

陕西省淳化县人工刺槐林林分结构及 林下植物多样性研究

杨晓毅¹, 李凯荣², 李苗¹, 刘雪凤¹

(1. 西北农林科技大学 林学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 采用标准样地调查的方法, 分析了林地的总体多样性、林下植物群落多样性及物种多样性。研究了陕西省淳化县刺槐林径阶、平均树高同密度的关系。结果表明, 人工刺槐林在自然恢复下, 共发现灌木 12 种, 分属于 7 科 10 属; 草本 46 种, 分属于 17 科 37 属。林下植物种类丰富度和多样性指数也增加, 灌木层、草本层分层较为明显, 草本层在植物多样性和重要值等指数上显示高于灌木层。研究表明, 1 000~1 500 株/hm² 的中等密度刺槐林, 坡度小于 35° 的斜缓坡、阳坡、坡下部更有利于林下植物生长。林分径阶随林龄的增长而增大, 随密度的增大而减小。林分密度小于 1 500 株/hm² 时, 平均树高随密度的增大而增高。

关键词: 人工刺槐林; 多样性; 径阶分布; 树高分布

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2011)03-0194-08

中图分类号: Q948.15

Forest Structure and Diversity of *Robinia Pseudoacacia* L. Plantations in Chunhua County of Shaanxi Province

YANG Xiao-yi¹, LI Kai-rong², LI Miao¹, LIU Xue-feng¹

(1. College of Forestry, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100;

2. College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: On the base of field survey in standard plots, the overall diversity, plant community diversity and species diversity index were analyzed for *Robinia pseudoacacia* L. plantations in Chunhua County of Shaanxi Province on the Loess Plateau. The relationship between path rank, average tree height and density were also explored. Results show that after several years of natural recovery in *Robinia pseudoacacia* L. plantations, 12 shrub species belonging to 10 genera of 7 families, and 46 species in 37 genera of 17 families in herbaceous layers were found. The plant species richness and the diversity index increased significantly. The stratification between shrub and herbaceous layers under trees was more obvious. In contrast, the plant diversity and the important values in the herbaceous layer were higher than those of the shrub layer. Understorey plants grew significantly better on the sunny and downhill slopes with angles less than 35 degree and medium density of 1 000~1 500 tree/hm². The tree diameters decreased accordingly with the increase of forest density. When density was less than 1 500 tree/hm², the average height was significantly increased with the average density.

Keywords: *Robinia pseudoacacia* L.; diversity; breast diameter distribution; tree height distribution

历史上植被严重退化的黄土高原在近几年来得到了部分恢复^[1-2]。在植被恢复实践中, 刺槐(*Robinia pseudoacacia*) 是很重要的造林树种。有关刺槐林的研究很多集中在抗旱生理、林地土壤理化性质、土壤分形特征, 病虫害防治等方面^[2-8], 对刺槐林

下植物多样性的研究报道不是很多。多样性研究的目的是为了深入了解物种的时空分布格局及其与特定的生态过程的联系和相互作用^[9-10], 物种多样性是衡量群落结构与功能复杂性的一个重要指标, 研究植物群落恢复过程中的多样性变化可以反映植被的恢

复情况,很好地解释植物群落的组成结构和发展变化^[10-12]。

本文通过分析刺槐人工林在近自然条件下若干年恢复之后其林分结构及林下植物多样性,探究其较为合理的造林密度,以期为当地刺槐人工林的营建和植被恢复提供一定的理论依据。

1 研究区域概况

研究地点设在陕西省中部偏西渭北黄土高原的淳化县。淳化县地处东经 $108^{\circ}18' - 108^{\circ}50'$, 北纬 $34^{\circ}43' - 35^{\circ}03'$ 。属北温带,温带大陆性季风气候。年平均气温 9.8°C , 太阳年辐射总量 $504.37\text{ kJ}/\text{cm}^2$, 全年日照 $2\,249.1\text{ h}$, 无霜期 183 d 。年均降水量 610.7 mm , 多集中于 7—9 月。土壤具有明显的由褐土带向黑垆土带过渡性质, 95% 的土壤有效土层厚度在 100 cm 以上。所研究群落区域分别位于该县的秦河乡安子哇、方里镇的爷台山、城关镇的南山。由于历史上长年受人类活动干扰破坏严重, 该地区植被类

型为大面积灌丛, 草坡和人工林。从 20 世纪 70 年代开始, 全县开始分几次大面积人工营造刺槐林, 之后进行封山育林自然更新, 经过超过 30 a 的近自然状态恢复, 人工刺槐林下植物多样性正在恢复中。

2 研究方法

2.1 调查方法和内容

选择有代表性的人工刺槐林做样地调查, 标准地面积 $20\text{ m} \times 20\text{ m}$, $0 \sim 12\text{ a}$ 的定为幼龄林, $12 \sim 20\text{ a}$ 的定为中龄林, 25 a 以上的定为成熟林(过熟林)^[13-14]。调查记录乔木的树高、胸径、基径、冠幅、生长年限、枝下高。在样地内随机选择 $5\text{ m} \times 5\text{ m}$ 的小样方 5 个, 调查灌木层, 记录每个样方的灌木种类, 每种灌木的平均高度、基径和冠幅、多度、盖度等指标。随机选择 $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ 小样方 10 个调查草本层, 记录每个样方内草本植物名称、最高高度和平均高度、最高丛幅和平均丛幅、多度、盖度等指标。各标准地基本情况见表 1。

