

# 川西亚高山林区不同土地利用与土地覆盖 的地被物及土壤持水特征

张远东<sup>1,\*</sup>, 刘世荣<sup>1</sup>, 罗传文<sup>2</sup>, 张国斌<sup>1</sup>, 马姜明<sup>1,3</sup>

(1. 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所, 国家林业局森林生态环境重点实验室, 北京 100091

2 东北林业大学林学院, 哈尔滨, 黑龙江 150040; 3 广西师范大学生命科学学院, 桂林 541004)

**摘要:**川西亚高山森林是我国西南亚高山水源涵养林的重要组成部分。随着 20 世纪中叶以来农业人口的增加和森林的开发利用, 受干扰强度、频度和干扰时间的影响, 原始暗针叶林退化为耕地、草地、灌丛、次生阔叶林或人工林。1998 年后, 该区相继启动天然林保护工程和退耕还林工程。为评价工程效益, 确定长江上游水源涵养林的恢复与重建模式, 需要进行不同土地利用类型之间生态水文效应的对比分析。通过野外调查与室内实验, 对比分析了川西亚高山林区农田、草地、退耕还林地、灌丛、次生桦木林、人工云杉林和老龄针叶林的地被物(苔藓与枯落物)和土壤持水特征, 结果表明: 不同土地利用与覆盖类型间地被物和土壤持水性能差异显著。随着干扰程度的增加, 苔藓、枯落物蓄积量及最大持水量下降, 土壤容重增加, 土壤持水性能下降。苔藓最大持水量排序是老龄针叶林 > 人工云杉林 > 天然次生林 > 灌丛。枯落物最大持水量排序是老龄针叶林 > 天然次生林 > 人工云杉林 > 灌丛 > 草地 > 退耕还林地。人工云杉林与天然次生林之间、草地与退耕还林地之间苔藓和枯落物最大持水量没有显著差异。土壤 0~40cm 最大持水量排序是天然次生林 > 老龄针叶林 > 人工云杉林 > 灌丛 > 农田 > 草地 > 退耕还林地, 其中天然次生林显著高于人工云杉林, 草地与退耕还林地之间没有显著差异。对于森林恢复途径和树种的选择, 需要考虑未来林分的多种生态系统服务功能。

**关键词:**最大持水量; 苔藓; 枯落物; 土壤; 亚高山

文章编号: 1000-0933(2009)02-0627-09 中图分类号: Q142, S718.5 文献标识码: A

## Water holding capacity of ground covers and soils in different land uses and land covers in subalpine region of Western Sichuan, China

ZHANG Yuan-Dong<sup>1,\*</sup>, LIU Shi-Rong<sup>1</sup>, LUO Chuan-Wen<sup>2</sup>, ZHANG Guo-Bin<sup>1</sup>, MA Jiang-Ming<sup>1,3</sup>

1 Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry; Key Lab. of Forest Ecology and Environment, State Forestry Administration, Beijing 100091, China

2 Forest college, Northeast Forest University, Harbin, 150040, China; 3 College of Life Science, Guangxi Normal University, Guilin 541004, China

*Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(2): 0627 ~ 0635.

**Abstract:** Subalpine forests in Western Sichuan are an important part of water conservation forests in Southwestern China. Since the middle of the 20th century, old-growth coniferous forests have been transferred or degraded into croplands, grasslands, shrublands, natural secondary broad-leaved forests and plantations depending on disturbance intensity, frequency and duration for the increase of agriculture and timber supply. In 1998, Natural Forest Protection Program (NFPP) and Slope Land Conversion Program (SLCP) were initiated to restore forest ecosystems. In order to assess the effectiveness of those restoration programs, the eco-hydrological effects of those land uses must be compared. Through field investigation and laboratory experiments, water holding capacity of ground covers and soils were compared among croplands

