

# 铝对桉树幼苗生长及某些生理特性的影响

## Effect of Aluminium on the Growth and Some Physiological Characters of Eucalyptus Seedlings

杨振德      方小荣\*      牟继平  
Yang Zhende      Fang Xiaorong      Mou Jiping

(广西农业大学林学院 南宁市邕武路 16号 530001)

(Forestry College, Guangxi Agric. Univ. 16 Yongwu Road, Nanning, Guangxi, 530001)

**摘要** 用溶液培养法研究了铝对巨尾桉幼苗生长及某些生理特性的影响。结果表明,低浓度的铝 (< 10 mg/L) 对桉苗根系生长有一定的促进作用,根系活力增强。在铝胁迫下,叶片生长受阻,植株高生长下降,分枝减少,硝酸还原酶活性下降,脯氨酸含量和过氧化物酶与过氧化氢酶活性则升高。多酚氧化酶活性在铝浓度较低时有所下降,当铝浓度升高到一定程度时,多酚氧化酶活性则呈现上升的趋势。

**关键词** 铝 巨尾桉 生长 生理特性

**Abstract** Effect of aluminium on the growth and some physiological characters of Eucalyptus (*E. grandin* × *E. urophylla*) seedling was studied with liquid medium culture method. The results showed that the growth of root systems and the vigor of root systems were promoted in low concentration of aluminium (< 10 mg/L). Under aluminium stress the growth of leaves was inhibited, the plant height and the branch number were decreased, and so did the activity of nitrate reductase. However, the content of proline and the activities of peroxidase and catalase in leaf were increased when the concentration of aluminium increased. The activity of polyphenol oxidase was decreased in low concentration of aluminium but it tended to increased with the concentration of aluminium increased.

**Key words** aluminium, Eucalyptus, growth, physiological character

我国酸雨区已覆盖 960万 km<sup>2</sup> 国土的 40%, 并呈发展趋势。酸雨面积近 8年扩大了约 100万 km<sup>2</sup>[1]。广西是全国酸雨污染最严重地区之一,而广西的红壤对酸雨的敏感度绝大部分属于最敏感和敏感两级[2], 1993年南宁市降雨酸度 pH值平均为 4.74, 最小值达到 3.12[3]。有研究表明,酸雨严重地区的森林衰亡与土壤活性铝毒害有关[4]。我国南方酸雨地区近年来发生的马尾松衰亡现象的主要原因也是铝毒作用的结果[5]。铝毒是酸性土壤抑制植物生长的一个主要因素[6]。桉树是世界著名的速生树种。目前我国桉树人工林面积已达 0.67万 hm<sup>2</sup>, 仅次于巴西居世界第二位。但是桉树对铝的敏感性以及铝对桉树生长的影响尚罕见报道。本试验用水培法探讨铝对

桉树幼苗生长及某些生理特性的影响,为选择耐铝性遗传基因型品种和解决桉树人工林土壤铝毒提供理论依据

### 1 材料与方法

#### 1.1 材料准备

供试材料为广西农业大学林学院桉树中心苗圃提供的五月龄巨尾桉扦插苗。选取生长情况基本一致(高约 15 cm, 无分枝, 根系生长良好)的桉苗先用自来水清洗干净, 然后置于容积为 30 L的培养缸中, 用 Hoagland 营养液[7]预培养 1周, 再进行不同铝浓度处理试验。

#### 1.2 铝处理试验

铝处理浓度为 0 (CK)、10 30 60 120 mg/L, 采用分析纯的 Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> · 18H<sub>2</sub>O 配制而成。每处理 3个重复, 每个重复 4株苗。营养液中的磷浓度降至

原液的 1/4, 以免  $Al^{3+}$  沉淀, 以 MS 培养基的铁盐<sup>[8]</sup> 代替其中的酒石酸铁, 每升营养液加 Arnon 微量元素混合液 1 mL。营养液 pH 值保持在 4.0~4.5 之间, 每天进行调试, 通气 2 次~3 次, 每次 2 min~3 min, 还要补充水分消耗, 定时更换营养液

