

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第31卷 第23期 Vol.31 No.23 **2011**

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 31 卷 第 23 期

2011 年 12 月 (半月刊)

目 次

不同海拔高度高寒草甸光能利用效率的遥感模拟·····	付 刚,周宇庭,沈振西,等 (6989)
天山雪岭云杉大气花粉含量对气温变化的响应·····	潘燕芳,阎 顺,穆桂金,等 (6999)
春季季风转换期间孟加拉湾的初级生产力·····	刘华雪,柯志新,宋星宇,等 (7007)
降水量对川西北高寒草甸牦牛粪分解速率的影响 ·····	吴新卫,李国勇,孙书存 (7013)
基于 SOFM 网络对黄土高原森林生态系统的养分循环分类研究·····	陈 凯,刘增文,李 俊,等 (7022)
不同油松种源光合和荧光参数对水分胁迫的响应特征 ·····	王 琰,陈建文,狄晓艳 (7031)
盐生境下硅对坪用高羊茅生物学特性的影响 ·····	刘慧霞,郭兴华,郭正刚 (7039)
高温胁迫对不同种源希蒙得木叶片生理特性的影响·····	黄激激,张念念,胡庭兴,等 (7047)
黄土高原水土保持林对土壤水分的影响 ·····	张建军,李慧敏,徐佳佳 (7056)
青杨雌雄群体沿海拔梯度的分布特征·····	王志峰,胥 晓,李霄峰,等 (7067)
大亚湾西北部春季大型底栖动物群落特征·····	杜飞雁,林 钦,贾晓平,等 (7075)
湛江港湾浮游桡足类群落结构的季节变化和影响因素·····	张才学,龚玉艳,王学锋,等 (7086)
台湾海峡鲈鱼种群遗传结构·····	张丽艳,苏永全,王航俊,等 (7097)
洱海入湖河流苴河下游氮磷季节性变化特征及主要影响因素·····	于 超,储金宇,白晓华,等 (7104)
转基因鱼试验湖泊铜锈环棱螺种群动态及次级生产力·····	熊 晶,谢志才,蒋小明,等 (7112)
河口湿地植物活体-枯落物-土壤的碳氮磷生态化学计量特征 ·····	王维奇,徐玲琳,曾从盛,等 (7119)
EDTA 对铅锌尾矿改良土壤上玉米生长及铅锌累积特征的影响 ·····	王红新,胡 锋,许信旺,等 (7125)
不同包膜控释尿素对农田土壤氮挥发的影响·····	卢艳艳,宋付朋 (7133)
垄作栽培对高产田夏玉米光合特性及产量的影响·····	马 丽,李潮海,付 景,等 (7141)
DCE 不同施用时间对小麦生长期 N ₂ O 排放的影响 ·····	纪 洋,余 佳,马 静,等 (7151)
氮肥、钙肥和盐处理在冬小麦融冻胁迫适应中的生理调控作用 ·····	刘建芳,周瑞莲,赵 梅,等 (7161)
东北有机及常规大豆对环境影响的生命周期评价 ·····	罗 燕,乔玉辉,吴文良 (7170)
土壤施硒对烤烟生理指标的影响·····	许自成,邵惠芳,孙曙光,等 (7179)
不同种植方式对花生田间小气候效应和产量的影响·····	宋 伟,赵长星,王月福,等 (7188)
西花蓟马的快速冷驯化及其生态学代价·····	李鸿波,史 亮,王建军,等 (7196)
温度对麦长管蚜体色变化的影响·····	邓明明,高欢欢,李 丹,等 (7203)
不同番茄材料对 B 型烟粉虱个体发育和繁殖能力的影响 ·····	高建昌,郭广君,国艳梅,等 (7211)
基于生态系统受扰动程度评价的白洋淀生态需水研究·····	陈 贺,杨 盈,于世伟,等 (7218)
两种典型养鸡模式的能值分析 ·····	胡秋红,张力小,王长波 (7227)
四种十八碳脂肪酸抑藻时-效关系分析的数学模型设计 ·····	何宗祥,张庭廷 (7235)
流沙湾海草床重金属富集特征·····	许战州,朱艾嘉,蔡伟叙,等 (7244)
基于 QuickBird 的城市建筑景观格局梯度分析 ·····	张培峰,胡远满,熊在平,等 (7251)
景观空间异质性及城市化关联——以江苏省沿江地区为例·····	车前进,曹有挥,于 露,等 (7261)
基于 CVM 的太湖湿地生态功能恢复居民支付能力与支付意愿相关研究·····	于文金,谢 剑,邹欣庆 (7271)
专论与综述	
北冰洋海域微食物环研究进展·····	何剑锋,崔世开,张 芳,等 (7279)
城市绿地的生态环境效应研究进展·····	苏泳娴,黄光庆,陈修治,等 (7287)
城市地表灰尘中重金属的来源、暴露特征及其环境效应 ·····	方凤满,林跃胜,王海东,等 (7301)
研究简报	
三峡库区杉木马尾松混交林土壤 C、N 空间特征 ·····	林英华,汪来发,田晓堃,等 (7311)
广州小斑螟发生与环境因子的关系·····	刘文爱,范航清 (7320)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 336 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 39 * 2011-12



封面图说:黄河的宁夏段属于中国的半荒漠地区,这里气候干燥、降水极少(250mm 以下)、植被缺乏、物理风化强烈、风力作用强劲、其蒸发量超过降水量数十倍。人们从黄河中提水引水灌溉土地,就近形成了荒漠中的绿洲。有水就有生命,有水就有绿色。这种独特的条件形成了人与沙较量的生态关系——不是人逼沙退就是沙逼人退。

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

刘慧霞, 郭兴华, 郭正刚. 盐生境下硅对坪用高羊茅生物学特性的影响. 生态学报, 2011, 31 (23): 7039-7046.

Liu H X, Guo X H, Guo Z G. Effect of silicon supply on Tall Fescue (*Festuca arundinacea*) growth under the salinization conditions. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31 (23): 7039-7046.

