

赵 燕, 李莎莎, 柳晨意, 等. 铝胁迫对刺槐幼苗光合色素和矿质元素含量的影响[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(4): 200–202.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2015.04.073

# 铝胁迫对刺槐幼苗光合色素和矿质元素含量的影响

赵 燕<sup>1</sup>, 李莎莎<sup>2</sup>, 柳晨意<sup>1</sup>, 黄 勇<sup>2</sup>, 张文会<sup>2</sup>, 吕艳伟<sup>2</sup>

(1. 聊城大学农学院, 山东聊城 252059; 2. 聊城大学生命科学学院, 山东聊城 252059)

**摘要:**以 1 年生盆栽刺槐幼苗为试材, 采用温室控制, 研究 0、0.5、1、2 mmol/L 铝胁迫对刺槐幼苗光合色素和矿质元素含量的影响, 结果表明, 0.5、1、2 mmol/L 3 种铝浓度胁迫的刺槐幼苗, 叶绿素 a、叶绿素 b、总叶绿素和类胡萝卜素含量均显著增加, 且随着铝浓度增大而增加, 叶绿素 a/b 显著降低, 且随着铝浓度增大而减小, 刺槐幼苗根、茎中铝元素含量均显著高于未胁迫处理的; 2 mmol/L 铝浓度胁迫的刺槐幼苗根、茎、叶, 其碳元素含量均显著低于未胁迫处理的, 而 1 mmol/L 铝处理仅叶片中碳元素含量显著低于未胁迫处理的; 除 0.5、1 mmol/L 铝处理下的刺槐幼苗根氮元素含量没有显著变化外, 3 种铝浓度胁迫处理的刺槐根、茎、叶氮元素含量均显著低于未胁迫处理的; 与未胁迫处理相比, 0.5 mmol/L 铝胁迫处理的刺槐幼苗叶片碳氮比和 0.5、1 mmol/L 铝胁迫处理的刺槐幼苗茎碳氮比均显著增加。刺槐能够忍耐较低的铝浓度胁迫, 并能在高浓度胁迫下累积铝, 可通过栽植刺槐对一些铝污染地区进行植物修复。

**关键词:**铝胁迫; 刺槐; 光合色素; 矿质元素

**中图分类号:** Q945.78 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2015)04-0200-03

铝是地壳中含量最丰富的金属化学元素之一, 占地壳所含金属总量的 7%。铝并非植物矿质营养中的必需元素, 3 ~ 13  $\mu\text{g/mL}$  微量的铝可刺激一些植物的生长, 但浓度偏高便会发生毒害<sup>[1]</sup>。随着土壤酸性和工业环境污染的加剧, 铝已成为生物圈中严重的危害因子之一。铝胁迫下, 植物叶绿体膜往往会受到破坏, 叶绿素合成减少, 光合速率明显降低<sup>[2]</sup>。同时, 铝胁迫还会影响植物对水分与营养成分的吸收, 各种生理生化过程受到干扰, 植物生产力下降<sup>[3]</sup>。目前, 有关植物耐铝毒的可能机理分为 2 类: 一是植物外部抗性机理; 二是植物内部机理, 即铝离子进入植物体后, 植物通过解毒作用获得抵抗力<sup>[4]</sup>。刺槐 (*Robinia pseudoacacia* L.) 具有适应性强、耐干旱、耐贫瘠、繁殖容易等特点, 成为主要的水土保持和植被恢复的先锋树种之一<sup>[5]</sup>, 可以通过固氮作用改善早期演替阶段土壤的贫瘠, 为演替后期阶段植物的定居提供较好的生存环境。目前, 有关刺槐幼苗在升高  $\text{CO}_2$  浓度、水分胁迫及赤霉素喷施等处理下的研究<sup>[6-8]</sup>已有报道, 但铝胁迫对刺槐幼苗的影响尚开展较少。本试验通过研究刺槐对铝胁迫的生理生化反应, 明确刺槐的耐铝机制, 对森林和农业生态系统的保护及受损环境的生物修复都具有重要的意义。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