### 1.3 桉苗生长测定

铝处理前后分别测量植株高度, 根系体积, 记录叶片数及分枝情况等

### 1.4 生理生化指标测定

于试验结束时, 对过氧化物酶、硝酸还原酶、根系活力按文献 [8] 的方法进行测定。过氧化氢酶活性采用高锰酸钾滴定法<sup>[9]</sup>测定。多酚氧化酶活性以邻苯二酚为底物作比色法测定<sup>[10]</sup>。脯氨酸含量按文献 [11] 的方法测定。叶绿素含量采用丙酮和酒精按 2:1 混合液提取作比色测定<sup>[12]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 铝对桉树幼苗生长情况的影响

#### 2.1.1 铝对地上部分生长的影响

在不同铝浓度处理下, 桉苗地上部分的生长均受到不同程度的抑制 (表 1)。叶面积和高生长与铝浓度之间呈显著的负相关关系 ( $r_{\text{叶面积}} = -0.83, r_{\text{高生长}} = -0.87, P < 0.1$ ), 当铝浓度为 120 mg/L 时, 叶面积和高生长受抑制百分数分别高达 79% 和 65%。分枝数与铝浓度之间亦呈现较高的负相关关系 ( $r = -0.78$ ), 但未达显著水平。

#### 2.1.2 铝对根系生长的影响

从外观上看, 经铝处理的根系主根较粗, 侧根较少, 根的颜色较白。而无铝处理的根系主根较细, 侧根较多, 根的颜色淡黄。从根系生长速度来看, 铝浓度为 10 mg/L 时, 根系体积较无铝处理者增加了 23.7%, 说明该处理浓度的铝对根系生长有一定的促进作用。当铝浓度继续增大时, 铝对根的生长则产生抑制作用, 并且随铝浓度升高, 抑制作用愈明显 (表 1 铝对桉树生长状况的影响)

Table 1 Effect of  $Al^{3+}$  on the growth of Eucalyptus seedling

铝浓度 $Al^{3+}$ Concentration (mg/L)	叶面积 Leaf area* ( $cm^2$ 株)	分枝数 Branch* (分枝数 株)	株高 Shoot height* (cm)	根系体积 Root system volume* ( $cm^3$ 株)	死亡率 Mortality (%)
0	929 (100)	2.42 (100)	11.95 (100)	3.75 (100)	66.7
10	632 (68.0)	0.78 (32.2)	10.36 (86.7)	4.64 (123.7)	25.0
30	351 (37.8)	1.0 (41.3)	8.22 (68.8)	3.63 (96.8)	58.3
60	303 (32.6)	1.0 (41.3)	10.42 (87.2)	3.54 (94.4)	75.0
120	196 (21.1)	0 (0)	4.17 (34.9)	3.75 (100)	91.7

\* Net values added values of off-test- values of on-test.

1)

### 2.1.3 铝对桉苗存活率的影响

随着铝浓度的增加, 桉苗的死亡率出现逐渐上升的趋势 (表 1)。当铝浓度为 10 mg/L 时, 其死亡率最低 (25%), 低于对照 (66.7%), 其原因一方面是在该浓度下有利于根系的生长 (表 1), 另一方面可能是  $Al^{3+}$  发挥了杀菌功能, 杀死了一些桉苗根系的致病菌, 因而存活率较高。当铝浓度为 120 mg/L 时, 死亡率最高 (91.7%), 说明该浓度的铝对桉苗具有较强的毒害作用。无铝处理的植株亦显示较高的死亡率, 但其死亡症状与铝毒死亡症状不同。首先是根系变褐, 叶片萎蔫, 然后干枯死亡, 死亡时叶片仍保持青色, 因而可能是一种根系病害。而铝毒致死的植株叶片焦枯呈褐色。

### 2.2 铝对桉树幼苗生理特性的影响

#### 2.2.1 铝对叶绿素含量的影响

有研究表明, 植物受铝毒后, 叶绿素含量下降, 总光合作用和光合速率明显降低, 叶绿素 a 的含量减少, 叶绿素 a 和 b 的比率下降<sup>[6]</sup>。本研究结果表明, 桉苗受铝毒后, 叶绿素含量没有多大变化, 但叶绿素 a 和 b 的比率升高 (表 2)。M. Johnston 等认为叶绿素 a 和 b 的比率指示捕光色素与反应中心的相对比例<sup>[13]</sup>, 比值升高对光合作用是有利的。因而桉苗在铝毒下叶绿素 a 和 b 比率的升高可能是桉苗对铝毒的一种抗逆性反应。

