

岷江上游干旱河谷油松刺槐混交林研究

吴宗兴¹ 吴玉丹² 宋小军¹ 彭晓曦¹ 杨柳璐¹

(1. 四川省林业科学研究院, 四川 成都 610081; 2. 西昌学院, 四川 西昌 615000)

摘要: 经过连续6a对岷江上游干旱河谷油松刺槐混交林分的土壤水分、养分、理化性质及林冠结构和效益研究, 结果表明: (1) 混交林土壤0~40 cm平均含水量比油松纯林增加 $0.91 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、比刺槐纯林增加 $0.55 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$; (2) 混交林18年后土壤容重比油松纯林减少 $0.13 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 、比刺槐纯林土壤容重减少 $0.10 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$; (3) 混交林土壤有机质比纯林增加 $0.54 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \sim 1.48 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、土壤碳酸钙含量比纯林减少 $0.43 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \sim 1.09 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、土壤有效氮比纯林增加 $6.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \sim 19.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、土壤有效磷比纯林增加 $0.36 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \sim 1.37 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、土壤有效钾比纯林减少 $6.90 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \sim 23.90 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、土壤CEC含量比纯林增加 $0.23 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1} \sim 0.85 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$; (4) 混交林林冠面积、林冠厚度、林冠水分截留率分别比纯林提高47.83%~78.95%、40.63%~73.08%、6.15%~8.32%、枯落物饱和持水量是纯林的1.62倍~4.22倍; (5) 混交林中油松的树高、胸径比纯林分别提高24.7%和27.35%、混交林年均利润是纯林的7.12倍。

关键词: 油松; 刺槐; 混交林; 岷江上游; 干旱河谷

中图分类号: S718 文献标识码: A 文章编号: 1003-5508(2014)06-0017-05

Research on the Mixed Forest of *Pinus tabulaeformis* and *Robinia pseudoacacia* in the Dry Valley of the Upper Minjiang River

WU Zong-xing¹ WU Yu-dan² SONG Xiao-jun¹ PENG Xiao-xi¹ YANG Liu-lu¹

(1. Sichuan Academy of Forestry, Chengdu 610081, China;

2. Xichang College, Xichang 615000, China)

Abstract: Six years of continuous researches were conducted on the soil moisture, nutrients, physical and chemical properties, structure and benefits of mixed forest of *Pinus tabulaeformis* and *Robinia pseudoacacia* in the dry valley of the upper Minjiang River. The main results were as follows: (1) the average soil moisture between 0 and 40 cm in mixed forest increased by $0.91 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ and $0.55 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ than that in *Pinus tabulaeformis* and *Robinia pseudoacacia* pure forest respectively; (2) The soil bulk density in mixed forest of 18 years old decreased by $0.13 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ and $0.10 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ than that in *Pinus tabulaeformis* and *Robinia pseudoacacia* pure forest respectively; (3) Soil organic matter, soil available nitrogen, soil phosphorus and soil CEC content in mixed forest increased by $0.54 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \sim 1.48 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, $6.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \sim 19.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, $0.36 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \sim 1.37 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ and $0.23 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1} \sim 0.85 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ than those in pure forest respectively; calcium carbonate content of the soil and soil available K decreased by $0.43 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \sim 1.09 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ and $6.90 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \sim 23.90 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ than those in pure forest respectively. (4) The canopy area, canopy thickness and canopy moisture retention rate of the mixed forest increased by 47.83%~78.95%, 40.63%~73.08%, 6.15%~8.32% than those of the pure forest respectively. The litter saturated water was 1.62 times~4.22 times than that of pure forest; (5) The height and diameter in the mixed forest increased 24.7% and 27.35% respectively as compared with the pure forest. The profit of mixed forest was 7.12 times than that of pure forest.

Key words: *Pinus tabulaeformis*, *Robinia pseudoacacia*, Mixed forest, The upper Minjiang River, Dry valley

收稿日期: 2014-09-15; 修订日期: 2014-10-05

基金项目: 中央林业项目“退耕还林重点工程区植被恢复模式及配套技术推广示范”研究内容之一。

作者简介: 吴宗兴(1963-), 男, 四川大邑人, 研究员, 主要从事林业科研和林业技术推广工作。E-mail: Wu zongxing 2003@ aliyun.com。

