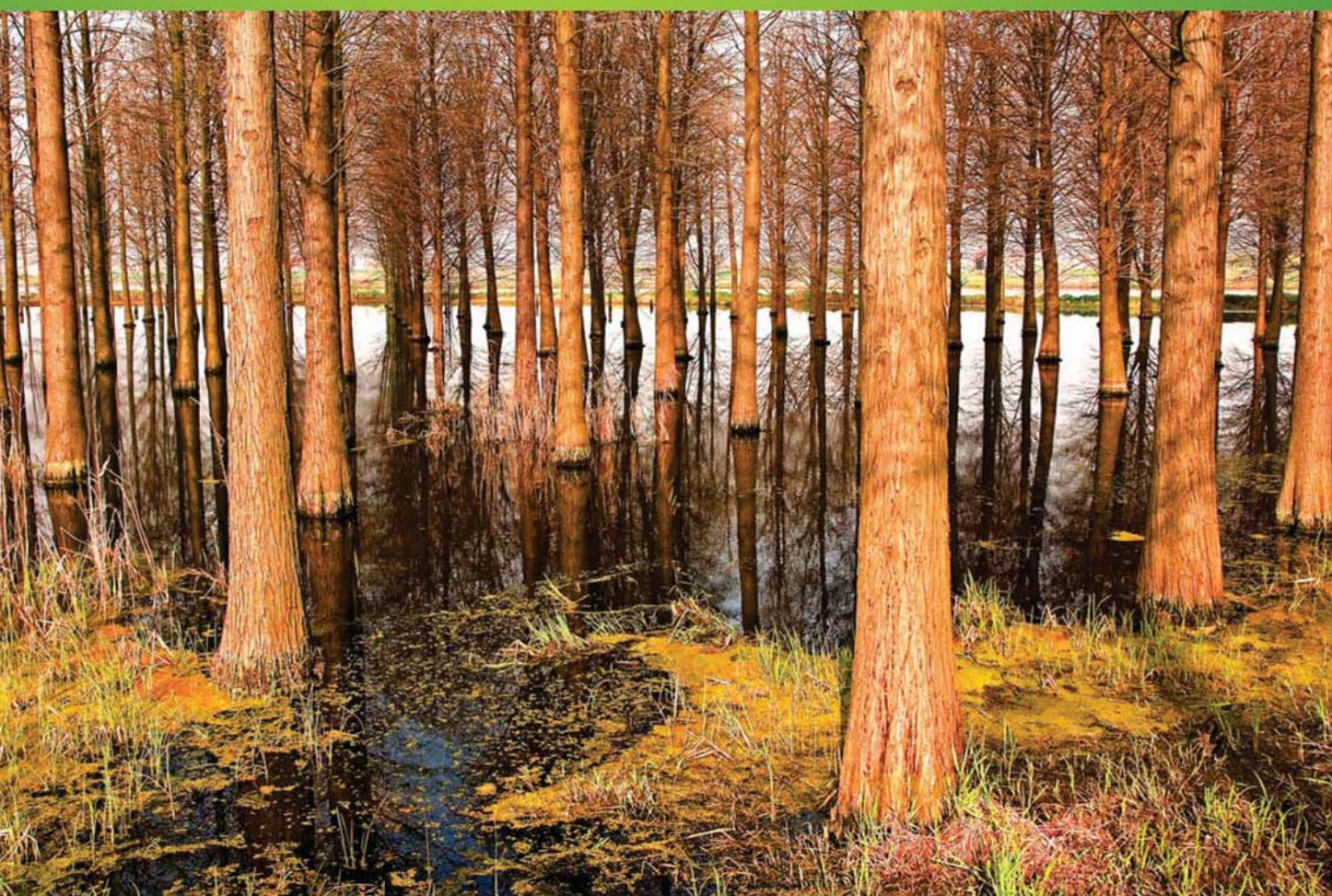


ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第32卷 第3期 Vol.32 No.3 **2012**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 32 卷 第 3 期

2012 年 2 月 (半月刊)

目 次

- 夏季可可西里雌性藏原羚行为时间分配及活动节律 连新明, 李晓晓, 颜培实, 等 (663)
- 热带印度洋黄鳍金枪鱼渔场时空分布与温跃层的关系 杨胜龙, 张禹, 张衡, 等 (671)
- 洪湖水体藻类藻相特征及其对生境的响应 卢碧林, 严平川, 田小海, 等 (680)
- 广西西端海岸四种红树植物天然种群生境高程 刘亮, 范航清, 李春千 (690)
- 高浓度 CO_2 引起的海水酸化对小珊瑚藻光合作用和钙化作用的影响 徐智广, 李美真, 霍传林, 等 (699)
- 盖度与冠层水深对沉水植物水盾草光谱特性的影响 邹维娜, 袁琳, 张利权, 等 (706)
- 基于 C-Plan 规划软件的生物多样性就地保护优先区规划——以中国东北地区为例 栾晓峰, 孙工棋, 曲艺, 等 (715)
- 城市化对本土植物多样性的影响——以廊坊市为例 彭羽, 刘雪华, 薛达元, 等 (723)
- 利用红外相机调查北京松山国家级自然保护区的野生动物物种 刘芳, 李迪强, 吴记贵 (730)
- 基于树木起源、立地分级和龄组的单木生物量模型 李海奎, 宁金魁 (740)
- 千岛湖社鼠种群遗传现状及与生境面积的关系 刘军, 鲍毅新, 张旭, 等 (758)
- 气候变化对内蒙古草原典型植物物候的影响 顾润源, 周伟灿, 白美兰, 等 (767)
- 中国西北典型冰川区大气氮素沉降量的估算——以天山乌鲁木齐河源 1 号冰川为例 王圣杰, 张明军, 王飞腾, 等 (777)
- 植被类型对盐沼湿地空气生境节肢动物功能群的影响 童春富 (786)
- 黔西北铅锌矿区植物群落分布及其对重金属的迁移特征 邢丹, 刘鸿雁, 于萍萍, 等 (796)
- 云南中南部季风常绿阔叶林恢复生态系统萌生特征 苏建荣, 刘万德, 张志钧, 等 (805)
- 筑坝扩容下高原湿地拉市海植物群落分布格局及其变化 肖德荣, 袁华, 田昆, 等 (815)
- 三峡库区马尾松根系生物量的空间分布 程瑞梅, 王瑞丽, 肖文发, 等 (823)
- 兴安落叶松林生物量、地表枯落物量及土壤有机碳储量随林分生长的变化差异 王洪岩, 王文杰, 邱岭, 等 (833)
- 内蒙古放牧草地土壤碳固持速率和潜力 何念鹏, 韩兴国, 于贵瑞 (844)
- 不同林龄马尾松凋落物基质质量与土壤养分的关系 葛晓改, 肖文发, 曾立雄, 等 (852)
- 不同丛枝菌根真菌侵染对土壤结构的影响 彭思利, 申鸿, 张宇亭, 等 (863)
- 不同初始含水率下粘质土壤的入渗过程 刘目兴, 聂艳, 于婧 (871)
- 不同耕作措施的温室气体排放日变化及最佳观测时间 田慎重, 宁堂原, 迟淑筠, 等 (879)
- 外源铅、铜胁迫对不同基因型谷子幼苗生理生态特性的影响 肖志华, 张义贤, 张喜文, 等 (889)
- 温度和盐度对吉富品系尼罗罗非鱼幼鱼鳃 $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATPase}$ 活力的联合效应 王海贞, 王辉, 强俊, 等 (898)
- 基于元胞自动机的喀斯特石漠化格局模拟研究 王晓学, 李叙勇, 吴秀芹 (907)
- 边缘细胞对荞麦根尖铝毒的防护效应和对细胞壁多糖的影响 蔡妙珍, 王宁, 王志颖, 等 (915)
- 川中丘陵区人工柏木防护林适宜林分结构及水文效应 龚固堂, 黎燕琼, 朱志芳, 等 (923)
- 基于 AHP 与 Rough Set 的农业节水技术综合评价 翟治芬, 王兰英, 孙敏章, 等 (931)
- 基于 DMSP/OLS 影像的我国主要城市群空间扩张特征分析 王翠平, 王豪伟, 李春明, 等 (942)
- 生态旅游资源非使用价值评估——以达赉湖自然保护区为例 王朋薇, 贾竞波 (955)
- 专论与综述**
- 基于有害干扰的森林生态系统健康评价指标体系的构建 袁菲, 张星耀, 梁军 (964)
- 硅对植物抗虫性的影响及其机制 韩永强, 魏春光, 侯茂林 (974)

