

# 不同基因型决明属牧草耐铝性研究

徐国忠, 郑向丽, 林永辉, 詹杰, 叶花兰

(福建省农业科学院农业生态研究所 福建省山地草业工程技术研究中心, 福建 福州 350013)

**摘要:**在铝质量浓度为 90 mg/L 下,对 10 个不同基因型决明 *Chamaecrista* spp. 牧草进行溶液培养。通过农艺性状、主根伸长率、株高增长率、根系电导率、根系活力和脯氨酸含量变化测定,研究不同基因型决明的耐铝性差异。试验结果表明,86134R2、86134R3、86134R1、2204 属于耐铝毒的决明基因型;34721R1、34721R2、34721F7、34721F4 决明基因型耐铝毒能力中等;92985R1、92985R2 属于铝敏感决明基因型。

**关键词:**决明;基因型;牧草;耐铝性

**中图分类号:**S541<sup>+</sup>.901

**文献标识码:**A

**文章编号:**1001-0629(2009)09-0140-06

\*<sup>1</sup> 铝是地壳中含量最丰富的金属元素,在酸性条件下以  $Al^{3+}$  的形式存在,能对植物产生毒害,铝离子毒害是酸性土壤地区限制作物生长的主要因素。虽然可以通过施用石灰、增加土壤有机质含量、施用硅肥等非生物途径来防治铝毒,但这类方法投入大,操作上也存在困难,长期使用还会破坏土壤特性,污染环境、破坏生态平衡,不是解决土壤铝毒的根本方法。而通过遗传育种的方法,改良作物本身的耐铝能力,选育出耐铝胁迫的作物基因型,充分挖掘优良基因型的遗传潜力,是提高酸性铝毒土壤中作物生产力、促进农业高效可持续发展的新途径,也是解决土壤铝毒的根本方法。酸性土壤上铝对作物的毒害是绝对的,但不同作物或同一作物不同基因型间的耐铝毒能力存在着明显差异<sup>[1-15]</sup>。

决明属牧草主要为圆叶决明 *Chamaecrista rotundifolia* 和羽叶决明 *C. nictitans*,原产于南美洲的巴西、巴拉圭、墨西哥等地,是优良的豆科牧草,在非洲、澳大利亚、美国、巴西等国广泛种植。自 1987 年以来,福建省农业科学院农业生态研究所先后从澳大利亚国际农业研究中心 (ACIAR) 与澳大利亚热带牧草种质资源中心 (ATFGRC) 引进源自世界各地的豆科决明属牧草,在福建的闽北、闽南、闽西等地进行红壤山地示范种植。多年试验研究表明,这些品种抗旱性强,具有耐酸、耐瘠、抗铝毒、固氮活性高、无病虫害,且产量高、适口性较好等优良特点,适宜在其

它作物难以生长的红壤荒山荒坡及侵蚀岗地生长,具有水土保持、生态恢复和地力培肥等功能<sup>[16]</sup>,可用于荒山荒坡改造、生态果园套种、水土保持利用及观光农业园的四季绿化,同时决明属牧草营养丰富,可作为牛、羊、兔等草食性动物的优质饲料<sup>[17-24]</sup>。

福建地跨中、亚热带,代表性土壤系红壤和赤红壤,主要土壤类型有红壤、黄壤、砖红壤性红壤等,全省山地丘陵面积有 1 000 万  $hm^2$  左右,约占土地总面积 85%,海拔一般较低,1 000 m 以上的仅占 3%,500~1 000 m 的占 33%,500 m 以下的占 64%,较便于开发利用。红壤是我国中亚热带湿润地区分布的地带性土壤,属中度脱硅富铝化的铁铝土;赤红壤是亚热带季雨林下形成的强脱硅富铝化土壤,其盐基淋溶、脱硅富铁铝程度次于砖红壤,强于红壤。目前福建省正在大力发展草食性畜禽,其结果必然要带动草业的发展,具有耐铝毒的决明属牧草很适宜在福建山地丘陵地区种植,具有非常好的发展前景。为此,深入研究了决明属牧草不同基因型的耐铝性差异,为耐铝决明属牧草基因型的筛选提供了一定的理论基础和参考依据。

收稿日期:2009-02-20

基金项目:福建省自然科学基金(B0610017);福州市科技局(2006-K-114);福建省星火计划(2007S007);科技部农业科技成果转化资金项目(2007GB2C400151)

