

岷江上游典型油松人工幼林的生态环境效应

包维楷, 乔永康, 陈庆恒

(中国科学院成都生物研究所, 四川 成都 610041)

摘 要: 油松林是岷江上游和大渡河上游地区河谷与中山段灌丛地上恢复重建的代表性人工林类型之一, 还缺乏深入研究。选择岷江上游典型的油松幼林, 通过 2 a 的定位监测, 研究了油松林恢复重建的生态环境效应。1) 与重建前的灌丛比较, 油松幼林林下土壤物理性质(容重、土壤孔隙度、非毛管孔隙度、土壤重力水库容、土壤水向下渗透性速度、土壤通气度) 得到明显改善, 土壤持水能力提高了 16%; 2) 油松幼林林冠对降雨的拦截和再分配作用明显。雨量等级低, 拦截作用越大, 尤其是当降雨量小, 历时较长时, 截留率越高, 对降水的涵养比率越高。油松幼林生态系统能全部就地涵养全年降雨频率 60% ~ 70% 的 < 10 mm 等级的雨量而不致产生明显的地表径流; 对于占全年降雨频率 35% ~ 30% 的 10 ~ 50 mm 等级的降雨量, 有至少 30% ~ 50% 能被油松林生态系统就地涵养; 3) 重建的油松幼林林下土壤平均侵蚀模数 $36 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 灌丛地表为 $713 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 分别比裸地少 99. 55% 和 91. 09%, 而同期灌丛地表平均径流模数有 $38. 90 \times 10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 油松幼林为 $7. 23 \times 10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 分别比裸地减少 79. 47% 和 99. 96%, 油松林重建基本控制了土壤侵蚀和水土流失; 4) 油松林重建明显降低了不同深度的土壤温度。夏季降低的效果明显强于秋季。油松林内与林缘灌草丛 5 cm 层土温较裸地分别平均降低了 4. 4℃ 和 3. 8℃; 5) 油松林内湿度较林缘空旷地增加了 4~ 9 个百分点(5~ 10 月), 平均高 6 个百分点; 而林内空气温度较空旷地平均低 0. 35℃(5~ 10 月)。研究结果表明, 岷江上游地区油松幼林重建的生态环境效应是明显的。

关键词: 森林重建; 油松林; 生态环境效应; 生态功能恢复; 水源涵养; 水土保持

中图分类号: S718. 5

文献标识码: A

油松(*Pinus tabulaeformis*) 是我国暖温带地区森林的主要建群种, 天然分布很广, 其经度范围自 $\text{N}31^{\circ}00' \sim 44^{\circ}00'$, $\text{E}101^{\circ}30' \sim 124^{\circ}25'$ ^[1]。但主要分布于北方黄土高原及华北地区, 是北方干旱半干旱地区最重要的乡土树种之一^[2~ 4]。其往西可分布于四川大渡河流域上游地区^[5, 6]。

油松是川西地区大渡河、岷江上游和白龙江中上游(包括甘南地区) 等河谷和中山地段的一个乡土树种, 目前天然林主要分布于深谷山地两岸陡坡上(如理县的 2 300~ 2 900 m 的山地)。据我们调查, 其在四川阿坝藏族羌族自治州内成林面积约 $1 \sim 2 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 大多为自然更新的中龄林以及部分老龄

林。1980 年代, 油松开始作为水分条件较差的川西中山局部地段造林的重要树种之一, 成林油松人工林集中分布于茂县、金川、小金、理县、马尔康、黑水、九寨沟等县的局部地段, 面积估计约 $5 \sim 8 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 80% 的林分尚处于幼中龄林阶段^[5, 6]。油松人工林重建一般采用保留带与种植带等高交错配置技术(清带造林技术), 初植株行距 $4 \text{ m} \times 3 \text{ m}$, 造林密度 3 900~ 4 500 株/ hm^2 , 苗木为 2 a 生裸根苗。这种造林技术方法、造林方式以及措施是该区普遍采用的^[7, 8]。最近 3 a(1998~ 2001 年) 川西地区油松造林面积占区域造林面积的 10% ~ 20%; 仅大渡河上游与岷江上游 8 个林业局(含森工局) 的 20 个苗

收稿日期(Received date): 2002- 05- 16; 改回日期(Accepted): 2003- 11- 08。

基金项目(Foundation item): 中国科学院知识创新工程项目(KSCX1- 07- 01)、国家科技攻关项(2001BA606A- 05- 03) 以及中国科学院茂县生态站共同资助。(Supported by the Knowledge Innovation Project of Chinese Academy of Sciences(KSCX1- 07- 01), the National Key Project of Science and Technology of tenth " Five Years" (2001BA606A- 05- 03) and by Maoxian Station of Mountain Ecosystem Research of Chinese Academy of Sciences.]

