

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1787.2019.01.009

丛枝菌根真菌对紫茎泽兰生长与繁殖的影响

宋洁蕾¹, 李 胜², 林 莹¹, 罗石文¹, 段艳茹¹, 桂富荣^{1,3*}
¹云南农业大学植物保护学院, 云南省生物资源保护与利用国家重点实验室, 云南 昆明 650201;
²广西田园生化股份有限公司, 广西 南宁 530007; ³云南省高原特色农业产业研究院, 云南 昆明 650201

摘要:【目的】紫茎泽兰是一种世界性的恶性入侵杂草, 侵入我国后迅速扩散至多个省市, 严重阻碍了当地农、林、牧业的发展。研究丛枝菌根真菌对紫茎泽兰生长和繁殖的影响, 解析土壤中丛枝菌根真菌在紫茎泽兰入侵、传播和扩散过程中的作用, 能为开展紫茎泽兰防控工作提供参考。【方法】通过盆栽实验, 测定接种丛枝菌根真菌的紫茎泽兰株高、叶片数、总叶面积、节间距、地径, 并统计单株花序数、单花序种子量、种子量、种子千粒重、含水率、发芽率、发芽势、发芽指数等。【结果】丛枝菌根真菌对紫茎泽兰的株高、地径有极显著影响 ($P<0.01$), 接种丛枝菌根真菌后, 紫茎泽兰的单株花序数、单花序种子数、总种子量分别增加了 5.03、1.51、7.64 倍; 种子的长度、宽度、含水率、发芽率、发芽势、发芽指数分别增加了 15.24%、23.08%、19.46%、29.22%、391.01%、183.56% ($P<0.05$)。【结论】丛枝菌根真菌可显著促进紫茎泽兰生长, 控制丛枝菌根真菌的数量可有效抑制紫茎泽兰生长, 并抑制紫茎泽兰花序数、种子量及种子的生命力, 降低其扩散蔓延速度。
关键词: 紫茎泽兰; 丛枝菌根真菌; 生长; 繁殖

Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on the growth and reproduction of *Ageratina adenophora*

SONG Jielei¹, LI Sheng², LIN Ying¹, LUO Shiwen¹, DUAN Yanru¹, GUI Furong^{1,3*}
¹State Key Laboratory of Conservation and Utilization of Biological Resources of Yunnan, College of Plant Protection, Yunnan Agricultural University, Kunming, Yunnan 650201, China; ²Guangxi Tianyuan Biochemical Co., Ltd, Nanning, Guangxi 530007, China; ³Yunnan Plateau Characteristic Agriculture Industry Research Institute, Kunming, Yunnan 650201, China

Abstract: 【Aim】*Ageratina adenophora* is a noxious invasive weed. After invading China, it spread rapidly to many provinces and cities, which greatly hindered the development of local agriculture, forestry and animal husbandry. We studied the effects of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) on the growth and reproduction of *A. adenophora*. 【Method】Plant height, number of leaves, total leaf area, internode spacing, basal diameter, anthotaxy amount, seed number per anthotaxy, total seed number, 1000 grain weight, and moisture content of *A. adenophora* inoculated with AMF were measured in a controlled indoor experiment. 【Result】The results showed that AMF highly significant affected plant height and ground diameter of *A. adenophora* ($P<0.01$). After inoculation with AMF, the number of heads, single inflorescences, and total seeds number of *A. adenophora* increased by 5.03, 1.51 and 7.64 times, respectively. Seedling length and width, moisture content, germination rate, germinability, germination index of *A. adenophora* increased by 15.24%, 23.08%, 19.46%, 29.22%, 391.01% and 183.56%, respectively ($P<0.05$). 【Conclusion】The results indicated that inoculation of AMF significantly promoted the growth of *A. adenophora*. Controlling the number of AMF can effectively inhibit the growth of *A. adenophora* and affect the flowering and seeding of *A. adenophora* seeds and the vitality of seeds, which may be important for the rapid spread of *A. adenophora*.
Key words: *Ageratina adenophora*; arbuscular mycorrhizal fungi; growth; propagation