试验在聊城大学生命科学学院实验基地温室大棚内进行, 以 1 年生刺槐幼苗为试材。大棚内温度控制在 22  $^{\circ}\text{C}$  左

右, 相对湿度为 50% ~ 60%。

### 1.2 试验方法

试验于 2014 年 3 月份进行, 从培养的根生幼苗中, 选择健康、无病虫害、高度基本一致的幼苗移栽到装满匀质土壤的 10 L 塑料盆中, 移栽前每盆施 12 g 缓效肥; 枝条上幼叶展开前, 每株幼苗均保留 1 个芽, 分别采用由  $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  配制的 0 (对照)、0.5、1.0、2.0 mmol/L 4 种浓度铝进行胁迫处理, 每个处理 4 株刺槐幼苗, 重复 5 次; 待生长季结束即 9 月底, 进行光合色素和矿质元素含量测定。

### 1.3 测量指标及方法

光合色素含量采用丙酮法<sup>[9]</sup>进行测定: 称取当年生完全展开的叶片 0.2 g, 加 80% 丙酮和少量石英砂研磨至匀浆, 用分光光度计分别测定 470、646、663 nm 下的吸光度, 即可计算得到叶绿素 a、叶绿素 b、总叶绿素和类胡萝卜素含量。矿质元素含量测定: 将刺槐植株浸泡在 0.2% EDTA 2 h, 用去离子水彻底清洗干净, 去除残留在植株表面的化学元素; 将植株分为根、茎、叶, 分别于烘箱中 80  $^{\circ}\text{C}$  烘干 48 h 至恒重; 将烘干的植物根、茎、叶干样研磨成粉, 以直径为 1 mm 的筛子过筛; 准确称取 0.4 g 粉末, 采用凯氏滴定法测定总氮 (N)、热氧化法测定总碳 (C)<sup>[10]</sup>、原子吸收光谱法测定铝元素含量。

### 1.4 数据处理

数据采用 SPSS 11.5 软件进行单因素方差分析, 采用 Turkey's 进行处理间多重比较。

## 2 结果与分析

### 2.1 铝胁迫对刺槐幼苗光合色素含量的影响

由表 1 可见, 0.5、1.0、2.0 mmol/L 3 种铝浓度胁迫的刺槐幼苗, 叶绿素 a、叶绿素 b、总叶绿素含量和类胡萝卜素含量均较对照显著增加, 且随着铝元素浓度的增大而增加, 叶绿素 a/b 较对照显著降低, 且随着铝浓度的增大而减小; 铝浓度升高对类胡萝卜素与总叶绿素的比值影响较小, 仅在 0.5 mmol/L

收稿日期: 2014-07-07

基金项目: 国家自然科学基金青年基金 (编号: 31100456); 大学生科技创新 (编号: SF2013280)。

作者简介: 赵 燕 (1977—), 女, 山东聊城人, 硕士, 讲师, 从事植物逆境生理研究。Tel: (0635) 8239967; E-mail: zhaoyan@lcu.edu.cn。

通信作者: 吕艳伟, 博士, 副教授, 从事植物逆境生理研究。Tel: (0635) 8239910; E-mail: lyanyanwei@lcu.edu.cn。

表 1 铝胁迫对刺槐幼苗光合色素含量的影响

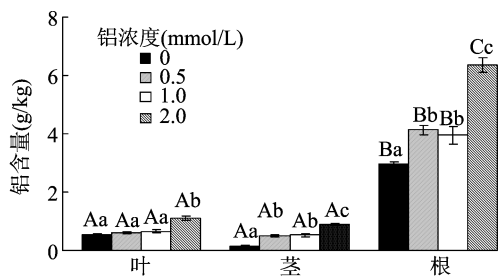
铝浓度 (mmol/L)	叶绿素 a ( $\mu\text{g}/\text{mg}$ )	叶绿素 b ( $\mu\text{g}/\text{mg}$ )	总叶绿素 ( $\mu\text{g}/\text{mg}$ )	叶绿素 a/b	类胡萝卜素 ( $\mu\text{g}/\text{mg}$ )	类胡萝卜素/总叶绿素
0	$4.42 \pm 0.11\text{a}$	$0.73 \pm 0.04\text{a}$	$5.15 \pm 0.12\text{a}$	$7.32 \pm 0.55\text{c}$	$0.92 \pm 0.04\text{a}$	$0.18 \pm 0.00\text{a}$
0.5	$7.37 \pm 0.71\text{b}$	$2.51 \pm 0.14\text{b}$	$9.88 \pm 0.82\text{b}$	$4.91 \pm 0.43\text{b}$	$2.26 \pm 0.10\text{b}$	$0.23 \pm 0.05\text{b}$
1.0	$10.69 \pm 0.22\text{c}$	$3.37 \pm 0.10\text{c}$	$14.06 \pm 0.32\text{c}$	$4.69 \pm 0.11\text{b}$	$2.50 \pm 0.07\text{b}$	$0.18 \pm 0.01\text{a}$
2.0	$13.51 \pm 0.82\text{d}$	$3.92 \pm 0.23\text{d}$	$17.43 \pm 1.05\text{d}$	$2.65 \pm 0.36\text{a}$	$3.48 \pm 0.47\text{c}$	$0.20 \pm 0.01\text{ab}$

