

# 喜旱莲子草入侵群落土壤对植物生长的影响\*

李永慧<sup>1,2</sup> 李钧敏<sup>2</sup> 闫明<sup>1\*\*</sup>

(<sup>1</sup>山西师范大学生命科学学院, 山西临汾 041004; <sup>2</sup>台州学院生态研究所, 浙江临海 317000)

**摘要** 分别以受喜旱莲子草(*Alternanthera philoxeroides*)入侵和未受喜旱莲子草入侵的当地植物群落土壤为生长基质,比较不同基质上入侵植物喜旱莲子草和同属的土著植物莲子草(*A. sessilis*)的生长指标,探讨喜旱莲子草入侵群落土壤对喜旱莲子草及莲子草生长的影响机制。结果表明,喜旱莲子草入侵群落土壤抑制了莲子草的生长,显著降低了根生物量、茎生物量和总生物;改变了形态特征,显著降低了分枝数量、茎长度、根长、根体积;减少了对根的生物量分配,显著抑制了根质量比与根冠比。喜旱莲子草入侵群落土壤对入侵植物喜旱莲子草的生物量、分枝数量、茎长度、根长、根体积没有显著的抑制作用,而显著增加了其叶片数量和叶质量比。这种效应将有利于喜旱莲子草在入侵地形成单优群落,表明土壤在喜旱莲子草成功入侵中起了重要作用。

**关键词** 喜旱莲子草; 莲子草; 入侵植物; 当地植物; 土壤

**中图分类号** Q945.79 **文献标识码** A **文章编号** 1000-4890(2012)6-1367-06

**Effects of soil under *Alternanthera philoxeroides*-invaded plant community on the growth of plants.** LI Yong-hui<sup>1,2</sup>, LI Jun-min<sup>2</sup>, YAN Ming<sup>1\*\*</sup> (<sup>1</sup>*School of Life Science, Shanxi Normal University, Linfen 041004, Shanxi, China;* <sup>2</sup>*Institute of Ecology, Taizhou University, Linhai 317000, Zhejiang, China*). *Chinese Journal of Ecology*, 2012, **31**(6): 1367-1372.

**Abstract:** The soils under native plant community with and without *Alternanthera philoxeroides* invasion were taken as the growth medium to study whether plant-soil feedback contributes to the invasion success of *A. philoxeroides*. The soil under *A. philoxeroides*-invaded community inhibited the growth of native *A. sessilis* significantly, which manifested in the decreases of root biomass, stem biomass, total biomass, relative growth rate, and net assimilation rate, and in the changes of morphological traits, *e. g.*, the decreases of stem length, branch number, root length, and root volume. The biomass partitioning of native *A. sessilis* also changed, with a significant decrease of leaf/mass ratio and increased root/mass ratio and root/shoot ratio. However, the soil under *A. philoxeroides*-invaded community did not significantly affect the growth of invasive *A. philoxeroides*, according to the data of biomass and morphological traits. The soil under *A. philoxeroides*-invaded community only significantly increased the leaf number and leaf/mass ratio of invasive *A. philoxeroides*. The significant negative and neutral effects of soil under *A. philoxeroides*-invaded community on the native *A. sessilis* and invasive *A. philoxeroides*, respectively might contribute to a positive feedback loop, leading to the increased dominance of invasive *A. philoxeroides* in the invaded community. The results indicated that soil might play important role in the successful establishment and maintenance of *A. philoxeroides* population in its invaded area.