作者简介(Biography): 包维楷(1968-), 男, 汉族, 四川广汉人。博士、创新基地研究员、茂县生态站常务副站长, 一直从事恢复生态学和保护生态学的研究。发表论文 60 多篇, 曾获 2001 年度四川科技进步二等奖和 2000 年度青藏高原青年科技奖。[Dr. Bao Weikai is a professor in ecology in Chengdu Institute of Biology and the depute head of Maoxian Mountain Ecosystem Research Station of the Chinese Academy of Sciences. His research is focused on ecological restoration and conservation of mountain ecosystem and biodiversity in Eastern Tibetan Plateau. His email is baowk@ cib.ac.cn, tel: 86+ 28+ 8523 1656.]

圃的调查发现,可出圃油松苗量就达 400 多万株以上。油松已经成为该区退耕还林工程造林规划和使用的主要树种之一。对油松林这一典型的人工林开展深入的研究,尤其是它们的生态环境效应,必将有助于从理论上阐明油松人工林生态系统的作用,为森林恢复重建实践提供理论指导。

对油松主要分布区的黄土高原以及华北地区的油松人工林已经有很多研究。相关研究包括群落特征^[1,9]、生物量与生产力^[1]、养分循环^[4]、林冠层对降雨的分配与截流效应^[3,10~13]、油松林凋落物的水土保持功能^[11,13]、水热效应与小气候效应^[12,14,15]等等,这些研究揭示了我国北方油松林生态系统结构和功能,为油松林管理提供了依据。但目前为止有关油松分布西缘的四川部分的油松林的研究报道仅限于早期(1970 年代研究数据)对天然林分结构和生产力的描述^[5,6],尚缺乏深入必要的研究。

本文选择位于四川岷江上游的油松人工幼林,开展了森林对降水截流分配、大气温湿度、土壤物理性质、地表水土流失等的定位观测和初步研究。我们的目的是初步分析和评估油松幼林的生态环境效应,为评价森林重建效果提供依据。

1 研究对象和方法

1.1 研究对象与自然概况

研究地点在岷江上游茂县大沟流域中段中国科学院成都生物研究所茂县生态站内。研究对象油松人工林位于阳坡,坡度约 10° 左右,海拔 1 840 m。以相邻(约 100 m 远)的茂县生态站气象观测哨(海拔 1 820 m)1988 年至 1990 年的 3 a 观测资料统计显示,该地段 $\geq 10^\circ\text{C}$ 的年活动积温为 2 635.1 $^\circ\text{C}$,年平均温度 8.9 $^\circ\text{C}$,年降水量 945.3 mm,年蒸发量为 842.6 mm,年日照时数 1 139.8 小时^[7]。林下土壤类型为千枚岩发育的棕壤,土体较湿润,结构性较好,呈微酸性反应。有机质、全氮在根系活动范围内(0~60 cm)分别为 4.5% 和 0.25%,含量均较高,潜在肥力较高。有效养分中除氮素较丰富外,钾素次之,磷素极端缺乏。

该地段原来的植被是松栎混交林,后经严重的薪材采伐而退化成以辽东栎(*Quercus liaotungensis*)、萌櫟、榛(*Corylus chinensis*, *C. heterophylla* var. *sutchuenensis*)、蔷薇科植物为主的落叶阔叶灌丛^[16,17]。1981 年采用保留带与种植带等高交错配