**基金项目:**国家“十一五”科技支撑计划资助项目(2006BAD03A0404); 国家基础研究重点规划资助项目(2002CB111504); 国家林业局 948 资助项目(2004-4-66)

收稿日期: 2007-09-07; 修订日期: 2008-02-01

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zyd@caf.ac.cn

(CL), grasslands (GL), afforestation lands (AL), shrublands (SL), natural secondary forests (SN), plantations (PL) and old growth forests (OG) in subalpine region of Western Sichuan. The results showed that there were significant difference in water holding capacity of ground covers and soils among different land uses and land cover types. With the increase of disturbance intensity, the cumulative mass and the maximum water holding capacity (MWHC) of moss and litters decreased, soil bulk density increased, and soil water holding capacity decreased. The MWHC of moss in descending order was OG, PL, NS, and SL. The MWHC of litters in descending order was OG, NS, PL, SL, GL, and AL. There was no difference in MWHC of moss and litters between PL and NS, and between GL and AL. MWHC at the soil layer of 0—40 cm in descending order were NS, OG, PL, SL, FL, GL, and AL. Although MWHC at the soil layer of 0—40 cm was significantly higher in NS than that in PL, there were no difference between GL and AL. Various forest ecosystem services should be considered when selecting tree species for implementation of SLCP.

**Key Words:** maximum water holding capacity; moss; litters; soil; subalpine

川西亚高山林区地处四川盆地丘陵山地向青藏高原的过渡地带,属青藏高原东南缘高山峡谷区。这里地形复杂,新构造运动活跃,岩体松散,地震频繁,是一个生态环境非常脆弱的地区。该区植被与土壤复杂多样,具有明显的垂直地带性,由下至上包括亚高山森林、灌丛、高山草甸等类型。随着 20 世纪中叶以来农业人口的增加和亚高山暗针叶林的开发利用,耕地大幅度增加和林地内部结构剧变成为 50a 来亚高山林区土地利用与覆被变化的最主要特点<sup>[1]</sup>。受干扰强度、频度和干扰时间的影响,原始老龄暗针叶林退化为耕地、草甸、灌丛、次生阔叶林或人工林。1998 年,天然林保护工程和退耕还林还草工程正式启动,川西森林全面禁伐封育,部分退耕地进行了人工造林。

对于川西亚高山生态水文学的研究,原始暗针叶林一直是重点,内容涉及冠层截留、地被物持水特征、森林蒸发散、土壤入渗、根土作用层等诸多方面<sup>[2-6]</sup>。已有结果表明:川西亚高山森林在调节水分、涵养水源方面作用巨大,减缓洪峰、减少水分无效蒸发等效能显著,这是由于它具有浓密的林冠层,较厚的苔藓、枯枝落叶层和蓄水性能良好的森林土壤<sup>[7,8]</sup>。为评价该区林业工程的生态效应,确定长江上游水源涵养林的恢复与重建模式,目前急需进行不同土地利用与覆盖类型之间生态水文效应的比较研究。

本文以川西亚高山林区为对象,对比分析不同土地利用与覆盖类型的地被物与土壤持水特征,探讨不同退化类型间林地水文效应的差异,可为评价林业工程效益、确定森林恢复模式提供依据;同时也可以为流域生态水文过程的模拟提供参数。

## 1 研究区概况

研究区位于四川省理县米亚罗林区,地理坐标 N 31°24' ~ 31°55', E102°35' ~ 103°4'。该区属于青藏高原东缘褶皱带最外缘部分,具有典型的高山峡谷地貌。气候受着高原地形的决定性影响,属冬寒夏凉的高山气候。以海拔 2760m 的米亚罗镇为例,全年降水量 700 ~ 1000mm,年蒸发量 1000 ~ 1900mm,1 月均温 -8℃,7 月均温 12.6℃,≥10℃ 的年积温为 1200 ~ 1400℃。

