

外来树种华北落叶松引种对秦岭森林群落的影响*

彭舜磊^{1,2} 王得祥^{1**} 柴宗政¹

(¹西北农林科技大学林学院, 陕西杨凌 712100; ²平顶山学院低山丘陵区生态修复重点实验室, 河南平顶山 467000)

摘要 采用样地调查法对比研究了秦岭火地塘林区外来树种华北落叶松人工林与乡土树种华山松人工林及华山松天然次生林群落特征差异。结果表明: 华北落叶松人工林群落与华山松天然次生林群落的相似性系数仅为 0.11, 华山松天然次生林与华山松人工林的物种数量均明显高于华北落叶松人工林 ($P < 0.01$); 华山松天然次生林和华山松人工林乔、灌、草层的 Margalef 指数、Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数和 Pielou 均匀度指数均显著高于华北落叶松人工林 ($P < 0.001$), 而前两者之间灌木层和草本层的 4 个多样性指数的差异不显著 ($P > 0.05$); 华北落叶松人工林的自然构成系数最低 (0.3), 华山松天然次生林的自然构成系数最高 (5.2), 华山松人工林的自然构成系数为 3.5, 三者存在极显著差异 ($P < 0.001$)。说明外来树种华北落叶松引种造成秦岭森林群落物种丰富度、植物多样性和林分自然化程度降低, 自然次生演替或乡土树种人工林较外来树种人工林更有利于林下植被的恢复。

关键词 外来树种; 乡土树种; 物种多样性指数; 自然构成系数

中图分类号 S791.22 文献标识码 A 文章编号 1000-4890(2012)9-2170-07

Effects of exotic tree species *Larix principis-rupprechtii* introduction on forest community in Qinling Mountains of Northwest China. PENG Shun-lei^{1,2}, WANG De-xiang^{1**}, CHAI Zong-zheng (¹College of Forestry, Northwest A&F University, Yangling 712100, Shaanxi, China; ²Key Laboratory of Ecological Restoration in the Hilly Area, Pingdingshan University, Pingdingshan 200062, Henan, China). *Chinese Journal of Ecology*, 2012, 31(9): 2170-2176.

Abstract: By the method of plot investigation, a comparative study was made on the differences in the community characteristics among the exotic tree species *Larix principis-rupprechtii* plantation, indigenous tree species *Pinus armandii* plantation, and *P. armandii* secondary forest in Huoditang forest area of Qinling Mountains. The similarity coefficient between *L. principis-rupprechtii* plantation and *P. armandii* secondary forest was only 0.11, and the species number in the *P. armandii* secondary forest and *P. armandii* plantation was significantly greater than that in *L. principis-rupprechtii* plantation ($P < 0.01$). The Margalef index, Simpson index, Shannon-Wiener index, and Pielou evenness index in the arbor, shrub, and herb layers of *P. armandii* secondary forest and *P. armandii* plantation were significantly higher than those in *L. principis-rupprechtii* plantation ($P < 0.001$), but the four diversity indices in the shrub layer and herb layer in *P. armandii* secondary forest and *P. armandii* plantation had less difference ($P > 0.05$). The compose index (CI) was the lowest (0.3) in *L. principis-rupprechtii* plantation, 3.5 in *P. armandii* plantation, and the highest (5.2) in *P. armandii* secondary forest, showing a significant difference among the three forest types ($P < 0.001$). This study indicated that exotic tree species introduction led to the decrease of species abundance, species diversity, and stand's naturalized degree in the forest community in Qinling Mountains, while natural secondary forest succession or indigenous tree species plantation were more beneficial to the restoration of understory vegetation than exotic tree species plantation.

Key words: exotic tree species; indigenous tree species; species diversity index; compose index.

* 林业公益性行业科研专项(20100400206)和国家自然科学基金项目(31070570)资助。

** 通讯作者 E-mail: Wangdx66@126.com

收稿日期: 2012-03-29 接受日期: 2012-04-27

利用外来树种是中国乃至世界森林生态恢复的重要手段之一,并对一些地区的林业与生态恢复起到了积极推动作用(Quine & Humphrey, 2010)。但是,由外来物种所导致的生物入侵已成为一个全球性的生态和经济问题(张川红和郑勇奇,2008),外来植物入侵对环境和经济的影响是多方面的,其中最严重的危害是对入侵地生物多样性和生态系统结构与功能的影响(类延宝等,2010)。

