

不同种植年代油松林植物多样性及土壤养分变化*

汪超 王孝安** 王玲

(陕西师范大学生命科学院, 西安 710062)

摘要 通过样地调查,以空间代替时间的方法,对黄土高原马栏林区不同恢复阶段油松人工林群落物种多样性和土壤养分的变化进行了研究。结果表明:马栏林区油松人工林物种丰富度、多样性和均匀度都在波动中随着恢复年限的增加逐渐增加,物种丰富度在种植30年左右的油松林内达到最大,物种均匀度指数和优势度指数在种植20年左右的油松林内达到最大;人工种植油松林在很大程度上改变了群落面貌,物种组成和群落结构均与撂荒地有较大不同,撂荒地与油松林群落物种组成相似性较小,种植22年与28年的油松林Sorensen指数最大。油松人工林种植20年后物种组成已经基本稳定,在恢复后期物种组成变化不大,种植油松对恢复土壤肥力有一定的帮助,种植28年油松林土壤的有机质、全氮和碱解氮含量都较其它种植年代高,随着恢复年限的增加,油松人工林腐殖质不断增厚,土壤的pH值也有所增加,土壤越来越偏碱性。

关键词 黄土高原;油松人工林;恢复;物种多样性;土壤环境因子

中图分类号 Q948.1 文献标识码 A 文章编号 1000-4890(2007)08-1182-05

Plant species diversity of different age *Pinus tabulaeformis* plantations and its relations with soil fertility. WANG Chao, WANG Xiao-an, WANG Ling (College of Life Science, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China). *Chinese Journal of Ecology*, 2007, 26(8):1182-1186.

Abstract: By adopting the concept of space as a substitute for time, a field investigation was conducted in the Malan forest region on Loess Plateau to study the plant species diversity of *Pinus tabulaeformis* plantations at different restoration stages and the changes of soil fertility. The results showed that the species richness, diversity and evenness of *P. tabulaeformis* plantations increased with the increasing year of restoration, with the largest species richness in about 30 years old plantation and the biggest species evenness and dominance in about 20 years old plantation; the planting of *P. tabulaeformis* changed the features of plant community, with the species composition and proportion being quite different from those of wasteland, and the 22 and 28 years old *P. tabulaeformis* plantations had the biggest Sorensen index; planting *P. tabulaeformis* had definite contribution to soil fertility, e.g., 28 years old *P. tabulaeformis* plantation had higher contents of soil organic matter and available nitrogen than the others, and with the increasing year of restoration, soil humus layer became thicker and soil pH increased.

Key words: Loess Plateau; *Pinus tabulaeformis* plantation; restoration; species diversity; soil environmental factors.

1 引言

油松(*Pinus tabulaeformis*)是我国特有树种,构成了我国北方温带针叶林中分布最广的群落(吴刚和冯宗炜,1994),作为主要的造林树种,已经成为

黄土高原地区植被的主要组成部分(郭华和王孝安,2005;李裕元等,2005)。黄土高原由于强烈的水土流失其生态系统正处于极度退化的状态,加速该地区退化生态系统的恢复与重建,无论对于改善区域生态环境还是对于整个西北地区生态系统生产力的提高均具有重要意义(李裕元和邵明安,2004)。子午岭地区油松为植被恢复中主要的人工造林树

* 国家重点基础研究发展规划资助项目(G2002CB111505)。

** 通讯作者 E-mail: wangxa@snnu.edu.cn

收稿日期:2006-06-29 接受日期:2007-04-29

种,自大规模人工造林至今,已形成了各种龄级的纯林(邹年根和罗伟祥,1995)。本文对子午岭马栏林区不同恢复阶段油松人工林恢复过程中物种多样性和土壤肥力的变化进行比较,以期深入了解本区不同恢复阶段油松林的物种多样性和土壤养分的变化与相互关系,为本区生物多样性保护与持续利用、以及森林生态系统的保护和管理、植被的恢复和重建提供理论依据。

