

外来种日本落叶松对土壤及生物多样性影响的研究进展^{*}

陈 卉^{1,2,3}, 郭永兵⁴, 赵 阅¹, 魏淑东^{1,3}, 陈中义¹

(1. 长江大学 植物生态与环境修复研究所; 2. 长江大学 麋鹿健康与生境研究中心, 湖北 荆州 434025;
3. 河南省水体污染防治与修复重点实验室, 河南 平顶山 467036; 4. 神农架国家公园管理局, 湖北 神农架 442421)

摘要:【目的】考察外来植物日本落叶松(*Larix kaempferi*)对土壤及生物多样性影响的研究进展。【方法】通过总结、归纳和比较相关研究文献,对中国引入日本落叶松后栽培地生态系统的土壤理化性质、土壤酶活性、土壤生物多样性、植物多样性以及珍稀动物保育受到的影响进行综述。【结果】日本落叶松的引入不仅改变了栽培地的土壤理化性质和土壤酶活性,也通过凋落物的产量、现存量和分解速率的变化,改变了地下生态系统的生物多样性,进而影响着地上植物的多样性和珍稀动物的栖息生境。同时,日本落叶松林的土壤特性、土壤微生物和林内生物多样性也随林龄、林分组成、人为干扰等因素而变化。【结论】应加强现有日本落叶松林抚育管理,及时清理枯枝和病死树,对近熟林阶段日本落叶松人工林进行土壤肥力管理,并积极开展外来种日本落叶松人工林对森林生态系统健康和生态功能的科学评估。此外,在原始森林、珍稀动物活动区等生态敏感区域,应严格限制日本落叶松等外来种的引种。

关键词:外来植物;日本落叶松;生物多样性;土壤

中图分类号:Q948.12

文献标志码:A

文章编号:1672-6693(2021)02-0105-07

日本落叶松(*Larix kaempferi*)是松科(Pinaceae)落叶松属(*Larix*)的落叶乔木,原产于日本,具有适应性强、早期速生、成林快、材质优良等特点;同时,它在中国的东北、西北、华北和南方的亚高山地区也是退耕还林、城市绿化和工业用材的重要树种之一^[1-4]。1884年,山东省崎山林场在中国国内最早试种日本落叶松,之后山东省塔山林场也于1906年从日本引入该树种;辽宁省从1918年开始引种和栽培日本落叶松,是日本落叶松在中国的主要集中栽培区;此外,在北京、山西、内蒙古、吉林、黑龙江、浙江、江西、河南、湖北、湖南、四川、陕西、甘肃、宁夏、新疆等省(直辖市、自治区)也都有引种或大面积栽培日本落叶松^[5-6]。长期以来,日本落叶松的种植主要以人工林为主,存在林分结构单一、密度偏大、林龄老化等问题,而发育趋于成熟的日本落叶松林也出现了因虫害、气象灾害等导致的衰退迹象^[7-8]。营造大面积的日本落叶松纯林为有害生物提供了有利条件,使得林内有害生物呈现出种类多、危害重、危害面积大等特点^[9-12]。在中国南方高山地区,日本落叶松人工纯林在遭遇冰雪天气时比混交林和乡土树种受灾更加严重^[7-8,13]。引种日本落叶松虽然能够增加植被覆盖度,但也可能会对当地生态系统的生物多样性造成影响^[14]。近些年来,不少研究都报道了中国多地栽种的日本落叶松林对生态系统内土壤理化性质^[15-17]、土壤酶活性^[16,18-19]、土壤微生物^[17,20-22]、土壤动物^[23]及植物多样性^[24-26]的影响。为此,本文就中国引入日本落叶松后最近数十年有关该树种对土壤及生物多样性影响的研究成果进行整理和综述,并提出相关建议,以期为日本落叶松林等外来树种的管理和栽种地域内生物多样性的保护提供参考。

1 对土壤理化性质和土壤酶活性的影响

1.1 对土壤理化性质的影响

森林土壤与林木生长状况密切相关,土壤质量(Soil quality)不仅影响林木生长状况,同时也反映出土壤养分和养分循环的状况^[27-30]。有研究表明,日本落叶松的引入明显降低了中国南方林区高山地区土壤的pH,土壤中有机质和水解性氮的含量虽然丰富,但是有效磷和速效钾的含量较低^[15]。此外,王继伟^[17]发现甘肃省小陇山李

^{*} 收稿日期:2020-07-25 修回日期:2021-01-04 网络出版时间:2021-04-07 16:26

资助项目:国家自然科学基金(No. 31700360);河南省水体污染防治与修复重点实验室开放基金(No. CJSP2018006;No. CJSP2018014)

