中国生态农业学报 2009 年 9 月 第 17 卷 第 5 期
Chinese Journal of Eco-Agriculture, Sept. 2009, 17(5): 847−850

DOI: 10. 3724/SP.J.1011.2009.00847

入侵植物豚草与本地植物马唐对土壤肥力与酶活性影响的比较*

李会娜[1,2] 刘万学[2] 万方浩[2**] 曹远银[1]

(1. 沈阳农业大学植物保护学院 沈阳 110161;
2. 中国农业科学院植物保护研究所 植物病虫害生物学国家重点实验室 北京 100094)

摘 要 通过同质园试验比较研究了外来入侵植物豚草与本地植物马唐对土壤肥力及 3 大类酶活性的影响。结果表明: 与本地植物及空白对照相比, 豚草显著提高了入侵地的土壤有效养分含量, 特别是有效钾含量是空白对照区和本地植物马唐区的 3.6 倍和 1.3 倍。与空白对照区和本地植物马唐种植区相比, 豚草种植区的土壤酶活性亦显著提高。外来入侵植物豚草在入侵地形成新的关系过程中, 比本地植物马唐能更快地提高土壤有效养分含量及酶活性, 从而实现较短时间内通过提高土壤肥力, 形成对自身生长有利的土壤环境来帮助其竞争入侵。

关键词 生物入侵 外来植物 本土植物 豚草 马唐 土壤肥力 土壤酶活性
中图分类号: S562 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-3990(2009)05-0847-04

Comparison of impacts of invasive weed, *Ambrosia artemisiifolia*, and native weed, *Digitaria chinensis*, on soil enzyme activity and fertility

LI Hui-Na[1,2], LIU Wan-Xue[2], WAN Fang-Hao[2], CAO Yuan-Yin[1]

(1. College of Plant Protection, Shenyang Agriculture University, Shenyang 110161, China; 2. State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100094, China)

Abstract The soil enzyme activity and soil fertility in the invasive ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*) and native weed *(Digitaria chinensis*) growing-plots were analyzed and compared by the same experimental garden methods. The results show that compared to non-vegetation and native-weed, the invasive ragweed significantly increases soil nutrient availability, especially, available K content in the invasive ragweed plots is 3.6 and 1.3 times of those in the non-vegetation and native weed plots, respectively. Compared to non-vegetation and native weed plots, the invasive ragweed plot has significantly higher activity of soil enzymes. In a conclusion, the invasive ragweed (*A. artemisiifolia)*, has a more strong capacity to improve soil available fertility and activity of soil enzyme than the native weed (*D. chinensis*), which benefits its competition with native species.

Key words Biological invasion, Alien invasive plant, Native plant, *Ambrosia artemisiifolia*, *Digitaria chinensis*, Soil fertility, Activity of soil enzyme
(Received April 3, 2009; accepted May 13, 2009)

豚草(*Ambrosia artemisiifolia* L.)是菊科豚草属一年生恶性杂草, 别名艾叶破布草, 原产美国西南部和墨西哥北部的索诺兰沙漠地区, 现已分布于美洲、亚洲、澳洲和大西洋群岛的许多国家和地区。大约 20 世纪 30 年代初传入我国东南沿海, 现已扩散到 23 个省(市), 并呈继续蔓延之势, 成为不可忽视的世界性入侵植物[1]。由于其具有入侵和适应能力极强的特点, 通常侵入撂荒地、住宅四周、路边以

* 国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(2009CB119200)、国家自然科学基金项目(30871654)、“十一五”国家科技支撑计划课题(2006BAD08A17)资助
** 通讯作者, E-mail: wanfangh@public3.bta.net.cn
李会娜(1980~), 女, 博士研究生, 主要从事外来植物入侵生态学研究。E-mail: lihuina0807@163.com
收稿日期: 2009−04−03 接受日期: 2009−05−13