盐生境下硅对坪用高羊茅生物学特性的影响

刘慧霞¹, 郭兴华², 郭正刚^{2,*}

(1. 西北民族大学生命科学与工程学院, 兰州 730070; 2. 兰州大学草地农业科技学院, 兰州 730020)

摘要:干旱半干旱区草坪绿地的长期灌溉容易引发土壤次生盐渍化, 提高草坪草在盐生境下的生长发育能力是应对土壤次生盐渍化的主要途径之一。采用盆栽试验研究了盐生境下硅对坪用高羊茅 (*Festuca arundinacea*) 生物学特性的影响。结果表明, 向盐生境土壤中添加不同浓度硅均提前高羊茅出苗时间 2 d, 加快出苗速率, 增加出苗总数, 提高保苗率, 且总出苗率和保苗率随着硅浓度增加而显著增大 ($P < 0.05$), 这说明盐生境下向土壤添加硅改善了幼苗完全死亡的现象。盐生境下硅显著增加了高羊茅叶长, 株高和分蘖数, 但对叶宽影响不显著, 说明硅能够促进高羊茅生长, 但对草坪绿地的质地影响不大。虽然硅能显著增加高羊茅总生物量 ($P < 0.05$), 但较低浓度时促进其茎叶生长, 高浓度促进其根系生长。硅在高羊茅体内的沉积量随施入硅增加而增大, 但其茎叶和根系内硅含量不超过 3.0%, 且根系内硅含量约为茎叶内硅含量的 2 倍。结果显示, 硅提高了坪用高羊茅在盐生境下的适应能力, 这为以后草坪绿地管理中应对土壤潜在盐渍化的问题提供了一定的科学依据。

关键词: 硅; 高羊茅; 盐生境; 生物量; 形态指标

Effect of silicon supply on Tall Fescue (*Festuca arundinacea*) growth under the salinization conditions

LIU Huixia¹, GUO Xinghua², GUO Zhenggang^{2,*}

1 College of Life Science and Engineering, Northwest University for Nationalities, Lanzhou 730070, China

2 College of Pastoral Agricultural Science and Technology, Lanzhou University, Lanzhou 730020, China

Abstract: The continual irrigation is one of the important measures to maintain healthy and sustainable use of turf in the arid and semi-arid regions, however, it enable soil to develop possibly soil secondary saline-alkalization. Therefore, it is an urgently scientific issue in the turf management to improve the ability of turf grass to healthy growing in the soil salinization environments. A pot experiment was used to investigate the effect of Si supply on the biological properties of Tall Fescue (*Festuca arundinacea*) growing in the salinization conditions. This study indicated that silicon supplies made the initial time of seed emergence of tall fescue bring forward two days, shortened the duration of emergence, increased the total seedling rate and the seedling survival rate. The total emergence and seedlings survival rate of Tall Fescue significantly increased with the increase of Si supply ($P < 0.05$), implying that silicon supplies increased the viability of Tall Fescue seedling in the salinization conditions, meanwhile, Tall Fescue seedling died when silicon did not add to the soil. Silicon supplies significantly increased the height, leaf length and tiller number per plant in tall fescue, but did not affect on leaf width, indicating that silicon supplies encouraged the tall fescue growth but did not affect the turf quality. This study also indicated that silicon supplies increased the plants biomass, indicating that the low silicon supplies mainly contributed to shoot growth and the high silicon supplies mainly contributed to root growth, and this implied that the shoots growth was more sensitive than roots growth of tall fescue. Both the silicon content in roots and shoots increased with the increase of

基金项目: 国家自然科学基金项目 (30900173); 中国博士后科学基金特别资助 (200801242)

收稿日期: 2010-10-10; **修订日期:** 2011-03-24

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: guozhg@lzu.edu.cn

silicon concentration, and they were below 3.0%. Silicon content in roots was double that in shoots. This study suggested that silicon supplies improved the suitability of Tall Fescue in the soil salinization environments, which would provide the useful information for future turf management when turf managers face the potential of soil salinization.

Key Words: silicon; tall fescue; salinization condition; biomass; morphological parameter

草坪绿地不仅净化空气和减轻“城市热岛”效应,而且减轻水土流失^[1],2007 年我国城市人均绿地面积增至 8.30 m²,但仍低于美国和英国 1976 年人均 30.2 m²和 30.4 m²的水平^[2],这既说明我国草坪绿地发展水平距世界富裕国家有很大差距,又说明我国草坪绿地具有广阔的发展空间。施肥和灌溉是我国西北地区草坪绿地管理的主要措施,但西北地区大多数土壤可溶性盐含量高,土壤蒸发强,长期灌溉使灌溉水分中盐分逐渐沉积,加剧土壤内斑块状盐分过高,高浓度盐分不仅对草坪草产生毒害效应,而且使土壤出现局部土壤次生盐渍化^[3],这不仅影响西北地区草坪绿地持久利用的性能,而且逐渐成为城镇及周边农业生产的潜在环境问题。如何应对草坪绿地因灌溉而发生的土壤次生盐渍化已成为目前亟待解决的科学问题之一。过去我国关于草坪绿地施肥管理的研究主要集中于氮磷钾,但氮和磷过量使用引发的土壤非点源污染和水体富营养化迫使草坪绿地管理者寻求其他环境友好型元素,实现草坪绿地管理的环境友好。在众多的矿质元素中,硅是过量后不会对植物和土壤产生有害影响的环境友好型元素^[4],但 1939 年 Arnon 和 Stout 并没有将其列入植物生长发育必需元素^[5],其对植物生长发育的有益作用并没有得到应有的重视,而 Epstein 和 Bloom 重新界定植物生长发育必需元素定义后^[6],硅被列为植物生长发育必需元素的可能性逐渐增加^[7],硅对植物生长发育及其环境的影响受到了充分关注。已有研究表明,土壤有效硅不能满足植物正常生长发育时,植物细胞结构变弱,组织柔软,甚至产生畸形生长和繁殖,更为重要的是硅可通过改善植物形态结构、生理过程和减少对盐离子的吸收而促进植物生长发育^[8-10],从而提高植物适应逆境的能力。