华北落叶松(*Larix principis-rupprechtii*)原产于华北地区的河北省和山西等省,天然林主要分布在山西省管涔山、关帝山、五台山和恒山,河北省雾灵山和小五台山海拔1600~2500 m的山地(雷瑞德等,1997)。陕西省自1958年先后在秦岭和黄龙等林区进行华北落叶松引种试验和造林,截止2008年,陕西省境内落叶松人工林总面积达8700 hm²,其中秦岭林区面积达7900 hm²,占陕西省落叶松人工林总面积的90%(陕西省林业发展区划办公室,2008)。秦岭林区落叶松人工林主要以华北落叶松和日本落叶松为主。在秦岭林区,对华北落叶松引种的研究主要集中其对土壤微生态系统的影响以及自然干扰比如风雪灾害和病虫害等对其生长发育的影响上。谢会成和杨茂生(2002)对秦岭南坡23年生华北落叶松营养元素的生物循环研究表明,23年生的华北落叶松林对土壤无影响。然而,雷瑞德等(1997)通过对秦岭南坡26年生的华北落叶松的土壤特征研究表明,与处于相同立地条件的天然青扞林和针阔混交林相,华北落叶松的土壤肥力和酶活性显著降低;齐高强等(2005)研究也表明,25年生的华北落叶松人工林土壤酶活性显著降低;另有研究表明,华北落叶松林风倒、雪折和病虫害严重(李孟楼和唐章友,1995;陈海滨等,1996)。有关外来树

种华北落叶松引种后对秦岭森林群落特征的影响研究鲜见报道。这一问题的研究可以为评价外来树种引种的生态后果提供科学依据,并为秦岭退化森林生态系统的恢复和重建提供新的思路和科学依据。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于秦岭南坡中段的陕西秦岭森林生态系统国家野外科学观测研究站所在的火地塘林区(33°25'N—33°29'N,108°25'E—108°30'E)内,属中国北亚热带和暖温带的过渡地带。年平均气温8~10℃,年降水量1000~1200 mm。区内山势陡峭,地貌破碎,为花岗岩和片麻岩石质山地,海拔1450~2470 m,土壤主要以山地棕色森林土为主,土层厚45~105 cm,pH值5.14~5.81。区内森林群落类型多样,森林覆盖率达93.8%,主要成林树种有华山松(*Pinus armandii*)、油松(*P. tabulaeformis*)、锐齿栎(*Quercus aliena* var. *acuteserrata*)等。火地塘林区从20世纪70年代开始引种华北落叶松造林,主要分布于平河梁及火地沟营林区,年龄组成以为以中龄林及近熟林为主。目前华北落叶松林密度过大,更新困难,纯林化严重,生物多样性低;加之风倒、雪折、病虫害等现象频发,直接影响了华北落叶松林分质量及生长量。亟需改善林分结构,提升森林质量。

1.2 研究方法

1.2.1 样地调查 在火地塘林区火地沟内,选择生境条件和林龄基本相同的华北落叶松人工林、华山松人工林和华山松天然次生林群落,每个群落分别设置3个面积为20 m×20 m的样地进行乔木调查(表1),在每个样地分别设5个5 m×5 m的灌木样

表1 秦岭火地塘林区华北落叶松人工林群落与华山松群落标准地基本情况

Table 1 Plot characteristics of *Larix principis-rupprechtii* plantation and *Pinus armandi* communities in Huoditang Forest Region of Qinling Mountain

群落类型	样地号	海拔(m)	坡向	坡度(°)	土壤类型	林龄(年)	平均胸径(cm)	郁闭度
华山松天然次生林	1	1898	东南	38	棕壤	38	25	0.80
	2	1890	东南	32	棕壤	38	24	0.80
	3	1894	东南	29	棕壤	39	26	0.75
华山松人工林	1	1896	东南	36	棕壤	38	23	0.90
	2	1891	东南	32	棕壤	38	21	0.85
	3	1898	东南	34	棕壤	38	20	0.90
华北落叶松人工林	1	1892	东南	32	棕壤	38	16	0.90
	2	1899	东南	35	棕壤	38	15	0.95
	3	1894	东南	37	棕壤	38	13	0.90

方和10个1 m×1 m的草本样方进行灌木和草本植物调查。乔木调查内容包括:树种、株数、胸径(幼苗地径)、枝下高、树高、冠幅、郁闭度等,并绘制乔木定位图;灌木、藤本和草本植物调查内容包括:种名、多度、高度、盖度、冠幅等。