米亚罗林区植被垂直成带明显,其类型和生境随海拔及坡向而分异。原生森林分布于海拔 2400 ~ 4200m 之间,以亚高山老龄暗针叶林为主,1950 ~ 1978 年间进行过大规模采伐,之后采伐量逐年减少,至 1998 年停采封育。采伐迹地最初为草本覆盖,3 ~ 4a 后形成灌丛,11 ~ 20a 后则逐渐自然演替为桦木占优势的次生阔叶林。人为干扰频繁的地段,则多停滞在灌丛阶段,甚至退化为草甸。1955 年以后,部分迹地上陆续进行了以粗枝云杉(*Picea asperata*)为主的人工更新<sup>①</sup>。部分坡度较缓的迹地被开垦为农田,目前主要种植大白菜和甘蓝,是下游平原区城市的反季节蔬菜基地。2000 ~ 2001 年,该区启动退耕还林工程,部分农田退耕后人工更新了粗枝云杉。

① 阿坝州川西林业局志编辑委员会. 阿坝州川西林业局志. 2000.

## 2 研究方法

### 2.1 样地选设

本研究样地设在米亚罗镇上游 19~21km 处的主沟坡面上,海拔在 3280~3350m 之间,这里原先全部为老龄暗针叶林,1960~1965 年采伐,目前各种土地利用与覆盖类型镶嵌分布,部分耕地于 2000~2001 年退耕。在该处选择海拔、坡度、坡向基本一致的各种类型,包括耕地、退耕还林地、草地、次生灌丛、次生阔叶林、人工针叶林和原始老龄针叶林。每种类型设置 3 个重复样地。

### 2.2 苔藓、枯落物及土壤样本的采集

在各样地所在林分上部、下部各设 2 个、中部设 1 个  $1 \times 1 \text{m}^2$  的样方,分别收集地表苔藓和枯落物,现场称量并换算成单位林地面积鲜重 ( $M_1, \text{t}/\text{hm}^2$ ),同时用密封袋取样带回。考虑到该区域林木根系集中分布于 0~40cm 土层<sup>①②</sup>,在各林分以上 5 个位置各挖一个土壤剖面,用环刀分别 0~10、10~20、20~30、30~40cm 取 4 层原状土壤样本。

### 2.4 苔藓、枯落物蓄积量及最大持水量测定

从各样方苔藓及枯落物样品中取出一部分称重 ( $m_1, \text{g}$ ),装入布袋后在清水中浸泡 24h 称重 ( $m_2, \text{g}$ );同时另取一部分 ( $m_3, \text{g}$ ) 在  $65^\circ\text{C}$  条件下烘干 24h 测定干重 ( $m_0, \text{g}$ )。计算样品最大持水率 ( $P$ ) 和单位林地面积苔藓 (枯落物) 最大持水量 ( $MWHC, \text{mm}$ )。计算公式如下:

$$P = \left( \frac{m_2}{m_1} \times \frac{m_3}{m_0} - 1 \right) \times 100\%$$

$$M = M_0 \times P = \frac{m_0}{m_3} \times M_1 \times P \times r$$

式中,  $M_0$  表示单位林地面积苔藓 (枯落物) 干重 ( $\text{t}/\text{hm}^2$ )。  $r$  为水分由质量转换到体积的单位换算因子 ( $\text{cm}^3/\text{g}$ )。

### 2.5 土壤容重和持水量测定

土壤容重和持水量使用环刀法一次取样连续测定,将装有原状土壤的环刀在水中浸泡 12h 称重 ( $m_{s1}, \text{g}$ ),计算最大持水量 ( $MWHC, \text{mm}$ );然后放于干砂上 2h,此时环刀中土壤的非毛细管水已全部流出,称重 ( $m_{s2}, \text{g}$ ) 计算毛细管持水量 ( $CWHC, \text{mm}$ );再将其放于干砂上 24h,此时环刀中土壤的水分为毛细管悬着水,称重 ( $m_{s3}, \text{g}$ ) 计算最小持水量 ( $LWHC, \text{mm}$ );最后对环刀中土壤再次取样,放入铝盒中烘干,将环刀中的湿土质量转换成烘干土质量 ( $m_{s0}, \text{g}$ )。该方法详见《森林土壤定位研究方法》<sup>[9]</sup>。容重与持水量的计算公式如下:

$$D = \frac{m_{s0}}{V}; MWHC = \frac{m_{s1} - m_{s0}}{V} \times r \times d$$

$$CWHC = \frac{m_{s2} - m_{s0}}{V} \times r \times d; LWHC = \frac{m_{s3} - m_{s0}}{V} \times r \times d$$