研究简报

- 光照条件、植株冠层结构和枝条寿命的关系——以桂花和水杉为例 占峰, 杨冬梅 (984)
- Bt 玉米秸秆还田对小麦幼苗生长发育的影响 陈小文, 祁鑫, 王海永, 等 (993)
- 汶川大地震灾后不同滑坡体上柏木体内非结构性碳水化合物特性 陈博, 李志华, 何茜, 等 (999)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 344 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 37 * 2012-02



封面图说: 难得的湿地乔木——池杉池杉为落叶乔木, 高达 25 米, 主干挺直, 树冠尖塔。树干基部膨大, 常有屈膝状吐吸根, 池杉为速生树, 强阳性, 耐寒性较强, 耐干旱, 更极耐水淹, 多植于湖泊周围及河流两岸, 是能在在水里生长的极少数的大乔木之一, 故有湿地乔木之称。池杉原产美国弗吉尼亚沼泽地, 中国于本世纪初引种到江苏等地, 之后大量引种南方各省, 尤其是长江南北水网地区作为重要造树和园林树种而大量栽种。

彩图提供: 陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201102160174

蔡妙珍, 王宁, 王志颖, 王芳妹, 朱美红, 黄文方. 边缘细胞对荞麦根尖铝毒的防护效应和对细胞壁多糖的影响. 生态学报, 2012, 32(3): 915-922.

Cai M Z, Wang N, Wang Z Y, Wang F M, Zhu M H, Huang W F. The role of root border cells in protecting buckwheat root apices from aluminum toxicity and their effect on polysaccharide contents of root tip cell walls. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(3): 915-922.

边缘细胞对荞麦根尖铝毒的防护效应和 对细胞壁多糖的影响

蔡妙珍^{1,*}, 王 宁², 王志颖², 王芳妹², 朱美红², 黄文方²

(1. 浙江师范大学地理与环境科学学院, 金华 321004; 2. 浙江师范大学化学与生命科学学院, 金华 321004)

摘要:以 2 个荞麦 (*Fagopyrum esculentum* Moench) 基因型‘江西荞麦’(耐性)和‘内蒙荞麦’(敏感)为材料,采用悬空培养(保持边缘细胞附着于根尖和去除根尖边缘细胞),研究边缘细胞对根尖铝毒的防护效应以及对细胞壁多糖组分的影响。结果表明,铝毒抑制荞麦根系伸长,导致根尖 Al 积累。去除边缘细胞的根伸长抑制率和根尖 Al 含量高于保留边缘细胞的根。去除边缘细胞使江西荞麦和内蒙荞麦根尖的酸性磷酸酶(APA)活性显著升高,前者在铝毒下增幅更大。同时,铝毒胁迫下去除边缘细胞的根尖果胶甲酯酶(PME)活性和细胞壁果胶、半纤维素 1、半纤维素 2 含量显著高于保留边缘细胞的酶活性和细胞壁多糖含量。表明边缘细胞对荞麦根尖的防护效应,与其阻止 Al 的吸收,降低根尖细胞壁多糖含量及提高酸性磷酸酶活性有关,以此缓解 Al 对根伸长的抑制。

关键词:荞麦;铝毒;边缘细胞;细胞壁多糖;酸性磷酸酶

The role of root border cells in protecting buckwheat root apices from aluminum toxicity and their effect on polysaccharide contents of root tip cell walls

CAI Miaozhen^{1,*}, WANG Ning², WANG Zhiying², WANG Fangmei², ZHU Meihong², HUANG Wenfang²

1 College of Geography and Environmental Sciences, Zhejiang Normal University, Jinhua 321004, China

2 College of Chemistry and Life Sciences, Zhejiang Normal University, Jinhua 321004, China

Abstract: Root border cells (RBCs) are special cells that surround the root apices and are physically separate from the root cap epidermis. The mRNAs and proteins produced by RBCs differ from those produced by the root cap cells. RBCs and the mucilage they secrete are thought to have roles in protecting root tips from biotic and abiotic stresses, such as aluminum toxicity. In this research, we aimed to elucidate the role of RBCs in protecting root apices of buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) from Al toxicity, and to determine their effect on polysaccharide contents in the cell wall of root tips. We used two cultivars of buckwheat: the Al-tolerant genotype ‘Jiangxi’ and the Al-sensitive genotype ‘Neimeng’. Seedlings were aeroponically cultured in 0.5 mmol/L CaCl₂ solution, pH 4.5, containing 0, 25, 50 or 200 μmol/L AlCl₃. All of the primary roots were sprayed with AlCl₃ solutions, and one half of the roots was washed with a stream of distilled water every 4 h to remove the RBCs that continuously formed during the experimental period. We evaluated root growth, Al accumulation in root tips, phosphatase (APA) and pectin methylesterase (PME) activities, and polysaccharide contents in the roots. In roots subjected to Al treatment, elongation was inhibited and there was increased Al accumulation in the tips. Physical removal of RBCs from root tips resulted in more severe Al-induced inhibition of root elongation and greater Al accumulation in the root tips. For both buckwheat genotypes, removal of RBCs from the roots resulted in higher APA

基金项目:国家自然科学基金资助项目(30800705, 31101599); 浙江省自然科学基金资助项目(Y311056, Y304185)

收稿日期:2011-02-16; **修订日期:**2011-07-04

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: mzcai@zjnu.cn

activity in the root tips compared with that in root tips with RBCs. This effect was more pronounced in the Al-tolerant genotype (Jiangxi) than in the Al-sensitive genotype (Neimeng). Physical removal of RBCs from root tips also significantly increased PME activity and the contents of pectin, hemicellulose 1, and hemicellulose 2 in the cell walls of the root tips. These results suggested that RBCs adhered to the root tips tend to exclude Al from the rice root apex, decrease the cell-wall polysaccharide content, and promote synthesis of APA, thereby promoting Al tolerance in buckwheat.

