

# 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

陈香<sup>1</sup>, 陆耀东<sup>1\*</sup>, 黄伟<sup>2</sup>, 胡雪华<sup>2</sup>

(1. 佛山市林业科学研究所, 广东 佛山 528222; 2. 井冈山大学 生命科学学院, 江西 吉安 343009)

**摘要:** 探讨了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。结果表明:低浓度(100 mg/L)的铝胁迫处理对北美车前的生长无显著影响,高浓度(2 000 mg/L)使植株叶片数减少、叶面积变小;短时间高浓度铝胁迫促进北美车前的抽穗数,长时间(30 d)铝胁迫处理后穗生长受到抑制,这种抑制作用在高浓度铝胁迫处理下表现尤其明显。随着铝胁迫程度的加剧,生物量分配存在由地下部转移至地上部的趋势。北美车前在高浓度铝胁迫下形成一种“集中抽穗”模式,这可能是其在生存过程中对不利环境的一种适应行为。

**关键词:** 铝胁迫; 生长特性; 生物量分配; 北美车前

**中图分类号:** Q945.78 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2011)04-0495-06

## Effects of aluminum stress on growth characteristics and biomass allocation of *Plantago virginica*

CHEN Xiang<sup>1</sup>, LU Yao-Dong<sup>1\*</sup>, HUANG Wei<sup>2</sup>, HU Xue-Hua<sup>2</sup>

(1. Forestry Institute of Foshan, Fuoshan 528222, China; 2. School of Life Sciences, Jinggangshan University, Ji'an 343009, China)

**Abstract:** The objective of the present investigation is to observe the effects of different Al<sup>3+</sup> concentration (100, 500, 800, 2 000 mg/L) along with different duration times (10, 20, 30 d) on growth characteristics and biomass allocation of the invasive plant *P. virginica*. The results showed that 100 mg/L of Al<sup>3+</sup> had little effect on the growth of *P. virginica*. Under 2 000 mg/L of Al<sup>3+</sup>, both leaf areas and leaf numbers of *P. virginica* decreased. Spike number of *P. virginica* was promoted under 2 000 mg/L Al<sup>3+</sup> stress for a short treatment time, but its growth velocity was inhibited over a long period 2 000 mg/L. With aggravating Al<sup>3+</sup> stress, a trend was found that its biomass allocation preferred aboveground to underground. The proportion of its spikes increased rapidly to a peak and then declined rapidly over the subsequent days under high concentration of Al<sup>3+</sup>, revealing an adaptive strategy for its reproducing during unfavorable circumstances.

**Key words:** aluminum stress; growth characteristics; biomass allocation; *Plantago virginica*

我国酸性土壤遍及南方 15 个省区,约占全国土地总面积的 21%(李庆逵,1983)。随着环境酸化问

题的日益严重,尤其是大气污染引起的酸沉降和生理酸性肥料的大量施用,土壤酸化大大加速,造成土

收稿日期: 2010-11-19 修回日期: 2011-02-07

基金项目: 国家自然科学基金(30560025);广东省农业攻项目(2007B020813005);教育部新世纪优秀人才计划支持项目(NCET-07-0385);江西省教育厅科学技术研究项目(GJJ09660);井冈山生态环境研究中心开放基金(EERC0501)[Supported by the National Natural Science Foundation of China (30560025); Agricultural Key Technologies Research and Development Program of Guangdong Province(2007B020813005); Program for New Century Excellent Talents in University in China (NCET-07-0385); The Science and Technology Foundation Item of Jiangxi Education Department(GJJ09660); Open Foundation of Jinggangshan Ecological Environment Research Center(EERC0501)]

作者简介: 陈香(1982-),女,湖北十堰人,主要从事城市林业、城市生态和植物生理生态研究,(E-mail)zfy1957@163.com。

\* 通讯作者(Author for correspondence, E-mail: 2247820@163.com)