坪用高羊茅(*Festuca arundinacea*)具有抗病和抗旱性强、建植快的特性,被广泛的应用于温带城市的园林绿化、运动场建设和公路护坡,但土壤高浓度盐分影响其种子萌发和幼苗生长^[11]。因此提高盐生境下高羊茅的高效建植率是草坪绿地管理中的重要科学问题之一。目前虽然已经证实向土壤添加有效硅能够显著减少大麦、水稻等作物对 Na⁺、Mg²⁺、Cu²⁺、Al³⁺等有害元素的吸收^[4-5,8,12-13],增强其在盐生境中的适应能力,但硅是否能够提高高羊茅对盐生境的适应能力尚需科学实验佐证。本研究采用盆栽试验,测定了相同盐浓度下不同硅浓度处理对高羊茅出苗特征和形态学特性的影响,以便阐明盐生境下硅对高羊茅适应能力的影响,为草坪绿地管理提供一定的科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

盆栽试验在兰州大学草地农业科技学院内自制的通风、透光、遮雨的塑料大棚内进行。实验选用直径 20 cm,高 17 cm 的塑料水桶。土壤采用广布于黄土高原的黄绵土,土壤采自甘肃定西和榆中县,pH 值为 8.65,有机质含量 3.389%,全氮含量 125.8 mg/kg,速效磷含量 4.34 mg/kg,速效钾含量 132.8 mg/kg,有效硅含量 140 mg/kg(用 pH=4 的醋酸缓冲液提取,硅钼蓝比色法测定)。试验设置 6 个硅浓度处理:0 g/kg (Si/干土)(不施硅),0.05,0.10,0.25,0.4,0.55 g/kg,每个处理重复 6 次。硅源为硅酸钠,以最高钠离子含量 0.90 g/kg(Na/干土)为标准,不足的钠离子采用氯化钠平衡,使所有处理钠离子浓度一致,以便消除盐生境梯度的影响。Fortmeiev 等^[13]研究表明,在盐害中真正起作用的是 Na⁺离子而不是 Cl⁻离子,也不是两种离子的共同作用,因此本实验选用氯化钠平衡,其中 Cl⁻离子的影响被忽略。每盆装干土 3.5 kg,装土时将硅酸钠、氯化钠与土壤混合均匀,不加其他营养元素。高羊茅选用产自美国的红象品种,人工挑选饱满均一的种子,于 2008 年 6 月 26 日播种,每盆 100 粒。试验期间通过每天称重法保证每盆浇水量一致,约为土壤饱和含水量的 70%。盆摆放在遮雨棚的中间位置以防雨水进入,每天上午随机挪动盆位置,保证各盆受光均匀。

1.2 指标测定

1.2.1 出苗率和保苗率

记录每个处理开始出第 1 株苗的时间,并记作初始出苗时间。自第 1 株出苗开始每隔一天于 19:00 记录每盆中的出苗数和死亡苗数,每出一株苗,均采用直径 3 mm 的橡皮圈套住标记,便于和次日出的苗混淆,当幼苗地上部分逐渐变黄至干枯后即死亡,从盆中拔出,而变黄后又逐渐变绿的不记作死亡,计数至每盆苗数连续 7 d 内出苗率变化不超过 1 株为止。总出苗率指每个盆中出苗的株数占总播种粒数的百分数。保苗率指每个盆中最后实际保留的苗数。同时用肉眼观察土壤表面颜色的变化,确认是否发生盐渍化。

1.2.2 形态学指标测定

当每个处理出苗基本稳定,幼苗总数不发生变化时,每盆随机选取 10 株(如不足 10 株,全部选择),把直径 6 mm 的橡皮管剪成 3 mm 长小段,套在随机选取的 10 株高羊茅基部(同时除去原有标记出苗的橡皮圈),用于统计每株分蘖数。在牙签的一端贴上标签纸,标签纸上标号 1—10,另一端插入橡皮圈基部,定期观测株高和叶长宽。

株高:7 月 21 日开始用直尺测量每盆中标号的 10 株高羊茅的株高,每隔 5 d 在 9:00 测量,测至 8 月 25 日。

叶长和叶宽:7 月 24 日开始至 8 月 23 日每隔 10 d 测量 1 次叶长宽,测量叶宽、叶长时选取标号植株下数第 2 片成熟叶,用游标卡尺测量叶片最宽处为叶宽(mm),直尺测量叶长(cm)。

分蘖数和叶片数:8 月 7 日至 8 月 27 日每隔 10 d 计数每盆中套橡皮圈的 10 株分蘖数和叶片数。

实验结束时,8 月 27 日分别测定高羊茅茎叶和根系生物量干重。

1.2.3 植物体内硅含量

植物样品中硅含量采用氢氧化钠熔融硅钼蓝比色法测定^[10]。

1.2.4 数据分析

制图选择 Excel 程序,统计分析采用 SPSS 软件包。

2 结果

2.1 总出苗率和保苗率

试验结果表明,盐生境下硅处理提前了坪用高羊茅初始出苗时间,表现为硅处理中高羊茅初始出苗时间为 7 月 3 日,而对照处理中高羊茅初始出苗时间为 7 月 5 日,添加硅使高羊茅初始出苗时间提前了 2 d(图 1)。高羊茅初始出苗时间对硅的响应不存在浓度剂量效应,表现为各个硅浓度处理间高羊茅初始出苗时间一样。高羊茅总出苗数随着出苗时间延长而逐渐增加,然后维持基本不变,但不同处理条件下,总出苗数维持不变的拐点存在差异,硅处理的出苗总数拐点均出现在出苗总数超过 20%,而对照处理拐点出现在出苗总数为 8%,这说明硅增加了高羊茅的总出苗数,并随着硅浓度增加而增加。

高羊茅在出苗过程中受盐生境的影响,部分幼苗死亡,导致总出苗率和保苗率随着出苗时间的变化趋势并不一致。盐生境下高羊茅保苗率曲线分为两类:①0.55 g/kg 水平硅处理保苗率随时间延长而逐渐上升,到达一定数值后逐渐稳定,基本称“S”曲线(图 1);②其余 5 个处理表现为先上升、再下降、最后平稳的变化趋势,整体为单峰值曲线。若将变化趋势分为初期(7 月 3—15 日)、中期(7 月 16—29 日)和后期(7 月 30—8 月 12 日)3 个阶段,所有处理保苗率在初期均表现为迅速增加,硅浓度越大,增加越明显,出苗越快,曲线斜率越大;中期开始,0.55 g/kg 硅处理的保苗率继续增加,而其他处理的保苗率开始下降,且土壤表面开始出现白色盐渍,这是因为中期天气变热,蒸腾量增加,盐分被带到地表后逐渐积累的结果;后期所有处理的保苗率基本维持稳定。

