

紫茎泽兰入侵对土壤酶活性和理化因子的影响

刘 潮¹ 冯玉龙^{2*} 田耀华²

(1. 河北大学生命科学学院, 保定 071002)

(2. 中国科学院西双版纳热带植物园昆明分部, 昆明 650223)

摘 要 紫茎泽兰是我国危害最严重的外来入侵植物之一, 为探明其入侵对土壤肥力的影响, 比较研究了紫茎泽兰、云南管、狗尾草群落和撂荒地下 0~30 cm 的 4 层土壤中 6 种酶活性和 12 种理化因子。结果表明群落类型和土壤深度对测定的各参数均有显著影响。随土壤深度的增加, 多酚氧化酶、碱性磷酸酶、脲酶活性, 以及有机质、全氮、全磷、全钙、水解氮、有效磷、速效钾含量和 pH 值均降低。总的看来, 紫茎泽兰群落下碱性磷酸酶和脲酶活性, 有机质、全氮、全磷、全钙、水解氮和有效磷含量, 以及 pH 值均较高, 全钾含量较低, 但速效钾含量并不低, 表明紫茎泽兰入侵多年后土壤肥力水平提高, 形成了对其生长有利的土壤环境。

关键词 紫茎泽兰; 土壤酶活性; 土壤理化因子; 土壤肥力; 生物入侵

Effects of *Eupatorium adenophorum* Sprengel invasion on Soil Enzyme Activities and Physical and Chemical Factors

LIU Chao¹ FENG Yu-Long^{2*} TIAN Yao-Hua²

(1. College of Life Sciences, Hebei University, Baoding 071002)

(2. Kunming Division, Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Science, Kunming 650223)

Abstract *Eupatorium adenophorum* is one of the most noxious invasive weeds in China. To explore the effects of this weed invasion on soil fertility, the activities of six enzymes and 12 physical and chemical factors were compared among the soil within 0~30 cm depth under a more than 10 years old invaded grassland by *E. adenophorum*, a secondary grassland (abandoned maize field in November of 2001), a primary grassland of *Themeda yunnanensis* and a two years old artificial grassland of *Setaria phaeolata*. The results showed that each variable measured in this study changed significantly among communities and soil layers according to a two-way ANOVA. The activities of polyphenol oxidase, alkaline phosphatase and urase, the contents of organic matter, total N, total P, total Ca, hydrolytic N, active P, active K, and pH value decreased with the increase of soil depth. In general, the activities of alkaline phosphatase and urase, the contents of organic matter, total N, total P, total Ca, hydrolytic N, active P, and pH value were higher in the soil under *E. adenophorum* community compared to the soils under other communities. Total soil K content was lower in the soil under *E. adenophorum* than in the soils of other communities, while the active K content was similar among the four communities. These results indicate that *E. adenophorum* invasion for more than 10 years can increase soil fertility, create favorable soil conditions for itself.

Key words *Eupatorium adenophorum* Sprengel; soil enzyme activities; soil physical and chemical fac-

基金项目: 中国科学院知识创新工程重大项目 (KSCX1-SW-13-0X-0X)

第一作者简介: 刘潮 (1980—), 男, 硕士研究生, 主要从事外来植物入侵生态学研究。

* 通讯作者: E-mail: fy@xtbg.ac.cn

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

收稿日期: 2007-04-16

tors soil fertility biological invasion

外来植物入侵已成为继生境破坏之后对全球生物多样性的最大威胁^[1,2],是全球变化的组成部分之一^[3,4],自然生态系统遭受外来种入侵的研究已成为当前生态学的焦点问题之一^[5]。外来植物入侵改变了群落的物种组成和结构,进而改变了凋落物的量和成分,改变了土壤肥力水平。外来植物也能通过释放化感物质影响土壤微生物群落^[6,7],进而影响土壤酶活性和养分循环。研究表明外来植物入侵能改变土壤有机质、氮等含量^[8~11]、土壤生物组成和土壤酶活性^[13,12~16]。外来植物入侵导致的土壤环境变化会反过来影响外来种和本地种的竞争关系,进而影响外来种的入侵性^[7,17~19]。

紫茎泽兰 (*Eupatorium adenophorum* Sprengel) 是菊科泽兰属多年生杂草,原产中美洲,现已广泛分布在热带和亚热带地区的 30 个国家和地区^[20],是我国危害最严重的外来入侵植物之一。紫茎泽兰侵占农田、草场、林地,与农作物和苗木争肥、水、阳光、空间,造成粮食作物、经济作物、经济林木减产减收,是农林生产的大敌^[21]。目前我国学者对紫茎泽兰入侵机理研究较多,但关于其入侵对土壤的影响研究很少^[7,19,20,22],未见紫茎泽兰入侵对土壤酶活性影响的报道。为揭示紫茎泽兰入侵对土壤养分状况的影响,及与其入侵性的关系,本文比较研究了紫茎泽兰群落、狗尾草群落、云南菅群落和撂荒地土壤酶活性和养分含量的变化。

