

火炬树入侵黑松幼林过程中对土壤化学性质的影响

黄乔乔^{1,2}, 许慧¹, 范志伟², 侯玉平^{1*}

1. 鲁东大学生命科学学院, 山东 烟台 264025; 2. 中国热带农业科学院环境与植物保护研究所, 农业部热带作物有害生物综合治理重点实验室, 海南省热带农业有害生物监测与控制重点实验室, 海南 海口 571101

摘要: 外来植物入侵对生态系统和环境造成严重影响。成功的外来植物常常可通过改变土壤化学性质来促进自身的竞争和入侵能力。最近几年火炬树(*Rhus typhina* L.)已经成为北方入侵木本植物之一, 火炬树克隆繁殖形成居于绝对优势地位的单优群落已严重威胁着生物多样性和生态系统功能。在本文中, 我们研究了火炬树入侵黑松(*Pinus thunbergii* Parl.)幼林对土壤化学性质的影响。2011年4月, 在山东烟台莱山, 于火炬树入侵程度不同的黑松幼林(在未入侵、轻度、中度、重度入侵下, 火炬树盖度分别为0%、30%、50%~70%、90%以上), 分别采样表层土壤并带回实验室分析其化学性质。结果表明: 火炬树的入侵显著提高了土壤硝态氮(从未入侵下的0.63 mg/kg 提高到重度入侵下的0.98 mg·kg⁻¹)和有效磷(从未入侵下的0.589 mg·kg⁻¹ 提高到重度入侵下的1.189 mg·kg⁻¹)的含量, 降低了土壤铵态氮(从未入侵下的9.25 mg·kg⁻¹ 降低到重度入侵下的2.97 mg·kg⁻¹)的含量, 而对土壤pH、有机质和全氮含量没有显著影响。火炬树入侵导致铵态氮降低可能是由于火炬树更易于吸收利用土壤铵态氮; 硝态氮含量升高是因为火炬树入侵提高了土壤的硝化速率。同时火炬树入侵导致土壤有效磷升高, 说明火炬树能够通过活化分解土壤含磷化合物来满足自身生长的需求。本研究表明, 火炬树入侵能显著改变土壤化学性质, 火炬树入侵对根际土壤化学性质的影响及其自身的适应性特征等可能是其能够入侵成功和快速扩张蔓延的生态机制之一。

关键词: 植物入侵; 火炬树; 土壤化学性质; 硝态氮; 铵态氮

中图分类号: Q948

文献标志码: A

文章编号: 1674-5906(2013)07-1119-05

引用格式: 黄乔乔, 许慧, 范志伟, 侯玉平. 火炬树入侵黑松幼林过程中对土壤化学性质的影响[J]. 生态环境学报, 2013, 22(7): 1119-1123.

HUANG Qiaoqiao, XU Hui, FAN Zhiwei, HOU Yuping. Effects of *Rhus typhina* invasion into young *Pinus thunbergii* forests on soil chemical properties [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2013, 22(7): 1119-1123.

外来植物入侵不仅会改变入侵地生态系统的植物组成和植被结构, 还会改变许多生态功能与过程^[1-3]。土壤作为陆地生态系统的一个重要组成部分, 是植物生长的基质并为其提供养分, 对于植物的定植、生长和竞争及决定群落物种组成具有重要作用。另一方面, 外来植物入侵可能对土壤化学性质产生极大影响, 入侵会改变生态系统总生物量、土壤微生物结构和功能、有机质分解速率、养分释放、土壤养分水平等^[4-6]。然而, 这种改变虽有一定趋势^[7], 但不同物种在不同系统中改变的方向和强度往往并不一致, 并因而可能产生不同的后果。例如, 原产于亚洲的多年生 C₃ 草本植物冰草(*Agropyron cristatum*)入侵加拿大后, 显著降低了入侵地的土壤含氮量^[8]; 而在新西兰, 山柳菊属植物(*Hieracium* spp.)的入侵显著提高了土壤的全氮含量^[9]。在夏威夷, 固氮植物 *Myrica faya* 的入侵对土壤氮含量的提高促进了其他植物的定植^[10]; 而在上

