性环境下(pH < 9.2),金银花的株高、茎粗、植物干重各指标值明

显大于酸性和中性情况下,即金银花在偏碱性环境中生长良好;牵牛花则普遍适应于弱酸到中性、偏碱性的环境。

叶绿素含量的多少直接影响植物光合作用的强弱。植物受到逆境胁迫时,各种生理过程都会受到影响,从而直接或间接影响到植物叶绿素的含量<sup>[16,17]</sup>。在水分逆境下,葡萄中叶绿素的绝对含量下降,葡萄各荧光参数  $F_v$ 、 $F_m$ 、 $F_v/F_m$  也都随着葡萄水分的流失而逐渐下降<sup>[18]</sup>。在本实验 pH 逆境下,爬山虎叶绿素含量有所下降,导致其 PS 原初光能转化效率 ( $F_v/F_m$ ) 同样下降,最终导致其他荧光参数一致性下降;而金银花的叶绿素含量的升高,表明碱性环境下有利于其叶片叶绿素的生成,同时也保证了金银花可以拥有较高的 PS 原初光能转化效率 ( $F_v/F_m$ ), 所以其 PS 实际光合效率 ( $P_s$ ) 也同样升高,即金银花可以在碱性环境下较好地生长;牵牛花叶绿素含量受 pH 的影响不大,没有较大起伏,所以牵牛花各项荧光参数值都没有较大变化。

光合作用是植物生长发育的基础,为植物的生长发育提供了所需的物质和能量<sup>[19]</sup>。逆境胁迫对植物光合作用的影响是多方面的,不仅直接引发光合机构的损伤,同时也影响光合电子传递及与暗反应有关的酶活性。利用叶绿素荧光动力学方法可以快速、灵敏、无损探测逆境对植物光合作用的影响, $F_m/F_0$ 、 $F_v/F_0$  可作为植物抗逆的指标。相对于碱性环境,本实验的金银花在偏酸性至中性条件下的  $F_v/F_0$ 、 $F_m/F_0$  值都明显较低,说明金银花叶片光合

结构在酸性、中性环境中受到损伤,光合电子传递效率降低,PS 潜在活性中心受损,导致其实际光合效率  $P_s$  较小,不足以提供金银花生长所需的物质与能量,所以其在偏酸环境下的株高、茎粗、植物干重、叶绿素含量的值都较小,生长较差;在中性至偏碱性环境下,金银花的  $F_v/F_0$ 、 $F_m/F_0$  值较大,表明其光合结构未受损伤,光合作用正常,所以生长也较好。爬山虎的表现则恰恰相反,其在中性至碱性条件下的  $F_v/F_0$ 、 $F_m/F_0$  值较酸性条件下低,营养液 pH 过高使得爬山虎光合结构遭到破坏,暗反应有关的酶活性受到抑制,光合效率降低,最终使得其各生长指标的值不如酸性条件下的高。而牵牛花无论在酸性、碱性还是中性条件下,其  $F_v/F_0$ 、 $F_m/F_0$  值始终都没有较大波动,牵牛花叶片的光合电子传递效率及暗反应有关的酶活性都没有受到较大影响,能够保持正常的光合作用,所以牵牛花各生长指标的值也没有受到太大影响,生长良好。

综上所述,金银花无论从生长指标、叶绿素含量,还是从叶绿素荧光参数值的变化上,都表明金银花对碱性环境具有较强的适应性,植株可以在高 pH 环境下保持较好的生长状况;叶绿素荧光参数值也显示,金银花在高 pH 环境下可以拥有很高的光合速率,对其本身同化物的积累具有很大的贡献。喀斯特地区土壤偏碱性,不利于一些植物的生长,而金银花适应这种碱性环境,这为选择金银花作为喀斯特适生植物提供了一个依据。

## 参考文献:

- [1] LIU T(刘涛), LIJ(李靖), WANG R P(王瑞萍), ZHANG Y L(张玉龙). Preliminary discussion on ecological repairing and comprehensive improving patterns of the rocky desertification in karst areas of Southwest China[J]. Haihe Water Resources (海河水利), 2007, (1): 47 - 49(in Chinese).
- [2] CHEN X(陈训), LONG CH CH(龙成昌). Ecological restoration of the karst areas and the strategy of "establishing province by ecological way"[J]. Guizhou Forestry Science and Technology(贵州林业科技), 2006, 34(1): 28 - 29(in Chinese).
- [3] ZHANG ZH Y(张朝阳), ZHOU F X(周凤霞), XU G F(许桂芳). Application of liana in ecological restoration of side slope[J]. Research of Soil and Water Conservation(水土保持研究), 2007, 14(4): 462 - 464(in Chinese).
- [4] WU Q H(吴庆华), YU L Y(余丽莹), HUANG B Y(黄宝优). The establishment techniques of honey suckle for the treatment of rocky desertification[J]. Li Shizhen Medicine and Materia Medica Research(时珍国医国药), 2006, 17(1): 22 - 23(in Chinese).
- [5] HUANG Y Q(黄玉清), WANG X Y(王晓英), LU SH H(陆树华), WANG Q(汪青), ZHAO P(赵平). Studies of photosynthesis, transpiration and water use efficiency of some dominant species in rocky desert area, Guangxi, China[J]. Guihaia(广西植物), 2006, 26(2): 171 - 177(in Chinese).
- [6] XU H(许卉), ZHAO L P(赵丽萍). Effects of salt stress on physiology and biochemistry of *lonicera japonica*[J]. Hubei Forestry Science