壤中可溶性铝的含量显著增加(李庆逵,1983)。可溶性铝对大多数植物都会产生毒害,因此铝毒已成为酸性土壤上作物生长的主要限制因子之一(张健等,1999)。在热带和亚热带地区,铝毒已成为酸性土壤中限制植物生长的主要因素之一(刘强等,2004)。目前国内外已开展了大量植物铝毒害及耐性机理的研究,但取材多集中在小麦(李文丽,2009)、荞麦(王芳等,2006)、玉米(许玉凤等,2005)、大豆(应小芳等,2005)等农作物上。由于不少草本植物在自然界酸性土壤上能够广泛分布和生长,有较强的适应能力和竞争能力,因此,近年来该方面的研究已陆续有所报道(马丽,2009;徐国忠等,2009;刘强等,2010;李晓红等,2010),这些研究进一步丰富了植物耐铝机理。而对于在酸性铝毒土壤中的入侵性植物耐铝特性研究却还非常缺乏。环境的变化影响了入侵种的生长,可提高或降低其竞争力,并对本地植物产生危害(Mack,1989)。同时,当环境条件发生变化,尤其是在胁迫环境条件下,入侵植物还可通过调节自身的形态(Schooler等,2006)和生理特征(Callaway等,2000)以响应这种变化,并增强其入侵性。然而,酸性铝毒红壤环境中具有入侵性的草本植物耐铝性与其入侵性之间的关系至今尚不清楚。

北美车前(*Plantago virginica*)原产北美洲,旱生杂草。1951年始见于江西南昌市,较强的抗人为干扰的能力使其具有较强的入侵力(郭水良,1996),目前在江西、上海、江苏、浙江、安徽、福建、台湾、广东、湖南和四川等地均有发现,喜生于我国东南地区酸性铝毒红壤土环境下的一种常见外来杂草,属典型的生态入侵种。其种子多,繁殖能力极强,蔓延迅速,多长于荒山、草坡、路边、宅旁及蔬菜地(郭水良等,2002);常入侵和危害草坪使草种生长受抑制和草坪退化,并单独成为纯群,危害性极大(强胜,2001)。目前对北美车前的研究多集中于分布格局、种群密度制约分析、生态学特性、繁殖及光合生理生态学、相对生长竞争力研究等方面(郭水良等,1996,2002;李蕴等,2008),而关于该入侵植物的耐铝性,及其与入侵性之间的关系等方面的研究还未见报道。为此,本研究通过对不同铝胁迫下北美车前地上部分和地下部分形态指标及生物量的测定,全面研究铝毒对北美车前生长的影响,通过与土著种的比较,以期揭示北美车前的耐铝性,探讨其抗铝的原因。并进一步探讨其在南方酸性铝毒土壤环境中的

入侵机理,从而为北美车前生物入侵的综合防治提供理论依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 实验方法

挑选大小一致、颗粒饱满的北美车前种子,经0.1%的HgCl<sub>2</sub>消毒10 min,用蒸馏水洗净,浸种12 h后,播种于装有河沙的方盒(40 cm×20 cm,底部有小孔)中进行培养,每隔5 d用0.1%日本园试营养液浇灌(营养液中含主要成分为:硝酸钙950 mg/L,硝酸钾810 mg/L,硫酸镁500 mg/L,磷酸二氢铵155 mg/L等)。待幼苗两片叶子完全展开时,选择个体基本一致、长势良好的幼苗,小心移入20 cm×23 cm的塑料花盆中,每盆一苗,用灭菌培养土3.0 kg(泥炭土:沙土=3:1)进行培养。

幼苗移栽成活且生长良好、未抽穗前开始进行铝处理。将AlCl<sub>3</sub>溶液添加到酸性溶液中来模拟酸性土壤中Al<sup>3+</sup>释放,用蒸馏水溶解,HCl调pH值至4.0。为了更好、更精确地探明铝对北美车前毒害的临界值,且便于北美车前耐铝性临界值与土著种的比较,我们设置的Al<sup>3+</sup>浓度分为:0、100、500、800、2 000 mg/L(李晓红等,2010),每处理5个重复,每天定量浇铝溶液10 mL。为防止铝离子累积,每隔3 d先用200 mL去离子水浇一次(花盆底部有水渗出),然后再继续使用AlCl<sub>3</sub>溶液进行处理。在铝胁迫处理后的10、20、30 d时,使用直尺测定各植株叶长、叶宽、叶面积、穗长等形态指标,电子天平(精确0.0001 g)称其根生物量、穗生物量、叶生物量。

