

不同干扰措施下黄土丘陵区人工刺槐林 生长结构及土壤理化性质分析

高俊芳¹, 陈云明^{2,3}, 许鹏辉⁴, 王铁梅¹

(1. 西北农林科技大学 林学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 3. 西北农林科技大学 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 4. 西藏大学, 西藏 拉萨 850000)

摘 要: 为合理经营管理人工刺槐林, 提高其稳定性, 通过野外调查与室内分析相结合的方法, 对不同干扰措施下林龄为 30 a 左右的刺槐×柠条, 刺槐×油松, 刺槐×连翘等 3 种混交林中刺槐与 33 龄刺槐纯林的生长指标、土壤理化性质及林下植物多样性进行了分析。结果表明, 不同的抚育管理方式对混交林和纯林中刺槐乔木的密度影响较小, 刺槐通过无性繁殖自我修复, 密度均维持在 1 000~1 500 株/hm²; 纯林中乔木蓄积量显著高于 3 种混交林; 纯林径阶主要分布在 8~16 cm, 占样地内刺槐的 79.31%, 混交林主要分布在 2~12 cm, 占样地内刺槐的 82.58% 左右; 纯林内刺槐胸径与其树冠的投影面积相关系数 $r=0.385$, 混交林内的刺槐为 $r=0.735$, 混交林内刺槐树形结构好于纯林; 纯林对土壤容重、有机质的改善作用差于混交林, 混交林中以刺槐×柠条林改善土壤容重作用最显著, 纯林和混交林在 0—5 cm 土层的有机质含量平均值分别为 15.50, 15.19 g/kg, 5—60 cm 土层有机质含量平均值混交林较纯林高 70.6%; 纯林林下草本层多样性指数高于混交林, 但丰富度指数、均匀度指数均低于混交林。

关键词: 刺槐; 林分密度; 人工林; 混交林

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2011)05-0069-06

中图分类号: S792.26

Soil Physio-Chemical Properties and Growth Structure with Different Interfering Measures in *Robinia Pswudoacacia* Forests in Loess Hilly Region

GAO Jun-fang¹, CHEN Yun-ming^{2,3}, XU Peng-hui⁴, WANG Tie-mei¹

(1. College of Forestry, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China; 4. Tibet University, Lhasa, Tibet 850000, China)

Abstract: The major goal of this study is to develop reasonable operation and management practices of *Robinia psawudoacacia* plantation and improve its stability. Different interfering measures, including *Robinia* with *Caragana*, *Robinia* with pine and *Robinia* with *Forsythia*, and *Robinia* pure forest were investigated through field survey and laboratory analysis to analysis and compare the physical and chemical properties, the growth status, and understory species diversity of artificial pure and mixed *Robinia*. The result showed that different management methods have low influence on population density for the both mixed and pure *Robinia*; the density of *Robinia* remained 1 000~1 500 plant/hm² through self-propagation and repair. However, the volume of the pure forest was significant higher than the mixed forests. The stem diameter of pure forest ranged from 8 cm to 16 cm, accounting for 79.31% of *Robinia* in sample plot, while stem diameter of the mixed varied from 2 cm to 12 cm for 82.58% of the *Robinia*. The coefficient of correlation between diameter and the projection area of *Robinia* was 0.385 in pure forest, and 0.735 in the mixed forests. The structure and tree shape of mixed forests was better than that of the pure forest. The pure forest showed less effectiveness in

收稿日期: 2010-12-23

修回日期: 2011-02-24

资助项目: 陕西省科学院科技计划重点项目“陕北黄土丘陵区植被恢复及动植物多样性保护关键技术”(2008k-04); 中国科学院百人计划项目“黄土高原半干旱区群落水分平衡与调控机理”(kzcx2-yw-BR-02)

作者简介: 高俊芳(1985—), 女(汉族), 陕西省渭南市人, 硕士研究生, 主要从事流域生态专业方面的研究工作。E-mail: xiao.fang.1985.com@163.com。