Key Words: buckwheat; aluminum toxicity; root border cells; cell wall; acid phosphatase

根边缘细胞(root border cell, RBCs)是由植物根尖产生的一类具有生物活性的细胞,它包裹在根冠外围,处于根表面与土壤之间的“生物边界层”^[1],在调节根部生态环境,抵抗多种生物和非生物胁迫造成的根尖伤害中起着多种防御和保护功能^[2-3]。在植物抗铝毒关系的研究中,目前初步认为根尖边缘细胞和胞外粘液分泌在植物外部斥铝中起作用^[4-7]。Horst^[8]发现,除去包裹在根尖的边缘细胞可令白羽扇豆(*Lupinus albus*)根尖对铝毒的敏感性提高。外界铝胁迫刺激根尖边缘细胞数目和活性变化并诱导边缘细胞形成外部结构—粘液^[5-6,9-10],与 Al 的强结合能力阻止 Al 进入根尖和根冠分生组织。也可通过死亡的边缘细胞^[11]或边缘细胞的细胞壁多糖^[7,12]结合更多的 Al,阻止 Al 吸收。现已从大豆(*Glycine max* L.)^[13]、玉米(*Zea mays*)^[6]、豌豆(*Pisum sativum*)^[7,14]、菜豆(*Phaseolus vulgaris*)^[5]和杂草^[15]等物种上证实了边缘细胞的这些抗铝毒机理。然而,边缘细胞和胞外粘液在阻止 Al 吸收的同时,其对根尖结构和组分的影响有待于进一步研究。

铝毒引起作物根尖细胞壁果胶、半纤维素和纤维素含量提高,造成细胞壁伸展性下降和刚性增加,并因此抑制根系伸长^[16-18]。细胞壁果胶是 Al 结合的主要位点^[19],果胶含量的上升会引起更多的 Al 在根尖积累,造成根细胞的损伤并抑制根伸长。铝毒也促使根尖外层细胞酸性磷酸酶(APA)活性增强并向根际分泌,APA 催化下释放的 Pi 能与 Al³⁺络合形成无毒的铝形态,在一定程度上缓解铝毒害^[20]。目前有关边缘细胞对植物铝毒害反应的生理研究大多集中在对边缘细胞发育调控和影响因子的分析上^[4,9],近期李荣峰等^[21]研究了铝毒胁迫下边缘细胞对大豆根系抗氧化酶系统的影响,而根尖边缘细胞的存在是否会影响根尖细胞壁组分和酸性磷酸酶活性及其与耐铝性的关系尚不清楚。本实验以不同耐铝性的荞麦(*Fagopyrum esculentum* Moench)基因型为材料,研究铝毒胁迫下边缘细胞对根系伸长、Al 含量、根尖酸性磷酸酶活性(APA)和细胞壁组分的影响,为植物外部抗铝的生理机制提供依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料和培养

1.1.1 荞麦耐铝性鉴定

实验所用荞麦分别为产自江西和内蒙的两个基因型,其中江西荞麦为耐铝基因型,内蒙荞麦为铝敏感基因型^[22]。取大小一致、饱满的荞麦种子,经表面消毒(10% H₂O₂, 5 min)后,用蒸馏水反复冲洗,去离子水浸泡 6 h,经浸泡后的种子在 25℃ 培养箱中避光催芽 24 h。发芽后,种子转移到装 4 L 0.5 mmol/L CaCl₂ 溶液(pH 值 4.5)的塑料方盆中预培养,2 d 后取根长一致的幼苗用于耐铝性鉴定。此后,选生长一致的荞麦幼苗转移到外包黑色塑料薄膜的试管中,每支试管装处理液 18 mL,培养一株荞麦。处理液为 0、25、50、100、200 μmol/L AlCl₃,含 0.5 mmol/L CaCl₂,pH 值 4.5,处理 24 h。用直尺量取处理前后的初生根长度,计算根相对伸长率。

1.1.2 边缘细胞对荞麦根尖铝毒的防护效应

待露白的荞麦种子长至根长约 1.5 cm 时,进行悬空培养和 Al 处理^[23]。第 1 组,保留根尖边缘细胞。种子放入根边缘细胞悬空培养装置,每 3 min 喷 40 s Al 处理液,不同处理每次所喷的 Al³⁺液量都相同。第 2 组,去除根尖边缘细胞及其粘液。种子放入根边缘细胞悬空培养装置,每 3 min 喷 40 s Al 处理液,每隔 4 h 用蒸馏水洗一次根尖,以去除根尖边缘细胞和粘液。Al³⁺浓度设 0、50、100 和 200 μmol/L,重复 3 次,每一重复播

种 100 粒荞麦。 Al^{3+} 处理 24 h 后测定根长和根尖 Al 含量。之后, Al^{3+} 浓度设 0 和 100 $\mu\text{mol/L}$, Al 处理 24 h 后测定 PME 活性、APA 活性和细胞壁多糖含量。 Al^{3+} 以 $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 形式供应, 均含 0.5 mmol/L Ca^{2+} , pH 值为 4.5。

1.2 测定指标及方法

1.2.1 相对根长

先用刻度尺测量幼根长, 计算相对根长(%) = Al 处理组根长/无 Al 处理组根长 $\times 100\%$ 。

1.2.2 相对 Al 含量

剪取 Al 处理后 1 cm 长的根尖 50 个置于 1.5 mL 的离心管中, 用 1 ml 2 mol/L 的 HCl 浸提 24 h, ICP 测定浸提液的 Al 含量。相对 Al 含量(%) = Al 处理组的 Al 含量/无 Al 处理组的 Al 含量 $\times 100\%$ 。

1.2.3 APA、果胶甲酯酶(PME)活性和细胞壁多糖组分

剪取 Al 处理后 1 cm 长的根尖 25 个, APA 活性测定参照秦丽凤等^[24]的方法, 酶活性以单位时间内每克蛋白水解对硝基苯磷酸二钠(p-NPP)生成对硝基苯酚(NP)的量(g 对硝基苯酚 $\cdot\text{g}^{-1}$ 蛋白质 $\cdot\text{h}^{-1}$)表示。剪取 Al 处理后 1 cm 长的根尖 50 个, PME 的活性测定参照 Richards 等^[25]的方法, 相对 PME 活性(%) = Al 处理组 PME 活性/无 Al 处理组 PME 活性 $\times 100\%$ 。细胞壁的提取按 Zhong and Lauchli^[26]的方法进行, 果胶、半纤维素 1 和半纤维素 2 的分析参考 Yang 等^[16]的方法。

1.3 统计分析

根据实验所得数据计算平均值和标准误差, 利用 SPSS 统计软件进行分析, 采用 Duncan 新复极差法进行检验($P < 0.05$)。

2 结果分析

2.1 荞麦耐铝的基因型差异

采用水培法, 研究两种荞麦耐铝的基因型差异。图 1 显示, 随着 Al 浓度升高, 两基因型荞麦的相对根长显著降低, 其中内蒙荞麦的相对根长降低幅度远远高于江西荞麦, 差异达极显著($P < 0.01$)。

2.2 边缘细胞对荞麦根尖铝毒的防护效应

采用悬空培养法, 研究边缘细胞对荞麦根尖铝毒的防护效应。无论去除与保留根尖边缘细胞, 两个基因型荞麦的相对根长均随 Al 浓度的升高而降低, 且去除边缘细胞的相对根长低于保留边缘细胞的处理($P < 0.01$), 内蒙荞麦低于江西荞麦($P < 0.01$) (图 2, 表 1)。说明边缘细胞附着在根尖能很好的缓解 Al 对根生长的抑制。