由于特殊的地理位置、地形条件以及人们长期频繁活动的影响,岷江上游森林和植被遭受严重破坏,并呈逆向演替,在海拔1 100 m~2 200 m的河谷两岸垂直高度100 m左右范围内形成约15万 hm^2 典型的干旱河谷地带。岷江上游干旱河谷生态环境恶劣,水热严重失调,年降水量小,蒸发量大,土壤肥力较差,土层瘠薄,造林困难。虽然油松、刺槐作为抗干旱的树种在干旱地带造林获得成功,改变了过去树种单一现状,丰富了适应干旱地带生长的树种种类,但抗逆性树种纯林生长缓慢。油松(*Pinus tabulaeformis*)在岷江上游分布有面积天然林,是干旱河谷荒山造林的主要树种之一。油松纯林对涵养水源,控制水土流失,改善生态环境,促进山区经济发展起到了积极的推动作用。但由于树种单一,结构简单,松毛虫危害严重,已有部分林分出现早期衰退现象,林木生长缓慢、质量低下,形成了大面积的“小老树”,直接影响了森林综合效益的发挥。刺槐(*Robinia pseudoacacia*)生长迅速,是水土保持、薪炭林、蜜源和“四旁”绿化树种,根部含有固氮菌,很适合做伴生树种。为调整林分生态结构,建立稳定、高效、多功能森林生态系统,应大力营造针阔混交林。为此,我所于1996年在茂县营造油松刺槐带状混交林,通过对标准地连续10余年的定位观测与分析,探索林分长势,为治理岷江上游干旱河谷提供了新的模式。

1 试验区概况及研究方法

1.1 试验区概况

试验区设置在茂县凤仪镇静州村(北纬 $31^{\circ}41'$,东经 $103^{\circ}51'$)阴坡,海拔1 720 m,坡度 $25^{\circ}\sim 30^{\circ}$,年均降水量492.7 mm,年均蒸发量1 332 mm,蒸发量为降水量的近3倍,雨季5月~10月降水量占全年83.4%,旱季11月~翌年4月降水量占全年16.6%,平均相对湿度72%,年均风速4.0 m/s,年均温度 11.2°C ,极端最高气温 32.0°C ,最高气温 $\geq 30^{\circ}\text{C}$ 平均1.8 d,极端最低气温 -11.6°C ,最低气温 $\leq 0^{\circ}\text{C}$ 平均80.8 d,平均气温年较差 20.4°C ,平均日照时数1 565.9 h,面积 8.60 hm^2 ;优势植被为白刺花(*Sophora viciifolia* Hance)、马鞍山蹄甲(*Bauhinia faberia* Oliv.)、甘川紫苑(*Aster smithianu* Hand Maze)、铁杆蒿(*Artemisia glauca* Pall)、金花蚤草(*Pulicaria chrysanha* Ling)等,盖度30%;土壤为

老冲积灰褐土,立地类型为阴坡潮润亚贫瘠——矮灌型。造林树种为油松(*Pinus tabulaeformis*),1996年营造,初植密度为 $4\ 950\text{株}\cdot\text{hm}^{-2}$;刺槐(*Robinia pseudoacacia*),1996年营造,初植密度为 $3\ 330\text{株}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。

1.2 研究方法

1.2.1 采用反坡梯田整地:即在山坡上沿等高线自上而下,里切外垫,将生土石块筑沿,修成里低外高的梯田,使田面形成10度的反坡,保持50 cm深的活土层,宽度1.2 m,上下两个反坡梯田保留1.0 m的间隔。

1.2.2 造林密度:油松幼年时生长较慢,干形不够端直,侧枝较粗,加之造林地的立地条件一般较差,所以适当密植,为 $4\ 950\text{株}\cdot\text{hm}^{-2}$ (株行距 $1\text{ m}\times 2\text{ m}$);刺槐为 $3\ 330\text{株}\cdot\text{hm}^{-2}$ (株行距 $1.5\text{ m}\times 2\text{ m}$)。

1.2.3 混交造林方式:采用带状混交方式,即刺槐3行,油松5行。

1.2.4 在每个标准地内,挖具有代表性的土壤剖面两个,详细进行剖面观察记载,并分层取样,采用常规方法分析测定土壤的水分变化规律和土壤的N、P、K等含量。

1.2.5 测定林木的树高、胸径采用大样本50株,随机区组3次重复。

1.2.6 对各试验收集的数据进行统计分析,统计分析方法采用百分数比较法。

2 结果与分析

2.1 混交林对土壤含水量的影响

营造油松、刺槐纯林和油松刺槐混交林土壤0~40 cm旱季6 a连续观察其平均含水量分别为 $4.38\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 $4.74\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 $5.29\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,见表1。