盐生境下硅提高了高羊茅保苗率,表现为不施硅处理的幼苗在后期全部死亡,保苗率为零,这表明添加硅改善了高羊茅全部因盐胁迫全部死亡的现象,且高羊茅保苗率随着硅浓度增加而增加。

2.2 植株株高

盐生境下不同浓度硅处理对高羊茅株高生长速度的影响随生长阶段表现分异(表 1),在生长初期株高随

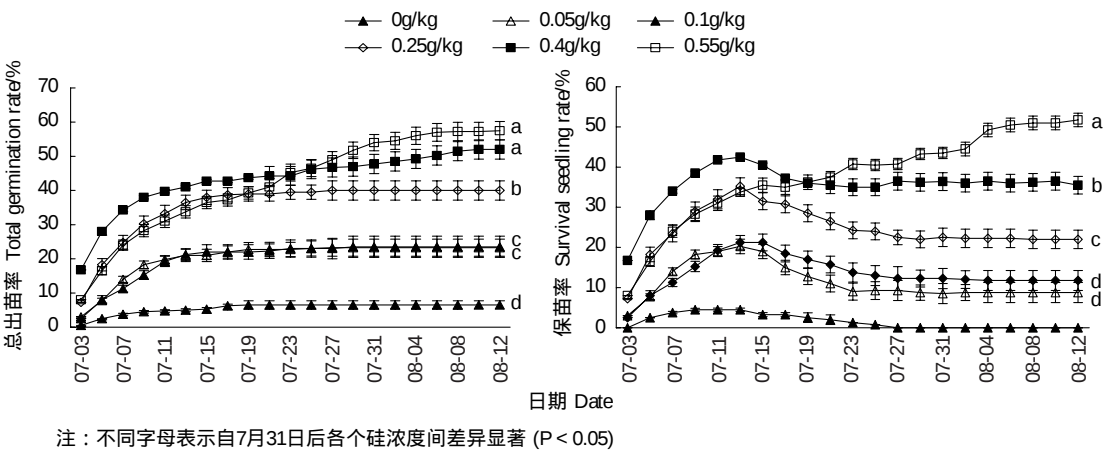


图1 盐生境下不同浓度硅处理对高羊茅总出苗率和保苗率的影响

Fig. 1 Effect of silicon supply on total seedling rate and survival seedling rate of tall fescue in soil salinization conditions

硅浓度增加而显著增大 ($P < 0.05$), 而随着时间推移各处理间株高差异逐渐消失, 这说明盐生境下高浓度硅显著提高了高羊茅初期生长速度, 有利于高羊茅迅速覆盖地表, 缩短草坪绿地建植时间, 低浓度硅处理在中期生长速度加快, 所以高浓度硅处理既能促进高羊茅株高初期生长, 又不会增加修剪次数。

表1 盐生境下不同浓度硅处理对高羊茅株高的影响/cm

Table 1 Effect of silicon supply on plant height of tall fescue in soil salinization conditions

日期 Date	硅处理 Si treatments/(g/kg)					
	0	0.05	0.1	0.25	0.4	0.55
07-21	—	3.9±0.23b	4.6±0.23a	4.9±0.26a	5.1±0.21a	4.8±0.18a
07-26	—	4.6±0.25b	5.4±0.29a	5.4±0.22a	5.6±0.20a	5.2±0.18ab
07-31	—	5.2±0.25a	5.4±0.27a	5.5±0.24a	5.4±0.19a	5.5±0.21a
08-5	—	5.3±0.24a	5.4±0.25a	5.7±0.20a	5.5±0.21a	5.7±0.19a
08-10	—	5.9±0.24a	5.7±0.26a	6.3±0.26a	6.1±0.21a	6.1±0.19a
08-15	—	6.4±0.25a	6.4±0.35a	6.5±0.29a	6.1±0.22a	6.6±0.24a
08-20	—	6.9±0.28a	7.3±0.31a	7.0±0.33a	6.8±0.20a	6.9±0.23a
08-25	—	6.7±0.27a	6.9±0.35a	7.1±0.35a	7.2±0.22a	7.1±0.29a

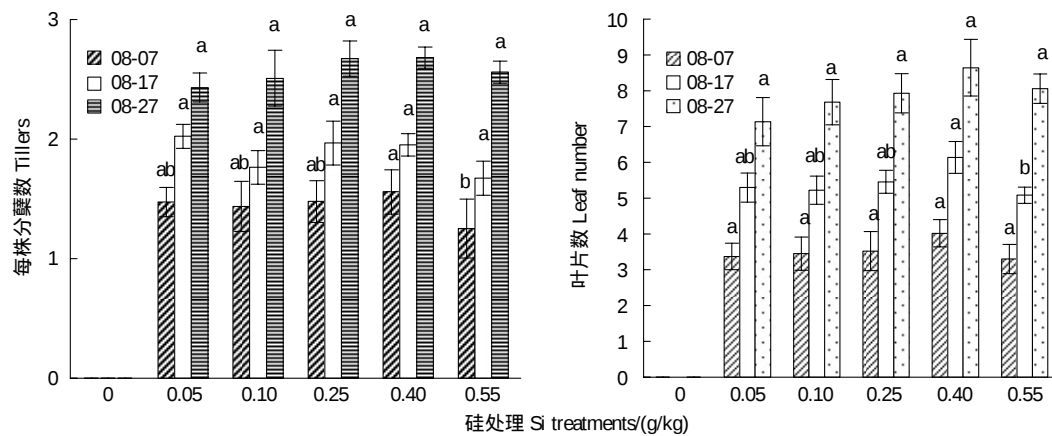
同一行平均数中标有不同字母者为差异显著 ($P < 0.05$)