通信作者: 陈云明(1967—), 男(汉族), 陕西省渭南市人, 研究员, 主要从事植被水分生态及森林水文方面的研究工作。E-mail: ymchen@ms.iswc.ac.cn。

improving soil bulk density and organic matter than the mixed forests; specifically, the *Robinia* and *Caragana* mixed forest exhibited the highest effectiveness. Soil organic matter contents of the pure and mixed forests in 0 to 5 cm soil layer were 15.50 g/kg and 15.19 g/kg, respectively. The average organic matter in 5 cm to 60 cm soil layer under the mixed forest was 70.6% higher than that under the pure forest. Diversity index of understory herb layer in pure forest was higher than the mixed, however, the richness and evenness index were lower.

Keywords: *Robinia pseudoacacia*; stand density; plantation; mixed forest

刺槐 (*Robinia pseudoacacia*) 原产美国, 20 世纪 20 年代引种到中国^[1]。是我国许多地区的主要水土保持造林树种, 具有耐干旱、瘠薄, 对光照、水分、土壤要求不严, 更新萌蘖能力强, 生长迅速等特点^[2-3]。

黄土高原地区从 20 世纪 50—60 年代以来营造了大面积的刺槐林, 在减少土壤侵蚀, 增加植被覆盖率, 改善该区生态环境方面发挥了重要作用。但在水分相对缺乏的黄土丘陵半干旱区, 造林时存在树种单一, 密度过大, 管理滞后等问题。部分地区的刺槐造林 5~8 a 后, 即出现生长缓慢现象, 多年后表现出树体不高, 树皮老化, 蓄积量低, 经济和生态效益低等退化林分特征^[4-5], 甚至有学者据此担心营造人工刺槐林的生态后果, 并质疑其生态功能的稳定性^[6]。近年来, 一些地区开展了退化人工刺槐林的改造试验, 通过间伐、补植灌木并形成混交林就是其中的一种。本文选取林龄及立地条件基本相似的人工刺槐纯林和混交林进行了生长指标及其土壤理化指标的测定, 比较分析了人工刺槐纯林和混交林分的生长特征及其对土壤理化性质的影响差异, 为人工刺槐林的改造与管理提供理论依据。

1 研究区概况

研究区位于陕西安塞县中国科学院安塞水土保持综合试验站的示范区内, 地理坐标为 108°51'44"—109°26'18"E, 36°30'45"—37°19'31"N。该区属典型的梁峁状丘陵沟壑区, 海拔 997~1 731 m; 气候属暖温带半干旱大陆性季风气候, 多年均降水量 500 mm 左右, 且存在年际变化大, 年内降水分布不均的特点, 7—9 月的降雨量占全年降雨量的 60% 以上; 年均气温 8.9 °C, 干燥度为 1.5~2.5, 年总辐射量为 552.68 kJ/cm²。植被地带属森林草原带, 天然林已全遭破坏, 人工林以刺槐 (*Robinia pseudoacacia*)、小叶杨 (*Populus simonii*)、侧柏 (*Platycladus orientalis*) 等为主, 灌木以柠条锦鸡儿 (*Caragana korshinskii*) 和沙棘 (*Hippophae rhamnoides*) 为主, 荒坡植被主要为铁杆蒿 (*Artemisia gmelinii*)、芨蒿 (*Artemisia giraldii*)、长芒草 (*Stipa bungeana*) 和白羊草 (*Bothriochloa ischaemum*) 等为优势种组成的处于不同演替