及农田等，并迅速排挤当地植物，发展形成稳定的单优势种群，对农牧业生产造成严重危害。豚草所产生的花粉是引起人类感染“枯草热”秋季花粉症的主要致病原[2]。豚草的成功入侵，与其适应能力强、传播途径多、繁殖系数大、吸水及吸肥能力强和生命力旺盛有关[1]。也有研究者认为豚草逃离了原产地的天敌，因而有许多地区从原产地引入天敌豚草卷蛾进行控制[1,3]。此外，豚草具有化感作用，释放出的多种有害物质，对禾本科等多种植物有抑制、排斥作用。其茎叶水浸提液对萝卜、绿豆、番茄和大白菜等经济作物的生长也均有不同程度的抑制作用[4]。

外来入侵植物一旦成功定居，会通过各种途径影响入侵地生态系统的结构与功能，并通过改变入侵地土壤微生态环境[5-8]，创造对自身有利的土壤环境，同时妨碍本地植物的正常生长，达到入侵扩张的目的[9,10]。外来植物燕麦(*Avena barbata* L.)和雀麦(*Bromus secalinus* L.)入侵贫瘠土壤两年后，与氮代谢相关的土壤氨氧化细菌群落发生改变，且对氮的矿化作用和硝化作用产生显著影响[11]。然而，关于豚草对土壤生态的影响国内尚少见相关报道，且之前关于外来入侵植物的研究都是通过直接在外来植物的入侵地采样，野外调查不同植物土壤特性的差异来推断入侵植物的影响[12,13]。这类研究结论的可靠性是以不同植物土壤的初始状态一致为前提的，而这一点在野外取样中通常很难保证，因此成为该类研究的主要缺陷。而将入侵种和土著种移栽到已知背景的土壤中，监测不同植物土壤特性的改变则可以很好地解决这一问题[14]。因此，本试验在能保证试验初始条件一致的实验基地(同质园)进行，并同时种植入侵植物豚草和本地植物马唐(*Digitaria chinensis* Hornem.)，比较两者对土壤影响的差异，从入侵地土壤生态环境的变化来揭示外来植物豚草的入侵机制。

1 材料与方法

1.1 供试土壤及预处理

试验于 2007 年 5 月在中国农业科学院廊坊科研中试基地进行，供试土壤基本特征：有机质 14.40 g · kg^{-1}，全氮 0.69 g · kg^{-1}，全磷 0.77 g · kg^{-1}，全钾 19.1 g · kg^{-1}。分别种植外来入侵植物豚草和本地植物马唐，同时，设置没有任何植物的空白对照区，每个小区面积为 2.2 m ×2.2 m，每个处理 5 个重复，共 15 个小区，随机区组排列。挑选大小一致、均匀饱满的豚草和马唐种子，4 月底于温室统一育苗，待出苗后，5 月中旬挑选长势均匀一致健壮的幼苗移栽，每个小区移栽 16 株，株行距均为 55 cm。期间，每半月除草 1 次，保证各小区无其他杂草生长，适时浇水保证土壤湿度适中。9 月下旬豚草和马唐均处于结实后期，进行根际土壤采样。采样深度 0~15 cm，每个小区随机选取 3 个采样点，每个采样点取 2 个植株的根际土，每小区的 6 个根际土样混为 1 个土样。采集土样时遮荫，避免阳光照射。挑去土样中的根系等杂物，将土壤带回实验室风干、粉碎，过 20 目筛，装入灭菌的封口聚乙烯袋中，室温保存，并在 1 个月内测定土样养分含量和酶活性。

1.2 测定指标和测定方法

土壤 pH 用电极法(WTW pH 340)测定，水：土=1：2.5(质量比)；土壤有机质用重铬酸钾法测定；土壤全氮用凯氏定氮法测定；土壤硝态氮和铵态氮用 2 mol · L^{-1} KCl(土液比 1：4)浸提，流动分析仪测定；全磷和有效磷采用钼锑抗比色法测定；全钾和速效钾用火焰光度法测定[15]。

脲酶活性用靛酚蓝比色法测定，酶活性以 24 h 后 1 g 土中 NO_3-N 的毫克数表示；磷酸酶用磷酸苯二钠比色法测定，酶活性以 24 h 后 1 g 土中 P_2O_5 的毫克数表示；蔗糖酶采用 3,5-二硝基水杨酸比色法测定，酶活性以 24 h 后 1 g 土中葡萄糖的毫克数表示[16]。

