

# 宝天曼自然保护区栓皮栎林人工恢复与天然恢复效果比较

彭舜磊<sup>1</sup>, 陈昌东<sup>1</sup>, 李磊<sup>2</sup>, 廖秉华<sup>1</sup>, 赵干卿<sup>1</sup>

(1. 平顶山学院 低山丘陵区生态修复重点实验室, 河南 平顶山 46700;  
2. 平顶山学院 资源与环境科学学院, 河南 平顶山 46700)

**摘 要:**为比较宝天曼自然保护区内栓皮栎林人工恢复天然恢复的差异,采用样地调查法对相同恢复年限的栓皮栎人工林与天然次生林的物种组成、重要值、多样性指数和土壤性质等群落特征指标进行了比较研究。结果表明:(1)栓皮栎人工林群落具有维管束植物 12 科 18 属 24 种,次生林群落具有维管束植物 27 科 40 属 48 种,两个群落相似性较低(0.36);(2)栓皮栎次生林乔木层和灌木层物种的重要值比人工林低,乔木层和灌木层的物种数较人工林多;(3)栓皮栎人工林与次生林群落的乔木层、灌木层和草本层的 Maglef 指数、Shannon-Wiener 指数、Simpson 和 Pielou 均匀度指数相比均较低,人工林的 4 个多样性指数大小依次为灌木层、草本层、乔木层,天然次生林指数大小表现依次为灌木层、乔木层、草本层;(4)栓皮栎次生林的土壤全氮、全磷、有机质含量比人工林均较高。研究表明在宝天曼自然保护区内,相同恢复的年限,栓皮栎天然次生林无论物种组成、多样性指数、群落结构和土壤理化性质均优于栓皮栎人工林,天然恢复比人工造林恢复效果好。

**关键词:**栓皮栎;人工林;天然次生林;重要值;物种多样性;土壤理化性质

**中图分类号:**Q948.1      **文献标识码:**A      **文章编号:**1005-3409(2016)06-0265-06

## Comparison of Community Characteristics Between *Quercus variables* Forests Through Artificial Restoration and Natural restoration in Baotianman Nature Reserve

PENG Shunlei<sup>1</sup>, CHEN Changdong<sup>1</sup>, LI Lei<sup>2</sup>, LIAO Binghua<sup>1</sup>, ZHAO Ganqing<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Ecological Restoration in the Hilly Area, Pingdingshan University, Pingdingshan, He'nan 467000, China; 2. College of Resources and Environmental Science, Pingdingshan University, Pingdingshan, He'nan 467000, China)

**Abstract:** To understand the difference of community characteristics between the planted *Quercus variables* forest and secondary natural forest, and to provide reference for forest restoration, plot survey method was used to compare the community characteristics, such as species composition, important value, diversity indexes and soil properties of *Quercus variables* planted forest with secondary natural forest in the same age of 50 years in Baotianman Nature Reserve. The results showed as follows. (1) *Quercus variables* secondary natural forest consisted of 48 vascular species in 27 families and 40 genera, whereas the planted forest included 24 vascular species in 12 families and 18 genera, similarity index was very low with value of 0.36 between two communities. (2) important value in the arbor and shrub layers of *Quercus variabilis* secondary natural forest were lower than that of planted forest, which indicated that species richness in the arbor and shrub layers of *Quercus variabilis* secondary natural forest was greater than that of planted forest. (3) The Maglef index, Simpson index, Shannon-Weiner index and Pielou evenness index of arbor, shrub and herb of *Quercus variables* planted forest were lower than those of secondary natural forest. In the planted forest, the four diversity indexes were in the order: shrub layer>herb layer>arbor layer, while in secondary forest the indexes were in the order: shrub layer>arbor layer>herb layer. (4) Soil bulk density of *Quercus variables* natural secondary was lower than that of the planted forest, the TN, TP and SOM of *Quercus variables* natural secondary forest were greater than those of the planted forest. This study suggested that species composition, diversity index, community structure and soil properties of *Quercus variables* secondary natural forest

were better than planted *Quercus variables* forest at the same restoration ages, and forest natural restoration was more superior than afforestation in Baotainman Nature Reserve.

**Keywords:** *Quercus variables*; planted forest; secondary natural forest; importance value; species diversity; soil physical and chemical property.