1.2.2 群落结构分析方法 用重要值(IV)比较群落物种组成的优势度;用 Jaccard 相似性指数(S_j)比较群落相似性;用物种 Margalef 指数(D_M)、Simpson 指数(D)、Shannon-Wiener 指数(H')、Pielou 均匀度指数(J_{sw})分析群落的物种多样性,各项指标的计算公式见文献(马克平等, 1995; 张金屯, 2011)。

1.2.3 群落演替状态分析方法 自然构成系数(compose index, CI)可以定量地描述群落所处的演替状态,其计算公式为 $CI = \sum IV \times CAV$, 式中, IV (importance value, IV)为乔木层每个树种的重要值(采用相对优势度,即某乔木树种胸高断面面积占全部乔木树种胸高断面面积的百分数), CAV 为顶极适应值(climax adaptation value, CAV) (Curtis & McIntosh, 1951)。 CAV 的确定方法是:根据秦岭林区次生演替序列中出现的顶极树种和优势树种组,结合各乔木树种在群落中的地位确定 CAV (高贤明等, 1997; 雷瑞德等, 1996), 即首先确定顶极树种的 CAV , 取值为10, 继而以此为标准, 确定其它树种组的 CAV , 次顶极树种为8~9, 过渡树种为5~7, 先锋树种为1~4, CAV 取值范围为1~10 (郭全邦等, 1999), 各树种的 CAV 和树种分类见表2。

1.3 数据处理

采用单因素方差分析(one-way ANOVA)检验华北落叶松人工林、华山松人工林和华山松天然次生林群落之间物种重要值、植物多样性指数和自然构成系数是否存在显著差异,上述分析通过 SPSS (19.0)统计软件完成。

2 结果与分析

2.1 群落物种组成及重要值比较

由表3可知,华山松天然次生林群落维管束植物共有38科64属82种,华山松人工林群落30科55属71种,两个群落的相似系数较高,总相似系数达到0.54,灌木层和草本层的相似系数高达0.63和0.58。外来树种华北落叶松人工林群落的物种组成相对简单,共有维管束植物24科31属43种,与华山松天然次生林群落的总相似性系数较低(0.11),其乔木层的物种组成最为简单,仅为4科4

表2 秦岭火地塘林区主要树种顶极适应值

Table 2 CAV of main tree species in Huoditing Forest Region of Qinling Mountain

种名	CAV	树种分类
巴山柳(<i>Salix</i> sp.)	10	顶极树种
青杆(<i>Picea wilsoni</i>)	9	次顶极树种
野核桃(<i>Juglandaceae cathayensis</i>)	10	顶极树种
铁杉(<i>Tsuga chinensis</i>)	10	顶极树种
粗榧(<i>Cephalotaxus sinensis</i>)	8	次顶极树种
云杉(<i>Pinus asperata</i>)	9	次顶极树种
漆树(<i>Toxicodendron verniciflua</i>)	8	次顶极树种
巴山冷杉(<i>Abies fargesii</i>)	10	顶极树种
锐齿栎(<i>Quercus aliena</i> var. <i>acuteserrata</i>)	10	顶级树种
木姜子(<i>List pungens</i>)	5	过渡树种
三桠乌药(<i>Lindera obtusiloba</i>)	7	过渡树种
千金榆(<i>Carpinus cordata</i>)	6	过渡树种
柞木(<i>Cornus macrophylla</i>)	7	过渡树种
茶条槭(<i>Acer ginnala</i>)	5	过渡树种
榛子(<i>Corylus heterophylla</i>)	7	过渡树种
鹅耳枥(<i>Carpinus turczaninowii</i>)	5	过渡树种
华榎(<i>Tilia chinensis</i>)	6	过渡树种
青榨槭(<i>Acer davidii</i>)	5	过渡树种
坚桦(<i>Betula chinensis</i>)	3	先锋树种
椴木(<i>Aralia chinensis</i>)	1	先锋树种
湖北花楸(<i>Sorbus hupehensis</i>)	1	先锋树种
山杨(<i>Populus davidiana</i>)	2	先锋树种
华山松(<i>Pinus armandii</i>)	3	先锋树种
油松(<i>Pinus tabulaeformis</i>)	3	先锋树种
牛皮桦(<i>Betula utilis</i>)	1	先锋树种
红桦(<i>Betula albo-sienensis</i>)	4	先锋树种
椴木(<i>Aralia chinensis</i>)	1	先锋树种
华北落叶松(<i>Larix principis-rupprechtii</i>)	0	外来种