表 1 各标准地基本情况

样地编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
林龄/a	13	16	20	25	26	28	34	37	38
树高/m	6.7	9.1	8.0	5.2	6.2	7.5	10.6	8.9	8.3
平均冠幅/m	4.0	5.8	5.0	2.7	3.2	4.9	2.9	3.6	4.1
密度/(株·hm ⁻²)	950	725	850	1 650	1 550	1 325	1 475	1 225	1 075
郁闭度	0.36	0.48	0.41	0.39	0.24	0.50	0.28	0.33	0.28
坡度/(°)	27	4	23	35	24	23	15	30	42
坡向	半阳	阳	阴	阳	阳	半阴	半阳	阳	半阴
坡位	下	上	上	上	下	上	下	上	上
海拔/m	1 222	1 213	1 184	1 135	1 050	1 180	1 210	1 230	1 175

注: 1, 2, 3 号样地为中龄林, 4—9 号样地为成熟林。

2.2 多样性的测度

2.2.1 重要值的计算 乔木层及灌木层、草本层重要值的计算:

$$\text{乔木层的重要值} = (\text{相对高度} + \text{相对密度} + \text{相对优势度}) / 3$$

$$\text{灌木层、草本层的重要值} = (\text{相对高度} + \text{相对盖度}) / 2$$

2.2.2 群落的总体多样性测度 采用群落中乔、灌、草 3 层结合加权参数对群落总体 D 多样性进行计算^[15]:

$$D = \sum_{i=1}^k w_i D_i$$

式中: w_i ——群落第 i 个生长型多样性指数的加权参数; D_i ——第 i 个生长型的多样性指数 [$i=1$ 为乔木层(t), $i=2$ 为灌木层(s), $i=3$ 为草本层(h)]

加权参数的计算:

$$w_i = (C_i / C + H_i / H) / 2$$

式中: C ——群落的总盖度, $C = \sum C_i$; C_i ——第 i 个生长型的盖度, 当 $i=1$, 乔木层(t), $i=2$, 灌木层(s), $i=3$, 草本层(h); H ——群落各生长型的平均高度, $H = \sum H_i$; H_i ——第 i 个生长型的平均高度。且乔木层的叶层(林冠)厚度按乔木层高度的 $1/3$ 计算, 灌木层按 $1/2$ 计算, 草本层按高度计算。

由于样地均为刺槐林群落, 故计算乔、灌、草 3 层的权重参数时舍去乔木层, 算得灌木层、草本层加权参数为 0.27 和 0.73。

2.2.3 物种多样性指数的测定 丰富度指数(Richness): $R = S$

(1) Shannon—Wiener 多样性指数(H):

$$H = - \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i$$

(2) Simpson 多样性指数(D):

$$D = 1 - \sum_{i=1}^S p_i^2$$

(3) Pielou 均匀度指数(J):

$$J = H / \ln S$$

式中: p_i ——物种相对重要值; S ——物种总数。

2.2.4 径阶大小结构划分 按照国家标准进行径阶划分, 样方林分平均直径大于 12 cm 时, 以 4 cm 为一个径阶, 平均直径 6~12 cm 时, 以 2 cm 为一个径阶, 平均直径小于 6 cm 时, 以 1 cm 为一个径阶; 且在径阶划分时采用上限排外法, 以统一数据归类。

2.2.5 偏度和峰度的计算 偏度描述了随机变量分布相对于其均值的不对称程度。峰度反映了与标准正态分布相比, 随机变量分布的尖锐度或平缓度, 检验分布的正态性。

$$\text{平均直径: } D = \sum_{i=1}^n D_i / n$$

$$\text{偏度: } \alpha_3 = \frac{\sum (D_i - D)^3 / n}{[\sqrt{\sum (D_i - D)^2 / n}]^3}$$

$$\text{峰度: } \alpha_4 = \frac{\sum (D_i - D)^4 / n}{[\sqrt{\sum (D_i - D)^2 / n}]^2} - 3$$

式中: D_i ——样方内第 i 个林木直径; D ——样方林分平均直径; n ——样方内样本总数。偏度(α_3): 左偏($\alpha_3 > 0$, 正偏) \rightarrow 正态($\alpha_3 = 0$) \rightarrow 右偏($\alpha_3 < 0$, 负偏); 峰度(α_4): 高峰态($\alpha_4 > 0$) \rightarrow 正态($\alpha_4 = 0$) \rightarrow 低峰态($\alpha_4 < 0$)。