目前,我国是世界上人工林面积最大的国家。但是,人工林的退化问题日益严峻。在区域生态环境建设和恢复过程中,究竟人工林恢复效果好或是天然恢复效果好,一直是森林恢复争论的焦点问题。

前人对不同区域的天然次生林与人工林群落特征进行了比较研究,结论存在一些分歧。一些学者认为人工林与天然次生林相比,生物多样性较低,很难恢复到天然林的群落结构<sup>[1-5]</sup>;但另外一些学者认为人工林与天然次生林相比灌木层和草本层近似,二者差异主要是人工林乔木层树种单一<sup>[6-9]</sup>;此外,有些学者针对人工林与天然次生林的土壤理化性质特征和土壤有机质的空间分布进行了研究,认为人工林的土壤理化性质较天然次生林差,有机质含量较天然林低<sup>[10-13]</sup>。以前的研究多注重群落结构比较,或单独对土壤特征进行了比较,而对人工林和天然次生林群落结构和土壤特征同时进行比较的研究尚比较少<sup>[14-15]</sup>,研究结论有分歧,而且不同地区人工林与天然次生林恢复程度也存在差异,需要针对不同区域人工林与天然次生林的群落结构和土壤性质进行深入比较和探讨,揭示其差异原因,为区域森林恢复途径提供理论依据。

栓皮栎林(*Quercus variables*)是宝天曼自然保护区低海拔地区主要的森林类型,对于该区域森林群落的建成和生物多样性保护发挥着重要作用。经过相同年限的恢复,栓皮栎人工林和天然次生林的群落结构和土壤理化性质是否存在差异?本文选择 30 a 林龄的栓皮栎人工林和 30 a 林龄栓皮栎次生林作为研究对象,通过比较两个森林群落物种组成、物种多样性和土壤理化性质的差异,分析人工林与天然次生林的恢复效果,为宝天曼自然保护区人工林近自然经营和天然林保护提供科学参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

宝天曼国家级自然保护区为世界生物圈保护区之一,位于秦岭东段伏牛山南坡的河南省南阳市内乡县境内,地理坐标为 33°25′—33°33′N,111°53′—112°17′E,海拔高度 300~1 830 m,处于北亚热带向暖温带过渡地区,属季风型大陆性气候,年平均气温 15.1℃,年降水量 855.6 mm。地貌以切割程度不同

的中山为主,低山为辅,主要岩石是花岗岩、石灰岩和砂岩,区内土壤划分 3 个土类:海拔 1 300 m 以上为山地棕壤土类,海拔 800~1 300 m 为山地黄棕壤土类,海拔 800 m 以下为山地褐土<sup>[5]</sup>。栓皮栎林主要分布在海拔 1 200 m 以下的阳坡,为该地区低海拔的主要林分类型<sup>[5]</sup>。

### 1.2 研究方法

1.2.1 样地设置与调查 选择生境条件基本相同的栓皮栎人工林与天然次生林各 5 个样地,林龄约为 50 a 的群落,在人工林和次生林典型群落内,分别设置 10 个面积为 20 m×20 m 的样方进行群落调查,样地基本情况见表 1。乔木调查样方为 20 m×20 m;在乔木样方内采用棋盘式布点,设置 5 m×5 m 的小样方 5 个,进行灌木调查;设置 5 个 1 m×1 m 的草本样方进行草本植物调查。乔木调查内容包括:树种、株数、胸径、树高、冠幅、郁闭度等,其中采用胸径围尺测量乔木胸径,用树木测高器测量树高,用目测法估测郁闭度和冠幅的南北向和东西向直径;灌木和草本植物调查内容包括:种名、株数、多度、高度、盖度、冠幅等<sup>[4]</sup>。同时,在栓皮栎人工林与天然次生林每个样方内,挖取 1 个土壤剖面,用环刀分 3 个土层深度 0—10,10—20,20—30 cm 进行分别采样,备测土壤容重;然后,在剖面附近,用土钻分 0—10,10—20,20—30 cm 三个土层进行取样,备测土壤有机质含量、全磷和全氮等化学指标。

1.2.2 土壤指标的室内测试方法 土壤容重采用环刀法;土壤有机质采用 TOC 分析仪(TOC-L,日本岛津)测试<sup>[16]</sup>;全磷采用钼锑抗比色法;全氮采用凯氏定氮仪测试<sup>[17]</sup>。

