

干旱胁迫过程中外源钙对忍冬光合生理的影响

李强^{1,2}, 曹建华¹, 余龙江², 栗茂腾², 廖金晶², 甘露²

1. 中国地质科学院岩溶地质研究所/国土资源部岩溶动力学重点实验室, 广西 桂林 541004;

2. 华中科技大学生命科学与技术学院, 湖北 武汉 430074

摘要:以不同浓度Ca²⁺对干旱胁迫处理下的忍冬进行化学调控,研究外源Ca²⁺对干旱胁迫处理下忍冬叶片中叶绿素含量、可溶性糖含量、游离脯氨酸含量、过氧化氢酶活性以及光合速率的影响,以探讨外源Ca²⁺对缓解干旱胁迫下忍冬光合作用下降的作用机制。结果表明,干旱胁迫下,忍冬的正常生理代谢明显受到抑制,叶绿素质量分数、可溶性糖质量分数、游离脯氨酸质量分数、过氧化氢酶活性以及光合速率分别降低到0.4 mg·g⁻¹、0.06~0.1 mg·g⁻¹、0.8 mg·g⁻¹、0.25 u·mg⁻¹和12~14 μmol·m⁻²·s⁻¹;当施入钙离子后,干旱胁迫对忍冬的伤害得到不同程度的缓解,并在最大程度上稳定叶绿素含量和CAT活性;并能使脯氨酸和可溶性糖的积累显著减少。说明外源Ca²⁺能够在一定程度上弥补干旱胁迫导致的Ca²⁺亏缺,使植物维持较正常的生理活动,稳定细胞膜结构,维持体内离子吸收平衡,维持较高的光合速率并保护光合结构。

关键词:忍冬;干旱胁迫;光合生理;Ca²⁺

中图分类号:S682.11;S565.401

文献标识码:A

文章编号:1674-5906(2010)10-2291-06

分布在中国西南7省1市、区域面积约54×10⁴ km²的岩溶区作为全球最大的裸露石灰岩地区,生态退化,石漠化趋势日趋严重,严重制约当地社会经济发展^[1]。为此,国务院在《国家中长期科学和技术发展规划纲要》(2006—2020)中将“桂黔滇等喀斯特地区的石漠化综合治理”列入我国国民经济和社会发展的第十一个五年计划纲要。广西、贵州、重庆等岩溶区则通过忍冬(*Lonicera japonica* Thunb)产业基地的建设探索石漠化治理模式,以恢复岩溶生态系统生产力,维持和提高岩溶生态系统的可持续性发展。

忍冬是忍冬科忍冬属植物,其干燥花蕾或带初开的花,俗称“金银花”,具有疏风散热,清热解毒的功效,主要用于急性热病及各种急性感染性疾病,是临床上常用药物之一^[2]。忍冬不但具有较高的经济价值,而且还由于其根系发达,适应性强,具有抗旱、耐涝、耐寒、耐瘠薄等特点,在生态环境建设及水土保持上具有重要作用,在我国西南岩溶山区广泛栽培用于生态治理和增加农民收入^[3]。

忍冬具有重要经济价值和生态价值,其形态解剖与抗旱性、水分胁迫对其质量的影响近年来屡见报道^[4-6],但关于其在干旱条件下的光合生理特征以及外施Ca²⁺能否缓解岩溶干旱胁迫对其光合生理的伤害机理研究极少,本文通过在人工水分胁迫试验条件下对其耐旱性做出评价,以便于研究忍冬在岩溶干旱环境下的适时灌溉以及如何在石漠化地

区大力发展金银花产业具有重要的意义。

1 材料与方法

1.1 材料与处理

供试忍冬原产河南封丘(非岩溶环境),并于上世纪90年代初引种到广西弄拉(岩溶环境)^[7]。在广西弄拉引种成功后,选取健壮无病虫害的忍冬枝条进行扦插。本次实验将2 a生的忍冬植株移植在内装岩溶土壤的盆钵中(土壤15 kg),并随机分为4组,每组5盆。所有土壤在实验之间经过蒸馏水淋滤,除去土壤中大部分游离态钙离子。K1组为30 mmol·L⁻¹ CaCl₂处理下的土壤渐进干旱及复水对照组;K2组为15 mmol·L⁻¹ CaCl₂处理下的土壤渐进干旱及复水对照组;K3组为土壤渐进干旱及复水对照组;K4组为每天浇150 mL蒸馏水对照组。土壤相对体积含水量(用%表示)。土壤相对体积含水量分别达到30%~35%后即造成叶片萎蔫时进行复水,同时保持实验组体积含水量基本一致。