3 结果与分析

3.1 物种组成特征

3.1.1 总体分科情况 从表 2 可以看出, 在所调查的 45 个灌木样方和 90 个草本层样方中共出现灌木 12 种, 分属于 7 科 10 属, 其中蔷薇科(Rosaceae)、豆科(Leguminosae)、壳斗科(Fagaceae) 共计 6 属 8 种, 分别占属种总数的 60% 和 66.7%; 草本 46 种, 分属于 17 科 37 属, 其中菊科(Compositae)、禾本科(Gramineae)、蔷薇科、唇形科(Labiatae)、茄科(Solanaceae) 共计 25 属 32 种, 分别占属种总数的 67.5% 和 69.5%。可以认为, 在经过 10 a 以上恢复以后人工刺槐林中群落分层现象明显, 但灌木层物种没有草本层丰富, 且物种归类趋势明显, 蔷薇科、豆科、菊科、禾本科 4 科植物在当地的黄土沟壑区退耕演替中有着重要的作用, 表现为多数植物属于少数科; 其它科属植物如灌木层的木樨科(Oleaceae)、忍冬科(Caprifoliaceae) 等 4 科以及草本层的罂粟科(Papaveraceae)、百合科(Liliaceae) 等 10 科则占各自分层属种总数的

40%, 33.3% 和 27%, 22%, 且均为单属种, 表现为少数植物属于多数科。

表 2 人工刺槐林林下植物群落种类组成及分科结构

群落层次	科名	属组成		种组成	
		属数	占总比例/%	物种数	占总比例/%
灌 木 层	蔷薇科	3	30	4	33.3
	豆科	2	20	2	16.7
	壳斗科	1	10	2	16.7
	木犀科	1	10	1	8.3
	忍冬科	1	10	1	8.3
	胡颓子科	1	10	1	8.3
	鼠李科	1	10	1	8.3
	菊科	9	24.3	15	32.6
	禾本科	7	18.9	8	17.4
	蔷薇科	5	13.5	5	10.9
草 本 层	唇形科	2	5.4	2	4.3
	茄科	2	5.4	2	4.3
	牻牛苗科	1	2.7	2	4.3
	豆科	1	2.7	2	4.3
	罂粟科	1	2.7	1	2.2
	百合科	1	2.7	1	2.2
	茜草科	1	2.7	1	2.2
	萝藦科	1	2.7	1	2.2
	大麻科	1	2.7	1	2.2
	伞形科	1	2.7	1	2.2
	旋花科	1	2.7	1	2.2
	鸢尾科	1	2.7	1	2.2
	石竹科	1	2.7	1	2.2
	毛茛科	1	2.7	1	2.2

3.1.2 群落生活型分析 调查中发现现在群落演替过程中, 已经形成了灌木层以高位芽植物蔷薇科的黄蔷薇(*Rosa hugonis*)、麻叶绣线菊(*Spiraea cantoniensis*)、豆科的狼牙刺(*Sophora viciifolia*)、紫穗槐(*Amorpha fruticosa*)、鼠李科的酸枣(*Ziziphus jujuba*)、木犀科的连翘(*Forsythia suspensa*) 等为主的群层结构(表 3—4)。草本层则以多年生地面芽植物为主, 如菊科的艾蒿(*Artemisia argyi*)、阿尔泰狗娃花(*Heteropappus altaicus*)、野菊花(*Chrysanthemum indicum*)、蒲公英(*Taraxacum mongolicum*)、禾本科的小颖羊茅(*Festuca parvigluma*)、茜草科的茜草(*Rubia cordifolia*)、及草本状长势的白叶莓(*Rubus innominatus*)。调查结果验证了秦伟等^[16]的研究结论。

在刺槐人工林群落中, 随着恢复年限的增长, 灌木层物种数量逐渐减少, 成龄阶段灌木层的重要值明显低于中龄阶段; 草本层植物则呈现绝对优势, 所占比重呈递增态势。在中龄林阶段的林下草本群落中,

形成了以艾蒿 (*Artemisia argyi*)、小蒜 (*Allium nipponicum*)、紫穗槐 (*Amorpha fruticosa*) 等为优势种的群落。成熟林 (20 ~ 30 a) 阶段, 出现以野菊花 (*Chrysanthemum indicum*)、茜草 (*Rubia cordifolia*)、野青茅 (*Deyeuxia arundinaced*) 等为优势种的群落; 30 a 以上阶段, 则以野青茅 (*Gramineae*)、艾蒿 (*Artemisia argyi*)、白叶莓 (*Rubus innominatus*) 等为优势种构建群落。演替过程中的植物种类变化还是较为明显的。

表 4 显示, 在刺槐林中林下植物以地面芽植物为主, 所占比例超过 50%, 远超过其它生活型植物。以

恢复时间为序, 在不同的林龄阶段, 以灌木为主的高位芽植物所占比例不断下降, 地上芽植物、地面芽植物、隐芽植物各自所占比例均不断上升, 狗尾草 (*Setaria viridis*) 等一年生植物的比例在成熟林 (恢复 20 ~ 30 a) 阶段最大。

以上情况的出现, 与当地的自然地理气候条件关系密切, 另外蔷薇科、豆科、菊科、禾本科具有种类繁多, 生活习性多样, 地区适应性强等特点, 它们中的很多种植物都能很好适应当地的气候和自然地理条件, 并通过竞争得以繁衍, 而使一年生植物和高位芽植物种类在演替过程中种类减小情况明显。