2 研究地区与研究方法

2.1 研究区概况

马栏林区位于黄土高原中部的陕西省旬邑县东北部(35°9′—35°33′N,108°27′—108°52′E)。该区为土石山林区,沟壑纵横、主脉属子午岭南端,呈西北-东南走向。该区属暖温带半湿润地区,年平均气温7℃,极端最低气温-28℃,1月平均气温-7℃,≥0℃积温3134℃。无霜期140~160d,晚霜在5月上旬。年平均降水量580mm,主要集中在7—9月,干旱季节从当年12月至翌年2月。林区海拔高度在1000~1700m,相对高差200~400m,坡度一般为25°左右。成土母质为风积黄土,土层深50cm左右,结构疏松,机械组成多为中壤,富含钙质,pH值7~9,属石灰性土壤。该区气候特点是:光照充足,湿热同期,利于林木生长,但降水季节分布不均,旱涝相间,易出现春旱和伏旱,影响林木种子的发芽和造林成活。

子午岭为油松的自然分布地带,近50多年来,该地区的人工林面积不断增长,其中油松林是人工营造的主要森林类型。马栏林区自20世纪60年代开始营造人工油松林,以油松为主的人工林现已遍布全林区,林区现有人工油松林5.3万hm²,占已保存人工林面积的81%,其中已成林面积3.3万hm²,还有2万hm²有望成林。林区内人工油松林主要分布在海拔1350~1650m的沟谷台地、阴坡、半阴坡以及平缓的梁脊上,伴生树种有辽东栎(*Quercus liaotungenses*)、白桦(*Betula platyphylla*)和山杨(*Populus davidiana*)等(邹年根和罗伟祥,1995)。

2.2 研究方法

2.2.1 调查取样方法 采用空间代替时间的方法,于2004年7月在马栏林场选定立地条件相近(主要为阴坡半阴坡)林龄分别为12、17、22、28、32和42年生的油松林样地6块。并在油松天然次生林中设置对照样地2块和撂荒地1块。在20m×20m样

地内设置4个10m×10m的样方调查乔木,5个4m×4m和1m×1m的小样方分别调查灌木和草本植物。在撂荒地设置5个1m×1m的小样方调查草本植物。共完成乔木样方32个,灌木样方40个,草本样方45个。对样方中的乔木进行每木检尺,记录其树高、枝下高、胸径、冠幅、林分郁闭度和群落的发育程度。在灌木和草本样方中记录每种植物的高度、盖度和株数。同时记录样地的地理位置、海拔、坡度、坡向、坡位、土壤类型和干扰状况等。各样地基本概况见表1。

表1 样地概况

Tab.1 Stand and environmental characteristics of the plot sites

样地编号	林龄(a)	密度(株·hm ⁻²)	平均胸径(cm)	海拔(m)	坡向	坡度(°)
I				1505	NE35°	10
II	12	2850	4.67	1720	SE20°	40
III	17	2625	8.26	1328	NE27°	26
IV	22	2500	11.19	1715	NW15°	18
V	28	2325	14.18	1630	EN22°	18
VI	32	2840	11.88	1315	EN5°	26
VII	42	1375	17.53	1650	WN25°	15
VIII	65	1600	16.68	1386	NE20°	14
IX	70	2375	11.98	1350	NE35°	24

I为撂荒地,II~VII为人工油松林,VIII、IX为天然油松林。下同。

2.2.2 土壤样品取样和分析 进行样方调查的同时,在样地的4个角和中心挖掘土壤剖面,野外测定土层厚度、枯枝落叶层、腐殖质层厚度、表层(10cm处)土壤含水量和含盐量(10cm处)等,从土壤表层0~30cm内采集土壤样品,将5个重复的样品充分混合后装入土壤袋(约500g)备室内分析。带回实验室,将混合土样风干后采用常规方法测定各项土壤化学性质(鲍士旦,2003)。