第一作者简介:陈卉,女,副教授,博士,研究方向为入侵生物学,E-mail: chenhui_17@126.com;通信作者:陈中义,男,教授,博士,E-mail: czy@yangtzeu.edu.cn

网络出版地址:https://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1165.N.20210407.1451.012.html

子与沙坝境内人工栽植的日本落叶松林对土壤肥力耗损明显,土壤肥力的自然积累满足不了日本落叶松的生长;牛小云等人^[16]及施妍等人^[18]也发现引种日本落叶松对森林土壤的养分循环会产生负面影响,不过这种影响会随着栽培时间的延长而消退。

1.2 对土壤酶活性的影响

林龄、林分组成和人为干扰是影响日本落叶松林中土壤酶活性、凋落物的产量和分解速率的重要因素^[16,18-19]。在不同发育阶段日本落叶松林的凋落物层内,除漆酶外,未分解层的土壤酶活性比半分解层和全分解层的土壤酶活性更高;不同发育阶段的日本落叶松林中凋落物层的土壤酶活性变化与林下植被发育状况相一致,但与凋落物的现存量变化趋势相反^[16,31]:11年生林内凋落物分解较快,20年生林和34年生林内郁闭度增大后凋落物分解变慢,47年生林由于自疏现象的出现使得凋落物分解速率和土壤微生物活动强度也得以恢复^[16]。在甘肃省小陇山地区,林龄为9~30年的日本落叶松人工林的年凋落量、现存量和分解速率都随林龄增加呈递增趋势^[19]。当林内无阔叶树种存在时,土壤的有机质和全氮含量降低,pH也下降,但容重明显增加^[19]。此外,针阔混交林内的凋落物分解速率和养分释放速率高于18年生和24年生日本落叶松林^[18]。人为干扰如间伐可以增加不同土层土壤pH和有效磷含量,一定强度的间伐能提高表层土壤的全碳和全氮含量,但对亚表层土壤全碳和全氮含量无明显影响^[32-33]。

2 对土壤生物多样性的影响

2.1 对土壤微生物多样性的影响

土壤微生物作为森林生态系统中物质循环和能量流动的主要推动者,敏感地反映着土壤环境状况的变化^[20,34-37]。杨鑫等人^[20]在对甘肃省小陇山不同土壤细菌多样性的研究中发现,日本落叶松林内土壤细菌多样性最低,而乡土次生林中土壤细菌多样性最高。在秦岭地区,与乡土树种油松(*Pinus tabulaeformis*)相比,在引种日本落叶松后,林区土壤的微生物量不仅有所减少,土壤中微生物不同功能群的比例也发生了改变,而土壤微生物量碳氮比则有所提高^[38]。陈利云等人^[39]的研究表明,日本落叶松与红豆杉(*Taxus chinensis*)、云杉(*Picea asperata*)林内土壤微生物数量、种类组成及多样性均有较大的差异。张克弟等人^[40]发现:在引种日本落叶松后,土壤微生物数量表现出先增后减的趋势;同时,引种日本落叶松林内微生物功能菌的数量较锐齿栎林内更低,且随着引种时间的增加,氮素转化菌等生理类群数量逐渐增加,纤维素分解菌数量则表现出减少的趋势^[40]。此外还有研究表明:不同的林地间土壤微生物的数量有较大差异,按土壤微生物数量由高至低对典型人工林树种进行排序,依次为楸树(*Catalpa bungei*)、锐齿栎(*Quercus acutidentata*)、油松和日本落叶松^[41-42]。从上述研究可知,日本落叶松不仅能改变土壤微生物的群落结构,改变乡土植物与土壤微生物间长期形成的互生关系,并由此进一步影响乡土树种的生长和种群更新。

2.2 对土壤大型真菌多样性的影响

已有资料显示,大型真菌的数量在栽培日本落叶松林内约为在乡土树种华山松(*Pinus armandii*)林内的两倍^[43]。但对于大型真菌的均匀度而言,混交林内的大型真菌均匀度高于华山松林和日本落叶松林^[43]。然而,在甘肃省小陇山,由于当地土壤质量和土壤肥力偏低,人工栽培的日本落叶松林内的土壤真菌数量总体较少,且菌属的构成较为单一^[44]。王琴^[45]在有关日本落叶松育苗和造林的研究中检测到55种外生菌根形态型。张彤彤等人^[21]在秦岭辛家山林区落叶松林的调查中鉴定出31种外生菌根真菌,并认为土壤真菌多样性主要受到坡向、土壤pH和土壤肥力(全氮、速效磷、速效钾等)的影响。还有研究表明,由于树种及根系代谢产物的差异,林内大型真菌也会受到日本落叶松引种的影响^[44-47]。