**Key words:** *Alternanthera philoxeroides*; *Alternanthera sessilis*; invasive plant; native plant; soil.

生物入侵是指一种生物以自然或人为的途径传入其原产地以外的国家或地区,并在那里定殖、建立自然种群、拓展并对入侵地产生一定影响的过程

(Williamson *et al.*, 1996)。生物入侵对入侵地的生物多样性、农林牧渔业生产以及人类健康造成一定的经济损失或生态灾害(李建东等, 2009)。生态系统的地上部分与地下部分具有紧密联系,许多研究证明,入侵植物可以改变入侵地土壤微生物群落的组成(Kourtev *et al.*, 2002; Batten *et al.*, 2006; Rillig

\* 国家自然科学基金项目(30800133)、中国博士后基金项目(20080440557)和浙江省自然科学基金项目(Y5110227)资助。

\*\* 通讯作者 E-mail: mycorrhiza@sina.com

收稿日期: 2011-12-13 接受日期: 2012-02-21

*et al.*, 2006; Stinson *et al.*, 2006), 进一步促进入侵植物的成功入侵, 然而这些变化对地上植物的影响, 即植物-土壤反馈的报道却较少 (Batten *et al.*, 2008)。入侵地的土壤理化性质与土壤微生物对入侵植物和本地植物的生长均具有一定的影响 (Reinhart *et al.*, 2006)。当入侵地土壤抑制本地植物生长而促进入侵植物生长时则可以加速入侵植物的成功入侵。如入侵植物 *Bromus inermis* 和 *Agropyron cristatum* 显著促进了自身的生长, 而且对其他入侵植物也具有较强的正反馈作用, 但对本地植物则有较强的抑制作用, 从而进一步促进其入侵 (Jordan & Larson, 2008)。由此认为, 比较研究入侵地的土壤对入侵植物和本地植物生长的影响可以进一步明确入侵植物成功入侵的机制。

喜旱莲子草 (*Alternanthera philoxeroides*) 为苋科多年生草本植物, 原产南美洲, 现已在热带、亚热带和暖温带地区广泛入侵 (Julien *et al.*, 1995)。喜旱莲子草是一种入侵性很强的植物, 能入侵多种生境, 现已成为富营养化后淡水生态系统中的优势物种, 对当地植物的生长造成了显著影响 (潘晓云等, 2006)。它的同属植物——当地土著物种莲子草 (*A. sessilis*) 也为多年生草本植物, 广泛分布于我国南方地区 (付改兰和冯玉龙, 2007)。

本研究以入侵植物的群落土壤和当地植物的群落土壤为生长基质, 比较不同基质上的外来入侵植物喜旱莲子草和同属的当地土著植物莲子草的生长指标, 阐明入侵植物土壤对入侵植物及本地植物生长的反馈作用, 以阐明以下两个科学问题: 1) 入侵群落土壤是否可以抑制本地植物生长? 2) 入侵群落土壤是否可以促进入侵植物生长? 本研究结果可为喜旱莲子草的入侵机理的阐明提供理论依据, 其研究结果可丰富入侵植物生态学的研究。

## 1 材料与方法

### 1.1 样地设置和土壤采集

实验样地位于浙江省临海市的三江湿地

(28°40' N—29°04' N, 120°49' E—121°41' E), 属于亚热带季风气候, 年均日照时数 1800 ~ 2037 h, 年降水量为 1185 ~ 2029 mm。根据 2010 年 8 月中旬的样地调查结果设立本地群落 (native community, N) 样地无喜旱莲子草入侵, 主要优势种为狗尾草 (*Setaria viridis*) 和喜旱莲子草入侵群落 (invasive community, I) 样地 (以喜旱莲子草为单优种, 约占样地中物种数量的 98%)。

于 2010 年 8 月底选择晴朗天气, 在所设样地中, 各设立 1 m × 1 m 的样方 5 个, 每个样方之间距离 10 m 以上, 采集 0 ~ 10 cm 土层土壤, 土壤适当风干, 去除根系及石块, 与干净河砂按 1 : 1 比例混合均匀, 备用。同时, 以四分法取足量土壤, 风干, 用于土壤理化性质分析。采用碱解蒸馏法测定土壤有效氮含量; 采用 0.03 mol · L<sup>-1</sup> NH<sub>4</sub>F—0.025 mol · L<sup>-1</sup> 盐酸提取液室温浸提后, 采用连续流动分析仪 (AA3, 德国 Bran+Luebbe 公司) 测定土壤有效磷含量; 采用 1 mol · L<sup>-1</sup> CH<sub>3</sub>COONH<sub>4</sub> 溶液室温浸提, 电感耦合等离子体发射光谱仪 (ICP-OES 2100DV, 美国 Perkin-Elmer 公司) 测定土壤速效钾含量; 采用重铬酸钾-浓硫酸外加热法测定土壤总有机质含量; 采用笔式酸度计 HI98128 pH 计 (哈纳公司) 测定土壤 pH。2 种土壤的化学性质如表 1 所示。