表 3 不同林龄人工刺槐林林下植物群落的主要物种种类及其重要值

林龄	样号	主要植物种类
中龄林	1	黄蔷薇(0.38); 狼牙刺(0.21); 艾蒿(0.72); 白叶莓(0.11); 小颖羊茅(0.07); 刻叶紫堇(0.06); 蒲公英(0.01)
	2	狼牙刺(0.14); 连翘(0.20); 小蒜(0.16); 茵陈蒿(0.16); 小颖羊茅(0.11); 苦苣(0.10); 艾蒿(0.10)
	3	麻叶绣线菊(0.27); 紫穗槐(0.21); 牛扁(0.13); 阿尔泰狗娃花(0.12); 茜草(0.10); 白叶莓(0.10); 小蒜(0.10)
成熟林	4	酸枣(0.50); 野桃(0.09); 野菊花(0.24); 小颖羊茅(0.22); 狗尾草(0.09); 阿尔泰狗娃花(0.08); 茜草(0.06)
	5	酸枣(0.20); 狼牙刺(0.11); 茜草(0.33); 野菊花(0.15); 猪毛蒿(0.14); 白叶莓(0.10); 鬼针草(0.07)
	6	黄蔷薇(0.20); 狼牙刺(0.20); 野青茅(0.49); 阿尔泰狗娃花(0.16); 苜蓿(0.14); 白叶莓(0.07); 茜草(0.03)
	7	陕西英迷(0.40); 连翘(0.10); 野青茅(0.41); 阿尔泰狗娃花(0.18); 蒲公英(0.11); 菘草(0.14); 藿香(0.06)
	8	白叶莓(0.19); 小蒜(0.16); 苜蓿(0.11); 蛇莓(0.08); 艾蒿(0.07)
	9	艾蒿(0.21); 白叶莓(0.16); 野青茅(0.14); 阿尔泰狗娃花(0.09); 猪毛蒿(0.08)

注: 此表仅列出灌木层重要值排序前 2 位和草本层重要值排序前 5 位的物种。白叶莓在林下呈草本状长势, 故统计入草本层。

表 4 人工刺槐林林下植物生活型谱

林龄	样号	高位芽植物		地上芽植物		地面芽植物		隐芽植物		一年生植物	
		种数	占全部/%	种数	占全部/%	种数	占全部/%	种数	占全部/%	种数	占全部/%
中龄林	1	3	23	1	7	6	49	1	7	2	14
	2	5	31	0	0	9	56	6	6	1	7
	3	5	31	1	6	8	50	2	12	0	0
成熟林	4	2	12	2	12	11	64	1	6	1	6
	5	2	13	1	7	7	47	1	7	4	26
	6	2	12	2	12	8	48	3	18	1	6
	7	3	20	0	0	7	47	5	33	0	0
	8	1	7	2	15	7	54	1	7	2	15
	9	1	8	2	16	7	58	1	8	1	8

3.2 多样性分析

3.2.1 总体多样性 图 1 表明了不同林龄的 9 个标准样地群落多样性特征。总体来看, 在不同恢复年限的样地中, 林龄大的样地物种丰富度较小。随着林龄的增加, 物种丰富度、Simpson 多样性指数、Shannon—Wiener 指数和均匀度增大, 但 25 龄以后, 又逐渐减小。

3.2.2 不同层次的物种多样性分析 从表 5 可知,

在自然状态下恢复的刺槐林, 乔木层单一, 所以主要分析灌草层的多样性问题。无论在哪个林龄恢复阶段, 灌木层物种丰富度都低于草本层; 随着林龄的增长, 灌木层物种丰富度逐渐降低, 直至无灌木层; 草本层物种丰富度不断增加, 在成熟林 8 号样地草本植物达到最高 15 种。