- and Technology (湖北林业科技), 2007, 1: 9 - 12 (in Chinese).
- [7] XIANG Z N, NING Z X. Scavenging and antioxidant properties of compound derived from chlorogenic acid in South-China honeysuckle [J]. Food Science and Technology, 2008, (41): 1 189 - 1 203.
- [8] FENG J C (冯建灿), HU X L (胡秀丽), MAO X J (毛训甲). Application of chlorophyll fluorescence dynamics to plant physiology in adverse circumstance [J]. Economic Forest Research (经济林研究), 2002, 20(4): 14 - 18 (in Chinese).
- [9] YANG X Q (杨晓青), ZHANG S Q (张岁岐), LIANG Z S (梁宗锁), SHAN Y (山 颖). Effects of water stress on chlorophyll fluorescence parameters of different drought resistance winter wheat cultivars seedlings [J]. Acta Bot. Boreal.-Occident. Sin. (西北植物学报), 2004, 24(5): 812 - 816 (in Chinese).
- [10] LUO Q H (罗青红), LI ZH J (李志军), WU W M (伍维模), HAN L (韩 路). Comparative study of photosynthetic and chlorophyll fluorescence characteristics of populus euphratica and p. pruinosa [J]. Acta Bot. Boreal.-Occident. Sin. (西北植物学报), 2006, 26(5): 983 - 988 (in Chinese).
- [11] JIANG C D, GAO H Y, ZOU Q. Changes of donor and acceptor side in photosystem complex induced by iron deficiency in attached soybean and maize leaves [J]. Photosynthetica, 2003, 41: 267 - 271.
- [12] MOMMER L, VISSER E J W. Underwater photosynthesis in flooded terrestrial plants: a matter of leaf plasticity [J]. Ann. Bot., 2005, 96: 581 - 589.
- [13] PANDA D, RAO D N, SHARMA S G, STRASSER R J, SARKAR R K. Submergence effect on rice genotypes during seedling stage: probing of submergence driven changes of photosystem by chlorophyll a fluorescence induction O-J-FP transients [J]. Photosynthetica, 2006, 44: 69 - 75.
- [14] VYAL Y A, DYUKOVA G R, LEONOVA N A, KHRYSANIN V N. Adaptation of the photosynthetic apparatus of the immature broad-leaf trees to the floodplain conditions [J]. Russ. J. Plant Physiol., 2007, 54: 58 - 62.
- [15] HU X H (胡学华), PU G L (蒲光兰), XIAO Q W (肖千文), LIU Y H (刘永红), DENG J L (邓家林). Effects of water stress on chlorophyll fluorescence in leaves of plum (*Prunus salicina* Lindl.) [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture (中国生态农业学报), 2007, 15(1): 75 - 77 (in Chinese).
- [16] SUN X F (孙晓方), HE J Q (何家庆), HUANG X D (黄训端), PING J (平 江), GE J L (葛结林). Growth characters and chlorophyll fluorescence of goldenrod (*Solidago canadensis*) in different light intensities [J]. Acta Bot. Boreal.-Occident. Sin. (西北植物学报), 2008, 28(4): 752 - 758 (in Chinese).
- [17] XIAO L (肖 丽), GAO R F (高瑞凤), SUI F G (隋方功). Effects of chloride stress on the photosynthesis and chlorophyll content of Chinese cabbage seedlings [J]. Soil and Fertilizer Sciences in China (中国土壤与肥料), 2008, (2): 44 - 47 (in Chinese).
- [18] WRIGHT H, DELONG J, LADA R, PRANGE R. The relationship between water status and chlorophyll a fluorescence in grapes (*Vitis* spp.) [J]. Postharvest Biol. Technol., 2008, 8 909: 1 - 7.
- [19] KOU W F (寇伟锋), LIU ZH P (刘兆普), CHEN M D (陈铭达), ZHENG Q S (郑青松), ZHAO G M (赵耕毛), ZHENG H W (郑宏伟). Effects of sea water at different concentrations on the photosynthesis and chlorophyll fluorescence properties of oil sunflower seedlings [J]. Acta Bot. Boreal.-Occident. Sin. (西北植物学报), 2006, 26(1): 73 - 77 (in Chinese).