阶段的草本植物群落。土壤类型主要为黄绵土, 其中粉粒占 64%~73%, 黏粒占 17%~20%, 土质疏松, 抗蚀抗冲性差, 水土流失严重。

2 研究方法

2.1 样地信息及生长指标调查

在黄土丘陵半干旱区, 刺槐纯林造林设计标准基本一致, 造林密度一般较大, 多在 2 500~3 300 株/hm²。该区刺槐一般在 25 a 左右达到成熟, 此后林木高生长和胸径生长趋缓甚至停滞^[7]。本研究在安塞县纸坊沟流域内, 分别选取了立地条件相近, 林龄为 28 龄的 3 种刺槐混交林〔刺槐 × 柠条 (*Caragana korshinskii*)〕、刺槐 × 油松 (*Pinus tabulaeformis* Carr)、刺槐 × 连翘 [*Forsythia suspensa* (Thunb.) vahl], 均于 1980 年造林, 1998 年进行间伐, 并于同年补植连翘、油松, 2001 年补植柠条, 水平阶种植。刺槐纯林林龄为 33 龄, 于 1975 年造林, 初始造林密度为 3 300 株/hm²。4 种林分均选择 1 块 400 m² 标准地, 并对其内刺槐乔木进行每木检尺, 逐株调查, 记录胸径、高度、冠幅等生长因子; 标准地内草本调查按对角线法选取 5 个 1 m × 1 m 的样方, 记录种名、株数、高度、盖度等。样地基本情况见表 1。

2.2 林分蓄积量计算

通过计算样地内所有单株立木的材积量总和确定林分蓄积量。立木材积量计算采用实验形数法^[8], 测量样地内树木胸径 (1.3 m 高处直径)、树高, 结合实验形数来确定立木的材积量。计算公式如下:

$$V = g_{1.3}(h+3)f_a \quad (1)$$

式中: V ——单株立木材积量 (m³/株); $g_{1.3}$ ——1.3 m 处树干截面积 (m²); h ——树高 (m); f_a ——实验形数, 实验形数一般阔叶树种如刺槐为 0.4^[9]。

2.3 土壤理化性质测定

(1) 土壤水分。采用土钻法, 2008 年 6 月开始在每块标准样地内随机选取 3 个样点, 以 10 cm 为一个层次取样, 取样深度 60 cm, 室内 105 °C 下烘干, 以 3 个样点的算术平均值作为样地的土壤水分含量。

(2) 土壤容重。采用环刀法, 环刀容积 100 cm³,

在每块标准样地内随机选取 3 个样点,取样深度为 60 cm,每 10 cm 采样一次,在采样前先称量环刀和滤纸的重量,采样完成后立刻带回室内进行称重,并在 105 °C 下烘干,根据公式计算^[10]土壤容重。

(3) 土壤有机质。在每块标准样地内按 S 型选取 5 个样点,取样深度为 60 cm,分 0—5,5—10,10—20,20—40,40—60 cm 采样,带回实验室进行自然风干,并采用重铬酸钾法测定^[11]。

表 1 各标准样地情况

样地号	林龄/ a	坡位	坡向/ (°)	坡度/ (°)	林分 类型	平均树高/ m	平均冠幅/m		平均胸径 (地径)/cm
							东西	南北	
1	28	上	NW20	15	刺槐	5.51	2.0	1.9	6.5
					柠条	1.26	1.3	1.3	0.7~1.3
2	28	上	N0	32	刺槐	5.48	2.7	2.6	6.6
					油松	5.55	3.0	2.9	9.2
3	28	中下	NE10	25	刺槐	10.00	3.8	3.9	9.2
					连翘	2.22	2.4	2.3	—
4	33	中下	NW20	18	刺槐	9.77	3.5	3.4	13.14

2.4 物种多样性测定

物种多样性测度采用物种丰富度指数(Margalef 指数)、多样性指数(Shannon—Wiener 指数)和 Pielou 均匀度指数 3 类指标进行评价。各项指标的计算以物种的相对密度为基础,详见下述有关公式^[12-15]。

