

# 铝胁迫对凤仙花种子萌发及植株营养的影响

张永福, 王燕平, 孙继永  
(昆明学院 农学院, 云南 昆明 650214)

**摘要:** 以凤仙花为试材, 采用 5 个不同浓度的氯化铝进行铝胁迫处理, 测定其种子发芽、幼苗形态及植株营养物质含量, 试验重复 4 次. 结果表明, 不同浓度铝胁迫显著降低了胚根和下胚轴的长度, 而下胚轴粗则显著增大; 铝胁迫还使凤仙花叶片和根系中的可溶性糖、蛋白质含量下降, 使根系淀粉含量和叶片、根系中的游离脯氨酸含量上升; 此外, 铝胁迫使凤仙花根系氮含量降低, 叶片和根系铝含量上升. 由此可见, 铝胁迫对凤仙花胚轴生长和植株营养物质含量造成一定的影响, 且铝含量越高影响越大.

**关键词:** 凤仙花; 铝胁迫; 种子; 萌发; 植株营养

**中图分类号:** S681.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674 - 5639 (2018) 03 - 0075 - 05

**DOI:** 10.14091/j.cnki.kmxyxb.2018.03.014

## Effects of Aluminum Stress on Seed Germination and Plant Nutrition of *Impatiens balsamina*

ZHANG Yongfu, WANG Yanping, SUN Jiyong

(College of Agriculture, Kunming University, Kunming, Yunnan, China 650214)

**Abstract:** Five different concentrations of aluminum chloride were used as the test material for the treatment of aluminum stress to measure the seed germination, the seedling morphology and the nutrient content of the plant under four repetitive experiments. The results showed that different concentrations of aluminum stress significantly decreased the length of radicle and hypocotyl, while the diameter of hypocotyl increased significantly. Aluminum stress also decreased the content of soluble sugar and protein in leaves and roots, but increased the content of starch and free proline in roots. Besides, Aluminum stress decreased the nitrogen content in the roots and increased the aluminum content in the leaves and roots. It can be seen that aluminum stress has a certain effect on the growth of the hypocotyl and the content of plant nutrients in *Impatiens balsamina*, the higher the aluminum content, the greater the effect.

**Key words:** *Impatiens balsamina*; aluminum stress; seed; germination; plant nutrition

凤仙花 (*Impatiens balsamina* L.) 原产于中国、印度和马来西亚, 通常进行庭院栽培, 既可用于观赏, 又可入药. 因其具有花期长、花色丰富、易于栽培管养、适应性强等特点, 已广泛应用在园林景观中<sup>[1]</sup>. 此外, 凤仙花整个植株和种子均可入药, 可活血、消肿、祛风、止痛等<sup>[2]</sup>. 凤仙花还可作为天然色素资源, 将在化妆品、食品、制药等领域发挥重要作用<sup>[3-4]</sup>. 铝是地壳中含量最丰富的金属元素<sup>[5]</sup>, 在中性或碱性土壤中, 主要以铝硅酸盐的形式存在, 植物基本不吸收<sup>[6]</sup>, 但当土壤 pH 值低于 5 时, 可溶性铝含量增加, 大量  $\text{Al}^{3+}$  被植物吸收, 会

对植物造成伤害<sup>[7]</sup>. 我国南方地区的土壤普遍偏酸性, 加之酸雨频发使土壤酸化日趋严重. 因此, 南方地区的植物通常会表现出铝毒害症状, 如根系生长明显受阻, 根短小, 卷曲畸形, 脆弱易断, 地上部生长缓慢, 茎瘦弱, 叶片小、发黄等<sup>[8-9]</sup>.