注:同列数据后不同小写字母表示各处理在 0.05 水平上有显著性差异。

铝胁迫处理时较对照有显著升高。

## 2.2 铝胁迫对刺槐根、茎、叶中矿质元素含量的影响

由图 1 可见,0.5、1、2 mmol/L 3 种铝浓度胁迫的刺槐幼苗,其茎和根中的铝元素含量均显著高于对照;2 mmol/L 铝浓度胁迫的刺槐幼苗,其叶片中的铝元素含量显著高于对照;与茎和叶片中的铝元素相比,根中的铝元素含量相对较高。



不同小写字母表示在 0.05 水平上各处理间差异显著;不同大写字母表示在 0.05 水平上各器官间差异显著。下同

图 1 不同浓度铝胁迫下刺槐根、茎、叶中的铝元素含量

由图 2 可见,2 mmol/L 铝浓度胁迫处理的刺槐幼苗,其根、茎、叶中的碳元素含量显著低于对照;1 mmol/L 铝浓度胁迫处理的刺槐幼苗,其叶片中碳元素的含量显著低于对照,茎和根中碳元素的含量与对照没有显著性差异;0.5 mmol/L 铝浓度胁迫处理的刺槐幼苗,其 3 个器官中碳元素含量与对照均没有显著性差异;与叶和茎相比,根中的碳元素含量较低。

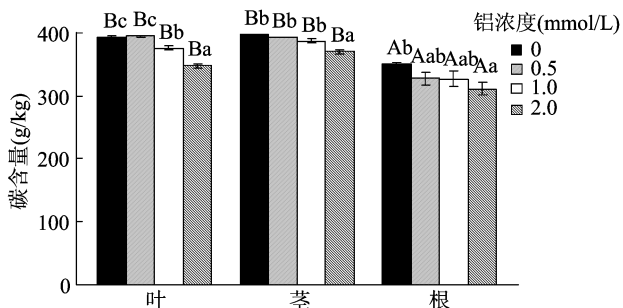


图 2 不同浓度铝胁迫下刺槐根、茎、叶中的碳元素含量

由图 3 可见,0.5、1、2 mmol/L 3 种铝浓度胁迫的刺槐幼苗,其茎和叶中的氮元素含量均显著低于对照;2 mmol/L 铝浓度胁迫的刺槐幼苗,仅根中氮元素含量显著低于对照;与茎和根相比,叶片中氮元素含量相对较高。

由图 4 可见,0.5 mmol/L 铝浓度胁迫下叶片中的碳氮比和 0.5、1 mmol/L 铝浓度胁迫下茎中的碳氮比均显著高于对照,但其他处理下根、茎、叶中的碳氮比与对照没有显著性差异;与根和叶相比,茎中的碳氮比相对较高。