1.2 测定方法

1.2.1 叶绿素质量分数(用C表示)的测定采用浸提法^[8]。

1.2.2 可溶性糖含量测定采用蒽酮比色法^[9]。

1.2.3 过氧化氢酶(CAT)活性测定采用比色法,按公式($A_{240} \times V_T$)/0.1 × $V_t \times t \times Fw$ 计算CAT活性^[10]。

1.2.4 游离脯氨酸含量的测定采用磺基水杨酸提取茚三酮显色法^[11]。

基金项目:国家科技支撑计划课题(2006BAC01A16);国家自然科学基金项目(41003038);中国博士后基金项目(20100470804);广西自然科学基金项目(2010GXNSFB013004);中国地质科学院岩溶地质研究所专项资金项目(2008002)

作者简介:李强(1978年生),男,博士,主要从事岩溶生态学研究。E-mail: glqiangli@163.com

收稿日期:2010-09-10

1.2.5 土壤体积含水量测定

采用人为控制水分的方法以获取盆栽土壤不同的干旱胁迫程度。试验1 d前浇水使土壤水分饱和,利用澳大利亚 ICT 公司生产的手持 TDR(MP-160)土壤水分探头监测土壤体积分含水量的变化。1 d后获得初期水分梯度,土壤相对体积分含水量为 90.8%左右,开始进行第 1 次光合生理参数的测定。以后通过自然耗水,每隔 1 d 获取 1 个水分梯度,分别为 70.3%、65.7%、45.4%、35.2%、80%、78%时分别进行测定(图 1)。尽管 K4 实验组每天浇 150 mL 蒸馏水,但由于盆栽体积较大,在水分快速蒸发的条件下,其水分梯度与 K1 和 K2 组基本一致。

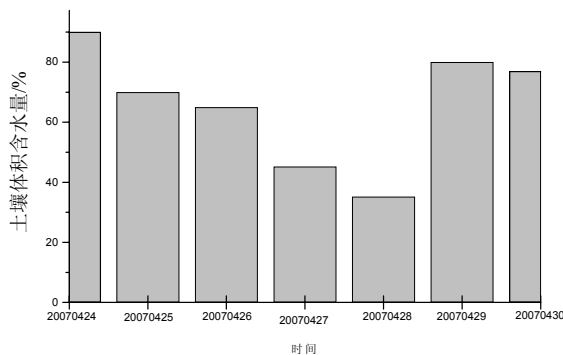


图 1 土壤体积分含水量
Fig.1 The moisture of soil

1.2.6 光合速率测定

利用 LI-6400 开路系统测定渐进干旱以及土壤复水过程中忍冬在 8:00 时的光合速率来探讨不同浓度外源钙处理对其影响。每次测定 3 张叶片,每个叶片重复 6 次,并取平均值。

1.3 统计分析

采用 Sigmaplot 和 origin 6.0 软件结合进行数据统计分析并绘图。

2 结果与讨论

2.1 土壤渐进干旱及复水过程中忍冬叶片叶绿素质量分数变化

叶绿素是高等植物进行光合作用的基础,在植物遭受干旱胁迫时叶绿体的片层结构被破坏,叶绿素的生物合成过程减弱,并导致已经合成的叶绿素分解加快,叶绿素总量减少,叶绿素 *a* 和叶绿素 *b* 下降,一般认为二者质量分数的变化幅度可以作为品种对干旱胁迫敏感性强弱的指标,变幅较大的抗旱性差^[12-14]。