此外, 铝胁迫还会影响植物对无机营养元素<sup>[10]</sup>的吸收, 干扰其各种生理代谢过程<sup>[11]</sup>, 同时铝胁迫还会导致植物叶绿素含量下降, 减少干物质的累积和降低产量. 而研究植物铝毒害的基础是铝胁迫下铝和其他元素的吸收、运输<sup>[12]</sup>和分布情况. 但是, 目前国内外研究的侧重点是铝胁迫下植物根

收稿日期: 2018 - 03 - 21

基金项目: 云南省应用基础研究计划资助项目 (2017FD087); 国家自然科学基金资助项目 (31660559); 昆明学院科学研究资助项目 (XJZZ1604).

作者简介: 张永福 (1981—), 男, 云南弥勒人, 教授, 博士, 主要从事园艺植物抗性生理研究.

系分泌物及植株体内铝形态的变化,对铝胁迫下植物对其他营养元素吸收和运输的影响研究尚少<sup>[13]</sup>. 由于地处云贵高原的云南省是中国花卉生产大省,土壤多为酸性红壤,铝毒害现象严重,因此缓解铝毒害是花卉生产中急需解决的问题. 鉴于此,本研究以凤仙花为材料,用不同浓度的硫酸铝钾对其进行处理,90 d 后观察并测量其植株生长及营养指标,旨在探明不同浓度铝处理对凤仙花生长及树体营养状况的影响,以期揭示凤仙花的耐铝机制,为酸性土壤凤仙花栽培提供理论依据及凤仙花耐铝品种选育提供参考依据.

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验材料为凤仙花,来源于云南省昆明市.

### 1.2 试验设计

于 2016 年 4 月进行种子培养及铝处理,设置 5 个氯化铝处理浓度,即 T1 为 1 mmol/L, T2 为 2 mmol/L, T3 为 3 mmol/L, T4 为 4 mmol/L, T5 为 5 mmol/L,同时做蒸馏水处理的对照 (CK),每个浓度重复 4 次. 每个培养皿中分别放入两张滤纸后放入 50 粒凤仙花种子,然后每个培养皿分别加氯化铝溶液 10 mL,在 25℃ 生化培养箱中进行培养,每天更换 1 次处理液和滤纸. 5 d 后测定种子发芽率、胚根长度、幼根条数、下胚轴长、下胚轴粗.

将上述发芽的种子分别种在 90 cm × 45 cm × 65 cm 的条盆中,每个处理播种 4 盆,每盆播种 50 颗. 播种基质为  $m$  (泥炭):  $m$  (腐殖土):  $m$  (珍珠岩) = 2:2:1, 基质装盆用相应浓度的处理液浇透后再播种. 每周每个条盆浇 1 次对应浓度的处理液 500 mL. 每隔 2 d 浇 1 次 1/2 Hoagland's 营养液,每次每条盆浇 500 mL. 待植株生长 90 d 后采成熟健康的根系和叶片烘干磨碎后,测定其可溶性糖、

淀粉、蛋白质、脯氨酸的含量,磨碎后的根系和叶片经硫酸-双氧水消煮后用于测定氮、磷、钾和铝的含量.

### 1.3 各指标的测定方法

胚根长度、下胚轴长、下胚轴粗用直尺测量,发芽率 = (发芽种子数/种子总数) × 100%. 可溶性糖含量采用苯酚-硫酸显色法测定;可溶性淀粉含量采用酸解法测定;可溶性蛋白质含量采用考马斯亮蓝 G-250 显色法测定<sup>[14]</sup>;游离脯氨酸含量采用酸性茚三酮法测定<sup>[14]</sup>. 粉末用硫酸-双氧水消煮后,用纳氏比色法测定氮含量<sup>[14]</sup>;用钼蓝比色法测定磷含量<sup>[15]</sup>;用原子吸收法测定钾的含量<sup>[15]</sup>.

### 1.4 数据统计分析

试验数据采用 SPSS 22.0 软件进行统计分析 ( $P < 0.05$ ),用 Excel 2010 绘制柱状图.