1 材料与方法

1.1 试验样地及土样采集

试验样地位于云南省澜沧县 (N22°31' ~ 23°

16', E99°29' ~ 100°35') 竹塘乡的迷古吗草场,地处横断山脉怒山山系南段,海拔 1900~ 2000m,属亚热带山地季风气候,干湿季节分明,5月中旬至10月中旬为雨季,10月下旬至次年5月上旬为旱季,年均气温 18.9℃,年降雨量 1626.5 mm。主要土壤类型为红壤。

迷古吗草场为天然放牧草场,由于受干扰大部分被紫茎泽兰入侵,并形成紫茎泽兰的单优群落,失去放牧价值,其中部分被开垦成农田并于 2001 年撂荒,只在未被干扰或干扰较小的局部保留有天然草地。为防治紫茎泽兰,2003 年我们开始用狗尾草等牧草替代紫茎泽兰。在紫茎泽兰、云南菅、狗尾草群落和撂荒地 (表 1) 中设置 6 m × 6 m 的样方各 4 个,样方间距离至少 5 m。各群落土壤类型相同,又都是在天然草地上形成的,可以认为各群落形成之前土壤肥力是相似的,目前土壤肥力的差异是由于地上植被的不同造成的。2004 年 9 月采用对角线法在各样地 0~ 30 cm 的根层分 4 层取土样,即 0~ 5 6~ 10 11~ 20 和 21~ 30 cm 5 个取样点均在样方的对角线上,分别为对角线的交点和距样方 4 个角 50 cm 处的 4 个点,除土样物理性状 (土壤容重和含水量) 的测定须采原状土样外,测定其他参数时土样均为样方内这 5 点的混合样。土样采集后立即带回实验室,过 2 mm 筛,去除石块、凋落物 and 大型土壤动物,置于速封袋中,土壤容重、含水量和土壤酶测定样品均为湿样,4℃保存备用,营养元素测定样品为自然风干土。

表 1 试验地概况
Table 1 Survey of experimental fields

群落类型 Community	经纬度 Longitude and Latitude	海拔 Altitude (m)	坡向 Facing of slope	坡度 Gradient (°)	备注 Remark
紫茎泽兰 <i>Eupatorium adenophorum</i>	N 22°45' 48.6' E 99°45' 51.4'	1980 m	西北 Northwest	35	主要物种为紫茎泽兰,盖度约 70%,高度约 160 cm Coverage height of <i>E. adenophorum</i> are about 70%, 160 cm, respectively
撂荒地 Abandoned field	N 22°45' 47.8' E 99°45' 54.4'	1988 m	北 North	32	主要物种为紫茎泽兰,盖度约 26%,高度约 50 cm Coverage height of <i>E. adenophorum</i> are about 26%, 50 cm, respectively
云南菅 <i>Themeda yunnanensis</i>	N 22°45' 40.0' E 99°45' 51.0'	2016 m	东 East	25	主要物种为云南菅,盖度约 83%,高度约 55 cm Coverage height of <i>T. yunnanensis</i> are about 83%, 55 cm, respectively
狗尾草 <i>Setaria phaeolata</i>	N 22°45' 42.5' E 99°45' 55.3'	1939 m	北 North	35	主要物种为狗尾草,盖度约 43%,高度约 155 cm Coverage height of <i>S. phaeolata</i> are about 43%, 155 cm, respectively

1.2 土壤理化性质测定

土壤 pH 值采用电位测定法 (土: 液 = 1: 2.5) 测定; 有机质含量采用硫酸、重铬酸钾氧化—容量法测定; 土壤全氮采用开凯氏定氮法测定; 全磷、钾、钙、镁、硫采用 ICP-AES 法测定; 水解氮采用碱解扩散法测定; 有效磷采用钼锑抗比色法测定。上述参数均由中国科学院西双版纳热带植物园生物地球化学实验室测定。土壤容重采用环刀法测定; 土壤含水量采用烘干法测定。

1.2.2 酶活性测定方法

多酚氧化酶和过氧化物酶活性用邻苯三酚比色法^[23]测定, 酶活性以 1 g ±1 h 生成的没食子酸 (Gallic acid) 的毫克数表示 ($\text{mg GA g}^{-1} \text{ h}^{-1}$); 酸性、碱性磷酸酶和芳基硫酸酯酶活性用酚比色法^[24]测定, 酶活性以 1 g ±1 h 生成的 p-Nitrophenol 毫克数表示 ($\text{mg p-NP g}^{-1} \text{ h}^{-1}$); 脲酶活性用奈氏比色法^[23]测定, 酶活性以 1 g ±1 d 生成的 NH_4^+-N 毫克数表示 ($\text{mg NH}_4^+-\text{N g}^{-1} \text{ d}^{-1}$)。反应温度为 37℃。

