

中国百种杰出学术期刊
中国精品科技期刊
中国科协优秀期刊
中国科学院优秀科技期刊
新中国 60 年有影响力的期刊
国家期刊奖

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

(Shengtai Xuebao)

第 30 卷 第 24 期
Vol.30 No.24
2010



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



生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

中国科学院科学出版基金资助出版

第 30 卷 第 24 期 2010 年 12 月 (半月刊)

目 次

三江平原残存湿地斑块特征及其对物种多样性的影响	施建敏, 马克明, 赵景柱, 等 (6683)
叶片碳同位素对城市大气污染的指示作用	赵德华, 安树青 (6691)
土地利用对崇明岛围垦区土壤有机碳库和土壤呼吸的影响	张容娟, 布乃顺, 崔 军, 等 (6698)
缓/控释复合肥料对土壤氮素库的调控作用	董 燕, 王正银 (6707)
北京海淀公园绿地二氧化碳通量	李 霞, 孙 睿, 李 远, 等 (6715)
三峡库区消落带生态环境脆弱性评价	周永娟, 仇江啸, 王 姣, 等 (6726)
应用碳、氮稳定同位素研究稻田多个物种共存的食物网结构和营养级关系	张 丹, 闵庆文, 成升魁, 等 (6734)
基于弹性系数的江苏省能源生态足迹影响因素分析	杨足膺, 赵 媛, 付伍明 (6741)
中国土地利用多功能性动态的区域分析	甄 霖, 魏云洁, 谢高地, 等 (6749)
遮荫处理对东北铁线莲生长发育和光合特性的影响	王云贺, 韩忠明, 韩 梅, 等 (6762)
臭氧胁迫对冬小麦光响应能力及 PS II 光能吸收与利用的影响	郑有飞, 赵 泽, 吴荣军, 等 (6771)
地表覆草和覆膜对西北旱地土壤有机碳氮和生物活性的影响	谢驾阳, 王朝辉, 李生秀 (6781)
喀斯特峰丛洼地旱季土壤水分的空间变化及主要影响因子	彭晚霞, 宋同清, 曾馥平, 等 (6787)
极干旱区深埋潜水蒸发量的测定	李红寿, 汪万福, 张国彬, 等 (6798)
灌木林土壤古菌群落结构对地表野火的快速响应	徐赢华, 张 涛, 李 智, 等 (6804)
稻田免耕和稻草还田对土壤腐殖质和微生物活性的影响	区惠平, 何明菊, 黄 景, 等 (6812)
造纸废水灌溉对黄河三角洲盐碱地土壤酶活性的影响	董丽洁, 陆兆华, 贾 琼, 等 (6821)
神农宫扁角菌蚊幼虫种群分布及其与环境因子的相关性	顾永征, 李学珍, 牛长缨 (6828)
三亚珊瑚礁水域纤毛虫种类组成和数量分布及与环境因子的关系	谭烨辉, 黄良民, 黄小平, 等 (6835)
淞江鲈在中国地理分布的历史变迁及其原因	王金秋, 成 功 (6845)
黄海中南部小黄鱼生物学特征的变化	张国政, 李显森, 金显仕, 等 (6854)
甲基溴消毒对番茄温室土壤食物网的抑制	陈云峰, 曹志平 (6862)
离子树脂法测定森林穿透雨氮素湿沉降通量——以千烟洲人工针叶林为例	盛文萍, 于贵瑞, 方华军, 等 (6872)
乡土植物芦苇对外来入侵植物加拿大一枝黄花的抑制作用	李愈哲, 尹 昕, 魏 维, 等 (6881)
遂渝铁路边坡草本植物多样性季节动态和空间分布特征	王 倩, 艾应伟, 裴 娟, 等 (6892)
古尔班通古特沙漠原生梭梭树干液流及耗水量	孙鹏飞, 周宏飞, 李 彦, 等 (6901)
碟果虫实种子萌发对策及生态适应性	刘有军, 刘世增, 纪永福, 等 (6910)
原始兴安落叶松林生长季净生态系统 CO ₂ 交换及其光响应特征	周丽艳, 贾丙瑞, 曾 伟, 等 (6919)
五种红树植物通气组织对人工非潮汐生境的响应	伍卡兰, 彭逸生, 郑康振, 等 (6927)
亚高寒草甸不同生境植物群落物种多度分布格局的拟合	刘梦雪, 刘佳佳, 杜晓光, 等 (6935)
内蒙古荒漠草原地表反照率变化特征	张 果, 周广胜, 阳伏林 (6943)
中国沙棘克隆生长对灌水强度的响应	李甜江, 李根前, 徐德兵, 等 (6952)
增温与放牧对矮蒿草甸 4 种植物气孔密度和气孔长度的影响	张立荣, 牛海山, 汪诗平, 等 (6961)
基于 ORYZA2000 模型的北京地区早稻适宜播种期分析	薛昌颖, 杨晓光, 陈怀亮, 等 (6970)
专论与综述	
区域生态安全格局研究进展	刘 洋, 蒙古军, 朱利凯 (6980)
植物功能性状与湿地生态系统土壤碳汇功能	王 平, 盛连喜, 燕 红, 等 (6990)
农田水氮关系及其协同管理	王小彬, 代 快, 赵全胜, 等 (7001)
虫害诱导挥发物的生态调控功能	王国昌, 孙晓玲, 董文霞, 等 (7016)
土壤微生物资源管理、应用技术与学科展望	林先贵, 陈瑞蕊, 胡君利 (7029)
问题讨论	
从演化的角度评价北京市经济系统可持续发展趋势	黄茹莉, 徐中民 (7038)
基于植物多样性特征的武汉市城市湖泊湿地植被分类保护和恢复	郑忠明, 宋广莹, 周志翔, 等 (7045)
濒危兰科植物再引入技术及其应用	陈宝玲, 宋希强, 余文刚, 等 (7055)
研究简报	
实验条件下华北落叶松和白杆苗期生长策略的差异比较	张芸香, 李海波, 郭晋平 (7064)
基于源-库互反馈的温室青椒坐果时空动态模拟	马韞韬, 朱晋宇, 胡包钢, 等 (7072)
西双版纳小磨公路及其周边道路对蛇类活动的影响	孙 戈, 张 立 (7079)
温度变化对藻类光合电子传递与光合放氧关系的影响	张 曼, 曾 波, 张 怡, 等 (7087)
黄土区六种植物凋落物与不同形态氮素对土壤微生物量碳氮含量的影响	王春阳, 周建斌, 董燕婕, 等 (7092)
食细菌线虫 <i>Caenorhabditis elegans</i> 的取食偏好性	肖海峰, 焦加国, 胡 锋, 等 (7101)
期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 424 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 48 * 2010-12	

乡土植物芦苇对外来入侵植物加拿大一枝黄花的抑制作用

李愈哲¹, 尹 昕¹, 魏 维¹, 杨恩毅¹, 张 懿¹, 田志慧^{1,2}, 达良俊^{1,2,*}

(1. 华东师范大学环境科学系, 上海 200062; 2. 华东师范大学上海市城市化生态过程与生态恢复实验室, 上海 200062)