置技术(清带造林技术)人工造林形成油松纯林。初植株行距 4 m \times 3 m,造林密度每亩株数 3 900 株/ hm^2 。1993 年进行观测时已经郁闭成林,密度为 2 700 株/ hm^2 ,乔木郁闭高度达到 90%,林木平均高度 6 m,平均胸径 12 cm,林龄 14 a(1994 年),正在进行激烈的自然稀疏。林下灌木和草本植物稀疏,总盖度不到 20%。主要种类有辽东栎、榛、蕨帽悬钩子(*Rubus pileatus*)、翠绿绣线菊(*Spiraea henryi*)、胡颓子、蔷薇、荚蒾(*Viburnum* sp.)、构子、糙野青茅(*Deyeuxia scabrescens*)等灌木(包维楷等 2000)。地表松针盖度约 20%~30%。

1.2 定位观测内容与方法

1.2.1 油松林内和油松林林缘地温变化

分别在林内和林外灌丛地,用土钻分别钻引洞,将系列测量杆(5、10、20、40、70、100 cm 深)插入洞内,细土填实。所有实验布置好 2 个月后开始观测。采用中国科学院成都分院土壤研究室研制的数字式土壤梯温仪(STW-1 型),每月 1~5 日,每天 8:00~20:00,隔 1 小时进行 1 次人工观测,以比较林内外土壤不同深度温度变化的差异。分析时以相距 100 m 远的气象站地温观测为裸地对照。

1.2.2 林内和林外降雨量、树干流的同步观测

将重庆水文仪器厂生产的翻斗式 JDM30 型自计(月记)雨量计 5 台,随机放置于林内,进行连续观测,通过对自计纸记录的过程的整理,得到每次降雨的起始和终止时间、持续时间、雨量,从而得出雨强以及降雨截流量。整理得到林冠对不同降雨期的拦截量,以林外气象站观测量为对照,进行林内、林外对比分析;选取不同胸径的油松 3~5 株,用塑料片缠绕树干,并用胶水粘牢,接到 1 台自计雨量计,在林内用支架安放 4 个 PVC 接水槽(每个接水槽面积等于 4 个标准雨量计),分布于不同位点,并分别接 4 组干流,分别记录每次降雨过程的截流量和延缓时间。

1.2.3 林内外空气湿度观测

在林内设置百叶箱,进行林内温湿度人工观测(与相距 100 m 远的气象站观测时间保持一致);同时选择气象站裸地的同步观测为对照。

1.2.4 林内外土壤物理特性与土壤涵水能力

对林下与林外造林前的灌丛地对照的固定土壤剖面,分别取样,采用环刀法测定 0~40 cm 深度土壤的容重、总孔隙度、毛管孔隙度、计算非毛管孔隙度、重力水库容、渗透性、排水能力、土壤通气度等指

标^[18]。

1.2.5 土壤壤径流与侵蚀观测

通过在相同坡度(18°)、坡向(正南向)上的油松幼林地与相邻的灌丛地分别建立径流场(1988年建立的),于1993年进行了径流量观测及泥沙重量的测定,计算土壤侵蚀模数。

所有定位观测完成时间是1993~1994年。

2 结果与分析

2.1 对土壤物理特性与水源涵养能力的调节作用

与重建前的灌丛比较,重建油松林后,林地土壤容重明显降低,平均降幅为20%,土壤孔隙度以及非毛管孔隙度也得到改善,土壤重力水库容增加了231 m³/hm²(表1);土壤水向下渗透性和土壤通气度

得到改善,从而提高了土壤水的维持能力(表2),使土壤水分向下渗透速度提高30%以上,土壤持水能力提高16%(表3)。表明油松幼林促进了土壤物理性质的改变,改善了林地土壤的水源涵养水土保持功能。

2.2 林冠对降雨的截流效果

对油松幼林两年来的森林水文定位观测结果整理分析(表4)显示,郁闭度90%的油松幼林林冠对降雨的拦截和再分配作用十分明显。微雨量(1 mm以下)的降水,林冠拦截而不致产生穿透降水和树干径流的截留率高达91.64%;小雨量(1~5 mm)的降水,林冠平均截留率也有49.78%,乔木层总截留率达69.05%,树干径流占总降水的2.71%;中雨量(5~10 mm)的降水,林冠平均截留率也有30.78%,总截留率达45.34%,树干径流占总降水的5.96%;大

表 1 油松人工幼林对土壤孔隙性与重力水库容的改善效果

Table 1 Effect of young Chinese pine plantation on soil porosity and volume of gravity water