作者简介:徐国忠(1965-),男,福建莆田人,研究员,学士,主要从事作物生理及遗传育种。  
E-mail: xuguozechong178@hotmail.com

## 1 材料与方法

**1.1 供试品系** 2204 为羽叶决明; 34721R1、34721R2、34721F4、34721F7、86134R1、86134R2、86134R3、92985R1、92985R2 都为圆叶决明。所有品系均由福建省农业科学院农业生态研究所牧草品种圃提供。

**1.2 试验设计** 采用砂床育苗, 河砂用蒸馏水洗净装盆, 砂厚 10 cm 左右, 盆底带小孔。苗长至两片叶子一心时移栽, 移栽时洗去根部砂子, 再用蒸馏水冲洗 3 遍。基础营养液采用 6302 培养液, pH 值保持 4.0, 盖子用泡沫塑料板, 每个盖子挖 5 个定植孔。苗放入定植孔后用海绵固定, 定植时根与茎的交接处高于液面少许, 每 7 d 换液 1 次。铝质量浓度为 90 mg/L[用  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ ], 3 次重复。

**1.3 取样和测定方法** 分别在铝处理溶液培养后第 10、13、16 和 19 天测定决明属牧草根长和株高, 计算根伸长率和株高增长率, 根伸长率或株高增长率 = [此次测量的根长或株高一上次测定的根长或株高]/3。

在铝处理溶液培养后第 20 天分别取样进行下列测定: 1) 测定植株根、茎、叶干质量; 2) 根系活力采用 TTC 法<sup>[10]</sup>测定, 单位为  $\mu\text{g}/(\text{g} \cdot \text{h})$ ; 3) 根系电导率采用电导仪测定<sup>[10]</sup>, 单位为%; 4) 脯氨酸含量采用茚三酮比色法<sup>[10]</sup>, 单位为  $\mu\text{g}/\text{g}$ 。

酸含量采用茚三酮比色法<sup>[10]</sup>, 单位为  $\mu\text{g}/\text{g}$ 。

**1.4 数据分析** 为了消除不同品系间固有的生物学特性(如根系生长)的差异, 试验采用相对耐性指数来衡量不同品系的耐铝毒能力, 包括相对根长、相对根系干质量、相对地上部干质量、相对根系伸长率、相对株高增长率、相对根系活力、相对根系电导率、相对脯氨酸含量等。其相对耐性值的计算公式为: 相对耐性指数 = 铝毒处理下的测定值/正常培养的测定值  $\times 100\%$ , 用 Excel 进行数据处理, 采用 dps 软件进行统计分析。

## 2 结果与分析

**2.1 铝胁迫对 10 个不同基因型决明牧草农艺性状的影响** 方差分析表明, 不同基因型决明牧草的各个农艺性状都对铝毒的反应存在显著差异(表 1), 相对性状越大表明该性状对铝胁迫有较强的抵抗力; 反之, 则抵抗力较弱。从表 1 可以看出, 对于同一个基因型决明牧草各性状的相对耐性值并不一致, 即在某些性状上有相对较强的耐铝性, 而某些性状的相对耐铝性较弱, 如 86134R2 的相对地上部干质量最大, 但其相对根长、株高和根干质量都不是最大。可见, 同一基因型不同性状受铝毒影响的程度存在一定的差异, 而这种差异可能与不同基因型决明对铝胁迫的响应机理有关。综合 4 个农艺性状, 以平均相对耐