### 1.2 数据处理与分析

采用SPSS11.5统计软件ONE-Way ANOVA程序,对同一时期不同处理间北美车前各项指标进行统计分析,所有处理均5个重复,其结果以平均值±标准误表示。

## 2 结果与分析

### 2.1 铝胁迫对北美车前生长特性的影响

2.1.1 铝胁迫对北美车前叶片生长特性的影响 图1表明,短时间铝胁迫对北美车前叶片数影响不明显。处理10 d时,各处理组(100、500、800、2 000 mg/L)北美车前单株平均叶片数分别为对照的95.12%、93.90%、91.46%、86.59%;铝胁迫30 d

时,各处理组北美车前单株平均叶片数分别为对照的 90.30%、87.31%、81.34%、74.63%,表明长时间高浓度铝胁迫降低了北美车前的叶片数。各植株在不同浓度、不同胁迫时间下叶面积变化见图 2。低浓度(100 mg/L)铝处理 10、20、30 d 后,北美车前叶面积分别为对照的 101.76%、102.91%、94.72%;高浓度(2 000 mg/L)铝处理 10、20、30 d 后,其叶面积分别为对照的 89.52%、82.56%、73.68%,由此表明,低浓度铝胁迫对北美车前的叶面积无影响,长时间高浓度铝胁迫处理对北美车前叶面积的生长产生明显抑制作用。

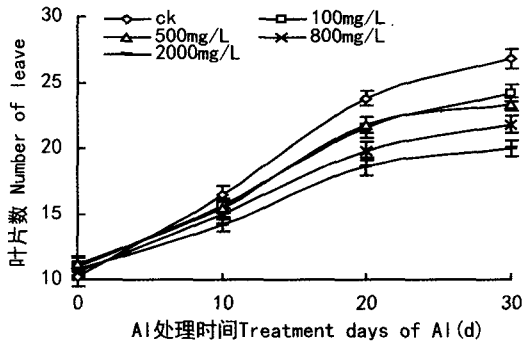


图 1 铝胁迫对北美车前叶片数的影响  
Fig. 1 Effects of Al stress on leave number of *P. virginica*

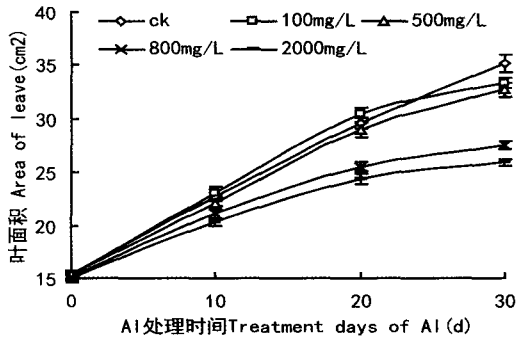


图 2 铝胁迫对北美车前叶面积的影响  
Fig. 2 Effects of Al stress on leave area of *P. virginica*

2.1.2 铝胁迫对北美车前抽穗物候的影响 在 100、500、800 mg/L  $Al^{3+}$  条件下抽穗进程与 CK 基本相似(图 3),在处理 20 d 时逐渐上升至高峰,然后缓慢下降。而 2 000 mg/L  $Al^{3+}$  处理有所不同,处理 10~20 d 抽穗迅速上升至高峰期,处理 20 d 时其抽穗数高于同期其他处理组,差异达到显著水平( $P < 0.01$ ),然后急剧下降,至处理 30 d 时抽穗数低于同

