

# 紫茎泽兰入侵对土壤肥力特征的影响及其动态研究

蒋智林<sup>1,2</sup>, 刘万学<sup>1</sup>, 万方浩<sup>1</sup>, 李正跃<sup>2</sup>

(1. 植物病虫害生物学国家重点实验室/中国农业科学院植物保护研究所, 北京 100094; 2. 云南农业大学农业生物多样性与病虫害控制教育部重点实验室, 云南 昆明 650201)

**摘要:**采用室内分析方法,测定了紫茎泽兰入侵不同年份的种群根际土壤 N、P、K 养分状况及其季节动态,比较分析了紫茎泽兰入侵对土壤养分影响在其入侵过程中的意义。结果表明,紫茎泽兰的入侵显著提高了根际土壤  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 、全钾和有效钾的含量,降低了土壤全磷和有效磷的含量,而对土壤全氮含量没有明显影响。不同入侵种群根际土壤养分含量随季节变化的趋势为:土壤  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  上升, $\text{NO}_3^-\text{-N}$  降低,有效磷和全钾先升后降,而全氮和全磷无明显季节变化,这可能是在年内生长过程中,紫茎泽兰能够通过活化土壤含磷化合物来满足自身生长的需求,对土壤  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  和有效钾的吸收利用较多,而对土壤  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  的需求较少所致。紫茎泽兰入侵对根际土壤不同肥力特征的正负影响及其自身的适应特性可能是其能够入侵成功和快速扩张蔓延的生态机制之一;应用不同功能型植物建立生态群落以充分利用土壤养分资源,将在紫茎泽兰的生态控制和其入侵地的生态修复中起到较好的效果。

**关键词:**紫茎泽兰;土壤肥力特征;外来入侵植物;生态修复

中图分类号:X173 文献标识码:A 文章编号:1672-2043(2008)01-0267-06

## Effects of *Ageratina adenophora* (Spreng.) Invasion on Soil Nutrient Properties and Their Seasonal Dynamics

JIANG Zhi-lin<sup>1,2</sup>, LIU Wan-xue<sup>1</sup>, WAN Fang-hao<sup>1</sup>, LI Zheng-yue<sup>2</sup>

(1. The State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests; Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100094, China; 2. Key Laboratory for Agricultural Biodiversity and Pest Management of China Education Ministry, Plant Protection College, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China)

**Abstract:** Invasive alien plants have heavily threatened native biodiversity and caused considerable economic loss, so more and more attention has been paid to the assessment of the impact of invasive alien plants on native ecosystems. Here, the effects of invasive plant *Ageratina adenophora* (Sprengel) R. King & H. Robinson on soil properties and their seasonal dynamics were examined at different habitats along the invaded process of *A. adenophora*. Soil samples were collected from rhizosphere zones (about 0~20 cm) at three sites, denoting invasive history of *A. adenophora*: non-invaded site, new invaded site and heavily invaded site, at each season (about fifth day of March, June, September and December in 2006, respectively). The contents of  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3^-\text{-N}$ , total K and available K in rhizosphere soil at heavily invaded site showed highest, the second in new invaded site and the lowest in non-invaded site. However, the contents of total P and available P in soil among different sites changed in such order: non-invaded site>new invaded site>heavily invaded site. And the soil total N content in different sites showed no significant different. Within a year, the soil  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  tended to increase with season's development, but the soil  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  tended to decrease, and the soil total K and available P increased and then decreased. However, the soil total N and P had no obvious change in different seasons. These results indicated that the invasive weed *A. adenophora* showed high adaptability and had great positive or negative effects on different soil nutrients at its invaded site, which may facilitate itself growth and inhibit other plant growth. This study provided experimental data both for assessing the impacts of plant invaders on soil and for exploring the mechanism of the successful invasion of *A. adenophora*. We suggest that reestablishing functional group plant community which may fully use the complementary resource may efficiently control the spread of *A. adenophora* and restore the invaded areas.