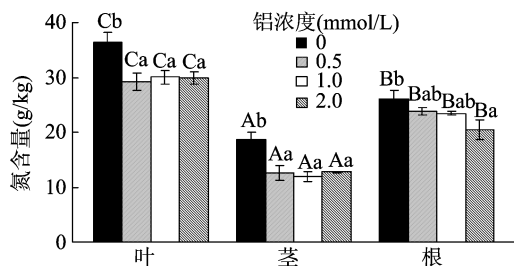


图 3 不同浓度铝胁迫下刺槐根、茎、叶中的氮元素含量

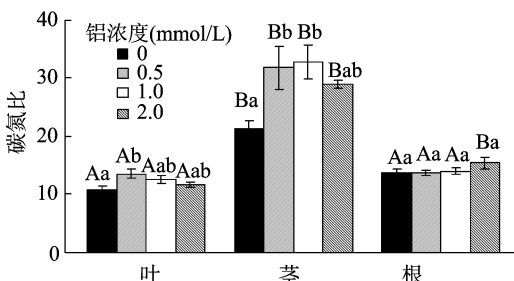


图 4 不同浓度铝胁迫下刺槐根、茎、叶中的碳氮比

## 3 结论与讨论

本研究中,铝胁迫下刺槐幼苗的叶绿素 a、叶绿素 b 和总叶绿素含量显著增加,可能是由于胁迫刺激了叶绿素合成,以弥补由于铝胁迫造成的叶绿素功能降低的损失<sup>[11]</sup>,在其他胁迫因素下的相似研究结论<sup>[12-13]</sup>也有发表。但是,在铝胁迫对柑橘幼苗影响的研究中,却发现铝胁迫显著降低了柑橘幼苗的叶绿素含量<sup>[14]</sup>。目前,有关铝胁迫对叶绿素 a/b 的影响因作物不同而不同,铝胁迫使龙眼幼苗的叶绿素 a/b 增加<sup>[15]</sup>,却使得高粱幼苗的叶绿素 a/b 降低<sup>[16]</sup>。铝胁迫下刺槐幼苗叶绿素 a/b 减小,可能是由于叶绿素 a 的生成速率小于叶绿素 b。类胡萝卜素含量高低与植株本身的光保护能力有关,铝胁迫下类胡萝卜素含量增大是对逆境的一种适应。

土壤中的铝浓度较低时,对植株的铝积累和毒害是有限的,但当土壤中铝浓度足够高时,会导致植物中积累较多的铝,这在红果云杉和其他树种已有报道<sup>[17]</sup>。本研究仅在高浓度即 2 mmol/L 铝浓度胁迫下对铝元素有明显积累,而在较低浓度下对刺槐幼苗几乎没有影响。高浓度的铝处理使刺槐幼苗根、茎、叶中的碳含量显著降低,而较低的碳“库”会使光合作用过程中伴随的碳水化合物累积增强<sup>[18]</sup>,因此,高铝浓度引起的叶片碳含量下降应主要归因于较低的净光合速率,这与铝胁迫对龙眼幼苗碳水化合物的影响结果<sup>[19]</sup>基本一致。

本试验中,叶片中的氮含量与茎和根相比,都处于一个较

高水平,这可能是由于刺槐的根和茎能量消耗较大,从而氮含量较低,这与 Lu 等在杨树上的研究结论<sup>[20]</sup>较为一致。本研究中,碳、氮在不同器官中分布的显著相关性或许可以通过功能平衡模型来解释<sup>[21]</sup>,该模型的内容包括:在逆境状况下,植物自身会将不同的器官划分“等级”,并且将碳更多地分配到根部以增加其渗透调节功能达到克服胁迫的效果。叶片和茎中的氮含量同茎中的碳含量显著相关,这可能是由于共同的中间产物而使碳氮代谢联系在一起,同时,也存在碳氮的交互作用<sup>[22]</sup>,但具体机制目前尚不明确。

目前,碳氮比是一个用来衡量植物长期氮利用效率的有力指标。研究结果表明,碳氮比在控制植物基因表达方面具有重要的信号作用<sup>[23]</sup>。本研究中,铝胁迫显著增加刺槐叶片和茎中的碳氮比,并能够引起一系列代谢水平的变化。

总之,刺槐能忍耐较低的铝浓度胁迫,并能高浓度胁迫下累积铝,可通过栽植刺槐对一些铝污染地区进行植物修复。

#### 参考文献:

- [1] Rout G, Sanantaray S, Das P. Aluminium toxicity in plants: a review [J]. *Agronomic, EDP Sciences*, 2001, 21(1): 3–21.
- [2] 应小芳, 刘 鹏. 铝胁迫对大豆叶片光合特性的影响[J]. *应用生态学报*, 2005, 16(1): 166–170.
- [3] 赵会娥, 贺立源, 章爱群, 等. 铝胁迫对植物光合作用的影响及其机理的研究进展[J]. *华中农业大学学报*, 2008, 27(1): 155–160.
- [4] 胡 彦, 何虎翼, 何龙飞. 高等植物铝胁迫研究新进展[J]. *文山师范高等专科学校学报*, 2006, 19(1): 74–78.
- [5] 李洪建, 王孟本, 陈良富, 等. 刺槐林水分生态研究[J]. *植物生态学报*, 1996, 20(2): 151–158.
- [6] Feng Z, Dyckmans J, Flessa H. Effects of elevated carbon dioxide concentration on growth and  $N_2$  fixation of young *Robinia pseudoacacia* [J]. *Tree Physiology*, 2004, 24(3): 323–330.
- [7] Ranney T G, Whitlow T H, Bassuk N L. Response of five temperate deciduous tree species to water stress [J]. *Tree Physiology*, 1990, 6(4): 439–448.
- [8] Park S, Han K H. An auxin-repressed gene (*RpARP*) from black locust (*Robinia pseudoacacia*) is posttranscriptionally regulated and negatively associated with shoot elongation [J]. *Tree Physiology*, 2003, 23(12): 815–823.
- [9] Wellburn A R. The spectra determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution [J]. *Journal of Plant Physiology*, 1994, 144(3): 307–313.
- [10] Nelson D W, Sommers L E. Total carbon, organic carbon and organic matter [M] // Page A L, Miller R H, Keeney D R. *Methods of*