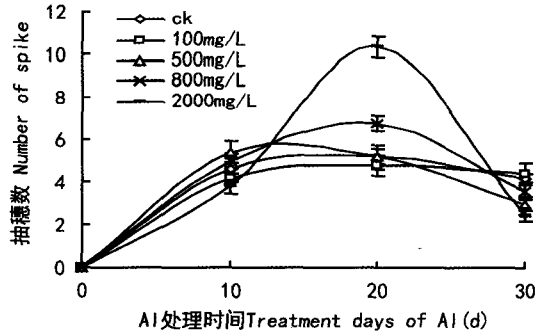


图 3 铝胁迫对北美车前抽穗物候的影响  
Fig. 3 Effects of Al stress on spike phenology of *P. virginica*

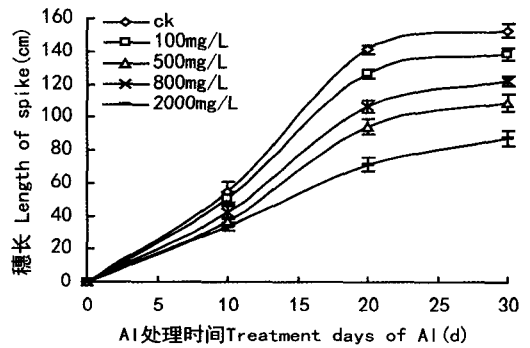


图 4 铝胁迫对北美车前穗生长长度的影响  
Fig. 4 Effects of Al stress on spike length of *P. virginica*

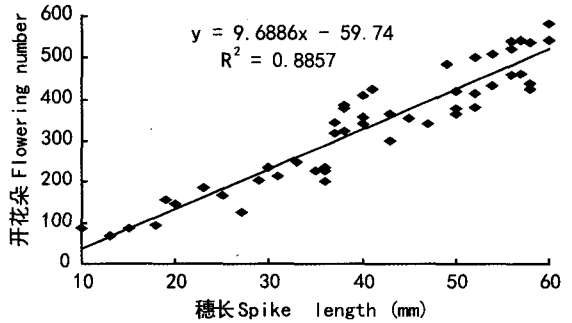


图 5 穗长与开花朵数关系图  
Fig. 5 The relation of spike length and flower number

期其它处理组。抽穗曲线则呈现明显的“钟”形,由此表明北美车前在长时间高浓度铝胁迫下形成一种“集中抽穗”模式。

2.1.3 铝胁迫对穗长度的影响 图 4 显示,无论处理时间长短,对照组的穗长度均高于其它各处理组,

处理时间相同的北美车前,其穗的长度变化随铝浓度的增加而变短,表现为:CK>100 mg/L>800 mg/L>500 mg/L>2 000 mg/L。短时间铝胁迫下对穗的生长速度影响不大,800 mg/L Al<sup>3+</sup>处理下的穗长高于500 mg/L Al<sup>3+</sup>处理下的,2 000 mg/L Al<sup>3+</sup>处理下的穗长低于同期其它处理组,表明一定浓度(800 mg/L)的铝有利于北美车前穗的生长,而长时间的铝胁迫则抑制穗的生长速度,这种抑制作用在长时间高浓度铝胁迫下表现明显。如铝胁迫

30 d后,各处理组穗的生长速度显著减慢,生长速度最慢,与对照组的差别最显著( $P=0.000$ )。由于北美车前的花序属于无限花序中的穗状花序,其特点是开花自下向上,并且开花期间花序轴可以不断伸长,每个花序上着生着众多小花。通过穗长和开花朵数的线性回归图(图5)发现,穗长和开花朵数是呈正相关的( $y=9.6886x-59.74, R^2=0.8857$ ),由此可以通过统计穗长数来间接研究北美车前的开花数。