(1) 物种丰富度 Margalef 指数(R)

$$R = (S - 1) / \lg N \quad (2)$$

式中:S——样方中物种数目;N——样方中所有物种的个体数量总数。下同。

(2) 物种多样性 Shannon—Wiener 指数(H')

$$H' = - \sum_{i=1}^s P_i \lg P_i \quad (3)$$

式中:P_i = N_i/N, N_i——样方中第 i 种物种的个体数,并且 $\sum N_i = N$ 。

(3) Pielou 均匀度指数(E)

$$E = \frac{H}{\lg S} \quad (4)$$

3 结果与分析

3.1 人工干扰对林木生长的影响

3.1.1 对林分密度与蓄积量的影响 由图 1 可以看出,33 龄刺槐纯林现存林分密度为 1 137 株/hm²,3 种 28 龄刺槐×油松、刺槐×柠条、刺槐×连翘混交林中刺槐现存密度为 1 009,1 406,1 092 株/hm²,分别是 33 龄刺槐纯林的 89%,124%,96%。样地调查也表明 3 种混交林分的乔灌木相加的现存密度依次为 1 754,2 066,1 345 株/hm²,均高于 33 龄纯林的现存密度,说明不同方式的人工干扰对刺槐林生长的影响程度不同。3 种混交林于 10 a 前进行间伐,通过稀疏密度较大的刺槐乔木林,补植了油松和灌木,有效增加了林分的总体密度,改善了林分结构;33 龄刺槐虽

然未进行集中间伐措施,但仍然受到不定期的人工抚育措施,清除生长较差或者干扰林木,以及林分生长过程中对水分、光照竞争而产生的枯死等影响,现存林分密度并未明显高于混交林中的刺槐密度。

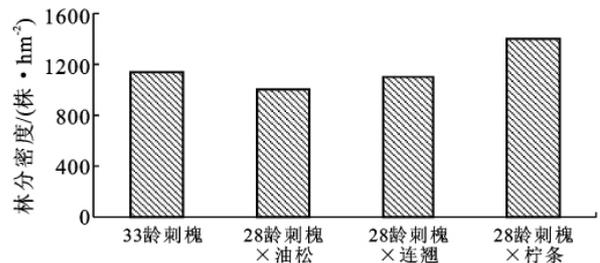


图 1 不同刺槐混交林的林分密度

进一步对刺槐纯林和 3 种混交林的蓄积量分析表明,刺槐纯林乔木蓄积量为 84.80 m³/hm²,高于 3 种混交林中刺槐的平均值 39.14 m³/hm²,3 种混交模式的刺槐蓄积量以刺槐×连翘最高,为 53.44 m³/hm²,刺槐×油松林最低,为 29.72 m³/hm²(图 2)。说明进行混交造林,虽然可改善林分的结构,但乔木成材能力较差,不利于经济利益的提高,这也与当地群众喜欢营造纯林的思想相吻合。

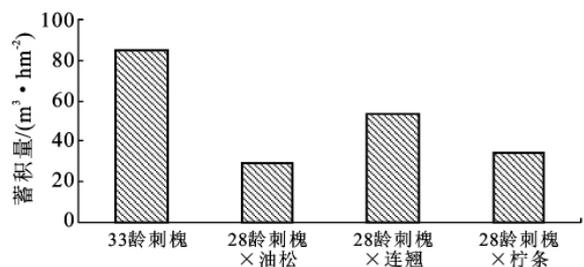


图 2 不同刺槐混交林乔木蓄积量

刺槐混交林内刺槐的林分蓄积量随林内刺槐密度增大呈减小趋势,但非直线关系,通过对密度和蓄积量的关系分析表明,二者呈现二次曲线关系,这与王百田等 2005 年研究刺槐不同林分密度和蓄积量的关系后得出的结果一致。

3.1.2 对林分径阶分布的影响 径阶分布图可以很地反映林分生长发育状况^[15-16]。调查发现刺槐林林分的径阶分布及其所占林内刺槐的比例显著不同(图 3)。刺槐纯林径阶主要分布在 8~16 cm,占该样地