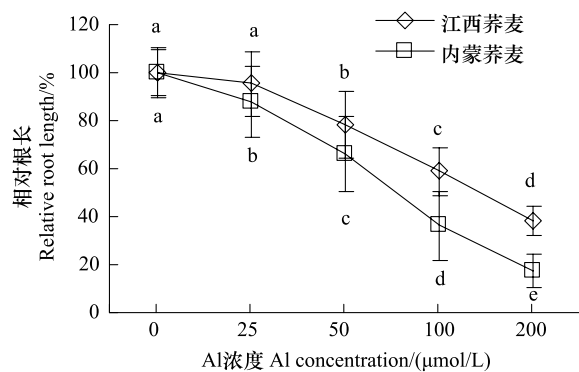


图 1 Al 对荞麦根长的影响

Fig. 1 The effect of Al on root elongation of buckwheat under Al toxicity

表 1 根长和根尖 Al 含量的三元交互作用分析

Table 1 Analysis of variance (three-way ANOVA) on root elongation, Al content in root tips

	相对根长 Relative root length	相对 Al 含量 Relative Al content
基因型 Genotype (G)	$P < 0.001$	$P < 0.001$
边缘细胞 Root border cells (RBCs)	$P < 0.001$	$P < 0.001$
Al 浓度 Al concentration (Al)	$P < 0.001$	$P < 0.001$
G $\times$ RBCs	$P < 0.001$	$P < 0.001$
G $\times$ Al	$P = 0.0113$	$P < 0.001$
RBCs $\times$ Al	$P < 0.001$	$P < 0.001$
G $\times$ RBCs $\times$ Al	$P < 0.001$	$P = 0.0019$

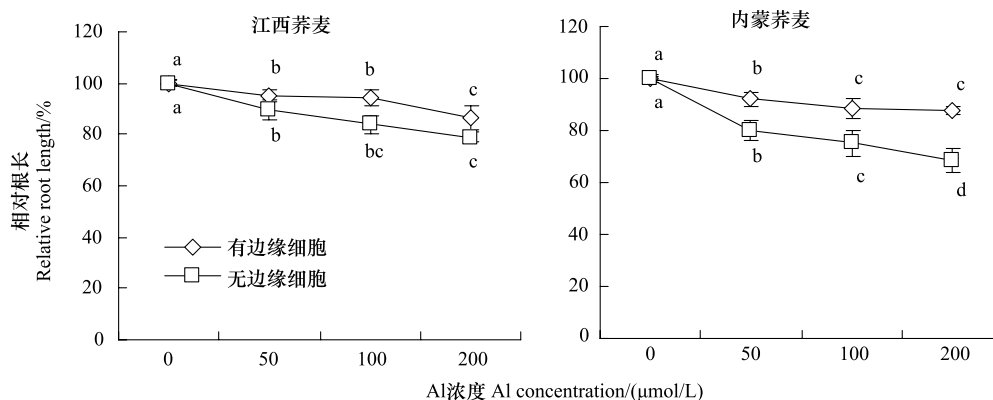


图2 铝毒胁迫下边缘细胞对荞麦根长的影响

Fig. 2 Effect of root border cells on root elongation of buckwheat under Al toxicity

两基因型荞麦的根尖相对 Al 含量均随 Al 浓度的升高而升高 (图 3), 与相对根长的变化趋势刚好相反。去除边缘细胞的根尖相对 Al 含量高于保留边缘细胞的对应处理 ($P < 0.01$) (表 1), 这在内蒙荞麦中尤为明显, 差值达 52.8%—62.5%。江西荞麦的根尖相对 Al 含量均低于相同处理的内蒙荞麦。说明边缘细胞的存在可以有效阻止 Al 进入荞麦根尖, 该作用在内蒙荞麦根尖中表现更明显。从图 1、图 2 看出, 两个荞麦基因型在 Al 浓度为 100 $\mu\text{mol/L}$ 和 200 $\mu\text{mol/L}$ 时, 相对根长和根尖相对 Al 含量与对照达显著差异。在后续实验中, Al 处理浓度选 0 和 100 $\mu\text{mol/L}$ 。

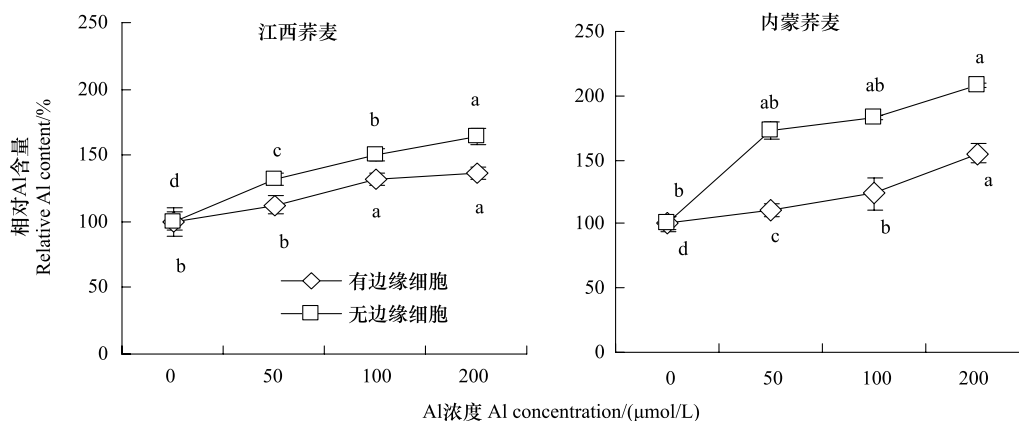


图3 铝毒胁迫下边缘细胞对荞麦根尖 Al 含量的影响

Fig. 3 Effect of root border cells on Al content of root tips in buckwheat under Al toxicity

2.3 荞麦根尖 APA 活性变化

根尖保留边缘细胞时, 铝毒胁迫使内蒙荞麦根系的 APA 活性显著上升, 江西荞麦则与对照无显著差异 (图 4)。根尖去除边缘细胞后, 铝毒胁迫显著提高两基因型荞麦根系的 APA 活性。表明根系遭受铝毒害时会应激性产生 APA, 以此释放 P_i 起到络合 Al 降低铝毒的作用。耐铝基因型江西荞麦在去除边缘细胞后, 其 APA 活性远远高于相同浓度 Al 处理的敏感基因型内蒙荞麦, 表明耐性荞麦对 Al 的应激性反应更为灵敏, 铝毒诱导的 APA 活性快速增加可能是江西荞麦具有较强耐铝性的一个重要因素。

2.4 荞麦根尖 PME 活性变化

100 $\mu\text{mol/L}$ Al 处理后, 无论根尖有无边缘细胞存在, 两基因型荞麦根尖的 PME 活性显著提高 (图 5)。铝毒胁迫下, 去除边缘细胞根尖的 PME 活性显著高于保留边缘细胞的根, 其中内蒙荞麦根尖的 PME 活性增幅高于江西荞麦。