摘要: 在城市建筑荒地中设立实验样地, 通过对样方植物进行实地观测, 并结合实验室比叶重和生物量测算, 了解和分析野外建筑荒地中自然混生条件下芦苇 (*Phragmites communis*) 和加拿大一枝黄花 (*Solidago canadensis*) 的竞争过程和结果。结果表明芦苇和加拿大一枝黄花混生群落中芦苇发展近似于单优群落, 芦苇以较高的平均株高和密度抑制加拿大一枝黄花生长, 混生群落逐渐趋向于芦苇单优群落。混生群落芦苇比叶重和平均每株生物量近似于单优群落, 加拿大一枝黄花比叶重和平均每株生物量显著低于其单优群落, 光合作用受到显著抑制。de Wit 模型分析显示, 混生群落中芦苇和加拿大一枝黄花相互竞争、拮抗, 前者竞争攻击力高于后者, 模型预测混生群落中芦苇最终将把加拿大一枝黄花从样地中排除出去。浸提液种子培养显示加拿大一枝黄花具有化感作用, 在低浓度条件 (12.5 mg/mL) 下, 对自生种子发芽有促进作用, 高浓度条件下出现强烈抑制, 但各浓度下芦苇种子不受加拿大一枝黄花化感作用影响; 芦苇种子繁殖能力相对较弱, 混生样地中加拿大一枝黄花在芦苇竞争胁迫下, 种子千粒重和发芽率显著上升, 扩散能力增强。芦苇具有在一定区域生态控制加拿大一枝黄花的潜力。

关键词: 加拿大一枝黄花; 芦苇; 生态控制; 比叶重; 城市生态

Inhibition of local plant *Phragmites communis* on the invasive plant *Solidago canadensis*

LI Yuzhe¹, YIN Xin¹, WEI Wei¹, YANG Enyi¹, ZHANG Yi¹, TIAN Zhihui^{1,2}, DA Liangjun^{1,2,*}

1 Department of Environmental Science, East China Normal University, Shanghai 20062, China

2 Shanghai Key Laboratory for Ecology of Urbanization Process and Eco-Restoration, Shanghai 20062, China

Abstract: This article discusses the possibility and mechanism of utilizing a local plant species, *Phragmites communis*, to control an invasive species *Solidago Canadensis*. We monitored specific ecological parameters of the two species in a complete growing season and also measured respectively the specific leaf weight and biomass. To calculate the competitiveness and the aggressiveness between the two species, the de Wit model was applied so as to predict the community succession pattern. We examined the reproduction strategy of the two species based on the comparison of the thousand-seed-weight and seed germination percentage. A seed culture with the tissue extraction of the two plants was conducted to observe the reciprocal allelopathic effect. In these experiments, we collected samples from a set of quadrates established in the construction wastelands in Minhang District located in southwest Shanghai.

The experiment has suggested the following major findings. First, in the species mixed communities and at the end of the growing season, the average height, the coverage degree, the density and the important value of the *P. communis*, which approximated to the results obtained in *P. communis* mono-community, were all superior to those of *S. canadensis*. Second, there was no significant difference of the specific leaf weight and biomass per capita of *P. communis* between the species mixed communities and the *P. communis* mono-communities, while the two index of *S. canadensis* in the species mixed communities were significantly lower than those in the *S. canadensis* mono-communities. Third, the de Wit model

基金项目: 国家自然科学基金 (40971041); 国家科技支撑计划 (2008BAJ10B04); 国家大学生创新实验计划 (081026901)

收稿日期: 2009-10-15; **修订日期:** 2010-03-09

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: ljda@des.ecnu.edu.cn

showed the existence of competition and antagonism between *P. communis* and *S. canadensis* in the species mixed communities, and a significant inferiority of *S. canadensis* in aggressiveness compared to *P. communis*. The model also implied that *P. communis* would expel *S. canadensis* out of the quadrates as their competition progressed. Fourth, the thousand-seed-weight of *P. communis* was relatively higher than that of *S. canadensis* in their respective mono-communities, while the germination percentage was lower, which suggested an inferior distribution and reproduction capability of *P. communis*. And in the species mixed communities, the two data of the two species were significantly higher compared to those in their mono-communities, with a more noteworthy change of *S. canadensis*, which suggested that it enhanced its distribution and invasive capability more than *P. communis* does. Finally, *S. canadensis* extraction exerted an allelopathic effect on itself but imposed no effect on *P. communis*. Compared to the control group, the germination percentage of *S. canadensis* was higher at a low *S. canadensis* extraction concentration (12.5 mg/mL), but it was lower at a higher *S. canadensis* extraction concentration. On the contrary, *S. canadensis* extraction of various concentrations exhibited no conspicuous allelopathic effect on *P. communis*.

Based on the observations and results, we conclude that the local plant *P. communis* has the potential to control and prevent the expansion of the alien invasive plant *S. canadensis* in our study areas.

Key Words: *Solidago canadensis*; *Phragmites communis*; ecological control; specific leaf weight; urban ecology

加拿大一枝黄花(*Solidago canadensis*, 简称 Sc) 隶属于菊科一枝黄花属, 为多年生草本植物, 原产于北美, 20 世纪 30 年代中期作为观赏植物引入我国的上海、南京等地后逸生为杂草^[1], 对我国的社会、经济、自然生态系统和生物多样性均构成了一定威胁^[2]。早在 2002 年, 我国就已经将 Sc 列入中国重要外来有害植物名录^[3]。

对 Sc 的研究揭示了其强大的繁殖和扩散能力, 生长在荒地中的 Sc 主要产生以下三方面危害: (1) 毒害表土, 其根际土壤水提取物具有较强化感效应, 能明显抑制水稻 (*Oryza sativa*)、莴苣 (*Lactuca sativa*)、藜肠 (*Eclipta prostrate*) 等植物的出芽和生长^[4]; (2) 产生的大量种子可借助风媒、鸟媒等传播方式影响周边远距离的本地群落和土地^[5-7]; (3) 挤占本土荒地植物生态位, 降低本土植物多样性^[1,4,8]。Sc 在江浙沪严重发生, 甚至达到“谈花色变”的程度^[9]。而城市荒地是 Sc 的主要入侵生境^[10], 在 Sc 的发生比例和重度发生比例上, 荒地均达到或超过调查区域的 60%^[2,5,10]。

如果荒地 Sc 不能得到有效的控制, 其高度的扩散能力将对周边区域的 Sc 治理产生较大的影响, 并导致治理区域的 Sc 反复发生。同时江浙沪地区经济高速发展, 城市面积迅速扩大, 导致各种闲置用地特别是建筑用荒地的大量产生。因此对于 Sc 的控制研究应以荒地治理为重点。

传统治理 Sc 均强调在其种子生成之前的彻底根除^[11], 采用的方法主要有机械铲除和化学防治。然而前者费时费力且在铲除之后被再次入侵的可能性高, 后者容易造成二次污染。生物控制 Sc 是指引入入侵生物的天敌, 利用自然界存在的食物链和两种生物相生相克的关系达到治理的目的。该方法有一定效果, 但引入的天敌可能会成为新的入侵生物^[8]。针对以上两种方法的局限性, “生态控制法”^[9]作为相对优越的治理方式为一些学者所提倡, 但就具体生态治理替代植物、可行性大小、施行方案实际研究和讨论甚少。