2.2.3 数据处理 乔木层重要值(importance value,IV)的计算公式为:

$$IV = (\text{相对密度} + \text{相对优势度} + \text{相对频度}) \times 100/3$$

灌木层和草本层重要值的计算公式为:

$$IV = (\text{相对密度} + \text{相对盖度} + \text{相对频度}) \times 100/3$$

2.2.4 多样性指数的选择与计算 本研究选取以下几个使用较多的多样性指数分析 α 多样性(钱迎倩和马克平,1995)。物种丰富度指数(S)为出现在样地中的物种数;多样性指数采用Shannon-Wiener指数: $H' = -\sum_{i=1}^s (P_i \ln P_i)$ 。式中 $P_i = N_i/N$, N_i 为种*i*的重要值, N 为样地中所有物种的重要值之和;

优势度指数采用 Simpson 指数 $D = 1 - \sum_{i=1}^s (P_i)^2$ 均匀度指数采用 Pielou 指数 $J_{sw} = -H'/\ln S$ 。

不同群落物种多样性是以各样地中物种重要值为基础,按生长型(乔木、灌木、草本)计算群落各层的物种多样性(马克平,1994a;贺金生等,1998)。野外调查数据处理时灌木层包含乔木的幼树幼苗,计算乔木层各物种多样性指数时,只选取胸径 ≥ 3.0 cm 的乔木个体。群落总体多样性等于乔、灌和草 3 层物种多样性之和(茹文明等,2006)。

β 多样性指数采用应用最广、效果最好的 Sorensen 指数(马克平,1994b): $C_s = 2c/(a+b)$ 。式中 c 为 2 个群落共有物种数, a 和 b 分别为 2 个群落各自具有的物种数。

3 结果与分析

3.1 不同恢复阶段油松林植物多样性变化

群落恢复过程中植物种类的更替使得群落组成结构发生变化(图 1)。由图 1 可以看出,不同恢复阶段的油松林下植物总体多样性存在明显差异和波动性,幼林阶段丰富度指数、多样性指数均较高,林分郁闭阶段(17~28 年)总体物种多样性明显下降。这是因为马栏林区油松林种植密度较大,随着种植年代的增加林分更加郁闭使林下光照不足,灌木和草本物种数明显减少,种植 32 年的油松人工林物种多样性最低,种植 40 年以后油松林随着种群内个体种内竞争的加大,油松个体高度的增长,下层枝条枯死使林下出现了空地,草本和灌木物种得以侵入,群落总体的物种多样性又有所增加,与油松天然林的物种多样性接近。

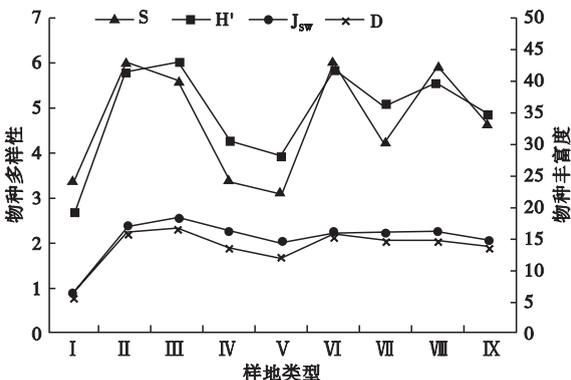


图 1 子午岭油松人工林恢复过程中群落总体物种多样性
Fig. 1 Species diversity of different age *P. tabulaeformis* restoration plantations