海, 入侵种加拿大一枝黄花(*Solidago canadensis*)可以增加土壤总碳和总氮, 降低铵氮库和硝氮库, 并且这种化学性质的改变能够进一步促进该物种的入侵^[11]。

火炬树(*Rhus typhina* L.)别名鹿角漆, 系漆树科(Anacardiaceae)盐肤木属(*Rhus*)落叶灌木或小乔木, 原产美国和加拿大南部^[12]。因耐旱、耐瘠薄、喜光, 幼期生长迅速, 繁殖材料极易解决, 被认为是水土保持的优良树种^[12]。火炬树最早是于1959年由北京植物园作为观赏树种引入, 随后陆续推广至华北、西北、东北、华中和西南许多省区, 目前以黄河流域以北各省(区)栽培较多^[13]。目前, 火炬树已在主要引种栽植地区如北京、河北和山东等不断向四周蔓延扩散, 占据灌丛草地, 并向农田、人工林和次生林侵入^[12]。火炬树克隆繁殖形成居于绝对优势地位的单优群落, 已经影响当地种构成落叶灌木层片和草本层片在群落中分布, 导致物种的饱和度降低

基金项目: 山东省自然科学基金项目(ZR2012CQ020); 山东省高等学校科技计划项目(J13LE08); 鲁东大学科研基金项目(LY2011006)

作者简介: 黄乔乔(1982年生), 男, 助理研究员, 博士, 主要从事植物入侵生态学的研究。E-mail: cosplete@126.com

*通信作者: 侯玉平, 讲师, 博士。E-mail: hou_yuping@163.com

收稿日期: 2013-03-20

[12]。关于火炬树,已有一些关于其萌蘖繁殖扩散特征^[14-15]、化感作用^[16-17]、对胁迫环境的抗性^[13]等的研究,但关于火炬树入侵对生态系统土壤化学性质影响的研究还未见报道。在本文中,我们研究火炬树入侵黑松(*Pinus thunbergii*)幼林的过程中对土壤化学性质的影响,以初步探讨火炬树成灾后可能产生的生态后果。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究地区烟台秦山属山东半岛北部黄海沿岸丘陵,气候类型为暖温带季风型大陆性气候,年均降水量为740.3 mm,年均气温12℃。土壤为棕壤,成土母质为花岗岩,土层在海拔200 m以下较厚,但含砾石量较大;200 m以上有基岩出露。山体沿多方向延伸,形成多种小生境。本区域属于暖温带落叶阔叶林区域,由于人类活动频繁,原始植被早已无存,建群种主要包括黑松、刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、麻栎(*Quercus acutissima*)、赤松(*Pinus densiflora*)等^[18]。2005年火灾后,火炬树作为植被恢复和观赏树种被少量引入秦山,种植于路径两侧;2009年火炬树已大肆扩散蔓延,侵入周边黑松林及刺槐林等生境,甚至形成片段化单优种群^[19]。

1.2 样地选取及样品采集

黑松幼林为2005年火灾后人工种植,以促进植被恢复。本研究以火炬树入侵黑松幼林过程为研究对象,按火炬树入侵程度不同将其分为4个阶段:未入侵阶段、轻度入侵阶段、中度入侵阶段和重度入侵阶段。未入侵阶段,火炬树入侵暂未发生;轻度入侵为火炬树开始向黑松幼林扩散,火炬树盖度在30%左右;中度入侵黑松幼林火炬树盖度已达50%~70%;重度入侵为火炬树入侵多年,木本植物已被排挤而形成火炬树的单优种群(火炬树盖度在90%以上),伴生物种主要有少量草本植物。每个阶段各选3块3 m×3 m样地,样地共计12块,位置相邻近,海拔均为178~181 m,坡向坡度大致相同,因此各样地条件具有可比性。2011年4月,在各样地取表层土壤样品3个,取土深度在0~20 cm,在取样过程中去除凋落物等有机杂质。对取回的鲜土分成两份,一份立即过筛、分装保存于冰箱,在两周内完成土壤铵态氮、硝态氮的测定;另一份于室内自然风干、过筛、分装保存用于其他土壤化学性质的测定。