内所有刺槐的 79.31%。混交林刺槐×油松、刺槐×连翘、刺槐×柠条林径阶主要分布在 2~10,4~10,2~12 cm,分别占样地内所有刺槐的 86.96%,76.92%,83.87%。混交林内小径阶乔木较多,说明刺槐的无性更新对径阶分布有重要影响,同时也反映出刺槐纯林与混交林不同的抚育管理方式,即纯林抚育以伐劣保优为主,混交林抚育则将部分已经成材的刺槐乔木进行间伐,改变了刺槐的生长环境,进而对其径阶分布产生影响。

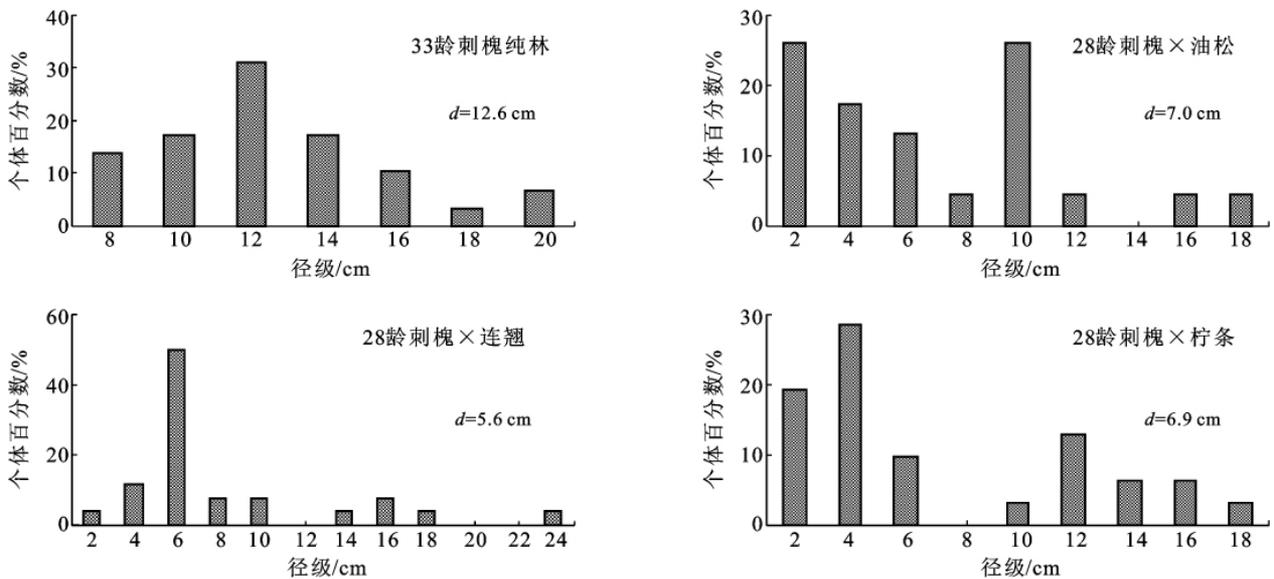


图 3 不同刺槐混交林林径阶分布图(d 为平均直径)

3.1.3 对林冠变化的影响 刺槐纯林的平均冠幅为 3.14 m,混交林内刺槐冠幅变化不明显,呈伞形,平均冠幅为 3.26 m,平均投影面积 5.86 m²。冠径比是 2 个垂直方向树冠投影直径的比值。混交林中的刺槐标准木冠径比在 1.05~1.17。纯林的冠径比平均值为 1.40。与刺槐纯林相比,混交林中刺槐冠幅、树冠投影面积平均值均小于纯林,说明混交林中的刺槐的冠幅变化较小,冠形优于刺槐纯林。

对测定林分中刺槐胸径与树冠投影面积的相关分析表明,纯林内刺槐胸径与其树冠的投影面积相关系数 $r=0.385$,混交林内的刺槐为 $r=0.735$ 。相关研究表明正常生长的刺槐与树冠投影面积具有较高的相关性^[17],说明混交林中刺槐生长相对较好。