紫茎泽兰 *Ageratina adenophora* (Sprengel) R. K. H. 是一种繁殖能力强、具群居性、生态适应性广、利用价值低、生长速度快的世界性恶性入侵杂草(尹俊,2006),也是我国外来入侵物种中危害最严重的物种之一(强胜,1998)。紫茎泽兰原产于中美洲的墨西哥与哥斯达黎加地区,后作为园林植物被带入欧洲,随后又被作为观赏植物引入澳洲和亚洲,之后迅速扩散蔓延,现在在热带和亚热带的30多个国家与地区广泛分布(万方浩等,2011)。紫茎泽兰大约于20世纪40年代从中缅边境侵入我国云南,现已广泛分布在我国长江以南各地,其中,云南、四川、广西、贵州、重庆、西藏等地发生较严重。紫茎泽兰可以通过有性和无性2种方式繁殖,但主要以种子繁殖为主。其种子产量高,一株紫茎泽兰每年可产3万~4.5万粒种子,瘦果细小,千粒重仅0.045 g(王银朝等,2005),顶端具冠毛,可随风、水流等传播,萌发率高(杨蓉西,2003)。紫茎泽兰目前仍在以每年大约20 km的速度随季风向内地扩散,严重制约了入侵地的农业、林业、畜牧业的发展,并且对入侵地的生物多样性和自然生态环境也造成了极大影响(万方浩等,2011)。

目前研究发现,在外来植物竞争排斥本地植物入侵机制方面,入侵地的土壤微生物群落在促进外来植物入侵的植物群落演替方面具有重要作用(Callaway *et al.*, 2004; Inderjit & van der Putten, 2010)。菌根真菌在高等植物出现以前就已经同古老的陆生植物形成共生体。丛枝菌根(arbuscular mycorrhiza, AM)也是最早出现的一类菌根类型。丛枝菌根是球囊菌门真菌侵染植物根系形成的共生体,共生体的形成极大提高了植物对环境和生态系统的适应能力,在植物物种形成及进化的过程中扮演着重要角色(石兆勇等,2003)。丛枝菌根真菌(arbuscular mycorrhiza fungi, AMF)可以直接吸收或增强寄主植物根系对水分和营养物质的吸收,增加植物对营养物质的利用效率,调节植物体内酶活性,诱导寄主合成次生代谢物质,改变植物内源激素平衡情况,进而改良植物体内营养和水分状况,促进生长,提高植株的抗旱性、抗病性。不仅如此,AMF还可以促进植物结实量,改善品质(李东彦,2007)。

研究发现,紫茎泽兰可以通过改变土壤微生物群落结构和提高土壤肥力来创造对自身有利的土壤环境,从而形成自我促进的入侵机制(李会娜等,

2009; 牛红榜等,2007; Niu *et al.*, 2007),但AMF对紫茎泽兰的反馈效应亟待全面研究(于文清,2012)。本研究采用室内盆栽接种方法,通过测定分析紫茎泽兰形态分化、生物量等指标,探索接种AMF对紫茎泽兰生长、繁殖的影响,以期为利用菌根控制技术防治紫茎泽兰提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

供试土壤:采自云南农业大学后山无紫茎泽兰和本地杂草生长的红壤土,土壤自然风干后过2 mm网筛,经高温高压灭菌2次(温度121℃、压力0.14 MPa、时长2 h),7 d后,取部分灭菌后的土壤测定基本理化性质:全氮、全磷和全钾含量分别为0.34、1.08、5.42 g·kg⁻¹,碱解氮、速效磷、速效钾含量分别为41.03、9.34、171.75 mg·kg⁻¹,有机质含量8.73 g·kg⁻¹,pH 6.25。另取建筑工地的河沙淘洗干净、烘干后,采用高温高压灭菌2次(温度121℃、压力0.14 MPa、时长2 h)。灭菌的红壤土与灭菌的河沙2/1(V/V)混合后作为供试土备用。塑料花盆洗净后,用75%乙醇溶液浸泡消毒后备用。

供试菌种:参考于文清等(2012)、王鹏鹏等(2015)的研究,选用幼套球囊霉 *Glomus diaphanum* Morton Walker 进行实验。幼套球囊菌购自甘肃省武威市林业综合服务中心,以玉米幼苗纯化、扩繁。