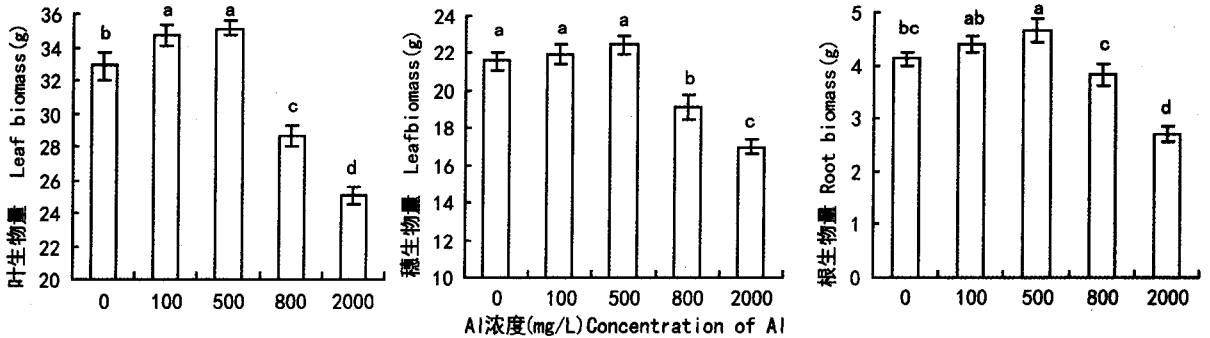


图6 铝对北美车前叶、穗和根生物量的影响

Fig. 6 Effects of aluminum on leaf spike and root biomass of *P. virginica*

不同字母表示各处理间在  $P<0.05$  水平上差异显著。

Different letters indicated significant differences at 0.05 level.

表1 铝胁迫对北美车前生物量分配的影响

Table 1 Effects of Al stress on biomass allocation of *P. virginica*

铝浓度(mg/L) Concentration of Al <sup>3+</sup>	叶 Leaf (%)	根 Root (%)	穗 Spike (%)	繁殖/营养 Propagation/Vegetation	地上/地下 Above-/under-groind
0	56.07±0.79a	7.05±0.23a	36.88±0.81a	0.59±0.02a	13.25±0.48b
100	56.88±0.79a	7.20±0.20a	35.92±0.60a	0.56±0.01a	12.94±0.40b
500	56.46±0.58a	7.51±0.37a	36.03±0.57a	0.56±0.01a	12.46±0.69b
800	55.56±1.24a	7.39±0.41a	37.05±0.99a	0.59±0.03a	12.70±0.79b
2000	56.01±0.50a	6.00±0.27b	37.99±0.73a	0.61±0.02a	15.79±0.74a

同列数据不同字母间表示差异显著(LSD-test)。 Different code letters show significantly difference.

## 2.2 铝胁迫对北美车前生物量分配的影响

图6显示,北美车前在2 000 mg/L铝处理下叶、穗、根生物量均显著下降,表明该浓度的铝处理已使北美车前处于胁迫状态。而在其它处理条件下,随铝处理浓度的升高(0~800 mg·L<sup>-1</sup>),叶、根生物量先显著增加后减少,穗生物量变化在0~500 mg·L<sup>-1</sup>间差异不显著,800 mg/L、2 000 Al<sup>3+</sup>时则显著下降,表明低浓度的铝处理可在一定程度上促进北美车前的生长。铝胁迫导致北美车前个体总生物量下降,但其叶、穗生物量分配比例在不同处理间差异不显著(表1),根生物量分配比例在2 000 mg/L铝处理下与其它处理存在显著差异。此外,繁殖

器官生物量与营养器官生物量比值在不同铝浓度处理之间差异不显著;2 000 mg/L铝处理下地上部分生物量与地下部分生物量比值差异显著,且高于其它处理组,其它处理组之间其比值无显著差异。

## 3 讨论

### 3.1 铝胁迫下北美车前的生长特性变化

形态特征和生长特征的改变是植物适应不同环境和资源水平的重要策略(Maherali等,2001)。植物的这些变化反映了植物个体对环境条件的适应能力和生长发育规律,也反映了环境条件对植物的影

响和饰变程度(张文辉等,2003)。微量的铝对植物的生长有促进作用,过量的铝会影响根的正常生长和生理机能,抑制根对养分和水分的吸收和运输,即铝胁迫对植物的影响都有个临界值。临界值之下,铝可以促进植物的生长,当铝浓度超过临界值就会对植物产生伤害(方金梅,2003;石贵玉,2004;罗亮,2006)。在本研究中,低浓度铝处理对北美车前的叶片数、叶面积无显著影响,在一定程度上( $0 \sim 500 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )可促进北美车前的叶、穗、根生物量的生长,高浓度铝处理( $2\ 000 \text{ mg/L}$ )则阻碍其叶片数、叶面积、叶、穗、根生物量的增长,在较长时间的高浓度铝胁迫下这种抑制作用更显著。这表明在长时间高浓度铝胁迫条件下,北美车前根部受到一定损伤,使其从土壤中吸收的营养成分减少,自身的营养生长难以维持,从而抑制根部的生长。石贵玉(2004)和王芳等(2006)用不同浓度铝处理水稻和荞麦幼苗,也得到类似结果。

