

# 铝对水稻幼苗生长和生理的影响

石贵玉

(广西师范大学生命科学学院, 广西桂林 541004)

**摘要:** 以不同浓度的铝处理水稻幼苗, 研究铝对水稻幼苗的生理生化效应。结果表明,  $50 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$  的铝对水稻幼苗生长有促进作用, 高于  $50 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$  后, 随着铝浓度的增加, 植株生长明显受到抑制, 株高、根长、鲜重和干重均下降; 叶片叶绿素含量和 SOD 活性下降, POD 活性先上升后下降, 细胞膜透性增大。表明高浓度铝的毒害, 导致体内保护酶活性受到抑制, 膜系统受到伤害, 从而影响水稻幼苗的生长。

**关键词:** 铝; 杂交水稻; 保护酶; 生长

**中图分类号:** Q945      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-3142(2004)01-0077-04

## Effect of Aluminium on growth and some physiological function of rice seedlings

SHI Gui-yu

(College of Life Science, Guangxi Normal University, Guilin 541004, China)

**Abstract:** The effect of growth and physiological functions of different concentration Al on the hybrid rice seedling was studied. The results showed that the growth of rice seedling was promoted at  $50 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$  of Al. But the seedling height, root length, fresh weight and dry weight decreased, rice growth distinct was inhibited, and the content of chlorophyll, activity of superoxide dismutase (SOD) decreased. Peroxidase (POD) had a resistant peak and decreased afterward, and cell membrane permeability increased when the concentration of Al were increased, which indicated that activity of protective enzyme such as SOD, POD decreased. The membrane system had been damaged by toxic of Al, so rice seedling growth was inhibited.

**Key words:** Aluminium(Al); hybrid rice; protective enzyme; growth

水稻是我国主要的粮食作物, 而杂交水稻 2001 年种植面积就达  $2.7 \text{ 亿 hm}^2$ , 增产粮食近 4 亿 t, 产量占水稻总产量 58% (袁隆平, 2002)。但近年来我国南方广大地区普遍出现酸雨, 从而使酸性的土壤和水体中水溶性铝的含量显著提高, 导致林木、作物等受到铝毒的危害 (刘厚君等, 1988; 秦瑞君等, 1999; 赫鲁宁等, 1989), 同样杂交水稻的种植, 不可避免地受到铝毒的危害。因此, 研究铝对水稻的毒害机理, 具有重要的现实意义。关于铝对植物生理功能的影响, 国内外有不少的研究, 但研究多见于小麦、大豆、花生、玉米、水稻、林木等 (刘厚君等, 1988;

秦瑞君等, 1999; 赫鲁宁等, 1989; 杨庆等, 2000; 彭嘉桂等, 1995) 的报道, 而铝对杂交水稻的研究报道较少。本文以杂交水稻为材料, 研究了铝对杂交水稻幼苗生长和叶绿素含量、细胞膜透性及抗氧化酶活性的影响, 以探讨铝对植物的毒害机理, 积累有价值的资料。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料培养与处理

供试水稻 (*Oryza sativa* L.) 为杂交品种“优 I

207”。选用饱满的种子以漂白粉消毒,用蒸馏水浸泡 48 h 后,置于 30 ℃培养箱中催芽,萌芽后均匀播在内置吸水纸的小方盆中,置于 30 ℃光照培养箱中每天光照 10 h(2 000 lx),以 Hoagland 营养液培养。幼苗 1 叶龄时,用含  $\text{AlSO}_4$  的 Hoagland 营养液培养,处理浓度为  $50\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $100\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $200\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  和对照(Hoagland 培养液),处理 10 d 后分别测定各项生理指标。

### 1.2 测定方法

1.2.1 植株生长量测定 测定铝处理前与处理 10 d 秧苗的高度和根长度变化,以秧苗高度、根长度增加量及 10 株秧苗的鲜重、干重表示植株生长量。

1.2.2 叶绿素含量测定 采用分光光度法,以 80% 丙酮研磨测定,用 Arnon 法计算叶绿素含量(张志良,1990)。

1.2.3 细胞膜透性测定 采用电导法(张志良,1990),以电导率  $\mu\Omega/\text{cm}$  表示膜透性的大小。

1.2.4 SOD(超氧化物歧化酶)活性测定 按 Giannopolitis 和 Ries(1997)的方法,以每单位时间内抑制光化还原 50% 的氮蓝四唑(NBT)为一个酶活性单位。

1.2.5 POD(过氧化物酶)活性测定 用愈伤木酚氧化法(张志良,1990),以 470 nm 波长下每 min 每 g 材料的光密度变化表示酶活性大小。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同浓度铝处理对水稻幼苗株高和根长的影响