**Keywords:** *Ageratina adenophora* (Sprengel) R. King & H. Robinson; soil nutrient properties; exotic invasive plant; ecosystem restoration

收稿日期:2007-04-08

基金项目:“973”项目(2002CB111400);国际科技合作项目(2005DFA31090);“十一五”国家科技支撑计划课题(2006BAD08A17);云南省科技攻关项目(2006SG23)

作者简介:蒋智林(1977—),男,湖南衡阳人,博士,研究方向为入侵植物入侵机理及其控制技术。E-mail: jiangzhilin1@sina.com.cn

通讯作者:万方浩

近些年来,外来入侵物种成为生态系统最为关注的一个问题,引起了科学界和众多领域的高度重视,这是因为外来入侵物种给入侵地区造成了巨大的经济损失和产生了严重的生态影响<sup>[1-4]</sup>。外来植物常给入侵生态系统带来不同层次的影响,如竞争排斥本地植物物种、改变营养循环和干扰生态等<sup>[5-7]</sup>。关于植物入侵对生态影响后果的研究主要集中于入侵植物对生态系统地上部分的影响,而对土壤生态系统的研究相对甚少<sup>[8]</sup>。土壤是生态系统的重要组成部分,其特征的变化可能改变整个生态系统的结构和功能,可能成为外来植物成功入侵和群落物种组成结构演变的一个驱动因子<sup>[9-10]</sup>。

紫茎泽兰 (*Ageratina adenophora* ( Sprengel ) R. King & H. Robinson) 是一种世界性的恶性杂草<sup>[2,11]</sup>,约 20 世纪 40 年代从中缅边境传入我国云南后,已传播扩散至广西、四川、贵州、重庆、西藏等地,成为我国西南地区的主要外来入侵植物之一<sup>[12,13]</sup>。紫茎泽兰入侵后,同土著植物争水、肥、光照和空间等<sup>[13,14]</sup>,且其植株具有很强的化感作用,能够抑制植物种子发芽和幼苗生长<sup>[15]</sup>,从而导致很多土著植物衰退甚至消失,形成紫茎泽兰单种优势群落,给当地自然和农业生态系统造成了极大的破坏。该草可侵入农田、草地、草原、路边、宅旁、经济林和森林等,对农牧作物和经济植物的产量、森林的更新、草地的维护等危害非常严重,且牲畜误食会引起中毒死亡<sup>[11-13,16]</sup>。如何有效控制这一恶性入侵杂草成为一个亟待解决的问题,然而关于紫茎泽兰成功入侵的影响途径和潜在的入侵机制还很不清楚。对紫茎泽兰养分吸收和其对入侵生境土壤环境的影响研究表明,紫茎泽兰具有很强的养分吸收能力<sup>[2]</sup>,对土壤肥力和土壤生态功能产生显著的影响<sup>[17]</sup>,但研究结果并不完全一致,且缺乏对紫茎泽兰入侵过程的生态影响研究,而生态系统过程是植物入侵途径与环境反馈作用的集中反映。本研究在撂荒地建立紫茎泽兰种群和选取不同入侵历史的紫茎泽兰种群,对其根际土壤肥力特征的动态变化进行定量测定,以期进一步了解紫茎泽兰的入侵策略及其生态影响机理。这一科学问题的阐述对于入侵植物的生态管理和入侵地的生态修复具有重要的指导意义。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究地区概况

研究地区位于云南农业大学试验农场撂荒地和其后山山坡 (25°08'N, 102°45'E), 海拔 1 928~1 970

m, 该地区气候类型属于亚热带季风性气候, 年均气温 14.5 °C, 日照全年平均为 2 445.6 h, 日照率为 56% 左右; 年降雨量 1 000 ~ 1 100 mm, 降雨月份间分布不均, 明显分为干、湿两季, 5 ~ 10 月为雨季, 雨季降水量占全年的 85% 左右。土壤类型属于南方红壤, 是滇中地区主要的土壤类型。该地区主要的伴生草本植物有大狗尾草 (*Setaria faberii* Herm.)、马唐 (*Digitaria chinensis* Hornem)、野艾蒿 (*Artemisia lavandulaefolia* DC.)、风轮 (*Clinopodium confine* Hance)、繁缕 (*Stellaria chinensis* Regel)、三叶鬼针草 (*Bidens pilosa* L.)、牛膝菊 (*Galinsona parviflora*)、灰多白 (*Chenopodium album* L.)、曼陀罗 (*Datura stramonium* L.)。在紫茎泽兰入侵后 3~5 a, 伴生草本植物大多被竞争排挤而常形成紫茎泽兰的单一优势群落, 在紫茎泽兰重度入侵区域几乎没有任何伴生草本植物。