表1 种植油松刺槐林地土壤平均含水量

处理	0~40 cm 含水量 ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	0~40 cm含水量 与油松纯林差 ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	0~40 cm含水量 与刺槐纯林差 ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)
油松刺槐混交林	5.29	+0.91	+0.55
刺槐纯林	4.74	+0.36	
油松纯林	4.38		

从表1可以看出种植油松刺槐混交林的林地土壤0~40 cm平均含水量比油松纯林增加 $0.91\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、比刺槐纯林增加 $0.55\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,种植刺槐纯林的土壤0~40 cm平均含水量比油松纯林增加 $0.36\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。试验表明,种植油松刺槐混交林土壤在

2013年11月17日测定其含水量比纯林显著增加,0~40 cm土壤含水量平均增加 $0.55 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \sim 0.91 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$;同时,刺槐纯林的土壤保水效果比油松纯林好。

2.2 混交林对土壤容重的影响

种植混交林、油松纯林、刺槐纯林林地18 a后0~20 cm土壤平均容重分别为 $0.93 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 、 $1.06 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 、 $1.03 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$,见表2。

从表2可以看出混交林林地18 a后土壤容重比油松纯林减少 $0.13 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 、比刺槐纯林土壤容重减少 $0.10 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。刺槐纯林土壤容重比油松纯林减少 $0.03 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。试验表明,油松和刺槐的混交林18 a后的土壤容重比油松、刺槐纯林显著降低,混交林0~20 cm土壤容重比纯林减少 $0.10 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3} \sim 0.13 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。

表3 种植油松刺槐林地18年后土壤平均肥力

处理	pH值	有机质 ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	碳酸钙 ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	有效养分($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)			全量养分($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)			CEC ($\text{mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$)
				氮 N	磷 P	钾 K	氮 N	磷 P	钾 K	
油松刺槐混交林	8.1	2.66	12.63	76.1	3.67	104.5	0.198	0.082	2.22	5.98
刺槐纯林	8.1	1.72	13.29	63.1	2.66	121.5	0.095	0.069	2.09	5.26
油松纯林	8.2	1.18	13.72	56.7	2.30	128.4	0.080	0.056	2.06	5.03

从表3可以看出混交林和刺槐纯林土壤pH值在18 a后比油松纯林降低0.1,同时对土壤养分提高有显著的效果。混交林土壤有机质比纯林增加 $0.54 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \sim 1.48 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、土壤碳酸钙含量比纯林减少 $0.43 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \sim 1.09 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、土壤有效氮比纯林增加 $6.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \sim 19.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、土壤有效磷比纯林增加 $0.36 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \sim 1.37 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、土壤有效钾比纯林减少 $6.90 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \sim 23.90 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、土壤全氮比纯林增加 $0.015 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \sim 0.118 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、土壤全磷比纯林增加 $0.13 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \sim 0.026 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、土壤全钾比纯林增加 $0.03 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \sim 0.16 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、土壤CEC含量比纯林增加 $0.23 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1} \sim 0.85 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$ 。试验表明,混交林对林地土壤养分含量有显著的增加作用。

2.4 不同林分水文效应

选择纯林及混交林标准地的油松林分平均树高4.14 m,平均胸径6.24 cm;刺槐林分平均树高11.34 m,平均胸径12.21 cm。在标准地内均匀布设10个雨量筒,在林郁闭度适中处安置自记雨量计,在林外旷野安置雨量筒和自记雨量计做对照进行林冠对降雨截留测定。在其上、中、下各取3个样

表2 种植油松刺槐林地平均土壤容重

处理	深度	容重 ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	0~20 cm 平均容重 ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	混交林	混交林
				与油松 纯林差 ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	与刺槐 纯林差 ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)
油松刺槐混交林	0~10	0.88	0.93	-0.13	-0.10
	10~20	0.98			
刺槐纯林	0~10	0.98	1.03	-0.03	
	10~20	1.08			
油松纯林	0~10	1.04	1.06		
	10~20	1.08			

2.3 种植绿肥对土壤肥力的影响。

营造混交林、油松纯林、刺槐纯林18 a后,土壤有机质含量分别为 $1.66 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $1.32 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $1.18 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、土壤碳酸钙含量,土壤氮、磷、钾有效养分,全量养分等见表3。