1.3 数据分析

不同群落下酶活性及养分的比较用 One-way ANOVA, 用 S-N-K (Student Newman-Keuls) 检验进行各均数的多重比较, 用 Pearson 相关系数进行参数间相关分析, 所有分析均使用 SPSS 12.0 (SPSS

Inc., Chicago Illinois USA) 统计软件。

2 结果

2.1 同一土层不同群落下土壤酶活性的比较

云南苣群落下各层土壤多酚氧化酶活性最高, 但 I 层土壤该酶活性与紫茎泽兰和撂荒地群落差异不显著, II 层土壤该酶活性与撂荒地和狗尾草群落差异不显著, 紫茎泽兰和撂荒地 IV 层土壤该酶活性最低 (表 2)。不同群落下同层土壤过氧化物酶活性差异不显著。I 和 II 层土壤芳基硫酸酯酶活性在云南苣群落下最高, 但 III 和 IV 层土壤芳基硫酸酯酶活性在紫茎泽兰群落下最高。I、II 和 III 层土壤碱性磷酸酶活性在 4 种群落间差异不显著, IV 层土壤该酶活性在撂荒地下最低。I 层土壤酸性磷酸酶活性在云南苣和紫茎泽兰群落下最高, 狗尾草群落下最低, 撂荒地下居中; II 层土壤该酶活性在云南苣、紫茎泽兰和狗尾草群落间差异不显著, 均显著高于撂荒地; III 和 IV 层土壤该酶活性在狗尾草群落下最高, 撂荒地最低。紫茎泽兰群落下各层土壤脲酶活性均最高, 但 I 和 IV 层土壤该酶活性在各群落间的差异未达到显著水平 (表 2)。各群落各土层酸性磷酸酶活性要明显高于碱性磷酸酶活性和芳基硫酸酯酶活性, 这可能与土壤较低的 pH 值有关。

表 2 雨季不同群落不同土层土壤酶活性

Table 2 Soil enzyme activities in different soil layers under different communities in rainy season

群落 Community	土层 Soil layer	多酚氧化酶 Polyphenol oxidase ($\text{mg GA g}^{-1} \text{ h}^{-1}$)	过氧化物酶 Peroxidase ($\text{mg GA g}^{-1} \text{ h}^{-1}$)	芳基硫酸酯酶 Arylsulphatase ($\text{mg p-NP g}^{-1} \text{ h}^{-1}$)	碱性磷酸酶 Alkaline phosphatase ($\text{mg p-NP g}^{-1} \text{ h}^{-1}$)	酸性磷酸酶 Acid phosphatase ($\text{mg p-NP g}^{-1} \text{ h}^{-1}$)	脲酶 Urease ($\text{mg NH}_4^+-\text{N g}^{-1} \text{ d}^{-1}$)
紫茎泽兰 <i>Eupatorium adenophorum</i>	I	0.65 ± 0.11A ab	0.80 ± 0.07Ba	0.25 ± 0.02Ab	0.53 ± 0.04Aa	0.90 ± 0.11Aa	12.15 ± 1.44Aa
	II	0.52 ± 0.06Bb	0.78 ± 0.05Ba	0.30 ± 0.04Ab	0.46 ± 0.09ABa	0.78 ± 0.11Aa	9.66 ± 0.88Ba
	III	0.49 ± 0.05Bb	0.99 ± 0.08Aa	0.34 ± 0.07Aa	0.44 ± 0.06ABa	0.80 ± 0.08Ab	7.78 ± 1.38Ba
	IV	0.44 ± 0.05Bc	0.98 ± 0.07Aa	0.29 ± 0.06Aa	0.38 ± 0.03Ba	0.82 ± 0.04Ab	5.15 ± 0.88Ca
撂荒地 Abandoned field	I	0.65 ± 0.06A ab	0.87 ± 0.11BCa	0.24 ± 0.02Ab	0.50 ± 0.06Aa	0.77 ± 0.05ABab	9.74 ± 2.27Aa
	II	0.57 ± 0.08ABab	0.73 ± 0.05Ca	0.27 ± 0.06Ab	0.40 ± 0.06Ba	0.60 ± 0.07Cb	6.95 ± 1.74ABb
	III	0.52 ± 0.03Bb	1.17 ± 0.15Aa	0.26 ± 0.05Ab	0.35 ± 0.05BCa	0.67 ± 0.06BCc	5.78 ± 1.43Bab
	IV	0.47 ± 0.03Bbc	1.00 ± 0.11ABa	0.20 ± 0.05Aa	0.27 ± 0.06Cb	0.85 ± 0.06Ab	4.00 ± 1.14Ba
云南苣 <i>Thamnia yunnanensis</i>	I	0.80 ± 0.01Aa	0.93 ± 0.12Aa	0.40 ± 0.04Aa	0.59 ± 0.05Aa	0.92 ± 0.12Aa	9.89 ± 1.51Aa
	II	0.70 ± 0.08Aa	0.94 ± 0.13Aa	0.37 ± 0.07Aa	0.43 ± 0.10Ba	0.90 ± 0.11Aa	6.99 ± 0.93Bb
	III	0.72 ± 0.06Aa	0.93 ± 0.10Aa	0.28 ± 0.02Bab	0.42 ± 0.04Ba	0.93 ± 0.09Aab	4.81 ± 0.65Cb
	IV	0.74 ± 0.05Aa	0.87 ± 0.12Aa	0.17 ± 0.04Ca	0.32 ± 0.03Bab	0.82 ± 0.11Ab	3.85 ± 0.93Ca
狗尾草 <i>Setaria spachelata</i>	I	0.58 ± 0.05Ab	0.94 ± 0.11Aa	0.21 ± 0.04Ab	0.49 ± 0.06Aa	0.70 ± 0.03Cb	10.38 ± 2.39Aa
	II	0.57 ± 0.04Ab	0.86 ± 0.08Aa	0.22 ± 0.04Ab	0.44 ± 0.03Aa	0.80 ± 0.06Ca	7.11 ± 1.03Bb
	III	0.55 ± 0.06Ab	1.00 ± 0.08Aa	0.20 ± 0.06Ab	0.38 ± 0.04Aa	1.05 ± 0.10Ba	5.61 ± 1.11BCab
	IV	0.54 ± 0.04Ab	1.10 ± 0.18Aa	0.20 ± 0.09Aa	0.41 ± 0.06Aa	1.18 ± 0.02Aa	4.39 ± 0.51Ca