### 1.2 试验设计和样品采集

在研究地区选取设置紫茎泽兰不同入侵阶段的群落, 参照于兴军等分类标准<sup>[17]</sup>按紫茎泽兰入侵过程将其分为 3 个类型, 分别为: 未入侵生境、轻度入侵种群和重度入侵种群。未入侵生境为农场撂荒地裸露地, 没有任何植物; 轻度入侵种群为 2005 年 5 月在农场撂荒地以种子散播建立的紫茎泽兰种群; 重度入侵种群为紫茎泽兰在农场后山撂荒地入侵建立 10 a 以上所形成的单优种群。每个类型小区重复数为 5 个, 每个小区面积 3 m × 3 m; 定点对比研究紫茎泽兰入侵对土壤养分的影响过程。

2006 年, 每个季度对 3 种类型种群根际土壤取样一次, 每季取样时期分别为 3、6、9、12 月上旬; 采土方法为 5 点土壤取样法, 取土深度在 0 ~ 20 cm, 在取样过程中去除凋落物等有机杂质。对取回的鲜土分成两份, 一份立即过筛、分装保存于冰箱, 在两周内完成土壤铵态氮、硝态氮的测定; 一份室内自然风干、过筛、分装保存用于其他理化性质的测定。

### 1.3 土壤养分测定

全氮含量采用开氏定氮法<sup>[18]</sup>, 铵态氮含量采用氯化钾浸提-靛蓝吸光光度法<sup>[19]</sup>, 硝态氮含量采用硫酸铜澄清-紫外分光光度法<sup>[19]</sup>; 全磷采用氢氧化钠熔融-钼锑抗比色法<sup>[18]</sup>, 土壤速效磷含量采用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法<sup>[18]</sup>; 全钾采用氢氧化钠熔融-火焰光度法<sup>[18]</sup>, 土壤速效钾含量采用醋酸铵浸提-火焰光度法<sup>[18]</sup>。

### 1.4 数据分析方法

数据分析采用统计软件 SPSS(SPSS 10.0)。同一季节不同入侵类型种群间的差异和相同种群在不同季节间的差异采用单因素方差分析(SPSS, One-Way ANOVA: LSD Test)。

## 2 结果与分析

### 2.1 对土壤氮素营养的影响

如表 1 所示,不同类型入侵种群根际土壤全氮含量在不同季节均无显著差异 ( $P>0.05$ )。说明紫茎泽兰入侵对土壤全氮无显著影响,紫茎泽兰在入侵过程中不会引起生境氮库总量的明显变化。

不同类型入侵种群间根际土壤  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  的含量在各季节均差异显著 ( $P<0.05$ ),土壤  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  含量的高低顺序为:重度入侵 > 轻度入侵 > 未入侵,重度入侵种群根际土壤  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  含量在春、夏、秋、冬季分别比未入侵生境土壤  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  含量升高了 24.5%、79.1%、110.3% 和 194.6%,这表明紫茎泽兰的入侵提高了土壤的  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  含量,可能是紫茎泽兰植株凋落物的分解积累所引起的,也可能是紫茎泽兰根系分泌物活化了土壤含氮化合物,同时也说明紫茎泽兰对  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  的吸收利用很少。不同季节间的比较分析发现,未入侵生境的土壤  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  含量在夏季显著比冬季低 ( $P=0.043$ ),但在春、夏、秋三季间无显著差异 ( $P>0.05$ ),在春、秋、冬三季间也无显著差异 ( $P>0.05$ ); 轻度入侵种群根际土壤  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  含量在春季和夏季显著比在秋季和冬季低 ( $P<0.05$ ),但在春季和

