

杨国庆,郭 娇,桂富荣.紫茎泽兰的化感物质对土壤有效磷含量和巨大芽孢杆菌生长的影响[J].江苏农业科学,2014,42(12):137-140.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2014.12.046

紫茎泽兰的化感物质对土壤有效磷含量和巨大芽孢杆菌生长的影响

杨国庆¹,郭 娇¹,桂富荣²

(1.扬州大学园艺与植物保护学院,江苏扬州 225009; 2.云南农业大学植物保护学院,云南昆明 650201)

摘要:紫茎泽兰是我国重要的入侵杂草,在室内条件下研究了紫茎泽兰根际的 4 种化感物质[邻苯二甲酸(2-乙基)己酯(DEHP)、邻苯二甲酸二丁酯(DBP)、泽兰二酮(DTD)和羟基泽兰酮(HHO)]对其根际土壤有效磷含量和巨大芽孢杆菌种群生长的影响。结果表明:4 种化感物质均可促进解磷细菌巨大芽孢杆菌的生长,主要表现在种群环境容量和内禀增长力的增加;无化感物质处理时,紫茎泽兰入侵地土壤的有效磷含量高于未入侵地。用 4 种化感物质处理紫茎泽兰入侵地土壤后,其有效磷含量又有不同程度的增加,其中 DBP 在低浓度、DTD 在中高浓度下的促进作用与对照相比达显著水平。结果说明紫茎泽兰的化感物质具有“双面性”作用,除了可以抑制排挤本地伴生植物外,还能促进解磷细菌生长以提高入侵地土壤的有效磷含量;研究结果为深入阐释紫茎泽兰入侵后土壤营养环境变化的机理奠定了基础。

关键词:紫茎泽兰;化感物质;有效磷;巨大芽孢杆菌;土壤营养

中图分类号:S451 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2014)12-0137-04

紫茎泽兰(*Ageratina adenophora* Spreng)是我国重要的入侵杂草,可造成严重的经济损失和生态破坏^[1-3]。紫茎泽兰入侵扩张的机理成为了该杂草控制基础研究的热点问题之一^[4],其中一些研究指出,化感作用在紫茎泽兰入侵成为单种优势种群的过程中起着非常重要的作用^[5-7],并且紫茎泽兰的主要化感物质及其作用机理已被发现和证实^[7-10]。一般来说,入侵植物对本地植物不利的化感作用主要表现为直接和间接作用,即一方面通过化感物质对受体植物的直接接触而产生的抑制效应;另一方面也通过改变土壤环境而不利本地植物生长,且后者在植物群落演替中的作用更为持久^[11]。相关研究表明,紫茎泽兰重度入侵地根际土壤营养和微生物群落均发生了明显变化,且改变后的土壤环境对紫茎泽兰自身的生长有利,而对伴生植物生长不利,呈现入侵的“反馈促进效应”^[12],在其他一些外来植物的研究中也发现了相似的结论^[13-14]。但是,关于紫茎泽兰入侵后土壤环境的改变是否由于其化感物质所造成还不得而知。因此,笔者假设,紫茎泽兰的化感物质具有生态功能的“双面性”,即化感物质在抑制排挤本地伴生植物的同时,还可以活化土壤营养以促进自身种群生长。研究结果对揭示类似紫茎泽兰的很多外来植物入侵的后适应性机制将起到一定的理论指导意义。

磷是植物生长发育的重要营养元素之一,在细胞内的代谢和物质转运过程中具有重要作用,其含量高低对一些入侵

植物与伴生植物之间的竞争平衡有着明显的影响^[15]。如上所述,紫茎泽兰入侵后土壤营养和微生物群落发生了明显的变化,尤其是解磷细菌和有效磷含量明显增加^[6,12,16],类似的现象在北美入侵植物矢车菊中也存在^[17]。实际上,土壤中能够分解磷素的微生物很多,其中芽孢杆菌属中的巨大芽孢杆菌(*Bacillus megaterium*)被发现是一种高效的解磷细菌,且在一些地区土壤中含丰富,包括紫茎泽兰入侵的地区^[18-20]。如果紫茎泽兰的化感物质有利于该细菌的生长,将为阐明紫茎泽兰入侵后土壤营养环境变化的机理提供一条科学线索。为此,本研究探讨了紫茎泽兰的 4 种化感物质对其根际土壤有效磷含量和巨大芽孢杆菌种群生长的影响。