供试植株:紫茎泽兰种子采自云南省昆明市盘龙区茨坝镇,挑选大小一致、颗粒饱满的种子,用10% H₂O₂ 浸泡10 min,再用无菌水冲洗数遍沥干后备用。灭过菌的培养土装至育苗盘的2/3处,将种子撒播于培养土表面,再均匀覆盖一层1 cm的培养土,苗期每隔2周浇50% Hoagland 营养液100 mL。接种实验时选用长势一致、株高约10 cm的紫茎泽兰无菌苗进行移栽。

1.2 实验设计

实验处理:将灭过菌的培养土装至花盆的2/3处,加入10 g菌剂,再均匀覆盖一层1 cm的培养土,每盆装入培养土1 kg。对照组为添加10 g灭菌的AMF菌剂和经微孔无菌滤膜滤除真菌后的土壤细菌群落滤液10 mL,其他处理和培养方法与接种处理一致。每个处理重复5次,共10盆。花盆随机摆放于温室中,每隔1周变换一次位置,并补充100 mL Hoagland 营养液,每3 d浇一次无菌水。

1.3 生长繁殖指标的测定

实验于 2017 年 4 月 7 日开始,2018 年 4 月 30 日结束。紫茎泽兰生物量的测定于种子完全成熟后进行,从盆中完整地取出紫茎泽兰,洗去根部泥土,尽量减少细根的损失,收获整株。分别测定株高、叶片数、总叶面积、节间距、地径,并统计单株花序数、单花序种子量、种子量、种子千粒重、含水率、发芽率、发芽势、发芽指数。称重使用电子天平(精度 0.0001 g);叶面积采用扫描像素法(于守超等, 2012)测定,即用扫描仪扫描叶片后利用 Photoshop CS6 分析图片计算出叶面积并记录。各指标测定后在 105 ℃下杀青处理 5 min,置于 70 ℃烘箱烘干 72 h 至恒重,再分别测定叶、茎、根的干重,计算生物量(紫茎泽兰总干重)、根冠比(root mass/crown mass,根干重/地上部干重)、根生物量比(root mass ratio,根重/植株总重)、茎生物量比(stem mass ratio,茎重/植株总重)、叶生物量比(leaf mass ratio,叶重/植株总重)。种子在实验前用 75%酒精消毒 15 min,5%次氯酸钠消毒 5 min,灭菌蒸馏水冲洗一遍,将消毒过的种子放在垫有 2 层定性滤纸的培养皿中,加适量灭菌蒸馏水,放入预先设置好温度 [(27±1) ℃] 和湿度 [(90±5) %] 的光照培养箱中,每日记录样品种子的发芽数。以胚根冲破种皮为发芽标准,每天记录发芽种子的数量(韩利红等, 2010)。

1.4 数据处理

所有数据均使用 Excel 2007 和 SPSS 17.0 软件进行单因素方差分析,LSD 法多重比较分析,对发芽率与侵染率数据反正弦转换后进行方差分析。
发芽势/% = 前 3 d 发芽/总种子数×100;发芽势是指种子开始萌发后,某天之前所有的种子数占所测样品种子总数的百分率。
发芽率/% = 发芽种子总数/供试种子总数×100;发芽率是指样品种子测试结束时所有发芽的种子占样品种子总数的百分率。
发芽指数(G_t) = $\sum (G_t/D_t)$; G_t 为在 t 日内的发芽数, D_t 为发芽日数。

2 结果与分析

2.1 紫茎泽兰的菌根侵染率

对照组紫茎泽兰未被 AMF 侵染,接种处理的紫茎泽兰生长一年后菌根侵染率达 89.53%,显著高于未接种。

2.2 AMF 对紫茎泽兰生长的影响

接种 AMF 显著促进紫茎泽兰地上部分生长(表 1)。与对照相比,接种处理的紫茎泽兰植株各茎叶生长指标均极显著增加($P<0.01$);其中,接种处理的紫茎泽兰株高和茎粗分别是未接种植株的 2.63、1.90 倍。接种处理的紫茎泽兰叶片数、总叶面积、分枝数和节间距分别是未接种植株的 3.28、4.14、2.71、1.86 倍,差异极显著($P<0.01$)。

表 1 AMF 对紫茎泽兰生长的影响
Table 1 Effect of AMF on growth of *A. adenophora*

处理 Treatment	株高 Plant height/cm	地径 Basal diameters/mm	叶片数/片 Leaves number	总叶面积 Total leaf area/cm ²	分枝数/个 Branch number	节间距 Internode spacing/cm
接种 Inoculation	102.44±2.94A	7.58±0.29A	62.40±7.18A	369.57±37.68A	7.60±1.14A	6.32±0.39A
对照 CK	38.92±3.15B	3.99±0.13B	19.00±3.46B	89.27±8.71B	2.80±0.44B	3.40±0.88B

同列数据(平均值±标准误)后不同大写字母者表示在 1% 水平上差异极显著。
The data (means±SD) in the same column with the different capital letters mean significant differences at 1% level.