### 1.2 实验设计

于 2010 年 9 月初在三江湿地采集入侵植物喜旱莲子草与当地植物莲子草若干, 带回实验室备用。将制备完成的入侵群落土壤与本地群落土壤置于 0.5 m × 0.5 m × 0.1 m 的塑料方盘中, 将粗细一致, 部位一致, 长势基本相同的喜旱莲子草与莲子草分枝剪成 4 cm 长度的茎段, 分别扦插在不同的土壤中, 每盆扦插 2 株, 待植株存活后去除 1 株, 留存 1 株用于后续的实验。实验共 4 个处理, 每种处理重复 8 个。

### 1.3 测定指标

培养 45 d 后, 采用计数法统计喜旱莲子草和莲子草的叶片数量、分枝数; 将每株植株的根、茎、叶分开, 分装在牛皮纸袋中, 编号, 带回实验室进行最终

表 1 供试土壤的化学性质

Table 1 Chemical properties of soil

土壤类型	pH	碱解氮 (mg · kg <sup>-1</sup> )	有效磷 (mg · kg <sup>-1</sup> )	速效钾 (mg · kg <sup>-1</sup> )	有机质 (mg · kg <sup>-1</sup> )
本地群落 N	6.57 ± 0.19 a	187.83 ± 26.73 a	0.19 ± 0.01 a	108.30 ± 1.53 a	12.40 ± 1.16 a
入侵群落 I	6.66 ± 0.21 a	122.50 ± 29.90 b	0.17 ± 0.02 b	89.30 ± 2.08 b	9.67 ± 1.03 b