式中,  $m_{s0}$ 、 $m_{s1}$ 、 $m_{s2}$ 、 $m_{s3}$  分别为环刀内土壤干重 ( $\text{g}$ )、浸泡 12h 后的饱和重量 ( $\text{g}$ )、失去非毛细管水后的重量和仅持有毛细管悬着水的重量 ( $\text{g}$ );  $D$  为土壤容重 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );  $V$  为环刀容积 ( $\text{cm}^3$ );  $r$  是水分由质量转为体积的单位换算因子 ( $\text{cm}^3/\text{g}$ )。  $d$  为所计算的土壤层厚度。  $MWHC$ 、 $CWHC$  和  $LWHC$  ( $\text{mm}$ ) 分别为土壤最大持水量、毛细管持水量和最小持水量。将各层累计可求出单位林地面积 0~40cm 土壤最大持水量 ( $\text{mm}$ )。

本研究使用 SPSS 软件进行各类型间的方差分析和显著性检验。

## 3 结果分析

### 3.1 苔藓蓄积量和最大持水量

从图 1 可以看出,土地利用与覆盖不同,苔藓蓄积量及最大持水量差异显著(表 2)。耕地、退耕还林地、

① 杨玉坡, 钟荣松. 峨眉冷杉根系的初步研究. 见: 四川省林业科学研究所. 四川高山林业研究资料集刊, 第二集. 1979, 157~172.

② 曾平江, 刘和林, 余群洲, 等. 紫果云杉生物学特性的研究. 见: 四川省林业科学研究所. 四川高山林业研究资料集刊, 第二集. 1979, 87~99.