3.2 不同恢复阶段油松林层次物种多样性比较

物种多样性与生态系统稳定性之间的关系是近代群落生态学研究的重要内容。其中群落组成和结构上表现出的多样性是认识群落组织水平,甚至功能状态的基础,在生物多样性研究中占有举足轻重的地位(高贤明等,2002)。子午岭马栏林区油松群落垂直结构明显,表 2 显示了乔木层、灌木层和草本层 3 个层次的物种多样性指数。由表 2 可见,子午岭油松人工林恢复过程中不同恢复阶段的油松林下植物 α 多样性存在明显差异和波动性。随着恢复演替的进展,环境条件不断变化,木本植物多样性增加,草本植物的多样性在减少。油松幼龄林阶段林下草本层的丰富度指数、多样性指数均较高,林分郁闭阶段(17~28 年)各物种多样性指数明显下降,随后又有所增加,种植 40 年以后的油松人工林与天然林物种多样性指数接近,在 12 年和 22 年油松林中,物种多样性垂直结构表现出草本层 > 灌木层 > 乔木层的格局,在其它年龄段物种多样性垂直结构均表现为灌木层 > 草本层 > 乔木层的格局,油松人工林恢复过程中均匀度和优势度在不同层次大都表现为灌木层 > 草本层 > 乔木层的格局。伴随着油松群落的恢复,物种多样性在群落不同层次多样性格局的变化,是群落与环境共同作用的产物。油松人工林大多种植在撂荒地或者坡度较小的荒坡上,在种植初期,草本多样性较高,主要为菊科(Compositae)、豆科(Leguminosae)和蔷薇科(Rosaceae)等植物。随着种植年限的增加,黄蔷薇(*Rosa hugonis*)、胡枝子(*Lespedeza* sp.)和栒子(*Cotoneaster* sp.)等灌木开始占据林下空间。种植 20 年左右油松人工林草本和灌木层物种多样性都有所下降是因为林分已经郁闭,林下光照不足,且枯枝落叶覆盖地表,长时间难以分解,只有少数灌木和草本生长。在演替后期油松高度增加,下层枝条枯死使林下空间增大,灌木和草本重新占据林下生境。

3.3 β 多样性

β 多样性表达群落间的多样性,可较直观地反映不同群落间物种组成的差异(Magurran,1988)。Sorensen 指数反映群落或样方间物种组成的相似性(李新荣等,2000)。由表 3 可见,种植油松林在很大程度上改变了群落的外貌,物种组成和群落结构均与撂荒地有较大的不同,因此,撂荒地与油松林之间的 Sorensen 指数很小。除了种植 22 年和 28 年的

油松林的 Sorensen 指数较高外,其它各种种植年代油松林间物种相似性都介于 0.18 ~ 0.4,说明伴随着油松群落的恢复物种组成也处于不断变化之中。种植 17 年与 22 年油松林的 Sorensen 指数只有 0.18,说明在种植油松林 17 年后,伴随着林分的郁闭,油松群落的物种组成发生了很大的变化。人工油松林与天然油松林之间的 Sorensen 指数在 0.28 ~ 0.45,说明它们之间的物种组成较为接近。但是种植 42 年油松林与天然林之间的 Sorensen 指数只有 0.3 左

右。由此可见,油松人工林和天然林在物种组成上还是有较大差异。

3.4 不同恢复阶段油松林土壤肥力变化

土壤是植物群落的主要环境因子之一,其理化性质影响着植被发生、发育和演替的速度,同时也因植被的演变而发生变化。土壤的性质与植物群落组成结构和植物多样性有着密切的关系,且多年来一直是生态学家研究的热点(安树青等,1997;杨小波等,2002)。由表 4 可见,油松人工林除了种植 32 年

表 2 不同种植年代油松林物种多样性比较

Tab. 2 Indices of species diversity of different age *P. tabulaeformis* plantations

样地编号	物种丰富度指数(S)			Shannon-Wiener 指数(H')			Pielou 指数(J _{sw})			Simpson 指数(D)		
	乔木	灌木	草本	乔木	灌木	草本	乔木	灌木	草本	乔木	灌木	草本
I	0	0	24	0	0	2.65	0	0	0.90	0	0	0.84
II	4	14	25	1.03	2.30	2.48	0.74	0.87	0.77	0.56	0.87	0.84
III	3	21	16	0.88	2.64	2.48	0.80	0.87	0.89	0.52	0.91	0.90
IV	5	4	15	0.80	1.38	2.05	0.50	0.99	0.76	0.36	0.75	0.78
V	3	7	12	0.45	1.78	1.71	0.41	0.92	0.69	0.22	0.81	0.67
VI	5	20	18	0.93	2.59	2.31	0.58	0.86	0.80	0.45	0.90	0.83
VII	5	11	14	0.96	2.19	1.90	0.60	0.91	0.72	0.47	0.87	0.74
VIII	6	28	8	1.13	2.93	1.48	0.63	0.88	0.71	0.53	0.92	0.65
IX	4	16	13	0.70	2.41	1.72	0.51	0.87	0.67	0.35	0.89	0.66