1 材料与方法

1.1 试验材料

化感物质:试验选择的 4 种紫茎泽兰化感物质分别为邻苯二甲酸(2-乙基)己酯(DEHP)、邻苯二甲酸二丁酯(DBP)、泽兰二酮(DTD)、羟基泽兰酮(HHO)。其中前 3 种为紫茎泽兰根系分泌的化感物质^[10],DTD 和 HHO 为紫茎泽兰淋溶途径的化感物质^[7],且它们在紫茎泽兰根际土壤中被有效检测到。DEHP 和 DBP 购自西格玛公司,DTD 和 HHO 根据 Yang 等的方法^[7]从紫茎泽兰植株中提取获得。

土壤采自云南省昆明市北郊黑龙潭公园附近山坡撂荒地(25°08'N,102°45'E),主要土壤类型为红壤。选择紫茎泽兰覆盖率达 90% 以上地点,采集 1 kg 紫茎泽兰根际土壤作为入侵土,同时选择周边无紫茎泽兰生长的地区采集 1 kg 土壤作为未入侵土,将采集的土样阴干并过 20 目筛除去杂物和植物根系,放在 -20℃ 冰箱备用。

巨大芽孢杆菌购自河南省鹤壁市百惠生物科技有限公司。

收稿日期:2014-08-09

基金项目:国家自然科学基金(编号:30900952);高等学校博士学科点专项科研基金博导类资助课题(编号:20115302110003)。

作者简介:杨国庆(1978—),男,江苏南京人,博士,副教授,从事外来生物入侵研究。E-mail:gyqyang@yzu.edu.cn。

通信作者:桂富荣,博士,教授,从事外来生物入侵研究。E-mail:guifr@ynau.edu.cn。

1.2 4 种化感物质对 2 种类型土壤有效磷含量的影响

将 4 种化感物质用甲醇配成 3 个浓度:10、50、100 mg/L, 分别加 1 mL 到培养皿(直径 10 cm)中,对照仅加 1 mL 甲醇,待培养皿内甲醇挥发干后,分别加入 30 g 入侵土和未入侵土,再添加 1 mL 水搅拌,后用 Parafilm 膜封住培养皿,在室温下置于黑暗处。每个处理 5 次重复,处理后 14 d(2 周),采用 Na_2HCO_3 法^[21]对土壤内有效磷进行测定。

1.3 4 种化感物质对巨大芽孢杆菌增长的影响

参考王金玲等的方法^[22],将巨大芽孢杆菌培养待用。分别从溶于甲醇的母液(1 000 mg/L)中取一定量的 4 种化感物质,添加到 50 mL 发酵培养液(含 2% 菌种)中,配置成 3 个处理浓度 2、10、50 mg/L,以添加甲醇为对照,每个处理 5 次重复。混匀后,分别从处理液中取 300 μL 加入全自动生长曲线分析仪(芬兰 Bioscreen)蜂窝板内,在 30 $^{\circ}\text{C}$ 下培育 48 h,每 3 h 测定 1 次读数,检测波长为 600 nm。

1.4 数据分析

采用 DPS v7.05 软件对数据进行方差分析,组内多重比较采用 Fisher's PLSD 法。应用 SigmaPlot 10.0 软件对巨大芽孢杆菌生长数据进行逻辑斯蒂模型拟合。

2 结果与分析

2.1 4 种化感物质对 2 种类型土壤有效磷含量的影响

由图 1 可见,没有化感物质处理时,紫茎泽兰入侵土壤的有效磷含量显著高于未被入侵土壤的。而几种化感物质在不同浓度下分别处理 2 种类型土壤 2 周后,未入侵土壤中有效磷含量稍有变化,但与对照相比均差异不显著。在紫茎泽兰的入侵根际土中,DBP 处理在低浓度(10 mg/L)下显著促进了土壤有效磷含量的增加,而在高浓度(100 mg/L)处理中有效磷含量明显下降;DTD 处理入侵土中,随着处理浓度增加,有效磷含量呈明显上升趋势。