2.3 对土壤动物多样性的影响

森林生态系统内的土壤动物对于林分改变、气候变化以及人类活动都十分敏感^[48]。刘继亮等人^[49]的研究显示:1)在土壤动物的群落结构方面,不同时间引种栽培日本落叶松林内的土壤动物的密度和丰富度有所不同:在栽培10年的日本落叶松林内最高,其次为栽培32年和20年的日本落叶松林。2)土壤动物功能群结构随着日本落叶松的栽培时间也发生着变化:捕食类土壤动物所占比例随着时间的增加表现为先增后减的趋势,而腐食性和杂食性土壤动物所占比例随时间的增加呈现先降低后增加的趋势,植食性土壤动物的比例随时间的增加表现出增加的趋势。3)引种日本落叶松引起的上述土壤动物群落结构的改变,也会受人为干扰的影响而减弱。4)对于土壤动物的营养类群结构而言,不同林型内土壤动物的营养类群也有明显差别:在油松和日本落叶松林

内,土壤动物中消费者和分解者数量的比值明显高于次生林内土壤动物两者数量的比值。由此可见,引种日本落叶松林后土壤动物的群落结构、功能群结构和营养类群结构会发生变化,且受到栽培引种时间长短的影响。

3 对植物多样性及珍稀动物保育的影响

3.1 对植物多样性的影响

植物多样性是评价植物群落结构和功能复杂性的重要指标,林下植被与乔木相比具有生物量小的特点,但林下植被的生物量和养分的周转效率却比乔木快,是结构简单人工林的重要组成部分^[24-26]。汤景明等人^[26]认为:林窗内木本植物和草本植物的种类相对较多,但不同植物种对林窗环境的反映存在着一定的差异;他们发现在鄂西山区建始县国有长岭岗林场日本落叶松人工林中,不同大小林窗内的物种多样性指数不同:面积为 50~100 m² 中林窗内的物种多样性指数最高,面积小于 50 m² 的小林窗内、面积大于 100 m² 的大林窗以及非林窗的物种多样性指数则在之后依次减小;同时,在引种的日本落叶松人工纯林中,灌木层的物种多样性指数比更新层和草本层的更高;受到林龄和干扰因素的影响,林下不同层内物种多样性指数最高值出现时间也不同:灌木层的物种多样性指数最高值出现在栽培 30 年的日本落叶松林内,草本层的物种多样性指数最高值出现在栽培 10 年的日本落叶松林内,更新层的物种多样性指数最高值则出现在栽培 25 年的日本落叶松林内。灌木层和草本层的植物多样性也受到乔木层密度和郁闭度的影响。灌木层的植物多样性都随乔木层的密度和郁闭度的增加而减少,草本层的植物多样性随乔木层的密度和郁闭度的增大表现出先增加后减少的特点^[50]。同时,日本落叶松的引种也会影响乡土物种的定居。在大老岭自然保护区内,日本落叶松林凋落物的化感物质对狗牙根(*Cynodon dactylon*)和胡枝子(*Lespedeza bicolor*)的种子萌发和幼苗生长有一定的化感作用^[51]。杜彦昌等人^[50]的研究表明,人为干扰如全面割灌、生长抚育间伐等也会对日本落叶松人工林的生物多样性有较大影响,并由此建议减少人为干扰对日本落叶松林的影响,保护人工引种林的生物多样性。上述研究表明,日本落叶松林内中等大小林窗的物种多样性最高,且灌木层和草本层的植物多样性都随乔木层密度和郁闭度的增加而减少,此外日本落叶松林也会通过化感作用影响乡土植物的萌发和幼苗生长。

3.2 对珍稀动物保育的影响

杨林等人^[23]的研究表明,日本落叶松引入后也改变了树干附生地衣的多样性。他们还认为,地衣不仅是环境监测的重要指示植物,同时研究区内的地衣对当地川金丝猴(*Rhinopithecus roxellanae*)种群的维持也有特殊的支撑作用;日本落叶松引入后虽然增加了树干地衣的丰富度,但却改变了树干地衣的优势种;此外,由外来物种的大面积引入造成的局部生态环境改变,也会导致动物活动区域减少、食物资源减少以及栖息地片段化等情况的发生^[23]。由此可见,日本落叶松引入后可能通过改变树干附生地衣的多样性,对当地珍稀动物的保育造成负面影响。