表3 秦岭火地塘林区华北落叶松人工林与华山松林物种组成及相似性比较

Table 3 Comparison of species compositions and their similarity indexes of *Larix principis-rupprechtii* plantation and *Pinus armandii* forests in Huoditang Forest Region of Qinling Mountain

群落类型	分类	乔木层	灌木层	草本层	合计
华山松天然次生林	科	12	23	17	38
	属	15	42	23	64
	种	20	51	27	82
华山松人工林	科	9	22	13	30
	属	10	39	20	55
	种	12 (0.37)	50 (0.63)	23 (0.58)	71 (0.54)
华北落叶松人工林	科	4	12	10	24
	属	4	20	15	31
	种	5 (0.02)	21 (0.17)	20 (0.19)	43 (0.11)

括弧号中的数字是华山松人工林、华北落叶松人工林分别与华山松天然次生林群落的 Jaccard 相似性系数(S_j)。

属5种,与华山松天然次生林乔木层的树种组成的相似性系数仅为0.02,而华山松人工林乔木层与华山松次生林乔木层物种组成相似性系数为0.39,其

表4 秦岭火地塘林区华北落叶松人工林与华山松林主要物种的重要值比较

Table 4 Comparison of importance values of dominant species in *Larix principis-rupprechtii* plantation and *Pinus armandii* forests in Huoditang Forest Region of Qinling Mountain

林层	种名	重要值			
		华山松天然次生林	华山松人工林	华北落叶松人工林	
乔木层	华山松(<i>Pinus atmandii</i>)	54.8 a	86.2 b	0.0 c	
	华北落叶松	0.0 a	0.0 a	97.9 b	
	铁杉(<i>Tsuga chinensis</i>)	13.6 a	5.0 b	0.4 c	
	华榿	7.9 a	0.0 b	0.0 b	
	锐齿栎	6.8 a	0.2 b	0.0 c	
	漆树(<i>Toxicodendron vernicifluum</i>)	5.4 a	0.6 b	0.0 c	
	青榨槭	4.8 a	1.1 b	0.3 c	
	油松	3.3 a	4.4 a	1.2 b	
	三桠乌药	1.4 a	1.2 a	0.0 b	
	红桦	0.6 a	0.1 b	0.0 b	
	楸木	0.4 a	0.0 b	0.0 b	
	灯台树(<i>Cornus controversa</i>)	0.3 a	0.0 b	0.0 b	
	膀胱果(<i>Staphylea holocarpa</i>)	0.2 a	0.0 b	0.0 b	
	湖北花楸(<i>Sorbus hupeashensis</i>)	0.0 a	0.3 b	0.0 a	
	灌木层	陕西绣线菊(<i>Spiraea wilsonii</i>)	14.5 a	12.7 a	0.0 b
		华榿	6.1 a	0.0 b	0.0 b
		栓翅卫矛(<i>Euonymus phellomana</i>)	6.6 a	5.5 a	6.4 a
		南蛇藤(<i>Celastrus orbiculatus</i>)	6.3 a	5.8 a	2.0 b
		木姜子(<i>Litsea pungens</i>)	6.1 a	5.5 a	13.2 b
陇塞忍冬(<i>Lonicera tangutica</i>)		8.0 a	7.5 a	11.2 b	
锐齿栎		5.4 a	0.0 b	0.0 b	
灰栲子(<i>Cotoneaste racuifolius</i>)		4.5 a	3.6 a	0.5 b	
刺悬钩子(<i>Rubus pungens</i>)		4.1 a	4.5 a	64.4 b	
华山松		3.2 a	0.0 b	0.0 b	
中华青荚叶(<i>Helwingia chinensis</i>)		2.6 a	3.5 a	0.0 b	
长梗渡疏(<i>Deutzia vilmorinae</i>)		2.3 a	0.0 b	0.0 b	
桦叶荚蒾(<i>Viburnum betulifolium</i>)		2.3 a	1.5 b	0.0 c	
野葡萄(<i>Vitis piasezkii</i>)		2.3 a	0.0 b	0.0 b	
刺榛(<i>Corylus ferox</i>)		2.1 a	0.0 b	0.0 b	
三桠乌药		2.1 a	4.5 b	0.0 c	
漆树		2.0 a	0.0 b	0.0 b	
珍珠梅(<i>Philadelphus incunus</i>)		1.0 a	1.4 a	0.0 b	
鞘柄接莢(<i>Smilax stans</i>)		0.0 a	2.2 b	0.0 a	
托叶櫻桃(<i>Prunus stipulacea</i>)	1.0 a	3.0 b	0.0 c		
湖北花楸	0.0 a	4.7 b	0.0 a		
草本层	陕西蔷薇(<i>Rosa giraldii</i>)	1.2 a	1.7 a	1.0 a	
	细叶苔草(<i>Carex capilliformis</i>)	22.1 a	17.8 a	0.0 b	
	披针叶苔草(<i>Carex lanceolata</i>)	20.4 a	16.3 a	32.2 b	
	崖棕(<i>Carex siderosticta</i>)	20.0 a	18.6 a	0.0 b	
	光蹄盖蕨(<i>Athyrium otophorum</i>)	18.6 a	17.1 a	0.8 b	
	变叶凤毛菊(<i>Saussurea mutabilis</i>)	8.3 a	0.0 b	0.0 b	
	糙苏(<i>Phlomis umbrosa</i>)	3.7 a	0.0 b	0.0 b	
	活血丹(<i>Glechoma longituba</i>)	2.4 a	0.0 b	0.0 b	
	川续断(<i>Dipsacus asperoides</i>)	1.5 a	1.5 a	0.0 b	
	堇菜(<i>Viola verecunda</i>)	1.4 a	1.2 a	9.7 b	
	飞蓬(<i>Erigeron acer</i>)	1.2 a	0.0 b	0.0 b	
	鬼灯檠(<i>Rodgersia aesculifolia</i>)	0.0 a	9.6 b	0.0 a	
	繁缕(<i>Malachium aquaticum</i>)	0.3 a	7.1 b	2.1 c	
	蛇莓(<i>Duchesnea indica</i>)	0.9 a	4.7 b	13.8 c	