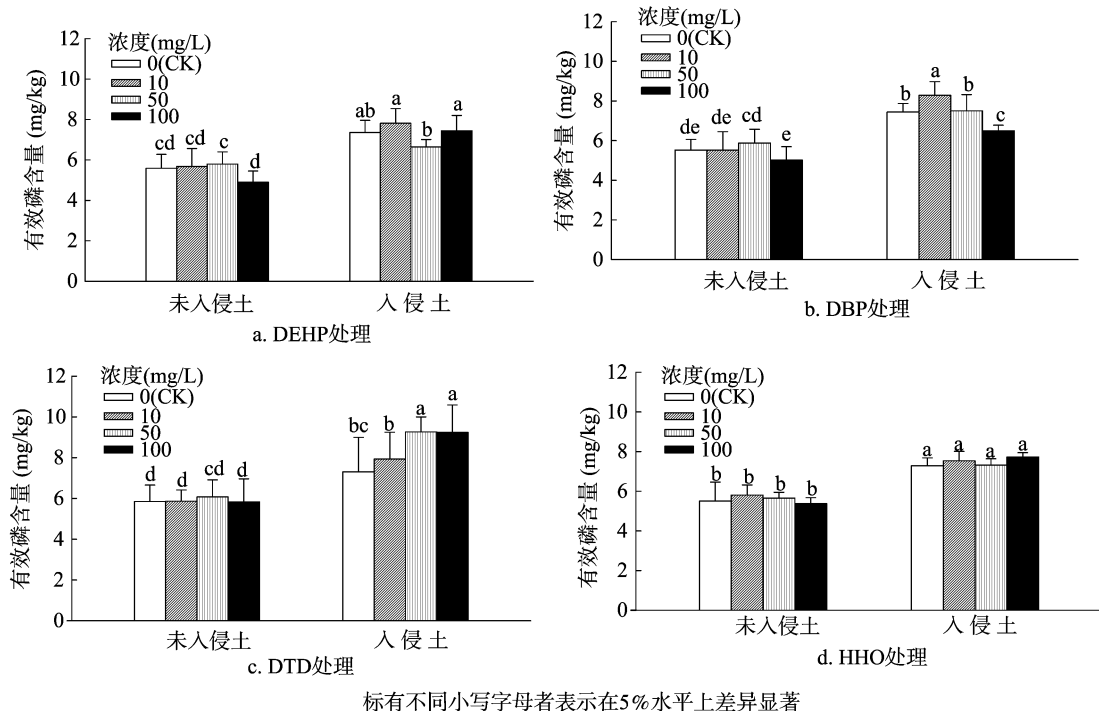


图1 4种化感物质处理对紫茎泽兰入侵土和未入侵土中有效磷含量的影响

2.2 4 种化感物质对巨大芽孢杆菌增长的影响

用 4 种紫茎泽兰化感物质处理后,巨大芽孢杆菌均出现了不同程度的增长(图 2),并且菌量在不同处理时间和处理浓度之间差异显著,在 DEHP 处理中处理时间和浓度的交互作用影响极显著(表 1)。数学模型分析表明,巨大芽孢杆菌的种群增长均符合逻辑斯蒂生长模型(表 2),对几种处理下的模型方程比较可见,与对照相比,除了 DBP 的高浓度(50 mg/L)和低浓度(2 mg/L)处理外,其余处理中巨大芽孢杆菌种群增长的环境容量均有所增加,其中 DEHP 和 HHO 高浓度处理后的环境容量比对照分别增加了 23.5%、20.0%,且在大部分低、中浓度化感物质处理中,巨大芽孢杆菌增长的内禀增长力均高于对照。可见除了有些 DBP 浓度条件外,4 种化感物质的处理大多明显促进了巨大芽孢杆菌的增长。

3 结论与讨论

由本研究结果可知,紫茎泽兰入侵地相比其周围未入侵地的有效磷含量明显要高,这与近年来的一些报道结果^[5,12,23-24]相符,且有研究证实,紫茎泽兰重度入侵地区的解磷细菌含量显著高于未被入侵地区^[16],这应该是入侵地土壤比未入侵地土壤有效磷含量高的一个主要原因。在被紫茎泽兰几种化感物质处理后,未入侵地区土壤中有效磷含量变化不明显,而紫茎泽兰入侵的土壤中有些处理出现了有效磷含量的明显增加,如 DBP 和 DTD 处理。同时,本研究中巨大芽孢杆菌测定结果表明,4 种化感物质的大部分处理显著促进了该解磷细菌的增长。这形成了很好的对映,即紫茎泽兰的化感物质在较高解磷细菌含量的土壤中更能明显促进有效磷含量的增加。入侵地相对高含量的解磷菌也将消耗更多的化