4 结束语

近些年来,随着人们对森林生态系统生产和生态功能研究的深入以及生态环境保护意识的增强,外来种日本落叶松对生态系统服务功能特别是生物多样性的影响受到越来越多研究者的关注。外来种日本落叶松的引入不仅改变了栽培地的土壤理化性质、酶活性,也通过自身凋落物的产量、现存量和分解速率的变化改变了地下生态系统的生物多样性,进而影响着地上植物的多样性和珍稀动物的栖息生境(图 1);同时,日本落叶松林的土壤特性、土壤微生物和林内生物多样性也随着林龄、林分、人为干扰等因素而发生变化。外来种日本落叶松林的引种已对栽培地的地上、地下生态系统多样性造成一定的负面影响;近些年来日本落叶松纯林病虫害频发,在遭遇病虫害及

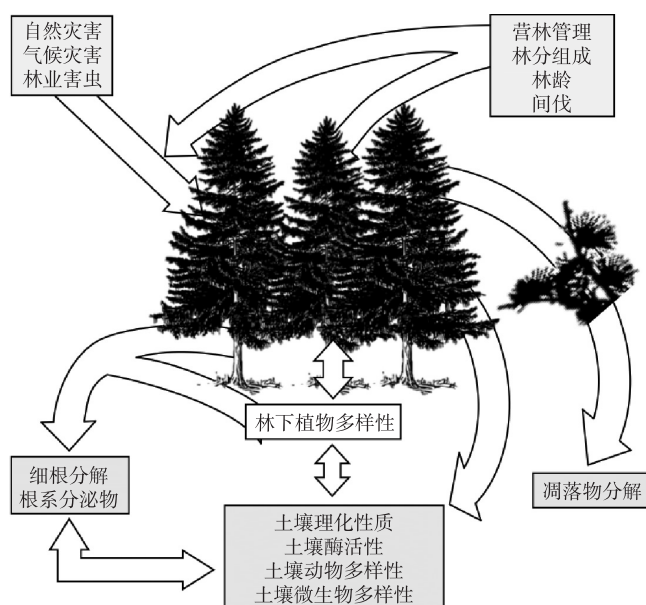


图1 日本落叶松对生物多样性潜在影响

Fig. 1 The potential impact of *Larix kaempferi* on the biodiversity

冬季的冻雨、雪灾等气象灾害时,日本落叶松纯林的生态脆弱性尤为明显,是当地受灾最严重的树种之一。在湖北省神农架林区,引入外来种日本落叶松虽然能够增加当地植被覆盖度,但却会对当地生态系统内生物多样性及珍稀动物保育等造成潜在的负面影响。

在综合考虑外来种日本落叶松引种后对栽培地生态系统的影响基础上,本文提出以下 5 点对策,希望可以减少外来种日本落叶松对土壤及生物多样性的影响,进而保护森林生态系统的健康和维持它的服务功能:1) 加强现有日本落叶松林的抚育管理,采取间伐、疏伐等措施以防止树龄老化、控制造林密度、促进林下植被发育,从而逐渐减少日本落叶松所占比例,使日本落叶松人工林向复层异龄近自然混交林方向演替。2) 开展对近熟林阶段的日本落叶松人工林的土壤肥力管理,以提高土壤生物活性,加速养分循环,实现森林资源的可持续利用。3) 及时清理枯枝和病死树,增加人工林内有害生物的天敌种群,从而控制日本落叶松人工林内有害生物生物量和数量的增长。4) 积极开展日本落叶松人工林对森林生态系统健康和生态功能影响的科学评估,合理引进林下植物和优良本地植物,慎重引进外来植物,科学造林育林。5) 在原始森林、珍稀动物活动区、原生林、沟谷地带等生态敏感区域,应严格限制日本落叶松等外来种的引种。

参考文献:

- [1] 孙晓梅,张守攻,祁万易,等. 北亚热带高山区日本落叶松造林整地与抚育技术的研究[J]. 林业科学研究,2007,20(2):235-240.
SUN X M,ZHANG G S,QI W Y,et al. Influence of site preparation and tending on *Larix kaempferi* growth for northern sub-tropical alpine area[J]. Forest Research,2007,20(2):235-240.
- [2] 马常耕. 落叶松种和种源选择[M]. 北京:中国农业大学出版社,1992.
MA C G. Species and provenance selection of Larch[M]. Beijing:China Agricultural University Press,1992.
- [3] 田志和,董健,王喜武,等. 日本落叶松木材制纸浆性能及速生丰产林投入产出分析[J]. 辽宁林业科技,1994(5):51-54.
TIAN Z H,DONG J,WANG X Y,et al. Pulping performance of *Larix kaempferi* wood and input-output analysis of fast-growing and high-yielding forests[J]. Journal of Liaoning Forestry Science and Technology,1994(5):51-54.
- [4] 余明慧,徐士库,王琴. 日本落叶松栽培特性及园林应用[J]. 现代农村科技,2012(17):53.
YU M H,XU S K,WANG Q. Cultivation characteristics and landscape application of *Larix kaempferi* [J]. Modern Rural Science and Technology,2012(17):53.
- [5] 张晓放,董茜,罗明哲,等. 日本落叶松育种研究现状及趋势[J]. 林业科技,2005,30(3):10-11.
ZHANG X F,DONG Q,LUO M Z,et al. Research status and trend of *Larix kaempferi* breeding[J]. Forestry Science and Technology,2005,30(3):10-11.
- [6] 马友平. 日本落叶松人工林林分结构与生长量预测研究:以长岭岗林场为例[D]. 北京:北京林业大学,2007.
MA Y P. Study on stand structure of *Larix kaempferi* forest and its increment prediction:taking Changlinggang forest farm as an example[D]. Beijing:Beijing Forestry University,2007.
- [7] 王林,于晓光,黄光体. 雨雪冰冻灾害对日本落叶松的影响及植被恢复重建对策:以湖北省恩施市为例[J]. 林业资源管理,2009(3):31-33.
WANG L,YU X G,HUANG G T. The influence of the natural disasters of freezing rain and snow on the *Larix kaempferi* and the proposals on restoring and reconstructing the vegetation:take Enshi city of Hubei province as an example[J]. Forest Resources Management,2009(3):31-33.
- [8] 汤景明,宋丛文,戴均华,等. 湖北省主要造林树种冰雪灾害调查[J]. 林业科技,2008,44(11):2-10.
TANG J M,SONG C W,DAI J H,et al. Investigation on the frozen snow damage of main afforestation tree species in Hubei province[J]. Forestry Science and Technology,2008,44(11):2-10.
- [9] 李刚,王有东. 抚顺地区落叶松人工林有害生物种类发生状态及防控技术[J]. 辽宁林业科技,2012(4):14-17.
LI G,WANG Y D. Varieties,current status and control technique of pests in larch plantations in the Fushun area[J]. Journal of Liaoning Forestry Science and Technology,2012(4):14-17.
- [10] 杨年友. 短轮伐期日本落叶松混交丰产造林技术研究[J]. 林业实用技术,2007(5):10-11.
YANG N Y. Study on mixed high yield afforestation technology of *Larix kaempferi* in short rotation period[J]. Pratical Forestry Technology,2007(5):10-11.
- [11] 杨华,王志强. 日本落叶松病虫害防治存在的问题及对策[J]. 种子科技,2017,35(11):80.
YANG H,WANG Z G. Problems and countermeasures of pest control on *Larix kaempferi* [J]. Seed Science and Technology,2017,35(11):80.