不同小写字母表示差异具有显著性意义 ( $P < 0.05$ )。

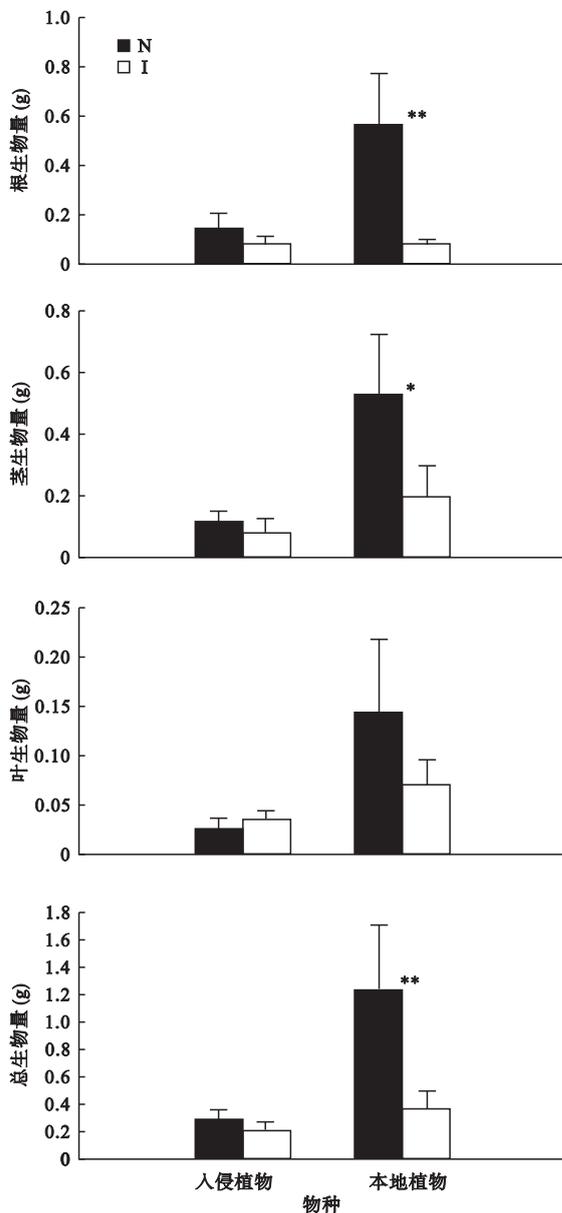


图1 入侵群落土壤对入侵植物与本地植物生物量的影响  
Fig.1 Effect of soil under invasive community on the biomass of invasive and native plants

N:本地群落土壤;I:入侵群落土壤;\*  $P < 0.05$ ; \*\*  $P < 0.01$ 。

叶面积(L2)、根长、根体积和最终生物量(W2)的测定。使用Win Mac FOLIA叶面积仪(Regent Instruments Inc)测定叶面积,采用Win RHIZO Pro根系分析仪(Regent Instruments Inc.)分析根体积及长度。叶、茎、根在70℃条件下烘干至恒重,使用电子天平(精确至0.1 mg)称重,记录各部位生物量,并计算总生物量。

#### 1.4 数据处理

数据采用平均数±标准差形式表示。采用SPSS 16.0软件的单因素方差分析(One way ANOVA)对

2种土壤类型上的喜旱莲子草和莲子草的生物量及形态特性进行差异的显著性检验。

## 2 结果与分析

### 2.1 入侵群落土壤对入侵植物及本地植物生物量的影响

喜旱莲子草入侵群落土壤可以显著地抑制本地植物莲子草的茎生物量,极显著地抑制根生物量和总生物量,对莲子草的叶生物量及入侵植物喜旱莲子草的各项指标均无显著性抑制作用(图1)。

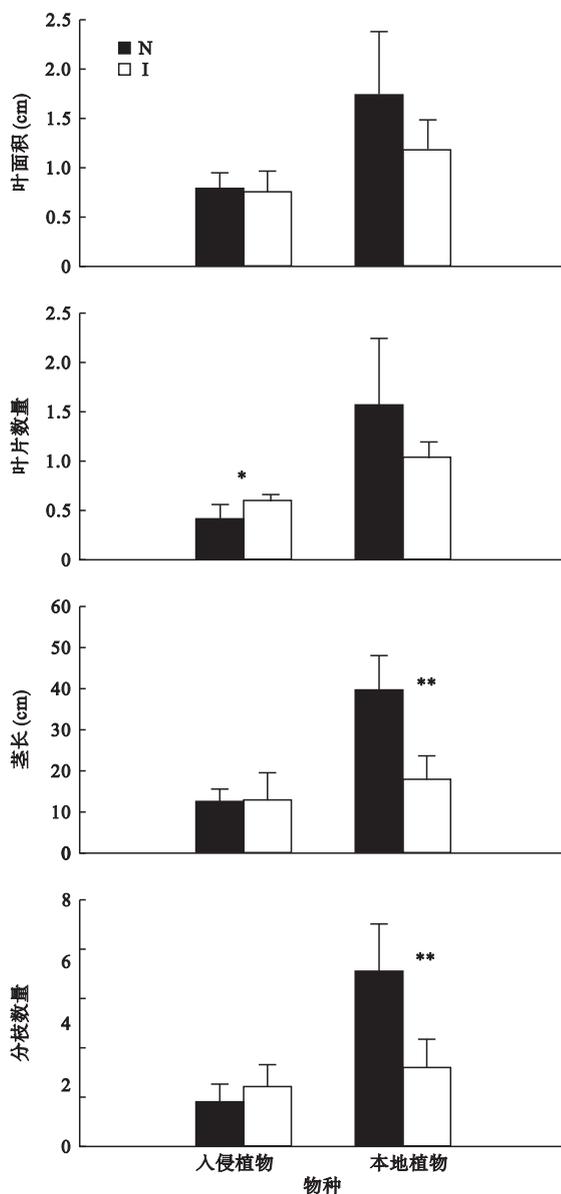


图2 入侵群落土壤对入侵植物与本地植物地上部分相关指标的影响

Fig.2 Effect of soil under invasive community on the aboveground traits of invasive and native plants