本项研究从生态学角度出发, 在自然生境中连续观测城市建筑荒地先锋草本群落的演替变化, 重点关注 Pc、Sc 混生群落的发展过程和演变规律。通过野外观测, 实验室统计与分析, 引入 de Wit 相对竞争力模型^[12], 对两者间关系进行深入分析, 了解两者竞争过程及控制机理并预测其发展趋势, 验证、筛选出具有潜在替代控制 Sc 的乡土植物 Pc。为生态控制方法在 Sc 上的应用可能, 进行模拟和论证; 进而基于 Pc 取得竞争优势的机理, 通过对替代植物筛选规律的讨论, 为生态控制外来入侵植物中乡土替代植物的筛选提供有益参考。

1 材料与方法

1.1 样地概况

以华东师范大学闵行校区、上海交通大学闵行校区 2—3a 荒地为研究区域, 该区域位于 31°02′12.93″N—

31°02'13.72"N, 121°27'00.22"E—121°27'01.37"E。

在土地平整以前,这一地区为河渠稠密的灌溉农田(图 1)。样地土壤为肥沃褐灰色粘土,土壤含水量分析结果显示(图 2)。各层土壤含水量较丰富,由土壤表层(A1)到深层(A5)水分波动较小。A4 层处有一层稍致密犁底层,可能由土地征用前农业耕作产生。而 A3 层由于有雨后滞留水的关系,成为含水量相对最丰富的土层。但仍然可以看出土壤水分很大程度上由于地下水的关系而呈现土壤含水量与土壤深度呈现正比关系。

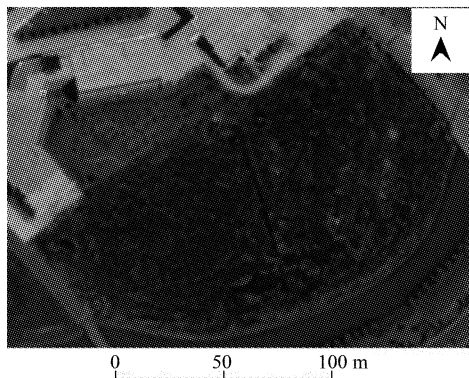


图 1 实验样地

Fig. 1 Experimental quadrates

来源 google earth

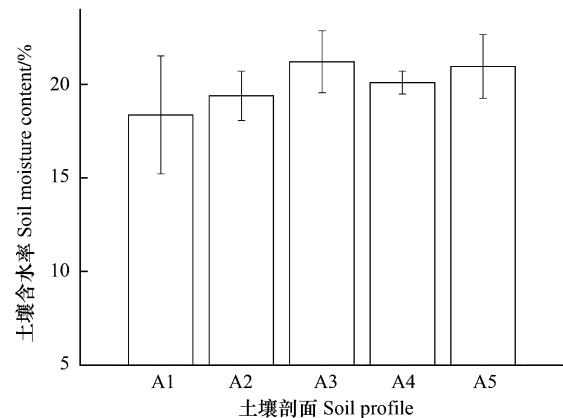


图 2 样地土壤含水量

Fig. 2 The soil moisture content of the quadrate

样地原有植被遭破坏,形成次生裸地后自然抛荒。在 2006 年 28 个杂草群落样方踏查中,共出现物种 63 种。其中,芦苇(*Phragmites communis*,简称 Pc)和加拿大一枝黄花是城市废弃地典型的杂草群落类型。其中芦苇群落以芦苇为优势种,伴生种有野豌豆(*Vicia sepium*)、一年蓬(*Erigeron annuus*)、葎草(*Humulus japonicus*)、齿果酸模(*Rumex dentatus*)等物种,群落多分布于城市废弃中低洼或积水的生境中。而加拿大一枝黄花群落以加拿大一枝黄花为优势种,样方中的伴生种比较丰富,如猪殃殃(*Galium aparine*)、黄鹌菜(*Youngia japonica*)、律草、一年蓬、棒头草(*Polypogon fugax*)、苦苣菜(*Ixeris polyccephala*)等物种常有出现,群落多分布于光照强、无土壤或只有少量土壤、无人工干扰的建筑垃圾废弃地。而芦苇和加拿大一枝黄花在城市废弃地也可形成共优群落,群落中并伴生有春一年蓬、龙葵(*Solanum nigrum*)、臭芥(*Coronopus didymus*)等物种。

1.2 取样和测定方法

1.2.1 固定样方的连续观测

于上述研究区域内建立 2m × 2m 连续观测样方,对 Sc—Pc 混生群落进行种群生长过程、群落格局变化的全生长季观测;从 3 月返青到 10 月份花芽分化,每周测量记录样方内植物株数变化和每株高度变化,每月测定种盖度等指标。

1.2.2 群落生物量数据的取样和测定

生长季末,于 Sc 单优群落, Pc 单优群落和混生群落收割 1m × 1m 样方 12 个,用于生物量统计和 de Wit 模型计算;对生物量测算样方,取各样方地上部分记录鲜重后放入 DHG9203A 型烘箱中恒温干燥至恒重(80℃, 48h),用 JY2002 型电子天平称量干重。

1.2.3 群落比叶重数据的取样和测定

选取同区域 1m × 1m 样方 15 个用于比叶重实验样品采集。对比叶重测定样方,根据样方内植株疏密情况, Z 形取样 3—6 份,每样采集 20 片左右成熟叶片。叶片面积由 MICROTEK scanMaker3630 扫描仪测定。采集样本现场记录鲜重后当天放入烘箱中恒温干燥至恒重(80℃, 48h),用电子天平称量干重。比叶重 = 叶生

物量/叶面积^[13]。

1.2.4 种子培养实验的取样和测定

在研究区域内确定 Sc 单优群落, Pc 单优群落和混生群落, 对成熟花絮进行套袋, 通过振动花絮, 对成熟易飘散种子进行收集。

采集 Pc 和 Sc 植株地上部分磨浆, 蒸馏水浸取浸提液。其中 Sc 浸提液静置分层后, 取其非精油成分。浸提液配成 12.5, 25, 50, 100, 200mg/mL 共 5 个梯度培养液。在直径为 10cm 的培养皿中, 每皿均匀放供试植物种子 30 粒, 以蒸馏水为对比参照, 分别加入前述各浓度梯度地上部分提取液 15mL, 每样(包括蒸馏水对照)设 5 皿平行样, 置于恒温人工气候箱中培养, 温度(26 ± 1)℃。种子萌发以胚根或胚芽突破种皮为萌发标准, 每天记录萌发种子数, 发芽率, 胚根的长度等, 并及时等量补充对应提取液(对照为蒸馏水)。连续培养四周, 至发芽率进入恒定。

1.3 计算和模型预测

植物竞争能力的基本组成元素包括生长能力、存活能力和繁殖能力等 3 个方面^[14]。在生长能力方面, 通过生物量和多度数据, 借助竞争能力测度指标相对产量 RY ^[15]、相对产量总和 RYT ^[16-17] 相对拥挤系 RCC ^[18] 和竞争攻击力 A ^[12], 可以对群落中 Sc 和 Pc 的竞争现状进行判断, 并对群落的发展趋势进行预测。

单优和混生群落中 Sc、Pc 竞争能力测度方法^[14,19] 如表 1。

表 1 竞争能力测度指标^[14,19]