表 1 反映,水稻幼苗用不同浓度的铝处理,低浓度铝对水稻株高、根长表现出不同的结果,在  $50\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  的浓度时,铝处理对水稻幼苗株高有促进作用,增长率为对照的 24.3%,相反对根长有抑制作用,抑制率为 8.7%;高浓度铝处理,对水稻株高和根长均呈抑制作用,且随着浓度的增加抑制作用愈明显,统计分析反映两者差异极显著到显著。秦瑞君等(1999)指出,少量铝的存在可刺激植物的生长。本实验也反映低浓度铝处理时,水稻幼苗的株高明显高于对照。孔繁翔等(2000)、郝鲁宁等(1989)认为,铝对植物毒害作用最明显的特征是铝抑制了根尖细胞伸长和细胞分裂;根比地上部分对铝更敏感。本实验也证实了这一观点。

### 2.2 不同浓度铝处理对水稻幼苗鲜重和干重的影响

植株鲜重和干重的变化,反映植株生长速率的快慢和积累干物质的能力大小。表 2 反映  $50\text{ }\mu\text{mol}$

$\cdot\text{L}^{-1}$  的铝处理对水稻干重和鲜重均表现为促进作用,两者与对照相比较,促进率分别为 11.8% 和 38.5%,但随着 Al 浓度增加,水稻的干重和鲜重均受到抑制,浓度愈高抑制作用愈明显。

表 1 铝对水稻株高和根长的影响  
Table 1 Effect of Al on seedling height and root length of rice

| 铝浓度<br>Concentration of Al<br>( $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ) | 株高<br>Seedling height<br>(cm) | 根长<br>Root length<br>(cm) |
|---------------------------------------------------------------------|-------------------------------|---------------------------|
| 0                                                                   | 9.39(100)                     | 4.01(100)                 |
| 50                                                                  | 11.67(124.3)△                 | 3.70(92.3)                |
| 100                                                                 | 8.17(87.0)△                   | 3.37(84.0)                |
| 200                                                                 | 5.70(60.7)*                   | 2.51(62.2)                |

\* 差异显著性为 0.05; △差异显著性为 0.01; 括号内数据为相对百分率。

\* Significant test at 0.05; △Significant test at 0.01; Figures in parenthesis are relative percentage.

表 2 铝对水稻幼苗鲜重和干重的影响  
Table 2 Effect of Al on fresh weight and dry weight of rice

| 铝浓度<br>Concentration of Al<br>( $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ) | 鲜重<br>Fresh weight<br>(g/10 plants) | 干重<br>Dry weight<br>(mg/10 plants) |
|---------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| 0                                                                   | 0.52 (100)                          | 85.0 (100)                         |
| 50                                                                  | 0.72(138.5)                         | 95.0(111.8)                        |
| 100                                                                 | 0.49(94.2)                          | 76.5(90.0)                         |
| 200                                                                 | 0.36(69.2)                          | 61.0(71.8)                         |

### 2.3 不同浓度铝处理对水稻叶片叶绿素含量的影响

表 3 显示,铝在  $50\sim 200\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  浓度下,对水稻幼苗的影响均表现为叶绿素含量下降,且随着浓度的提高,下降的幅度愈大。如在  $50\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $100\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  和  $200\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  的浓度下,它们下降率分别为 6.4%、16.1% 和 41.2%。这与徐勤松等(2002)以铬处理水车前,随着铬浓度的增大,叶绿素含量下降愈明显的结果类似。本材料在外观上亦见在  $50\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  的铝处理下,水稻幼苗株高虽然比对照高,但叶色比对照淡绿。

### 2.4 不同铝浓度处理对水稻幼苗细胞膜透性的影响

膜透性增加是膜系统损伤的表现之一。从表 3 可知,水稻幼苗用铝处理后,表现为随着浓度的增加,细胞膜透性值亦上升,且高浓度铝影响膜透性极大。如在  $50\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  时,膜透性比对照高 47.4%,而在  $200\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  时,则比对照高 237.6%,说明铝处理超过一定浓度后,细胞膜迅速受到破坏。孔繁翔等(2000)认为铝可与细胞膜的膜