1.2.3 群落结构分析法 对群落内物种的科属种组成进行统计;用 Jaccked 相似性系数比较两个群落的相似性;用重要值(IV)比较群落优势度,用物种 Maglef 指数、Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数、Pielou 均匀度指数比较群落的物种多样性,各种群落结构指标计算方法参考文献<sup>[18]</sup>,同时比较两个群落的土壤容重和土壤主要养分指标。

1.2.4 统计分析 用 SPSS 16.0 统计分析软件分别对人工恢复的栓皮栎林和天然恢复的栓皮栎的植物多样性指数和土壤容重及养分指标进行 *t* 检验,判断两种恢复模式是否存在差异。

表 1 宝天曼自然保护区栓皮栎人工林与栓皮栎天然次生林样地概况

样地编号	林型	海拔/m	坡度/(°)	坡向	坡位	土壤类型	土层深度/cm	林龄/a	郁闭度/%
1	栓皮栎人工林	611	32	南	中坡	山地褐土	50	55	85
2	栓皮栎人工林	596	30	东南	中坡	山地褐土	45	55	85
3	栓皮栎人工林	625	37	东南	上坡	山地褐土	45	50	80
4	栓皮栎人工林	589	31	南	中坡	山地褐土	50	55	85
5	栓皮栎人工林	614	35	东南	中坡	山地褐土	50	50	85
6	栓皮栎次生林	655	34	东南	中坡	山地褐土	50	55	80
7	栓皮栎次生林	662	36	南	中坡	山地褐土	50	55	80
8	栓皮栎次生林	697	35	南	中坡	山地褐土	50	50	75
9	栓皮栎次生林	632	32	东南	中坡	山地褐土	50	55	80
10	栓皮栎次生林	618	38	东南	中坡	山地褐土	50	50	80

2 结果与分析

2.1 群落物种组成比较分析

栓皮栎人工林与次生林群落总共出现维管束植物 31 科 37 属 53 种(表 2),其中人工林群落 12 科 18 属 24 种,次生林群落 27 科 40 属 48 种,两个群落的相似性较低,相似性系数 0.36。天然次生林和人工林灌木层物种分别为 17 属 22 种和 9 属 10 种,相似性系数 0.33,草本层分别为 13 属 16 种和 10 属 12 种,相似性系数 0.31,乔木层分别为 11 属 14 种和 3 属 4 种,相似性系数 0.27。次生林群落内,蔷薇科植物最多(6 种),壳斗科植物(5 种)、槭树科植物(5 种);人工林群落内,蔷薇科植物(4 种),壳斗科植物

(2 种)、槭树科植物(3 种)(表 3)。

表 2 栓皮栎人工林与天然次生林  
植被科属种分布及其相似性

群落类型	分类	乔木层	灌木层	草本层	共计
天然次生林	科	10	14	11	27
	属	11	17	13	40
	种	14	22	16	48
人工林	科	3	9	6	12
	属	3	9	10	18
	种	4(0.27)	10(0.33)	12(0.31)	24(0.36)
共计	科	11	18	14	31
	属	12	21	17	37
	种	15	24	23	53

注:表内括号中的数字为相似性系数。

表 3 栓皮栎人工林与天然次生林物种组成比较

栓皮栎天然次生林			栓皮栎人工林		
科名	属数	种数	科名	属数	种数
蔷薇科 Rosaceae	5	6	蔷薇科 Rosaceae	3	4
壳斗科 Fagaceae	3	5	槭树科 Aceraceae	2	3
槭树科 Aceraceae	3	5	菊科 Asteraceae	3	3
禾本科 Poaceae	3	3	禾本科 Poaceae	2	3
莎草科 Cyperaceae	2	3	莎草科 Cyperaceae	1	2
豆科 Leguminosae	2	2	壳斗科 Fagaceae	1	2
菊科 Asteraceae	2	2	大戟科 Euphorbiaceae	1	2
木犀科 Sympetaleae	1	2	鼠李科 Rhamnaceae	1	1
卫矛科 Celastraceae	1	2	马鞭草科 Verbenaceae	1	1
报春花科 Primulaceae	1	1	堇菜科 Violaceae	1	1
杜鹃花科 Ericaceae	1	1	百合科 Liliaceae	1	1
1 种的科	16	16	豆科 Leguminosae	1	1
合计	40	48	合计	18	24