2.3 分蘖数和叶片数

盐生境条件下施入适量的硅促进高羊茅初期分蘖, 当浓度达到 0.55 时又会起到抑制作用, 表现为高羊茅分蘖数随着硅浓度增加而先增大后减小 (图 2), 且 0.4 水平硅处理分蘖数显著大于 0.55 水平硅处理 ($P < 0.05$)。叶片数在初期也呈现随着硅浓度增加而先增大后减小变化趋势, 但差异不显著, 而叶片数中期变化趋势与分蘖数初期变化趋势一致 (图 2), 这说明叶片数变化对分蘖数初期变化存在一定的协同响应。随着时间推移不同处理间生长速度发生变化, 分蘖数和叶片数之间的显著差异被抵消。0.4 水平硅处理在整个过程中叶片数最多, 密度最大, 表现最好。

2.4 叶片长度和叶片宽度

盐生境下不同浓度硅处理间高羊茅叶长生长速度随时间发生变化 (表 2), 表现为初期叶长随硅浓度增加而显著增大 ($P < 0.05$), 中期随硅浓度增加叶长而显著减小 ($P < 0.05$), 后期叶长在不同硅浓度处理间差异显著性消失。初期高羊茅叶宽随着硅浓度增加而显著增大, 但这种显著差异随着高羊茅的生长很快消除, 在建植后期不同硅浓度对高羊茅叶宽也没有显著影响。



注: 相同柱体标记不同字母表示各个硅浓度间差异显著 ($P < 0.05$)

图2 盐生境下不同浓度硅处理对高羊茅分蘖数和叶片数的影响

Fig.2 Effect of silicon supply on tillers and leaves of tall fescue in soil salinization conditions

表2 盐生境下不同浓度硅处理对叶长和叶宽的影响

Table 2 Effect of silicon supply on Leaf length and width of tall fescue in soil salinization conditions

项目 Item	日期 Date (m-d)	硅处理 Si treatments/(g/kg)					
		0	0.05	0.1	0.25	0.4	0.55
叶长	07-24	—	4.1±0.25b	4.3±0.26ab	4.9±0.25a	4.8±0.23a	4.5±0.18ab
Leaf length	08-03	—	4.9±0.31ab	5.3±0.30a	5.0±0.26ab	5.0±0.22a	4.3±0.18b
/cm	08-13	—	6.1±0.22ab	5.5±0.31bc	6.2±0.24a	5.5±0.21bc	5.4±0.19c
	08-23	—	7.8±0.15a	7.6±0.11a	7.7±0.23a	7.4±0.18a	7.2±0.20a
叶宽	07-24	—	1.3±0.10c	1.5±0.14bc	1.7±0.08ab	1.8±0.10a	1.5±0.08ab
Leaf width	08-03	—	1.7±0.15a	1.6±0.12a	1.8±0.18a	1.8±0.17a	1.6±0.14a
/mm	08-13	—	2.5±0.17a	2.4±0.15a	2.7±0.30a	2.5±0.16a	2.6±0.14a
	08-23	—	3.2±0.16a	3.2±0.15a	3.4±0.19a	3.2±0.22a	3.4±0.19a

2.5 总生物量及茎叶和根系生物量

盐生境下高羊茅总生物量随着硅浓度增加整体呈指数增长模式(图3),其拟合方程为 $y = 0.6004e^{0.1887x}$, $R^2 = 0.8947$,当硅浓度低于 1.0 g/kg 时,高羊茅总生物量随着硅浓度增加变化不显著,而硅浓度超过 1.0 g/kg 时,高羊茅总生物量随着硅浓度增加而显著增加($P < 0.05$),这说明只有当高羊茅体内硅沉积到一定程度后,其才会对生物量产生促进作用。高羊茅茎叶和根系生物量总体上均随着硅浓度增加而增加(图3),而对根系生物量积累的促进作用显然没有茎叶生物量积累敏感,表现为当硅浓度从 0.05、0.1 和 0.25 提高到 0.4 时,地上生物量增加速度快于根系,而硅浓度从 0.4 增加到 0.55 时,根系生物量显著增加($P < 0.05$),而地上生物量增加不显著,此时根系生物量增加速度要大于地上生物量。无论硅浓度如何变化,所有硅浓度处理高羊茅茎叶生物量明显高于根系生物量。

2.6 茎叶和根系内硅含量

无论是高羊茅根系还是茎叶,其硅含量均随着硅浓度增加呈对数增加模式(图4),根系硅含量的拟合方程为 $y = 1.4592\ln(x) + 0.1949$, $R^2 = 0.9432$,茎叶硅含量拟合方程为 $y = 0.9587\ln(x) - 0.0939$, $R^2 = 0.9452$ 。当施硅量在低于 0.25 g/kg 时,根系和茎叶内硅含量增加显著,而当施硅量大于 0.25 g/kg 时,根系和茎叶内硅含量增加趋势减小,当施硅量从 0.25 g/kg 增至 0.4 g/kg 时,根系和茎叶内硅含量基本趋于饱和,特别是茎叶内。高羊茅茎叶和根系硅含量均小于 3.0%,且根系内硅含量远远大于茎叶内的硅含量。

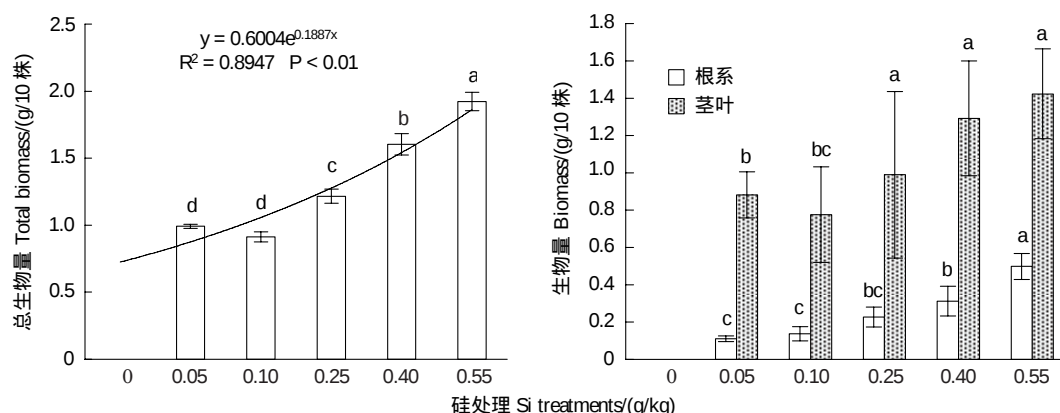


图3 盐生境下不同浓度硅处理对高羊茅根系和茎叶生物量及总生物量的影响

Fig. 3 Effect of silicon supply on shoots and roots biomass, as well as total biomass of tall fescue in soil salinization conditions