方,测定枯落物总厚度,半分解层、未分解层,用质量法测定枯落物饱和持水量。

林分的水文效应主要由林冠截留、枯枝落叶层吸水,以及根系的活动来实现的。大气降水落在林分表面时,首先被林冠层截留引起降水的第一次分配,经过3 a连续观察,截留情况见表4。降雨经过林冠截留,仍有一部分穿过枝叶空隙落到地面,引起降水的第2次分配,这种再分配持续的时间和各层所能容纳的降水量对于枯枝落叶层来说,除了降水条件外,主要与枯枝落叶层厚度、质量及分解状态有关,经过3 a连续观察,结果见表5。

表4 混交林与纯林林冠对降雨的截留

林分类型	林冠 面积 (m^2)	林冠 厚度 (m)	林外 平均雨量 (mm)	林内 平均雨量 (mm)	截留量	截留率
					(mm)	(%)
混交林	34	4.5	492.7	341.1	151.6	30.77
刺槐纯林	23	3.2	492.7	371.4	121.3	24.62
油松纯林	19	2.6	492.7	382.1	110.6	22.45

从表4可以看出,混交林由于形成立体林冠结构,林冠层次多,面积大,截留作用大。混交林林冠面积、林冠厚度、林冠水分截留率分别比纯林提高47.83%~78.95%、40.63%~73.08%、6.15%~8.32%。

表5 混交林与纯林林地枯落物蓄水能力

林分类型	枯落层 (cm)	枯落物质量 (kg·hm ⁻²)	分解状态(kg·hm ⁻²)		枯落物饱和 和持水量 (kg·hm ⁻²)
			分解	未分解	
混交林	3.4	5 126.0	3 579.3	1 546.70	10 590
刺槐纯林	2.1	3 151.7	1 911.6	1 240.10	6 525
油松纯林	1.6	1 974.8	981.8	993.00	2 510

从表5可以看出,混交林枯落物不仅总量大,而且分解量也大,蓄水能力也强。据测定,混交林枯落物层厚度、枯落物质量、枯落物分解、枯落物饱和持水量分别比纯林提高61.90%~112.5%、62.64%~159.57%、87.24%~264.57%、1.62倍~4.22倍。

2.5 不同林分经济效益

2.5.1 林分生长表现

混交林改善了林分的生态条件,油松的生理作用也发生了明显的变化,光合强度增强,蒸腾强度下降,松毛虫危害减轻,油松生长量明显提高,见表6。

表6 18 a 生混交林与纯林生长对比

林分类型	树种	树龄(a)	树高(m)	胸径(cm)
混交林	油松	18	4.14	6.24
混交林	刺槐	18	11.34	12.21
纯林	刺槐	18	9.16	9.87
纯林	油松	18	3.32	4.90

从表6可以看出,混交林中油松的树高、胸径与纯林相比分别提高24.7%和27.35%,刺槐的树高、胸径与纯林相比分别提高23.80%和23.70%,说明混交林不仅可以改善林分生态条件,而且能有效提高林分生长量。

2.5.2 经济效益

由于林木生长量的增加,林分的经济效益也随之增加。为了便于比较,将油松刺槐的年龄均换算成标准年龄18 a,并按统计公式计算见表7。

表7 18 年不同林分经济效益分析

林分类型	产值 (元)	成本 (元)	利润 (元)	利润率 (%)	产投比
混交林	21246.36	2567.32	18679.04	727.57	1:8.28
纯林	3792.00	1179.65	2621.99	222.27	1:3.21

由表7可知,混交林中的油松无论在利润、利润率和产投比均高于油松纯林,18 a 生混交林中的油松,年均利润为18 679.04元·hm⁻²,而油松纯林年均利润仅为2 621.99元·hm⁻²,混交林是纯林的7.12倍。

3 结论与讨论

(1) 种植油松刺槐混交林的林地土壤0~40 cm 平均含水量比油松纯林增加0.91 g·kg⁻¹、比刺槐纯林增加0.55 g·kg⁻¹。种植刺槐纯林的土壤0~40 cm 平均含水量比油松纯林增加0.36 g·kg⁻¹。混交林下土壤腐殖质增多,根系发育良好,保持水土效果增强。

(2) 混交林林地18 a 后土壤容重比油松纯林减少0.13 g·cm⁻³、比刺槐纯林土壤容重减少0.10 g·cm⁻³。刺槐纯林土壤容重比油松纯林减少0.03 g·cm⁻³。在混交林下的刺槐枝叶容易分解成有机质,有利于渗透到土壤中,可以充分吸收有限的降水量,减少土壤水分蒸发。同时,促进了土壤团粒结构的形成,有利于改良土壤结构,增加土壤孔隙度,减少土壤容重,促进土壤对降水的渗吸性,增加土壤有机质,对改善土壤水、肥、气、热状况起着良性循环作用。