- [12] 于海英,吴昊,张旭东,等. 落叶松自然条件下感染松材线虫初报[J]. 中国森林病虫,2018(1):1-4.
YU H Y, WU H, ZHANG X D, et al. Preliminary study on *Larix* spp. infected by *Bursaphelenchus xylophilus* in natural environment[J]. Forest Pest and Disease, 2018(1):1-4.
- [13] 谭雨亭,柳国忠,李波. 不同强度的间伐对日本落叶松高山环境冬季适应性的影响[J]. 中国农业信息,2014(5):218.
TAN Y T, LIU G Z, LI B. Effects of thinning with different intensities on winter adaptability of *Larix kaempferi* alpine environment[J]. China Agriculture Information, 2014(5):218.
- [14] 刘家琰,谢宗强,申国珍,等. 基于 SPOT-VEGETATION 数据的神农架林区 1998—2013 年植被覆盖度格局变化[J]. 生态学报,2018,38(11):3961-3969.
LIU J Y, XIE Z Q, SHEN G Z, et al. Dynamics and analysis of vegetation fraction changes in Shennongjia forest district during 1998 to 2013 by using SPOT-VEGETATION NDVI data[J]. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(11):3961-3969.
- [15] 李双龙,杜超群,韩梅,等. 不同林龄日本落叶松人工林土壤化学性质的变化[J]. 西部林业科学,2016,45(3):128-131.
LI S L, DU C Q, HAN M, et al. Soil chemical properties at different forest ages of *Larix kaempferi* plantations[J]. Journal of West China Forestry Science, 2016, 45(3):128-131.
- [16] 牛小云,孙晓梅,陈东升,等. 辽东山区不同林龄日本落叶松人工林土壤微生物、养分及酶活性[J]. 应用生态学报,2015,26(9):2663-2672.
NIU X Y, SUN X M, CHEN D S, et al. Soil microorganisms, nutrients and enzyme activity of *Larix Kaempfer* plantation under different ages in mountainous region of eastern Liaoning province, China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2015, 26(9):2663-2672.
- [17] 王继伟. 小陇山国家级自然保护区外来引进物种日本落叶松土壤微生物特征研究[D]. 兰州:西北师范大学,2009.
WANG J W. Soil microbial characteristics of the introduced species of *Larix kaempferi* in Xiaolongshan national nature reserve [D]. Lanzhou: Northwest Normal University, 2009.
- [18] 施妍,陈芳清. 大老岭自然保护区日本落叶松林凋落物分解及养分释放研究[J]. 林业科学研究,2016,29(3):430-435.
SHI Y, CHEN F Q. Litter decomposition and nutrient release of *Larix kaempferi* forest in Dalaoling nature reserve[J]. Forest Research, 2016, 29(3):430-435.
- [19] 张慧,孙栋元. 不同林龄日本落叶松人工林对凋落物与土壤理化性质的影响[J]. 中国农学通报,2016,32(1):12-16.
ZHANG H, SUN D Y. Effects of different ages of Japanese *Larix kaempferi* artificial forest on litters and soil physicochemical characteristics[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2016, 32(1):12-16.
- [20] 杨鑫,曹靖,董茂星,等. 外来树种日本落叶松对森林土壤质量及细菌多样性的影响[J]. 应用生态学报,2008,19(10):2109-2116.
YANG X, CAO J, DONG M X, et al. Effects of exotic *Larix kaempferi* on forest soil quality and bacterial diversity[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2008, 19(10):2109-2116.
- [21] 张彤彤,耿增超,许晨阳,等. 秦岭辛家山林区落叶松外生菌根真菌多样性[J]. 微生物学报,2018,58(3):443-454.
ZHANG T T, GENG Z C, XU C Y, et al. Diversity of ectomycorrhizal fungi associated with *Larix gmelinii* in Xinjiashan forest region of Qinling mountains[J]. Acta Microbiologica Sinica, 2018, 58(3):443-454.
- [22] CHEN F, SONG N, CHEN G et al. Effects of exotic species *Larix kaempferi* on diversity and activity of soil microorganisms in Dalaoling national forest park[J]. Ecological Processes, 2015(4):1-8.
- [23] 杨林,邓晶晶,郭华,等. 神农架次生林原生树种与引入树种树干附生地衣多样性差异[J]. 林业科学研究,2017,53(7):149-158.
YANG L, DENG J J, GUO H, et al. Divergence of epiphytic lichen diversity of native and introduced tree species in the secondary forest of Shennongjia mountain[J]. Forest Research, 2017, 53(7):149-158.
- [24] 卢鹏林. 崂山森林植物群落物种多样性的垂直分布格局及影响因素分析[D]. 济南:山东大学,2013.
LU P L. Vertical pattern and analysis on the impacting factors of plant community species diversity in Laoshan mountain[D]. Ji'nan: Shandong University, 2013.
- [25] 马丰丰,潘高,张灿明,等. 湖北建始县日本落叶松林下植被生态位特征[J]. 中南林业科技大学学报,2016,36(4):73-79.
MA F F, PAN G, ZHANG C M, et al. Niche characteristics of dominant populations within *Larix kaempferi* communities in Jianshi county of Hubei[J]. Journal of Central South of University of Forestry and Technology, 2016, 36(4):73-79.
- [26] 汤景明,孙拥康,徐红梅,等. 林窗对日本落叶松人工林林下植物多样性的短期影响[J]. 西南林业科技大学学报,2016,32(2):106-110.
TANG J M, SUN Y K, XU H M, et al. Short-term influence of forest gap over plant diversity in undergrowth of *Larix*