相同柱体标记不同字母表示各个硅浓度间差异显著

3 讨论

我国目前各类盐渍化土地面积高达 0.99 亿 hm^2 [14], 占世界盐渍化土地面积的 10% [15], 还将随着灌溉次生盐渍化而不断增加, 因此绿化盐渍化土地和应对草坪绿地管理中潜在的盐渍化已成为重要的科学问题。草坪草能否在盐生环境中正常生长发育, 首先取决于草坪草能否发芽, 以及发芽率高低和发芽速度快慢。本研究表明, 添加硅不仅改善了对照中高羊茅幼苗在盐胁迫下全部死亡的现象, 而且提前了坪用高羊茅种子初始出苗时间, 缩短集中出苗时期, 提高总出苗率和保苗率, 说明硅既能提高坪用高羊茅幼苗在盐生环境中的生存能力, 又能增加盐生境下高羊茅的密度, 增加了其在盐生环境中快速成坪的可能性, 这与盐生境条件下硅能提高黄瓜种子萌发速率和发芽率的结果一致 [16]。

高羊茅种子发芽并长成幼苗, 其能够在盐生境下正常生长发育是最后成坪的关键。本研究表明, 在建植初期坪用高羊茅株高在盐生境下随着硅浓度增大而显著增加, 但随着时间推移其促进效果逐渐消失, 这与硅对紫花苜蓿和竹子株高的促进作用主要表现在生殖阶段不同 [9, 17], 主要原因是植物生物学习性所致, 硅主要通过促进竹子和紫花苜蓿的主茎和分枝生长实现增高, 而坪用高羊茅没有明显主茎, 株高主要是通过叶长来反映, 因此建植后期不同水平硅处理对高羊茅的株高影响不明显, 这实质可能是不同植物测量其高度时所选用的指标差异所致, 硅对羊茅株高生长的阶段性促进作用有利于草坪草初期快速生长成坪和建植成功后的修剪管理。盐生境下低浓度硅提升了高羊茅初期的分蘖能力, 而高浓度硅降低了高羊茅初期的分蘖能力, 但随着高羊茅的生长其分蘖逐渐达到饱和, 不同处理间分蘖数的差异被抵消, 说明硅对高羊茅分蘖的影响不仅与添加硅浓度有关, 而且与其生长阶段有关, 这与适量施硅能促进豆科牧草紫花苜蓿的分枝, 而硅浓度过大则会抑制紫花苜蓿分枝的结果一致 [17]。硅对高羊茅叶片数的影响仅发生在中期, 此时高浓度硅抑制叶片数, 而在前期和后期无显著影响, 这说明高浓度硅对高羊茅叶片数的影响没有分蘖敏感。硅对高羊茅叶长、叶宽的影响在后期差异消失, 这进一步佐证了硅对高羊茅株高生长的影响是源于叶长而非茎秆。叶宽反应草坪质地, 叶宽越小, 草坪质地越好 [18], 在建植后期不同硅浓度对高羊茅叶片宽度没有显著影响, 说明硅对坪用高

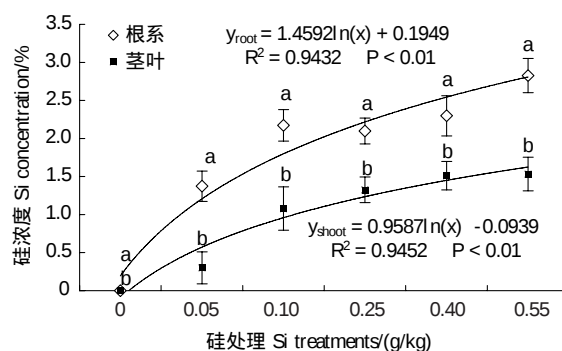


图4 盐生境下不同浓度硅处理高羊茅根系和茎叶内硅含量

Fig. 4 Effect of silicon supply on silicon concentration in shoots and roots of tall fescue in soil salinization conditions

同一硅浓度条件下根系和茎叶标记不同字母表示差异显著

羊茅建植的草坪质地没有显著影响。从盐生境下硅对坪用高羊茅的株高、分蘖和叶片影响可以看出,添加硅有利于盐生境下高羊茅的健康生长。

本研究结果表明硅对盐生境下高羊茅地上和根系生物量都有显著促进作用,根系生物量的增加有利于草坪绿地固土保水,而地上生物量的增加有利于形成致密的优质草坪,这与硅紫花苜蓿生物量的影响一致^[17],而不同于硅促进竹子^[9]和水稻^[19]根系生物量的积累和豇豆^[10]茎叶生物量的积累,而坪用高羊茅茎叶和根系生物量随着硅浓度增加的积累量呈现不同步性,低浓度硅促进高羊茅茎叶生长,高浓度硅有利于根系生物量积累,即高羊茅地上部分的生长对硅浓度的敏感性要大于根系,这与硅对水稻地上和根系生物量影响不一致,低浓度硅促进水稻干物质向根系分配,高浓度有利于干物质向地上部分分配^[20],这种分异可能与两种植物体内硅的沉积有关,禾谷类作物水稻内硅含量表现为地上大于地下^[21],而禾本科高羊茅体内硅含量表现为地下大于地上,高羊茅地上部分硅含量相对低,而水稻地上部分硅含量高,因此较低浓度的硅促进高羊茅茎叶和水稻根系生长,而较高浓度的硅则促进水稻茎叶和高羊茅根系生长。这对观赏性植物高羊茅和农作物水稻提出不同的施肥要求,添加高浓度的硅肥提高水稻地上部分产量,而在草坪绿地上应该施低浓度的硅肥促进高羊茅地上部分生长。同时由于高羊茅吸收的硅大多富集于根系,因此对地上部分质地的影响相对较低。生物量综合反映了坪用高羊茅利用各种有益元素和忍受盐生环境的能力,这说明添加硅增加了高羊茅在盐生环境中的适应性,这为通过添加硅而采用草坪草绿化盐渍化土地提供了可能,更可能成为未来应对土壤次生盐渍化的重要途径之一。