## 2 结果与分析

### 2.1 铝处理对凤仙花种子萌发及幼苗形态的影响

从表 1 可看出,铝处理对凤仙花种子的萌发影响较小,各处理的种子发芽率均在 99% 以上,差异无统计学意义;铝处理对凤仙花胚根长度影响较大,且随着铝浓度的增加,胚根长度急剧下降,从 T1 到 T5 胚根长度分别比 CK 下降了 50.62%, 85.95%, 94.42%, 96.90%, 98.14%, 且均显著小于 CK;各处理的幼根条数均在 4.5 ~ 6.0 条之间,差异无统计学意义;铝处理也同样大幅度降低了凤仙花下胚轴长,且随处理浓度的增大,降低幅度加大,从 T1 到 T5 的下胚轴长分别比 CK 下降了 26.85%, 57.20%, 59.53%, 61.48%, 68.09%, 差异有统计学意义;但铝处理却使凤仙花下胚轴粗度变大,而且随处理浓度的增大而增粗,从 T1 到 T5 的下胚轴分别比 CK 粗 5.56%, 11.11%, 11.11%, 11.11%, 33.33%.

表 1 铝处理对凤仙花种子发芽及幼苗形态的影响

处理	发芽率/%	胚根长度/cm	幼根条数/条	下胚轴长/cm	下胚轴粗/cm
T1	100.00 ± 0.00 a	2.39 ± 0.23 b	5.05 ± 0.10 a	1.88 ± 0.12 b	0.19 ± 0.01 ab
T2	99.00 ± 1.16 a	0.68 ± 0.42 c	5.00 ± 0.00 a	1.10 ± 0.14 c	0.20 ± 0.01 ab
T3	99.50 ± 1.00 a	0.27 ± 0.10 cd	5.57 ± 0.61 a	1.04 ± 0.08 c	0.20 ± 0.01 ab
T4	99.50 ± 1.00 a	0.15 ± 0.06 d	6.00 ± 0.70 a	0.99 ± 0.10 c	0.20 ± 0.00 ab
T5	99.50 ± 1.00 a	0.09 ± 0.01 d	4.50 ± 0.34 a	0.82 ± 0.06 d	0.24 ± 0.08 a
CK	99.50 ± 1.00 a	4.84 ± 0.69 a	5.00 ± 0.00 a	2.57 ± 0.10 a	0.18 ± 0.01 b

注:表中同一列数据后不同小写字母代表达到差异显著性水平 ( $P < 0.05$ ).

## 2.2 铝胁迫对凤仙花可溶性糖和淀粉含量的影响

由图1可看出,不同浓度的铝处理使凤仙花叶片和根系的可溶性糖含量均下降,且随着处理浓度的增加,下降幅度加大;从T1到T5叶片可溶性糖含量分别比CK低15.71%,16.95%,22.63%,30.03%,39.19%;从T1到T5根系的可溶性糖含量分别比CK低了54.85%,59.53%,63.34%,67.63%,69.94%,差异有统计学意义.不同浓度

的铝处理对凤仙花淀粉含量也产生较大影响,T1叶片淀粉含量较CK有所上升,但差异无统计学意义,从T2到T5则分别比CK低16.19%,17.45%,22.81%,27.75%,差异有统计学意义;各处理根系的淀粉含量均高于CK,且除T5外差异均有统计学意义,从T1到T5各处理根系的淀粉含量分别比CK高了18.31%,56.82%,33.35%,30.94%,4.34%.