同一行不同字母表示在0.05水平上差异显著(LSD检验)。

乔木层与灌木层的物种丰富度均明显高于华北落叶松人工林。

由表4可知,在乔木层,华北落叶人工松的重要值(97.9)显著高于华山松人工林华山松的重要值(86.2)和华山松天然次生林的重要值(54.8)($P < 0.05$),重要值大于1的伴生树种,华北落叶松人工林仅有1种,华山松人工林内有4种,华山松天然次生林最多,有7种;华北落叶松林灌木层物种较少,悬钩子(*Rubus pungens*)占绝对优势,其重要值高达64.4,其次是陇塞忍冬和木姜子,与华山松人工林和次生林的灌木层存在极显著差异($P < 0.01$)。华山松人工林与次生林群落灌木层内各种群的重要值均较小,种类较多,共有的重要值较大的物种有陕西绣线菊(*Spiraea wilsonii*)、栓翅卫矛、木姜子(*Litsea pungens*)、陇塞忍冬(*Lonicera tangutica*)等,具有很高的相似性;华北落叶松人工林下草本植物较少,披针叶苔草占主要优势,与之相比,华山松人工林和次生林下草本植物种类相对较多,细叶苔草(*Carex capilliformis*)、披针叶苔草(*C. lanceolata*)、崖棕(*C. siderosticta*)和光蹄盖蕨(*Athyrium otophorum*)4个重要值比较接近,占据优势。

2.2 物种多样性比较

由表5可知,华北落叶松人工林乔木层的 Margalef 指数、Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数和 Pielou 均匀度指数分别为 0.22、0.15、0.43 和 0.45,华山松人工林乔木层的 4 个多样性指数分别 0.92、0.37、1.15 和 0.56,华山松天然次生林乔木层 4 个

表5 秦岭火地塘林区华北落叶松人工林与华山松林物种多样性指数比较

Table 5 Comparison of species diversity indexes between *Larix principis-rupprechtii* plantation and *Pinus armandii* forests in Huoditang Forest Region of Qinling Mountain

多样性指数	林层	华山松次生林	华山松人工林	华北落叶松人工林
Margalef 指数 (D_M)	乔木层	2.22±0.62 a	0.92±0.10 b	0.22±0.04 c
	灌木层	4.76±0.39 a	4.56±0.58 a	2.45±0.41 b
	草本层	1.81±0.61 a	1.60±0.11 a	0.68±0.07 b
Simpson 指数 (D)	乔木层	0.78±0.08 a	0.37±0.12 b	0.15±0.04 c
	灌木层	0.89±0.08 a	0.86±0.04 a	0.36±0.02 b
	草本层	0.75±0.11 a	0.71±0.06 a	0.28±0.03 b
Shannon-Wiener 指数 (H')	乔木层	2.38±0.51 a	1.15±0.30 b	0.43±0.05 c
	灌木层	3.90±0.27 a	3.74±0.48 a	1.41±0.13 b
	草本层	2.37±0.51 a	2.22±0.43 a	1.21±0.11 b
Pielou 均匀度 指数 (J_{sw})	乔木层	0.81±0.06 a	0.56±0.10 b	0.45±0.02 c
	灌木层	0.89±0.04 a	0.81±0.08 a	0.51±0.02 b
	草本层	0.79±0.02 a	0.72±0.04 a	0.59±0.05 b