脂和膜蛋白结合,改变膜的结构和功能,而增加膜的渗透性。本实验结果也证实了这个观点。

2.5 不同浓度铝处理对水稻幼苗 SOD、POD 活性的影响

从表 4 可以看出,水稻幼苗经不同浓度铝处理后,SOD 活性均随着铝浓度的上升呈下降趋势,在 100  $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$  时,SOD 活性比对照下降了 14.5%。但 POD 活性则随铝浓度的增加有明显的上升,如在 100  $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$  时,酶活性比对照上升 16.0%,当 Al 浓度高于 100  $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ,即在 200  $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$  时则比对照下降 36.1%。陈平(2002)、孔祥生(1999)等用重金属镉处理水稻和玉米幼苗,亦发现有类似情况。

表 3 铝对水稻叶绿素含量和膜透性的影响  
Table 3 Effect of Al on chlorophyll content and membrane permeability of rice

| 铝浓度<br>Concentration of Al<br>( $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ) | 叶绿素含量<br>Chlorophyll content<br>(mg/g FW) | 膜透性<br>Membrane permeability<br>( $\mu\Omega \cdot \text{cm}^{-1}$ ) |
|-----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| 0                                                                     | 2.74(100)                                 | 77(100)                                                              |
| 50                                                                    | 2.56(93.4)                                | 113.5(147.4)                                                         |
| 100                                                                   | 2.30(83.9)                                | 190.(246.8)                                                          |
| 200                                                                   | 1.61(58.8)                                | 260(337.6)                                                           |

表 4 铝对水稻 SOD 和 POD 活性的影响  
Table 4 Effect of Al on activity of SOD and POD of rice

| 铝浓度<br>Concentration of Al<br>( $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ) | SOD<br>Superoxide dismutase<br>( $\text{U} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$ ) | POD<br>Peroxidase<br>( $\text{OD}_{470} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$ ) |
|-----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 0                                                                     | 499.9(100)                                                                  | 286.0(100)                                                                                     |
| 50                                                                    | 430.1(86.0)                                                                 | 310.0(108.4)                                                                                   |
| 100                                                                   | 427.5(85.5)                                                                 | 331.7(116.0)                                                                                   |
| 200                                                                   | 398.9(79.8)                                                                 | 208.4(63.9)                                                                                    |

3 讨 论

本实验结果说明,金属铝在低浓度时对水稻幼苗的生长有一定的促进作用,但高浓度的铝毒害使水稻植株矮小,叶片失绿,植株鲜重、干重下降,同时抗氧化酶活性下降,细胞膜透性增加。

植物体内叶绿素含量的高低与光合作用水平的强弱密切相关。金属铝毒害引起的植株失绿,叶绿素总量下降,可能是金属离子抑制原叶绿素酸酯还原酶活性,影响了叶绿素的合成(Van 和 Clijsters,

1990)和铝毒害使叶绿体内的类囊体降解(刘东华等,1995)引起的;同时,赫鲁宁等(1989)认为铝毒害使叶绿体内的光合 Hill 反应和光合磷酸化系统受到抑制。从而抑制光合作用的光反应过程,最终严重影响植物的正常生长。本实验所见铝毒害使水稻生长受抑制,叶绿素含量和植株鲜重、干重下降,可能与此有关。

活性氧是机体代谢过程中产生的重要自由基,在生物体内具有很强的毒害作用。正常条件下,植物体内活性氧的产生和清除处于相对动态平衡中,但在逆境下体内活性氧自由基产生的速度超出了植物清除自由基的能力,就会引起伤害。植物体内清除自由基主要由 SOD、POD 和 CAT 等酶系统和抗氧化物质来完成,SOD 能消除  $\text{O}_2^-$ ,CAT 催化  $\text{H}_2\text{O}_2$  分解成水和氧,POD 催化  $\text{H}_2\text{O}_2$  与酚类反应(徐勤松等,2002),SOD、POD 和 CAT 的共同作用能有效地阻止  $\text{O}_2^-$  和  $\text{H}_2\text{O}_2$  在体内积累(罗广华等,1989)。据本实验结果,我们认为铝毒害破坏了水稻体内的保护酶系统,最终使  $\text{O}_2^-$  和  $\text{H}_2\text{O}_2$  活性氧在体内积累,引起膜结构受到损伤,因而透性增大,细胞代谢失调,生长受阻,严重时会导致植物中毒死亡。

参考文献:

张志良. 1990. 植物生理学实验指导(第二版)[M]. 北京: 高等教育出版社, 88, 154, 257.