平均值 ± 标准误 (n = 4), 不同大写字母表示同一群落下土壤酶活性层间差异显著, 不同小写字母表示不同群落同一土层酶活性差异显著 (p < 0.05 单因素方差分析, S-N-K 多重比较)。土层 I、II、III 和 IV 分别表示 0~5、6~10、11~20 和 21~30 cm 土层

Means ± SE (n = 4). Different capital and small letters indicate significant differences among soil layers in the same community and among communities in the same soil layer, respectively (p < 0.05, One-way ANOVA, S-N-K means comparison). Soil layer I, II, III and IV indicate 0~5, 6~10, 11~20 and 21~30 cm soil, respectively

表 3 雨季不同群落不同土层土壤理化因子
Table 3 Soil physical and chemical factors in different soil layers under different communities in rainy season

群落 Community	土层 Soil layer	有机质 Organic Matter (g · kg ⁻¹)	全氮 Total N (g · kg ⁻¹)	全磷 Total P (g · kg ⁻¹)	全钾 Total K (g · kg ⁻¹)	全钙 Total Ca (g · kg ⁻¹)	全镁 Total Mg (g · kg ⁻¹)	水解氮 Hydrolytic N (mg · kg ⁻¹)	有效磷 Active P (mg · kg ⁻¹)	速效钾 Active K (mg · kg ⁻¹)	pH 值 pH value	含水量 Water content (%)	容重 Bulk density (g/cm ³)
紫茎泽兰 <i>Eupatorium adenophorum</i>	I	127.90 ± 2.55Aa	5.29 ± 0.11Aa	1.83 ± 0.04Aa	7.64 ± 0.07Bd	3.06 ± 0.26Aa	5.51 ± 0.14Aa	365.65 ± 43.06Aa	0.62 ± 0.36Aa	122.25 ± 13.47Aa	5.62 ± 0.11Aa	0.35 ± 0.02Ab	0.84 ± 0.05Ca
	II	112.00 ± 16.70Aa	4.72 ± 0.44ABa	1.78 ± 0.12Aa	8.84 ± 1.62ABb	2.47 ± 1.03ABa	5.36 ± 0.29Aab	367.60 ± 52.70Aa	0.53 ± 0.26ABa	85.48 ± 14.04Ba	5.38 ± 0.11ABab	0.35 ± 0.00Ab	0.95 ± 0.09Ba
	III	88.08 ± 10.63Ba	4.12 ± 0.28Ba	1.66 ± 0.02Ba	8.74 ± 0.39Bd	1.92 ± 0.24Ba	5.50 ± 0.14Ab	291.63 ± 38.95ABa	0.24 ± 0.12ABa	76.93 ± 4.97Bab	5.39 ± 0.24ABa	0.34 ± 0.01Aa	1.04 ± 0.09Ba
	IV	56.13 ± 5.57Ca	3.25 ± 0.24Ca	1.42 ± 0.06Cab	9.88 ± 0.43Ac	1.41 ± 0.05Ba	5.71 ± 0.09Ab	275.90 ± 24.83Ba	<0.10 Ba	57.25 ± 2.35Cb	5.22 ± 0.04Bb	0.34 ± 0.01Aa	1.15 ± 0.02Aa
撂荒地 Abandoned field	I	93.63 ± 11.29Ab	4.08 ± 0.27Ac	1.86 ± 0.15Aa	12.29 ± 0.89Aa	1.37 ± 0.10Ac	5.26 ± 0.29Bab	312.35 ± 25.17Aa	0.61 ± 0.26Aa	91.48 ± 7.60Ab	5.18 ± 0.07Bb	0.34 ± 0.01Ab	0.83 ± 0.13Ba