夏季间以及在秋季和冬季间均无显著差异 ( $P>0.05$ ); 重度入侵种群根际土壤  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  含量在年际内随着季节的推移显著升高 ( $P<0.05$ ),在冬季为春季的 1.4 倍。可见,紫茎泽兰重度入侵种群根际土壤  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  含量随生长季节的推移升高幅度较大,未入侵和轻度入侵地区土壤的  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  含量也有升高趋势,但没有在紫茎泽兰重度入侵种群土壤那么明显,这表明不同季节气候等原因会对土壤  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  含量产生一定影响,紫茎泽兰入侵对土壤  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  含量的提高作用明显,且在生长过程中不断积累。

不同类型入侵种群间根际土壤  $\text{NO}_3^--\text{N}$  的含量在各季节均差异显著 ( $P<0.05$ ),土壤  $\text{NO}_3^--\text{N}$  含量的高低顺序在春季为:重度入侵 > 轻度入侵 > 未入侵;在夏季、秋季和冬季为:重度入侵 > 轻度入侵 = 未入侵。不同季节间的比较分析发现,不同入侵类型的土壤  $\text{NO}_3^--\text{N}$  的含量在年际内均随着季节的推移显著降低 ( $P<0.05$ ),紫茎泽兰入侵程度越大其种群根际土壤  $\text{NO}_3^--\text{N}$  含量随季节降低幅度越明显,轻度入侵从  $17.68 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  降低到  $1.53 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,重度入侵从  $39.44 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  降低到  $3.54 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,同时未入侵地区土壤  $\text{NO}_3^--\text{N}$  的含量降幅也很大,从  $13.60 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  降低到  $1.50 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。这表明紫茎泽兰的入侵提高了根际土壤  $\text{NO}_3^--\text{N}$  的含量,紫茎泽兰种群根际土壤  $\text{NO}_3^--\text{N}$  含量随季节推移显著降低,可能是紫茎泽兰在生长过程中对土壤  $\text{NO}_3^--\text{N}$  的吸收利用所致,另外环境因子也可能是引起土壤  $\text{NO}_3^--\text{N}$  含量季节性变化的原因之

表 1 不同入侵种群根际土壤氮肥含量及其变化

Table 1 Contents and seasonal dynamics of N in soil of rhizosphere zones with different invaded communities

入侵种群类别	季节动态			
	春季	夏季	秋季	冬季
	全氮/ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$			
未入侵	1.74 ± 0.03 aA	1.76 ± 0.03 aA	1.76 ± 0.03 aA	1.76 ± 0.02 aA
轻度入侵	1.76 ± 0.02 aA	1.77 ± 0.03 aA	1.77 ± 0.02 aA	1.79 ± 0.03 aA
重度入侵	1.76 ± 0.02 aA	1.78 ± 0.03 aA	1.80 ± 0.02 aA	1.81 ± 0.02 aA
	铵态氮 $\text{NH}_4^+-\text{N}/\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$			
未入侵	8.21 ± 0.48 aAB	7.33 ± 0.85 aA	7.48 ± 0.55 aAB	8.39 ± 0.23 aB
轻度入侵	9.13 ± 0.28 bA	9.69 ± 0.22 bA	11.61 ± 0.96 bB	12.38 ± 0.48 bB
重度入侵	10.22 ± 0.60 cA	13.13 ± 0.63 cB	15.73 ± 1.08 cC	24.72 ± 0.92 cD
	硝态氮 $\text{NO}_3^--\text{N}/\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$			
未入侵	13.60 ± 1.29 aC	5.98 ± 0.23 aB	2.32 ± 0.12 aA	1.50 ± 0.20 aA
轻度入侵	17.68 ± 0.90 bD	6.09 ± 0.23 aC	2.36 ± 0.19 aB	1.53 ± 0.31 aA
重度入侵	39.44 ± 1.50 cD	10.73 ± 0.20 bC	5.89 ± 0.25 bB	3.54 ± 0.34 bA

注:同一列数据后小写字母不同表示不同入侵种群类别间在  $P<0.05$  水平差异显著(SPSS, One-Way ANOVA, LSD test);同一行数据后大写字母不同表示不同季节间在  $P<0.05$  水平差异显著(SPSS, One-Way ANOVA, LSD test)。下同。