叶绿素代谢是一个动态平衡过程,干旱胁迫会打破这种平衡并造成叶绿素质量分数的变化。由图 2 可看出忍冬叶片叶绿素质量分数在土壤水分减少

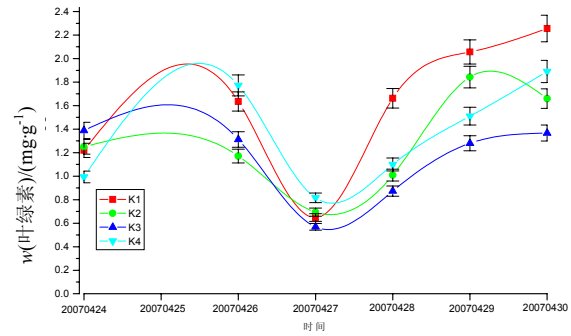


图 2 土壤渐进干旱及复水过程中忍冬叶内叶绿素变化规律
Fig.2 The chlorophyll content in *Lonicera japonica* Thunb during drought stress and rewatering

及复水过程中为双峰图(变化幅度为 1~1.4 mg·g⁻¹)。2007年4月24—27日在土壤水分减少过程中叶片叶绿素含量先升后降,先升体现了植物对干旱胁迫的适应性,因为在岩溶干旱逆境胁迫过程中忍冬叶片将会产生应激反应,造成叶绿素质量分数的相应升高,但随着岩溶干旱逆境的加剧,造成叶绿素合成代谢过程受阻的同时降解加速,造成叶绿素质量分数出现后降的过程。在土壤体积分含水量最低的28日其叶绿素质量分数不是最低,反而出现上升的趋势是因为随着干旱胁迫时间的延长使叶片失水、含水量降低、叶片扩展生长受阻,产生浓缩效应所致^[15]。在土壤复水之后(29—30日),叶片扩展生长大大加快,出现对叶绿素合成的促进补偿效应,进而造成忍冬叶片的叶绿素质量分数在29日出现峰值。随着叶绿体功能的修复以及代谢过程的常态化,其叶绿素含量快速恢复到实验前的水平^[16]。因而忍冬叶片叶绿体功能的快速修复机制对提供其抗旱能力具有重要的作用。

此外,通过对比 K1、K2、K3 和 K4 实验组忍冬叶内叶绿素含量,可以看出施加外源钙能够在一定程度上提高忍冬的抗旱能力,从而使 K1 组的叶绿素含量高于 K2 实验组,说明施加外源钙能够在一定程度上缓解干旱胁迫造成的伤害,进而提高植物的抗旱能力。

2.2 土壤渐进干旱及复水过程中忍冬叶内可溶性糖质量分数变化

可溶性糖是细胞主要渗透调节物质之一,植物生长受到干旱胁迫时,体内可溶性糖含量会显著增加,干旱胁迫下植株体内可溶性糖含量的增加不是光合作用增强的结果,而是植物适应干旱逆境,通过一定的代谢活动在细胞体内积累渗透调节物质,维持膨压势的具体表现^[17-18]。此外,在逆境胁迫下,由于植物的光合系统受到破坏,大分子碳水化合物的合成受到抑制,进而转向合成低分子质量的蔗糖

等物质^[19]。

在干旱胁迫及复水过程中,忍冬叶内可溶性糖变化曲线为双峰图(变化幅度约为 $0.1 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$),并与忍冬叶内叶绿素变化趋势基本一致(图 2 和图 3)。在干旱渐进过程的初期(24—27 日),随着干旱胁迫强度的增加,忍冬通过增加可溶性糖对干旱逆境作出反应,并达到 $0.1 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 的最大值,从而维持细胞内渗透平衡;在后期由于叶绿体受损,造成可溶性糖合成受阻并导致其质量分数降低;随着干旱的进一步加剧造成叶片含水量降低而引起可溶性糖浓度上升;复水之后(29—30 日)随着植物机体修复转而合成大分子碳水化合物,进而小分子可溶性糖的合成受阻,并使其质量分数降低。

为进一步研究干旱胁迫下外源钙对忍冬叶内可溶性糖变化的影响,对不同实验组进行了对比分析,发现可溶性糖质量分数为 $K1>K2>K3>K4$,说明在土壤渐进干旱过程中添加外源钙能有效提高植物的抗旱性(图 3),并对干旱胁迫产生适应反应。