3.2 人工干扰对土壤理化性质的影响

3.2.1 土壤含水量垂直分布特征 研究区刺槐纯林与混交林土壤含水量均随土层深度的增加而减小,在 60 cm 土层时的含水量保持在 5%左右。0—60 cm 土层平均含水量,33 龄刺槐纯林为 9.04%,3 种混交林中以刺槐×连翘林最低 7.7%,28 龄刺槐×柠条林最高为 11.7%,平均为 10.14%,较纯林水分含量高,

混交林内土壤水分状况整体好于纯林。其原因可能与 33 龄刺槐纯林、刺槐×连翘中乔木层蓄积量较大,林相相对整体(图 2),以及刺槐×连翘混交林中低径阶林分占据比例较大,乔木层生长旺盛(图 3),对水分的利用强度较大有关。

3.2.2 对土壤容重的影响 随着土层深度的增加,刺槐纯林、混交林之间的土壤容重差异减小,说明林分类型对其影响力逐渐减弱^[18]。33 龄刺槐纯林对容重的影响深度为 0—30 cm,变化范围为 1.04~1.28 g/cm³,30 cm 以下土层变化不明显。0—30 cm 土层,混交林土壤容重变化范围为 0.91~1.34 g/cm³,由大到小依次为刺槐×连翘、刺槐×油松、刺槐×柠条混交林,说明刺槐×柠条林对该土层容重的影响较为显著,30—60 cm 土层,土壤容重由大到小依次为刺槐×柠条、刺槐×油松、刺槐×连翘混交林,刺槐×连翘混交林对该土层容重的影响最显著,出现这种情况可能与刺槐连翘混交林在滑塌地造林有关。

3.2.3 对土壤有机质含量的影响 所测定林分的土壤有机质含量均随着土壤深度增加呈下降趋势。刺槐纯林在 0—5 cm 土层有机质含量与混交林相似,5

cm 以下土层均明显低于混交林分。3 种混交林在 0—5 cm 土层的差异不明显,其值变化在 15.10~15.28 g/kg。5—30 cm 土层,土壤有机质含量由大到小依次为刺槐×柠条、刺槐×油松、刺槐×连翘,其平均有机质含量分别为 11.54, 9.68, 7.12 g/kg。30—60 cm 土层,土壤有机质含量由大到小依次为刺槐×油松、刺槐×柠条、刺槐×连翘,其平均有机质含量分别为 5.02, 4.08, 3.74 g/kg。有机质含量通常被作为衡量土壤肥力水平高低的重要指标^[19],刺槐纯林改造为混交林后,可以逐步提高土壤肥力和改良

土壤性质,有利于林分的稳定。

3.3.1 对林下物种组成的影响 所调查的刺槐林样地内共有植物种类 15 种,其中菊科植物 6 种,豆科 3 种,禾本科 3 种,茜草科、旋花科、远志植物,这些植物物种个体数量多、盖度大、生物量高、生活能力较强,为该区人工刺槐林内主要的草本组分。从物种数来看,刺槐纯林中物种数为 6,混交林以刺槐×油松林最好,物种数为 8,刺槐×连翘次之,刺槐×柠条林物种数最少只有 5 种,由此可见纯林的物种数略高于混交林中平均物种数(表 2)。