2.2 重要值比较

乔木层无论人工林或天然次生林,优势树种均为栓皮栎(表 4)。在乔木层,人工林内栓皮栎种群的重要值(2.817)大于次生林内栓皮栎种群的重要值(2.220),树种种类明显少于天然次生林,次生林伴生树种较多,比如短柄枹、四照花、茅栗、鹅耳枥、化香、椴树、白蜡等;人工林伴生种较少,仅见油桐和山槐等,人工林乔木层树种结构较次生林简单。

灌木层栓皮栎天然次生林桑和山梅花的重要值较大,分别为 1.013,0.949,是灌木层的优势种,白檀、悬钩子、四照花、短柄枹和连翘的重要值次之,是次优势种,其余种的重要值都较小;人工林灌木层栓皮栎萌蘖幼苗和荆条的重要值较大,分别为 1.145,1.092,为优势种,油桐的重要值次之,是次优势种,其他种的重要值较小。人工林灌木层树种结构较次生林简单。

草本层次生林披针叶苔草的重要值最大

(2. 328), 人工林中大油芒的重要值最大(1. 763), 是次之, 为次优势种。其他种重要值较小, 但次生林的草本层的优势种, 求米草在两个群落草本层的重要值草本植物种类明显多于人工林。

表 4 栓皮栎人工林与天然次生林物种重要值比较

林层	天然次生林		人工林	
	种名	重要值	种名	重要值
乔木层	栓皮栎 <i>Quercus variabilis</i>	2. 220	栓皮栎 <i>Quercus variabilis</i>	2. 817
	短柄枹 <i>Quercus glandulifera</i> var. <i>brevipetiolata</i>	1. 489	山槐 <i>Albizia kalkora</i>	0. 744
	鹅耳枥 <i>Carpinus turczaninowii</i>	0. 736	油桐 <i>Vernicia fordii</i>	0. 352
	茅栗 <i>Castanea seguinii</i>	0. 731		
	四照花 <i>Dendrobenthamia japonica</i>	0. 723		
	椴树 <i>Tilia tuan</i>	0. 692		
	山楂 <i>Crataegus pinnatifida</i>	0. 354		
	化香 <i>Platycarya strobilacea</i>	0. 346		
	光皮榆 <i>Ulmus pumila</i>	0. 346		
	山槐 <i>Albizia kalkora</i>	0. 340		
	白蜡 <i>Fraxinus chinensis</i>	0. 340		
	华榛 <i>Corylus chinensis</i>	0. 340		
	稠李 <i>Prunus padus</i>	0. 340		
	黄连木 <i>Pistacia chinensis</i>	0. 340		
灌木层	桑 <i>Morus alba</i>	1. 013	栓皮栎 <i>Quercus variabilis</i>	1. 145
	山梅花 <i>Philadelphus incanus</i>	0. 949	荆条 <i>Vitex negundo</i>	1. 092
	白檀 <i>Symplocos paniculata</i>	0. 835	油桐 <i>Vernicia fordii</i>	0. 845
	悬钩子 <i>Rubus corchori folius</i>	0. 803	山刺玫 <i>Rosa davurica</i>	0. 397
	四照花 <i>Dendrobenthamia japonica</i>	0. 780	酸枣 <i>Ziziphus jujuba</i>	0. 375
	栓皮栎 <i>Quercus variabilis</i>	0. 779	化香 <i>Platycarya strobilacea</i>	0. 355
	绣线菊 <i>Spiraea Salicifolia</i>	0. 753		
	五味子 <i>Schisandra chinensis</i>	0. 751		
	连翘 <i>Forsythia suspensa</i>	0. 748		
	山楂 <i>Crataegus pinnatifida</i>	0. 728		
	盐肤木 <i>Rhus chinensis</i>	0. 378		
	爬山虎 <i>Parthenocissus tricuspidata</i>	0. 370		
	鹅耳枥 <i>Carpinus turczaninowii</i>	0. 363		
	美丽胡枝子 <i>Lespedeza Formosa</i>	0. 348		
	葛罗槭 <i>Acer grosseri</i>	0. 346		
	忍冬 <i>Lonicera japonica</i>	0. 346		
	青肤杨 <i>Rhus potaninii</i>	0. 345		
	苦皮藤 <i>Celastrus angulatus</i>	0. 343		
	青榨槭 <i>Acer davidii</i>	0. 343		
草本层	披针叶苔草 <i>Carex lanceolata</i>	2. 328	大油芒 <i>Spodiopogon sibiricus</i>	1. 763
	大油芒 <i>Spodiopogon sibiricus</i>	0. 829	披针叶苔草 <i>Carex lanceolata</i>	0. 407
	求米草 <i>Oplismenrls undulati folius</i>	0. 804	苦蕒菜 <i>Ixeridium sonchi folium</i>	0. 411
	南蛇藤 <i>Celastrus orbiculatus</i>	0. 691	求米草 <i>Oplismenrls undulati folius</i>	0. 794
	蕨类	0. 371	堇菜 <i>Viola verecumda</i>	0. 434
	沙参 <i>Adenophora stricta</i>	0. 365	野菊 <i>Chrysanthemum indicum</i>	0. 366
	假升麻 <i>Aruncus sylvester</i>	0. 330	青蒿 <i>Artemisia carvi folia</i>	0. 368
	费菜 <i>Sedum aizoon</i>	0. 350		
	堇菜 <i>Viola verecumda</i>	0. 345		
	淫羊藿 <i>Epimedium brevicornu</i>	0. 343		
	野菊 <i>Chrysanthemum indicum</i>	0. 340		
	珍珠菜 <i>Lysimachia clethroides</i>	0. 338		