表 1 铝胁迫下 10 个不同基因型决明牧草的相对农艺性状

编号	基因型	相对根长	相对株高	相对根干质量	相对地上部干质量	平均相对值
1	2204	77.01 <sup>CDdEef</sup> ± 5.68	89.39 <sup>Ff</sup> ± 8.39	50.20 <sup>Cc</sup> ± 3.35	58.65 <sup>dc</sup> ± 3.46	68.81
2	34721F4	80.00 <sup>CdDdEe</sup> ± 5.97	99.42 <sup>DdEeFf</sup> ± 7.87	40.15 <sup>Dd</sup> ± 2.68	29.42 <sup>DDe</sup> ± 1.24	62.24
3	34721F7	92.68 <sup>BbCc</sup> ± 8.64	99.41 <sup>Bb</sup> ± 10.52	67.40 <sup>AaBb</sup> ± 4.25	84.76 <sup>Bb</sup> ± 6.20	86.06
4	34721R1	69.54 <sup>DEef</sup> ± 4.65	134.58 <sup>CcDdEe</sup> ± 13.66	13.72 <sup>Ee</sup> ± 1.53	27.49 <sup>DEef</sup> ± 1.71	61.33
5	34721R2	64.81 <sup>Ef</sup> ± 7.47	106.73 <sup>Gg</sup> ± 9.74	17.24 <sup>Ee</sup> ± 1.96	18.02 <sup>Ef</sup> ± 1.37	51.70
6	86134R1	89.23 <sup>BbCcd</sup> ± 8.46	58.69 <sup>DEeFf</sup> ± 5.23	60.24 <sup>Bb</sup> ± 5.62	62.31 <sup>Ccd</sup> ± 4.20	67.62
7	86134R2	84.91 <sup>BbCcDd</sup> ± 6.56	96.04 <sup>Cc</sup> ± 7.68	69.64 <sup>Aa</sup> ± 5.85	101.74 <sup>Aa</sup> ± 9.58	88.08
8	86134R3	69.42 <sup>DEef</sup> ± 5.18	116.97 <sup>EFf</sup> ± 11.84	48.21 <sup>CcD</sup> ± 5.46	70.53 <sup>Cc</sup> ± 5.37	76.28
9	92985R1	120.29 <sup>Aa</sup> ± 11.63	93.57 <sup>Aa</sup> ± 9.55	4.46 <sup>Ff</sup> ± 1.04	5.78 <sup>Fg</sup> ± 0.42	56.03
10	92985R2	95.78 <sup>Bb</sup> ± 9.36	173.05 <sup>CcDd</sup> ± 16.89	73.75 <sup>Aa</sup> ± 5.48	5.00 <sup>De</sup> ± 1.48	86.90

注: 不同小写字母表示  $P < 0.05$  水平差异显著, 不同大写字母表示  $P < 0.01$  水平差异显著。下同图。

性值为标准,86134R2、92985R2、34721F7 的耐铝毒能力最强,86134R3 耐铝毒能力次之,2204、86134R1、34721F4、34721R1 再次之,92985R1、34721R2 耐铝毒能力最差。

**2.2 铝胁迫下 10 个不同基因型决明牧草的相对主根伸长率** 从图 1 可以看出,铝毒胁迫对决明牧草幼苗的根系生长有明显的影响,铝毒胁迫下不同基因型决明主根伸长率(除 86134R2、86134R3 增长外)都为降低。不同基因型决明主

根伸长率对铝毒胁迫的反应并不一致,基因型之间存在着极显著差异,其中,86134R3 和 86134R2 的相对主根伸长率最大,达到 164%和 150%,比无铝培养更好,说明其耐铝毒能力最强;86134R1 和 2204 达到 96.87%和 90.32%,其耐铝毒能力次强;34721R1 和 34721R2 的相对主根伸长率达 50%80%,其耐铝毒能力较强;其余 4 个基因型决明相对主根伸长率都在 50%以下,说明它们的耐铝毒能力都较差。

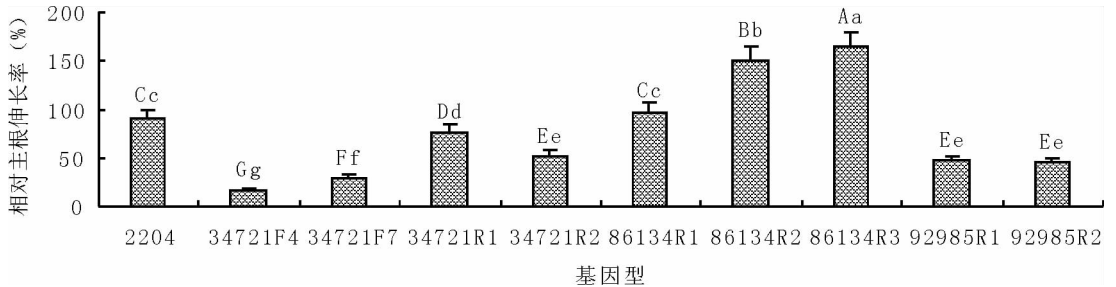


图 1 铝胁迫下不同基因型决明相对主根伸长率

**2.3 铝胁迫下 10 个不同基因型决明牧草的相对株高增长率** 从图 2 可以看出,铝毒胁迫对决明牧草株高的增长有明显的影响,铝毒胁迫下不同基因型决明株高增长率(除 86134R1、86134R2 和 92985R1 增长外)都为降低。不同基因型决明株高增长率对铝毒胁迫的反应并不一致,基因型之间存在着极显著差异,其中,86134R1、86134R2 和 92985R1 的相对株高增长