表 1 米亚罗不同土地利用与覆盖类型样地的基本情况

Table 1 Plots of all kinds of land use and land cover in Miyaluo, west Sichuan

土地利用类型 Land use type <sup>a</sup>	样地面积 Plot size	优势种 Dominance species <sup>b</sup>	林龄 Stand age (a)	平均高 Mean height (m)	基面积 Basal area (m <sup>2</sup> hm <sup>-2</sup> ) <sup>c</sup>	郁闭度 Canopy density	海拔 Elevation (m)	坡向 Slope direction	坡度 Gradient (°)	干扰历史 Disturbance history
CL1	20m × 20 m	Br	—	0.3	—	0.3	3280	SW	15	1960 ~ 1965 年间采伐, 种植作物约 30a Logging between 1960 and 1965, cultivation of crops for about 30 years
CL2	20m × 20 m	Br	—	0.3	—	0.3	3280	W	18	
CL3	20m × 20 m	Bo	—	0.25	—	0.4	3310	SW	19	
AL1	20m × 20 m	Ds, Pa	5	0.3	—	0.7	3310	W	20	1960 ~ 1965 年间采伐, 种植作物约 30a, 2000 年退耕, 2000 或 2001 年种植云杉 Logging between 1960 and 1965, cultivation of crops for about 30 years, stopped at 2000 and planted in 2000 and 2001 with spruce
AL2	20m × 20 m	Ds, Pa	5	0.3	—	0.7	3310	W	17	
AL3	20m × 20 m	Ds, Ar, Pa	4	0.3	—	0.8	3330	SW	17	
GL1	15m × 15 m	Ds	—	0.15	—	0.7	3320	SW	19	1960 ~ 1965 年间采伐, 种植作物约 30a, 2000 或 2001 年退耕后撂荒 Logging between 1960 and 1965, cultivation of crops for about 30 years, stopped at 2000 and 2001 and abandoned
GL2	15m × 15 m	Ds, Ar	—	0.15	—	0.8	3320	SW	19	
GL3	15m × 10 m	Ds, Ar	—	0.2	—	0.7	3330	W	17	
SL1	30m × 30 m	Qa	—	5.2	12.4	0.8	3250	W	23	1960 ~ 1965 年间采伐, 之后频繁樵采, 1998 年保护 Logging between 1960 and 1965, frequent cutting for firewood since 1960s and protected since 1998
SL2	30m × 30 m	Qa	—	4.5	7.9	0.6	3340	SW	28	
SL3	30m × 30 m	Qa	—	4.0	6.0	0.7	3340	SW	25	
NS1	30m × 30 m	Ba	33	8	43.7	0.8	3300	W	30	1960 ~ 1965 年间采伐, 之后自然恢复 Logging between 1960 and 1965, seldom disturbance take place after logging
NS2	30m × 30 m	Ba	30	7	36.9	0.8	3350	NW	28	
NS3	30m × 30 m	Ba	30	6.5	35.6	0.7	3350	NW	26	
PL1	30m × 30 m	Pa	33	13	39.9	0.9	3300	W	30	
PL2	30m × 30 m	Pa	33	15	44.3	0.8	3320	W	28	1960 ~ 1965 年间采伐, 5a 内人工更新云杉 Logging between 1960 and 1965, spruce was planted in the later 5 years
PL3	30m × 30 m	Pa	35	15	48.2	0.8	3340	SW	28	
OG1	30m × 30 m	Af, Pp	180 ~ 200	30	66.0	0.7	3350	W	28	
OG2	30m × 30 m	Af, Pp	180 ~ 200	35	105.9	0.8	3350	NW	30	原始林, 没有干扰 Seldom disturbance from human being
OG3	30m × 30 m	Af	180 ~ 200	35	78.3	0.8	3300	NW	32	

a CL: 农田 Cropland; AL: 退耕还林地 Afforestation land; GL: 草地 Grassland; SL: 灌丛 Shrub land; NS: 天然次生林 Natural secondary forest; PL: 人工林 Plantation; OG: 老龄林 Old growth forest; 数字为每一种土地利用类型的样地编号 Numbers refer to the plot number of each land use type.

b Br: 大白菜 *Brassica rapa* var. *pekinensis*; Bo: 甘蓝 *B. oleracea* var. *capitata*; Ds: 糙野青茅 *Deyeuxia scabrescens*; Ar: 草玉梅 *Anemone rivularia*; Pa: 粗枝云杉 *Picea asperata*; Qa: 川滇高山栎 *Quercus aquifolioides*; Ba: 红桦 *Betula albo-sinensis*; Af: 岷江冷杉 *Abies faxoniana*; Pp: 紫果云杉 *Picea purpurea*

c 仅计算胸径超过 1cm 的林木 Values were calculated for all stems with a diameter at breast height more than 1 cm

草地没有苔藓层,其它土地利用与覆盖类型苔藓最大持水量排序为:老龄针叶林 > 人工云杉林 > 次生阔叶林 > 灌丛。人工云杉林苔藓蓄积量显著高于次生阔叶林,但二者最大持水量之间差异不显著(表 2)。

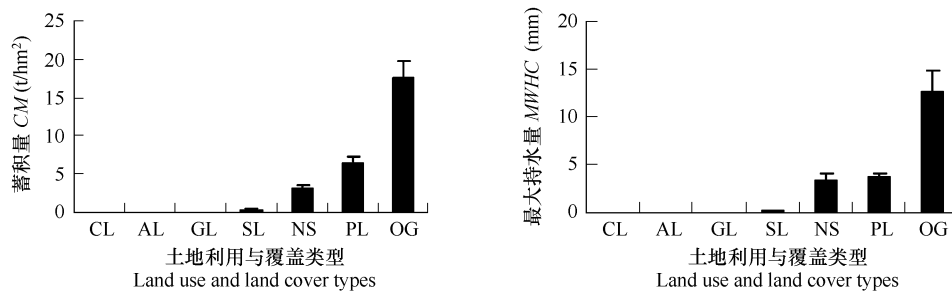


图 1 不同土地利用与覆盖类型的苔藓蓄积量(CM)及最大持水量(MWHC)