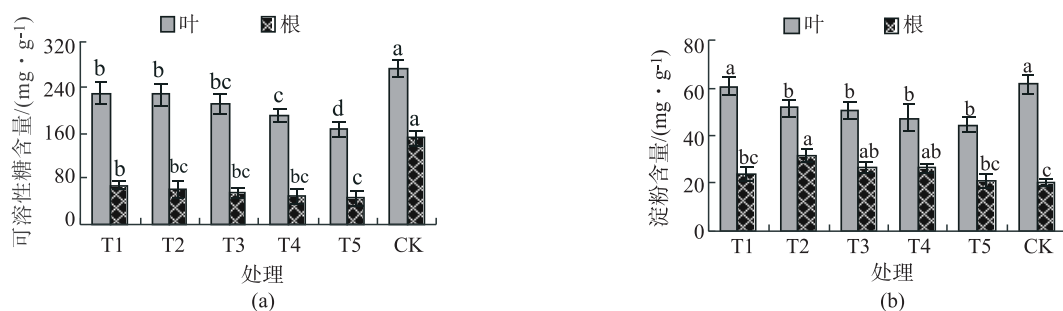


图1 铝胁迫对凤仙花可溶性糖和淀粉含量的影响

## 2.3 铝胁迫对凤仙花蛋白质和脯氨酸含量的影响

从图2可看出,铝胁迫使凤仙花叶片蛋白质含量降低,从T1到T5叶片蛋白质含量分别比CK低26.61%,39.94%,43.15%,52.42%,48.68%,差异有统计学意义;除T1外,铝胁迫下各处理根系蛋白质含量均有所下降,其中T4和T5显著低于CK,T2到T5分别比CK低8.56%,20.60%,

35.95%,37.96%.铝胁迫下,各处理叶片脯氨酸含量均高于CK,从T1到T5分别比CK高10.77%,23.80%,24.11%,23.30%,45.45%,且除T1外,各处理均显著高于CK;各处理根系脯氨酸含量均高于CK,从T1到T5分别比CK高2.81%,6.91%,22.01%,32.64%,34.83%,其中T4和T5与CK的差异有统计学意义.

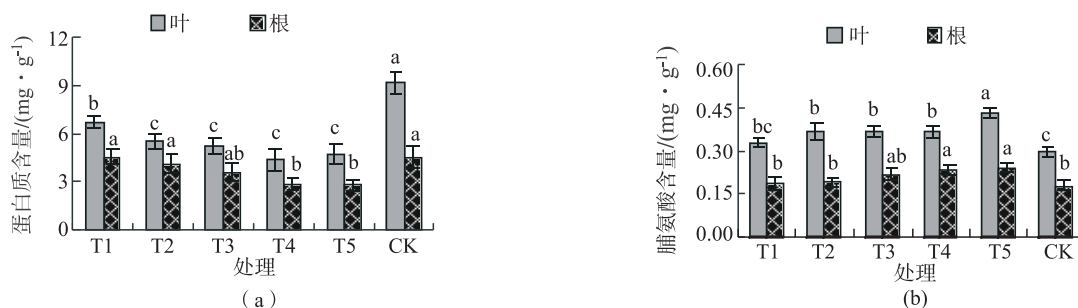


图2 铝胁迫对凤仙花蛋白质和脯氨酸含量的影响

## 2.4 铝胁迫对凤仙花氮、磷、钾和铝含量的影响

从图3可看出,铝胁迫下各处理的凤仙花叶片氮含量与CK的差异无统计学意义;但根系氮含量却显著下降,从T1到T5各处理分别比CK低了42.10%,44.69%,49.40%,59.87%,69.93%.不同浓度铝处理后叶片和根系的磷和钾含量与CK的差异均无统计学意义;铝胁迫使

叶片和根系的铝含量上升,从T1到T5叶片铝含量分别比CK高35.26%,89.84%,76.47%,121.26%,178.79%,且除T1外各处理均显著高于CK;各处理根系铝含量均显著高于CK,从T1到T5分别比CK高109.37%,148.06%,307.93%,75.87%,571.02%,差异有统计学意义.