植被 Type of vegetation	土层 Soil layer (cm)	平均容重 Average bulk (g/cm ³)	空隙组成 Porosity composition(V%)					重力水库容 Volume of gravity water (m ³ /hm ²)
			总孔隙度 Total porosity(TP)	毛管孔隙度 Capillary porosity(CP)	非毛管孔隙度 Non-capillary porosity(NCP)	毛管孔隙 占总孔隙 CP/TP	非毛管孔隙 占总孔隙 NCP/TP	
油松人工林 Chinese pine plantation	0~40	1.135	49.60	31.35	18.25	63.21	36.79	730
灌丛 Shrub	0~40	1.380	48.15	35.68	12.47	74.10	25.90	499

表 2 油松人工幼林对土壤非持水能力的改善效果

Table 2 Effect of young Chinese pine plantation on condition of soil moisture capacity

植被类型 Type of vegetation	土层(cm) Soil layer	渗透性		土壤通气度 Soil ventilativeporosity(%)	土壤排水能力排水(mm) Capacity of soil drainage
		Pemeability (V/mm·min ⁻¹)	<i>K</i> ₁₀ mm/min		
油松林 Chinese pine plantation	0~40	13.79	5.904	34.01	82.50
灌丛 Scrub	0~40	9.50	4.408	21.42	57.00

表 3 油松人工幼林对土壤持水状况的改善效果

Table 3 Effect of young Chinese pine plantation on soil moisture capacity and volume of gravity water

植被类型 Type of vegetation	土层(cm) Soil layer	饱和持水量		毛管持水量		田间持水量		最佳含水率下限	
		Saturation moisture capacity		Capillary moisture capacity		Field moisture capacity		Low limitation of optimal moisture content	
		%	mm	%	mm	%	mm	%	mm
油松林 Chinese pine plantation	0~40	43.70	198.4	27.62	125.4	25.53	115.9	17.87	81.13
灌丛 Scrub	0~40	34.44	192.6	25.52	142.7	24.25	135.6	16.98	94.95

雨量(10~20 mm)的降水,林冠平均截留率22.39%,总截留率45.88%,树干径流占总降水的9.01%;暴雨量的降水,林冠平均截留率21.61%,总截留率27.81%,树干径流占总降水的11.37%,其中树干径流增加较多。总体说来,油松幼林对降雨的拦截和再分配作用十分明显。雨量等级低,拦截作用越大,尤其是当降雨量小,历时较长时,截留率越高。根据大沟气象站的多年(1989~1994年)观测,全年降雨<5 mm等级的雨量占30%~35%,仅油松林乔木层就能全部截流,而不产生地面径流。如果加上地表灌草层和枯落叶层与土壤的水源涵养作用,则占40%~45%的全年<10 mm等级的降雨量也全部能被油松林生态系统涵养,而不致产生地表径流。对于占全年不到20%~30%的>10~50 mm等级的降雨量,有30%~50%能被油松林生态系统涵养。照此计算,大沟流域全年降雨量的80%~90%能被油松林生态系统涵养,而不致通过地面径流而导致水土流失。表明油松林的水源涵养水土保持效果明显,有力地遏止了大沟流域的水土流失。因此,从退化林地的水源涵养水土保持功能恢复来看,油松林的恢复重建是成功的。

表4 大沟流域雨季(6~10月)油松人工林乔木层对降雨的截流效果(1993~1994年观测)

Table 4 Effect of tree layer of young Chinese pine plantation on interception of precipitation at Dagou valley in rainy season (Observation in 1993~1994)

等级	观测降雨 次数	观测降雨 总量(mm)	平均降雨 (mm)	总截流率 (%)
Rate	Precipitation times	Total precipitation	Average precipitation	Total interce- ption rate
0~1 mm	34	16.5	0.49	91.64
1~5 mm	38	82.4	2.17	69.05
5~10 mm	18	126.6	7.03	45.34
10~20 mm	8	116.5	14.56	45.88
20~50 mm	7	203.6	29.09	27.81

2.3 对土壤侵蚀和地表径流的影响

通过标准径流场的2 a定位观测表明,杂灌丛地表平均侵蚀模数 $713\text{ t}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$,油松幼林为 $36\text{ t}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$,分别比裸地减少91.09%和99.55%;而同期灌丛地表平均径流模数有 $38.90\times10^4\text{ m}^3\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$,油松幼林只有 $7.23\times10^4\text{ m}^3\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$,分别比裸地减少79.47%和99.96%,侵蚀和水土流失均得到了基本控制,这与由林冠截流推测的结果