2.3 物种多样性比较

栓皮栎次生林乔木层的 Maglef 指数、Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数和 Pielou 均匀度指数分别为 1. 75, 1. 43, 0. 74, 0. 70, 显著高于人工林乔木层的 4 个多样性指数 0. 12, 0. 07, 0. 27, 0. 47 ( $p < 0. 05$ )。栓皮栎次生林灌木层和草本层的 4 个物种多

样性指数次生林也显著高于于人工林( $p<0.05$ )。次生林表现出灌木层>乔木层>草本层的规律,人工两种林型的4个物种多样性指数均是灌木层最高。林表现出灌木层>草本层>乔木层的规律(表5)。

表5 栓皮栎人工林与天然次生林物种多样性比较

多样性指数	层次	人工林	天然次生林	t 检验	
				t 值	p 值
Margalef 指数	乔木层	0.12	1.75	20.65	<0.001
	灌木层	1.03	2.14	14.98	<0.001
	草本层	0.92	1.04	4.16	0.03
Shannon-Wiener 指数	乔木层	0.07	1.43	18.24	<0.001
	灌木层	1.34	1.87	5.66	0.01
	草本层	0.51	0.88	4.31	0.02
Simpson 指数	乔木层	0.27	0.74	10.93	<0.001
	灌木层	0.54	0.97	4.86	0.02
	草本层	0.21	0.55	4.24	0.02
Pielou 均匀度指数	乔木层	0.47	0.70	4.16	0.03
	灌木层	0.54	0.79	4.11	0.03
	草本层	0.38	0.53	4.08	0.04

2.4 土壤特征比较

图1表明:在0—30 cm不同土层深度,栓皮栎人工林的土壤容重分别为1.30,1.33,1.39 g/cm<sup>3</sup>,显著高于栓皮栎次生林的土壤容重1.07,1.17,1.18 g/

cm<sup>3</sup>( $p<0.05$ )。相反,在0—30 cm不同土层深度,栓皮栎天然次生林的有机质含量、全氮含量和全磷含量均显著高于栓皮栎人工林( $p<0.05$ )。