2.3 AMF 对紫茎泽兰干物质量及生物量分配的影响

如图 1 所示,接种 AMF 极显著增加了紫茎泽兰的生物量积累($P<0.01$)。在整个生长期,接种处理的紫茎泽兰叶、根、茎器官的干物质量分别是对照组的 3.79、6.37、7.42 倍,差异极显著($P<0.01$)。接种处理的紫茎泽兰地上生物量和总生物分别为对照的 6.75、6.53 倍。单株干物质总积累量,接种植株为 16.50 g,对照植株为 2.53 g,干重相差 13.97 g。从生

物量分配比可以看出(图 2),接种处理的生物量比,仅茎生物量比高于对照,差异不显著($P>0.05$),叶生物量比显著低于对照($P<0.05$),根生物量比、根冠比也均低于对照,但差异不显著。

2.4 AMF 对紫茎泽兰花序数与种子量的影响

与对照相比,接种 AMF 显著提高了紫茎泽兰种子产量及种子质量。接种 AMF 后紫茎泽兰的单株花序数、单花序种子数和产籽量为对照植株的 5.03、1.51、7.64 倍,差异达极显著($P<0.01$)。其种

子长度、宽度以及千粒重均显著高于对照。通过测量种子含水率,接种植株的含水率较未接种植株增加了3.18倍,差异显著($P<0.05$)(表2)。

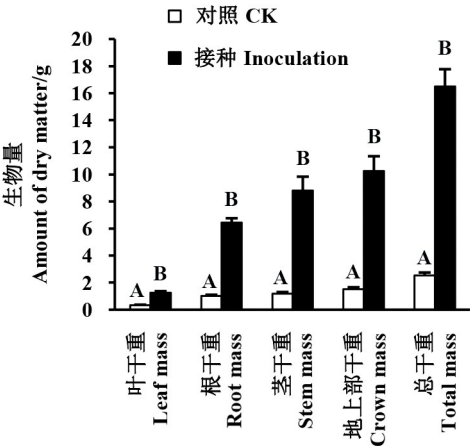


图1 AMF对紫茎泽兰干物质量的影响
Fig.1 Effects of AMF on biomass of *A. adenophorum*
不同大写字母者表示在1%水平上差异显著。

The different capital letters mean significant differences at 1% level.

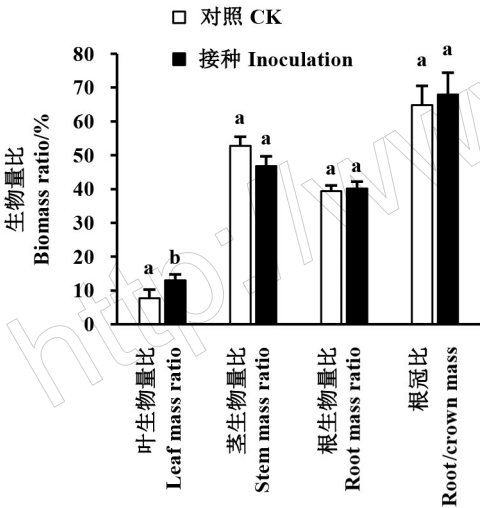


图2 AMF对紫茎泽兰生物量分配的影响
Fig.2 Effects of AMF on biomass ratio of *A. adenophorum*
不同小写字母者表示在5%水平上差异显著。

The different small letters mean significant differences at 5% level.