	II	73.20 ± 17.96ABb	3.52 ± 0.45Ab	1.63 ± 0.22ABa	13.71 ± 1.23Aa	1.08 ± 0.09Ba	5.53 ± 0.20ABa	275.70 ± 38.12Ab	0.29 ± 0.14Bb	70.03 ± 8.30ABa	5.19 ± 0.10Bb	0.35 ± 0.02Ab	1.01 ± 0.10Aa
	III	51.97 ± 10.75BCb	2.81 ± 0.46Bc	1.30 ± 0.18BCb	16.06 ± 2.01Aa	0.88 ± 0.07Cb	6.06 ± 0.40Aa	202.93 ± 34.07Bb	0.13 ± 0.04Ba	58.50 ± 2.62Bb	5.27 ± 0.06ABa	0.33 ± 0.03Aa	1.05 ± 0.06Aa
	IV	42.55 ± 0.49Ca	2.19 ± 0.53Bb	1.13 ± 0.29Cb	16.54 ± 2.76Aa	0.83 ± 0.04Cc	6.14 ± 0.51Aa	153.40 ± 40.83Bb	0.12 ± 0.02Ba	53.45 ± 2.50Bb	5.34 ± 0.05Ab	0.31 ± 0.02Aa	1.11 ± 0.04Aab
云南苔 <i>Themeda yunnanensis</i>	I	114.23 ± 12.75Aa	4.83 ± 0.50Ab	1.70 ± 0.09Aa	11.41 ± 0.15ABb	2.30 ± 0.59Ab	4.87 ± 0.23Ab	345.63 ± 38.33Aa	0.44 ± 0.04Aa	124.13 ± 13.02Aa	5.63 ± 0.15Aa	0.37 ± 0.00Aa	0.93 ± 0.02Ba
	II	94.05 ± 13.10Bab	4.23 ± 0.37Bab	1.62 ± 0.18Aa	10.87 ± 1.95Bb	1.55 ± 0.17Ba	4.97 ± 0.37Ab	337.48 ± 16.57Aa	0.24 ± 0.06Bb	86.83 ± 6.99Ba	5.48 ± 0.14Aa	0.37 ± 0.01Aa	0.99 ± 0.04ABa
	III	63.28 ± 6.08Cb	3.61 ± 0.22Cab	1.37 ± 0.06Bb	12.69 ± 0.45ABb	1.02 ± 0.13Bb	4.67 ± 0.17Ac	286.30 ± 25.61Aa	0.14 ± 0.03Ca	51.68 ± 4.52Cb	5.40 ± 0.10Aa	0.37 ± 0.01Aa	0.98 ± 0.11ABa
	IV	45.45 ± 8.51Da	2.84 ± 0.37Da	1.34 ± 0.08Bb	13.31 ± 0.12Ab	0.96 ± 0.11Bc	4.65 ± 0.18Ac	223.68 ± 42.97Ba	0.12 ± 0.04Ca	43.00 ± 3.08Cb	5.48 ± 0.15Aa	0.32 ± 0.02Ba	1.10 ± 0.11Aab
狗尾草 <i>Setaria sphacelata</i>	I	92.63 ± 4.08Ab	4.13 ± 0.14Ac	1.79 ± 0.10Aa	9.98 ± 0.52Ac	1.39 ± 0.23Ac	5.05 ± 0.16Bb	302.50 ± 17.00Aa	0.46 ± 0.18Aa	135.00 ± 11.59Aa	5.42 ± 0.15Aa	0.35 ± 0.00Ab	0.96 ± 0.03Aa
	II	68.63 ± 15.77ABb	3.52 ± 0.37ABb	1.80 ± 0.07Aa	10.03 ± 0.92Ab	1.16 ± 0.35Aa	5.29 ± 0.03ABab	251.08 ± 24.89Bb	0.19 ± 0.04Bb	91.03 ± 13.96Aa	5.25 ± 0.05Ab	0.34 ± 0.01Ab	1.00 ± 0.06Aa
	III	55.10 ± 7.88Bb	3.23 ± 0.32Bbc	1.66 ± 0.10Aa	10.48 ± 0.67Ac	1.01 ± 0.16Ab	5.19 ± 0.20ABb	244.40 ± 27.34Bab	0.15 ± 0.02Ba	102.80 ± 37.77Aa	5.24 ± 0.03Aa	0.35 ± 0.02Aa	0.99 ± 0.09Aa
	IV	49.10 ± 5.20Ba	2.98 ± 0.25Ba	1.66 ± 0.09Aa	10.85 ± 0.66Ac	1.22 ± 0.17Ab	5.37 ± 0.06Ab	216.93 ± 26.56Ba	0.14 ± 0.03Ba	102.85 ± 36.25Aa	5.27 ± 0.07Ab	0.34 ± 0.01Aa	1.00 ± 0.03Ab