是一致的。

2.4 调节小气候效果

采用自动监测装置1993年对示范区的油松林进行了监测。以油松林附近的气象观测站的观测值为对照,同时同步测定了油松林内和林缘灌草丛的温湿度和地温的变化。

2.4.1 对土壤温度的影响

如表5所示,在生长季的6~10月油松幼林内土壤不同层次的温度及其变幅均明显低于对照裸地和灌草丛,表明油松林的恢复重建明显降低了不同深度的土壤温度。夏季(6~9月)降低的效果明显强于秋季。油松林内5 cm层土温较对照平均降低了4.4℃(6~10月平均,下同),灌丛较对照平均降低了3.8℃。

2.4.2 对空气温湿度的影响

1993年的监测(表6)表明,油松林内与林缘空旷地(对照)存在温湿度差,林内湿度较空旷地高4~9个百分点(5~10月),平均高6个百分点;而林内空气温度较空旷地低(5~10月),平均低0.35℃,相当于在大沟流域海拔上升了100 m时的大气温度。表明油松幼林已经在调节气候方面发挥着作用。

3 讨论与结论

本文的研究表明,14 a的高密度的油松人工幼林重建在改善退化灌丛土壤物理性质,提高土壤涵养水的能力,提高植被的水源涵养水土保持、调节局部气候的生态效应是明显的。与大量的相关北方油松人工林的研究结论^[3,9,10,12~15,20]是一致的,但表现出的效果有明显差异。这种差异主要来自研究林分的土壤条件、气候条件、地形条件以及群落特征(年龄、密度、结构、生长规律等)等的明显差异,更与监测方法与监测时间长短密切相关,也导致了我们还无法对与已有的大量研究结果进行定量的比较。规范并统一监测研究方法、促进研究的可比性将是生态系统的生态环境效应研究必须解决的问题。这方面中国科学院生态系统研究网络与国家林业总局森林生态系统研究网络在该方面已经迈出了可喜的一步、制定了监测研究方法规范,但仍需继续努力并完善。本文研究结果说明油松林恢复重建技术和方法可以恢复林地水源涵养、水土保持功能和调节局地气候,从而改善了林地生态系统的生态功能。

表5 油松幼林调节不同深度土壤温度的效果(℃)

Table 5 Effect of Chinese pine plantation on temperature under soil depth at Dagou valley(℃)

土深(cm) Soil depth	差 值 Deviation	6月	7月	8月	9月	10月	平均值 Average
5	油松林内与裸地差值	- 5.16	- 4.15	- 3.67	- 5.14	- 3.96	- 4.416
	灌丛与裸地差值	- 1.13	- 0.73	- 0.63	- 0.39	0.04	- 0.568
	油松林内与灌丛中的差值	- 4.03	- 3.42	- 3.04	- 4.75	- 4	- 3.848
10	油松林内与裸地差值	- 5.16	- 4.24	- 4.09	- 5.19	- 3.97	- 4.53
	灌丛与裸地差值	- 1.38	- 1.11	- 1.28	- 0.9	- 0.22	- 0.978
	油松林内与灌丛差值	- 3.78	- 3.13	- 2.81	- 4.29	- 3.75	- 3.552
20	油松林内与裸地差值	- 5.46	- 4.57	- 4.41	- 5.3	- 4.49	- 24.23
	灌丛与裸地差值	- 2.05	- 1.7	- 2.6	- 1.53	- 1.15	- 8.24
	油松林内与灌丛差值	- 3.41	- 2.57	2.6	- 3.77	- 3.34	- 15.99
40	油松林内与灌丛差值	- 2.81	- 2.44	- 2.26	- 3.08	- 2.95	- 2.708
70	油松林内与灌丛差值	- 2.34	- 2.07	- 1.96	- 2.5	- 2.72	- 2.326
100	油松林内与灌丛差值	- 2.1	- 1.9	- 1.78	- 2.18	- 2.57	- 2.106

表6 油松林内与林缘空旷地(对照)的空气温湿度变化比较(1993年监测结果)

Table 6 Comparison of air temperature and humidity between Chinese pine plantation and forest edge (1993)

	5月	6月	7月	8月	9月	10月	平均值 Average
林内与裸地湿度(%) 差值 1)	+ 5.21	+ 8.65	+ 6.00	+ 5.70	+ 6.20	+ 4.30	+ 6.01
林内与裸地气温差(℃) 2)	- 0.47	- 0.49	- 0.42	- 0.65	- 0.08	- 0.04	- 0.36

- 1) Deviation of air humidity between Chinese pine plantation and the outside(CV).
2) Deviation of air temperature between Chinese pine plantation and the outside(CV).