率最大,达到 159.05%、111.93%和 113.58%,说明铝离子处理对这几种牧草品种的植株生长有促进作用,其耐铝毒能力最强;34721F4 和 86134R3 达到 92.86%和 91.23%,其耐铝毒能力次强;34721R1、34721F7 和 92985R2 的相对株高增长率达 50%70%,其耐铝毒能力较强;其余 2 个基因型决明(2204 和 34721R2)相对株高增长率都在 50%以下,说明它们的耐铝毒能力较差。

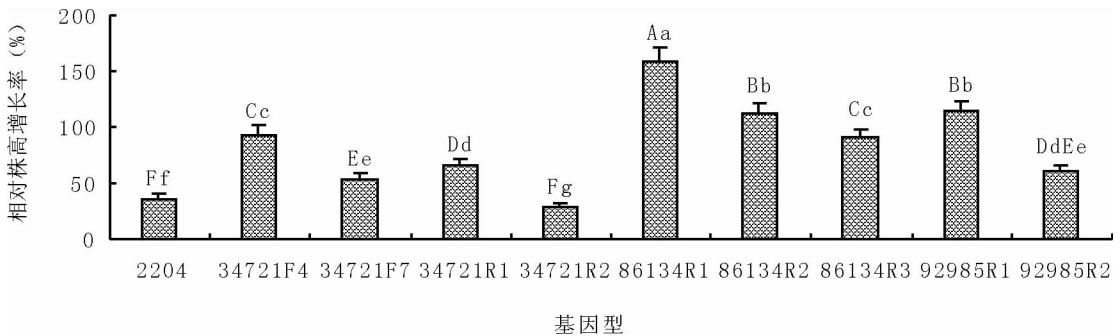


图 2 铝胁迫下不同基因型决明株高增长率

**2.4 铝胁迫下 10 个不同基因型决明牧草的根系相对电导率** 决明牧草的根系电导率在铝毒胁迫下也表现出明显的基因型差异。由图 3

可以看出,铝毒胁迫对不同基因型决明的影响是不同的,其中,2204、34721F7、86134R1、86134R2、86134R3 的相对电导率小于 100%,说明这 5 个

基因型决明对铝毒害的耐受力最强,细胞质膜比较稳定,并在一定程度上增强细胞膜的稳定性,以抵抗铝毒胁迫;34721F4、34721R1 和 34721R2 的电导率为 120%~130%,说明它们的铝毒害耐受力