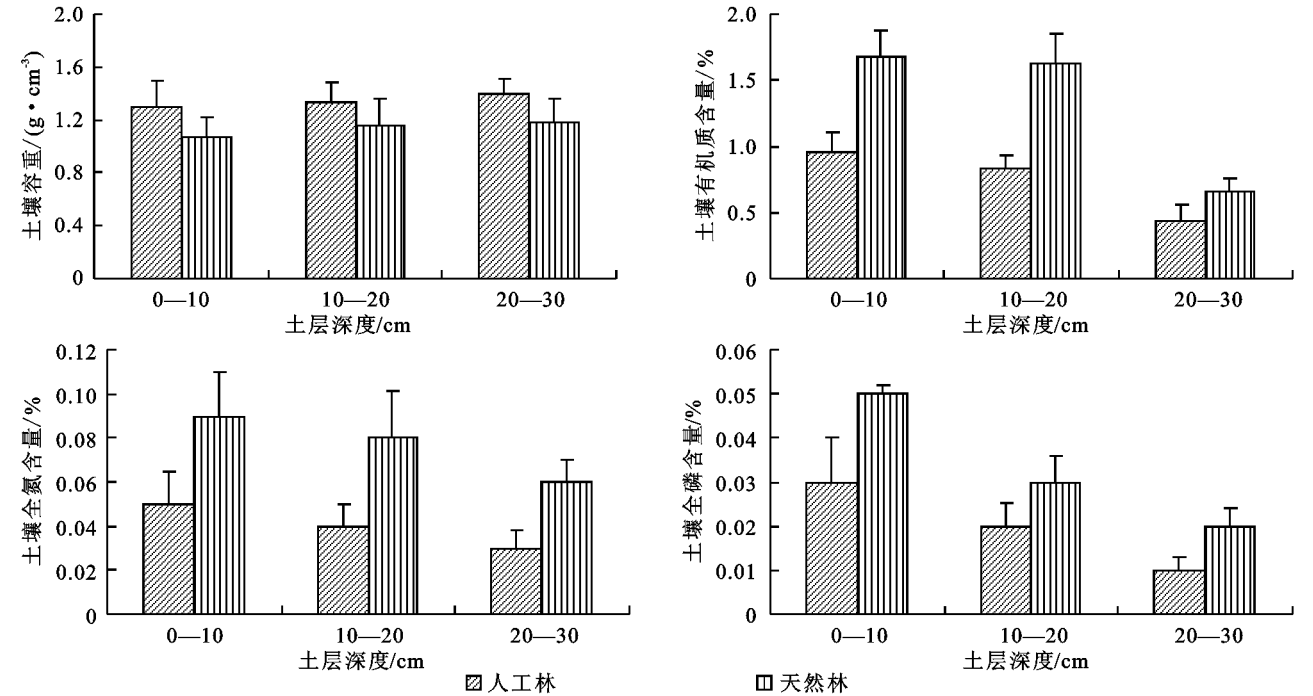


图1 栓皮栎人工林与天然次生林土壤理化性质比较

3 结论与讨论

经过50 a相同年限的恢复,栓皮栎人工林与次生林群落相比,人工林物种的科属种组成较天然次生林低,人工林结构单一,两者相似性系数很低,仅为0.36。这是因为栓皮栎人工林乔木层树种单一,50 a林分完全郁闭,冠层高度相近,林下光照条件差,灌木和草本植物发育不良;栓皮栎天然次生林内,由于种

源丰富,乔木冠层树种较人工林多,由于竞争关系,树种的林冠高低错落有致,林下透光较人工林好,因此,次生林下的灌木层和草本层植物比人工林较多<sup>[19]</sup>,这与前人的研究结论一致<sup>[2-4]</sup>。

栓皮栎次生林乔木层的Maglef指数、Simpson指数、Shannon-Wiener指数和Pielou均匀度指数分别为1.75,1.43,0.3,0.7,明显高于人工林乔木层的4个多样性指数0.12,0.07,0.27,0.47。栓皮栎次生

林灌木层和草本层的4个物种多样性指数次生林也明显高于人工林。从物种多样性的空间分布变化上进行比较看,两个群落的4个物种多样性指数均是灌木层最高。次生林表现出灌木层>乔木层>草本层的规律,人工林表现出灌木层>草本层>乔木层的规律,与前人的研究结果一致<sup>[8-10]</sup>。

栓皮栎天然次生林容重低于人工林,说明天然次生林的土壤容重较为疏松,人工林土壤质地粘重,反映出栓皮栎次生林的土壤发育较好,有利于次生林群落植被根的吸收营养及改善了土壤微生物的生存条件,便于栓皮栎次生林的发展及演替<sup>[11]</sup>;天然次生林的土壤有机质、全氮、全磷的含量均高于人工林。原因是栓皮栎人工林树种较少,林下植被稀少,凋落物归还量小,土壤容重大,质地粘重,保水保肥效果比天然次生林差;而次生林中含有树种多木,如短柄枹、鹅耳枥、茅栗等,林下灌木层和草本层发达,凋落物归还量和积累大,粗木质残体多,枯枝落叶层厚,向土壤输入的养分多,因此栓皮栎次生林土壤的有机碳库和营养物质较为丰富<sup>[12-14,20]</sup>,能够有效的保证群落内植被的营养供应,促使其健康持续生长能力较强。