- kaempferi* plantation forest[J]. Journal of Southwest Forestry University, 2016, 32(2): 106-110.
- [27] 刘杰, 马履一, 贾忠奎, 等. 不同林龄华北落叶松林下土壤理化性质及微生物学指标评价[J]. 水土保持通报, 2013, 33(6): 88-93.
- LIU J, MA L Y, JIA Z K, et al. Assesses of soil physicochemical properties and microbiology indicators in *Larix Principis-rupprechtii* plantations[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2013, 33(6): 88-93.
- [28] KOURTEV P, EHRENFELD J, HUANG W. Enzyme activities during litter decomposition of two exotic and two native plant species in hardwood forests of New Jersey[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2002, 34(9): 1207-1218.
- [29] KOTROCZÓ Z, VERES Z, FEKETE I, et al. Soil enzyme activity in response to long-term organic matter manipulation[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2014, 70: 237-243.
- [30] GE X, ZENG L, XIAO W et al. Effect of litter substrate quality and soil nutrients on forest litter decomposition: a review[J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(2): 102-108.
- [31] 牛小云, 孙晓梅, 陈东升, 等. 日本落叶松人工林枯落物土壤酶活性[J]. 林业科学, 2015, 51(4): 16-25.
- NIU X Y, SUN X M, CHEN D S, et al. Soil enzyme activities of the litter in *Larix kaempferi* plantation[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2015, 51(4): 16-25.
- [32] 王诗童, 李红. 间伐对日本落叶松人工林土壤理化性质的影响[J]. 辽宁林业科技, 2019(1): 43-45.
- WANG S T, LI H. Effects of thinning on soil physical and chemical properties of *Larix kaempferi* plantation[J]. Journal of Liaoning Forestry Science and Technology, 2019(1): 43-45.
- [33] 于立忠, 张景普, 刘利芳, 等. 间伐对不同肥力日本落叶松人工林土壤酶活性的影响[J]. 生态学报, 2017, 36(11): 3017-3027.
- YU L Z, ZHANG J P, LIU L F, et al. The effect of thinning on soil enzyme activities in *Larix kaempferi* plantations with differernt site conditions[J]. Acta Ecologica Sinica, 2017, 36(11): 3017-3027.
- [34] PANG X, NING W, QING L, et al. The relation among soil microorganism, enzyme activity and soil nutrients under subalpine coniferous forest in western Sichuan[J]. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(5): 286-292.
- [35] WU Y, GUTKNECHT J, NADROWSKI K, et al. Relationships between soil microorganisms, plant communities, and soil characteristics in chinese subtropical forests[J]. Ecosystems, 2012, 15(4): 624-636.
- [36] IBEKWE A, POSS J, GRATAN S, et al. Bacterial diversity in cucumber (*Cucumis sativus*) rhizosphere in response to salinity, soil pH, and boron[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2010, 42(4): 567-575.
- [37] FUJII K, UEMURAM, HAYAKAWA C, et al. Environmental control of lignin peroxidase, manganese peroxidase, and laccase activities in forest floor layers in humid Asia[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2013, 57: 109-115.
- [38] 鲁海燕, 秦岭西部油松和日本落叶松人工林土壤微生物多样性及其生态功能的变化特征[D]. 兰州: 兰州大学, 2010.
- LU H Y. Change characteristics of soil microbial diversity and its ecological function in *Pinus tabulaeformis* and *Larix kaempferi* in west Qinling mountains[D]. Lanzhou: Lanzhou Universtiy, 2010.
- [39] 陈利云, 王弋博, 李三相, 等. 甘肃省麦积山景区 3 种典型裸子植物土壤微生物群落结构分析[J]. 微生物学通报, 2016, 43(9): 1939-1944.
- CHEN L Y, WANG Y B, LI S X, et al. Microbial community structure of three typical gymnosperms soil in scenic area of Maijishan, Gansu province[J]. Microbiology China, 2016, 43(9): 1939-1944.
- [40] 张克弟, 巨天珍, 王继伟, 等. 暖温带针阔叶林下土壤微生物区系群落特征及其动态研究[J]. 微生物学杂志, 2016, 36(3): 7-13.
- ZHANG K D, JU T Z, WANG J W, et al. Soil microbial community characteristics and dynamics under a warm temperate coniferous and broadleaf forest[J]. Journal of Microbiology, 2016, 36(3): 7-13.
- [41] 曹永昌, 杨瑞, 刘帅, 等. 秦岭典型林分夏秋两季根际与非根际土壤微生物群落结构[J]. 生态学报, 2017, 37(5): 1667-1676.
- CAO Y C, YANG R, LIU S, et al. Characteristics of microbial community in forest soil between rhizosphere and non-rhizosphere in summer and autumn in Qinling mountains[J]. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(5): 1667-1676.
- [42] 崔芳芳. 秦岭北坡几个典型树种林地土壤微生物数量特征及化学性质对人为干扰的响应[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2008.
- CUI F F. The Quantitative characteristics of soil microbes and soil chemical chatacteristics responding to human disturbance in several typical for estlands on the north-slope of Qinling mountains[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2008.
- [43] 张宗舟, 张扬. 不同松树林大型真菌资源调查[J]. 中国林业, 2011(19): 50.
- ZHANG Z Z, ZHANG Y. Investigation on the resources of macrofungi in different pine forests[J]. Forestry of China, 2011(19): 50.
- [44] 王继伟, 巨天珍, 曹春, 等. 甘肃小陇山日本落叶松人工林土壤优势真菌多样性探讨[J]. 干旱区资源与环境, 2013, 27(3): 173-176.
- WANG J W, JU T Z, CAO C, et al. The diversity discuss on soil dominant fungi in the pure *Larix kaempferi* plantations of