较强;92985R2 的电导率为 160%,说明它的铝毒害耐受力较差;92985R1 电导率为 219%,说明它的铝毒害耐受力最差。

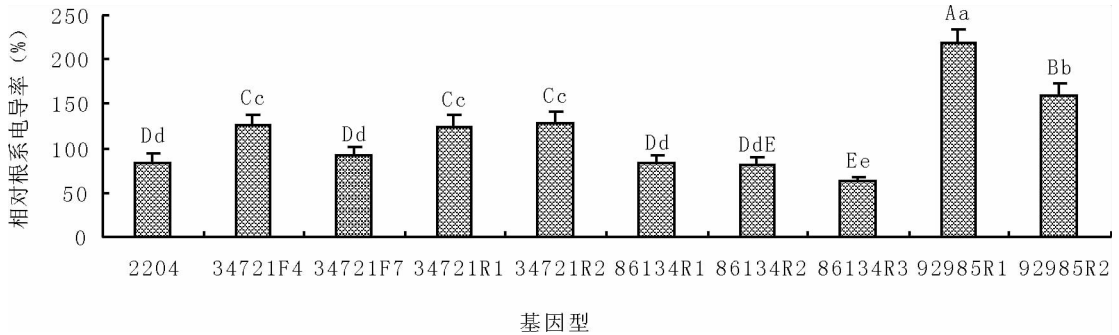


图3 铝胁迫下不同基因型决明根系相对电导率

**2.5 铝胁迫下 10 个不同基因型决明牧草的相对根系活力** 铝毒胁迫下,根系受害首当其冲。从图 4 中可以看出,86134R2 的根系对 TTC 的还原量大,其相对根系活力大,为 94.6%,表明其对铝毒胁迫的耐性强,在铝毒害下仍可保持强的根系呼吸能力;2204、34721F4、34721R2、86134R1、86134R3 和 92985R2 根系对氯化三苯基四氮唑(TTC)的还原量较大,其相对根系活力

较大,均达 60% 以上,表明它们对铝毒胁迫的耐性较强,在铝毒害下仍可保持较强的根系呼吸能力,因而有利于保持植物对水分和养分的较强吸收;34721R1、34721F7 和 92985R1 的 TTC 还原量较小,相对根系活力较小,均低于 60%,它们对铝毒胁迫较为敏感,铝毒害严重影响了根系的呼吸作用,使根系的营养吸收和运输能力受到限制,根系氧化还原能力明显下降。

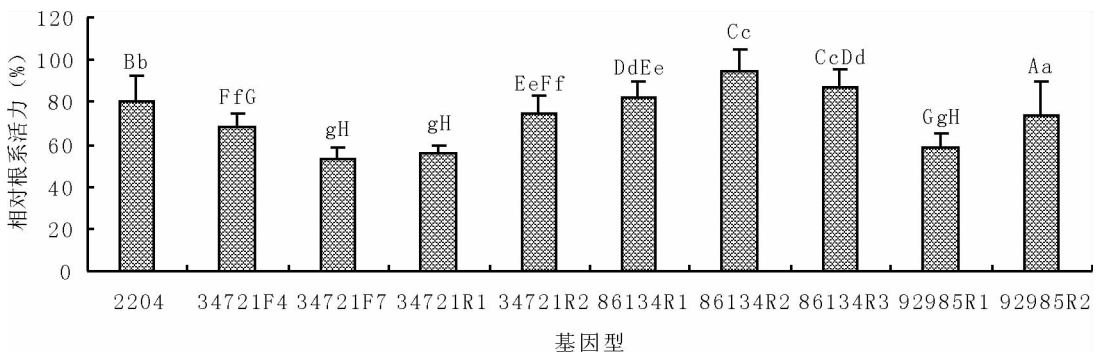


图4 铝胁迫下不同基因型决明相对根系活力

**2.6 铝胁迫下 10 个不同基因型决明牧草的相对脯氨酸含量** 如图 5 所示,方差分析表明,10 个不同基因型决明的相对脯氨酸含量有极显著差异,86134R1、86134R2、86134R3 的相对脯氨酸含量低,低于 60%,说明它们在铝毒胁迫下有强稳定性,耐铝性强;2204、34721F4、

34721R2 和 92985R1 相对脯氨酸含量则较小,为 60%~100%,说明它们在铝毒胁迫下有较强的稳定性,耐铝性较强;其余 3 个基因型决明相对脯氨酸含量则较大,超过 100%,说明它们对铝毒胁迫的耐受力不够,原生质的稳定性差,对铝毒胁迫较为敏感。