1.3 野外调查

样地设置方法如前所述,在每块样地内对火炬树种群的生长状况做调查,调查参数包括株数、株高、密度、基茎。

1.4 土壤化学性质的测定

土壤pH值用电极法测定,土壤悬浊液为水土比1:2.5(质量比);土壤有机质采用重铬酸钾容量法;土壤全氮含量采用凯氏定氮法测定;土壤铵态氮含量采用氯化钾浸提-靛酚蓝比色法;硝态氮含量采用酚二磺酸比色法;土壤有效磷含量采用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法^[20]。

1.5 数据分析

数据分析采用统计软件SPSS(SPSS 15.0)。不同入侵类型种群间的差异采用单因素方差分析(One-Way ANOVA SNK Test)。

2 结果与分析

2.1 野外调查数据

从表1中可以看出,不同入侵程度的火炬树在随机选取的样方中差异较大,株数、高度、基茎、密度的大小顺序为:重度入侵>中度入侵>轻度入侵>未入侵。

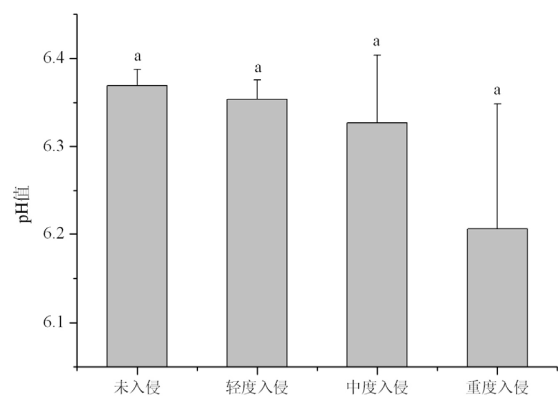
表1 火炬树不同入侵程度黑松幼林样方(面积:9 m²)中火炬树的生长及数量情况统计

Table 1 Summary statistics of the growth and number of *Rhus typhina* plants in young *Pinus thunbergii* plots (area: 9 m²) with different extents of invasion by *R. typhina*.

入侵程度	株数	株高/cm	基茎/cm	密度/(株·m ²)
重度入侵	49	103	7.85	5.4
中度入侵	25	56	2.5	2.8
轻度入侵	17	48	1.9	1.9
未入侵	0	0	0	0

2.2 对土壤pH的影响

火炬树入侵有降低土壤pH的趋势,然而差异并不显著(图1)。



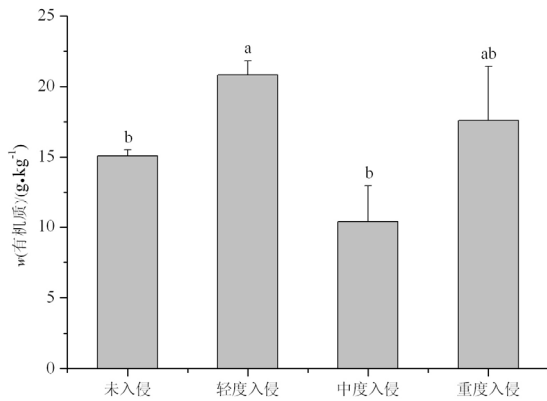
未入侵、轻度入侵、中度入侵、重度入侵黑松幼林中火炬树的盖度分别为0%、30%、50%~70%、90%以上

图1 火炬树不同入侵程度对黑松幼林土壤pH值的影响

Fig.1 Effects of different *Rhus typhina* invasion extents into young *Pinus thunbergii* forests on soil pH

2.3 对土壤有机质的影响

火炬树入侵程度不同系统中土壤有机质含量



未入侵、轻度入侵、中度入侵、重度入侵黑松幼林中火炬树的盖度分别为0%、30%、50%~70%、90%以上

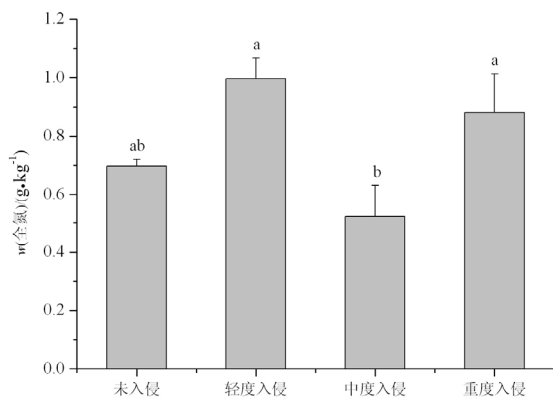
图2 火炬树不同入侵程度对黑松幼林有机质含量的影响

Fig.2 Effects of different *Rhus typhina* invasion extents into young *Pinus thunbergii* forests on soil organic matter content