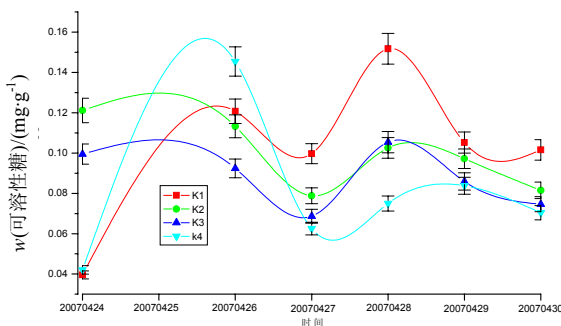


图 3 土壤渐进干旱及复水过程中忍冬叶内可溶性糖质量分数变化规律

Fig. 3 The soluble sugar content in *Lonicera japonica* Thunb during drought stress and rewatering

2.3 土壤渐进干旱及复水过程中忍冬叶片游离脯氨酸质量分数变化

脯氨酸是植物蛋白质的组分之一,以游离态广泛地存在植物体中,正常条件下,植物体中游离脯氨酸的含量不多,约在 $0.2\sim 0.7 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 干质量范围内,占总游离氨基酸的百分之几,但在逆境条件下(干旱、盐渍、冷冻等)植物体内游离脯氨酸可增加 10~100 倍,达到游离氨基酸的 40%以上,尤其干旱胁迫下脯氨酸积累最多^[15]。

从图 4 可以看出,忍冬叶内的脯氨酸质量分数从 4 月 24 日—27 日呈现先升后降的趋势,并在 28 日到达最低值,体现了忍冬对干旱胁迫的适应性;28 日叶内脯氨酸质量分数迅速升高可能是由于胁迫时间延长,叶片相对含水量缓慢降低衬托了脯氨酸质量分数的增加趋势所致。在土壤复水之后(29—30 日),叶片扩展生长大大加快,出现对脯氨酸

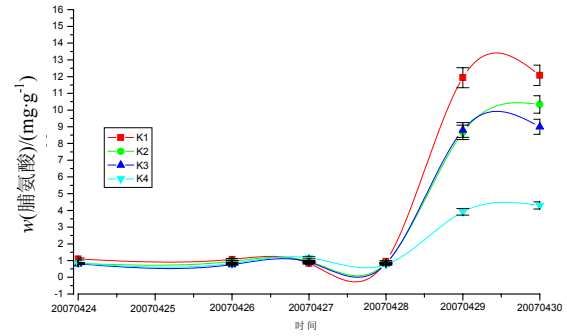


图 4 土壤渐进干旱及复水过程中忍冬叶内脯氨酸含量的变化

Fig. 4 The variation of proline in *Lonicera japonica* Thunb during drought stress and rewatering

合成的促进补偿效应,进而造成忍冬叶片的脯氨酸质量分数在 29 日出现峰值,并于 30 日呈现降低的趋势。

忍冬叶内脯氨酸质量分数在干旱渐进以及复水后在各实验组中的相对大小为: $K1>K2>K3>K4$,进而说明忍冬在 K1 组的耐旱性的作用优于 K2。此外,外源钙在干旱逆境下对忍冬叶内脯氨酸积累有一定的缓解作用以维持细胞渗透平衡。

2.4 土壤渐进干旱及复水过程中忍冬叶片游离过氧化氢酶活性变化

当植物遭受干旱胁迫时,体内 O_2^- 大量产生,从而对植物细胞造成伤害。过氧化氢酶(CAT)作为植物体内一种保护酶之一,在逆境下清除生物自由基方面担负有重要功能。它的主要生理作用是催化 H_2O_2 分解成 H_2O 和 O_2 ,使得 H_2O_2 不至于同 O_2^- 在铁螯合物作用下反应生成有害的 OH^- ,从而对酶系统起到防御作用,保护机体免遭伤害^[20]。

在干旱渐进过程中,忍冬叶内 CAT 含量呈现先升高后降低的趋势,从而说明在干旱初期为清除生物自由基而促进保护酶的合成;而在干旱胁迫的后期乃至叶片萎蔫时,由于植物清除生物自由基的能力受到限制造成 CAT 含量的下降。在植物复水之后,其叶内的 CAT 含量在一定程度上升高。