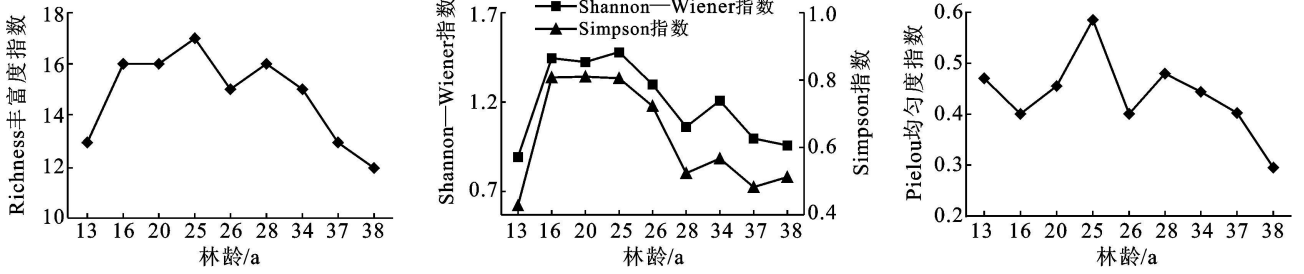


图 1 9 个标准样地群落多样性

表 5 不同林龄人工刺槐林群落分层多样性特征

林龄	样号	分层	丰富度 <i>R</i>	Shannon—Wiener 指数 <i>H</i>	Simpson 指数 <i>D</i>	Pielou 指数 <i>J</i>
中龄林	1	灌木层	6	0.967 7	0.766 7	0.908 9
		草本层	7	0.958 8	0.561 1	0.535 1
	2	灌木层	5	1.251 9	0.914 1	0.643 4
		草本层	11	1.348 1	0.885 7	0.562 2
	3	灌木层	5	1.391 6	0.895 5	0.776 7
		草本层	11	1.373 3	0.910 4	0.572 7
成熟林	4	灌木层	3	0.515 8	0.711 1	0.744 1
		草本层	14	1.905 4	0.834 7	0.742 9
	5	灌木层	2	0.321 9	0.896 4	0.464 4
		草本层	13	1.787 4	0.766 9	0.696 9
	6	灌木层	3	0.643 8	0.920 0	0.928 8
		草本层	13	1.313 4	0.545 8	0.509 8
	7	灌木层	2	0.688 4	0.800 0	0.993 2
		草本层	13	1.502 2	0.655 8	0.585 7
	8	灌木层	—	—	—	—
		草本层	15	2.039 4	0.891 3	0.820 7
	9	灌木层	—	—	—	—
		草本层	13	1.641 9	0.894 9	0.747 2

多样性指数方面,随着林龄增长,灌木层的 Shannon—Wiener 指数逐渐减小至 0,草本层的则逐渐增加,成熟林 8 号样地该指标达到了最大值(2.039 4);在有灌、草层的样地中 Simpson 指数变化规律不是很明显。

灌木层的均匀度值随恢复时间变化幅度较大,成熟林 5 号样地最低 0.464 4,7 号样地最高 0.993 2;草本层的均匀度值变化幅度不大,但 8 号样地非常明显为最高 0.820 7。自然演替过程中初始分布均匀的林中可能会形成大的林窗,增加植物种的散布,物种丰富度和多样性都会增加,但随着乔木层郁闭度的增大,灌木丰富度和多样性指数降下来,草本植物的优势增大。植物种类和个数趋于和当地的自然地理条件相符的情况,均匀度指标变化不大。

从图 2 可以看出,在不同密度的刺槐林中,林下植物组成都有以下规律:灌木层物种数和所隶属的科数及草本层植物所隶属的科数都随刺槐密度的增大而降低,降低趋势明显;草本层物种数随密度的增

大先增多后减少。可能是较小密度林下生存空间较大,便于灌木散布生长,中等密度的刺槐林下生存空间不足以供灌木植物利用但更有利于草本植物的散布和生长。

不同立地条件下,刺槐林下灌木层植物所隶属的科缓坡多于陡坡和峭坡,而草本层植物所隶属的科陡坡多于缓坡和峭坡;灌木层物种数则均为陡坡多于缓坡,多于峭坡。灌木层和草本层植物所隶属的科阳坡多于阴坡,坡下部多于上部;物种数在灌木层和草本层的分布规律同样为阳坡多于阴坡,坡下部多于上部。灌木层阳坡和坡下部植物所属的科数最多,其次是缓坡,再次是陡坡和阴坡,峭坡和坡上部植物所隶属科最少;物种数最多的也为阳坡,其次是陡坡,再次是缓坡和坡下部。草本层阳坡和坡下部植物所隶属的科都最多,科数其次是阴坡,物种数其次是陡坡,峭坡物种数及其所属科数都为最少。由此可见,坡度小于 35°的斜缓坡、阳坡和坡下部都有利于植物生长(图 3)。

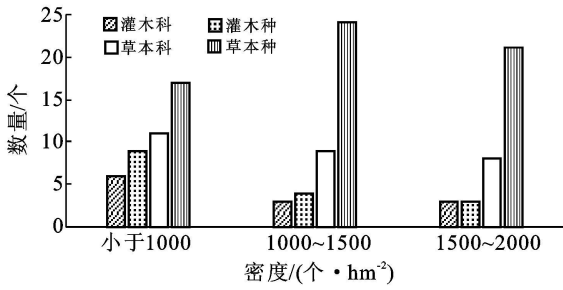


图 2 不同密度刺槐林下分层群落物种组成结构

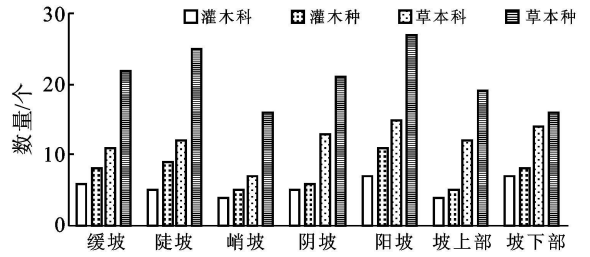


图 3 不同立地条件刺槐林下分层群落物种组成结构

3.3 径阶结构

3.3.1 径阶分布 径阶能很好的反映林分生长情况^[17]。林分结构服从正态分布的群落对环境因子及土壤因子分配利用效率最好, 生长状况也最好。不同树种混交或纯林群落, 不同立地条件和人为干扰程度, 林分径阶分布都存在差异。从表 6 数据结合图 4 所示可以得出, 中龄林 1, 3 号样地, 成熟林 7, 8, 9 号

样地其林分结构都负偏, 其余样地林分结构正偏。样地 2, 6 峰度值大于 0, 说明其林分结构较正态分布尖锐些, 中龄林 3 号样地($\alpha_4 = -1.54$)较正态分布在所有调查样地中林分结构相对最平坦。中龄林 1 号样地, 成熟林 6, 8 号样地它们的林分结构都趋似于正态分布, 其偏度和峰度都趋近于 0, 说明较其它样地它们能更好的利用环境因子和土壤因子, 生长状况较好。