2 2 同一群落下不同土层土壤酶活性的比较

随土壤深度的增加, 4种群落下多酚氧化酶、碱性磷酸酶和脲酶活性降低, 但云南菅和狗尾草群落下各层土壤多酚氧化酶活性、狗尾草群落下各层土壤碱性磷酸酶活性差异不显著(表 2)。云南菅群落下土壤芳基硫酸酯酶活性也随土壤深度的增加而降低, 但其他群落下该酶活性层间差异不显著。紫茎泽兰和撂荒地下 II 和 IV 层土壤过氧化物酶活性高于 I 和 II 层土壤, 云南菅和狗尾草下土壤各层过氧化物酶差异不显著。随土壤深度的增加, 狗尾草下土壤酸性磷酸酶活性升高, 撂荒地下 IV 层土壤该酶活性最高, I 层次之, II 和 III 层最低。

2 3 同一土层不同群落下土壤理化因子的比较

紫茎泽兰群落下土壤有机质、全氮、全磷、全钙、水解氮、有效磷含量均较高, 全钾含量较低, 但速效钾含量并不低(表 3)。紫茎泽兰和撂荒地下土壤全镁含量较高, 云南菅群落下全镁含量较低。

紫茎泽兰群落下上层土壤容重较低, 但与其他群落差异不显著。云南菅和紫茎泽兰群落下 pH 值较高。撂荒地下土壤含水量较低。

2 4 同一群落下不同土层土壤理化因子的比较

土壤深度对各土壤理化因子影响显著(表 3), 随土层的加深, 有机质、全氮、全磷、全钙、水解氮、有效磷、速效钾显著降低, 但全钾含量却升高, 全镁、含水量的层间变化趋势明显, 容重略有递增趋势。各群落 pH 值均在 5~6 之间, 随土壤深度的增加略有降低。

2 5 土壤酶活性与土壤理化因子的相关性

过氧化物酶、芳基硫酸酯酶、碱性磷酸酶和脲酶活性与土壤多数理化因子存在显著或极显著相关性。多酚氧化酶活性只与全氮、全镁含量和土壤含水量、土壤容重、pH 值存在显著相关性。酸性磷酸酶活性与土壤养分含量的相关性较差(表 4)。

表 4 土壤酶活性与理化因子间的相关系数
Table 4 Correlation coefficient between soil enzyme activities and soil physical and chemical factors

变量 Variable	多酚氧化酶 Polyphenol oxidase (mg GA g ⁻¹ h ⁻¹)	过氧化物酶 Peroxidase (mg GA g ⁻¹ h ⁻¹)	芳基硫酸酯酶 Arylsulphatase (mg p-NP g ⁻¹ h ⁻¹)	碱性磷酸酶 Alkaline phosphatase (mg p-NP g ⁻¹ h ⁻¹)	酸性磷酸酶 Acid phosphatase (mg p-NP g ⁻¹ h ⁻¹)	脲酶 Urease (mg NH ₄ ⁺ -N g ⁻¹ d ⁻¹)
有机质 Organic matter (g•kg ⁻¹)	0.211	-0.415*	-0.448*	0.709*	-0.121	0.684*
全氮 Total N (g•kg ⁻¹)	0.285*	-0.448*	-0.360*	0.741*	-0.018	0.724*
全磷 Total P (g•kg ⁻¹)	0.040	-0.360*	0.352*	0.596*	0.036	0.557*
全钾 Total K (g•kg ⁻¹)	0.087	0.352*	-0.360*	-0.515*	-0.245	-0.371*
全钙 Total Ca (g•kg ⁻¹)	0.078	-0.360*	0.374*	0.603*	0.059	0.600*
全镁 Total Mg (g•kg ⁻¹)	-0.634*	0.374*	-0.474*	-0.293*	-0.247	-0.061
水解氮 Hydrolytic N (mg•kg ⁻¹)	0.254	-0.474*	-0.440*	0.670*	-0.027	0.662*
有效磷 Active P (mg•kg ⁻¹)	0.150	-0.440*	-0.114	0.618*	-0.136	0.694*
速效钾 Active K (mg•kg ⁻¹)	0.182	-0.114	-0.145	0.641*	0.173	0.604*
含水量 Water content (%)	0.317*	-0.145	0.200	0.448*	0.178	0.252
容重 Bulk density (g/cm ³)	-0.289*	0.200	-0.163	-0.536*	-0.135	-0.572*
pH 值 pH value	0.477*	-0.122	-0.415*	0.309*	0.089	0.303*