N:本地群落土壤;I:入侵群落土壤;\*  $P < 0.05$ ; \*\*  $P < 0.01$ 。

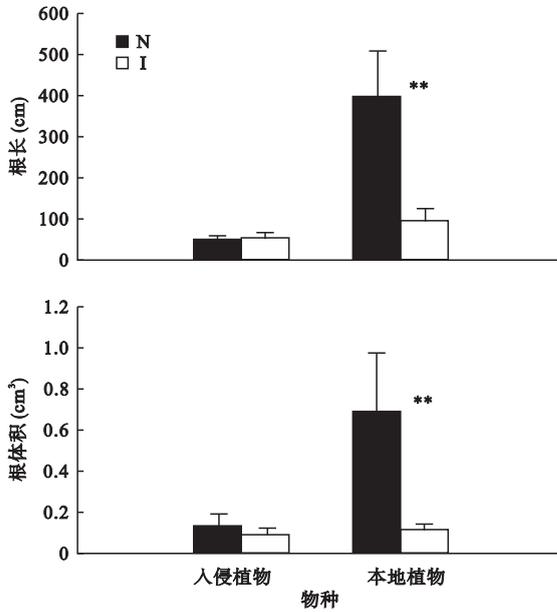


图3 入侵群落土壤对入侵植物与本地植物地下部分相关指标的影响

Fig. 3 Effect of soil under invasive community on the underground traits of invasive and native plants

N:本地群落土壤;I:入侵群落土壤; \*\*  $P < 0.01$ .

## 2.2 入侵群落土壤对入侵植物及本地植物叶片相关参数的影响

喜旱莲子草入侵群落土壤可以显著地增加入侵植物喜旱莲子草的叶片数量,极显著地降低当地植物莲子草的分枝数量与茎长度(图2)。

## 2.3 入侵群落土壤对入侵植物及本地植物根系相关参数的影响

喜旱莲子草入侵群落土壤可以显著地降低当地植物莲子草的根长与根体积,但对入侵植物喜旱莲子草没有显著影响(图3)。

## 2.4 入侵群落土壤对入侵植物及本地植物生物量分配的影响

喜旱莲子草入侵群落土壤可以显著地增加入侵植物喜旱莲子草与当地植物莲子草的叶生物量比,也可极显著地抑制当地植物莲子草的根生物量比与根冠比,但对入侵植物喜旱莲子草的根生物量比与根冠比无显著影响(图4)。

## 3 讨论

植物-土壤反馈在植物群落动力学,特别是在植物演替与入侵中起了重要作用(Wardle *et al.*, 2004)。研究植物-土壤反馈较多采用2种方法,一种是采集天然的野外土壤,另一种是采用经过一段