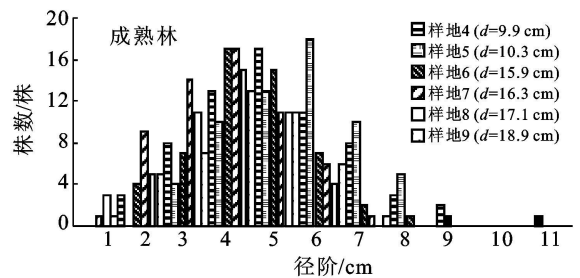
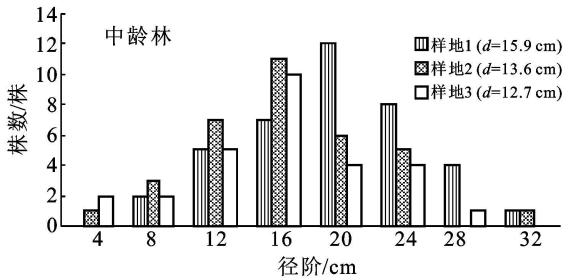


图 4 各样地林分径阶结构分布

表 6 各样地径阶分布偏度与峰度

样地号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
偏度 ₃	-0.05	0.19	-0.07	0.44	0.08	0.09	-0.12	-0.17	-0.36
峰度 ₄	-0.36	0.47	-1.54	-0.27	-0.75	0.12	-0.67	-0.19	-0.67

3.3.2 径阶和林分密度的关系 从总体上来看, 刺槐林在种植 10 a 以后, 在自然生长的过程中, 它的平均胸径随着林龄的增大而增大。中龄林林分密度为 725 株/ hm^2 时, 平均胸径为 14.0 cm, 当密度增大到 950 株/ hm^2 时, 平均胸径降至 9.1 cm。成熟林林分密度为 1 075 株/ hm^2 时, 平均胸径为 18.9 cm, 当密度增大至 1 650 株/ hm^2 时, 平均胸径降至 9.1 cm。如图 5 所示, 中龄林和成熟林都有这样规律, 随着密度的增大, 平均胸径逐渐减小。成熟林的回归方程为: $y = -0.016 2x + 37.271$, 相对关系系数为: $R^2 = 0.816 3$, 经检验, 平均胸径和密度相关关系显著, 说明较小密度有利于树木直径生长。

3.4 树高结构

3.4.1 树高分布 从图 6 可以得出, 成熟林的 4, 5 号样地平均树高分别为 5.40 和 6.16 m, 不及中龄林

的 2, 3 号样地, 可能与其密度较大有关, 9 号样地位于半阴的坡上部, 林龄最大但平均树高为 9.32 m。结合表 7, 中龄林的样地 3, 偏度为 -1.17, 树高分布在 8~9 和 9~10 m 之间的最多, 与正态分布相比右偏相当明显, 成熟林中样地 4, 偏度为 0.55, 树高分布在 4~5 m 的最多, 较正态分布左偏较多; 成熟林 9 号样地峰度为 1.62, 树高主要集中在 7~8 和 8~9 m, 与正态分布相比分布曲线非常尖锐。成熟林 5, 6 号样地峰值均为 -0.06, 偏度分别为 -0.02 和 0.10, 偏度和峰度都接近 0, 说明两样地的树高分布曲线非常近似正态分布, 7 号样地向阳位于下坡, 密度介于 1 000~1 500 株/ hm^2 , 平均树高最高 ($H = 10.79$ m)。表明随着林龄的增长, 刺槐林的平均树高逐渐增大, 较小密度有利于刺槐生长。

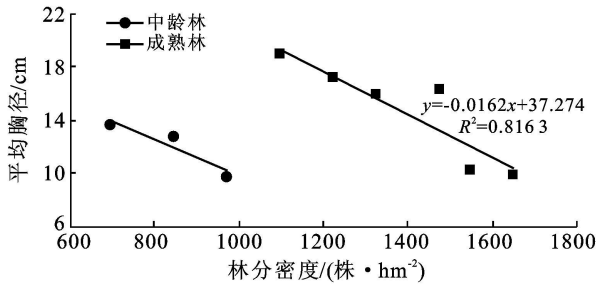


图 5 不同林龄刺槐林平均胸径与密度的关系

表 7 各样地树高分布偏度与峰度

样地号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
偏度 ₃	-0.42	0.53	-1.17	0.55	-0.02	0.10	-0.63	-0.16	0.26
峰度 ₄	1.04	0.14	-0.17	1.08	-0.06	-0.06	0.66	0.55	1.62