1.3 数据分析

试验数据用 SPSS13.0 进行单因素方差分析(Fisher’s PLSD test)和两组数据相关性分析(Pearson 2-tailed test)。

2 结果与分析

2.1 土壤肥力变化比较分析

不同处理区土壤 pH、有机质、全氮及全磷含量无明显差异，但入侵植物区土壤全钾含量显著低于空白对照区和本地植物区。土壤有效养分的分析结果表明，豚草种植区硝态氮、铵态氮、有效磷、速效钾含量均显著($P \leqslant 0.05$)高于本地植物区及空白土壤；马唐种植区的铵态氮、有效钾显著高于空白土壤，而硝态氮显著低于空白土壤。豚草种植区的铵态氮含量分别是空白对照区和本地植物马唐区的 1.3 倍和 1.2 倍，有效磷含量是空白对照区和本地植物马唐区的 1.2 倍，有效钾含量显著高于空白对照区和本地植物马唐区($P<0.05$)，分别是二者的 3.6 倍和 1.3 倍(表 1)。

2.2 土壤酶活性比较分析

对土壤酶活性的研究(表 2)表明，外来植物豚草与本地植物马唐在一年内均对土壤酶活性有一定的影响。外来植物豚草种植区土壤脲酶活性分别是本

表 1　不同处理区土壤 pH、有机质及养分含量比较

Tab. 1　Comparison of soil pH, organic matter, and nutrients contents in different treatment soils

处理 Treatment	pH	有机质 Organic matter ($g \cdot kg^{-1}$)	全氮 Total N ($g \cdot kg^{-1}$)	全磷 Total P ($g \cdot kg^{-1}$)	全钾 Total K ($g \cdot kg^{-1}$)	铵态氮 NH_4^+-N ($mg \cdot kg^{-1}$)	硝态氮 NO_3^--N ($mg \cdot kg^{-1}$)	有效磷 Available P ($mg \cdot kg^{-1}$)	有效钾 Available K ($mg \cdot kg^{-1}$)
空白对照 Non-vegetation plot	8.5±0.17a	14.40±0.60a	0.69±0.02a	0.77±0.01a	19.1±0.14a	9.3±0.80c	15.3±0.94b	7.4±0.24b	66.7±1.10c
豚草种植区 Alien-plant plot	8.3±0.12a	13.83±0.35a	0.66±0.02a	0.73±0.01a	18.5±0.04b	12.3±1.14a	19.0±1.13a	8.8±0.28a	240.7±17.95a
马唐种植区 Native-plant plot	8.5±0.06a	13.92±0.64a	0.68±0.01a	0.71±0.01a	18.9±0.03a	10.0±0.72b	9.5±0.45c	7.1±0.21b	190.7±1.63b

同列不同字母表示 5%水平差异显著 (Fisher's LSD test)，下同。 Different letters in the same column mean significant difference at $P<0.05$ (Fisher's LSD test). The same below.

表 2　不同处理区土壤酶活性比较

Tab. 2　Activities of enzymes in the different treatment soils

$mg \cdot kg^{-1}$

处理 Treatment	脲酶 Urase	磷酸酶 Phosphatase	蔗糖酶 Invertase
空白对照 Non-vegetation plot	1.96±0.02c	68.39±6.25b	2.45±0.09b
豚草种植区 Alien-plant plot	3.28±0.03a	90.08±2.15a	2.97±0.04a
马唐种植区 Native-plant plot	2.97±0.03b	71.52±5.42b	2.88±0.06a

地植物马唐种植区和空白对照区的 1.1 倍和 1.7 倍，呈显著差异($P<0.05$)；豚草种植区土壤磷酸酶活性是马唐种植区和空白对照区的 1.3 倍；豚草种植区土壤蔗糖酶活性是空白对照区的 1.2 倍，且差异显著($P<0.05$)。马唐种植区的脲酶和蔗糖酶活性也显著高于空白对照区。

2.3　土壤有效养分和酶活性的关系

表 3 表明，土壤有效养分含量与酶活性密切相关。其中，脲酶分别与硝态氮、铵态氮和速效钾呈极显著相关；磷酸酶活性与有效磷呈极显著相关，说明磷酸酶活性与土壤有效磷含量关系密切；蔗糖酶活性与土壤硝态氮呈极显著负相关，而与铵态氮和速效钾呈极显著正相关。