综合研究已经表明, 各类人工林中水源涵养水土保持效果最好的是阔叶林, 其次是针阔混交林, 最差的是针叶林, 因为阔叶树的水文效果(如最大持水量)和修饰土壤的效果(如养分归还率等)较针叶树更好^[13]。通过过去 20 a 来的人工林重建, 川西中山、亚高山地段营造的人工林类型, 主要有针叶林(油松幼林、华山松幼林、桉木幼林、落叶松幼林、云杉林、针叶树混交幼林)、阔叶幼林(桉木幼林、连香树幼林、杨树林、阔叶混交林)以及针(油松、华山松、落叶松)阔(辽东栎、桉木、杨树、连香树等)混交林^[5, 6, 8, 19]。因此从本文的结果可以推断, 川西地区人工林重建的水源涵养水土保持以及调节局部气候的生态功能恢复效果也是明显的。

本文工作仅仅是一个开始, 仅对特定的油松林重建后的幼林阶段的生态环境效应开展了初步研究, 而森林生态系统的功能是多方面的且是动态变化, 尤其是随森林结构的变化而生态功能变化的差异应该是明显的, 要正确而客观的评价油松林人工

生态系统重建的生态功能变化需要继续深入研究。以本项工作为基础, 我们已经或正在进行的工作包括如下几方面: 1) 继续进行油松林重建的生态环境效应动态的监测研究; 2) 重建的不同结构的人工林生态环境效应动态比较研究, 以便从生态环境功能恢复的角度找到最佳的林分结构; 3) 油松林重建的生物多样性(乔、灌、草、苔藓、土壤动物、微生物)维持和恢复、土壤肥力、生产力等功能的动态监测研究。通过对油松人工重建的进一步定位监测, 研究森林恢复重建的生态效应, 从理论上阐明森林恢复重建的过程和机理, 指导当前的退耕还林、天然林保护工程的实践将是我们继续努力的方向。

参考文献(References):

[1] Wu Gang & Feng Zongwei. Study on social characteristics and biomass of the Pinus tabulaeformis forest systems in China[J]. Acta Ecologica Sinica, 1994, 14(4): 415~ 422. [吴刚, 冯宗炜. 1994. 中国油松林的群落特征与生物量研究[J], 生态学报, 1994, 14(4): 415~ 422]
[2] WU Zheng-yi eds. Vegetation in China. Beijing: Science Press, 1980.