(3) 混交林和刺槐纯林在18 a 后土壤pH 值比油松纯林降低0.1,混交林土壤有机质比纯林增加0.54 mg·kg⁻¹~1.48 mg·kg⁻¹、土壤碳酸钙含量比纯林减少0.43 mg·kg⁻¹~1.09 mg·kg⁻¹、土壤有效氮比纯林增加6.4 mg·kg⁻¹~19.4 mg·kg⁻¹、土壤有效磷比纯林增加0.36 mg·kg⁻¹~1.37 mg·kg⁻¹、土壤有效钾比纯林减少6.90 mg·kg⁻¹~23.90 mg·kg⁻¹、土壤全氮比纯林增加0.015 mg·kg⁻¹~0.118 mg·kg⁻¹、土壤全磷比纯林增加0.13 mg·kg⁻¹~0.026 mg·kg⁻¹、土壤全钾比纯林增加0.03 mg·kg⁻¹~0.16 mg·kg⁻¹、土壤CEC 含量比纯林增加0.23mg·100 g⁻¹~0.85 mg·100 g⁻¹。油松纯林土壤有机质含量明显低于刺槐纯林和混交林,主要是因为纯林枯落物中含有较多的木素、树脂、单宁等物质,阻滞了枯落物的分解和转化,造成大量枯落物在地表积累,从而导致有机酸积累,使土壤难以形成良好的团粒结构,影响了其改善土壤理化性质作用的发挥;而混交林土壤中枯落物较多,氮素和灰分元素含量也较多,有利于枯落物分解和转化,使得混交林土壤中有机质、有效氮、磷、钾含量增加。

(4) 混交林林冠面积、林冠厚度、林冠水分截留率分别比纯林提高47.83%~78.95%、40.63%~73.08%、6.15%~8.32%。枯落物饱和持水量是纯林的1.62倍~4.22倍。混交林枯落物层厚度、枯

落物质量、枯落物分解、枯落物饱和持水量分别比纯林提高 61.90% ~ 112.5%、62.64% ~ 159.57%、87.24% ~ 264.57%、1.62 倍 ~ 4.22 倍。

(5) 混交林中油松的树高、胸径比纯林分别提高 24.7% 和 27.35%, 刺槐的树高、胸径比纯林分别提高 23.80% 和 23.70%; 混交林中的油松年均利润为 18 679.04 元 · hm⁻², 而油松纯林年均利润仅为 2 621.99 元 · hm⁻², 混交林是纯林的 7.12 倍。经多年研究, 松毛虫的生存需要一定的环境条件, 混交林内地被植物数量较多, 林内捕食性、寄生性天敌种类及种群密度较纯林明显增加, 改变了松毛虫的适生环境, 加上不同树种相互间的阻隔作用及食料异质性的影响, 虫害明显减轻。据调查, 混交林虫口密度为 1.3 头 · 株⁻¹、有虫株率仅占 30%, 而油松纯林虫口密度为 8.2 头 · 株⁻¹、有虫株率占 60%, 混交林纯林分别降低 84% 和 50%; 表明混交林对松毛虫危害有明显的抑制作用。同时, 油松与刺槐阔叶伴生树种带状混交, 能更好地起到改良土壤及防火、防虫等作用, 有利于林分高、径生长, 从而提高林分的综合效益。但种间关系较难调节, 刺槐初期生长比油松快, 为保证油松刺槐协调生长, 发挥林分最大的生态和经济效益, 油松带应在 3 行以上, 油松与刺槐的行距应在 1.5 m 以上。生产上习惯于营造油松纯林, 造成火险发生可能性增大、病虫害增多、改良土壤的效果差等问题, 其缺点已越来越充分地表现出来。岷江上游干旱河谷油松刺槐混交林表现出较好的优于纯林的生态、经济和社会效益, 这种混交造林模式值得提倡。

参考文献:

- [1] 北京林学院. 数理统计学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1983: 1 ~ 121.
- [2] 黄昌勇. 土壤学[M]. 北京: 中国林业出版社, 2000: 133 ~ 156.
- [3] 北京林学院. 造林学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1984: 60 ~ 320.
- [4] 罗鸣福. 林业试验设计方法[M]. 北京: 中国林业出版社, 1984: 1 ~ 161.
- [5] 史敏华, 李新平. 晋西黄土丘陵沟壑区植被自然恢复及技术对策[J]. 干旱区研究, 2003, 20(2): 139 ~ 142.
- [6] 吴宗兴. 岷江上游干旱河谷试验林经营技术研究[J]. 四川林业科技, 1993, 14(2): 50 ~ 53.
- [7] 王华田. 林木耗水性研究述评[J]. 世界林业研究, 2003, 16(2): 23 ~ 27.
- [8] 张祖荣主编. 横断山区干旱河谷[M]. 北京: 科学出版社, 1992: 68 ~ 145.
- [9] 李吉跃. 太行山主要造林树种耐旱特性的研究[J]. 北京林业大学学报, 1991(增刊2): 251 ~ 264.
- [10] 束庆龙, 宋淑梅, 赵卫中, 等. 新西兰辐射松根朽病与温度、湿度关系的数量模型[J]. 林业科学, 1995, 8(16): 694 ~ 696.
- [11] 潘志刚, 郝勇奇. 湿地松种源试验研究[J]. 林业科学, 1990, 3(4): 314 ~ 321.
- [12] 姜景民. 湿地松种子分级育苗的研究[J]. 林业科学, 1996, 9(3): 290 ~ 295.
- [13] 姜景民. 湿地松育苗密度的研究[J]. 林业科学, 1995, 8(2): 199 ~ 204.
- [14] 李力靖. 油松地理变异及种源选择的研究[J]. 林业科学, 1991, 4(6): 650 ~ 655.
- [15] 胡天宇, 李晓清. 巨桉引种栽培及适生区域的研究[J]. 四川林业科技, 1999, 20(4).
- [16] 贺康宁, 张光灿, 田阳, 等. 黄土半干旱集水造林条件下林木生长适宜的土壤水分环境[J]. 林业科学, 2003, 39(1): 10 ~ 16.
- [17] 吴宗兴, 余良海, 等. 岷江上游干旱河谷辐射松种子育苗试验研究[J]. 四川林业科技, 2003, 24(1): 47 ~ 55.
- [18] 吴宗兴, 刘千里, 黄泉, 等. 岷江上游干旱河谷辐射松引种造林研究[J]. 四川林业科技, 2005, 26(3): 1 ~ 10.
- [19] 吴宗兴. 汶川地震灾区辐射松覆盖保水造林试验研究[J]. 四川林业科技, 2012, 33(6): 20 ~ 23.
- [20] 王华田, 马履一, 孙鹏森. 油松、侧柏深秋边材木质部液流变化规律的研究[J]. 林业科学, 2002(5).
- [21] 张希彪. 人为干扰对黄土高原子午岭油松人工林土壤物理性质的影响[J]. 生态学报, 2006(11).
- [22] 马履一. 不同强度间伐对北京山区油松生长及其林下植物多样性的影响[J]. 林业科学, 2007(5).
- [23] 姬明飞, 张晓玮, 韩瑾. 油松天然群体的种实性状表型多样性研究[J]. 西北植物学报, 2013(9).
- [24] 尤文忠, 刘明国. 半干旱地区不同油松混交林的油松生长特征及植物多样性研究[J]. 沈阳农业大学学报, 2007(6).
- [25] 李明, 高宝嘉, 张静洁. 承德光秃山不同海拔油松居群遗传多样性与生境因子关联研究[J]. 植物遗传资源学报, 2012(3).
- [26] 何帆, 王得祥, 张宋智. 秦岭南坡油松和锐齿栎群落凋落物碳释放及其与分解的关系[J]. 应用基础与工程科学学报, 2012(1).
- [27] 刘明国, 殷有, 孔繁斌. 带状采伐栽植阔叶树对油松人工林天然更新的影响[J]. 东北林业大学学报, 2014(7).
- [19] 张斌善, 韩崇选, 王倍新. 灌木围障预防免害对油松高影响研究[J]. 西北林学院学报, 2013(5).
- [28] 张海涵, 唐明, 陈辉. 不同生态条件下油松(*Pinus tabulaeformis*) 菌根际土壤微生物群落[J]. 生态学报, 2007(12).
- [29] 苏波, 韩兴国. 东灵山油松纯林和油松-辽东栎阔混交林土壤氮素矿化/硝化作用研究[J]. 植物生态学报, 2001(2).
- [30] 崔文举. 恒山以北地区油松大树移植及管护实践[J]. 安徽农业科学, 2014(23).