生物量分配的变化是植物面对环境胁迫在生存策略方面的调整。生物量分配调整程度在某种程度上反映了植物在逆境环境下的适应能力。狗尾草(*Setaria viridis*)可通过调整叶片形状、分蘖株数和根/高比值等生长特征以及各部分物质分配比例的对策来适应环境变化(何玉慧等,2008);而沙漠蕨(*Chilopsis linearis*)则可通过调整各构件生物量大小来适应土壤水分胁迫环境(尉秋实等,2008)。在本研究中,繁殖器官生物量与营养器官生物量比值在不同铝浓度处理之间差异不显著; $2\ 000 \text{ mg/L}$ 铝处理下地上部分生物量/与地下部分生物量比值差异显著,且高于其它处理组,其它处理组之间其比值无显著差异。这表明在高浓度铝胁迫( $2\ 000 \text{ mg/L}$ )条件下,北美车前通过调整物质分配即减少根的生物量,使生物量分配由地下部转移至地上部,以尽量减少环境条件对其生长发育造成的影响,从而度过其逆境期。

### 3.2 铝胁迫下北美车前的繁殖模式

生长、维持和繁殖是植物的三个基本生命活动,不断地繁衍后代是植物生命的延续。繁殖是进化过程的核心,而植物的开花时间可以在多方面强烈影响其生殖成功,这种影响可能是个体水平上的、群体水平的,也可在多层次水平上影响植物的生态(肖宜安,2005),然而目前有关铝胁迫对植物繁殖影响的报道则极少(李晓红等,2010)。本研究中,高浓度铝胁迫的北美车前与低浓度铝胁迫下的北美车前相

比,铝处理 20 d 时,抽穗数高于同期的其它处理组,且表现出一种“集中抽穗”模式。结果还显示,北美车前穗长和开花数呈正相关,不同胁迫下其穗长随铝浓度增加而变短,同期  $800 \text{ mg/L}$  铝处理下的穗长高于同期  $500$ 、 $800 \text{ mg/L}$  铝处理下的穗长,表明在一定浓度的铝有利于北美车前穗的生长。此外,北美车前在高浓度铝胁迫下将有限的资源投资到有性生殖,通过提高抽穗数量,减缓穗生长速度来降低其毒害作用,这是其在不良环境下的生殖策略。

### 3.3 铝胁迫与北美车前的入侵性

外来植物在远离原生境后迅速占据新的生境,并不断扩展分布范围而成为入侵种,必然有一定的生物学基础(史刚荣等,2006)。植物入侵种的繁盛和扩散与其繁殖特征相关(Hayes & Barry,2008)。三叶鬼针草(*Bidens pilosa*)灵活的交配机制、结实量大、种子产生迅速且适于传播等特性增强了其入侵性(郝建华等,2009)。与土著种相比,成功入侵的北美车前将尽可能多地投资繁殖输出以在竞争中取胜(李蕴等,2008)。在本研究中,高浓度铝( $2\ 000 \text{ mg/L}$ )胁迫下,车前的繁殖生长受到了强烈的抑制,不能开花结果。 $800 \text{ mg/L}$  铝处理使车前始花期推迟,终花日提前,整个花期的持续时间缩短,并且还严重降低了不同时期的开花数目、抽穗数目、穗长。通过比较不同胁迫浓度下北美车前的不同繁殖生态我们发现,高浓度铝( $2\ 000 \text{ mg/L}$ )胁迫促使北美车前集中抽穗,且繁殖与营养器官的生物量比值高于其它处理组。土著种车前在胁迫环境下通过先改变繁殖量的大小后改变繁殖日期来抵御逆境,入侵植物北美车前在逆境下则通过提高抽穗数量,将更多的资源投向繁殖。北美车前的这种在逆境下形成的集中抽穗模式也为其成功入侵奠定了一定的基础。基于这种在逆境下的生殖适应模式,在采取防治措施时应及早防除即北美车前的抽穗初期进行。