一。

## 2.2 对土壤磷素营养的影响

如表 2 所示,在相同季节不同入侵种群根际土壤全磷含量均呈现一致的趋势,且在不同入侵种群间差异显著( $P<0.05$ ),其含量高低顺序为:未入侵>轻度入侵>重度入侵,这表明紫茎泽兰的入侵降低了土壤全磷的含量。对不同季节间的比较分析表明,重度入侵种群根际土壤全磷含量在春季显著高于在其他季节( $P<0.05$ ),而在其他季节间无显著差异( $P>0.05$ );未入侵和轻度入侵地区土壤全磷在季节间均无显著差异( $P>0.05$ ),各种群土壤全磷含量在生长季节呈现降低趋势,这表明紫茎泽兰在年际内各季节间对土壤全磷的影响不是非常明显,紫茎泽兰对土壤全磷的影响是一个渐进的过程。

不同入侵种群间根际土壤有效磷含量高低顺序为:未入侵>轻度入侵>重度入侵;在秋季,重度入侵种群根际土壤有效磷含量显著低于未入侵和轻度入侵地区土壤有效磷含量( $P<0.05$ ),而在未入侵和轻度入侵间无显著差异( $P=0.892$ );在夏季不同入侵种群间无显著差异( $P=0.134$ )。不同季节间的比较分析表明,未入侵和轻度入侵地区土壤有效磷含量均随季

节推移呈降低趋势;而重度入侵种群根际土壤有效磷含量在夏季显著高于在其他季节( $P<0.05$ ),在秋季次之,在春季和冬季最低。这表明紫茎泽兰的入侵降低了土壤有效磷的含量,在生长旺盛季节其根系分泌物对土壤含磷化合物可能具有较强的活化作用,另外在夏季高温高湿可能对土壤有效磷的含量产生了较大的间接影响。

## 2.3 对土壤钾素营养的影响

如表 3 所示,在不同季节,重度入侵种群根际土壤全钾含量均显著高于未入侵和轻度入侵地区土壤全钾含量( $P<0.05$ ),轻度入侵种群根际土壤全钾含量在春季与未入侵地区无显著差异( $P=0.863$ ),但在其他季节均显著高于未入侵地区( $P<0.05$ ),这表明紫茎泽兰的入侵提高了土壤全钾含量,说明紫茎泽兰具有很强的富钾性能。不同季节间的分析表明,未入侵地区土壤全钾含量在不同季节间无显著差异( $P=0.269$ );轻度入侵种群根际土壤全钾在秋季和冬季最高,在夏季次之,春季最低;重度入侵种群根际土壤全钾含量则以夏季最高,春季最低。这表明紫茎泽兰在生长过程中对根际土壤全钾含量具有较大影响,在生长旺盛季节对土壤全钾含量影响最大,引起土壤

表 2 不同入侵种群根际土壤磷肥含量及其变化

Table 2 Contents and seasonal dynamics of P in soil of rhizosphere zone with different invaded communities

入侵种群类别	季节动态			
	春季	夏季	秋季	冬季
	全磷/ $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$			
未入侵	1.76 ± 0.02 cA	1.73 ± 0.02 cA	1.75 ± 0.02 cA	1.72 ± 0.01 cA
轻度入侵	1.70 ± 0.03 bA	1.69 ± 0.04 bA	1.70 ± 0.02 bA	1.67 ± 0.04 bA
重度入侵	0.80 ± 0.03 aB	0.66 ± 0.01 aA	0.68 ± 0.01 aA	0.68 ± 0.01 aA
	有效磷/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$			
未入侵	24.59 ± 1.84 cB	22.38 ± 1.13 aAB	21.88 ± 1.27 bA	21.83 ± 1.39 cA
轻度入侵	21.83 ± 1.39 bB	21.16 ± 2.11 aB	21.54 ± 1.14 bAB	18.53 ± 1.15 bA
重度入侵	8.59 ± 0.96 aA	20.26 ± 1.17 aC	17.26 ± 1.16 aB	7.44 ± 0.86 aA

表 3 不同入侵种群根际土壤钾肥含量及其变化

Table 3 Contents and seasonal dynamics of K in soil of rhizosphere zones with different invaded communities