表 2 林地内草本植物分布

样地类型	草本名称	盖度/ %	高度/cm 最高/平均	多度	频度 (株/丛)	强度	物候期	鲜重/ g
33 a 刺槐纯林	铁杆蒿	11	56/40	Cop3.	2	强	花期	680
	长芒草	9.0	25/23	Sol.	10	强	营养生长期	105
	茭蒿	0.2	25/20	Sol.	3	强	果期	13
	赖草	3.0	50/50	Sol.	20	强	营养生长期	8.0
	细叶远志	0.1	18/18	Un.	1	强	营养生长期	3.0
	茜草	0.1	50/50	Sol.	1	强	营养生长期	8.0
28 a 刺槐×柠条	长芒草	6.0	56/40	Cop3.	10	强	花期	680
	茜草	0.2	25/23	Sol.	2	强	营养生长期	105
	苦买菜	0.1	25/20	Sol.	1	强	果期	13
	芦草	0.5	18/18	Un.	3	强	营养生长期	3.0
	阿尔泰狗娃花	0.1	50/50	Sol.	1	强	营养生长期	8.0
28 a 刺槐×油松	铁杆蒿	13	56/40	Cop3.	2	强	花期	680
	长芒草	10	25/23	Sol.	30	强	营养生长期	105
	茭蒿	6.0	25/20	Sol.	1	强	果期	13
	茜草	0.1	50/50	Sol.	1	强	营养生长期	8.0
	早熟禾	2.0	30/30	Un.	10	强	营养生长期	3.5
	细叶远志	0.2	—	—	2	强	营养生长期	—
	火绒草	0.1	—	—	1	强	营养生长期	—
达乌里胡枝子	0.2	—	—	2	强	营养生长期	—	
28 a 刺槐×连翘	铁杆蒿	55	56/40	Cop3.	19	强	花期	680
	艾蒿	8.0	25/23	Sol.	12	强	营养生长期	105
	野豌豆	1.0	25/20	Sol.	2	强	果期	13
	茜草	0.3	18/18	Un.	1	强	营养生长期	3.0
	赖草	0.25	50/50	Sol.	2	强	营养生长期	8.0
	田旋花	0.3	30/30	Un.	1	强	营养生长期	3.5

3.3 人工干扰对刺槐林内生物多样性的影响

3.3.2 人工干扰对林内物种多样性指标的影响 由表 3 可以看出,测定林分受人干扰影响,乔木、灌木均由目的乔、灌种(刺槐、柠条、连翘、油松)组成。物种多样性的差异主要体现在草本层的变化。

本研究测定林分草本层物种丰富度指数变化在 5~8 之间,其由大到小依次为刺槐×油松、刺槐×连翘、刺槐纯林、刺槐×柠条,且混交林林分间的差异很小;均匀度指数变化在 0.50~0.64 之间,其由大到

小依次为刺槐×油松、刺槐×连翘、刺槐×柠条、刺槐纯林,其中混交林较纯林均匀度高;草本层物种多样性指数变化在 1.26~1.54 之间,以刺槐纯林最高,混交林中刺槐×柠条最低。说明刺槐纯林结构单一有利于草本层物种多样性的改善,但草本植物多以林下随机生长为主,混交林虽然多样性指数稍低,但林下草本均匀度指数和丰富度指数较高,群落结构相对合理。

表 3 不同混交林物种多样性

林地类型	乔木层			灌木层			草本层		
	S	H	J	S	H	J	S	H	J
33 a 刺槐纯林	1	0	—	1	0	—	6	1.54	0.36
28 a 刺槐×油松	2	0.27	0.90	1	0	—	8	1.47	0.64
28 a 刺槐×连翘	1	0	—	1	0	—	7	1.39	0.53
28 a 刺槐×柠条	1	0	—	1	0	—	5	1.26	0.50

注:S为丰富度指数;H为多样性指数;J为均匀度指数。

4 结论

(1) 纯林与混交林中的刺槐林分密度差异较小,但纯林中乔木蓄积量显著高于3种混交林,且纯林的径阶主要分布在8~16 cm,占该样地内所有刺槐的79.31%,刺槐×油松、刺槐×连翘、刺槐×柠条混交林径阶主要分布在2~10,4~10,2~12 cm,分别占样地内刺槐的86.96%,76.92%,83.87%,纯林乔木层林相整齐,纯林内刺槐胸径与其树冠的投影面积相关系数 $r=0.385$,混交林内的刺槐为 $r=0.735$,混交林内刺槐树形结构好于纯林。

(2) 纯林对土壤容重、有机质的改善作用差于混交林,混交林中以刺槐×柠条林改善土壤容重作用最显著,纯林和混交林在0—5 cm土层的有机质含量平均值分别为15.50,15.19 g/kg,5—60 cm土层则显著低于3种混交林。纯林林下草本层多样性指数高于混交林,丰富度指数、均匀度指数均低于混交林。