本研究表明宝天曼栓皮栎人工林与天然次生林相似度较低,林分结构单一,土壤理化性质较天然次生林差,经过50a的植被恢复,天然次生林天然恢复效果明显优于人工林人工恢复。建议在宝天曼天然次生林面积较大的林区,对于退化的生态环境,采取封育保护的措施,通过天然恢复的途径进行森林恢复;在保护区附近特别困难的立地,在不破坏原始生境、土壤和凋落物的情况下,可以原地人工播种栓皮栎种子,用实生苗进行恢复,并按照栓皮栎林的演替规律对幼林进行抚育管理,保护和补种伴生树种,增加物种多样性,改善土壤条件,模拟天然次生林群落结构进行恢复。

#### 参考文献:

- [1] Peterken G. Natural Woodland: Ecology and Conservation in Northern Temperate Regions[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1996.
- [2] Hobbs R J, Arico S, Aronson J, et al. Novel ecosystems: theoretical and management aspects of the new ecological world order[J]. Global Ecology and Biogeography, 2006, 15(1):1-7.
- [3] 张永利,鲁绍伟,杨峰伟. 华北土石山区人工林与天然林结构与功能研究[J]. 灌溉排水学报,2007,26(6):63-68.
- [4] 邢韶华,姬文元,郭宁,等. 川西米亚罗林区云杉天然林与人工林的群落特征比较[J]. 山地学报,2010,28(2):218-225.
- [5] 陈辉. 33年生格氏栲人工林与天然林群落特征比较[J]. 福建林学院学报,2009,29(2):155-159.
- [6] 赵娜,李玉灵,张劲松,等. 冀北山地天然林与人工林植被物种多样性研究[J]. 西北林学院学报,2011,26(2):15-21.
- [7] Duan R Y, Wang C, Wang X A, et al. Differences in plant species diversity between conifer (*Pinus tabulaeformis*) plantations and natural forests in middle of the Loess plateau [J]. Russian Journal of Ecology, 2009,40(7):501-509.
- [8] 李裕元,郑纪勇,邵明安. 子午岭天然林与人工林群落特征比较研究[J]. 西北植物学报,2005,25(12):2447-2456.
- [9] 彭舜磊,王得祥. 秦岭火地塘林区华山松人工林与天然次生林群落特征比较[J]. 西北植物学报,2009,29(11):2301-2311.
- [10] 王健敏,刘娟,陈晓鸣,等. 云南松天然林及人工林群落结构和物种多样性比较[J]. 林业科学研究,2010,23(4):515-522.
- [11] 王周旭,于宁楼. 北京九龙山人工林和天然次生林的土壤物理性状[J]. 林业资源管理,2007,8(4):89-92.
- [12] 王小红,杨智杰,刘小飞,等. 天然林转换成人工林对土壤团聚体稳定性及有机碳分布的影响[J]. 水土保持学报,2014,28(6):177-182.
- [13] Luan J W, Xiang C H, Liu S R. Assessments of the impacts of Chinese fir plantation and natural regenerated forest on soil organic matter quality at Longmen mountain, Sichuan, China [J]. Geoderma, 2010, 56(3/4):228-236.
- [14] Michelsen A, Lisanework N, Friis I. Comparisons of understorey vegetation and soil fertility in plantations and adjacent natural forests in the Ethiopian Highlands [J]. Journal of Applied Ecology, 1996,33(3):627-629.
- [15] Ruiz-Jaen M C, Potvin C. Can we predict carbon stocks in tropical ecosystems from tree diversity? Comparing species and functional diversity in a plantation and a natural forest [J]. New Phytologist, 2011,189(4):978-987.
- [16] 钱宝,刘凌,肖潇. 土壤有机质测定方法对比分析[J]. 河海大学学报:自然科学版,2011,39(1):34-38.
- [17] 张万儒. 中国森林土壤定位研究方法[M]. 北京:中国林业出版社,1986.
- [18] 王伯荪. 植物群落学[M]. 北京:高等教育出版社,1987.
- [19] Liu Y, Lin K C, Vadeboncoeur M A, Chen M Z, et al. Understorey plant community and light availability in conifer plantations and natural hardwood forests in Taiwan [J]. Applied Vegetation Science, 2015,18(4):311-316.
- [20] 郭剑芬,杨玉盛,陈光水,等. 格氏栲天然林与人工林枯枝落叶层和粗木质残体有机化学组成研究[J]. 亚热带资源与环境学报,2008,3(3):40-45.