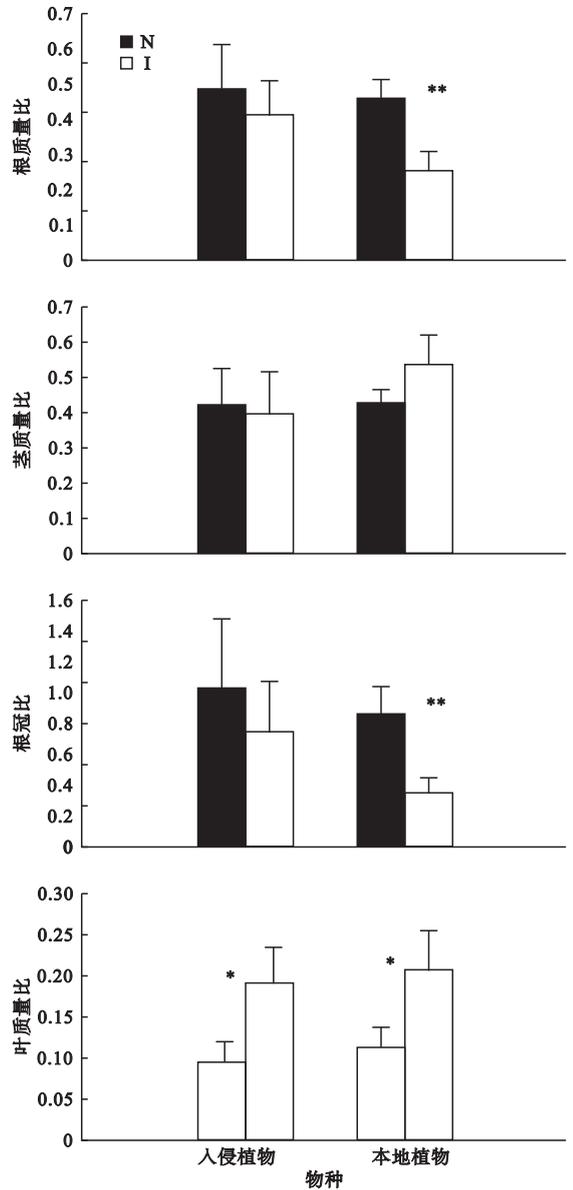


图4 入侵群落土壤对入侵植物与本地植物生物量分配的影响

Fig. 4 Effect of soil under invasive community on the biomass partitioning of invasive and native plants

N:本地群落土壤;I:入侵群落土壤; \*  $P < 0.05$ ; \*\*  $P < 0.01$ .

时间植物预培养的土壤(Kulmatiski *et al.*, 2008)。本研究采用野外入侵多年的喜旱莲子草群落土壤与未入侵群落土壤的比较实验,发现喜旱莲子草入侵群落土壤可以显著地抑制本地植物莲子草的生长,而对入侵植物喜旱莲子草自身生长无显著的影响。这与Drenovsky和Batten(2007)的研究结果相同:入侵植物钩刺山羊草(*Aegilops triuncialis*)入侵后的土壤可以使本地物种*Lasthenia californica*花期延后,地上部分生物量显著减少,但对入侵植物*A. triuncialis*没有显著的影响。有不少研究发现,入侵植物

群落土壤可以抑制本地植物的生长(Jordan *et al.*, 2008;于兴军等,2005)。这种入侵植物对本地植物生长的抑制将在一定程度上增加入侵植物在入侵地的优势度,从而在入侵植物群落建成与维持中起重要作用(Batten *et al.*,2008)。

植物-土壤反馈的机理主要可以通过改变土壤微生物、化感作用、改变土壤养分等。入侵植物常会引起入侵地土壤养分的变化,大部分研究表明入侵植物会导致入侵土的土壤养分的增加(Chapuis-Lardy *et al.*,2006),但也有一些研究表明入侵植物会导致入侵地土壤养分的降低(Leary *et al.*,2006)。Dassonville等(2008)经过比较研究发现,入侵植物对土壤养分的影响具有点特异性,当原来土壤养分高的时候,入侵植物会引起土壤养分降低;而当原来土壤养分低的时候,入侵植物会引起土壤养分增高。本研究中的喜旱莲子草形成了大面积的单优势群落,群落覆盖率达98%,喜旱莲子草的快速生长消耗了大量的养分,导致在该群落土壤的土壤肥力指标包括有机质、有效氮、有效磷、速效钾均显著降低。但是喜旱莲子草入侵群落土壤低的肥力对喜旱莲子草的生物量并无显著的影响,显著降低了莲子草的生物量。王坤等(2010)研究发现,高肥高水的条件下喜旱莲子的生长要高于莲子草,而在低肥低水条件下即不如莲子草。因此,本研究中的土壤养分并不是影响喜旱莲子草与莲子草生长的主要因素,而由土壤微生物、化感等其他作用可能发挥了更重要的作用,但仍需进一步的实验证实。