入侵种群类别	季节动态			
	春季	夏季	秋季	冬季
	全钾/ $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$			
未入侵	4.62 ± 0.13 aA	4.59 ± 0.10 aA	4.75 ± 0.14 aA	4.64 ± 0.13 aA
轻度入侵	4.69 ± 0.27 aA	5.29 ± 0.20 bB	7.06 ± 0.19 bC	6.87 ± 0.14 bC
重度入侵	7.05 ± 0.16 bA	13.79 ± 0.15 cC	10.52 ± 0.14 cB	10.24 ± 0.22 cB
	有效钾/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$			
未入侵	234.94 ± 14.63 aC	155.06 ± 14.55 aB	111.77 ± 9.84 aA	128.19 ± 11.35 aA
轻度入侵	277.55 ± 9.75 bC	233.08 ± 12.72 bB	150.47 ± 11.12 bA	220.16 ± 10.65 bB
重度入侵	431.88 ± 14.35 cD	379.06 ± 15.47 cC	183.36 ± 15.03 cA	347.94 ± 20.41 cB

全钾含量的显著升高。

不同入侵种群间根际土壤有效钾含量在各季节均差异显著 ( $P < 0.05$ ), 其含量高低顺序为: 重度入侵 > 轻度入侵 > 未入侵, 在重度入侵地区为未入侵地区的 1.6~3.7 倍。不同季节间的比较分析表明, 不同入侵种群根际土壤有效钾含量均在春季最高, 在秋季最低。这表明紫茎泽兰的入侵显著提高了土壤有效钾的含量, 在生长过程中其土壤有效钾含量呈现单峰趋势, 即先降后升。

### 3 讨论

植物通过影响生境土壤对自身产生积极作用而影响其他植物的生长, 被认为是植物竞争演替的重要驱动机制之一<sup>[20]</sup>。很多外来植物都因改变了新的生境土壤养分环境而入侵成功<sup>[21]</sup>。如在欧洲一种鼠李 (*Rhamnus cathartica* L.) 的凋落物分解比当地红枫和橡树叶都要快, 从而导致在其入侵地营养的提高, 不仅加速了自身物种的入侵扩张, 而且为其他外来物种的入侵成功提供了便利条件<sup>[22]</sup>; 在美国旱雀麦 (*Bromus tectorum*) 入侵干旱草地生态系统 2 a 后, 土壤无机氮库以及土壤净矿化速率比土著物种低 50%, 使土壤贫瘠化而阻碍其他植物生长<sup>[23]</sup>。本研究中, 紫茎泽兰的入侵种群土壤全氮没有明显变化, 而  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  和  $\text{NO}_3^--\text{N}$  含量均显著升高, 这表明紫茎泽兰入侵对土壤可利用氮的含量具有提高作用, 这种对土壤氮素营养环境改变的能力为其在贫瘠生境的顺利生长提供了偏利条件, 可能是其入侵成功的机理之一。这与于兴军等<sup>[17, 23]</sup>对紫茎泽兰影响土壤环境的研究结果一致。在年际生长过程中紫茎泽兰种群根际土壤  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  含量会逐渐升高, 而  $\text{NO}_3^--\text{N}$  含量急剧下降, 这表明紫茎泽兰在生长过程中对土壤可利用氮的吸收利用形式主要是  $\text{NO}_3^--\text{N}$ , 对  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  的吸收利用程度不高, 对可利用氮的利用方式与外来入侵杂草加拿大一枝黄花不同, 加拿大一枝黄花对  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  的利用存在偏好, 对  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  的相对利用能力较强<sup>[25]</sup>。可见, 不同入侵物种具有不同的肥力吸收利用策略。

紫茎泽兰重度入侵种群根际土壤的全磷和有效磷含量都显著降低, 但在生长旺盛期 (夏、秋季) 土壤有效磷含量明显升高, 这可能是紫茎泽兰根系在生长旺季对土壤含磷化合物具有很强的活化作用, 在生长过程中对磷肥具有较大的需求和很强的吸收利用能力<sup>[13]</sup>而导致土壤磷素营养的降低, 这同紫茎泽兰对土壤磷肥影响的相关研究结果基本相符<sup>[13, 14]</sup>。这种通过