袁隆平. 2002. 杂交水稻学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1—2.

刘厚田, 张维平, 沈英娃, 等. 1988. 重庆南山酸雨与马尾松衰老的关系[J]. 环境科学学报, 8(3): 331—339.

Chen P(陈平), Yu TY(余士元), Chen HY(陈惠阳), et al. 2002. Effects of Se on growth and some physiological characteristics of rice seedling under Cd stress(硒对镉胁迫下水稻幼苗生长及生理特性的影响)[J]. Guihaia(广西植物), 22(3): 277—282.

Giannopolitis CN, Ries SK. 1997. Superoxide dismutation I. Occurrence in higher plants[J]. Plant Physiol, 53: 315.

Hao LN(赫鲁宁), Liu HT(刘厚田). 1989. Effects of aluminium on physiological functions of rice seedlings(铝对水稻幼苗的生理影响)[J]. Acta Botanica Sinica(植物学报), (11): 847—853.

Kong FX(孔繁翔), Sang WL(桑伟莲), Jiang X(蒋新), et al. 2000. Aluminum toxicity and tolerance in plants(铝对植物毒害及植物抗铝作用机理)[J]. Acta Ecologica Sini-ca(生态学报), 20(5): 855—861.

- Kong XS(孔祥生), Guo XP(郭秀璞), Zhang MX(张妙霞). 1999. Effect of cadmium stress on seedling growth and physiology chemistry of maize(镉胁迫对玉米幼苗生长及生理生化的影响)[J]. 华中农业大学学报, 18(2): 111—113.
- Lin DH(刘东华), Jiang WS(蒋梧生). 1995. Toxic effects of aluminium on plants(铝对植物的毒害)[J]. Chinese Bulletin of Botany(植物学通报), 12(1): 24—32.
- Luo GH(罗广华), Wang AG(王爱国), Shao CB(邵从本), et al. 1989. The damage to rice seedling under high concentration oxygen and protective enzymes of active oxygen(高浓度氧对水稻幼苗的伤害与活性氧的防御酶)[J]. Acta Botanica Austro Sinica(中国科学院华南植物研究所集刊), 4: 169—176.
- Peng JG(彭嘉桂), Chen CR(陈成榕), Lu HD(卢和顶). 1995. Preliminary studies on Al stress of maize(玉米铝胁迫研究初报)[J]. Tropical and Subtropical Soil Science(热带亚热带土壤科学), 4(2): 97—101.

- Qin RJ(秦瑞君), Chen FX(陈福兴). 1999. The aluminium toxicity of some crop seedlings in red soil of southern hunan(湘南红壤作物苗期铝中毒的研究)[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science(植物营养与肥料学报), 5(1): 50—55.
- Van Assche F, Clijsters H. 1990. Effects of metal on enzyme activity in plants[J]. Plant Cell Environ, 13: 195—206.
- Xu QS(徐勤松), Shi GX(施国新), Du KH(杜开和). 2002. Effects of Cr(VI) on physiological and ultrastructural changes in leaves of ottelia alismoides(L.) pers(六价铬污染对水车前叶片生理生化及细胞超微结构的影响)[J]. Guihaia(广西植物), 22(1): 92—96.
- Yang Q(杨 庆), Jin HB(金华斌). 2000. The effect of aluminium stress on N. P. and Ca absorption of peanut varieties(铝胁迫对花生吸收氮、磷、钙的影响)[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences(中国油料作物学报), 22(2): 68—73.