- [吴征镒. 中国植被(M). 北京, 科学出版社, 1980]
- [3] Zeng Jie & Guo Jingtang. Study on the first distribution of precipitation by *Pinus tabulaeformis* plantation in Taiyue forest region[J]. *Journal of Beijing Forestry University*. 1997, **19**(3): 21~ 27 [曾杰, 郭景唐. 太岳山油松人工林生态系统降雨的第一次分配[J]. 北京林业大学学报, 1997, **19**(3): 21~ 27]
- [4] Gao Jia-rong, Zhang Dong-sheng, Xiao Bin, Niu Jianzhi. Nutrient distribution and accumulation pattern of Chinese pine platation ecosystems in the loess region[J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2002, **24**(1): 26~ 30. [高甲荣, 张东升, 肖斌等. 黄土区油松人工林生态系统营养元素分配格局和积累的研究[J]. 北京林业大学学报, 2002, **24**(1): 26~ 30]
- [5] Sichuan Collaborative group on vegetation. Vegetation in Sichuan. Chengdu: Siduan People's publication House. 1980. [四川植被协作组四川植被[M]. 成都: 四川人民出版社, 1980]
- [6] Sichuan forest editorial committee. Forests in Sichuan. Beijing: Chinese Forestry publication House. 1992. [四川森林编辑委员会. 四川森林[M]. 北京: 中国林业出版社, 1992]
- [7] Bao Wei-Kai, Qiao Yong-Kang, Qian Neng-Bin. Evaluation of afforestation technology with strip clearing shrubs in slope land. Eco-agriculture Research. 1998, **6**(2): 44~ 47 [包维楷, 乔永康, 钱能斌. 清带造林技术评价研究[J]. 生态农业研究, 1998, **6**(2): 44~ 47]
- [8] Bao Wei-Kai, Zhang Yi-Li, Wang Qian, *et al.*. Rehabilitation and degradation for subalpine coniferous forest on upper reaches of Dadu river of the eastern Tibetan plateau[J]. *J Moun Sci*, 2002, **20**(2): 194~ 198 [包维楷, 张锦铨, 王乾, 等. 青藏高原东部大渡河上游亚高山针叶林的退化与恢复重建[J]. 山地学报, 2002, **26**(3): 330~ 338]
- [9] Yang Cheng. Structural characteristics of communities of natural *Pinus tabulaeformis* forest in Qiao Mountain innorth Shaanxi. *Journal of North-western Forestry College*, 1998, **13**(3): 14~ 17 [杨澄. 桥山天然油松林群落结构特征的研究[J]. 西北林学院学报, 1998, **13**(3): 14~ 17]
- [10] Chen Yun-ming, WU qing-xiao, Liu Xiang-dong. A study on redistribution of precipitation by artificial Chinese pine in Loess Hilly Region [J]. *Journal of North China Institute of Water Conservancy and Hydro-electric Power*, 1994, **1**: 62~ 68 [陈云明, 吴钦孝, 刘向东. 黄土丘陵区油松人工林对降水再分配的研究[J]. 华北水利水电学院学报, 1994, **1**: 62~ 68]
- [11] Zhao Hong-yan, Wu qing-xiao, Liu Guo-bin. Studies on soil and water fundions of litter in Chinese pine stand on Loess Plateau[J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2003, **39**(1): 168~ 172 [赵鸿雁, 吴钦孝, 刘国彬. 黄土高原人工油松林枯枝落叶层的水土保持功能研究[J]. 林业科学, 2003, **39**(1): 168~ 172]
- [12] Wang S Q & L Z Chen, Charateristics of precipitation and forest stem-flow of Dongling Mountainous area[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, **20**(1): 61~ 69. [万师强和陈灵芝, 东灵山地区大气降水特征及森林树干径流[J]. 生态学报, 2001, **20**(1): 61~ 69]
- [13] Wen Yuan-guang & Liu Shi-rong. Quantitative analysis of the characteristics of rainfall interception of main forest ecosystems in China[J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 1995, **31**(4): 289~ 298 [温远光, 刘世荣, 等. 我国主要森林生态系统类型降水截流规律的数量分析[J]. 林业科学, 1995, **31**(4): 289~ 298]
- [14] Chen Yun-Ming, Wu Qin-Xiao, Liu Xiang-Dong, Study on water and heat effect of artificial Chinese pine forest in Loess Hilly Region[J]. *Journal of Soil and water Conservation*, 1995, **9**(4): 69~ 74 [陈云明, 吴钦孝, 刘向东. 黄土丘陵区油松人工林水热效应研究[J]. 水土保持学报, 1995, **9**(4): 69~ 74]
- [15] Li H T & L Z Chen, . Study on microclimate in the mountain forests in the warm temperate zone[J]. *Acta Phytocologia Sinica*, 1999, **23**(2): 139~ 147. [李海涛和陈灵芝暖温带山地森林的小气候研究[J]. 植物生态学报, 1999, **23**(2): 139~ 147]
- [16] Bao Wei-Kai, Chen Qing-Heng, Liu Zhao-Guang. Changes of structure and species composition of degraded plant community along disturbance of different intensities[J]. *Acta Botanica Yunnanica*, 2000, **22**(3): 307~ 316 [包维楷, 陈庆恒, 刘照光. 退化植物群落结构及其和物种组成在干扰梯度上的响应[J]. 云南植物研究, 2000, **22**(3): 307~ 316]
- [17] Bao Wei-Kai, Liu Zhao-Guang. Human induced disturbance regime in the Dagou valley in the upper reaches of the mingjiang river[J]. *Chin J Appl Environ Biol*. 1999, **5**(3): 233~ 239 [包维楷. 刘照光. 岷江上游大沟流域驱动植被退化的人为干扰体研究[J]. 应用与环境生物学报, 1999, **5**(3): 233~ 239]
- [18] LIU Guang-song ed. . Soil analysis on Physical and chemical characteristics and profile record[M]. Beijing, Chinese Standard Publishing House. 1996. [刘光崧. 土壤理化分析与剖面描述[M]. 北京: 中国标准出版社. 1996.]
- [19] Bao Wei-Kai, Zhang Yi-Li, Wang Qian, Bai Wan-Qi, Zheng Du. Plant diversity along a time sequence(1~ 30 years) of artificial forest rehabilitation on subalpine cut land in the eastern Tibetan plateau[J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2002, **26**(3): 330~ 338. [包维楷, 张锦铨, 王乾, 等. 植物多样性在青藏高原亚高山采伐迹地人工重建时间系列梯度上的变化[J]. 植物生态学报, 2002, **26**(3): 330~ 338]
- [20] Yang Hui-pu & Han Bing. Effect of artificial Chinese pine stand on temprature in Loess Hilly and Gully Region[J]. *Research of Soil and water Conservation*, 2002, **9**(1): 151~ 154. [杨会蒲, 韩冰. 黄土丘陵区油松人工林水热效应研究[J]. 水土保持研究, 2002, **9**(1): 151~ 154.]