对土壤含磷化合物的活化作用来满足自身生长需求, 同时使土壤磷素营养贫瘠化的方式, 可能是紫茎泽兰限制其他植物生长的一种特殊的资源吸收利用策略。

随着紫茎泽兰入侵建立时间的推移, 其种群根际土壤的全钾和有效钾含量均显著升高, 在生长过程中土壤有效钾含量先降后升, 这可能是紫茎泽兰对土壤含钾化合物具有很强的活化能力, 或者说紫茎泽兰具有很强的富钾性能<sup>[24]</sup>; 在生长过程中, 可能由于生长发育旺盛期对有效钾的需求增加导致有效钾含量降低, 在生长末期对钾肥需求减少, 紫茎泽兰种群生境继续积累有效钾, 为次年的生长提供条件。紫茎泽兰入侵对土壤钾肥的影响可能与其根系对土壤活性的影响有关<sup>[24]</sup>; 也可能是土壤微生物功能菌落在起作用<sup>[17]</sup>。

值得注意的是, 由于紫茎泽兰植株内含毒素, 其分泌物和凋落物会改变土壤动物和微生物群落<sup>[17, 26]</sup>, 而土壤动物和土壤微生物在土壤环境中起着促进物质循环和能量流动, 对土壤有机质等化合物具有重要分解和转化作用<sup>[17, 26, 27]</sup>。如在欧洲人生果属植物种群土壤中蚯蚓比其他群落要多, 从而加速了凋落物的分解和营养循环<sup>[22]</sup>; 而一些功能真菌通过改变土壤养分在许多植物的入侵建立中发挥着重要的作用<sup>[28]</sup>。因此本研究紫茎泽兰对土壤肥力的影响也是一个综合影响结果, 其直接和间接影响途径在紫茎泽兰入侵过程中的机理有待进一步研究。

### 4 结论

通过对紫茎泽兰入侵不同年份种群根际土壤肥力性状及其季节性动态的比较, 发现紫茎泽兰的入侵提高了土壤  $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 、 $\text{NO}_3^--\text{N}$ 、全钾和有效钾的含量, 降低了土壤全磷和有效磷的含量, 而对土壤全氮含量没有明显影响。在年际内生长过程中, 紫茎泽兰能够通过活化土壤含磷化合物来满足自身生长的需求, 对土壤  $\text{NO}_3^--\text{N}$  和有效钾的吸收利用较多, 而对  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  的需求很少。紫茎泽兰入侵对土壤肥力特征的正负影响及其自身的适应特性可能是其能够入侵成功和快速扩张蔓延的生态机制之一; 紫茎泽兰入侵对生境土壤养分影响动态过程的揭示为进一步研究功能微生物和营养循环在入侵中的作用奠定了基础, 对入侵植物的管理和生态修复具有重要的指导意义。在对紫茎泽兰的生态控制和其入侵地本地植被生态恢复中, 应当选择包含与紫茎泽兰资源吸收利用方式相同的物种和对资源需求不同的物种, 多物种组合建立功能多样性群落, 从而对资源充分利用而形成稳定的生态群