差异显著, 但没有明显的趋势性(图2)。

2.4 对土壤全氮的影响

火炬树入侵程度不同系统中土壤全氮含量差异显著, 但没有明显的趋势性(图3)。



未入侵、轻度入侵、中度入侵、重度入侵黑松幼林中火炬树的盖度分别为0%、30%、50%~70%、90%以上

图3 火炬树不同入侵程度对黑松幼林土壤全氮含量的影响

Fig.3 Effects of different *Rhus typhina* invasion extents into young *Pinus thunbergii* forests on soil total nitrogen content

2.5 对土壤硝态氮的影响

火炬树入侵有增加土壤硝态氮含量的趋势, 重度入侵系统中的土壤硝态氮含量要大于未入侵和轻度入侵系统中的土壤硝态氮含量(图4)。

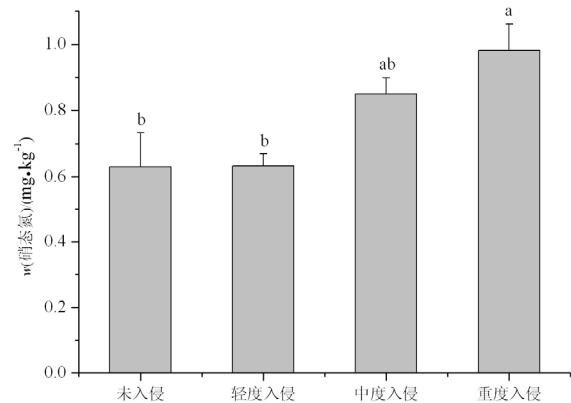
2.6 对土壤铵态氮的影响

火炬树入侵显著降低了土壤铵态氮的含量, 轻度、中度、重度入侵系统中的土壤铵态氮含量差异不显著, 但三者都显著低于在未入侵系统中的土壤铵态氮的含量(图5)。

2.7 对土壤有效磷的影响

火炬树入侵提高了土壤有效磷的含量, 中度和重度入侵系统中的土壤有效磷含量要大于轻度和

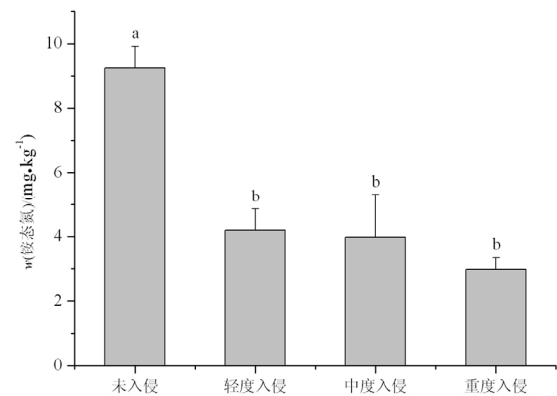
未入侵系统中的土壤有效磷含量(图6)。



未入侵、轻度入侵、中度入侵、重度入侵黑松幼林中火炬树的盖度分别为0%、30%、50%~70%、90%以上

图4 火炬树不同入侵程度对黑松幼林土壤硝态氮含量的影响

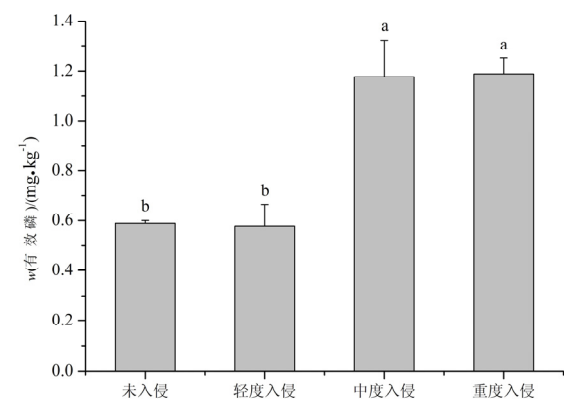
Fig.4 Effects of different *Rhus typhina* invasion extents into young *Pinus thunbergii* forests on soil nitrate nitrogen content