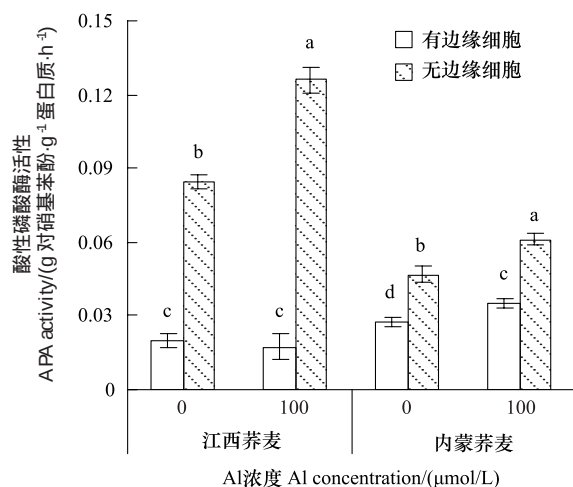


图4 铝毒胁迫下边缘细胞对荞麦根尖 APA 活性的影响

Fig. 4 Effect of root border cells on APA activity of root tips in buckwheat under Al toxicity

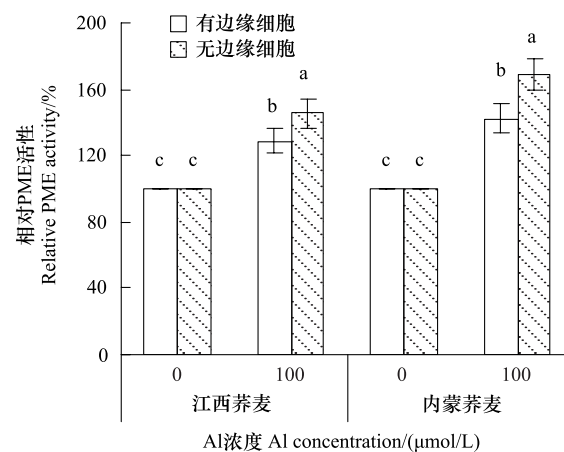


图5 铝毒胁迫下边缘细胞对荞麦根尖 PME 活性的影响

Fig. 5 Effect of root border cells on PME activity of root tips in buckwheat under Al toxicity

2.5 根尖细胞壁组分的变化

无论根尖有无边缘细胞存在,铝毒胁迫显著提高根尖细胞壁果胶含量(图6)。细胞壁果胶是 Al 的主要位点,其含量增加意味着有更多的 Al 结合到细胞壁上,导致铝毒加重。根尖去除边缘细胞的细胞壁果胶含量显著高于保留边缘细胞的根尖,内蒙荞麦高于江西荞麦。

铝毒胁迫显著提高根尖细胞壁半纤维素 1 含量,其中江西荞麦和内蒙荞麦的增幅分别高达 72.4% 和 115.3% (图6)。根尖去除边缘细胞的细胞壁半纤维素 1 含量显著高于保留边缘细胞组,内蒙荞麦高于江西荞麦。

Al 处理导致细胞壁半纤维素 2 含量上升,江西荞麦和内蒙荞麦增幅分别达 199.0% 和 101.0% (图6)。去除边缘细胞的细胞壁半纤维素 2 含量高于根尖保留边缘细胞的根尖。

3 讨论

根尖边缘细胞在植物抗铝毒过程中起着重要的作用。静置和振荡两种培养方式通过影响边缘细胞和粘液在根尖的附着进而影响到根的伸长和根尖 Al 的积累^[4,21]。本实验中去除包裹在根尖的边缘细胞,Al 对根系伸长的抑制和根尖 Al 积累量明显增加,即荞麦根尖所受铝毒害加重,这与 Zhu 等^[4]、Horst 等^[8]和李荣峰等^[21]的结果一致。原因可能是去除边缘细胞减少了 Al 进入根尖必须要穿透的一层界面,使 Al 更易进入根尖细胞。而根尖在有边缘细胞附着的情况下,边缘细胞外围的粘液层能与 Al 结合成紧密、无毒的复合物,螯合并静止固定 Al,阻止其进入根尖^[21]。去除边缘细胞后,Al 对根系的毒害不但更重而且更直接,导致了更多的 Al 在根尖积累。此外,边缘细胞能程序性释放并分泌一些化学物质(多聚糖、葡萄糖-C、氨基酸、酶等),在抵御铝毒保护根尖上也起着不可替代的作用^[27]。本实验条件下,无论根尖有无边缘细胞附着,内蒙荞麦的根尖相对 Al 含量均高于江西荞麦,且根尖去除边缘细胞后,铝敏感基因型根尖 Al 含量和根长抑制率提高幅度较耐性基因型大,细胞壁果胶和半纤维素 1 的含量也高于耐性基因型。由此可见,敏感基因型在根尖没有边缘细胞保护时,细胞壁果胶和半纤维素 1 含量较高,Al 结合位点多,导致其根尖中 Al 的含量较高,从而表现出对铝毒较为敏感。

APA 是一种诱导酶,能水解植物体内的磷脂化合物,加快磷的代谢,也可以促进根际土壤中有机磷分解,以供应植物根系的吸收^[28]。铝毒胁迫下,APA 能通过分泌 Pi 分子和分解土壤中的有机磷来螯合根表和进入根尖的 Al,APA 活性越高,预示着有更多的 Pi 在根尖分泌与进入根细胞壁的 Al 形成磷铝复合物^[29]。本研究中,去除边缘细胞后,Al 处理的两品种荞麦的根尖 APA 活性显著高于有边缘细胞组,江西荞麦的增幅大于内

蒙荞麦,说明在去除边缘细胞后,根尖 Al 积累增加诱导荞麦根尖 APA 活性增大,以促使大量 Pi 分泌,有利于细胞壁的 Al 转化成无毒的磷铝复合物,这与 zheng 等^[30]指出的铝耐性强的荞麦通过高效吸收以提供更多的磷在细胞壁钝化 Al 的结果一致。另外边缘细胞是植物体外酶的来源,可以分泌磷酸酶^[31]。在本实验中去除边缘细胞的根尖 APA 活性反而更高,进一步说明了 APA 活性增大是对 Al 毒害的一种响应。