References:

- [1] Ren J Z, Zhang Z H. Grassland and human civilization. Grassland and Turf, 2000, (1): 5-9.
- [2] Wu C F, Ma X M. Present situation and development of turf grass industry in the 21st century in China. Tianjin Agricultural Sciences, 2009, 15 (3): 74-77.
- [3] Flowers T J. Improving crop salt tolerance. Journal of Experimental Botany, 2004, 55(396): 307-319.
- [4] Currie H A, Perry C C. Silica in plants: biological, biochemical and chemical studies. Annals of Botany, 2007, 100(7): 1383-1389.
- [5] Arnon D I, Stout P R. Molybdenum as an essential element for higher plants. Plant Physiology, 1939, 14(3): 599-602.
- [6] Epstein E, Bloom A J. Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives, second ed. Sunderland: Sinauer Associates Inc, 2005.
- [7] Liang Y C, Sun W C, Zhu Y G, Christie P. Mechanisms of silicon-mediated alleviation of abiotic stresses in higher plants: a review. Environmental Pollution, 2007, 147(2): 422-428.
- [8] Savant N K, Korn dörf er G H, Datnoff L E, Snyder G H. Silicon nutrition and sugarcane production: a review. Journal of Plant Nutrition, 1999, 22(12): 1853-1903.
- [9] Lux A, Luxová M, Abe J, Morita S, Inanaga S. Silicification of bamboo (*Phyllostachys heterocycla* Mitf.) root and leaf. Plant and Soil, 2003, 255(1): 85-91.
- [10] Dakora F D, Nelwamonda A. Silicon nutrition promotes root growth and tissue mechanical strength in symbiotic cowpea. Functional Plant Biology, 2003, 30(9): 947-953.
- [11] Zhu Y, He C Q, Du W, Hu Y L, Chen Y. Effects of exogenous calcium on the seed germination and seedling ions distribution of *Festuca arundinacea* under salt-stress. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2007, 23(11): 133-137.
- [12] Nowakowski W, Nowakowska J. Silicon and copper interaction in the growth of spring wheat seedlings. Biologia Plantarum, 1997, 39(3): 463-466.
- [13] Fortmeier R, Shubert S. Salt tolerance of maize (*Zea mays* L.): the role of sodium exclusion. Plant, Cell and Environment, 1995, 18(9): 1041-1047.
- [14] Wang Z Q. Salinization Land in China. Beijing: Scientific Press, 1993.
- [15] Flowers T J. Improving crop salt tolerance. Journal of Experimental Botany, 2004, 55(396): 307-319.
- [16] Hou Y H, Han X R, Yang J J, Wang J. Effects of silicon on cucumber seed germination and seedling growth under salt stress. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2007, 15(6): 206-207.
- [17] Guo Z G, Liu H X, Tian F P, Zhang Z H, Wang S M. Effect of silicon on the morphology of shoots and roots of alfalfa (*Medicago sativa*). Australian Journal of Experimental Agriculture, 2006, 46(9): 1161-1166.

- [18] Sun J X. Turf Science. Beijing: China Agricultural Press, 2003: 3-8.
- [19] Sistani K R, Savant N K, Reddy K C. Effect of rice hull ash silicon on rice seedling growth. *Journal of Plant Nutrition*, 1997, 20(1): 195-201.
- [20] Liu H, Zhang J, Du Y X, Zhao Q Z, Chen J R, Qiao J F. Responses of rice genotypes with different silicon uptake efficiency to different silicon supply. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2009, 20(2): 320-324.
- [21] Epstein E. The anomaly of silicon in plant biology. *Proceeding of The National Academy of Science of The United States of America*, 1994, 91(1): 11-17.

参考文献:

- [1] 任继周, 张自和. 草地与人类文明. 草原与草坪, 2000, (1): 5-9.
- [2] 吴朝峰, 马雪梅. 21 世纪中国草坪业的现状与发展. 天津农业科学, 2009, 15(3): 74-77.
- [11] 朱义, 何池全, 杜玮, 胡一灵, 陈宇. 盐胁迫下外源钙对高羊茅种子萌发和幼苗离子分布的影响. 农业工程学报, 2007, 23(11): 133-137.
- [14] 王遵亲. 中国盐渍土. 北京: 科学出版社, 1993.
- [16] 侯玉慧, 韩晓日, 杨家佳, 王晶. 硅对盐胁迫下黄瓜种子萌发及幼苗生长的影响. 中国生态农业学报, 2007, 15(6): 206-207.
- [18] 孙吉雄. 草坪学. 北京: 中国农业出版社, 2003: 3-8.
- [20] 刘辉, 张静, 杜彦修, 赵全志, 陈静蕊, 乔江方. 不同硅吸收效率水稻品种根系对硅素水平的响应. 应用生态学报, 2009, 20(2): 320-324.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 23 December, 2011 (Semimonthly)
CONTENTS