(上接第 39 页 Continue from page 39)

材料,较成功的建立了快速的无性繁殖系。在初代和继代培养中,使用较高 BA 浓度,尽管有较高的小芽增殖率,但小植株矮化明显,表现为植株矮胖,与自然百合生长状态相比,鳞片叶化,生长受到明显的抑制,有时芽基部还产生大量的愈伤组织。另外,BA 的诱导活性明显高于 KT,但在含有 BA 的培养基中,几乎所有的小植株的鳞片叶化,而 KT 培养基中的小植株生长健壮,鳞茎呈紫色与自然生长的植株一致,尽管增殖率较低,但能一次成苗,简化了培养程序,降低了成本,而且可保持较低的变异率,对品种优良性状的保持有利。

有关百合组织培养的文章很多,但以东方百合系为材料的组织培养尚未见报道,不同于其它百合组织培养,在实验中,我们分别选择了鳞片、茎尖及茎段为初代培养材料,筛选了继代增殖培养基,建立了 2 种简单有效的无性繁殖途径:

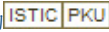
茎段 }  
鳞片 } 诱导芽或芽丛 增殖芽丛 生根完整植株  
茎尖 }

鳞片 诱导 再生植株 增殖 丛生小苗

## 参考文献:

- 丁 兰, 刘国安, 杨 红. 2002. 新铁炮百合组织培养和快速繁殖研究 [J]. 西北师范大学学报, 37 (1): 80—82.
- 王红霞, 等. 2000. 通江百合的组织培养 [J]. 植物生理学通讯, 36 (2): 132.
- 陈小兰, 等. 2000. 金百合的离体快速繁殖 [J]. 离体快速繁殖, 36 (4): 334.
- 杨承德, 等. 1988. 百合鳞茎不同部位的小鳞茎分化与激素调节研究 [J]. 兰州大学学报, 28 (3): 95—99.
- Gu ZP (谷祝平), Zheng GC (郑国昌). 1982. Studies on induction of pollen plantlets from the anther cultures of lily (从百合花药诱导花粉植株的研究) [J]. Acta Botanica Sinica (植物学报), 24: 28—32.
- Gu ZP (谷祝平), Zheng GC (郑国昌). 1983. In vitro induction of haploid plantlets from unpollinated young ovaries of lily and its exbryological observations (百合未授粉子房的组织培养及胚胎学观察) [J]. Acta Botanica Sinica (植物学报), 25: 24—30.

# 铝对水稻幼苗生长和生理的影响

作者: [石贵玉](#)  
作者单位: [广西师范大学生命科学学院, 广西桂林, 541004](#)  
刊名: [广西植物](#)   
英文刊名: [GUIHAIJA](#)  
年, 卷(期): 2004, 24(1)  
被引用次数: 54次

## 参考文献(15条)

1. [张志良](#) [植物生理学实验指导\(第2版\)](#) 1990
2. [袁隆平](#) [杂交水稻学](#) 2002
3. [刘厚田](#); [张维平](#); [沈英娃](#) [重庆南山酸雨与马尾松衰老的关系](#) 1988(03)
4. [陈平](#), [余土元](#), [陈惠阳](#), [周厚高](#) [硒对镉胁迫下水稻幼苗生长及生理特性的影响](#)[期刊论文]-[广西植物](#) 2002(3)
5. [Giannopolitis CN](#); [Ries SK](#) [Superoxide dismutation I. Occurrence in higher plants](#) 1997
6. [赫鲁宁](#); [刘厚田](#) [Effects of aluminium on physiological functions of rice seedlings\(铝对水稻幼苗的生理影响\)](#) 1989(11)
7. [孔繁翔](#), [桑伟莲](#), [蒋新](#), [王连生](#) [铝对植物毒害及植物抗铝作用机理](#)[期刊论文]-[生态学报](#) 2000(5)
8. [孔祥生](#), [郭秀璞](#), [张妙霞](#) [镉胁迫对玉米幼苗生长及生理生化的影响](#)[期刊论文]-[华中农业大学学报](#) 1999(2)
9. [刘东华](#); [蒋梧生](#) [Toxic effects of aluminium on plants\(铝对植物的毒害\)](#) 1995(01)
10. [罗广华](#); [王爱国](#); [邵从本](#) [The damage to rice seedling under high concentration oxygen and protective enzymes of active oxygen\(高浓度氧对水稻幼苗的伤害与活性氧的防御酶\)](#) 1989
11. [彭嘉桂](#); [陈成榕](#); [卢和顶](#) [Preliminary studies on Al stress of maize\(玉米铝胁迫研究初报\)](#) 1995(02)
12. [秦瑞君](#), [陈福兴](#) [湘南红壤作物苗期铝中毒的研究](#)[期刊论文]-[植物营养与肥料学报](#) 1999(1)
13. [van Assche F](#); [Clijsters H](#) [Effects of metal on enzyme activity in plants](#) 1990
14. [徐勤松](#), [施国新](#), [杜开和](#) [六价铬污染对水车前叶片生理生化及细胞超微结构的影响](#)[期刊论文]-[广西植物](#) 2002(1)
15. [杨庆](#), [金华斌](#) [铝胁迫对花生吸收氮、磷、钙的影响](#)[期刊论文]-[中国油料作物学报](#) 2000(2)