表 3 不同种植年代油松林的 β 多样性

Tab. 3 β diversity of different age *P. tabulaeformis* plantations

样地编号	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
I	1								
II	0.09	1							
III	0.03	0.22	1						
IV	0	0.39	0.18	1					
V	0	0.40	0.19	0.57	1				
VI	0.03	0.33	0.25	0.24	0.22	1			
VII	0.04	0.32	0.19	0.36	0.30	0.27	1		
VIII	0	0.38	0.39	0.33	0.34	0.40	0.30	1	
IX	0	0.34	0.33	0.35	0.36	0.40	0.28	0.45	1

表 4 不同种植年代的土壤环境因子

Tab. 4 Soil environmental factors of different age *P. tabulaeformis* plantations

样地编号	全氮 (g · kg ⁻¹)	碱解氮 (g · kg ⁻¹)	速效磷 (mg · kg ⁻¹)	速效钾 (mg · kg ⁻¹)	有机质 (g · kg ⁻¹)	含盐量 (g · kg ⁻¹)	pH	腐殖质 (cm)
I	1.90	83.03	15.70	130.00	18.28	0.21	7.5	0
II	1.21	105.64	20.79	173.68	24.35	0.29	8.2	1.0
III	1.38	102.02	20.10	110.11	24.83	0.27	7.5	2.6
IV	1.28	110.92	22.68	234.98	32.02	0.27	8.1	4.0
V	1.52	133.64	20.40	225.71	40.04	0.20	7.9	3.0
VI	0.83	94.08	21.67	131.59	23.81	0.21	8.7	3.0
VII	1.49	130.98	19.94	208.04	26.59	0.21	8.0	3.5
VIII	1.07	89.14	23.54	179.95	28.33	0.24	8.5	4.0
IX	0.89	84.51	17.88	143.32	25.45	0.24	8.8	4.0

的油松林外其它各种种植年代的土壤全磷、碱解氮、速效钾、pH 和有机质相对于撂荒地均有所提高,说明种植油松林对恢复土壤肥力有一定的帮助。种植28年油松林土壤的有机质、全氮和碱解氮都较其它种植年代高。人工油松林随着恢复年限的增加,腐殖质不断增厚,土壤的pH值也有所增加,土壤越来越偏碱性。表4也反映出全量养分与速效养分之间并没有密切的联系,对林木生长更无直接影响,它只在表面上反映了土壤的肥瘦状况和潜在的供肥能力(陈楚莹和汪思龙,2004)。

4 讨论

子午岭油松人工林恢复过程中,油松幼龄林阶段林下草本层的丰富度指数、多样性指数均较高,林分郁闭阶段(17~28年)各物种多样性指数明显下降,随后又有所增加,种植40年以后的油松林人工林与天然林物种多样性指数接近,伴随着油松群落的恢复,物种多样性在群落不同层次多样性格局的变化,是群落与环境共同作用的产物。油松人工林大多种植在撂荒地或者坡度较小的荒坡上,在种植初期草本多样性较高,主要为菊科、豆科和蔷薇科等植物。随着种植年限的增加黄蔷薇、胡枝子和栒子等灌木开始占据林下空间。种植20年左右油松人工林草本和灌木层物种多样性都有所下降是因为林分已经郁闭,林下光照不足,且枯枝落叶覆盖地表,长时间难以分解,只有少数灌木和草本生长。在演替后期随着油松高度增加,下层油松枝条枯死,灌木和草本重新占据林下生境。