#### 2.2.2 铝对桉苗过氧化氢酶和过氧化物酶活性的影响

过氧化物酶 (POD) 和过氧化氢酶 (CAT) 被认为是两种重要的保护性酶<sup>[14]</sup>。逆境对诸如过氧化物歧化酶 (SOD)、POD 和 CAT 等所谓保护性酶活性的影响在农作物和一些草本植物上有过一些报道<sup>[14, 15]</sup>。但在木本植物方面研究得较少, 而在桉苗上却未见报道。本研究发现在铝胁迫下, POD 和 CAT 这两种保护性酶的活性均升高。POD 活性与对照相比升高了

表 2 铝对桉树幼苗生理特性的影响

Table 2 Effect of Al<sup>3+</sup> on some physiological characters of Eucalyptus seedling

铝浓度 Al <sup>3+</sup> Concentration (mg/L)	叶绿素含量 Content of chlorophyll (mg/g fw)					脯氨酸含量 Content of proline ( $\mu$ g/g fw)	根系活力 Vigor of root system ( $\mu$ g/g h)	酶活性 Enzyme activities			
	a		b		a/b			POD	CAT	PPO	NR
	a	b	a	b							
0	2.33	1.09	3.42	2.14	6.0 (100)	9.0 (100)	10.8 (100)	3.0 (100)	7.9 (100)	0.46 (100)	
10	2.19	1.09	3.28	2.00	8.8 (146.7)	26.2 (291.1)	12.3 (113.9)	5.1 (170)	7.1 (89.9)	0.23 (50)	
30	2.43	1.26	3.69	1.92	8.9 (148.3)	3.8 (42.2)	25.3 (234.3)	15.1 (503)	7.8 (98.7)	0.21 (45.7)	
60	2.39	1.01	3.40	2.38	6.1 (101.7)	7.4 (82.2)	23.7 (219.4)	18.1 (603)	9.6 (121.5)	0.1 (21.7)	
120	2.46	1.01	3.47	2.44	7.1 (118.3)	32.6 (362.2)	12.3 (113.9)	17.0 (567)	9.3 (117.7)	0.14 (30.4)	

POD 过氧化物酶 peroxidase ( $\Delta$  OD<sub>470</sub>/g.fw.min.), CAT 过氧化氢酶 catalase (mg H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/g.fw.min.); PPO: 多酚氧化酶 polyphenol oxidase ( $\Delta$  OD<sub>598</sub>/g.fw.min.), NR 硝酸还原酶 nitrate reductase ( $\mu$ g NO<sub>2</sub><sup>-1</sup>/g.fw.h.)

14%~13.4%。CAT活性增加更为明显,比对照增加1.7~6.0倍(表2)说明桉苗的POD和CAT活性对铝胁迫敏感。从表2还可见,铝浓度升高到一定程度,POD和CAT活性呈现下降,但仍然高于对照。

### 2.2.3 铝对多酚氧化酶活性的影响

有研究表明,多酚氧化酶(PPO)活性的增强是锰毒的最灵敏反应<sup>[16]</sup>。本研究结果表明,PPO活性对铝毒反应也敏感。在铝浓度较低时,PPO活性略低于对照,但铝浓度高于60mg/L时,PPO活性则升高,比对照高17.9%~21.5%(表2)。PPO活性的升高促进了桉苗体内酚类物质向更有毒性的醌类物质转化,从而使桉苗受到毒害。铝浓度高于60mg/L时,桉苗叶片和高生长严重受抑制,分枝减少,死亡率升高(表1)等充分地说明了这一点。

### 2.2.4 铝对脯氨酸含量的影响

植物在不良逆境中具有累积脯氨酸的生理效应,在盐渍、干旱等逆境胁迫下的此种表现已有不少报道<sup>[17]</sup>,彭嘉桂在大豆、玉米中发现在铝胁迫下也具有这种生理效应<sup>[18]</sup>。本研究结果亦表明,在铝胁迫下,桉苗体内脯氨酸含量亦升高,升高范围为1%~48%,但并不是随铝浓度的升高而升高。当铝浓度过高时,脯氨酸含量又趋于降低(表2)出现这种现象的原因有待于探讨。