Table 1 Indices to quantify the ability of competition

指标名称 Name of indices	公式 Formulae	来源 Source
相对产量 Relative yield RY	$RY_a = Y_{ab}/(p_a Y_a)$ $RY_b = Y_{ba}/(p_b Y_b)$	[15]
相对产量总和 Relative yield total RYT	$RYT_{ab} = RY_a + RY_b$	[16, 17]
相对拥挤系数 Relative crowding coefficient RCC	$RCC_a = p_b Y_{ab}/p_a (Y_a - Y_{ab})$	[18]
竞争攻击力 (A) Aggressiveness A	$A_i = RY_{ij} - RY_{ji}$, $A_j = RY_{ji} - RY_{ij}$	[12]

a、b 代表两物种; p_a 、 p_b 表示在混合种植中 a、b 各自的比例($p = d/d_{ab}$), $p_a + p_b = 1$; Y_{ab} 表示在有物种 b 存在的情况下物种 a 的生物量, Y_{ba} 表示在有物种 a 存在的情况下物种 b 的生物量; Y_a 表示物种 a 单独种植时的生物量, Y_b 表示物种 b 单独种植时的生物量。

1.4 统计分析

采用 SPSS16.0 对数据进行 t 检验、One-Way ANOVA 方差分析, 使用 Origin8.0 对数据作图。

2 结果与分析

2.1 混生群落植物盖度、密度和重要值在时间上的动态变化

2.1.1 盖度

在生长季初始阶段, 混生群落中加拿大一枝黄花的盖度最高, 但在 3 月份芦苇复苏后盖度比例迅速发生逆转, 芦苇盖度比例不断升高直至营养生长期结束。在营养生长终末加拿大一枝黄花盖度为 10%, 芦苇为 90% (图 3)。

2.1.2 密度

混生群落中芦苇在 4 月初即达到近似于单优群落的高密度, 虽有波动, 但基本保持在这一高密度水平。而加拿大一枝黄花终末密度远低于单优群落。其数量在混生群落中没能得到充分发展和扩大, 数量密度基本在维持在较低水平并大体呈递减趋势(图 4)。

2.1.3 重要值

实验结果表明, 在混生群落中, 观测初期加拿大一枝黄花重要值 59.68 略大于芦苇重要值 56.72。而 3 周后, 芦苇在相对盖度, 相对密度和相对高度上占优势, 相对出现频度相当, 重要值已超过芦苇。春季拔高期结束以后, 芦苇的相对盖度, 相对密度和相对平均高度均远超过加拿大一枝黄花, 相对出现频度相当, 导致重要值大于加拿大一枝黄花。自此加拿大一枝黄花和芦苇的重要值基本维持在各自相对稳定的范围内(图 5)。

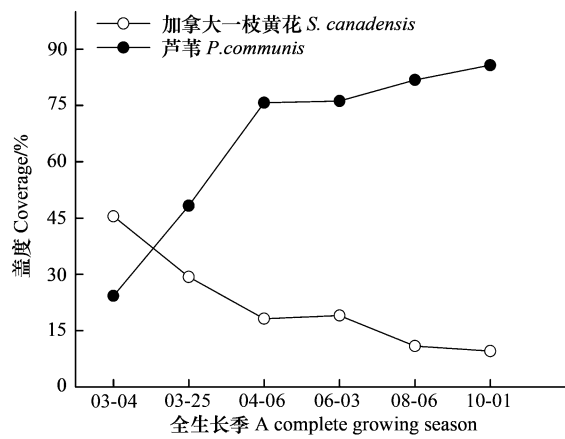


图3 连续观测样方盖度变化比较

Fig. 3 The comparison between the coverage of Sc and Pa in the quadrates

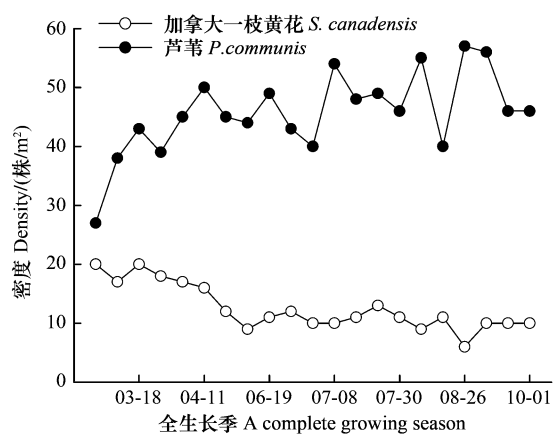


图4 混生群落全年密度变化比较

Fig. 4 The comparison between the density of Sc and Pc in the mixed community in a whole growing season

2.2 混生群落光合作用变化

2.2.1 混生群落、单优群落 Sc 比叶重和平均每株生物量比较

对 Sc 光和能力的研究结果表明,单优群落与混生群落 Sc 比叶重平均值分别为 0.022 g/cm² 和 0.019 g/cm²,标准差分别为 0.001 和 0.001。如表 2,混生群落 Sc 比叶重均值显著低于单优群落样品比叶重 ($P < 0.005$),一定程度上反映了与 Pc 混生的 Sc 光合速率和光合产物积累低于单独生长的状态。

同时,Sc 的平均每叶干重和平均每叶面积在混生群落中分别为 0.045g、2.382cm²,均显著低于 ($P < 0.01$)单优群落中的 0.123g、5.468cm²。Sc 总光合面积减少,单位面积光合产物积累也降低了。

混生群落中 Sc 平均每株生物量显著低于单优群落 ($P < 0.05$)。Sc 因为受 Pc 影响,植株总光合产物积累较单优群落低,又结合样方密度数据可知,混生群落 Sc 株数亦受 Pc 影响,远低于单优群落,故样方中 Sc 总生物量远低于单优群落。

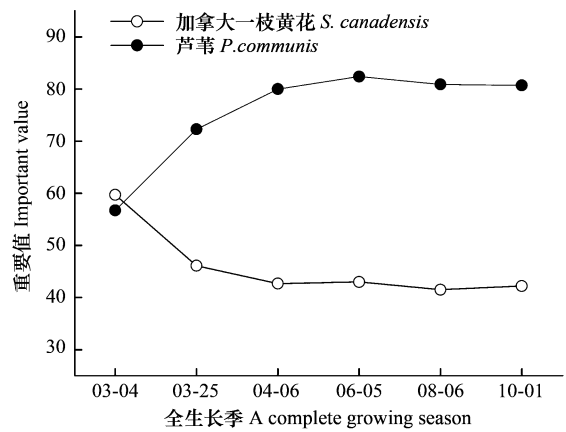


图5 观测样方中 Sc 与 Pc 重要值变化曲线

Fig. 5 The Dynamics of important value of Pc and Sc in one growing season

表2 单优群落与混生群落 Sc、Pc 叶干重、叶面积、比叶重和生物量数据

Table 2 The dry weight, area of leaf, the specific leaf weight and the biomass of Sc and Pc in mono-communities and mixed communities