2.5 种子发芽率等参数的比较

接种 AMF 的紫茎泽兰发芽率显著高于未接种。发芽势反应的是种子质量优劣程度,接种 AMF 的种子发芽势达 18.56%,未接种的为 3.78%,显著高于未接种($P<0.05$)。发芽指数反应的是种子活力,接种 AMF 的发芽指数为 43.13,未接种的为 15.21,差异极显著($P<0.01$),说明接种过的种子发芽速度快,发芽能力好。

3 讨论与结论

AMF 与土壤养分之间存在相互影响的关系,而紫茎泽兰的入侵会改变土壤养分情况 (Blank & Young,2002),如 N、P、K 的供应发生变化,这种变化必然会对本地植物造成伤害,外来植物由此改变土壤化学和土壤生态,创造利于入侵的条件 (Annappurna & Singh,2003; Duda *et al.*, 2003),增强其扩散能力、繁殖能力、竞争能力等(万方浩,2015)。

AMF 对紫茎泽兰的生长具有极大的促进作用,实验结果表明,接种处理植株的株高、叶面积分别是对照的 2.63、4.14 倍;接种处理植株显著增强了紫茎泽兰的干物质量的积累,接种后,其地上部干重、地下部干重与总干重分别是对照植株的 6.75、6.38、6.53 倍。

种子萌发对物种的更新至关重要,种子萌发率会直接影响一个物种在一个种群中所占的数量和比例(刘志磊等,2006)。AMF 可以促进植物生长和结实(李东彦,2007),接种 AMF 可以显著提高棉花(刘润进和沈崇彦,1994)、西瓜(杨兴洪和刘润进,1994)和柚子(杨晓红等,2002)等植物的产量和不同部位的生物量。本研究结果显示,接种 AMF 增加了紫茎泽兰的有性繁殖能力,植株头状花序数、产籽量及种子发芽能力显著增高。

表2 AMF对紫茎泽兰花序数及种子量的影响

Table 2 Effect of AMF on anthotaxy and seed number of *A. adenophora*

处理 Treatment	花序数/个 Anthotaxy amount	单花序种子数/个 Seed amount per anthotaxy	总结实量/个 Total seed amount	种子长度 Seed length/mm	种子宽度 Seed width/mm	千粒重 1000-grain weight/g	含水率 Moisture content/%
接种 Inoculation	118.60±5.51A	68.92±1.19A	8158.80±317.04A	1.89±0.11a	0.32±0.04a	0.040±0.002a	22.28±1.33a
对照 CK	23.60±3.85B	45.70±1.53B	1067.40±158.74B	1.64±0.04b	0.26±0.02b	0.035±0.001b	12.18±1.66b

同列数据(平均值±标准误)后不同大、小写字母者分别表示在1%、5%水平上差异显著。
The data (means±SD) in the same column with the different capital, small letters mean significant differences at 1%, 5% level, respectively.

种子传播是紫茎泽兰扩散蔓延的主要方式(刘伦辉和刘文耀,1989)。铲除大面积的植株后,土壤中已有的种子仍会大量萌发,而且残留的少量紫茎泽兰也能产生大量种子。张丽坤等(2014)研究结

果显示,紫茎泽兰的植株高度与种子传播速度和种子形态相关,植株越高,种子传播的越远。紫茎泽兰接种 AMF 后,其株高比对照高 63.52 cm。相比于对照,接种植株的种子借助风力或人为因素,能更迅速传播,且范围更广,对于其建立种群发挥了重要作用,对防治工作也带来了极大困难。因此,减少紫茎泽兰结实量以减小种子产量和种子发芽率,被认为是有效防控紫茎泽兰危害和扩散蔓延的主要方法之一(李爱芳等,2006)。是否能够通过降低土壤中丛枝菌根含量以降低紫茎泽兰开花结实量还有待进一步的研究。