人工刺槐林在造林后不论是采取集中间伐改造为混交林,或者进行不定期抚育措施,在测定年份,纯林和混交林均未能明显改变乔木层密度,林分密度维持在1 000~1 500株/hm²。从径阶的分布可以看出,集中间伐后刺槐林通过无性繁殖,可以增加幼龄乔木数量,说明刺槐林分为适应环境,可以通过无性繁殖的自我修复方式改善林分密度;通过间伐并补植其它乔灌种,可以改善林分的结构,增加土壤有机质,改善土壤容重和水分,增强林分的稳定性,但降低了乔木的蓄积量,影响了经济效益。对刺槐乔木冠幅、胸径与其树冠的投影面积等的分析表明,33龄刺槐纯林冠形和树形结构差于3种混交林,结合土壤容重、林地有机质、多样性等指标综合分析,33龄刺槐纯林有进一步退化的可能性。

[参 考 文 献]

- [1] 宋永芳. 刺槐资源的开发利用[J]. 林业科技开发, 2002(5):11-13.
- [2] 曹云. 人工抚育措施对油松林生长及结构特征的影响[J]. 应用生态学报, 2005, 16(3):397-402.
- [3] 郭蓓, 刘勇, 李国雷, 等. 飞播油松林地土壤酶活性对间伐强度的响应[J]. 林业科学, 2007, 43(7):128-133.
- [4] 王百田, 贺康宁, 史常青, 等. 节水抗旱造林[M]. 北京: 中国林业出版社, 2004:9-12.
- [5] 王克勤, 王斌瑞. 集水造林不同密度林分生长研究[J]. 林业科学, 2002, 37(2):54-60.
- [6] 王力, 邵明安, 侯庆春, 等. 延安试区人工刺槐林地的土壤干层分析[J]. 西北植物学报, 2001, 21(1):101-106.
- [7] 刘江华, 刘国斌, 陈淑云. 刺槐林地土壤水分与林下植物生物量的关系[J]. 水土保持研究, 2009, 16(3):58-59.
- [8] 林昌庚. 林木蓄积量测算技术中的干形控制问题[J]. 林业科学, 1964, 9(4):365-375.
- [9] 冯仲科, 徐祯祥, 王小昆, 等. 测定立木材积的改进形点法[J]. 北京林业大学学报, 2005, 27(5):87-91.
- [10] 孔凡伟. 如何精测土壤容重[J]. 黑龙江农业科学, 2010(10):178-179.
- [11] 王永范, 王焕章, 杨辉, 等. 红松生长发育规律研究[J]. 吉林林业科技, 2005, 34(4):34-36.
- [12] 樊巍, 高喜荣, 赵东, 等. 太行山退化山地火炬树群落物种多样性与土壤特性变化的研究[J]. 河南农业大学学报, 2008, 42(3):299-302.
- [13] 马克平, 黄建辉, 于顺利, 等. 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[J]. 生态学报, 1995, 15(3):268-277.
- [14] Magurran A E. Ecological diversity and its measurement[M]. New Jersey: Princeton University Press, 1998:7-20.
- [15] Hartnett D C, Wilson W T. Mycorrhizae influence plant community structure and diversity in tall grass prairie [J]. Ecology, 1999, 80(4):1187-1195.
- [16] 周礼恺. 土壤酶学[M]. 北京: 科学出版社, 1987:106-221.
- [17] 吴忠红, 杜新民, 张永清, 等. 晋南日光温室土壤微生物及土壤酶活性变化规律研究[J]. 中国农学通报, 2007, 23(1):296-298.
- [18] 韦兰英, 上官周平. 黄土高原白羊草、沙棘和辽东栎细根比根长特性[J]. 生态学报, 2006, 26(12):4164-4170.
- [19] 陈立新. 东北山地人工林系统人工林生态系统肥力的研究[M]. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 2001:206-231.