项目 Subject	单优群落 Mono-community				混生群落 Sc-Pc community			
	加拿大一枝黄花 <i>S. canadensis</i> (mean ± s)	样本数 <i>n</i>	芦苇 <i>P. communis</i> (mean ± s)	样本数 <i>n</i>	加拿大一枝黄花 <i>S. canadensis</i> (mean ± s)	样本数 <i>n</i>	芦苇 <i>P. communis</i> (mean ± s)	样本数 <i>n</i>
叶干重 Dry weight/g	0.123 ± 0.027	24	0.549 ± 0.137	25	0.045 ± 0.016	25	0.599 ± 0.148	25
叶面积 Leaf area/cm ²	5.468 ± 1.109	24	18.534 ± 3.118	25	2.382 ± 0.915	25	19.873 ± 4.528	25
比叶重/(g/cm ²) Specific leaf weight	0.022 ± 0.001	24	0.030 ± 0.003	25	0.019 ± 0.001	25	0.029 ± 0.003	25
平均每株生物量 Biomass/g	25.403 ± 2.141	145	12.557 ± 2.580	157	7.603 ± 3.604	51	8.788 ± 2.260	150

2.2.2 混生群落、单优群落 Pc 比叶重和平均每株生物量比较

如表 2 所示,单优群落和混生群落 Pc 平均比叶重分别为 0.030 g/cm² 和 0.029g/cm²,标准差均为 0.0030,平均比叶重差异不显著($P > 0.05$)。单优群落和混生群落 Pc 平均每株生物量分别为 12.557 g 和 8.788 g,标准差分别为 5.580 和 2.260,差异不显著($P > 0.05$),另混生群落芦苇年末密度与单优群落相当,因而样方总生物量也与单优群落近似。混生群落 Pc 的光合效率和光合产物积累与单优群落近似,受到影响远小于 Sc。

2.3 实验群落 Sc 与 Pc 竞争关系判断和群落变化的模型预测

2.3.1 基于相对产量 RY,相对产量总和 RYT,相对拥挤系数 RCC 和竞争攻击力 A 的 Sc、Pc 竞争关系判断

通过生物量和多度数据,计算竞争能力测度指标相对产量 RY、相对产量总和 RYT、相对拥挤系数 RCC 和竞争攻击力 A,得到如下结果。

表 3 不同密度水平下的竞争指标结果
Table 3 Competition indices values at different density level

指标 Parameters	植株密度 Plant density ($N_{Sc}:N_{Pc}$)											
	1.07	1.04	0.71	0.48	0.44	0.36	0.33	0.32	0.31	0.30	0.17	0.09
RY_{Sc}	0.53	0.54	0.33	0.41	0.33	0.35	0.61	0.30	0.47	0.47	0.42	0.47
RY_{Pc}	0.92	0.92	0.57	0.52	0.57	0.60	1.06	0.51	0.81	0.81	0.73	0.81
RYT	0.79	0.72	0.52	0.49	0.50	0.57	1.01	0.45	0.74	0.73	0.56	0.77
A_{Sc}	-0.86	-0.38	-0.64	-0.83	-0.14	-0.33	-0.01	-0.29	-0.10	-0.21	-0.30	-0.57
A_{Pc}	0.86	0.38	0.64	0.83	0.14	0.33	0.01	0.29	0.10	0.21	0.30	0.57
RCC_{Sc}	0.58	0.29	0.98	0.50	0.19	0.36	0.50	0.71	0.59	0.57	0.42	0.76
RCC_{Pc}	1.71	3.36	1.02	1.99	5.34	2.78	2.02	1.41	1.70	1.77	2.37	1.31

通常把单种种群的 RY 定为 1.0,当 $RY < 1.0$ 时,表示种间竞争大于种内竞争;当 $RY > 1.0$ 时,种内竞争大于种间竞争;而当 $RY = 1.0$ 时,表明种间和种内竞争水平相当。RYT 值表明不同种经历的竞争类型。 $RYT < 1.0$ 表明两物种间有拮抗作用, $RYT > 1.0$ 表明两物种间没有竞争, $RYT = 1.0$ 表明两物种需要相同的资源,且一种可以通过竞争将另一种排除出去。如果 $RCC_a > 1$ 则表明种 a 对种 b 的竞争力大;如果 $RCC_a < 1$ 则表明种 a 对种 b 的竞争力小。

Sc 在混生群落中的相对产量和平均相对产量均小于 1.0,以种间竞争为主。Pc 的相对产量要大于 Sc,Pc 可以通过种间竞争将 Sc 排除出去。在混生群落中,Pc 的相对拥挤系数均大于 1,Sc 的相对拥挤系数均小于 1,混生群落中 Pc 对 Sc 的竞争力大,而 Sc 对 Pc 的竞争力小。

Sc 与 Pc 具有较强的种间竞争和拮抗作用,且 Pc 比 Sc 明显更具竞争优势,实验群落 Pc 最终将把 Sc 排除出去。由于所取的样方是按照密度梯度选取的连续样方,所以实验结果具有一定的代表性。

2.3.2 群落变化的模型预测

依据样方中相对产量数据 RY,进而引入 de Wit 模型计算相对产量总合 RYT。 $RYT(0.665 \pm 0.156)$ 均小于 1.0(表 3),部分密度样方中 RYT 与 1.0 没有显著差异,说明两物种需要相同的资源,且一种可以通过竞争将另一种排除出去。结合 RY,A,RCC 的测算结果,可以得出 Sc 与 Pc 具有较强的种间竞争和拮抗作用,且 Pc 比 Sc 明显更具竞争优势,在一定条件下,Pc 具有通过种间竞争将 Sc 排除出去的潜力。由于所取的样方是按照密度梯度选取的连续样方,所以实验结果具有一定的代表性。

2.4 全年生长曲线

Pc 和 Sc 越冬复苏时间接近,Pc 复苏略早于 Sc。复苏后两者植株进入高速增长期,在短时间里抢占样地的大部分空间,均显示出强大的竞争力。Pc 复苏后植株高度增长比 Sc 快,Pc 在营养生长早期达到样方容纳最大密度(图 4),占据样地大部分面积总盖度达到 90%(图 3),对 Sc 产生资源竞争上压迫,挤压 Sc 的生存和发展空间,营养生长大部分时间,Pc 对 Sc 保持 50cm 高度差优势,遮蔽 Sc,影响其光合作用(表 2),形成平均

高度差在 50cm 左右的两个草本群落亚层(图 6)。

此外,混生群落中 Pc 的生长末期平均高度达到 200.0cm 左右,已经基本与 Pc 单优群落的平均高度 205.7cm 水平相当,说明 Pc 在与 Sc 伴生过程中高度未受大的影响,在环境因子光资源的抢夺上占据优势。反观 Sc,混生群落平均高度最后只有 143.0cm,最大高度 230.0cm,与单优群落平均高度 176.4cm 和最大高度 290.0cm 相比都有很大的下降。

2.5 混生下种子响应及相互化感

混生状态下,Sc 和 Pc 相互竞争,拮抗(见 2.3),对各自种子千粒重发芽率均产生一些影响。由于物种差异和竞争力强弱的差别,其拮抗作用下繁殖对策和相应响应有所区别。

2.5.1 混生状态下 Sc、Pc 千粒重变化

混生状态下,Sc、Pc 种子千粒重均较其单优群落中有所升高。但 Sc 种子(增幅 36.07%)千粒重增幅远较 Pc 大(增幅 7.06%),差异较 Pc 显著。 $(t\text{-检验}, \text{Sig}_{\text{Pc}}=0.038 < 0.05, \text{Sig}_{\text{Sc}}=0.000 < 0.001)$ (图 7)