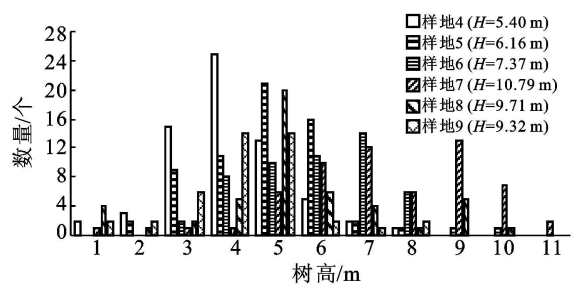
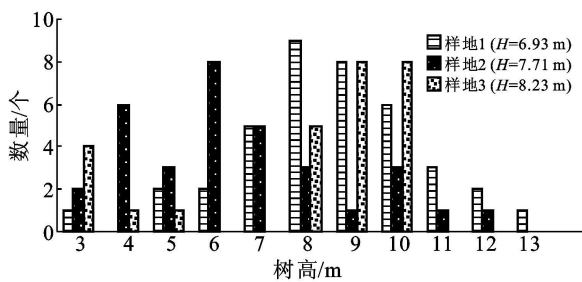


图 6 不同立地条件刺槐林树高分布

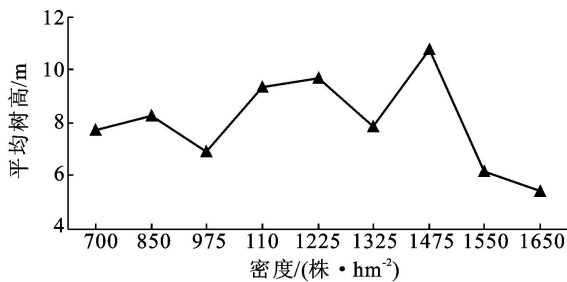


图 7 人工刺槐林平均树高与密度的关系

4 结论

(1) 刺槐林在封山育林 10 a 自然恢复以后, 林下共发现 58 种植物(灌木 12 种, 草本 46 种), 蔷薇科、豆科、菊科、禾本科的植物在刺槐林下占重要地位; 林下群落分层现象较为明显, 这种情况与一些研究者认为的“刺槐林下分层结构简单”^[18-19] 结论不同, 应该说明当地自然地理条件允许群落多层建构生长。本研究的刺槐林更替阶段应该主要属于高级更替期和缓慢恢复期^[16], 各项指标开始趋于稳定, 林下植物的生活型谱相对较窄, 主要是高位芽植物和地面芽植物, 分别占有物种数的 30%, 50%, 一年生植物种类和个数都没有像刚撂荒时的明显优势。植物种类和数量更加多样, 群落的稳定性较高。

(2) 不同林龄的刺槐林下草本层植物优势度很

3.4.2 平均树高与林分密度的关系 总体上看在刺槐林分密度小于 1 500 株/hm² 时, 平均树高随着密度的增大而增高, 当密度为 1 475 株/hm² 时, 平均树高最高, 达到 10.79 m; 林分密度超过 1 500 株/hm² 时, 平均树高呈下降趋势。在一定密度范围内, 林分密度增大可以促进树高增长; 密度过大时, 林分因个体之间过度竞争而使平均树高降低。1 500 株/hm² 较合适作为刺槐造林密度的控制参考值(图 7)。

大, 且随林龄的增长而增大。林下灌丛群落总体多样性与均匀度指数较草本层群落低, 这在一定程度上说明现阶段草本植物较灌木是更适合林下生态环境的植被配置类型。刺槐密度在小于 1 000 株/hm² 时, 平均郁闭度为 0.42, 林下灌木植物所隶属的科最多, 密度在 1 000~1 500 株/hm² 时平均郁闭度为 0.48, 林下草本所隶属的科最多。较小密度, 阳光更容易透过乔木冠层到达林下, 有利于林下灌木植物的生长, 随着密度的增加, 改变了透光度情况, 草本植物在林下占主导地位。坡度较小的斜缓坡和阳坡及下坡位都有利于植物生长。原因是林下植物在阳坡更能比阴坡获得更多的阳光, 有利于植物的生长; 缓坡比峭坡更有利于水分的储存和腐殖质的积累, 能为林下植物提供更多水分和矿物质; 坡下部的水肥条件一般优于上部, 相对更有利于植物生长。

(3) 平均胸径随林龄的增大而增加, 但随林分密度的增加而减小。林分密度小于 1 500 株/hm² 时, 平均树高随着密度的增大而增高, 但密度大于 1 500 株/hm² 时, 林木生长反受限制, 平均树高降低。

[参 考 文 献]

- [1] 王国梁, 刘国彬, 刘芳, 等. 黄土沟壑区植被恢复过程中植物群落组成及结构变化[J]. 生态学报, 2003, 23(12): 2550-2558.