同一行不同字母表示在0.05水平上差异显著(LSD检验)。

表6 秦岭火地塘林区华北落叶松人工林与华山松林演替树种比例及自然构成系数比较(%)

Table 6 Comparison of successional tree species ratio and compose index (CI) between *Larix principis-rupprechtii* plantation and *Pinus armandii* forests in Huoditang Forest Region of Qinling Mountain

群落类型	外来树种比例 (%)	先锋树种比例 (%)	过渡树种比例 (%)	次顶极树种比例 (%)	顶极树种比例 (%)	自然构成数 (CI)
华山松天然次生林	0 a	41 a	23 a	11 a	25 a	5.2 a
华山松人工林	0 a	66 b	17 a	5 b	12 b	3.5 b
华北落叶松人工林	96 b	2 c	1 b	0 c	1 c	0.3 c

不同字母表示在 0.05 水平上差异显著(LSD 检验)。

多样性指数高达 2.22、0.78、2.38 和 0.81, 华山松天然次生林乔木层的 4 个多样性指数均极显著高于华山松人工林与华北落叶松人工林 ($df=2$, $F=89.5$, $P<0.001$), 两两比较表明, 华山松人工林乔木层的 4 个多样性指数均极显著高于华北落叶松人工林 ($P<0.001$)。华山松天然次生林的灌木层和草本层的 4 物种多样性指数差异不显著 ($P>0.05$), 但二者均显著高于华北落叶松人工林 ($P<0.05$)。

2.3 群落演替状态比较

由表 6 可知, 华北落叶松人工林内外来树种占绝对优势, 比例为 96%, 林内先锋树种、过渡树种和顶极树种的比例非常低, 仅为 2%、1% 和 1%, 林下地带性植被稀少, 极显著低于华山松天然次生林和华山松人工林 ($P<0.01$)。华山松天然次生林内先锋树种的比例为 41%, 显著低于华山松人工林的 66% ($P<0.01$), 但华山松次生林内顶极树种的比例为 25%, 显著高于华山松人工林的 12% ($P<0.01$), 过渡树种的比例二者差异不显著 ($P>0.05$)。华山松天然次生林的自然构成系数最高 (5.2), 华山松人工林的自然构成系数为 3.5, 华北落叶松人工林的自然构成系数最低 (0.3), 三者存在极显著差异 ($df=2$, $F=135.7$, $P<0.001$)。

3 讨论

外来树种华北落叶松引种秦岭后, 其植物群落物种组成单一, 林下土著植被种类稀少。同样经过 40 年的恢复, 与华山松人工林和天然次生林相比, 华北落叶松人工林乔、灌、草层的物种丰富度最低, 与华山松天然次生林群落的总相似性系数仅为 0.11, 这与 Christer 等 (2008) 的研究结果一致, 原因是华北落叶松为外来树种, 与土著植被种间关联度较小, 很难吸引土著植被定居。在乔木层, 天然次生林中华山松的重要值为 54.8, 显著低于华山松人工林的重要值 86.2 和华北落叶松人工林的重要值 97.9 ($P<0.05$)。这是因为人工林执行的是纯林造