表 3　土壤有效养分与酶活性的相关系数

Tab. 3　Correlations between soil available N, P, K and enzyme activity

	脲酶 Urase	磷酸酶 Phosphatase	蔗糖酶 Invertase
硝态氮 NO_3^--N	0.925^{**}	–0.377	-0.817^{**}
铵态氮 NH_4^+-N	0.724^{**}	0.633	0.716^{**}
有效磷 Available P	0.496	0.738^{**}	0.407
速效钾 Available K	0.980^{**}	0.636	0.924^{**}

$^{**}P=0.01$ 水平显著相关 Significant correlations at $P=0.01$ (2-tailed).

3　讨论

外来入侵植物在入侵地能改变土壤微生态，进而形成有利于自身生长的微环境[9,17]，而外来植物与土著植物凋落物的质与量、根系特征、物候等生理生态特性的差异，可能是形成格局多样性和影响机制复杂性的原因[18]。本研究发现，外来入侵植物豚草和本地植物马唐种植 1 年后均改变了土壤微生态环境，且同样条件下豚草对土壤的影响较马唐更显著，对土壤肥力尤其是有效养分的影响更大。本地植物马唐在长期进化过程中，已适应当地的物候条件，对土壤特性的影响程度和速度均较小。很多研究表明，外来植物入侵会提高或降低入侵地的土壤肥力[19–21]。本试验中豚草入侵的土壤与空白土壤相比，硝态氮、铵态氮、有效磷、速效钾含量均较高，说明豚草可改善土壤肥力状况，为自身生长创造良好的环境，以更快更多地吸收养分快速生长。但对有机质、全氮、全磷含量无显著影响，可能因为试验时间较短，仅 1 个生长季，且整个生长期未施加任何营养。

土壤酶活性反映了土壤各种生物化学过程的强度和方向，受多种因素控制。土壤酶活性的变化只能间接表明某些营养物质的转化情况。对豚草和马唐 1 个生长季的研究发现，豚草种植区土壤脲酶、磷酸酶活性均高于马唐种植区和空白对照区，且变化趋势与土壤有效养分含量变化趋势一致。

土壤酶活性与有效氮、磷、钾含量的变化表明，豚草能够比马唐更快地改变种植区土壤的酶活性，调节碳、氮、磷等营养元素的周转，有利于土壤有效养分循环利用，创造良好的根际营养环境。虽然，本试验只是 1 年的试验结果，但这与作者野外调查长沙豚草入侵地的结果基本一致(未发表)，即豚草入侵对土壤的多种特性产生了影响。且与前人认为豚草在入侵地有较强的吸水吸肥能力来帮助其入侵扩张[1]的结果一致。

以上结果表明，外来植物豚草对土壤微环境的改变较本地植物马唐速度要快，这可能正是该外来种得以成功入侵的主要原因之一。今后的研究可考虑在同质园条件下，延长植物种植年限，因同质园

比野外调查研究更可以保证不同植物土壤的初始状态一致，同时也可通过动态监测土壤特性进行纵向比较，并量化一定时间内不同植物引起的土壤特性差异。这可以更全面了解外来植物与本地植物生长对土壤特性影响的差异以及土壤在外来物种入侵过程中扮演的角色，为有效控制外来入侵植物提供科学依据。

参考文献

[1] 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[M]. 北京：科学出版社, 2005: 662–688

[2] 万方浩，关广清，王韧. 豚草及豚草综合治理[M]. 北京：中国科学技术出版社, 1993: 322

[3] 余雄波，邓克勤. 豚草卷蛾对豚草的控制效果[J]. 植物检疫, 2007, 21(1): 14–15

[4] 陈贤兴，单和好. 豚草对几种经济作物的生化他感作用[J]. 海南大学学报：自然科学版, 2003, 21(1): 69–73

[5] Paul B. H., Bret E. O., Jon M. W. Effects of the invasive forb *Centaurea maculosa* on grassland carbon and nitrogen pools in Montana, USA[J]. Ecosystems, 2004, 7: 686–694