Satellite-based modelling light use efficiency of alpine meadow along an altitudinal gradient	FU Gang, ZHOU Yuting, SHEN Zhenxi, et al (6989)
Changes in the concentrations of airborne <i>Picea schrenkiana</i> pollen in response to temperature changes in the Tianshan Mountain area	PAN Yanfang, YAN Shun, MU Guijin, et al (6999)
Primary production in the Bay of Bengal during spring intermonsoon period	LIU Huaxue, KE Zhixin, SONG Xingyu, et al (7007)
Effect of rainfall regimes on the decomposition rate of yak dung in an alpine meadow of northwest Sichuan Province, China	WU Xinwei, LI Guoyong, SUN Shucun (7013)
SOFM-based nutrient cycling classification of forest ecosystems in the Loess Plateau	CHEN Kai, LIU Zengwen, LI Jun, et al (7022)
Characterization of the responses of photosynthetic and chlorophyll fluorescence parameters to water stress in seedlings of six provenances of Chinese Pine (<i>Pinus tabulaeformis</i> Carr.)	WANG Yan, CHEN Jianwen, et al (7031)
Effect of silicon supply on Tall Fescue (<i>Festuca arundinacea</i>) growth under the salinization conditions	LIU Huixia, GUO Xinghua, GUO Zhenggang (7039)
Effects of high-temperature stress on physiological characteristics of leaves of <i>Simmondsia Chinensis</i> seedlings from different provenances	HUANG Weiwei, ZHANG Niannian, HU Tingxing, et al (7047)
Soil moisture dynamics of water and soil conservation forest on the Loess Plateau	ZHANG Jianjun, LI Huimin, XU Jiajia (7056)
The distribution of male and female <i>Populus cathayana</i> populations along an altitudinal gradient	WANG Zhifeng, XU Xiao, LI Xiaofeng, et al (7067)
Analysis on the characteristics of macrobenthic community in the North-west Daya Bay of South China Bay in spring	DU Feiyan, LIN Qin, JIA Xiaoping, et al (7075)
The effects of season and environmental factors on community structure of planktonic copepods in Zhanjiang Bay, China	ZHANG Caixue, GONG Yuyan, WANG Xuefeng, et al (7086)
Population genetic structure of <i>Pneumatophorus japonicus</i> in the Taiwan Strait	ZHANG Liyan, SU Yongquan, WANG Hangjun, et al (7097)
Seasonal variation of nitrogen and phosphorus in Miju River and Lake Erhai and influencing factors	YU Chao, CHU Jinyu, BAI Xiaohua, et al (7104)
Population dynamics and production of <i>Bellamya aeruginosa</i> (Reeve) (Mollusca: Viviparidae) in artificial lake for transgenic fish, Wuhan	XIONG Jing, XIE Zhicai, JIANG Xiaoming, et al (7112)
Carbon, nitrogen and phosphorus ecological stoichiometric ratios among live plant-litter-soil systems in estuarine wetland	WANG Weiqi, XU Linglin, ZENG Congsheng, et al (7119)
Effects of EDTA on growth and lead-zinc accumulation in maize seedlings grown in amendment substrates containing lead-zinc tailings and soil	WANG Hongxin, HU Feng, XU Xinwang, et al (7125)
Effects of different coated controlled-release urea on soil ammonia volatilization in farmland	LU Yanyan, SONG Fupeng (7133)
Effects of ridge planting on the photosynthetic characteristics and yield of summer maize in high-yield field	MA Li, LI Chaohai, FU Jing, et al (7141)
Effect of timing of DCD application on nitrous oxide emission during wheat growing period	JI Yang, YU Jia, MA Jing, et al (7151)
The role of the fertilizing with nitrogen, calcium and sodium chloride in winter wheat leaves adaptation to freezing-thaw stress	LIU Jianfang, ZHOU Ruilian, ZHAO Mei, et al (7161)
Environment impact assessment of organic and conventional soybean production with LCA method in China Northeast Plain	LUO Yan, QIAO Yuhui, WU Wenliang (7170)
Effects of selenium added to soil on physiological indexes in flue-cured tobacco	XU Zicheng, SHAO Huifang, SUN Shuguang, et al (7179)
Influence of different planting patterns on field microclimate effect and yield of peanut (<i>Arachis hypogaea</i> L.)	SONG Wei, ZHAO Changxing, WANG Yuefu, et al (7188)
Rapid cold hardening of Western flower thrips, <i>Frankliniella occidentalis</i> , and its ecological cost	LI Hongbo, SHI Liang, WANG Jianjun, et al (7196)

- Effects of temperature on body color in *Sitobion avenae* (F.) DENG Mingming, GAO Huanhuan, LI Dan, et al (7203)
- Development and reproduction of *Bemisia tabaci* biotype B on wild and cultivated tomato accessions
 GAO Jianchang, GUO Guangjun, GUO Yanmei, et al (7211)
- Study on ecological water demand based on assessment of ecosystem disturbance degree in the Baiyangdian Wetland
 CHEN He, YANG Ying, YU Shiwei, et al (7218)
- Emergy-based analysis of two chicken farming systems: a perspective of organic production model in China
 HU Qiuhong, ZHANG Lixiao, WANG Changbo (7227)
- Mathematical model design of time-effect relationship analysis about the inhibition of four eighteen-carbon fatty acids on toxic
Microcystis aeruginosa HE Zongxiang, ZHANG Tingting (7235)
- Enrichment of heavy metals in the seagrass bed of Liusha Bay XU Zhanzhou, ZHU Aijia, CAI Weixu, et al (7244)
- A gradient analysis of urban architecture landscape pattern based on QuickBird imagery
 ZHANG Peifeng, HU Yuanman, XIONG Zaiping, et al (7251)
- Landscape spatial heterogeneity is associated with urbanization: an example from Yangtze River in Jiangsu Province
 CHE Qianjin, CAO Youhui, YU Lu, et al (7261)
- CVM for Taihu Lake based on ecological functions of wetlands restoration, and ability to pay and willingness to pay studies
 YU Wenjin, XIE Jian, ZOU Xinqing (7271)
- Review and Monograph**
- Progress in research on the marine microbial loop in the Arctic Ocean HE Jianfeng, CUI Shikai, ZHANG Fang, et al (7279)
- Research progress in the eco-environmental effects of urban green spaces
 SU Yongxian, HUANG Guangqing, CHEN Xiuzhi, et al (7287)
- Source, exposure characteristics and its environmental effect of heavy metals in urban surface dust
 FANG Fengman, LIN Yuesheng, WANG Haidong, et al (7301)
- Scientific Note**
- Spatial structures of soilcarbon and nitrogen of China fir and Masson pine mixed forest in the Three Gorger Reservoir Areas
 LIN Yinghua, WANG Laifa, TIAN Xiaokun, et al (7311)
- The relationship between *Oligochroa cantonella* Caradja and environmental factors LIU Wenai, FAN Hangqing (7320)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

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 31 卷 第 23 期 (2011 年 12 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 23 2011

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@csppg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@csppg.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