为充分了解外源钙浓度对忍冬属植物 CAT 活性的影响,我们还研究了添加 $30 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1} \text{ CaCl}_2$ 、 $15 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1} \text{ CaCl}_2$ 土壤对其 CAT 活性在土壤渐进干旱及复水过程中的变化规律。通过图 5 可以看出,外源钙的添加能有效提高植物的 CAT 活性,并且 $15 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1} \text{ CaCl}_2$ 对提高其 CAT 活性效果最好,如果 Ca^{2+} 浓度过高将会导致其生理的紊乱并引起 CAT 活性下降。

2.5 忍冬在干旱渐进以及复水过程中的光合速率变化特征

为研究忍冬在干旱渐进以及复水过程中的光

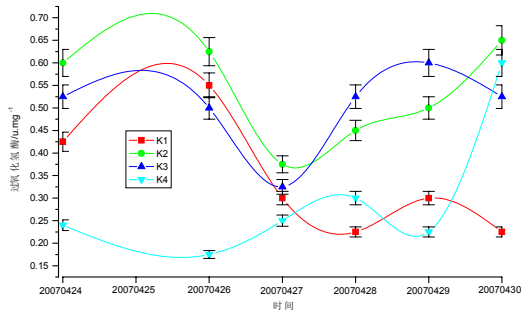


图5 土壤渐进干旱及复水过程中忍冬叶内过氧化氢酶活性的变化

Fig.5 The variation of catalase enzyme activity in *Lonicera japonica* Thunb under drought stress and rewatering

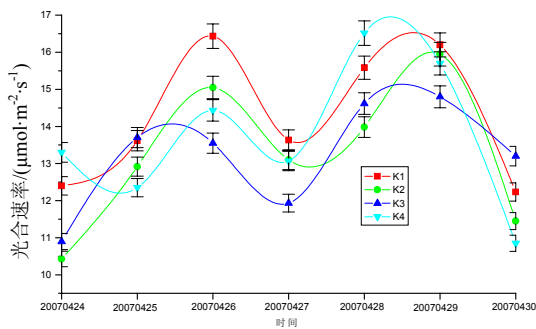


图6 旱胁迫对忍冬光合速率的影响

Fig.6 The effect of drought stress on the photosynthetic characteristics in *Lonicera japonica* Thunb under drought stress and rewatering

合特征,本文还连续观测了不同实验组忍冬在8:00的光合速率,进而了解忍冬在干旱胁迫下其光合速率作出的响应机制。

通过图6可以看出忍冬在干旱渐进过程中(24—27日),其光合速率变化趋势为先升高后降低,随着干旱的加剧,光合速率又开始升高,并在复水之后下降。此外,通过对比忍冬在不同处理条件下的光合速率,可以看出 $30\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 外源钙处理效果较好,能显著提高其在干旱条件下的光合速率。

植物在遭受干旱时,植物叶片的气孔开度变小,气孔阻力增大,影响了光合、呼吸所需的气体交换,蒸腾减少,防止水分散失,这是植物抗旱性的重要表现^[21-23]。此外,植物在干旱渐进过程中,植物为抵御外界环境胁迫,通过提高叶绿体质量分数来缓解伤害,从而在一定程度上引起植物光合速率的提高,随着干旱加剧,植物的光合系统受损从而将导致其光合速率下降。

通过盆栽试验对比分析 15 、 $30\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 CaCl_2 处理对忍冬属植物在土壤干旱渐进以及复水过程中的光合速率。可以看出:适度外源钙处理能使忍冬气孔阻力增大,蒸腾强度减小,呼吸强度减

小,光合速率得到提高。因为 Ca^{2+} 是植物光合作用所必需的元素,它参与了诸如气孔运动、光合作用、光敏色素度提高到 $6\sim 10\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 以上,从而活化了依赖于Ca-CAM的NAD激酶,促使NADP合成等生理过程^[24]。在光合作用中,光照通过膜上的光敏色素可使叶绿体内游离 Ca^{2+} 的浓度通过吸收外源钙而升高,进而提高光合速率。不同浓度的外源钙对实验种进行处理后所引起的光合速率变化也不一致,反应出植物对外源钙的耐受范围(图6)。此外,钙处理可以抑制膜相对透性的增大及叶片相对含水量的下降,增强植物的抗旱性。