[6] Toyota K., Kuninaga S. Comparison of soil microbial community between soils amended with or without farmyard manure[J]. Applied Soil Ecology, 2006, 33(7): 39–48

[7] Bever J. D. Soil community feedback and the coexistence of competitors: conceptual frameworks and empirical tests[J]. New Phytologist, 2003, 157: 465–473

[8] Klironomos J. N. Feedback with soil biota contributes to plant rarity and invasiveness in communities[J]. Nature, 2002, 417: 67–70

[9] Callaway R. M. Biological-control herbivores may increase competitive ability of the noxious weed *Centaurea maculosa*[J]. Ecology, 2006, 80(4): 1196–1201

[10] Wardle D. A., Bardgett R. D., Klironomos J. N., *et al*. Ecological linkages between aboveground and belowground biota[J]. Science, 2004, 304: 1629–1633

[11] Hawkes C. V., Wren I. F., Herman D. J., *et al*. Plant invasion alters nitrogen cycling by modifying the soil nitrifying community[J]. Ecology Letters, 2005, 8: 976–985

[12] Scott N. A., Saggar S., Mcintosh P. D. Biogeochemical impact of *Hieracium* invasion in New Zealand's grazed tussock grasslands: Sustainability implications[J]. Ecological Applications, 2001, 11: 1311–1322

[13] 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

[14] Ehrenfeld J. G., Scott N. Invasive species and the soil: Effects on organisms and ecosystem processes[J]. Ecological Applications, 2001, 11: 1259–1260

[15] 鲍士旦. 土壤农化分析(第 3 版)[M]. 北京：中国农业出版社, 2000: 22–108

[16] 关松荫. 土壤酶及其研究方法[M]. 北京： 农业出版社, 1986: 303–312

[17] Knops J. M. H., Bradley K. L., Wedin D. A. Mechanisms of plant species impacts on ecosystem nitrogen cycling[J]. Ecology Letters, 2002, 5(6): 454–466

[18] 陈慧丽，李玉娟，李博，等. 外来植物入侵对土壤生物多样性和生态系统过程的影响[J]. 生物多样性，2005，3(6): 555–565

[19] 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 (11): 1105–1112

[20] Jeffrey J., Duda D., Carl F., *et al*. Differences in native soil ecology associated with invasion of the exotic annual chenopod, *Halogeton glomeratus*[J]. Biology and Fertility of Soils, 2003, 38: 72–77

[21] Callaway R. M., Thelen G. C., Rodrguez., *et al*. Soil biota and exotic plant invasion[J]. Nature, 2004, 427: 731–733

欢迎订阅 2010 年《植物营养与肥料学报》

本刊为中国植物营养与肥料学会主办，国内外公开发行的植物营养与肥料学科的专业性学术期刊。本刊属中国科技核心期刊、中文核心期刊、农业核心期刊；为科技部“中国科技论文统计源期刊”；被美国化学文摘（CA）收录；荣获“中国精品科技期刊”、“中国百种杰出学术期刊”。

主要刊登本学科具有创新性的学术论文及简报、文献评述和问题讨论等。其内容包括：土壤、肥料和作物间的关系，养分变化和平衡；各种肥料在土壤中的变化规律和配施原理；农作物遗传种质特性对养分的反应；作物根际营养；施肥与环境；施肥与农产品品质；农业生物学和生物化学应用；肥料的新剂型新品种的研制、应用及作用机理等。

2010 年《植物营养与肥料学报》为双月刊，大 16 开本，260 页，单月 25 日出版，定价 28 元，全年 168 元。国内刊号：CN11-3996/S，国际刊号：ISSN 1008-505X，邮发代号：82-169。可通过全国各地邮局办理 2010 年订阅手续，也可直接汇款到本刊编辑部办理订阅。

欢迎作者、读者登陆本刊网站(http://www.plantnutrifert.org)进行在线投稿，查阅稿件处理情况及了解本刊的更多信息。

地　址：100081 北京市中关村南大街 12 号　中国农科院资源区划所《植物营养与肥料学报》编辑部

电　话：010-82108653　E-mail: zwyf@caas.ac.cn　zwyf@chinajournal.net.cn　zwyyyflxb@periodicals.net.cn