soil analysis; Part 2. Madison: American Society of Agronomy and Soil Science, 1982: 539–579.

- [11] Schurr U, Heckenberger U, Herdel K, et al. Leaf development in *Ricinus communis* during drought stress: dynamics of growth processes, of cellular structure and of sink-source transition [J]. *J Exp Bot*, 2000, 51(350): 1515–1529.
- [12] Renaut J, Hoffmann L, Hausman J F. Biochemical and physiological mechanisms related to cold acclimation and enhanced freezing tolerance in poplar plantlets [J]. *Physiologia Plantarum*, 2005, 125(1): 82–94.
- [13] Jiang H X, Chen L S, Zheng J G, et al. Aluminum-induced effects on photosystem II photochemistry in citrus leaves assessed by the chlorophyll a fluorescence transient [J]. *Tree Physiology*, 2008, 28(12): 1863–1871.
- [14] Chen L S, Qi Y P, Smith B R, et al. Aluminum-induced decrease in  $CO_2$  assimilation in citrus seedlings is unaccompanied by decreased activities of key enzymes involved in  $CO_2$  assimilation [J]. *Tree Physiology*, 2005, 25(3): 317–324.
- [15] 肖祥希. 龙眼 (*Dimocarpus longana* Lour.) 对铝胁迫的生理生化反应及其矫治 [D]. 福州: 福建农林大学, 2002: 77–78.
- [16] Peixoto P H, Da Matta F M, Cambraia J. Responses of the photosynthetic apparatus to aluminum stress in two sorghum cultivars [J]. *Journal of Plant Nutr*, 2002, 25(4): 821–832.
- [17] Borer C H, Schaberg P G, Dehayes D H, et al. Accretion, partitioning and sequestration of calcium and aluminum in red spruce foliage: implications for tree health [J]. *Tree Physiology*, 2004, 24(9): 929–939.
- [18] Neales T F, Incoll L D. The control of leaf photosynthesis rate by the level of assimilate concentration in the leaf: a review of the hypothesis [J]. *The Botanical Review* 1968, 34(2): 107–125.
- [19] 万 泉. 铝胁迫对龙眼幼苗碳水化合物含量的影响 [J]. *热带作物学报*, 2007, 28(4): 10–14.
- [20] Lu Y W, Duan B L, Zhang X L, et al. Differences in growth and physiological traits of *Populus cathayana* populations as affected by enhanced UV-B radiation and exogenous ABA [J]. *Environmental and Experimental Botany*, 2009, 66(1): 100–109.
- [21] Poorter H, Nagel O. The role of biomass allocation in the growth response of plants to different levels of light,  $CO_2$ , nutrients and water: a quantitative review [J]. *Australian Journal of Plant Physiology*, 2000, 27: 595–607.
- [22] Coruzzi G, Bush D R. Nitrogen and carbon nutrient and metabolite signaling in plants [J]. *Plant Physiology*, 2001, 125(1): 61–64.
- [23] Martin T, Oswald O, Graham I A. Arabidopsis seedling growth, storage lipid mobilization and photosynthetic gene expression are regulated by carbon: nitrogen availability [J]. *Plant Physiology*, 2002, 128(2): 472–481.

**更正:**《江苏农业科学》2015 年第 43 卷第 2 期 396–399 页所刊论文《高标准基本农田建设分区研究——以湖北省赤壁市为例》中, 396 页前言第 1 段的“2013 年国务院批复的《高标准基本农田建设总体规划》提出: 在 2020 年高标准基本农田面积要达到 5 333.33 万  $hm^2$ ……”, 应更正为“2013 年国务院批复的《全国高标准农田建设总体规划》提出: 在 2020 年高标准农田面积要达到 5 333.33 万  $hm^2$ ……”。

特此更正, 并向读者致歉。

《江苏农业科学》编辑部