* 和 * * 分别表示在 0.05 和 0.01 水平上相关显著 (Pearson 相关分析, 2-tailed)
* and * * indicate significant correlations at 0.05 and 0.01 level respectively (Pearson correlation, 2-tailed)
© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

3 讨论

磷酸酶可以将土壤中的有机磷转化为自由离子,供植物吸收利用,对土壤中磷的代谢有重要的作用。脲酶与土壤中有机态氮的转化有关,其活性直接影响着土壤氮素的有效性^[25]。紫茎泽兰群落下较高的碱性磷酸酶和脲酶活性(表 2)与其较高的有效磷和水解氮含量(表 3)是一致的,这两种酶活性与多种土壤养分含量显著相关(表 4),可作为表征土壤肥力水平的因子。紫茎泽兰群落下有机质、全氮、全磷、全钙、有效磷、水解氮等含量均高于其他群落(表 3),全钾含量低于其他群落,但土壤中植物可直接利用的速效钾含量并不低,对此我们还能作出很好的解释,推测这可能与紫茎泽兰植株高的钾含量^[26]有关,土壤中较多的全钾被转换成速效钾,之后被植物吸收利用。云南营和紫茎泽兰群落下土壤 pH 值较高,表明其凋落物分解产生的酸性物质较少,有利于土壤酶的作用,利于植物对养分的吸收,因为土壤过度酸化,将会使土壤理化性质变劣,不利于土壤养分的保存和积累^[27]。在紫茎泽兰入侵之前,实验地点均为天然草地,土壤肥力差异可能不大,加之样方面积较大,样方间相距较远(见方法部分),可以排除潜在的土壤养分异质性的影响。因此,我们认为群落间土壤养分的差异是由群落物种的不同造成的,紫茎泽兰群落下高的土壤养分含量是其入侵的结果。

不同群落下土壤肥力的差异可能与凋落物的质和量有关,因为土壤有机质是土壤中各营养元素,特别是 N、P 的重要来源,并且是土壤微生物不可缺少的碳源。紫茎泽兰群落植株密度大、生物量高,根茎叶养分含量高^[20 26],凋落物多,这可能是其高土壤肥力的部分原因。土壤酶活性和理化因子在土层间的变化为上述推测提供了部分证据。土壤表层有机质含量较高,碱性磷酸酶、脲酶活性,以及土壤养分含量亦较高,随土层的加深,土壤有机质含量降低,土壤酶活性和养分含量亦降低(表 3)。

与我们的研究结果不同,赵国晶和马云萍发现紫茎泽兰入侵后导致土壤肥力降低,这种差异可能与紫茎泽兰入侵时间长短有关,紫茎泽兰群落形成时间较短,群落建成时消耗大量养分,而通过凋落物分解归还土壤的养分较少,导致土壤肥力下降^[20]。而我们研究的紫茎泽兰群落形成时间较长,凋落物增加,土壤有机质含量增多,养分循环速

度加快,土壤肥力提高。于兴军等也发现随着紫茎泽兰入侵的加剧土壤有效性 N、P 和 K 含量升高^[7]。可见,入侵的不同时期紫茎泽兰对土壤养分的影响不同。

一般认为土壤养分增加利于外来物植物入侵^[28]。紫茎泽兰喜生肥沃生境^[29],随土壤氮、磷水平增加紫茎泽兰生长加快,枝叶增多^[30 31],能通过荫蔽作用排挤本地种^[32]。可见紫茎泽兰入侵导致的土壤养分增加利于其入侵。研究表明,紫茎泽兰入侵可以导致土壤化感物质积累、微生物群落变化,创造有利于其入侵的土壤环境^[7 19]。基于此,我们认为紫茎泽兰与土壤的正反馈作用可能是其成功入侵的原因之一。

参 考 文 献

1 Keane RM, Michael JC. Exotic plant invasions and the enemy release hypothesis [J]. Trends Ecol Evol 2002, 17 (4): 164– 170

2 Lake J C, Michelle R L. Invasion success of exotic plants in natural ecosystems: the role of disturbance, plant attributes and freedom from herbivores [J]. Biol Conserv 2004, 117: 215– 226

3 Kourtev P S, Ehrenfeld J G, Håggblom M. Experimental analysis of the effect of exotic and native plant species on the structure and function of soil microbial communities [J]. Soil Biol Biochem, 2003, 35: 895– 905

4 D' Antonio C, Vitousek P. Biological invasions by exotic grasses: the grassfire cycle and global change [J]. Annu Rev Ecol Syst 1992, 23: 63– 87.