细胞壁是 Al 积累的主要靶位,根系中 30%—90% 的 Al 积累在细胞壁中^[32]。结合在细胞壁上的 Al 不仅影响细胞壁组分(果胶、纤维素和半纤维素)的合成,而且对细胞壁的结构和功能如细胞壁的伸展性、刚性、孔隙度和酶活性等产生影响^[18, 33]。果胶是细胞壁的主要成分,含有大量的游离羧基,是质外体中 Al 结合的位点。根系 Al 结合在果胶上的 Al 含量与 Al 诱导的胼胝质形成呈正相关,并因此导致 Al 敏感。玉米和蚕豆(*Vicia faba*)根尖 Al 含量的差异与细胞壁果胶含量密切相关^[8]。近期研究进一步表明果胶结合的 Al 还与 PME 调控的果胶甲酯化程度有关^[34]。Schmohl 等^[35]指出玉米悬浮细胞 Al 的积累和敏感性可由细胞壁的甲酯化程度调节。用 PME 处理后的玉米完整植株 Al 积累量和 Al 引起的根伸长抑制增加^[36]。Yang 等^[16]也发现在铝敏感性水稻 PME 活性高于铝耐性品种,且免疫荧光证实敏感品种去甲酯化果胶比例较高。本研究结果显示,铝毒以及根尖去除边缘细胞后导致两基因型荞麦根细胞壁果胶、半纤维素 1 和半纤维素 2 含量升高, PME 活性增大。根尖细胞壁果胶含量上升以及 PME 活性增加引起的果胶去甲酯化,使细胞壁上游离羧基增加,细胞壁结合 Al 增加,进而影响根细胞的扩展和伸长,导致根伸长受抑。半纤维素 1 和半纤维素 2 也是富含糖醛酸的细胞壁多糖, Yang 等最近的研究指出半纤维素 1 是细胞壁 Al 积累的主要位点,细胞壁中 75% 的 Al 积累在半纤维素 1 中^[17]。本实验中 Al 毒以及根尖去除边缘细胞后,半纤维素 1 的合成增加为 Al 在细胞壁的结合提供了条件。耐铝性强的江西荞麦细胞壁果胶、半纤维素 1 含量和 PME 活性明显低于内蒙荞麦,根尖 Al 含量较低,表现出较强的耐铝性。根尖保留边缘细胞时通过维持细胞壁中较低的果胶、半纤维素 1 含量和较高的果胶甲酯化程度,减少细胞壁上 Al 的积累,并进一步影响荞麦的耐铝性。

4 结论

去除包裹在荞麦根尖的边缘细胞,铝毒对根系伸长的抑制作用增大,根尖积累的 Al 增加,同时提高了根尖的 APA、PME 活性和细胞壁果胶、半纤维素 1 和半纤维素 2 含量。荞麦根尖边缘细胞的存在阻止了根尖 Al

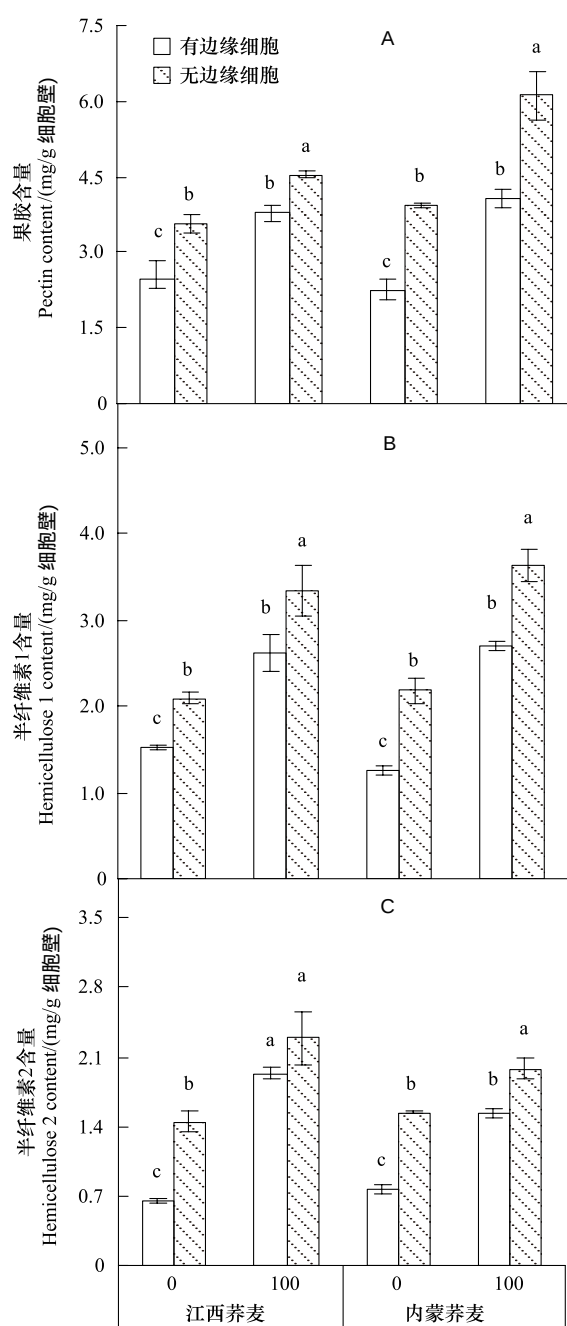


图6 边缘细胞对铝毒胁迫下荞麦根尖细胞壁果胶、半纤维素 1 和半纤维素 2 含量的影响

Fig. 6 Effect of root border cells on pectin, hemicellulose 1 and hemicellulose 2 contents in the cell wall of root tips

吸收,降低根尖细胞壁多糖含量,以及提高酸性磷酸酶活性,以此缓解 Al 对根伸长的抑制。

References:

- [1] Driouich A, Durand C, Vitré-Gibouin M. Formation and separation of root border cells. *Trends in Plant Science*, 2007, 12(1): 14-19.
- [2] Hawes M C, Gunawardena U, Miyasaka S, Zhao X W. The role of root border cells in plant defense. *Trends in Plant Science*, 2000, 5(3): 128-133.
- [3] Jones D L, Nguyen C, Finlay R D. Carbon flow in the rhizosphere: carbon trading at the soil-root interface. *Plant and Soil*, 2009, 321(1/2): 5-33.
- [4] Zhu M Y, Ahn S J, Matsumoto H. Inhibition of growth and development of root border cells in wheat by Al. *Physiologia Plantarum*, 2003, 117(3): 359-367.
- [5] Miyasaka S C, Hawes M C. Possible role of root border cells in detection and avoidance of aluminum toxicity. *Plant Physiology*, 2001, 125(4): 1978-1987.
- [6] Li X F, Ma J F, Hiradate S, Matsumoto H. Mucilage strongly binds aluminum but does not prevent roots from aluminum injury in *Zea mays*. *Physiologia Plantarum*, 2000, 108(2): 152-160.
- [7] Yu M, Shen R F, Liu J Y, Chen R F, Xu M M, Yang Y, Xiao H D, Wang H Z, Wang H Y, Wang C Q. The role of root border cells in aluminum resistance of pea (*Pisum sativum*) grown in mist culture. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 2009, 172(4): 528-534.
- [8] Horst W J, Schmöhl N, Kollmeier M, Baluška F, Sivaguru M. Does aluminium affect root growth of maize through interaction with the cell wall-plasma membrane-cytoskeleton continuum? *Plant and Soil*, 1999, 215(2): 163-174.
- [9] Pan J W, Ye D, Wang L L, Hua J, Zhao G F, Pan W H, Han N, Zhu M Y. Root border cell development is a temperature-insensitive and Al-sensitive process in barley. *Plant and Cell Physiology*, 2004, 45(6): 751-760.
- [10] Yu M, Feng Y M, Goldbach H E. Mist culture for mass harvesting of root border cells: aluminum effects. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 2006, 169(5): 670-674.
- [11] Tamás L, Budíková S, Huttová J, Mistrík I, Šimonovičová M, Šíroková B. Aluminum-induced cell death of barley-root border cells is correlated with peroxidase-and oxalate oxidase-mediated hydrogen peroxide production. *Plant Cell Reports*, 2005, 24(3): 189-194.
- [12] Liu J Y, Yu M, Liu L P, Xiao H D. Differences of cell wall polysaccharides in border cells and root apices of pea (*Pisum sativum*) under aluminium stress. *Scientia Agricultura Sinica*, 2009, 42(6): 1963-1971.
- [13] Cai M Z, Xing C H, Liu P, Xu G D, Wu S H, He F. Dynamic response of root border cells and their associated mucilage exudation in soybean to Al stress and recovery. *Journal of Plant Ecology*, 2008, 32(5): 1007-1014.
- [14] Feng Y M, Yu M, Wen H X, Zhang Y H, Xiao H D, Wang H Z, He L L, Liang H D. Influence of Al on cell viability and mucilage of root border cells of pea (*Pisum sativum* L.). *Ecology and Environment*, 2005, 14(5): 695-699.
- [15] Zhou N, Liu P, Xu G D, Wang Y, Sun F H, Chen W R. Response to aluminum toxicity of four common weeds roots and border cells. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(12): 6513-6518.
- [16] Yang J L, Li Y Y, Zhang Y J, Zhang S S, Wu Y R, Wu P, Zheng S J. Cell wall polysaccharides are specifically involved in the exclusion of aluminum from the rice root apex. *Plant Physiology*, 2008, 146(2): 602-611.
- [17] Yang J L, Zhu X F, Peng Y X, Zheng C, Li G X, Liu Y, Shi Y Z, Zheng S J. Cell wall hemicellulose contributes significantly to aluminum adsorption and root growth in *Arabidopsis*. *Plant Physiology*, 2011, 155(4): 1885-1892.
- [18] Lin X Y, Tang J F, Li G, Zhang Y S. Aluminum-induced change in cell-wall polysaccharide content of wheat roots in relation to aluminum tolerance of wheat. *Journal of Zhejiang University: Agriculture and Life Sciences*, 2005, 31(6): 724-730.
- [19] Horst W J, Wang Y X, Eticha D. The role of the root apoplast in aluminium-induced inhibition of root elongation and in aluminium resistance of plants: a review. *Annals of Botany*, 2010, 106(1): 185-197.
- [20] Sun Q B, Shen R F, Zhao X Q, Chen R F, Dong X Y. Phosphorus enhances Al resistance in Al-resistant *Lespedeza bicolor* but not in Al-sensitive *L. cuneata* under relatively high Al stress. *Annals of Botany*, 2008, 102(5): 795-804.
- [21] Li R F, Cai M Z, Liu P, Xu G D, Liang H, Zhou Y G. Border cells alleviating aluminum toxicity in soybean root tips. *Acta Agronomica Sinica*, 2008, 34(2): 318-325.
- [22] Yang J L, Zheng S J, He Y F, Tang C X, Zhou G D. Genotypic differences among plant species in response to aluminum stress. *Journal of Plant Nutrition*, 2005, 28(6): 949-961.
- [23] Cai M Z, Zhang S N, Xing C H, Wang F M, Wang N, Zhu L. Developmental characteristics and aluminum resistance of root border cells in rice seedlings. *Plant Science*, 2011, 108(5): 702-708.

- [24] Qin L F, Zuo F H, Duan J Q, Yu Y X, Li X F, Gu M H. Effect of P deficiency and Al stress on root tip of pigeon pea and the activities of acid phosphatase (APA) excreted from root tip. *Guangxi Agricultural Sciences*, 2006, 37(5): 533-536
- [25] Richards C K, Qin L K, Gadal P, Goldberg, R. Molecular characterization of a putative pectin methylesterase cDNA and its expression in *Arabidopsis thaliana* (L.). *FEBS Letters*, 1994, 355: 135-139.
- [26] Zhong H, Lauchli A. Changes of cell wall composition and polymer size in primary roots of cotton seedlings under high salinity. *Journal of Experimental Botany*, 1993, 44(4): 773-778.
- [27] Hawes M C, Bengough G, Cassab G, Ponce G. Root caps and rhizosphere. *Journal of Plant Growth Regulation*, 2003, 21(4): 352-367.
- [28] Shi L, Liang H L, Xu F S, Wang Y H. Genotypic variation in phosphorus fractions and its relation to phosphorus efficiency in seedlings of *Brassica napus* L. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2008, 14(2): 351-356.
- [29] Pellet D M, Papernik L A, Kochian L V. Multiple aluminum-resistance mechanisms in wheat. Roles of root apical phosphate and malate exudation. *Plant Physiology*, 1996, 112(2): 591-597.
- [30] Zheng S J, Yang J L, He Y F, Yu X H, Zhang L, You J F, Shen R F, Matsumoto H. Immobilization of aluminum with phosphorus in roots is associated with high aluminum resistance in buckwheat. *Plant Physiology*, 2005, 138(1): 297-303.
- [31] Rogers H T, Pearson R W, Pierre W H. The source and phosphatase activity of exoenzyme systems of corn and tomato roots. *Soil Science*, 1942, 54(5): 353-356.
- [32] Ma J F. Syndrome of aluminum toxicity and diversity of aluminum resistance in higher plants. *International Review of Cytology*, 2007, 264: 225-252.
- [33] Tabuchi A, Matsumoto H. Changes in cell-wall properties of wheat (*Triticum aestivum*) roots during aluminum-induced growth inhibition. *Physiologia Plantarum*, 2001, 112(3): 353-358.
- [34] Eticha D, Stass A, Horst W J. Cell-wall pectin and its degree of methylation in the maize root-apex; significance for genotypic differences in aluminium resistance. *Plant, Cell and Environment*, 2005, 28(11): 1410-1420.
- [35] Schmohl N, Pilling J, Fisahn J, Horst W J. Pectin methylesterase modulates aluminium sensitivity in *Zea mays* and *Solanum tuberosum*. *Physiologia Plantarum*, 2000, 109(4): 419-427.
- [36] Horst W J, Kollmeier M, Schmohl N, Sivaguru M, Wang Y, Felle H H, Hedrich R, Schröder W, Staß A. Significance of the root apoplast for aluminium toxicity and resistance of maize//Sattelmacher B, Horst W, eds. *The Apoplast of Higher Plants: Compartment of Storage, Transport, and Reactions*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2007: 49-66.

参考文献:

- [12] 刘家友, 喻敏, 刘丽屏, 萧洪东. 铝胁迫下豌豆根边缘细胞和根细胞壁多糖组分含量的变化. *中国农业科学*, 2009, 42(6): 1963-1971.
- [13] 蔡妙珍, 邢承华, 刘鹏, 徐根娣, 吴韶辉, 何璠. 大豆根尖边缘细胞和粘液分泌对铝胁迫解除的响应. *植物生态学报*, 2008, 32(5): 1007-1014.
- [14] 冯英明, 喻敏, 温海祥, 张英慧, 萧洪东, 王惠珍, 何丽烂, 梁火娣. 铝对豌豆根边缘细胞存活率和粘胶层厚度的影响. *生态环境*, 2005, 14(5): 695-699.
- [15] 周楠, 刘鹏, 徐根娣, 汪晔, 孙芳华, 陈文荣. 四种常见杂草根系及根边缘细胞对铝胁迫的响应. *生态学报*, 2009, 29(12): 6513-6518.
- [18] 林咸永, 唐剑锋, 李刚, 章永松. 铝胁迫下小麦根细胞壁多糖组分含量的变化与其耐铝性的关系. *浙江大学学报: 农业与生命科学版*, 2005, 31(6): 724-730.
- [21] 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. *作物学报*, 2008, 34(2): 318-325
- [24] 秦丽凤, 左方华, 段居琪, 王永雄, 黎晓峰, 顾明华. 低磷与铝毒胁迫对木豆根尖及其分泌的酸性磷酸酶活性的影响. *广西农业科学*, 2006, 37(5): 533-536.
- [28] 石磊, 梁宏玲, 徐芳森, 王运华. 甘蓝型油菜幼苗体内磷组分差异与磷高效关系的研究. *植物营养与肥料学报*, 2008, 14(2): 351-356.