- [2] 范玮熠, 王孝安, 郭华. 黄土高原子午岭植物群落演替系列分析[J]. 生态学报, 2006, 26(3): 706-714.
- [3] 田晶会, 王百田. 黄土半干旱区刺槐林水分与生长关系研究[J]. 水土保持学报, 2002, 16(5): 61-64.
- [4] 李鹏, 李占斌. 渭北黄土高原不同立地上刺槐根系分布特征研究[J]. 水土保持通报, 2002, 22(5): 15-19.
- [5] 杨建伟, 梁宗锁. 不同土壤水分状况对刺槐的生长及水分利用特征的影响[J]. 林业科学, 2004, 40(5): 93-98.
- [6] 朱雨行. 刺槐尺蠖防治指标的研究[J]. 中国森林病虫, 2007, 26(2): 14-19.
- [7] 张川红, 郑勇奇, 刘宁, 等. 刺槐对乡土植被的入侵与影响[J]. 北京林业大学学报, 2008, 30(3): 18-23.
- [8] 王征, 刘国彬, 许明祥. 黄土丘陵区植被恢复对深层土壤有机碳的影响[J]. 生态学报, 2010, 30(14): 3947-3952.
- [9] Ricotta C, Avena G, Chiarucci A. An index of divergence from species to life-form diversity based on the notion of intrinsic diversity ordering[J]. *Plant Ecology*, 2002, 165: 217-222.
- [10] Mishra B P, Tripathi O P, Tripathi R S, et al. Effects of anthropogenic disturbance on plant diversity and community structure of a sacred grove in Meghalaya, northeast India [J]. *Biodiversity and Conservation*, 2004, 13: 421-436.
- [11] 李俊清. 森林生态学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 285-299.
- [12] 毛志宏, 朱教君. 干扰对植物群落物种组成及多样性的影响[J]. 生态学报, 2006, 26(8): 2695-2701.
- [13] 刘江华, 刘国彬, 侯禧禄, 等. 刺槐林地土壤水分与林下植物群落生物量的关系[J]. 水土保持学报, 2008, 22(3): 43-48.
- [14] 张超, 刘国彬, 薛楚, 等. 黄土丘陵区不同林龄人工刺槐林土壤抗蚀性演变特征[J]. 中国水土保持科学, 2010, 8(2): 1-7.
- [15] 王永健, 陶建平, 张炜银. 茂县土地岭植被恢复过程中物种多样性动态特征[J]. 生态学报, 2006, 26(4): 1028-1036.
- [16] 秦伟, 朱清科, 刘中奇, 等. 黄土丘陵沟壑区对耕地植被恢复自然演替系列及其植物物种多样性特征[J]. 干旱区研究, 2008, 25(4): 507-513.
- [17] 李苗, 李凯荣, 杨晓毅, 等. 淳化县人工油松林林分结构及林下植物多样性研究[J]. 水土保持研究, 2010, 17(6): 142-147.
- [18] 刘彦, 余新晓, 岳永杰, 等. 北京密云水库集水区刺槐人工林空间结构分析[J]. 北京林业大学学报, 2009, 31(5): 25-28.
- [19] 刘建利, 李凯荣, 易亮, 等. 黄土高原丘陵区人工刺槐林林分结构及林下植物多样性研究[J]. 水土保持通报, 2004, 28(3): 49-70.
- (上接第125页)
- [6] Begin Z B, Schumm S A. Instability of alluvial valley floors: a method for its assessment [J]. *Trans. ASAE*, 1979, 22: 347-350.
- [7] Vandaele K, Poesen J, Govers G, et al. Geomorphic threshold conditions for ephemeral gully incision [J]. *Geomorphology*, 1996, 16: 161-173.
- [8] Desmet P J J, Govers G. Two-dimensional modeling of the within-field variation in rill and gully geometry and location related to topography [J]. *Catena*, 1997, 29: 283-306.
- [9] Moore I D, Burch G J, Mackenzie D H. Topographic effects on the distribution of surface soil water and the location of ephemeral gullies [J]. *Transactions of the ASE*, 1988, 31(4): 1098-1177.
- [10] 张科利, 唐克丽, 王斌科. 黄土高原坡面浅沟侵蚀特征值的研究[J]. 水土保持学报, 1991, 5(2): 8-13.
- [11] 胡刚, 伍永秋, 刘宝元, 等. 东北漫川漫岗黑土区浅沟和切沟发生的地貌临界模型探讨[J]. 地理科学, 2006, 26(4): 449-454.
- [12] 李斌兵, 郑粉莉, 张鹏, 等. 黄土高原丘陵沟壑区小流域浅沟和切沟侵蚀区的界定[J]. 水土保持通报, 2008, 28(5): 16-20.
- [13] 郑粉莉, 唐克丽, 白红英, 等. 子午岭地区不同地形部位开垦裸露地降雨侵蚀力的研究[J]. 水土保持学报, 1994, 8(1): 26-32.
- [14] Zheng F L. Effect of vegetation changes on soil erosion on the Loess Plateau [J]. *Pedosphere*, 2006, 16(4): 420-427.
- [15] 张鹏, 郑粉莉, 陈吉强, 等. 利用高精度 GPS 动态监测沟蚀发育过程[J]. 热带地理, 2009, 29(4): 368-373, 406.
- [16] 张鹏, 郑粉莉, 王彬, 等. 高精度 GPS 三维激光扫描和测针板三种测量技术监测沟蚀过程的对比研究[J]. 水土保持通报, 2008, 28(5): 11-15.
- [17] Gallant J C, Wilson J P. Primary Topographic Attributes [M] // Wilson J P, Gallant J C. *Terrain Analysis: Principles and Applications*. New York: Wiley, 2000: 51-86.
- [18] 汤国安, 陈正江, 赵牡丹, 等. ArcView 地理信息系统空间分析方法[M]. 北京: 科学出版社, 2002: 140-185.
- [19] O' Callaghan J F, Mark D M. The extraction of drainage networks from digital elevation data [J]. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, 1984, 28: 323-344.