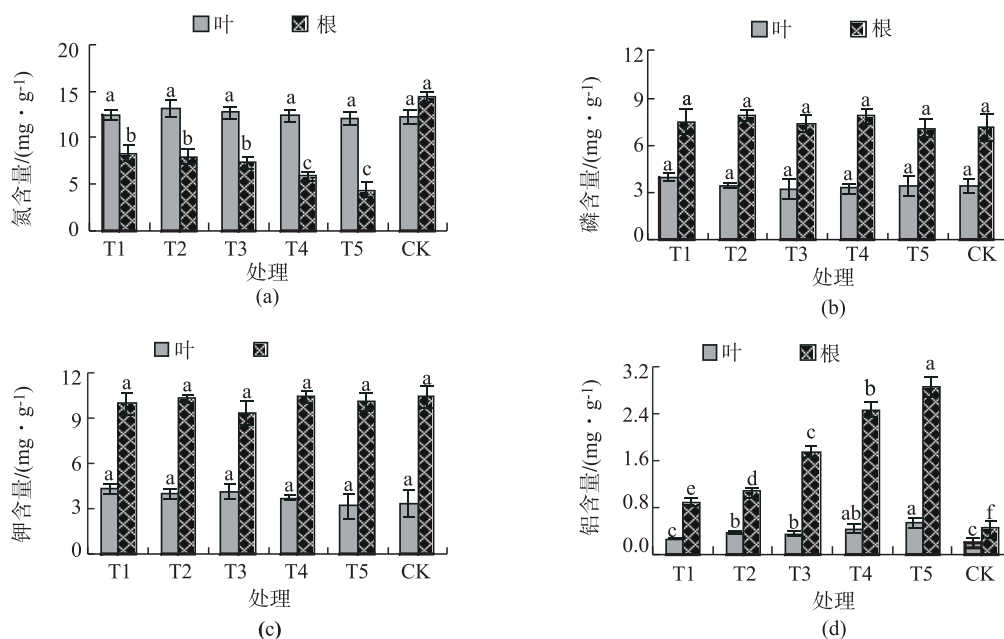


图3 铝胁迫对凤仙花氮、磷、钾和铝含量的影响

### 3 结论与讨论

铝对植物有毒害作用,严重影响植物根尖细胞分裂和伸长,最终影响根系的生长、水分和养分的吸收<sup>[16]</sup>.本试验表明,不同浓度的铝处理对凤仙花种子的发芽率影响不大,各处理发芽率均在99%以上;铝处理对凤仙花幼苗的根系和下胚轴长度影响较大,使二者显著小于CK,这与江震新等<sup>[17]</sup>研究结果相似;而铝处理则使下胚轴粗显著大于CK.

淀粉、可溶性糖和可溶性蛋白质是植物体内重要的有机营养物质,其中可溶性糖和可溶性蛋白质还是植物体内重要的渗透调节物质.逆境胁迫下可溶性糖将在植物体内大量积累,以保持细胞的渗透势以及为合成其他渗透调节物质提供能量和碳源<sup>[18]</sup>,同时铝胁迫也会诱导植物体内产生新的可溶性蛋白质来保护核酸免遭破坏,以维持植物细胞的正常代谢<sup>[19]</sup>.如张盛楠等<sup>[20]</sup>报道,随着铝浓度的增大,马尾松针叶中的可溶性蛋白质呈上升趋势,但可溶性糖含量在低浓度铝胁迫下小于CK,随着铝浓度上升则呈上升趋势.然而,本研究却发现,铝胁迫使各处理的叶片和根系中的可溶性糖、淀粉和蛋白质含量下降,且处理浓度越高,降低幅度越大;此外,铝处理显著提高了凤仙花叶片和根系游离脯氨酸含量,且处理浓度越高,游离脯氨酸

含量越高.

有研究<sup>[21]</sup>报道,铝干扰植物根系对矿质元素的吸收是植物发生铝毒害的重要原因之一.关于这方面的研究目前大多集中在铝影响磷、钙元素的吸收上,且已有较一致的观点,即铝会与植物体内的磷结合形成沉淀而引起缺磷症<sup>[22]</sup>.但本研究发现,铝胁迫下除凤仙花根系氮含量有不同程度下降外,叶片氮含量、叶片和根系磷含量、叶片和根系钾含量均无显著变化.根系中氮含量随着铝浓度的增大而大幅度降低,这与肖祥希等<sup>[23]</sup>的研究结果相似.较高浓度的铝胁迫使苗根系中氮含量下降的原因可能是铝使凤仙花根系受到伤害,吸收能力下降,也可能是 $\text{Al}^{3+}$ 与 $\text{NH}_4^+$ 和 $\text{K}^+$ 之间存在拮抗作用.