2.5.2 不同类型种子蒸馏水培养条件下发芽率比较

Sc 种子的发芽率(Sc:24.8%, SP-S:44.3%)远高于 Pc 发芽率(Pc:1.33%, SP-P:3.33%),且发芽时间 Pc 亦稍晚于 Sc。在混生条件下,Pc、Sc 发芽率均高于单优状态下 Sc、Pc。(图 8)

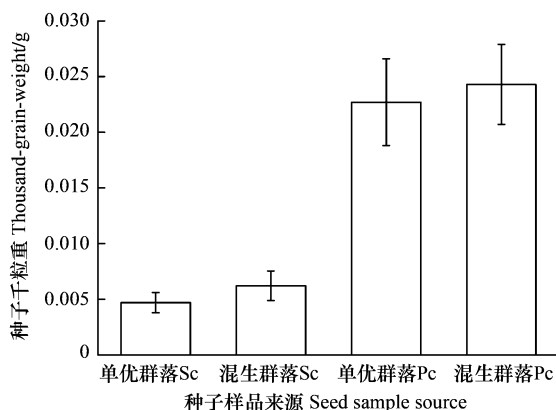


图 7 混生、单优状态下 Sc、Pc 千粒重比较

Fig. 7 The thousand seed weight comparison of Sc and Pc in mixed and mono-community

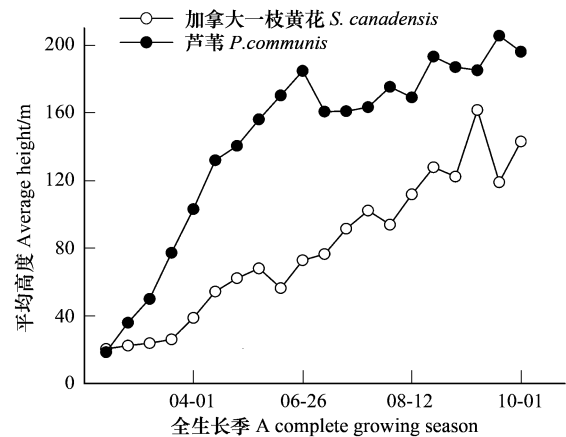


图 6 观测混生群落 Pc 和 Sc 平均高度变化

Fig. 6 The average height of Pc and Sc in mixed communities

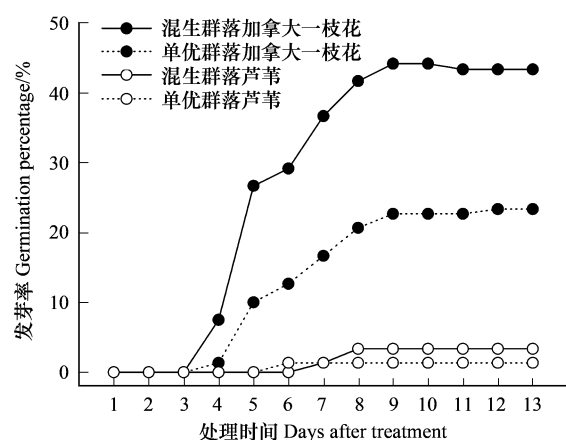


图 8 Sc、Pc、SP-S、SP-P 种子的发芽率

Fig. 8 The germinating percentage of Sc, Pc, SP-S, SP-P

2.5.3 Sc 的自毒现象

Sc 能够产生化感物质^[4-5]。在包含其自身化感物质的浸提液作用下,Sc 自身种子的发芽率亦有所变化。在低浓度条件下,Sc 浸提液对 Sc 种子发芽有促进作用(图 9 中 12.5mg/mL)。而在高浓度条件下,Sc 浸提液则对 Sc 种子显现出强烈抑制(图 9 中 50 mg/mL, 100 mg/mL, 200mg/mL)。

2.5.4 Pc 种子不受 Sc 的化感影响

Pc 种子在蒸馏水中发芽率,与其在 Sc 各浓度浸提液、Pc 各浓度浸提液中发芽率经 t -检验,无显著区别。Sc、Pc 浸提液对 Pc 种子发芽和生长无明显的促进或抑制作用(图 10)。

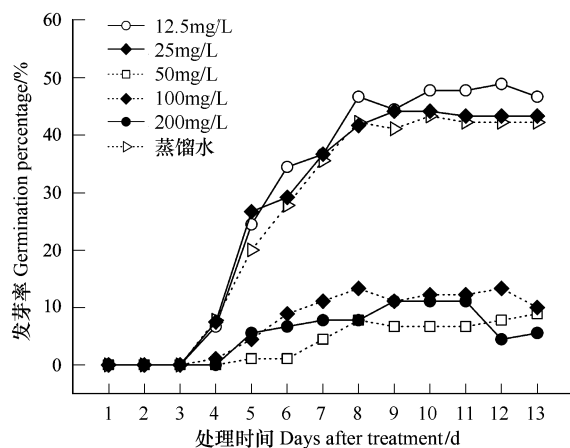


图9 混生群落 Sc 种子在各浓度 Sc 浸提液中发芽率

Fig. 9 The germinating percentage of Sc from mixed community in concentration gradient of Sc extracts

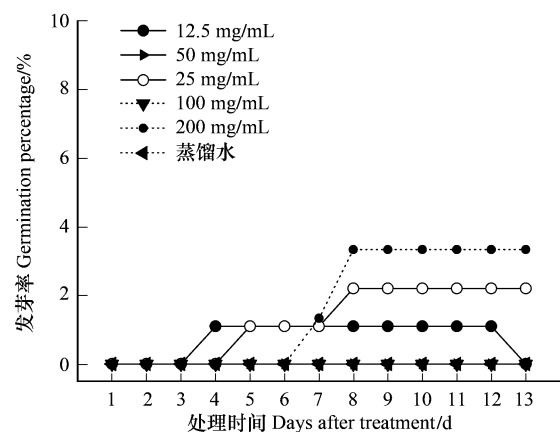


图10 混生 Pc 种子在 Sc 浸提液中的发芽率

Fig. 10 The germinating percentage of Pc in concentration gradient of Sc extracts

3 讨论

3.1 Pc 具有作为替代植物控制 Sc 的潜力

(1) Pc 和 Sc 自身特性决定两者竞争关系和替代趋势

研究显示,芦苇通过相对较早的返青和较快的初期生长速度,占据了群落的上层空间,在 Sc 生长的初期即对其形成较强的遮蔽。影响了 Sc 的光合效率和正常的光合产物积累。具有较强竞争力的 Pc 使得混生群落的群落特征逐渐趋向于 Pc 单优群落。

Pc 单优群落饱和密度为 50 株/ m^2 (克隆体构件), Sc 单优群落饱和密度为 30—40 株/ m^2 ,即 Pc 能耐受群落中较高的郁闭度。因此, Pc 能侵入正常生长的 Sc 群落,反之则不能。此外, Pc 具有中空的髓结构,筒状空心茎干,相对 Sc,利用相当的光合产物可以占据更大的空间,并基本保持足够的茎干机械强度。产生了更高,更密集的构件群。在越冬地下储存茎干物质重量方面, Pc 均值也高于 Sc,使得竞争优势得以不断积累。因此,在适当混生条件下, Pc 替代 Sc 将是必然趋势。