参考文献

- 韩利红,刘潮,郑玉龙,2010. 紫茎泽兰与 3 种同属本地植物种子特性比较. 种子, 29(2): 73-76.
- 李爱芳,高贤明,党伟光,黄荣祥,邓祖平,唐和春,2006. 泽兰实蝇寄生状况及其对紫茎泽兰生长与生殖的影响. 植物生态学报, 30(3): 496-503.
- 李东彦,2007. 甘蓝型油菜菌根及其对产量和质量的影响. 硕士学位论文. 重庆: 西南大学.
- 李会娜,刘万学,戴莲,万方浩,曹远银,2009. 紫茎泽兰入侵对土壤微生物、酶活性及肥力的影响. 中国农业科学, 42(11): 3964-3971.
- 刘伦辉,刘文耀,1989. 紫茎泽兰个体生物及生态学特性研究. 生态学报, 9(1): 66-70.
- 刘润进,沈崇尧,1994. VAM 菌对棉花生长和产量的影响. 中国农业大学学报, 1(1): 88-91.
- 刘志磊,徐海根,丁晖,2006. 外来入侵植物紫茎泽兰对昆明地区土壤动物群落的影响. 生态与农村环境学报, 22(2): 33-37.
- 牛红榜,刘万学,万方浩,2007. 紫茎泽兰(*Ageratina adenophora*)入侵对土壤微生物群落和理化性质的影响. 生态学报, 27(7): 3051-3060.
- 强胜,1998. 世界性恶性杂草——紫茎泽兰研究的历史及现状. 武汉植物学研究, 16(4): 366-372.
- 石兆勇,陈应龙,刘润进,2003. 菌根多样性及其对植物生长发育的重要意义. 应用生态学报, 14(9): 1565-1568.
- 万方浩,刘万学,郭建英,强胜,李保平,王进军,杨国庆,牛红榜,桂富荣,黄文坤,蒋智林,王文琪,2011. 外来植物紫茎泽兰的入侵机理与控制策略研究进展. 中国科学: 生命科学, 41(1): 13-21.
- 万方浩,2015. 入侵生物学. 北京: 科学出版社.
- 王鹏鹏,何跃军,吴长榜,蒋长洪,吴春玉,谢佩耘,2015. 接种丛枝菌根真菌对紫茎泽兰生长及氮磷营养的影响. 西部林业科学, 44(5): 85-89.
- 王银朝,赵宝玉,樊泽锋,樊月圆,谭承建,2005. 紫茎泽兰及其危害研究进展. 动物医学进展, 26(5): 45-48.
- 杨蓉西,2003. 危害严重的外来入侵植物——紫茎泽兰. 生物学通报, 38(1): 20-21.
- 杨晓红,罗安才,李道高,赵素珍,田再泽,2002. 大田接种 am 真菌对成年结果柚树果实品质的影响. 西南园艺, 30(S): 7-9.
- 杨兴洪,罗新书,刘润进,1994. Va 菌根对西瓜生长、产量及品质的影响. 果树学报, 11(2): 117-119.
- 尹俊,2006. 中国西南地区紫茎泽兰防治的现状及对策建议. 草业科学, 23(6): 82-85.
- 于守超,张秀省,冀芦莎,2012. 基于 Photoshop CS5 的植物叶面积测定方法. 湖北农业科学, 51(15): 3340-3342.
- 于文清,刘万学,桂富荣,刘文志,万方浩,张利莉,2012. 外来植物紫茎泽兰入侵对土壤理化性质及丛枝菌根真菌(AMF)群落的影响. 生态学报, 32(22): 7027-7035.
- 张丽坤,王朔,冯玉龙,2014. 紫茎泽兰种子形态特征和萌发特性与其入侵性的关系. 生态学报, 34(13): 3584-3591.
- ANNAPURNA C, SINGH J S, 2010. Variation of *Parthenium hysterophorus* in response to soil quality: implications for invasiveness. *Weed Research*, 43(3): 190-198.
- DUDA J J, FREEMAN D C, EMLIN J M, BELNAP J, KITCHEN S G, ZAK J C, SOBEK E, TRACY M, MONTANTE J, 2003. Differences in native soil ecology associated with invasion of the exotic annual chenopod, *Halogeton glomeratus*. *Biology & Fertility of Soils*, 38(2): 72-77.
- NIU H B, LIU W X, WAN F H, LIU B, 2007. An invasive aster (*Ageratina adenophora*) invades and dominates forest understories in China: altered soil microbial communities facilitate the invader and inhibit natives. *Plant and Soil*, 294(1/2): 73-85.
- GALLAWAY R M, THELEN G C, RODRIGUEZ A, HOLBEN W E, 2004. Soil biota and exotic plant invasion. *Nature*, 427: 731-734.
- INDERJIT, VAN DER PUTTEN W H, 2010. Impacts of soil microbial communities on exotic plant invasions. *Trends in Ecology and Evolution*, 25(9): 512-519.
- BLANK R R, YOUNG J A, 2002. Influence of the exotic invasive crucifer, *Lepidium latifolium*, on soil properties and elemental cycling. *Soil Science an Interdisciplinary Approach to Soils Research*, 167(12): 821-829.

(责任编辑:郭莹)

<http://www.jbscn.org>