未入侵、轻度入侵、中度入侵、重度入侵黑松幼林中火炬树的盖度分别为0%、30%、50%~70%、90%以上

图5 火炬树不同入侵程度对黑松幼林土壤铵态氮含量的影响

Fig.5 Effects of different *Rhus typhina* invasion extents into young *Pinus thunbergii* forests on soil ammonium nitrogen content



未入侵、轻度入侵、中度入侵、重度入侵黑松幼林中火炬树的盖度分别为0%、30%、50%~70%、90%以上

图6 火炬树不同入侵程度对黑松幼林对土壤有效磷含量的影响

Fig.6 Effects of different *Rhus typhina* invasion extents into young *Pinus thunbergii* forests on soil available phosphorus content

3 结论和讨论

3.1 讨论

本实验表明火炬树的入侵可以使土壤pH有一定的降低趋势。植物可以通过根系分泌物、凋落物淋溶等作用直接改变、或通过影响微生物群落和功能间接改变土壤化学性质^[21-23]。pH值是植物对土壤影响中比较敏感的指标,对pH值调节的能力也表明了火炬树可能对其他土壤过程和土壤化学性质产生重要影响。

植物入侵往往能增加生态系统中的生物量,有机质含量及全氮含量等^[7]。在本研究中,火炬树入侵并没有明显增加土壤有机质含量及全氮含量。原因可能是火炬树通过凋落物分解释放归还土壤的养分与利用的养分之间的平衡导致土壤有机质含量的不变。有机质是微生物矿化作用的底物,有机质含量的不变可能也导致土壤全氮含量的不变。

植物可能对特定形态的养分有一定偏好,使得在总养分含量保持不变的情况下,不同形态的养分含量有一定改变^[9]。在本研究中,火炬树入侵降低了土壤铵态氮含量而增加了土壤硝态氮含量,说明火炬树可能更易于吸收利用铵态氮。类似的,加拿大一枝黄花也更偏好铵态氮,并降低了土壤铵态氮含量^[9]。有研究发现,一些外来入侵植物周围土壤硝态氮含量高,这与我们的研究结果一致^[24-25]。我们的前期研究发现火炬树化感物质水浸液改变了土壤微生物的数量与群落结构,从而提高了土壤的硝化速率^[19],这可能是本研究中土壤硝态氮随火炬树入侵程度加重而升高的主要原因。

火炬树的入侵增加了土壤有效磷含量。对火炬树化感物质对土壤酶的影响进行研究,结果表明火炬树化感物质水浸液浓度增大时提高了土壤磷酸酶的活性,促进了磷从有机态到无机态的转化^[19]。据此推测,土壤有效磷增加的可能原因是火炬树对土壤含磷化合物具有分解活化的作用,使磷元素从含磷化合物中释放出来从而增加土壤中有效磷的含量,同时满足自身生长的需求。本研究同时也提示,在土壤养分少、贫瘠的土壤中,火炬树的入侵有利于增加土壤的有效磷含量,从而增加土壤肥力。类似的,入侵植物紫茎泽兰(*Ageratina adenophora*)也可以增加土壤中有效磷的含量^[26]。

3.2 结论

火炬树入侵黑松幼林提高了土壤硝态氮和有效磷的含量,降低了土壤铵态氮的含量,而对土壤全氮、有机质含量没有明显影响。火炬树入侵导致铵态氮降低可能是由于火炬树更易于吸收利用土壤铵态氮;硝态氮含量升高可能是因为火炬树入侵提高了土壤的硝化速率。同时火炬树入侵导致土壤