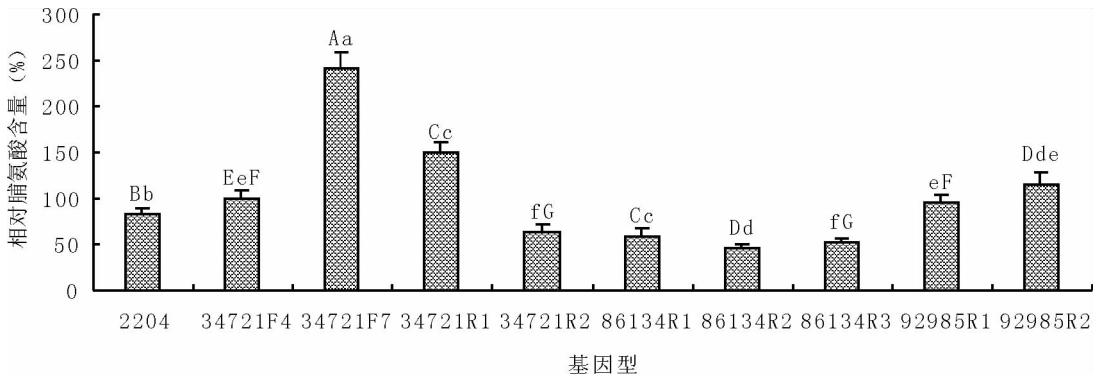


图5 铝胁迫下不同基因型决明相对脯氨酸含量

### 3 小结与讨论

从以上结果可以看出,10个不同基因型决明牧草在铝毒胁迫下的各农艺性状、相对主根伸长率、相对株高增长率、相对根系活力、相对电导率和相对脯氨酸含量都有较明显的差异,且同一个基因型不同性状在铝毒胁迫下的表现也不一致。为了更准确地评价各基因型在铝毒胁迫下的综合反应,假定上述因子对各基因型决明综合指标确定的影响相同,用相对值( $T$ )表示各因子对铝毒胁迫的抵抗力,耐性最强的基因型 $T$ 值设为10,耐性最弱的基因型 $T$ 值设为1,以此类推,不同基因型耐铝毒的综合评价系数即为上述各指标的 $T$ 值之和,综合系数越大,该基因型对铝毒胁迫的整体抗性就越强。但是,不同遗传背景的决明基因型耐铝毒胁迫的机理是不同的,并不是每一个性状均可普遍反应决明耐铝毒能力的强弱,因而在生产实践中选择一些观察、测定较容易且又能普遍准确反映决明对铝毒抗性的性状作为基因型筛选的指标是非常重要的。因此,将相对株高、相对根长、相对主根伸长率、相对株高增长率、相对根系干质量、相对地上部干质量、相对根系电导率、相对根系活力、相对脯氨酸含量测定指标的相对值与所得的综合评价系数进行相关性分析,以求探讨出耐铝毒胁迫基因型筛选的适合指标。所得的相关系数分别为相对根长-0.024 4、相对株高-0.242 9、相对根干质量 0.569 4、相对地上部干质量 0.697 9\*、相对主根伸长率 0.759 6\*、相对株高增长率 0.556 5、相对电导率 0.821 3\*\*、相对根系活力 0.829 0\*\*、相对脯氨酸含量

0.749 3\* (\* 显著; \*\* 极显著);相对地上部干质量、相对主根伸长率、相对电导率、相对根系活力、相对脯氨酸含量与综合评价系数的相关性达到显著或极显著水平,可作为决明属牧草耐铝毒基因型筛选的有效指标。本研究根据各指标与综合评价指数的相关系数,筛选出有效指标,在此基础上计算出耐铝毒综合系数(即所筛选的有效指标的 $T$ 值之和),10个决明属牧草基因型耐铝毒综合系数的大小分别为 86134R2(48)、86134R3(46)、86134R1(39)、2204(33)、34721R2(24)、34721F7(19)、34721R1(19)、34721F4(18)、92985R1(15)、92985R2(14)。可以看出,86134R2、86134R3、86134R1、2204 基因型的耐铝毒综合系数较大,说明其对铝毒的整体抗性强,属于耐铝毒的基因型;34721R2、34721F7、34721R1、34721F4 的耐铝毒综合系数中等,耐铝毒能力中等;92985R1、92985R2 的耐铝毒综合系数较小,属于铝敏感决明牧草品系。

### 参考文献

- [1] 林立更,林思祖,郑燕萍,等. 铝胁迫下 DL-异柠檬酸- $\gamma$ -内酯难杉木根系分泌氨基酸的影响[J]. 江西农业大学学报,2006,28(1):63-68.
- [2] 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.
- [3] 谢一青,李志真. pH 值、盐浓度及铝离子对菌根菌生长的影响[J]. 江西农业大学学报,2002,24(2):204-207.
- [4] 李刚,唐剑锋,林咸永,等. 小麦根尖细胞壁对铝的吸附/解吸特性及其与耐铝性的关系[J]. 植物营养