- Xiaolongshan of Tianshui city in Gansu[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2013, 27(3): 173-176.
- [45] 王琴. 日本落叶松根际外生菌根真菌多样性[J]. 辽宁林业科技, 2018(1): 17-20.
- WANG Q. Ectomycorrhizal fungal diversity associate roots of *Larix kaempferi* [J]. Journal of Liaoning Forestry Science and Technology, 2018(1): 17-20.
- [46] AKASAKA M, TSUYUZAKI S, HASE A. Annual growth of invasive *Larix kaempferi* seedlings with reference to microhabitat and ectomycorrhizal colonization on a volcano[J]. Journal of Plant Research, 2007, 120(2): 329-336.
- [47] YANG G, CHA J Y, SHIBUYA M et al. The occurrence and diversity of ectomycorrhizas of *Larix kaempferi* seedlings on a volcanic mountain in Japan[J]. Mycological Research, 1998, 102(12): 1503-1508.
- [48] YAN S, SINGH A, FU S. A soil fauna index for assessing soil quality[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2012, 47: 158-165.
- [49] 刘继亮, 曹靖, 李世杰, 等. 秦岭西部山地次生林和人工林大型土壤动物群落结构特征[J]. 应用生态学报, 2012, 23(9): 2459-2466.
- LIU J L, CAO J, LI S J, et al. Characteristics of soil macrofaunal community structure in secondary forest and forest plantations in western Qinling mountains of Northwest China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2012, 23(9): 2459-2466.
- [50] 杜彦昌, 于永明, 郭小龙, 等. 秦岭西段日本落叶松人工林不同龄期密度调控对林下植被结构及多样性的影响[J]. 林业科技通讯, 2017(4): 8-12.
- DU Y C, YU Y M, GUO X L, et al. Effects of density regulation at different ages on undergrowth vegetation structure and diversity of *Larix kaempferi* plantation in western Qinling Mountains[J]. Forest Science and Technology, 2017(4): 8-12.
- [51] 施妍, 陈芳清. 日本落叶松林凋落物对狗牙根、胡枝子种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(6): 267-270.
- SHI Y, CHEN F Q. Effects of litter on seed germination and seedling growth of *Cynodon dactylon* and *Lespedeza formosa* [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2018, 46(6): 267-270.

Research Progress on the Effects of Exotic *Larix kaempferi* on Soil and Biodiversity in China

CHEN Hui^{1,2,3}, GUO Yongbing⁴, ZHAO Yue¹, WEI Shudong^{1,3}, CHEN Zhongyi¹

(1. Institute of Plant Ecology and Environmental Restoration, Yangtze University;

2. Research Center of Milu Health and Habitat, Yangtze University, Jingzhou Hubei 434025;

3. Henan Province Key Laboratory of Water Pollution Control and Rehabilitation Technology, Pingdingshan He'nan 467036;

4. Shennongjia National Park Administration, Shennongjia Hubei 442421, China)

Abstract: [Purposes] The effects of exotic *Larix kaempferi* on soil and biodiversity were investigated to provide the research progress for other studies in this area. [Methods] Based on summarizing and analyzing the relevant research literatures, it summarized the research progress of the impact of exotic *Larix kaempferi* on the soil physical and chemical properties, the soil enzyme activities, the soil biodiversity, the plant diversity and the conservation of rare animals. [Findings] The introduction of *Larix kaempferi* not only changed the soil physical and chemical properties, and the soil enzyme activities, but also changed the biodiversity of the belowground ecosystem through the changes of the litter production, the standing crop and the decomposition rate, and then affected the aboveground plant diversity and the habitat of rare animals. At the same time, the soil characteristics, the soil microorganism and the biodiversity of *Larix kaempferi* forest also changed with the stand age, the stand composition, the human disturbance and other factors. [Conclusions] It is necessary to strengthen the tending management of existing *Larix kaempferi* forest, timely clean up the dead branches and sick trees, carry out the soil fertility management of near-mature *Larix kaempferi* forest, and actively carry out scientific assessment of the forest ecosystem health and the ecological function of *Larix kaempferi* forest. In addition, the introduction of the exotic species such as *Larix kaempferi* should be strictly restricted in ecologically sensitive areas such as the virgin forests and the habitat of rare animals.

Keywords: exotic plant; *Larix kaempferi*; biodiversity; soil

(责任编辑 方 兴)