有效磷升高,可能说明火炬树能够通过活化分解土壤含磷化合物来满足自身生长的需求。植物入侵常常可通过改变土壤化学性质来促进自身的竞争和入侵能力^[27];对于火炬树来说,火炬树入侵对根际土壤化学性质的影响及其自身的适应性特征等可能是其能够入侵成功和快速扩张蔓延的生态机制之一。

致谢:王信、李伟杰在实验过程中提供了帮助,倪广艳博士帮助修改了英文摘要,在此一并表示感谢。

参考文献:

- [1] EHRENFELD J G. Effects of exotic plant invasions on soil nutrient cycling processes[J]. *Ecosystems*, 2003, 6(6): 503-523.
- [2] 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, 13(6): 555-565.
- [3] EHRENFELD J G. Ecosystem consequences of biological invasions[J]. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 2010, 41: 59-80.
- [4] ALLISON S D, VITOUSEK P M. Rapid nutrient cycling in leaf litter from invasive plants in Hawaii[J]. *Oecologia*. 2004, 141(4): 612-619.
- [5] LIAO C, LUO Y, JIANG L, et al. Invasion of *Spartina alterniflora* enhanced ecosystem carbon and nitrogen stocks in the Yangtze Estuary, China [J]. *Ecosystems*, 2007, 10: 1351-1361.
- [6] LI W, ZHANG C, JIANG H, et al. Changes in soil microbial community associated with invasion of the exotic weed, *Mikania micrantha* HBK[J]. *Plant and Soil*, 2006, 281(1): 309-324.
- [7] LIAO C, PENG R, LUO Y, et al. Altered ecosystem carbon and nitrogen cycles by plant invasion: a meta-analysis[J]. *New Phytologist*. 2008, 177(3): 706-714.
- [8] CHRISTIAN J M, WILSON S D. Long-term ecosystem impacts of an introduced grass in the northern Great Plains[J]. *Ecology*, 1999, 80(7): 2397-2407.
- [9] 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(5): 1311-1322.
- [10] VITOUSEK P M, WALKER L R, WHITEAKER L D, et al. Biological invasion by *Myrica faya* alters ecosystem development in Hawaii[J]. *Science*, 1987, 238(4828): 802-804.
- [11] 陆建忠, 裘伟, 陈家宽, 等. 入侵种加拿大一枝黄花对土壤特性的影响[J]. *生物多样性*, 2005, 13(04): 347-356.
- [12] 张明如, 翟明普, 贾黎明, 等. 火炬树克隆植株生长和生物量特征的研究[J]. *林业科学*, 2004, 40(3): 39-45.
- [13] 喻晓丽, 邸雪颖, 宋丽萍. 水分胁迫对火炬树幼苗生长和生理特性的影响[J]. *林业科学*, 2007, 43(11): 57-61.
- [14] 张川红, 郑勇奇, 李继磊, 等. 北京地区火炬树的萌蘖繁殖扩散[J]. *生态学报*, 2005, 25(5): 978-985.
- [15] 张明如, 温国胜, 颜文洪, 等. 太行山低山丘陵区火炬树克隆分株的生长策略[J]. *浙江林学院学报*, 2008, 25(3): 282-288.
- [16] 白丽荣, 时丽冉, 徐振华, 等. 火炬树浸提液对几种农作物的化感作用[J]. *种子*, 2010, 29(6): 91-93.
- [17] 孙天旭, 鲁法典, 郑勇奇, 等. 外来树种火炬树化感作用的研究[J].