CONTENTS

Behavioural time budgets and diurnal rhythms of the female Tibetan gazelles in the Kekexili National Nature Reserve	LIAN Xinming, LI Xiaoxiao, YAN Peishi, et al (663)
The relationship between the temporal-spatial distribution of fishing ground of yellowfin tuna (<i>Thunnus albacares</i>) and thermocline characteristics in the tropic Indian Ocean	YANG Shenglong, ZHANG Yu, ZHANG Heng, et al (671)
Characteristics of algous facies of planktonic algae in lake honghu and its response to habitat	LU Bilin, YAN Pingchuan, TIAN Xiaohai, et al (680)
Tide elevations for four mangrove species along western coast of Guangxi, China	LIU Liang, FAN Hangqing, LI Chungan (690)
Effects of CO ₂ -induced seawater acidification on photosynthesis and calcification in the coralline alga <i>Corallina pilulifera</i>	XU Zhiguang, LI Meizhen, HUO Chuanlin, et al (699)
Impacts of coverage and canopy water depth on the spectral characteristics for a submerged plant <i>Cabomba caroliniana</i>	ZOU Weina, YUAN Lin, ZHANG Liquan, et al (706)
Prioritizing biodiversity in conservation planning based on C-Plan: a case study from northeast China	LUAN Xiaofeng, SUN Gongqi, QU Yi, et al (715)
Effects of urbanization on indigenous plant diversity: a case study of Langfang City, China	PENG Yu, LIU Xuehua, XUE Dayuan, et al (723)
Using infra-red cameras to survey wildlife in Beijing Songshan National Nature Reserve	LIU Fang, LI Diqiang, WU Jigui (730)
Individual tree biomass model by tree origin, site classes and age groups	LI Haikui, NING Jinkui (740)
Population genetics of <i>Niviventer confucianus</i> and its relationships with habitat area in Thousand Island Lake region	LIU Jun, BAO Yixin, ZHANG Xu, et al (758)
Impacts of climate change on phenological phase of herb in the main grassland in Inner Mongolia	GU RunYuan, ZHOU Weican, BAI Meilan, et al (767)
Atmospheric nitrogen deposition in the glacier regions of Northwest China: a case study of Glacier No. 1 at the headwaters of Urumqi River, Tianshan Mountains	WANG Shengjie, ZHANG Mingjun, WANG Feiteng, et al (777)
Effects of vegetation type on arthropod functional groups in the aerial habitat of salt marsh	TONG Chunfu (786)
The plant community distribution and migration characteristics of heavy metals in tolerance dominant species in lead/zinc mine areas in Northwestern Guizhou Province	XING Dan, LIU Hongyan, YU Pingping, et al (796)
Sprouting characteristic in restoration ecosystems of monsoon evergreen broad-leaved forest in south-central of Yunnan Province	SU Jianrong, LIU Wande, ZHANG Zhijun, et al (805)
Distribution patterns and changes of aquatic communities in Lashihai Plateau Wetland after impoundment by damming	XIAO Derong, YUAN Hua, TIAN Kun, et al (815)
Spatial distribution of root biomass of <i>Pinus massoniana</i> plantation in Three Gorges Reservoir area, China	CHENG Ruimei, WANG Ruili, XIAO Wenfa, et al (823)
Differences in biomass, litter layer mass and SOC storage changing with tree growth in <i>Larix gmelinii</i> plantations in Northeast China	WANG Hongyan, WANG Wenjie, QIU Ling, et al (833)
Soil carbon sequestration rates and potential in the grazing grasslands of Inner Mongolia	HE Nianpeng, HAN Xingguo, YU Guirui (844)
Relationships between litter substrate quality and soil nutrients in different-aged <i>Pinus massoniana</i> stands	GE Xiaogai, XIAO Wenfa, ZENG Lixiong, et al (852)
Compare different effect of arbuscular mycorrhizal colonization on soil structure	PENG Sili, SHEN Hong, ZHANG Yuting, et al (863)
The infiltration process of clay soil under different initial soil water contents	LIU Muxing, NIE Yan, YU Jing (871)
Diurnal variations of the greenhouse gases emission and their optimal observation duration under different tillage systems	TIAN Shenzhong, NING Tangyuan, CHI Shuyun, et al (879)
Effects of exogenous pb and cu stress on eco-physiological characteristics on foxtail millet seedlings of different genotypes	XIAO Zhihua, ZHANG Yixian, ZHANG Xiwen, et al (889)
Combined effect of temperature and salinity on the Na ⁺ -K ⁺ -ATPase activity from the gill of GIFT tilapia juveniles (<i>Oreochromis niloticus</i>)	WANG Haizhen, WANG Hui, QIANG Jun, et al (898)
Pattern simulation of karst rocky desertification based on cellular automata	WANG Xiaoxue, LI Xuyong, WU Xiuqin (907)
The role of root border cells in protecting buckwheat root apices from aluminum toxicity and their effect on polysaccharide contents of root tip cell walls	CAI Miaozen, WANG Ning, WANG Zhiying, et al (915)
The suitable stand structure and hydrological effects of the cypress protection forests in the central Sichuan hilly region	GONG Gutang, LI Yanqiong, ZHU Zhifang, et al (923)
Comprehensive evaluation of agricultural water-saving technology based on AHP and Rough Set method	ZHAI Zhifen, WANG Lanying, SUN Minzhang, et al (931)
Analysis of the spatial expansion characteristics of major urban agglomerations in China using DMSP/OLS images	WANG Cuiping, WANG Haowei, LI Chunming, et al (942)
Evaluation of non-use value of ecotourism resources: a case study in Dalai Lake protected area of China	WANG Pengwei, JIA Jingbo (955)
Review and Monograph	
Assessment indicators system of forest ecosystem health based on the harmful disturbance	YUAN Fei, ZHANG Xinyao, LIANG Jun (964)
Role of silicon in regulating plant resistance to insect herbivores	HAN Yongqiang, WEI Chunguang, HOU Maolin (974)
Scientific Note	
Relationships among light conditions, crown structure and branch longevity: a case study in <i>Osmanthus fragrans</i> and <i>Metasequoia glyptostroboides</i>	ZHAN Feng, YANG Dongmei (984)
Effects of maize straw with Bt gene return to field on growth of wheat seedlings	CHEN Xiaowen, QI Xin, WANG Haiyong, et al (993)
Studies of non-structural carbohydrates of <i>Cupressus funebris</i> in different landslides after Wenchuan Earthquake	CHEN Bo, LI Zhihua, HE Qian, et al (999)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 元。

国内邮发代号:82-7 国外邮发代号:M670 标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 32 卷 第 3 期 (2012 年 2 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 32 No. 3 2012

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元