### [参考文献]

- [1] 潘继兰. 凤仙花高效栽培技术 [J]. 花木盆景 (花卉园艺版), 2010 (3): 9.
- [2] 南京中医药大学. 中药大辞典 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2005: 676.
- [3] 何奕昆, 奚惕. 凤仙花中花色苷积累与苯丙氨酸解氨酶的关系 [J]. 植物生理性通讯, 1989 (2): 35-38.
- [4] 果秀敏, 陈段芬, 方正, 等. 新几内亚凤仙花色苷的性质研究 [J]. 河北农业大学学报, 2004, 27 (3): 33-35.
- [5] LINDSAY W L. Chemical equilibria in soils [M]. New

- York: John Wiley and Sons, 1979.
- [6] 鄢盛尧, 王月平, 王志颖, 等. 铝胁迫下外源有机酸对油菜根系分泌物特性的影响 [J]. 广东农业科学, 2013 (11): 16–20.
- [7] ARENHART R A, LIMA J C D, PEDRON M, et al. Involvement of ASR genes in aluminium tolerance mechanisms in rice [J]. *Plant Cell and Environment*, 2012, 36 (1): 52–67.
- [8] 刘庆华, 蒋悟生. 铝对植物的毒害 [J]. 植物学通报, 1995, 12 (1): 24–32.
- [9] 陈志萍, 李从瑞. 土壤中不同形态铝与贵州红山茶叶片铝含量关系的研究 [J]. 安徽农业科学, 2014, 42 (28): 9740–9742, 9989.
- [10] 任立民, 刘鹏, 谢忠雷, 等. 植物对铝毒害的抗逆性研究进展 [J]. 土壤通报, 2008, 39 (1): 177–181.
- [11] 刘强, 龙婉婉, 胡萃, 等. 铝胁迫对油菜种子萌发和幼苗生长的影响 [J]. 种子, 2009, 28 (7): 5–6, 10.
- [12] 马丽, 杨盛昌. 铝对秋茄幼苗生理特性的影响 [J]. 水生生物学报, 2011, 35 (1): 145–152.
- [13] 胡萃, 刘强, 龙婉婉, 等. 铝胁迫对芝麻种子萌发和根系生长的影响 [J]. 江苏农业科学, 2009 (3): 60–62.
- [14] 邹琦. 植物生理学实验指导 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [15] 张志良. 植物生理学实验指导 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2003.
- [16] 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.
- [17] 江寰新, 陈立松, 韩霜, 等. 铝胁迫对柑橘实生幼苗生长的影响 [J]. 中国农学通报, 2009, 25 (4): 167–170.
- [18] 张盛楠, 刘亚敏, 刘玉民, 等. 马尾松幼苗生长及生理特性对铝胁迫的响应 [J]. 西北植物学报, 2016, 36 (10): 2022–2029.
- [19] ARBIND K C, DHARMENDRA S, MIR A L. Selection of pigeonpea genotypes for tolerance to aluminum toxicity [J]. *Plant Breeding*, 2011, 130 (4): 492–495.
- [20] ASHRAF M, FOOLAD M R. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance [J]. *Environmental and Experimental Botany*, 2007, 59 (2): 206–216.
- [21] FOR C D, CHANG R C, WHITE M C. The physiology of metal toxicity in plants [J]. *Annual Review of Plant Physiology*, 1978, 29 (1): 511–566.
- [22] 段小华, 胡小飞, 邓泽元, 等. 钙对铝胁迫下茶树钙铝及部分矿质营养吸收积累的影响 [J]. 江西师范大学学报 (自然科学版), 2012, 36 (3): 321–325.
- [23] 肖祥希, 陈立松, 蔡艳惠, 等. 铝胁迫对龙眼幼苗营养元素吸收的影响 [J]. 江西农业大学学报, 2005, 27 (2): 230–233, 316.