- 林业科学研究, 2010, 23(2): 195-201.
- [18] 赵雪, 赵爱芬, 张龙龙. 烟台市泰山人工林火烧迹地植被恢复初期的群落结构特征[J]. 鲁东大学学报: 自然科学版, 2008, 24(4): 346-352.
- [19] 侯玉平, 柳林, 王信, 等. 外来植物火炬树(*Rhus typhina* L.)水浸液对土壤微生态系统的化感作用[J]. 生态学报, 2013, DOI: 10.5846/stxb201209171304.
- [20] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 第三版. 北京: 中国农业出版社, 1999: 25-114.
- [21] 涂书新, 孙锦荷, 郭智芬, 等. 植物根系分泌物与根际营养关系评述[J]. 土壤与环境, 2000, 9(1): 64-67.
- [22] 倪广艳, 彭少麟. 外来入侵植物化感作用与土壤相互关系研究进展[J]. 生态环境, 2007, 16(2): 644-648.
- [23] SOUTO C, PELLISSIER F, CHIAPUSIO G. Allelopathic effects of humus phenolics on growth and respiration of mycorrhizal fungi[J]. Journal of Chemical Ecology, 2000, 26(9): 2015-2023.
- [24] KOURTEV P S, EHRENFELD J G, HÄGGELOM M. Experimental analysis of the effect of exotic and native plant species on the structure and function of soil microbial communities[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2003, 35(7): 895-905.
- [25] CHEN B M, PENG S L, NI G Y. Effects of the invasive plant *Mikania micrantha* H.B.K. on soil nitrogen availability through allelopathy in South China[J]. Biological Invasions, 2009, 11(6): 1291-1299.
- [26] 李会娜, 刘万学, 戴莲, 等. 紫茎泽兰入侵对土壤微生物、酶活性及肥力的影响[J]. 中国农业科学, 2009, 42(11): 3964-3971.
- [27] LEVINE J M, PACHEPSKY E, KENDALL B E, et al. Plant-soil feedbacks and invasive spread[J]. Ecology Letters, 2006, 9(9): 1005-1014.

Effects of *Rhus typhina* invasion into young *Pinus thunbergii* forests on soil chemical properties

HUANG Qiaoqiao^{1,2}, XU Hui¹, FAN Zhiwei², HOU Yuping^{1*}

1. College of Life Sciences, Ludong University, Yantai, Shandong 264025, China;

2. Environment and Plant Protection Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Key Laboratory of Integrated Pest Management on Tropical Crops, Ministry of Agriculture, P. R. China, Hainan Key Laboratory for Monitoring and Control of Tropical Agricultural Pests, Haikou, Hainan 571101, China

Abstract: Exotic plant invasions severely threaten ecosystems and the environment. Successful invasive plants often promote their competitive ability and invasiveness through altering soil chemical properties. In recent years *Rhus typhina* has become one of the invasive woody plant species in North China. The monodominant communities formed by *R. typhina* through vegetative propagation have extremely threatened biodiversity and ecosystem functioning. In this study, we examined the influence of *R. typhina* invasion into young *Pinus thunbergii* forests on soil chemical properties. In April 2011, soils were collected under young *P. thunbergii* forests with *R. typhina* invasion by different extents in the Zhen Mountain, Yantai of Shandong Province (coverage of *R. typhina* reached 0%, 30%, 50% to 70%, and above 90% under non-invaded, slightly invaded, moderately invaded, and severely invaded plots, respectively), and their chemical properties were analyzed in the laboratory. The results showed that *R. typhina* invasion significantly elevated soil nitrate nitrogen with values ranging from 0.63 mg·kg⁻¹ in non-invaded plots to 0.98 mg·kg⁻¹ in severely invaded plots, increased available phosphorus contents with values ranging from 0.589 mg·kg⁻¹ in non-invaded plots to 1.189 mg·kg⁻¹ in significantly invaded plots, reduced the content of soil ammonium nitrogen from an initial value of 9.25 mg·kg⁻¹ in non-invaded plots to 2.97 mg·kg⁻¹ in severely invaded plots, but did not significantly influence the soil pH, total nitrogen and organic matter contents. That reduced ammonium nitrogen content due to *R. typhina* invasion may be attributed to enhanced capabilities of plant absorbance and utilization on soil ammonium nitrogen. Concurrently, the elevated nitrate nitrogen content might be a result of increase in soil nitrification rate caused by *R. typhina* invasion. Moreover, *R. typhina* invasion elevated the soil available phosphorus, indicating *R. typhina* could be able to meet its needs of growth through activating and decomposing soil phosphorus compounds. The present study suggests that the influence of *R. typhina* invasion on soil chemical properties, in combination with its own adaptive traits, may be one of the ecological mechanisms elucidating its successful invasion and rapid expansion.

Key words: plant invasion; *Rhus typhina*; soil chemical properties; nitrate nitrogen; ammonium nitrogen