### 2.2.5 铝对硝酸还原酶活性的影响

有人证明,铝对氮代谢具有破坏作用<sup>[19]</sup>,一些耐铝性强的品种与硝酸还原酶(NR)活性有关<sup>[6]</sup>。在铝胁迫下,玉米吸收氮素受阻<sup>[18]</sup>。本研究表明,在铝胁迫下,桉苗叶片NR活性降低,且随铝浓度的升高,其活性下降愈明显(表2)。当铝为60mg/L时,NR活性仅是无铝对照的21.7%。而当铝浓度为120mg/L时,NR活性又略有回升,但仍然显著低于对照。可能是该处理浓度下存活下来的单株具有较强的耐铝

性

### 2.2.6 铝对根系活力的影响

在逆境下,根系是最敏感的器官。铝使生长在酸性土壤中的植物生长受阻滞,致使根系短小,脆弱。本试验结果表明,铝浓度大于10mg/L时,桉苗根系使 $\alpha$ -萘胺生物氧化的强度降低(表2)根系活力的降低,无疑会影响桉苗一系列的生理生化过程,降低根对营养和水分的吸收,从而导致根系生长受阻,叶面积减少,高生长受抑,分枝数减少等毒害症状(表1),但低浓度的铝却能增强桉苗的根系活力(表2),这与低浓度铝促进桉苗根系生长的情况相一致。当铝浓度为120mg/L时,桉苗根系活力也显著高于对照,这与在该处理中存活下来的单株具有较强的抗铝能力有关。

## 3 讨论

### 3.1 铝对桉苗生长的刺激作用

本研究发现,铝对桉苗生长的影响具有双重性,即低浓度的铝对桉苗根系生长有刺激作用,高浓度的铝对桉苗生长则有抑制作用。关于低浓度铝对植物生长的刺激作用,曾有一些报道<sup>[20,21]</sup>,但对其机理不清楚。认为在低pH值下,微量的铝可以在一定程度上缓解质子(H<sup>+</sup>)对细胞膜的损害,并可减少根中钾的外流,刺激钙和镁由根向茎的运输<sup>[20]</sup>。本试验表明,微量的铝可提高桉苗的根系活力,同时微量的铝还具有杀死桉苗根系病菌的作用,因而促进桉苗根系的生长。

### 3.2 铝对桉苗体内某些酶活性的影响

铝胁迫下植物体内酶活性的变化已有少量报道<sup>[6]</sup>。本文首次报道铝胁迫下POD、CAT、PPO和NR等酶活性的变化情况。结果表明,这些酶活性对铝胁迫反应敏感。在铝胁迫下,细胞膜结构遭到破坏,

使膜透性增加<sup>[22]</sup>。POD和CAT活性升高在一定程度上可以减轻活性氧对细胞膜的伤害,提高植物对铝的抵御能力。PPO活性的降低则可避免植物体内酚类物质向更有毒的醌类物质转化,从而保护植物不受毒害<sup>[23]</sup>,酚类物质亦有助于减轻铝毒害<sup>[6]</sup>。在铝浓度较低时,桉苗体内POD和CAT活性显著升高,而PPO活性降低,说明桉苗通过这些酶活性的变化对铝毒产生较强的抗性。但当铝浓度较高时,POD和CAT的活性呈现下降趋势,PPO的活性则升高。这些酶活性的这些变化,说明桉苗体内酶系统对铝毒的抵御能力是有限的,随着铝浓度的升高,铝对桉苗的伤害作用便愈严重。

无论是低浓度还是高浓度的铝,均使NR活性降低,说明铝对桉苗体内氮代谢具有不利影响。因而桉苗由于氮不足而表现出植株高生长受抑,叶面积小,分枝少等受害症状。

### 3.3 耐铝性桉树的选育

很多研究者已证明,不同植物以及同种植物的不同基因型,在耐铝性上差异很大。耐铝性桉树的选育可以部分地解决土壤的铝毒问题。在试验过程中,笔者观察到当铝浓度为120 mg/L时,3个月后只有一株桉苗能够存活下来,可以认为是耐铝性较强的单株。经测定发现该单株具有较强的根系活力,根系生长良好。因此是否可以通过测定在铝毒条件下桉苗的根系活力来快速选择耐铝性桉苗,值得进一步深入研究。