Eco-environment Effects of the Typical Young *Pinus Tabulaeformis* Plantation Rehabilitation in the Upper Reaches of Minjiang River

BAO Wei kai , QIAO Yong kang , CHEN Qing heng

(Chengdu Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China)

Abstract: Interception on rainfall by tree canopy, soil physical characteristics, and microclimate change were monitored in 14-years-old Chinese pine (*Pinus tabulaeformis*) forest plantation which had a density with 2 700 stems/hm², the crown density 90%, the average height with 6 m and DBH with 12 cm, one of the typical plantation in the upper reaches of the Minjiang River and nearby shrubs. The eco-environmental effect of the artificial forest were studied and evaluated. Compared with the degraded shrubland, the soil physical properties (including soil bulk density, soil porosity, non-capillary porosity, volume of soil gravity water holding, soil permeability, soil ventilative porosity) were significantly improved after 12 years rehabilitation, and soil moisture capacity increased 16%. The effect of the interception and redistribution of precipitation by Chinese pine plantation were quite evident. Young Chinese pine plantation ecosystem could intercept all rainfall (< 10 mm class) which accounts for 60% ~ 70% of all rainfall in the region and intercepted 30% ~ 50% of rainfall (10 ~ 50 mm) that accounts for 30% ~ 35%. The average erosion modulus is 36 t·km⁻²·a⁻¹ and 713 t·km⁻² in the young Chinese pine plantation and in the nearby shrubs respectively, which respectively dropped 99.55% and 91.09% than in the bared ground. In the meantime the average ground runoff modulus is 3.89 × 10⁵ m³·km⁻²·a⁻¹ and 7.23 × 10⁴ m³·km⁻²·a⁻¹, which are respectively lower 79.47% and 99.96% than that in the bared ground. Loss of soil and water had been controlled by the Chinese pine plantation. The soil temperature of varied depth (5 cm, 10 cm, 20 cm, 40 cm, 70 cm and 100 cm) decreased significantly in the Chinese pine plantation. The effects are more prominent in summer than in autumn. The soil temperature(5cm) in the young Chinese pine plantation and in the shrubs is respectively lower 4.4 °C and 3.8 °C than in the bared land. The air humidity in the Chinese pine plantation is higher 4% ~ 9% than on the bare land during from May to September, the average is 6%. The air temperature in the Chinese pine plantation is lower 0.35 °C than on the bare land during from May to September. These results displayed that the effect of the Chinese pine plantation on eco-environment is significant in the upper reaches of the Minjiang River, implicating that forest restoration is one of the reliable and effective method to promote ecological function restoration.

Key words: forest rehabilitation; Chinese pine forest; eco-environment effects; the restoration of ecological function; water holding function; soil and water conservation