### 参考文献:

- 李庆远. 1983. 中国红壤[M]. 北京: 科学出版社: 74-193  
 肖宜安. 2005. 濒危植物长柄双花木繁殖生态学 and 光合适应性研究[D]. 重庆: 西南师范大学: 22-23  
 Callaway RM, Aschehoug ET. 2000. Invasive plants versus their new and old neighbors: a mechanism for exotic invasion[J]. *Science*, **290**: 521-523  
 Fang JM(方金梅), Ying ZY(应朝阳), Huang YB(黄毅斌), et al. 2003. Effects of aluminum force to the root system of herbage seedlings of *Chamaecrista* spp. for soil and water conservation(铝胁迫对决明属水土保持牧草幼苗根系的影响)[J]. *Soil and*

- Water Conservation in China* (中国水土保持), 7:30-32
- Guo SL(郭水良), Gu DX(顾德兴), Liu P(刘鹏), et al. 1996. Biological and ecological characteristics of *Plantago virginica* (北美车前生物与生态学特征的研究)[J]. *Acta Ecol Sin* (生态学报), 16(3):302-307
- Guo SL(郭水良), Fang F(方芳). 2002. Physiological indices of *Plantago virginica* at different population densities and their significance of adaptation to environments(北美车前不同种群密度下的生理指标及其适应意义)[J]. *J Zhejiang Normal Univ: Nat Sci Edi* (浙江师范大学学报·自然科学版), 25(1):49-51
- Hao JH(郝建华), Liu QQ(刘倩倩), Qiang S(强胜). 2009. Reproductive traits associated with invasiveness in *Bidens pilosa* (Asteraceae)(菊科入侵植物三叶鬼针草的繁殖特征及其与人侵性的关系)[J]. *Chin Bull Bot* (植物学报), 44(6):656-665
- Hayes KR, Barry S C. 2008. Are there any consistent predictors of invasion success [J]. *Biology Invasions*, 10:483-506
- He YH(何玉慧), Zhao HL(赵哈林), Liu XP(刘新平), et al. 2008. Growth characteristics and biomass allocation of *Setaria viridis* on different types of sandy land(不同类型沙地狗尾草的生长特性及生物量分配)[J]. *Chin J Ecol* (生态学杂志), 27(4):504-508
- Li WL(李文丽). 2009. Effect of aluminum stress on physiological characteristics of wheat seedlings(铝胁迫对小麦幼苗生理特性的影响)[J]. *Guizhou Agric Sci* (贵州农业科学), 37(7):30-32
- Li XH(李晓红), Li Y(李蕴), Hu XH(胡雪华), et al. 2010. Effects of aluminum stress on the reproductive features in *Plantago asiatica* (铝胁迫对车前生殖特性的影响)[J]. *J Jinggangshan Univ: Nat Sci Edi* (井冈山学院学报·自然科学版), 30(10):5-7
- Li Y(李蕴), Xiao YA(肖宜安), Wang CX(王春香), et al. 2008. Growth characteristics and relative competitive capacity of *Plantago virginica* and *P. asiatica* (北美车前和车前的生长特征与相对竞争能力)[J]. *Chin J Ecol* (生态学杂志), 27(4):514-518
- Liu Q(刘强), Zheng SJ(郑绍建), Lin XY(林咸永). 2004. Plant physiological and molecular biological mechanism in response to aluminum toxicity(植物适应铝毒胁迫的生理及分子生物学机理)[J]. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 15(9):1641-1649
- Liu Q(刘强), Liu XG(刘先贵), Guo ZH(郭智慧), et al. 2010. Comparison of root apical cell wall response to aluminum stress between polygonaceae plants and rape(蓼科植物和油菜根尖细胞壁对铝胁迫反应的比较研究)[J]. *Acta Agric Univ Jiangxi* (江西农业大学学报), 32(2):260-264, 275
- Luo L(罗亮), Xie ZL(谢忠雷), Liu P(刘鹏), et al. 2006. Physiological response of tea plant to aluminum toxicity(茶树对铝毒生理响应的研究)[J]. *J Agro-Environ Sci* (农业环境科学学报), 25(2):305-308