## 本文读者也读过(10条)

1. [刘拥海](#), [俞乐](#), [吴国创](#) [不同pH值条件下酸铝对水稻种子萌发和根系生长的影响](#)[期刊论文]-[安徽农业科学](#) 2008, 36(11)
2. [庞贞武](#) [铝毒快速抑制水稻根伸长生长的生理机制研究](#)[学位论文]2009
3. [谢国生](#), [范雪莲](#), [师瑞红](#), [刘起莲](#), [张端品](#), [XIE Guo-sheng](#), [FAN Xue-lian](#), [SHI Rui-hong](#), [LIU Qi-lian](#), [ZHANG Duan-pin](#) [铝胁迫对水稻幼苗生理变化的影响](#)[期刊论文]-[农业环境科学学报](#)2006, 25(1)
4. [廖星昊](#), [LIAO Xing-hao](#) [ABA和Ca<sup>2+</sup>降低水稻的铝毒害效应](#)[期刊论文]-[怀化学院学报](#)2005, 24(5)
5. [陈荣府](#), [沈仁芳](#) [水稻\(Oryza sativa L.\) 铝毒害与耐性机制及铝毒害的缓解作用](#)[期刊论文]-[土壤](#)2004, 36(5)
6. [蓝群](#), [陈娟](#), [李莉](#), [莫亿伟](#), [LAN Qun](#), [CHEN Juan](#), [LI Li](#), [MO Yi-wei](#) [铅、镉浸种对水稻幼苗生长和抗氧化酶的影响](#)[期刊论文]-[云南农业大学学报](#)2005, 20(5)
7. [黄邦全](#), [白景华](#), [薛小桥](#) [植物铝毒害及遗传育种研究进展](#)[期刊论文]-[植物学通报](#)2001, 18(4)
8. [章文华](#), [马建锋](#), [刘友良](#) [荞麦根吸收铝和分泌草酸的部位](#)[期刊论文]-[植物生理学通讯](#)2002, 38(1)
9. [何龙飞](#), [沈振国](#), [刘友良](#), [王爱勤](#) [植物铝毒害机理的研究](#)[期刊论文]-[广西农业生物科学](#)2002, 21(3)
10. [邓秋静](#), [谢锋](#), [宋春然](#), [吉玉碧](#), [陈安宁](#), [谭红](#), [何锦林](#) [黔南州农业土壤重金属现状及评价](#)[期刊论文]-[贵州环保科](#)

引证文献(54条)