实验还表明,在干旱胁迫下,经外源钙处理的忍冬叶片保持高的光合速率。在同样程度的干旱胁迫下,外源钙处理叶片具有较高的羧化效率,其光合作用由气孔限制向非气孔限制的转变亦较晚,并增大气孔对干旱胁迫的反应能力,在干旱胁迫下气孔阻力很快上升,抑制了水分过分消耗,光合作用相对活性提高,使细胞质膜和叶绿体膜系结构完整性提高,膜上酶活性增大。且经外源钙处理的植株叶绿体膜完整性和稳定性得到提高,增大了气孔反应的灵敏性和调节能力,有利于叶片保持较高的水分状态,这是钙在气孔水平上的有益作用^[25-26]。

3 小结

正常生长条件下,植物细胞内活性氧自由基的产生与清除处于动态平衡,细胞内自由基的水平很低,不会对植物造成伤害;在逆境胁迫下,植物会启动自身体内的抗氧化系统,通过提高CAT活性,形成一些抗氧化次生物质,有效清除活性氧自由基,抵御氧化伤害,并产生大量的游离脯氨酸以及可溶性糖。叶绿素质量分数不但反映光合能力的大小,而且还可指示植物对水分胁迫的敏感性。

本研究结果表明忍冬通过提高叶绿素、游离脯氨酸和可溶性糖质量分数以及增加CAT活性来缓解干旱胁迫造成的伤害,进而抵御干旱胁迫。

随着土壤干旱程度加重,植物的膜脂过氧化作用加强,导致活性氧含量增加,质膜透性加大,离子平衡失调,代谢紊乱而使其叶绿体结构受损、渗透调节物质外逸以及抗氧化酶活性降低。而通过添加植物耐受范围内的外源钙可以提高其抗旱能力。

通过对比不同浓度外源 Ca^{2+} 处理对忍冬在干旱渐进过程中的叶绿素、游离脯氨酸、可溶性糖的质量分数以及CAT活性、日光合速率的影响,可以看出外源钙处理的忍冬通过增加叶绿素质量分数和CAT活性,来提高其光合速率,减轻活性氧对叶绿体结构的破坏;并能使脯氨酸和可溶性糖的积累显著减少,从而减轻膜脂过氧化,维持膜的相对稳定性,增强抗旱性,提高其光合速率,并且合

适浓度外源 Ca^{2+} 的添加能降低其气孔开度, 从而使其适应岩溶干旱环境, 这种适应在添加 CaCl_2 后不是克服气孔因素而提高光合速率, 而是通过一系列的生化调节机制来适应干旱环境。

参考文献:

- [1] YUAN Daoxian. On the Karst Ecosystem[J]. ACTA Geologica Sinica: 2001, 75(3): 336-338.
- [2] 中华人民共和国国家药典委员会. 中华人民共和国药典[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004: 1-200.
The Pharmacopoeia Commission of People's Republic of China. The Pharmacopoeia of People's Republic of China[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2004: 1-200.
- [3] 彭素琴, 谢双喜. 金银花的生物学特性及栽培技术[J]. 贵州农业科学: 2003, 31(5): 27-29.
Peng Ssuqin, Xie Shuangxi. Primary analysis on biological characters of honeysuckle (*Lonicera japonica*)[J]. Guizhou Agricultural Sciences: 2003, 31(5): 27-29.
- [4] 徐迎春, 张佳宝, 蒋其鳌, 等. 水分胁迫对忍冬生长及金银花质量的影响[J]. 中药材, 2006, 29(5): 420-423.
XU Yingchun, ZHANG Jiabao, JIANG Qiao, et al. Effects of water stress on the growth of *Lonicera japonica* and quality of honeysuckle[J]. Journal of Chinese Medicinal Materials: 2006, 29(5): 420-423.
- [5] 李强, 邓艳, 余龙江, 等. 两种忍冬属植物叶表皮扫描电镜观察及其生态适应性的研究[J]. 广西植物: 2007, 27(2): 146-151.
LI Qiang, DENG Yan, YU Longjiang, et al. Research on structure of leaf epidermis of two species of *Flos Lonicerae* by SEM and its ecological adaptation[J]. Guihaia: 2007, 27(2): 146-151.
- [6] 吴耿, 栗茂腾, 刘建民, 等. 广西弄拉几种适生药材叶片对岩溶环境的生态适应[J]. 现代生物医学进展, 2008, 8(2): 341-345.
WU Geng, LI Maoteng, LIU Jianming, et al. The ecological adaptation of several medicinal materials to the karst environment in Guangxi Nongla[J]. Progress in Modern Biomedicine: 2008, 8(2): 341-345.
- [7] 邓艳, 蒋忠诚, 覃星铭, 等. 岩溶生态系统中不同植被枯落物对土壤理化性质的影响及岩溶效应[J]. 生态学报, 2009, 29(6): 3307-3315.
DENG Yan, JIANG Zhongcheng, QIN Xingming, et al. Impacts of litter on physical and chemical soil properties and its karst effects on different forested Karst ecosystem[J]. Acta Ecologica Sinica: 2009, 29(6): 3307-3315.
- [8] 潘玲玲, 徐晓洁, 谭晶晶, 等. 分光光度法快速测定玉米叶片中的叶绿素[J]. 分析化学, 2007, 35(3): 413-415.
PAN Lingliang, XU Xiaojie, TAN Jingjing, et al. Spectrophotometric determination of chlorophyll concentrations in maize leaves[J]. Chinese Journal of Analytical Chemistry: 2007, 35(3): 413-415.
- [9] 张慧茹. 生物化学试验原理和方法[M]. 银川: 宁夏人民出版社: 143-145.
ZHANG Huiru. Experimental theory and methods of biochemistry[M]. Yinchuan: People's press of Ningxia, 1999: 143-145.
- [10] 邹琦. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 1-54.
ZHOU Qi. Plant Physiology Experiment Guidance[M]. Beijing: Press of Chinese Agriculture, 2000: 1-54.
- [11] 职明星, 李秀菊. 脯氨酸测定方法的改进[J]. 植物生理学通讯, 2005, 41(3): 355-357.
ZHI Mingxing, LI Xiuju. Improvement on the method for measuring proline content[J]. Plant Physiology Communications: 2005, 41(3): 355-357.
- [12] 高三基, 罗俊, 陈如凯, 等. 甘蔗品种抗旱性光合生理指标及其综合评价[J]. 作物学报: 2002, 28(1): 94-98.
GAO Sanji, LUO Jun, CHEN Rukai, et al. Photosynthetic physiology indexes of the drought resistance of sugarcane and its comprehensive evaluation[J]. Acta Agronomica Sinica, 2002, 28(1): 94-98.
- [13] 赵广东, 刘世荣, 马全林. 沙木蓼和沙枣对地下水位变化的生理生态响应 I: 叶片养分, 叶绿素, 可溶性糖和淀粉的变化[J]. 植物生态学报, 2003, 27(2): 228-234.
ZHAO Guangdong, LIU Shirong, MA Quanlin. Ecophysiological responses of two *xerophytes atraphaxis frutescens* and *elaegnus angustifolia* to the change of groundwater depth in arid area I. Changes in leaf nutrient, chlorophyll, soluble sugar and starch contents[J]. Acta Phytocologica Sinica, 2003, 27(2): 228-234.
- [14] 胡颂平, 梅捍卫, 邹桂花, 等. 正常与水分胁迫下水稻叶片叶绿素含量 QTL 分析[J]. 植物生态学报, 2006, 30(3): 479-486.
HU Songping, MEI Hanwei, ZHOU Guihua, et al. Analysis of quantitative trait LOCI for chlorophyll content in rice leaves under drought stress[J]. Chinese Journal of Plant Ecology: 2006, 30(3): 479-486.
- [15] 郝树荣, 郭相平, 王为木, 等. 水稻拔节期水分胁迫及复水对叶片叶绿体色素的影响[J]. 河海大学学报: 自然科学版: 2006, 34(4): 397-400.
HAO Shurong, GUO Xiangping, WANG Weimu, et al. Effects of water stress and rewating at shooting stage of rice on chlorophyll pigments in leaves[J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2006, 34(4): 397-400.
- [16] 王磊, 胡楠, 张彤, 等. 干旱和复水对大豆(*Glycine max*)叶片光合及叶绿素荧光的影响[J]. 生态学报, 2007, 27(9): 3630-3636.
WANG Lei, HU Nan, ZHANG Tong, et al. Effects of drought and rewating on photosynthesis and chlorophyll fluorescence of the soybean leaf [J]. ACTA Ecologica Sinica, 2007, 27(9): 3630-3636.
- [17] STEARTET G R, LEE J A. The role of proline accumulation in halophytes[J]. Planta, 1974, 120(3): 279-289.
- [18] BLACKMAN S A, OBENDORF R L, LEOPOLD A C. Maturation proteins and sugars in desiccation tolerance of developing soybean seeds[J]. Plant Physiology: 1992, 100(1): 225-230.
- [19] DURE III L. Structural motifs in Lea proteins[C]// CLOSE T J, BRAY E A. Plant response to cellular dehydration during environmental stress. Rockville, MD: American Society of Plant Physiologists, 1993: 91-103.
- [20] GONG Ming, CHEN Shanna, SONG Yiqian, et al. Effect of calcium and calmodulin on intrinsic heat tolerance in relation to antioxidant systems in maize seedlings[J]. Australian Journal of Plant Physiology: 1997, 24(3): 371-379.
- [21] BOGORAD L, VASIL I K. The Photosynthetic Apparatus[M]. California: Academic Press Inc, 1991: 302-321.
- [22] 武玉叶, 李德全. 土壤水分胁迫对冬小麦叶片渗透调节及叶绿体超微结构的影响[J]. 华北农学报, 2001, 16(2): 87-93.
WU Yuye, LI Dequan. Effects of soil water stress on osmotic adjustment and chloroplast ultrastructure of winter wheat leaves[J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica: 2001, 16(2): 87-93.
- [23] 薛立, 薛晔, 任向荣, 等. PEG 模拟干旱条件下尾叶桉和枫香苗木的生理响应[J]. 生态环境学报, 2009, 18(2): 614-620.
XUE Li, XUE Ye, REN Xiangrong, et al. Biophysical response of *Eucalyptus urophylla* and *Liquidambar formosana* seedlings to PEG stress. Ecology and Environmental Sciences: 2009, 18(2): 614-620
- [24] JONES R G, LUNT O R. The function of calcium in plants[J]. The