入侵植物常会产生化感物质,这将对本地植物产生显著的抑制作用(Reinhart *et al.*,2006)。植物化学物质可以通过化感作用对植物生长产生直接的作用,或是通过影响土壤微生物而间接影响植物的生长。入侵植物可以通过改变对土壤输入物的数量与质量,对入侵地的土壤微生物带来强烈的选择压力,改变入侵地土壤微生物的结构与功能,从而影响本地植物的生长(Richardson *et al.*,2000;Callaway *et al.*,2004)。土壤微生物的这种变化可以降低本地植物的适应性,以进一步促进自身的入侵(Reinhart *et al.*,2006)。喜旱莲子草也具有显著的化感作用,可以对黑麦草(*Lolium perenne*)等植物产生显著的抑制效果(余柳青等,2006)。喜旱莲子草常在入侵地形成单优群落,可以强烈改变入侵地土壤的微生物群落结构的特征(王志勇,2010)。但是本研究并未分离入侵植物群落土壤微生物和化感物质对喜旱

莲子草与莲子草的生长的影响,进一步的研究正在进行中。

本研究表明,当入侵植物喜旱莲子草生长在入侵土壤中时,可显著增加叶的生物量;而本地植物莲子草在入侵地土壤中也出现了叶生物量的显著增加。对植物来说,其生物量分配与资源的可利用性密切相关,特别是在胁迫的环境下具有重要的适应意义。入侵植物 *Chromolaena odorata* 种植在入侵地土壤上时,会将更多的生物量分配到地上部分以争取更多的阳光(te Beest *et al.*,2009),这种生物量的改变可能是入侵植物入侵后,通过生物量分配格局的改变而形成的适应入侵地环境的一种策略,将有利于使入侵植物具有较强的竞争优势(Meyer *et al.*,2008;te Beest *et al.*,2009)。

本研究探讨了喜旱莲子草入侵群落土壤对入侵植物与本地植物生长的影响,研究表明,喜旱莲子草入侵群落土壤可以显著抑制本地同属植物莲子草的生长。野外调查也发现,喜旱莲子草入侵群落中本地物种的种类与数量均很少。喜旱莲子草入侵群落土壤对本地植物的抑制作用将有利于喜旱莲子草在入侵地形成单优群落,这在一定程度上阐明了喜旱莲子草成功入侵的机制。本研究结果可为喜旱莲子草的入侵机理提供理论依据。我们将在后续实验中,进一步研究喜旱莲子草入侵群落土壤中的土壤微生物、土壤养分和化感物质在喜旱莲子草成功入侵中的作用及其机制。

#### 参考文献

- 付改兰,冯玉龙. 2007. 外来入侵植物和本地植物核 DNA C-值的比较及其与入侵性的关系. 生态学杂志, **26**(10): 1590-1594.
- 李建东,殷萍萍,孙备,等. 2009. 外来种豚草入侵的过程与机制. 生态环境学报, **18**(4): 1560-1564.
- 潘晓云,耿宇鹏,张文驹,等. 2006. 喜旱莲子草沿河岸带不同生境的盖度变化及形态可塑性. 植物生态学报, **30**(5): 835-843.
- 王坤,杨继,陈家宽. 2010. 不同土壤水分和养分条件下喜旱莲子草与同属种生长状况的比较研究. 生物多样性, **18**(6): 615-621.
- 王志勇. 2010. 空心莲子草入侵对土壤微生物群落结构和土壤酶活性的影响(硕士学位论文). 武汉:华中农业大学.
- 于兴军,于丹,卢志军,等. 2005. 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. 科学通报, **50**(9): 896-903.
- 余柳青, Yoshiharu F, 周勇军,等. 2007. 外来入侵杂草空心莲子草与本土杂草莲子草的化感作用潜力比较. 中