林模式, 造林树种单一, 而次生林群落是在异质性的生境上演替而来的, 生境的异质性导致森林植被的异质性, 所以物种数目较多 (李裕元等, 2005)。但是, 经过 40 年的恢复, 华山松人工林乔木层中已出现与次生林相近的树种, 只是由于华山松人工纯林密度较大, 这些树种的重要值还比较小。在灌木层, 华北落叶松人工林的灌木物种较少, 耐阴的悬钩子占绝对优势, 其重要值高达 64.4, 很多在华山松人工林下常见的土著植被比如陕西绣线菊 (*Spiraea wilsonii*)、中华青莢叶 (*Helwingia chinensis*)、长梗溲疏 (*Deutzia vilmorinae*) 等在华北落叶松人工林下并未出现, 原因是华北落叶松人工林密度较大, 林下光照和水热条件差, 而且外来树种与土著植被的距离较远, 不利于林下土著植被群落的建构 (Cherister *et al.*, 2008)。而华山松人工林与次生林两个群落内灌木层各种群的重要值均较小, 说明物种均比较丰富, 优势种群不明显, 共有的重要值较大的物种有陕西绣线菊、栓翅卫矛 (*Euonymus phellomana*)、木姜子 (*Litsea pungens*)、陇塞忍冬、灰栒子 (*Cotoneaste racutifolius*) 等, 相似性系数为 0.65, 具有很高的相似性, 华山松人工林与次生林灌木层的主要区别是次生林内幼树如华榎 (*Tilia chinensis*)、木姜子、锐齿栎、华山松等较多, 天然更新较人工林好, 这主要与人工林冠层郁闭度较大有关。在草本层, 华北落叶松人工林林下草本植物以耐阴的披针叶苔草 (*Carex lanceolata*) 占绝对优势, 重要值高达 32.2, 在草本层形成单优群落。而华山松人工林或次生林或群落的草本层, 常形成由细叶苔草 (*C. capilliformis*)、披针叶苔草、崖棕 (*C. siderosticta*) 和光蹄盖蕨 4 个重要值比较接近的耐阴物种组成的共优群落。华北落叶松林分密度较大, 乔木层几乎占据了全部的资源空间, 林下光照不足, 土壤退化 (雷瑞德等, 1997; 齐高强等, 2005), 所以草本植物稀少。而华山松人工林和次生林乔木层浓密的针叶冠层和发达灌木层的遮阴使得两个群落郁闭度均比较大, 是促进林下草本层耐

阴植物群落建成的主要原因,但是由于林下土壤条件较华北落叶松林好(雷瑞德等,1997),所以其林下草本植物较华北落叶松人工林多。

外来树种华北落叶松引种秦岭后,造成森林群落植物多样性降低。华北落叶松人工林乔木层的 Margalef 指数、Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数和 Pielou 均匀度指数仅分别为 0.22、0.15、0.43 和 0.45,而华山松天然次生林乔木层 4 个多样性指数高达 2.22、0.78、2.38 和 0.81,华山松次生林与人工林乔、灌、草层的 4 个多样性指数均极显著高于华北落叶松人工林。华山松天然次生林与人工林灌木层和草本层的 4 物种多样性指数差异不显著,说明乡土树种对林下植被的恢复具有重要作用,这与 Cherister 等(2008)的研究结果一致。华山松天然次生地受人类干扰小,土壤中完好地保留了土壤种子库、遗留了大量根和根状茎等克隆繁殖体(Yan *et al.*, 2010),林内乔、灌、草层植被对光照、水热、养分和空间的竞争不如外来树种华北落叶松人工林激烈,所以植物多样性指数高于人工林。由于该林区天然次生林面积较大,分布集中,种源丰富,天然植物成分很容易在华山松等乡土树种人工林群落内定居,尤其是灌木、草本和一些更新能力强的乔木植被,不用人为混交,利用自然力就可以实现在乡土树种人工林群落内顺利定居、生长和繁殖,形成与天然林群落灌木层接近的群落结构。Cusack 和 Montagnini (2004)认为,乡土树种人工林通过改善林地小气候、吸引种子传播及促进乔木树种天然更新而提高群落的演替速度,进而促进林下植被的顺利恢复。与之相比,华北落叶松人工林林分密度较大,林下光照、水热、养分、生存空间的不足,与土著植被种间距离较远,限制了林下植被的繁殖、定居、更新与发育,因此群落物种组成简单,林下植被稀少,植物多样性指数较低(Marcos *et al.*, 2007),不利于林下植被的恢复。

秦岭外来树种华北落叶松人工林自然化程度较低。华北落叶松人工林的自然构成系数最低,仅为 0.3。同样经过 40 年的恢复,华北落叶松人工林内先锋树种、过渡树种和顶极树种的比例均最低,仅为 2%、1% 和 1%,林内的先锋树种主要是人工补植的油松,过渡树种和顶极树种主要是林内零星分布的耐阴树种青榨槭(*Acer davidii*)和铁杉(*Tsuga chinensis*),说明华北落叶松人工林自然化程度很低,群落演替进程非常缓慢。与之相比,华山松人工林的自