落,使紫茎泽兰丧失入侵建立的资源生态位,而保持生态环境的健康和可持续发展。

#### 参考文献:

- [1] Pimentel D, Lath L, Zuniga R, et al. Environmental and economic costs of non-indigenous species in the United States[J]. *BioScience*, 2000, 50: 53-65.
- [2] 万方浩,王德辉. 中国外来入侵生物的现状、管理对策及其风险评价体系[C]//王德辉, Jeffrey A. McNeely, 编. 防治外来入侵物种: 生物多样性与外来入侵管理国际研讨会论文集. 北京: 中国环境科学出版社, 2002. 85-86.
- [3] 李博, 陈家宽. 生物入侵生态学: 成绩与挑战[J]. 世界科学技术研究与发展, 2002, 24: 26-36.
- [4] Zedler J B, Kercher S. Causes and consequences of invasive plants in wetlands: opportunities, opportunists, and outcomes[J]. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 2004, 23: 431-452.
- [5] Davis M A, Grime J P, Thompson K. Fluctuating resources in plant communities: A general theory of invisibility[J]. *Journal of Ecology*, 2000, 88: 528-534.
- [6] Klironomos J N. Feedback with soil biota contributes to plant rarity and invasiveness in communities[J]. *Nature*, 2002, 417: 67-70.
- [7] Callaway R M, Thelen G C, Rodriguez A, et al. Soil biota and exotic plant invasion[J]. *Nature*, 2004, 427: 731-733.
- [8] Ehrenfeld J G. Effects of exotic plant invasions on soil nutrient cycling processes[J]. *Ecosystems*, 2003, 6: 503-523.
- [9] Vitousek P M, Aber J D, Howarth R W, et al. Human alteration of the global nitrogen cycle: sources and consequences[J]. *Ecological Application*. 1997, 7: 737 - 750.
- [10] Ehrenfeld J G, Scot N. Invasive species and the soil: effects on organisms and ecosystem processes[J]. *Ecological Applications*, 2001, 11: 1259-1260.
- [11] 强胜. 世界性恶性杂草 - 紫茎泽兰研究的历史及现状[J]. 武汉植物学研究, 1988, 16(4): 366-372.
- [12] Sun X Y, Lu Z H, Sang W G. Review on studies of *Eupatorium adenophorum*-an important invasive species in China[J]. *Journal of Forestry Research*, 2004, 15(4): 319-322.
- [13] 王进军. 紫茎泽兰[C]// 万方浩, 郑小波, 郭建英. 重要农林外来入侵物种的生物学与控制. 北京: 科学出版社, 2005. 650-661.
- [14] 刘伦辉, 刘文耀, 郑征, 等. 紫茎泽兰个体生物及生态学特性研究[J]. 生态学报, 1989, 9(1): 66-70.
- [15] Yang G Q, Wan F H, Liu W X, et al. Physiological effects of allelochemicals from leachates of *Ageratina adenophora* ( Spreng. ) on rice seedlings[J]. *Allelopathy Journal*, 2006, 18(2): 237-246.
- [16] O'Sullivan B M. Crofton weed ( *Eupatorium* ) toxicity in horse[J]. *Aust Veter J*, 1979, 62: 30-32.
- [17] 于兴军, 于丹, 卢志军, 等. 一个可能的植物入侵机制: 入侵种通过改变入侵地土壤微生物群落影响本地种的生长 [J]. 科学通报, 2005, 50(9): 896-903.
- [18] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 第三版. 北京: 中国农业出版社, 2002.
- [19] 劳家桎. 土壤农化分析[M]. 北京: 农业出版社, 1988.
- [20] Holmgren M, Scheffer M, Huston M A. The interplay of facilitation and competition in plant communities[J]. *Ecology*, 1997, 78(7): 1966 - 1975.
- [21] Bertness M D, Callaway R M. Positive interactions in communities [J]. *Trends in Ecology and Evolution*, 1994, 9:191-193.
- [22] Henghan L, Clay C, Brundage C. Rapid decomposition of buckthorn litter may change soil nutrient levels[J]. *Ecological Restoration*, 2002, 20: 108-111.
- [23] Evans R D, Rimer R, Sperry L, et al. Exotic plant invasion alters nitrogen dynamics in an arid grassland [J]. *Ecological Applications*, 2001, 11: 1301-1310.
- [24] 蒋智林, 刘万学, 万方浩, 等. 紫茎泽兰与非洲狗尾草单、混种群根际土壤酶活性和土壤养分的比较研究[J]. 植物生态学报, 2007 ( 审理中 ).
- [25] 陆建忠, 裴伟, 陈家宽, 等. 入侵种加拿大一枝黄花对土壤特性的影响[J]. 生物多样性, 2005, 13(4): 347-356.
- [26] 刘志磊, 徐海根, 丁晖. 外来入侵植物紫茎泽兰对昆明地区土壤动物群落的影响[J]. 生态与农村环境学报, 2006, 22(2):31-35.
- [27] 孙刚, 殷秀琴, 祖元刚. 豚草发生地土壤动物的初步研究[J]. 生态学报, 2002, 22(4):608-611.
- [28] Hodge A, Robinson D, Fitter A. Are microorganisms more effective than plants at competing for nitrogen?[J]. *Science*, 2000, 5(7): 304-308.

致谢: 承蒙云南农业大学朱有勇教授为本试验提供试验条件, 赵振雄博士为试验土壤养分测试提供帮助, 本文作者谨致谢忱!