- 国水稻科学, **21**(1): 84–89.
- Batten KM, Scow KM, Davies KF, *et al.* 2006. Two invasive plants alter soil microbial community composition in Serpentine grasslands. *Biological Invasions*, **8**: 217–230.
- Batten KM, Scow KM, Espeland EK. 2008. Soil microbial community associated with an invasive grass differentially impacts native plant performance. *Microbiological Ecology*, **55**: 220–228.
- Callaway RM, Ridenour WM. 2004. Novel weapons: Invasive success and the evolution of increased competitive ability. *Frontiers in Ecology and the Environment*, **2**: 436–443.
- Chapuis-Lardy L, Vanderhoeven S, Dassonville N, *et al.* 2006. Effect of the exotic invasive plant *Solidago gigantea* on soil phosphorus status. *Biology and Fertility of Soils*, **42**: 481–489.
- Dassonville N, Vanderhoeven S, Vanparys V, *et al.* 2008. Impacts of alien invasive plants on soil nutrients are correlated with initial site conditions in NW Europe. *Oecologia*, **157**: 131–140.
- Drenovsky RE, Batten KM. 2007. Invasion by *Aegilops triuncialis* (Barb Goatgrass) slows carbon and nutrient cycling in a Serpentine grassland. *Biological Invasions*, **9**: 107–116.
- Jordan NR, Larson DL. 2008. Soil modification by invasive plants: Effects on native and invasive species of mixed-grass prairies. *Biological Invasions*, **10**: 177–190.
- Julien MH, Skarratt B, Maywald GF. 1995. Potential geographical distribution of alligator weed and its biological control by *Agasicles hygrophila*. *Journal of Aquatic Plant Management*, **33**: 55–60.
- Kourtev PS, Ehrenfeld JG, Haggblom M. 2002. Exotic plant species alter the microbial community structure and function in the soil. *Ecology*, **83**: 3152–3166.
- Kulmatiski A, Beard KH, Stevens JR, *et al.* 2008. Plant-soil feedbacks: A meta-analytical review. *Ecology Letters*, **11**: 980–992.
- Leary JK, Hue NV, Singleton PW, *et al.* 2006. The major features of an infestation by the invasive weed legume gorse (*Ulex europaeus*) on volcanic soils in Hawaii. *Biology and Fertility of Soils*, **42**: 15–223.
- Meyer G, Hull-Sanders H. 2008. Altered patterns of growth, physiology and reproduction in invasive genotypes of *Solidago gigantea* (Asteraceae). *Biological Invasions*, **10**: 303–317.
- Reinhart KO, Callaway RM. 2006. Soil biota and invasive plants. *New Phytologist*, **170**: 445–457.
- Richardson DM, Pysek P, Rejmanek M, *et al.* 2000. Naturalization and invasion of alien plants: Concepts and definitions. *Diversity and Distributions*, **6**: 93–107.
- Rillig MC, Mummey DL. 2006. Mycorrhizas and soil structure. *New Phytologist*, **171**: 41–53.
- Stinson KA, Campbell SA, Powell JR, *et al.* 2006. Invasive plant suppresses the growth of native tree seedlings by disrupting belowground mutualisms. *PLoS Biology*, **4**: 727–731.
- te Beest M, Stevens N, Olf H, *et al.* 2009. Plant-soil feedback induces shifts in biomass allocation in the invasive plant *Chromolaena odorata*. *Journal of Ecology*, **97**: 1281–1290.
- Wardle DA, Bardgett RD, Klironomos JN, *et al.* 2004. Ecological linkages between aboveground and belowground biota. *Science*, **304**: 1629–1633.
- Williamson M, Fitter A. 1996. The varying success of invaders. *Ecology*, **77**: 1661–1666.

---

作者简介 李永慧,女,1987年生,硕士研究生,主要从事入侵生态学研究。E-mail: liyonghui-4122@163.com  
责任编辑 王伟

---