然构成系数为 3.5,自然化程度较高,林内先锋树种、过渡树种、次顶极树种和顶极树种的比例分别为 66%、17%、5% 和 12%,过渡树种、次顶极树种和顶极树种已在林内出现,只是所占的比例和重要值较华山松天然次生林小。华山松天然次生林的自然构成系数最高(5.2),林内土著植被最为丰富,自然化程度最高(Yan *et al.*, 2010)。在秦岭林区,由于国家天然林保护工程的顺利实施,森林资源得到很好的保护,秦岭良好的水热条件和丰富的种源,有利于次生演替的顺利进展和乡土树种人工林林下植被的顺利恢复。建议对外来树种华北落叶松人工林的经营应首先在其林下引入耐阴的地带性树种如冷杉、青扦等,待这些树种更新起来后,再伐除外来树种华北落叶松,逐步实现对外来林分的改造。

参考文献

- 陈海滨,雷瑞德,尚廉斌,等. 1996. 秦岭南坡中山地带“雨淞+湿雪”对华北落叶松人工林危害规律的探讨. 西北林学院学报, **11**(增刊 1): 68-74.
- 高贤明,董熊捱,万师强,等. 1997. 秦岭太白山弃耕地植物群落演替的生态学研究. 生态学报, **17**(6): 619-625.
- 郭全邦,刘玉成,李旭光. 1999. 缙云山森林次生演替序列群落的物种多样性动态. 应用生态学报, **10**(5): 521-524.
- 雷瑞德,党坤良,张硕新,等. 1997. 秦岭南坡中山地带华北落叶松人工林对土壤的影响. 林业科学, **33**(5): 463-470.
- 雷瑞德,彭 鸿,陈存根. 1996. 火地塘林区天然次生林类型及群落特征的研究. 西北林学院学报, **11**(增刊 1): 43-52.
- 类延宝,肖海峰,冯玉龙. 2010. 外来植物入侵对生物多样性的影响及本地生物的进化响应. 生物多样性, **18**(6): 622-630.
- 李孟楼,唐章友. 1995. 落叶松叶蜂危害对落叶松生长及发育的影响. 西北林学院学报, **10**(2): 81-87.
- 李裕元,郑纪勇,邵明安. 2005. 子午岭天然林与人工林群落特征比较研究. 西北植物学报, **25**(12): 2447-2456.
- 马克平,黄建辉,于顺利,等. 1995. 北京东灵山地区植物群落多样性的研究. II. 丰富度,均匀度和物种多样性指数. 生态学报, **15**(3): 268-277.
- 齐高强,耿增超,周锋利. 2005. 秦岭南坡火地塘林区华北落叶松人工林土壤酶活性研究. 西北农林科技大学学报(自然科学版), **33**(3): 81-84.
- 陕西省林业发展区划办公室. 2008. 陕西省林业发展区划. 西安: 陕西科学技术出版社.
- 谢会成,杨茂生. 2002. 华北落叶松人工林营养元素的生物

- 循环. 南京林业大学学报(自然科学版), **26**(5): 49–52.
- 张川红, 郑勇奇. 2008. 外来树种对自然生态系统入侵风险评价指标体系. 林业科学, **44**(10): 88–93.
- 张金屯. 2011. 数量生态学(第2版). 北京: 科学出版社.
- Christer N, Ola E, Johanna C, *et al.* 2008. Differences in litter cover and understorey flora between stands of introduced lodgepole pine and native Scots pine in Sweden. *Forest Ecology and Management*, **255**: 1900–1905.
- Curtis JT, McIntosh RP. 1951. An upland forest continuum in the prairie-forest border region of Wisconsin. *Ecology*, **32**: 476–496.
- Cusack D, Montagnini F. 2004. The role of native species plantations in recovery of understory woody diversity in degraded pasturelands of Costa Rica. *Forest Ecology and Management*, **188**: 1–15.
- Marcos JA, Marcos E, Taboada A, *et al.* 2007. Comparison of community structure and soil characteristics in different aged *Pinus sylvestris* plantation and a natural pine forest. *Forest Ecology and Management*, **247**: 35–42.
- Quine CP, Humphrey JW. 2010. Plantations of exotic tree species in Britain; Irrelevant for biodiversity or novel habitat for native species. *Biodiversity and Conservation*, **19**: 1503–1512.
- Yan Q, Zhu J, Zhang J, *et al.* 2010. Spatial distribution pattern of soil seed bank in canopy gaps of various sizes in temperate secondary forests, Northeast China. *Plant and Soil*, **329**: 469–480.
-
- 作者简介 彭舜磊,男,1974年,博士,讲师,主要从事全球变化生态学和森林生态学研究。E-mail: Pengshunlei@163.com
- 责任编辑 王伟
-