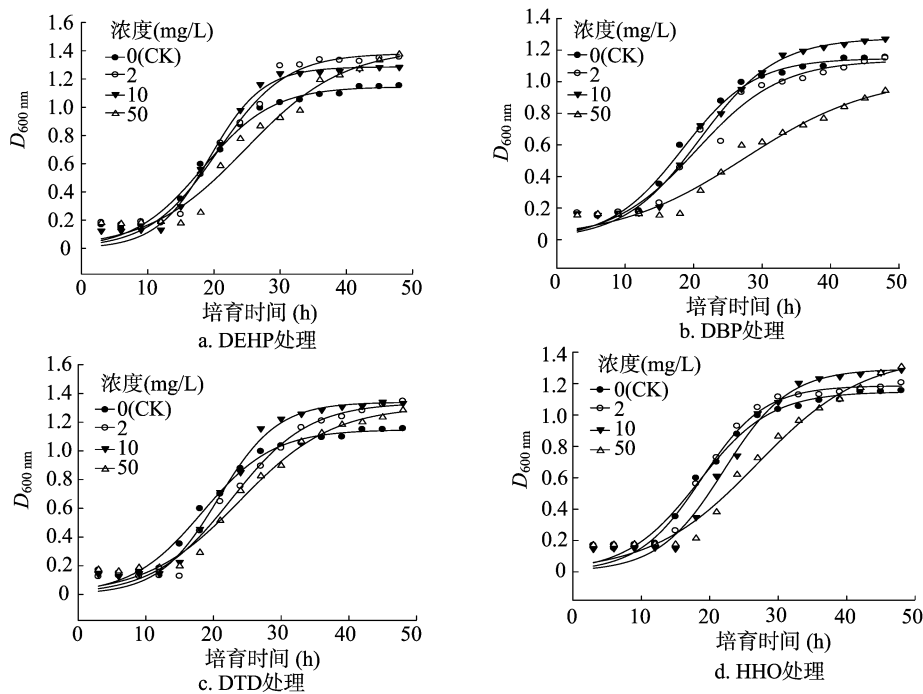


图2 4种化感物质处理对巨大芽孢杆菌生长量的影响

表 1 4 种化感物质处理对紫茎泽兰入侵土和未入侵土中有效磷含量以及巨大芽孢杆菌生长影响的方差分析

化感物质	有效磷			巨大芽孢杆菌		
	变异来源	F 值	P 值	变异来源	F 值	P 值
DEHP	TS	103.30	<0.001	TT	475.97	<0.001
	AC	6.83	<0.001	AC	24.87	<0.001
	TS × AC	2.27	0.095	TS × AC	3.99	<0.001
DBP	TS	90.03	<0.001	TT	91.38	<0.001
	AC	1.89	0.147	AC	39.37	<0.001
	TS × AC	3.55	0.023	TS × AC	1.27	0.133
DTD	TS	62.63	<0.001	TT	169.63	<0.001
	AC	2.63	0.063	AC	6.50	<0.001
	TS × AC	2.08	0.118	TS × AC	1.19	0.208
HHO	TS	179.64	<0.001	TT	128.72	<0.001
	AC	0.67	0.574	AC	6.42	0.003
	TS × AC	1.28	0.294	TS × AC	1.27	0.133