两种生活史类似,生命周期中休眠复苏、花芽分化时间、分蘖时间等基本吻合,优势压制及时,因而有效缩短了控制时间和周期,并达到较好的控制效果。

(2) Pc 不受 Sc 化感作用影响可自由侵入 Sc 单优群落

Pc 种子在蒸馏水中发芽率与在各浓度 Sc 浸提液中发芽率经 t -检验无明显差别, Sc 浸提液中的化感物质对 Pc 的出芽和生长无明显的抑制或促进 (图 10)。因此即便是高 Sc 密度的强化感条件下,如 Sc 的单优群落中, Pc 亦可以正常侵入。故 Pc 扩散、侵入、竞争,并逐步达到优势将 Sc 排除出群落 (2.3 de Wit 模型) 的过程不会由于化感原因而阻断。

(3) 两者资源上存在激烈竞争,生态位重合较多,分布区域多有重叠。

随着时间的变化, Pc 的生态位体积逐渐增加, Sc 的生态位体积逐渐减少,表明 Pc 在群落中占有越来越重要的生态地位^[19-21], Sc 的生态地位却逐渐下降。Pc 的对 Sc 的生态位重叠呈上升态势,而 Sc 对 Pc 的生态位重叠呈下降趋势,因此推测 Pc 把 Sc 排除在其生态位范围外^[20]。

Pc 虽然是一种多年生水生草本植物,典型生境为淡水或含盐的沼泽湖边,但由于不同生境条件下长期的演化, Pc 已经形成形态和特征不同,对于干旱,盐渍,低温等陆生胁迫环境有较强抗性基因型差异的与多种生境条件相适应的稳定生态型。成为一种广适型、宽生态幅的物种^[19-20, 22-23]。

Sc 起源北美^[24],在北美洲东部的分布中心多样性最强^[2],起源区域气候与我国东部气候极为类似,原生地分布生境与我国本土植物的 Pc 分布生境也类似。Sc 对我国的入侵区域,主要集中在长江中下游、珠江流

域,辽河流域也有分布^[2]。入侵区域都有 Pc 的自然分布,且多为降水丰富,分布有自然河道的 Pc 适生区域。并且与之对应的是,Sc 的北美洲东部分布区正在受到 Pc 的入侵。

Pc 和 Sc 适应性强,都具有较宽的生态幅,具有较大交叠分布生境。以往对 Sc 的调查中也验证了二者在抛荒地抛荒一定时间后经常伴生一处的事实^[6]。利用 Pc 治理 Sc 的适用区域应相对较大。

3.2 利用 Pc 生态控制 Sc 需要进行人工促进布植

自然生长状态下,Pc 主要依靠地下茎进行繁殖,其发芽率(0—11%)显著低于 Sc 发芽率(13.3%—44.5%)(图9)。Pc 平均每株产生 10000 粒种子,Sc 产生 20000 粒^[6,25]。并且 Pc 种子千粒重(0.0227g)远高于 Sc(0.0046g),随风扩散性能相对较差。综上,Sc 的种子扩散能力和入侵荒地的先锋性远高于 Pc。因此利用 Pc 控制 Sc 须进行人工促进布植,对其繁殖和扩散进行必要的人为促进(如地下茎的迁移栽培,合理密植)。因此 Pc 对 Sc 控制的人工化、市场化、经济化是使这一控制方法真正可行化,高效化的必须和核心要素。

3.3 替代植物的共性和特点

3.3.1 替代植物与被替代植物在演替序列上的位置关系

替代植物相对被替代植物在群落演替序列上应相对靠后,但彼此接近。Sc 能产生每株 20000 粒^[6,25]具细长冠毛的种子。种子除有极强的随风逸散迁移能力外,还可由动物,如鸟类等携带传播^[7,26]。多数发生危害的外来入侵物种都具有这些先锋物种特性^[8,27],如紫茎泽兰(*Ageratina adenophora*)、加拿大飞蓬(*Erigeron canadensis*)等。在自然抛荒地中,这些植物形成的群落并非顶级群落,在自然演替过程中将被演替序列较后的植物逐渐取代,在华东地区为柳,桤柳等。但这一过程将较为漫长,不符合建筑荒地治理的实际需要。只有演替序列位置接近的替代植物取得治理效果所需时间与其产生危害时间基本吻合,是作为替代植物的较合适选择。

3.3.2 平均高度和密度

作为先锋物种,需要控制的植物往往是喜阳不耐阴的速生植物。替代植株在与被替代植物混生时达到的稳定高度应比被替代植物更高,才能取得遮盖效应和竞争优势,抢占被替代植物在样地可能的发展空间,最终将被替代物种挤出生境。

3.3.3 速生性

替代物种在具有郁闭度高和较大平均高度的同时还必须具有速生性。如果替代植物比被替代植物生长更为缓慢,其光合作用将被后者影响,可能反被抑制,甚至被挤出生境^[28]。即便能够存活,竞争力优势不明显,治理时间将变长。而更早的通过速生生长达到相对高度优势和高密度,可以在生长早期就起到抑制作用,达到更好的控制效果(图6)。

3.4 生态控制的优越性和存在的问题

生态控制相对于传统控制方法和生物控制法的优越性在选题背景中已有讨论。生态控制方法体现了生态学种间竞争和群落演替基本原理和思想,治理 Sc 符合自然规律,减少过多和不必要的人为干扰和影响,同时规避了由于引种不慎引发其他隐患。

但是生态控制法也有其相对弱势。首先控制周期相对较长,不适合时间要求较短的治理;其次替代植物的相对优势与周围环境因子密切相关,因而必须因地制宜,在不同地区筛选合适的替代植物。如 Pc 的平均高度和密度和土壤含水量是密切相关的^[29],在 Pc 的非适生区,治理效果和可行性就应重新实验和评估。

致谢:牛立峰,张晨赟,张悦同学在数据采集过程中给予帮助;曹同教授,宋坤博士对论文修改给予帮助,特此致谢。

References:

- [1] Guo S L, Li Y H. Alien Invasive weeds in southeast of China. *Weed Science*, 1995, (2): 4-8.
- [2] Dong M, Lu J Z, Zhang W J, Chen J K, Li B. *Solidago Canadensis* — a rapidly expanding invasive plant. *Acta Phytotaxonomi Sinica*, 2006, 44 (1): 72-85.