1. 任立民, 刘鹏, 谢忠雷, 徐根娣, 李志刚, 蔡妙珍, 罗虹 [植物对铝毒害的抗逆性研究进展](#) [期刊论文] - [土壤通报](#) 2008 (01)
2. 刘拥海, 俞乐, 吴国创 [不同pH值条件下酸铝对水稻种子萌发和根系生长的影响](#) [期刊论文] - [安徽农业科学](#) 2008 (11)
3. 刘尼歌 [大豆和水稻对铝胁迫响应的生理机制研究](#) [学位论文] 硕士 2006
4. 祝丽香, 王建华, 房信胜, 王勇, 郝俊凯, 马伟伟, 焦天颖 [铝处理对桔梗种子萌发和幼苗生理的影响](#) [期刊论文] - [中国中药杂志](#) 2010 (24)
5. 廖星昊 [ABA和Ca<sup>2+</sup>降低水稻的铝毒害效应](#) [期刊论文] - [怀化学院学报](#) 2005 (05)
6. 王芳, 刘鹏, 徐根娣, 罗丽兰 [铝对荞麦生理影响的研究](#) [期刊论文] - [农业环境科学学报](#) 2005 (04)
7. 王保义, 李朝苏, 刘鹏, 徐根娣, 张文君, 朱佳 [荞麦叶内抗氧化系统对铝胁迫的响应](#) [期刊论文] - [生态环境](#) 2006 (04)
8. 何龙飞, 黄咏梅, 莫长明, 李创珍, 卢升安, 王爱勤, 李志刚 [铝对花生根系膜脂过氧化和保护酶活性的影响](#) [期刊论文] - [广西农业生物科学](#) 2005 (03)
9. 詹嘉红, 蓝宗辉 [汞对水稻幼苗部分生理生化指标的影响](#) [期刊论文] - [生物技术](#) 2007 (03)
10. 朱佳, 张晓燕, 李朝苏, 徐根娣, 刘鹏 [铝胁迫对白银豆幼苗生理特性的影响](#) [期刊论文] - [农业环境科学学报](#) 2006 (01)
11. 王明霞, 黄建国, 袁玲, 周志峰 [铝胁迫下外源钙对外生菌根真菌抗氧化保护酶活性的影响](#) [期刊论文] - [环境科学](#) 2012 (10)
12. 林忠全, 李佳繁, 康友宏, 陈荣, 吴田菊, 孙波, 陈静 [土壤外源镉污染对番茄幼苗生长影响研究](#) [期刊论文] - [北方园艺](#) 2009 (05)
13. 马丽, 杨盛昌 [铝胁迫对海莲幼苗保护酶系统及脯氨酸含量的影响](#) [期刊论文] - [广西植物](#) 2009 (05)
14. 玉峙强, 王利英, 玉舒中, 杨振德, 韦立秀 [硫酸铝对马尾松种子萌发及幼苗生长的影响](#) [期刊论文] - [四川林业科技](#) 2008 (01)
15. 玉峙强, 韦立秀, 玉舒中, 杨振德, 王利英 [硫酸铝对马尾松种子萌发及幼苗生长的影响](#) [期刊论文] - [广西大学学报 \(自然科学版\)](#) 2007 (z1)
16. 李其星, 唐新莲, 沈方科, 黎晓峰, 顾明华 [铝胁迫下外源Ca<sup>2+</sup>对黑麦幼根膜脂过氧化及保护酶活性的影响](#) [期刊论文] - [广西农业科学](#) 2006 (03)
17. 薛跃娟 [铝对Cassia tora L. 根伸长的抑制作用与木质素合成的关系](#) [学位论文] 硕士 2007
18. 李荣华, 方正 [铝对新几内亚凤仙生长发育及花色的影响](#) [期刊论文] - [河北农业大学学报](#) 2006 (05)
19. 薛元杰 [四川盆地周山地杉木人工混交林对铝毒害的缓解作用](#) [学位论文] 硕士 2010
20. 郑艳萍, 俞慧娜, 刘鹏 [铝对7种菊科植物抗氧化酶活性的影响](#) [期刊论文] - [贵州农业科学](#) 2009 (01)
21. 陈建华, 叶灵静, 刘鹏 [铝对益母草种子萌发的影响](#) [期刊论文] - [种子](#) 2006 (01)
22. 詹福建 [不同生态型香根草对铝胁迫生理响应的研究](#) [学位论文] 硕士 2008
23. 贺根和, 刘强, 江丹, 郑辉德 [铝与镉的交互作用对水稻种子萌发及幼苗生长的影响](#) [期刊论文] - [江西农业大学学报](#) 2010 (03)
24. 刘强, 尹丽, 龙婉婉, 肖宜安 [铝胁迫对藜科植物生长和光合、蒸腾特性的影响](#) [期刊论文] - [广西植物](#) 2011 (02)