5 Dukes J S, Mooney H A. Does global change increase the success of biological invaders? [J]. Trends Ecol Evol 1999, 14: 135– 139

6 Callaway RM, Thelen G C, Rodriguez A, et al. Soil biota and exotic plant invasion [J]. Nature 2004, 427: 731– 733

7 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

8 Vitousek P M. Biological invasion by *Myrica faya* alters ecosystem development in Hawaii [J]. Science 1987, 238: 802– 804

9 Vitousek P M, Walker L R. Biological invasion by *Myrica faya* alters ecosystem development in Hawaii: plant demography, nitrogen fixation, ecosystem effects [J]. Ecol Monogr 1989, 59(3): 247– 265

10 杜昱光, 张宝琛. 生化他感效应对土壤氮素影响的研究 [J]. 草业科学, 1996, 13(5): 65– 67.

11. 薛敬意, 黄建国. 黄竹侵入对热带林地土壤养分的影响 [J]. 东北林业大学学报, 2002, 30(5): 27-31.
12. Perry D A, Amaranthus M P, Borchers J G, et al Bootstrap-ping in Ecosystem [J]. Bioscience, 1989, 39: 230-237.
13. Behar J, Phillips S L. Soil biota in an ungrazed grassland response to annual grass (*Bromus tectorum*) invasion [J]. Ecol Appl, 2001, 11: 1261-1275.
14. Kourtev P S, Ehrenfeld J G, Huang W Z. Effects of exotic plant species on soil properties in hardwood forest of New Jersey [J]. Water Air Soil Pollut, 1998, 105: 493-501.
15. Kourtev P S, Huang W Z, Ehrenfeld J G. Differences in earthworm densities and nitrogen dynamics in soil under exotic and native plant species [J]. Biol Invasions, 1999, 1: 237-245.
16. Kourtev P S, Ehrenfeld J G, Huang W Z. Enzyme activities during litter decomposition of two exotic and two native plant species in hardwood forest of New Jersey [J]. Soil Biol Biochem, 2002a, 34: 1207-1218.
17. Ehrenfeld J G, Scott N. Invasive species and the soil effects on organisms and ecosystem processes [J]. Ecol Appl, 2001, 11: 1259-1260.
18. Ehrenfeld J G. Effects of exotic plant invasions on soil nutrient cycling processes [J]. Ecosystems, 2003, 6: 503-523.
19. Tian Y H, Feng Y L, Liu C. Long-term effects of soil remaining allelochemicals of *Ageratina adenophora*, a noxious invasive species, on seed germination, plant growth and photosynthesis in two native forbs and two introduced pasture grasses [J]. Tropical Grasslands in press.
20. 赵国晶, 马云萍. 云南省紫茎泽兰的分布与危害的调查 [J]. 杂草学报, 1989, 3(2): 37-40.
21. 夏忠敏, 金星, 刘昌权. 紫茎泽兰在贵州的发生危害情况及防除对策 [J]. 植保技术与推广, 2002, 22(12): 34-35.
22. 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.
23. 郑洪元, 张德生. 土壤动态生物化学研究法 [M]. 北京: 科学出版社, 1982: 180-182, 188-193, 268-269.
24. 闵九康, 郝心仁, 严慧峻, 等. 土壤分析法 [M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1991: 587-601.
25. 雷瑞德, 党坤良, 张硕新, 等. 秦岭南坡中山地带华北落叶松人工林对土壤的影响 [J]. 林业科学, 1997, 33(5): 463-470.
26. 汪禄祥, 刘家富, 束继红, 等. 有害杂草的微量元素分析 [J]. 广东微量元素科学, 2002, 9(6): 68-71.
27. Mccoll J G, Firestone M K. Soil chemical and microbial effect of simulated acid rain on clover and soft chess [J]. Water Air and Soil Pollution, 1991, 60(3-4): 301-313.
28. Daehler C C. Performance comparisons of co-occurring natives and alien invasive plants: Implications for conservation and restoration [J]. Annu Rev Ecol Syst, 2003, 34: 183-211.
29. 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.
30. 王满莲, 冯玉龙. 紫茎泽兰和飞机草的形态、生物量分配和光合特性对氮营养的响应 [J]. 植物生态学报, 2005, 29(5): 697-705.
31. 王满莲, 冯玉龙, 李新. 紫茎泽兰和飞机草的形态、生物量分配和光合特性对氮营养的响应 [J]. 应用生态学报, 2006, 17(4): 602-606.
32. Feng Y L, Wang J F, Sang W G. Biomass allocation morphology and physiology of invasive and noninvasive exotic species grown at four irradiance levels [J]. Acta Oecologica, 2007, 31: 40-47.