Botanical Review, 1967, 33(4): 407-426.

[25] FARQUHAR G D, SCHULZE E D, KUPPERS M. Responses to humidity by stomata of *Nicotiana glauca* L. and *Corylus avellana* L. are consistent with the optimization of carbon dioxide uptake with respect

to water loss[J]. Australian Journal of Plant Physiology: 1980, 7: 315-327.

[26] FARQUHAR G D, SHARKEY T D. Stomatal conductance and photosynthesis[J]. Annual Review of Plant Physiology: 1982, 33: 317-321.

Effect of exogenous calcium on the photosynthetic characteristics of *Lonicera japonica* Thunb under drought stress

LI Qiang^{1,2}, CAO Jianhua¹, YU Longjiang², LI Maoteng², LIAO Jinjing², GAN Lu²

1. Institute of Karst Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Guilin 541004, China;

2. School of Life Science and Technology, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China

Abstract: *Lonicera japonica* Thunb is an important special with high drought resistance planted at karst area in Southwestern China. However, drought stress how to limit *Lonicera japonica* Thunb's photosynthetic characteristics is not clear. A series pot-cultivation experiments were performed to investigate the effects of exogenous calcium on chlorophyll content, soluble sugar content, proline content, and photosynthetic rate of *Lonicera japonica* Thunb under drought stress, with the possible action mechanisms of Ca^{2+} discussed. Due to the drought stress effect, the content of chlorophyll, soluble sugar, proline, catalase enzyme activity and photosynthetic characteristics in *Lonicera japonica* fall to $0.4 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$, $0.06\text{-}0.1 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$, $0.8 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$, $0.25 \text{ u}\cdot\text{mg}^{-1}$ and $12\text{-}14 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ respectively. However, when soil pre-treatment with the suitable Ca^{2+} concentration during drought stress, it will increase catalase enzyme activity and chlorophyll content, which will alleviate cell membrane leakage and chlorophyll decomposition. Moreover, proline content and soluble sugar content will decrease compared with the results without soil pre-treatment with the suitable Ca^{2+} concentration.

Key words: *Lonicera japonica* Thunb; drought stress; photosynthetic characteristics; Ca^{2+}