25. [赵会娥, 贺立源, 章爱群, 门玉英](#) 铝胁迫对植物光合作用的影响及其机理的研究进展[期刊论文]-[华中农业大学学报](#) 2008(01)
26. [李立, 周妍, 刘鹏, 陈建华](#) 铝对香椿种子萌发的影响[期刊论文]-[种子](#) 2008(01)
27. [陈香, 陆耀东, 黄伟, 胡雪华](#) 铝胁迫对入侵植物北美车前生长特性和生物量分配的影响[期刊论文]-[广西植物](#) 2011(04)
28. [葛恒懿](#) 耐铝根际菌的筛选及其对茶树耐铝行为的影响[学位论文]硕士 2013
29. [张燕](#) 一氧化氮对大豆根部铝毒害的缓减作用[学位论文]硕士 2008
30. [李晓红, 李蕴, 胡雪华, 曾建军, ZHOU Bing](#) 铝胁迫对喀西茄叶片的氧化伤害及抗氧化酶活性的影响[期刊论文]-[井冈山大学学报\(自然科学版\)](#) 2011(06)
31. [刘鹏, 曹林, 王利华, 刘丹, 徐根娣, 马丽, 郇枫](#) 低温胁迫下外源水杨酸对栝楼幼苗抗寒性影响?[期刊论文]-[浙江师范大学学报\(自然科学版\)](#) 2015(01)
32. [曾巧英](#) 甜玉米品种铝胁迫的筛选、评价及生理机制研究[学位论文]硕士 2009
33. [俞慧娜, 刘鹏, 徐根娣, 陈文荣, 周菁, 李传勇](#) 大豆根系和叶片叶绿素荧光特性对铝响应的比较[期刊论文]-[上海交通大学学报\(农业科学版\)](#) 2007(02)
34. [林杞](#) 铝胁迫下不同类型森林土壤对杉木幼苗生理及土壤酶活性的影响[学位论文]硕士 2009
35. [王志颖](#) 有机酸和抑制剂对铝胁迫下油菜(*Brassica napus* L.)生长、生理和根系分泌物的调控研究[学位论文]硕士 2011
36. [张慧敏, 刘东华](#) 铝毒对植物生物效应的研究进展[期刊论文]-[中国园艺文摘](#) 2013(01)
37. [王沿沿](#) 铝毒胁迫下不同耐性的木豆品种根结构和光合特性的差异比较[学位论文]硕士 2014
38. [何虎翼](#) 硝普钠缓解铝对黑麦和小麦毒害作用机理的研究[学位论文]硕士 2006
39. [李荣峰, 蔡妙珍, 刘鹏, 徐根娣, 梁和, 周主贵](#) 边缘细胞对大豆根尖铝毒害的缓解效应[期刊论文]-[作物学报](#) 2008(02)
40. [金婷婷](#) 大豆(*Glycine max* L.)根系分泌物缓解铝毒的机理研究[学位论文]硕士 2008
41. [黄咏梅](#) 花生铝毒害的生理生化特性研究[学位论文]硕士 2005
42. [林立金](#) 锌铬复合污染对水稻根系生理生态、产量及品质的影响[学位论文]硕士 2007
43. [马丽](#) 海莲和秋茄幼苗对 $AlCl_3$ 的生理学适应[学位论文]硕士 2007
44. [朱美红](#) 磷提高荞麦耐铝性的作用和机理研究[学位论文]硕士 2009
45. [贾国云](#) 茶树对铝的生理响应及茶树中咖啡碱生物学功能的研究[学位论文]硕士 2010
46. [张红蕊](#) 铝毒胁迫对湿地植物芦苇萌发和生长的影响[学位论文]硕士 2011
47. [郭智娟](#) 不同基因型水稻对铝胁迫反应的差异性研究[学位论文]硕士 2007
48. [李蕴](#) 铝胁迫对喀西茄和车前生理生态特征的影响[学位论文]硕士 2008
49. [汪婷](#) 不同耐铝型杉木家系的筛选及抗性机理研究[学位论文]硕士 2013
50. [李荣峰](#) 大豆根边缘细胞缓解铝毒的作用及机理研究[学位论文]硕士 2007
51. [时玮玮](#) 两种不同铝剂对甘肃黄花烟草抗病性的不同效应[学位论文]硕士 2008
52. [宋金敏](#) 水稻边缘细胞对铁毒响应的研究[学位论文]硕士 2009
53. [阎君](#) 假俭草种质资源耐铝性评价及耐铝机理研究[学位论文]博士 2010
54. [王瑞波](#) 中国特有植物南川百合(*Lilium rosthornii* Diels)保护生物学研究[学位论文]博士 2009

引用本文格式：[石贵玉](#) [铝对水稻幼苗生长和生理的影响](#)[期刊论文]-[广西植物](#) 2004(1)