- 与肥料学报,2007,13(2):192-199.
- [5] 刘晓庚,任健敏. 纸上分光光度法测定土壤中全铝的研究[J]. 江西农业大学学报,1992,14(2):179-182.
- [6] 李洋,罗立廷,杨广笑,等. 不同小麦品种耐铝性差异的比较研究[J]. 麦类作物学报,2006,26(5):79-83.
- [7] 杨亚军,郭立泉,杨春武,等. 植物耐铝的生理机制[J]. 植物生理学通讯,2006,42(2):319-325.
- [8] 许玉凤,曹敏建,王文和,等. 玉米自交系幼苗生理特性与耐铝性之间的关系[J]. 沈阳农业大学学报,2005,36(4):479-481.
- [9] 黎晓峰,秦丽凤,李耀燕,等. 不同木豆品种耐铝性的基因型差异及其机理研究[J]. 生态环境,2005,14(5):690-694.
- [10] 应小芳,刘鹏,徐根娣,等. 大豆耐铝毒基因型筛选及筛选指标的研究[J]. 中国油料作物学报,2005,27(1):46-51.
- [11] 李德华,贺立源,刘武定,等. 玉米根系活力与耐铝性的关系[J]. 中国农学通报,2004,20(1):161-164.
- [12] 方金梅,应朝阳,黄毅斌,等. 铝胁迫对决明属水土保持牧草幼苗根系的影响[J]. 中国水土保持,2003(7):30-32.
- [13] 肖祥希,张学武. 铝胁迫对龙眼幼苗生长的影响[J]. 福建农业学报,2002,17(3):182-185.
- [14] 华卫东,夏卓盛,李进军,等. 紫花苜蓿耐铝的分子基础研究进展[J]. 草业科学,2008,25(2):64-68.
- [15] 阎君,刘建秀. 草类植物耐铝性的研究进展[J]. 草业学报,2008,17(6):148-155.
- [16] 王昭艳,左长清,杨洁,等. 第四纪红壤侵蚀区优良水土保持草本植物的选择与评价[J]. 草业科学,2008,25(5):87-91.
- [17] 徐国忠,郑向丽,应朝阳,等. 太空搭载决明属牧草种子的生物学效应研究[J]. 福建农业学报,2006,21(3):253-256.
- [18] 黄毅斌,陈志彤,陈恩,等. 决明属牧草研究进展[J]. 福建农业学报,2006,21(3):257-261.
- [19] 徐国忠,郑向丽,应朝阳,等. 太空搭载决明属牧草种子对其农艺性状的影响[J]. 激光生物学报,2007,16(5):537-541.
- [20] 黄毅斌,应朝阳,林允钦,等. 几个决明属牧草在亚热带丘陵红壤的个体与群体生长特性[J]. 热带作物学报,2007,28(2):22-27.
- [21] 徐国忠,郑向丽,应朝阳,等. 辐射对决明属牧草营养的影响[J]. 中国生态农业学报,2007,15(4):94-96.
- [22] 徐国忠,郑向丽,应朝阳,等. 闽引圆叶决明辐射变异后代新品系(86134-32-3)的若干特性[J]. 核农学报,2007,21(2):141-143.
- [23] 徐国忠,郑向丽,应朝阳,等. 两个92985决明牧草辐射变异后代生长特性的研究[J]. 牧草与饲料,2007,1(1):33-34.
- [24] 徐国忠,郑向丽,应朝阳,等. 红壤山地决明属牧草辐射后代变异趋势的研究[J]. 江西农业大学学报,2005,27(4):557-561,614.

### Study on Aluminum tolerance of different genotypes of *Chamaecrista*

XU Guo-zhong, ZHENG Xiang-li, LIN Yong-hui, ZHAN Jie, YE Hua-lan

(Agricultural Ecology Institute, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fujian Engineering and Technology Research Center for Hilly Prataculture, Fuzhou 350013, China)

**Abstract:** Ten different genotypes of *Chamaecrista* were cultivated in 90 mg/L concentration of  $Al^{3+}$ , and difference in Aluminum tolerance of genotypes was studied by measuring agronomic characteristics, elongation rates of main root, growth rates of plant height, roots conductivity, root activities and proline contents change. The resulted showed that the genotypes of 86134R2, 86134R3, 86134R1 and 2204 had strong Aluminum tolerance, the genotypes of 34721R1, 34721R2, 34721F7 and 34721F4 had medium Aluminum tolerance, the genotypes of 92985R2 and 92985R1 were sensitive.

**Key words:** *Chamaecrista*; genotype; forage; Aluminum tolerance