注:表中 TS 为土壤类型,AC 为化感物质浓度,TT 为处理时间。

表 2 4 种化感物质处理下巨大芽孢杆菌的生长曲线方程

化感物质	处理浓度			
	CK	2 mg/L	10 mg/L	50 mg/L
DEHP	$y = \frac{1.15}{1 + e^{3.51 - 0.19t}}$ $r = 0.99, P < 0.001$	$y = \frac{1.38}{1 + e^{4.01 - 0.19t}}$ $r = 0.99, P < 0.001$	$y = \frac{1.29}{1 + e^{4.81 - 0.25t}}$ $r = 0.99, P < 0.001$	$y = \frac{1.42}{1 + e^{3.37 - 0.14t}}$ $r = 0.99, P < 0.001$
DBP	$y = \frac{1.15}{1 + e^{3.51 - 0.19t}}$ $r = 0.99, P < 0.001$	$y = \frac{1.14}{1 + e^{3.34 - 0.16t}}$ $r = 0.99, P < 0.001$	$y = \frac{1.28}{1 + e^{3.76 - 0.18t}}$ $r = 0.99, P < 0.001$	$y = \frac{1.05}{1 + e^{2.94 - 0.11t}}$ $r = 0.99, P < 0.001$
DTD	$y = \frac{1.15}{1 + e^{3.51 - 0.19t}}$ $r = 0.99, P < 0.001$	$y = \frac{1.34}{1 + e^{4.00 - 0.18t}}$ $r = 0.99, P < 0.001$	$y = \frac{1.34}{1 + e^{4.74 - 0.23t}}$ $r = 0.99, P < 0.001$	$y = \frac{1.31}{1 + e^{3.50 - 0.15t}}$ $r = 0.99, P < 0.001$
HHO	$y = \frac{1.15}{1 + e^{3.51 - 0.19t}}$ $r = 0.99, P < 0.001$	$y = \frac{1.19}{1 + e^{4.09 - 0.22t}}$ $r = 0.99, P < 0.001$	$y = \frac{1.19}{1 + e^{4.64 - 0.21t}}$ $r = 0.99, P < 0.001$	$y = \frac{1.38}{1 + e^{3.47 - 0.13t}}$ $r = 0.99, P < 0.001$

感物质,而这对于减少入侵地紫茎泽兰种群内部的自毒作用明显是有利的。笔者最近的研究结果也发现,重度入侵地土壤中紫茎泽兰的化感物质降解速率明显高于轻度入侵地土壤(数据待发表),说明紫茎泽兰的这些根际化感物质确实起到了入侵后活化土壤营养的功能,这为阐释紫茎泽兰入侵后种群的自我密度调控和营养活化机制的分析提供了依据。

实际上,外来植物入侵后土壤营养成分的增加应该是一个相对漫长的过程^[11]。本研究所用化感物质处理的中高浓度应该高于土壤实际含量,这应该是短期内(2周)土壤有效磷含量显著增加的原因之一,其中的内在机制除了本研究所证实的巨大芽孢杆菌的增加以外,还涉及到很多因素。一方面,入侵植物根际有效磷含量的增加与根系分泌物的螯合作用有关,如矢车菊根系化感物质儿茶素可以通过对钙的螯合作用限制钙磷化合物的沉积而促进有效磷的增加^[17],是否紫茎泽兰的化感物质也存在此螯合效应有待于进一步研究;另一方面,土壤中能够分解磷的微生物很多,包括细菌、真菌和放线菌,其中以解磷细菌所占比例最大^[25],已有报道的解磷细菌如芽孢杆菌、假单胞菌属、土壤杆菌等。除本研究的巨大芽孢杆菌外,可能这几种化感物质对其他解磷细菌也有促进或者抑制效应。结合本研究结果,虽然4种化感物质对巨大芽孢杆菌都呈现出不同的促进作用,但从土壤有效磷含量变化的结果来看,仅有2种化感物质表现出显著的促进作用,另外2种化感物质(DEHP、HHO)处理虽然也一定程度上有促进有效磷增加的现象,但并不明显。这表明在自然环境条件下,几种化感物质对巨大芽孢杆菌的促进生长并非如室内培育条件下那么持续和明显,而且其他解磷微生物可能在这一过程中起着不同的作用,这些内在联系的机制还需要进一步野外监测和检验。

参考文献:

- [1] 马 沙,高 熹,陈春梅,等. 重金属铅锌镉对紫茎泽兰种子萌发及幼苗根长的影响[J]. 杂草科学,2012,30(4):16-20.
- [2] 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,1998,16(4):366-372.
- [3] 胡楚娇,王崇云,和兆荣,等. 基于 DPPH 法对紫茎泽兰提取物抗氧化活性的研究[J]. 杂草科学,2013,31(4):9-12.
- [4] Wan F H, Liu W X, Guo J Y, et al. Invasive mechanism and control strategy of *Ageratina adenophora* [J]. Science China: Life Sciences, 2010, 53(11):1291-1298.
- [5] Baruah N C, Sarma J C, Sarma S, et al. Seed germination and growth inhibitory cadinenes from *Eupatorium adenophorum* Spreng [J]. Journal of Chemical Ecology, 1994, 20(8):1885-1892.
- [6] Yu X J, Yu D, Lu Z J, et al. A new mechanism of invader success: Exotic plant inhibits natural vegetation restoration by changing soil microbe community [J]. Chinese Science Bulletin, 2005, 50(11):1105-1112.
- [7] 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):237-245.
- [8] Yang G Q, Wan F H, Liu W X, et al. Influence of two allelochemicals from *Ageratina adenophora* Sprengel on ABA, IAA and ZR contents in roots of upland rice seedlings [J]. Allelopathy Journal, 2008, 21(2):253-262.
- [9] Yang G Q, Wan F H, Guo J Y, et al. Cellular and ultrastructural changes in the seedling roots of upland rice (*Oryza sativa*) under the stress of two allelochemicals from *Ageratina adenophora* [J]. Weed Biology and Management, 2011, 11(3):152-159.
- [10] Yang G Q, Qiu W R, Jin Y N, et al. Potential allelochemicals from root exudates of invasive *Ageratina adenophora* [J]. Allelopathy Journal, 2013, 32(2):233-241.
- [11] Inderjit, Weiner J. Plant allelochemical interference or soil chemical ecology? [J]. Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics, 2001, 4(1):3-12.
- [12] Niu H B, Liu W X, Wan Fang Hao, et al. An invasive aster (*Ageratina adenophora*) invades and dominates forest understories in China: altered soil microbial communities facilitate the invader and inhibit natives [J]. Plant and Soil, 2007, 294(1/2):73-85.
- [13] Eppinga M B, Rietkerk M, Dekker S C, et al. Accumulation of local pathogens: a new hypothesis to explain exotic plant invasions [J]. Oikos, 2006, 114(1):168-176.
- [14] Mangla S, Inderjit, Callaway R M. Exotic invasive plant accumulates native soil pathogens which inhibit native plants [J]. Journal of Ecology, 2008, 96(1):58-67.
- [15] Suding K N, Lejeune K D, Seastedt T R. Competitive impacts and responses of an invasive weed: dependencies on nitrogen and phosphorus availability [J]. Oecologia, 2004, 141(3):526-535.
- [16] 戴 莲,李会娜,蒋智林,等. 外来植物紫茎泽兰入侵对根际土壤有益功能细菌群、酶活性和肥力的影响 [J]. 生态环境学报, 2012, 21(2):237-242.
- [17] Thorpe A S, Archer V, Deluca T H. The invasive forb, *Centaurea maculosa*, increases phosphorus availability in Montana grasslands [J]. Applied Soil Ecology, 2006, 32(1):118-122.
- [18] 吴海燕,金荣德,范作伟,等. 解磷巨大芽孢杆菌(*Bacillus megaterium*)的溶磷机理探讨 [J]. 吉林农业大学学报, 2014, 36(2):171-175.
- [19] 季秀玲,杨琳琳,李 波,等. 云南省富宁磁铁矿区可培养细菌多样性初步研究 [J]. 中国微生物学杂志, 2014, 26(3):269-273.
- [20] 胡容平,邓香洁,龚国淑,等. 成都市郊区土壤芽孢杆菌的解磷、解钾潜力 [J]. 四川农业大学学报, 2008, 26(2):167-169.
- [21] 赵兰珍,任 怡,阎孝贡,等. 测定土壤有效磷的 Olsen 法和 Bray 法可行性比较 [J]. 吉林农业科学, 1985(2):61-64.
- [22] 王金玲,刘晓平,赵凤艳,等. 解磷巨大芽孢杆菌液体发酵培养条件的优化 [J]. 中国农学通报, 2013, 29(15):68-72.
- [23] 牛红榜,刘万学,万方浩. 紫茎泽兰(*Ageratina adenophora*)入侵对土壤微生物群落和理化性质的影响 [J]. 生态学报, 2007, 27(7):3051-3060.
- [24] 刘 潮,冯玉龙,田耀华. 紫茎泽兰入侵对土壤酶活性和理化因子的影响 [J]. 植物研究, 2007, 27(6):729-735.
- [25] 黄 敏,吴金水,黄巧云,等. 土壤磷素微生物作用的研究进展 [J]. 生态环境, 2003, 12(3):366-370.