- [3] Li Z Y, Xie Y. Invasive Species in China. Beijing: Chinese Forestry Press, 2002: 170.
- [4] Wang K J, Chen L Z, Yu X P. Preliminary Study of Allelopathy of *Solidago canadensis* L. Acta Agriculturae Zhejiangensis, 2006, 18 (5): 299-303.
- [5] Shen G H, Yao H M, Guan L Q, Qian Z G, Ao Y S. Research in the hazard and chemical protection and elimination of *Solidago canadensis* in the rural area of Shanghai. Acta Agriculturae Shanghai, 2005, 21 (2): 1-4.
- [6] Lu H M, Ruan H G, Tang G M, Cai Y C, Guo Z X, Wang J. Evaluation of harmfulness and utility on Canada Goldenrod (*Solidago canadensis*). Journal of Shanghai Jiaotong University (Agricultural Science), 2006, 24 (4): 403-406.
- [7] Xiong Z Z, Guo X S, Chen X H, Fu Y S, Li R, Zhao G D. The outbreak, harmfulness, and protection of *Solidago canadensis*. Shanghai Agricultural Science and Technology, 2006, (3): 120.
- [8] Peng S L, Xiang Y C. The invasion of exotic plants and effects of ecosystems. Acta Ecologica Sinica, 1999, 19 (4): 560-568.
- [9] Da L J, Tian Z H, Wang C X, Wang J. Biological invasion from the perspective of ecology. Chinese Journal of Nature, 2007, 29 (3): 152-167.
- [10] Wu J X, Liu G L, Chen Y T. A primary exploration of the occurrence pattern and the techniques in prevention and control of *Solidago canadensis* in the coastal area of Zhejiang Province. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2006, 12 (4): 114-115.
- [11] Zhu H W, Meng L, Li B P. Relative Competitive Ability of *Lolium perenne* and the Alien Invasive Weed, *Eupatorium adenophorum* (Compositae) at Seedling Stage. Chinese Journal of Applied & Environmental Biology, 2007, 1 (13): 29-32.
- [12] McGilchrist CA, Trenbath BR. 1971. A revised analysis of plant competition experiments. Biometrics, 27: 659-671.
- [13] Klein I, Dejong T M, Weinbaum S A, Muraoka T T. Specific leaf weight and nitrogen allocation responses to light exposure within walnut trees. Hortscience, 1991, 26 (2): 183-185.
- [14] Jiang Z L, Liu W X, Wan F H, Li Z Y. Measurements of plant competition ability and their applications: A review. Chinese Journal of Ecology, 2008, 27 (6): 985-992.
- [15] Fowler N 1982. Competition and coexistence in a North Carolina grassland III. Mixture of component species. Journal of Ecology, 70, 77-92.
- [16] de Wit CT. 1960. On competition. Verslagen van Landbouwkundige Onderzoekingen, 66, 1-82.
- [17] de Wit CT, van Den Bergh JP. 1965. Competition between herbage plants. Netherlands Journal of Agricultural Science, 13 (2): 212-221.
- [18] Firbank LG, Watkinson AR. 1985. On the analysis of competition within two- species mixtures of plants. Journal of Applied Ecology, 22, 503-517.
- [19] Li J, Zhu J Z, Zhu Q K. A review on niche theory and niche metrics. Journal of Beijing Forestry University, 2003, 25 (1): 60-67.
- [20] Xu C L, Li Z Z. Changes in interspecific niche relationship of sand-fixing plants in the restoration process of desert ecosystem. Chinese Journal of Ecology, 2004, 23 (4): 7-12.
- [21] Li W L, Han X Z, Li Z Z, Wang G. Interspecific niche relations and dynamical system simulation of artificial sand-fixation plants employed in sand region. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2006, 26 (7): 1420-1427.
- [22] Sylvia M H. Variation of population type in *Phragmites communis* Trin. Annals of Botany, 1970, (34): 147-158.
- [23] Toru M, Nobutoshi M, Eiichi T. Salt tolerance of the reed plant *Phragmites communis*. Physiologia Plantarum, 1987, 72 (1): 8-14.
- [24] Marie S. Growing Wild Flowers: A Gardener's Guide. New York: Harper & Brothers, 1973: 277.
- [25] Shen G H, Qian Z G, Chai X L, Guan L Q, Chen J S. Research in biological characteristics of the seeds of *Solidago Canadensis*. Acta Agriculturae Shanghai, 2004, 20 (4): 105-107.
- [26] Wang X T, Xu Q F, Xu Z S, Guo L M. The regularity of outbreak and measures prevention and control of *Solidago canadensis*. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2006, 12 (5): 26.
- [27] Judith H M, Dawn B. Ecology and Control of Introduced Plants. London: Cambridge University Press, 2003: 89-118.
- [28] U. S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service. Common Weeds of the United States. New York: Dover Publications, 1971: 463.
- [29] Cui B S, Zhao X S, Yang Z F, Tang N, Tan X J. The response of reed community to the environment gradient of water depth in the Yellow River Delta. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26 (5): 1533-1541.

参考文献:

- [1] 郭水良, 李杨汉. 我国东南地区的外来杂草. 杂草科学, 1995, (2): 4-8.
- [2] 董梅, 陆建忠, 张文驹, 陈家宽, 李博. 加拿大一枝黄花——一种正在迅速扩张的外来入侵植物, 植物分类学报, 2006, 44 (1): 72-85.
- [3] 李振宇, 解焱. 中国外来入侵种. 北京: 中国林业出版社, 2002: 170.
- [4] 王开金, 陈烈忠, 俞晓平. 加拿大一枝黄花的化感作用初步研究. 浙江农业学报, 2006, 18 (5): 299-303.
- [5] 沈国辉, 姚红梅, 管丽琴, 钱振官, 奥岩松. 上海郊区加拿大一枝黄花的发生危害与化学防除研究. 上海农业学报, 2005, 21 (2): 1-4.

- [6] 陆慧明, 阮海根, 汤根妹, 蔡云彩, 郭志霞, 王坚. 加拿大一枝黄花利害分析. 上海农业学报, 2006, 24(4): 403-406.
- [7] 熊战之, 郭小山, 陈香华, 付佑胜, 李茹, 赵桂东. 加拿大一枝黄花的发生、危害和防治方法. 上海农业科技, 2006, (3): 120.
- [8] 彭少麟, 向言词. 植物外来种入侵及其对生态系统的影响. 生态学报, 1999, 19(4): 560-568.
- [9] 达良俊, 田志慧, 王晨曦, 王娟. 从生态学角度对生物入侵的思考. 自然杂志, 2007, 29(3): 152-167.
- [10] 吴降星, 刘桂良, 陈永亨. 浙江沿海地区加拿大一枝黄花发生规律与防治技术初探. 安徽农学通报, 2006, 12(4): 114-115.
- [11] 朱宏伟, 孟玲, 李保平. 黑麦草与入侵杂草紫茎泽兰苗期的相对竞争力. 应用与环境生物学报, 2007, 1(13): 29-32.
- [14] 蒋智林, 刘万学, 万方浩, 李正跃. 植物竞争能力测度方法及其应用评价. 生态学杂志, 2008, 27(6): 985-992.
- [19] 李翌, 朱金兆, 朱清科. 生态位理论及其测度研究进展. 北京林业大学学报, 2003, 25(1): 60-67.
- [20] 徐彩琳, 李自珍. 沙区生态系统恢复演变过程中固沙植物种间生态位关系变化的研究. 生态学杂志, 2004, 23(4): 7-12.
- [21] 李文龙, 韩晓卓, 李自珍, 王刚. 沙区人工固沙植物的种间生态位关系与系统模拟研究. 西北植物学报, 2006, 26(7): 1420-1427.
- [25] 沈国辉, 钱振官, 柴晓玲, 管丽琴, 陈建生. 加拿大一枝黄花种子生物学特性研究. 上海农业学报, 2004, 20(4): 105-107.
- [26] 王晓天, 徐启发, 徐哲生, 郭丽敏. 加拿大一枝黄花的发生规律与防控措施. 安徽农学通报, 2006, 12(5): 26.
- [29] 崔保山, 赵欣胜, 杨志峰, 唐娜, 谭学界. 黄河三角洲芦苇种群特征对水生环境梯度的响应. 生态学报, 2005, 26(5): 1533-1541.

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 30 卷 第 24 期 (2010 年 12 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 30 No. 24 2010

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@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