### 参考文献

- 1 王志文. 我国酸雨研究取得重大进展. 人民日报 (海外版), 1996, 1, 17, 第8版.
- 2 王敬华, 张效年, 于天仁. 华南红壤对酸雨敏感性的研究. 土壤学报, 1994, 31 (4): 348~ 355.
- 3 吴小寅. 南宁市酸雨污染现状及防治对策. 广西农业大学学报, 1995, 14 (3): 248~ 251.
- 4 Guransson A. Effects of aluminium on growth and nutrient uptake of small Picea abies and Pinus sylvestris plants. Trees, 1991, 5 (3): 136~ 142.
- 5 刘厚田, 张维平, 沈英娃等. 重庆南山酸雨与马尾松衰亡的关系. 环境科学学报, 1988, 8 (3): 331~ 339.
- 6 刘东华, 蒋悟生. 铝对植物的毒害. 植物学通报, 1995, 12

- (1): 24~ 29.
- 7 西北农学院, 华南农学院主编. 农业化学研究法. 北京: 农业出版社, 1982.
- 8 华东师范大学生物系植物生理教研组主编. 植物生理学实验指导. 北京: 高等教育出版社, 1985.
- 9 黄学林, 陈润政, 张北壮等编. 种子生理实验手册. 北京: 农业出版社, 1990, 122~ 124.
- 10 孙谷畴, 林植芳, 林桂珠. 不同浓度氧贮藏荔枝的几种酶活性变化. 广西植物, 1992, 12 (1): 36~ 40.
- 11 张殿忠, 汪沛洪, 赵会贤. 测定小麦叶片游离脯氨酸含量的方法. 植物生理学通讯, 1990, (4): 62~ 65.
- 12 彭运生, 刘恩. 关于提取叶绿素方法的比较研究. 北京农业大学学报, 1992, 18 (3): 247~ 249.
- 13 Johoston M, Crof C P L, Brownell P F. Aust J Plant physiol, 1989, 16 449~ 457.
- 14 洪法水, 马成仓, 董振古. 水分胁迫下Ca<sup>2+</sup>、PEP预处理对小麦幼苗保护酶系统活性的影响. 植物学通报, 1995, 12 (3): 51~ 53.
- 15 周瑞莲, 张普金, 徐长林. 长期低温作用下垂穗披碱草保护酶活性变化及其牧草生态适应性. 草业学报, 1995, 4 (3): 30~ 35.
- 16 张西科, 张福锁, 毛达如. 植物锰中毒研究进展. 土壤学进展, 1994, 22 (5): 13~ 20.
- 17 徐新宇, 胡荣海. 作物的抗旱能力与体内游离脯氨酸含量的变化 (综述). 国外农业科技, 1983, 113 (9): 19~ 22.
- 18 彭嘉桂, 陈成榕, 卢和顶. 玉米铝 (Al) 胁迫研究初报. 热带亚热带土壤科学, 1995, 4 (2): 97~ 101.
- 19 邹帮基, 何雪晖编著. 植物的营养. 北京: 农业出版社, 1985.
- 20 Hakan A S P, Bengtssob B, Jensen P. Growth and cation uptake in spruce grown in sand culture with various aluminium content. Plant soil., 1988, 111: 127~ 133.
- 21 柳若安, 刘厚田. 酸度和铝对马尾松生长的影响. 植物学报, 1995, 37 (2): 154~ 158.
- 22 Chen J, Sucoff E I, Stadelmann E J. Aluminium and temperature alteration of cell membrane permeability of quercus rubra. Plant Physiol, 1991, 96 (2): 644~ 649.
- 23 易干军, 夏仁学, 马梦亭等. 施用锰、硼对板栗幼苗生长和几个生理指标的影响. 华中农业大学学报, 1993, 12 (6): 597~ 602.

(责任编辑: 邓大玉 蒋汉明)