- Ma L(马丽), Yang SC(杨盛昌). 2009. Effect of aluminium on protection enzyme system and praline of *Brugiera sexangla* seedlings(铝胁迫对海莲幼苗保护酶系统及脯氨酸含量的影响)[J]. *Guihaia* (广西植物), 29(5):648-652
- Maherali H, DeLucia EH. 2001. Influence of climate driven shifts in biomass allocation on water transport and storage in porro-drosa pine[J]. *Oecologia*, 129:481-489
- Mack RN. 1989. Temperate grasslands vulnerable to plant invasion; characteristics and consequences[M]//Drake JA, Mooney HA, Castri FD(eds). *Biological invasion: a global perspective*. New York, NY, USA: John Wiley and Sons:155-179
- Qiang S(强胜), Cao XZ(曹学章). 2001. Harmfulness of exotic weeds in China and for their management(外来杂草在我国危害性及其管理对策)[J]. *Chinese Biodiversity* (生物多样性), 9(2):188-195
- Schooler S, Baron Z, Julien M. 2006. Effect of simulated and actual herb ivory on alligator weed, *Alternanthera philoxeroides*, growth and reproduction[J]. *Biological Control*, 36:74-79
- Shi GY(石贵玉). 2004. Effect of aluminium on growth and some physiological function of rice seedlings(铝对水稻幼苗生长和生理的影响)[J]. *Guihaia* (广西植物), 24(1):77-80
- Shi GR(史刚荣), Ma CC(马成仓). 2006. Biological characteristics of alien plants successful invasion(外来植物成功入侵的生物学特征)[J]. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 17(4):727-732
- Wang F(王芳), Liu P(刘鹏), Xu GD(徐根娣), et al. 2006. Effects of aluminium amount in soil on the root growth of buckwheat(铝对荞麦根系的影响)[J]. *Guihaia* (广西植物), 26(3):321-324
- Wei QS(尉秋实), Zhao M(赵明), Li CL(李昌龙), et al. 2006. Growth and biomass allocation of *Chilopsis linearis* under different soil water stresses(不同土壤水分胁迫下沙漠藜的生长及生物量的分配特征)[J]. *Chin J Ecol* (生态学杂志), 25(1):7-12
- Xu GZ(徐国忠), Zheng XL(郑向丽), Li YH(林永辉), et al. 2009. Study on Aluminum tolerance of different genotypes of *Chamaecrista* (不同基因型决明属牧草耐铝性研究)[J]. *Practical Sci* (草业科学), 26(9):140-145
- Xu YF(许玉凤), Cao MJ(曹敏建), Wang WH(王文和), et al. 2005. Effect of aluminum on photosynthetic characteristics of different genotypes of maize seedling(铝胁迫对耐性不同的玉米基因型幼苗光合特性的影响)[J]. *J Maize Sci* (玉米科学), 13(1):79-82
- Ying XF(应小芳), Liu P(刘鹏). 2005. Effects of aluminum stress on photosynthetic characters of soybean(铝胁迫对大豆叶片光合特性的影响)[J]. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 16(1):166-170
- Zhang J(张健), Li XW(李贤伟), Hu TX(胡庭兴). 1999. Summary and evaluation on the researches about aluminum poison and forest recession(铝毒害与森林衰退研究评述)[J]. *World Fore Res* (世界林业研究), 12(2):28-30.
- Zhang WH(张文辉), Li H(李红), Li JX(李景侠), et al. 2003. Individual and modular biomass dynamics of *Kingdonia uniflora* population in Qinling Mountain(秦岭独叶草种群个体和构件生物量动态研究)[J]. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 14(4):530-534