在较多情况下,随着演替的进展,土壤的厚度、碳酸钙含量、有机质和全氮等在递增,但有机质和全氮达到一定的时期又有所下降。特别是固氮演替先锋植物增加了土壤中的氮素含量,改善了土壤环境条件,为后来的植物定居创造了条件,使先锋植物在竞争中失去了优势而让位于后来者。植物种类替代加速,促进植物群落生物种类多样化和结构复杂化,进而加速土壤中物质的分界率和生物归还率,促进土壤物质循环,土壤环境得到进一步改善(Crocker & Major, 1955; Bormann & Sidle, 1990)。子午岭油松人工林恢复过程土壤肥力的变化也显示了类似的规律。与撂荒地相比,土壤养分在不同种植年代油松林内基本上都有所增长。种植20年左右油松林物种均匀度指数和优势度指数及土壤有机质和全氮含量都是最大,表现出在植被恢复的同时,土壤肥力

也相应增加。种植20年以上油松林已经达到改善土壤环境的作用。种植油松林对当地土壤环境的改善和植被恢复起到积极作用。

参考文献

- 安树青,王峥嵘,朱学雷,等. 1997. 土壤因子对次生森林群落演替的影响. *生态学报*, **17**(1): 45-50.
- 鲍士旦. 2003. 土壤农化分析. 北京: 中国农业出版社.
- 陈楚莹,汪思龙. 2004. 人工混交林生态学. 北京: 科学出版社: 120-131.
- 高贤明,马克平,陈灵芝,等. 2002. 旅游对北京东灵山亚高山草甸物种多样性影响的初步研究. *生物多样性*, **10**(2): 189-195.
- 郭华,王孝安. 2005. 黄土高原子午岭人工油松林冠层特性研究. *西北植物学报*, **25**(7): 1335-1339.
- 贺金生,陈伟烈,江明喜,等. 1998. 长江三峡地区退化生态系统植物群落物种多样性特征. *生态学报*, **18**(4): 399-407.
- 李新荣,张景光,刘立超,等. 2000. 我国干旱沙漠地区人工植被与环境演变过程中植物多样性的研究. *植物生态学报*, **24**(3): 257-261.
- 李裕元,邵明安. 2004. 子午岭植被自然恢复过程中植物多样性的变化. *生态学报*, **24**(2): 252-260.
- 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. 1994a. 生物群落多样性的测度方法. I. α 多样性的测度方法(上). *生物多样性*, **2**(3): 162-168.
- 马克平. 1994b. 生物群落多样性的测度方法. I. α 多样性的测度方法(下). *生物多样性*, **2**(4): 231-239.
- 钱迎倩,马克平. 1995. 生物多样性研究的原理与方法. 北京: 中国科学技术出版社: 141-165.
- 茹文明,张金屯,张峰,等. 2006. 历山森林群落物种多样性与群落结构研究. *应用生态学报*, **17**(4): 561-566.
- 吴刚,冯宗炜. 1994. 中国油松林群落特征及生物量的研究. *生态学报*, **14**(4): 415-422.
- 杨小波,张桃林,吴庆书. 2002. 海南琼北地区不同植被类型物种多样性与土壤肥力的关系. *生态学报*, **22**(2): 190-196.
- 邹年根,罗伟祥. 1995. 黄土高原造林学. 北京: 中国林业出版社.
- Bormann BT, Sidle RC. 1990. Change in productivity and distribution of nutrients in chronosequence at Glacier Bay, National Park, Alaska. *Journal of Ecology*, **78**: 561-578.
- Crocker RL, Major J. 1955. Soil development in relation to vegetation and surface age at Glacier Bay, Alaska. *Journal of Ecology*, **43**: 427-448.
- Magurran AE. 1988. *Ecological Diversity and Its Measurement*. New Jersey: Princeton University Press.

作者简介 汪超,男,1981年生,硕士研究生。主要从事植物生态学研究。E-mail: wangchao1028@126.com
责任编辑 王伟