Fig.1 The cumulative mass(CM) and the maximum water holding capacity(MWHC) of moss

### 3.2 枯落物蓄积量与最大持水量

从图 2 可以看出,土地利用与覆盖不同,枯落物蓄积量及最大持水量差异显著(表 2)。耕地没有枯落物层。其它土地利用与覆盖类型枯落物最大持水量排序如下:原始暗针叶林 > 次生阔叶林 > 人工云杉林 > 灌丛 > 草地 > 退耕还林地。人工云杉林枯落物蓄积量显著高于次生阔叶林,但二者最大持水量之间差异并不显著。草地与退耕还林地枯落物蓄积量及最大持水量之间差异均不显著(表 2)。

表 2 不同土地利用与覆盖类型生态水文指标的方差分析

Table 2 The ANOVA (Sig.) of eco-hydrological indexes among different land use and land cover

生态水文指标 Eco-hydrological indexes	苔藓 Moss		枯落物 Litter		土壤 0~40cm 最大持水量 Soil 0-40cm MWHC
	蓄积量 CM	最大持水量 MWHC	蓄积量 CM	最大持水量 MWHC	
全部类型之间 All types	0.000 ***	0.000 ***	0.000 ***	0.000 ***	0.003 **
天然次生林与人工林之间 NS vs. PL	0.002 **	0.354	0.017 *	0.527	0.042 *
退耕还林地与草地之间 AL vs. GL	—	—	0.273	0.331	0.514

CM: Cumulative mass; MWHC: Maximum water holding capacity; 下同 the same below; \*  $P < 0.05$ ; \*\*  $P < 0.01$ ; \*\*\*  $P < 0.001$

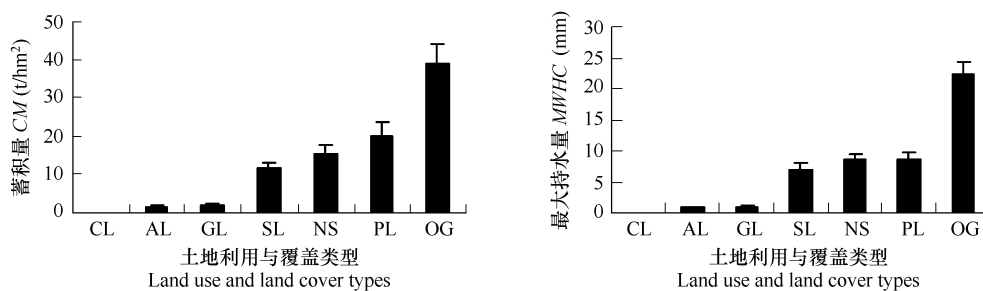


图 2 不同土地利用与覆盖类型的枯落物蓄积量(CM)及最大持水量(MWHC)

Fig.2 The cumulative mass(CM) and the maximum water holding capacity(MWHC) of litters

### 3.3 土壤容重和持水量

从表 3 可以看出,除农田外,各种土地利用与土地覆盖,随土壤深度的增加,土壤容重均显著增大,最大持水量、毛管持水量和最小持水量显著下降。这与高山峡谷区土层浅薄,土壤有机质、土壤动物形成的孔隙、植物根系、死亡根系形成的根孔都随深度而降低有关。农田比较特殊,其表层 0~10cm 土壤容重较大,10~20cm 降低,以下又表现为逐渐增大;土壤持水量各层间差异不显著。在七类土地利用与覆盖类型中,耕地、退耕还林地与草甸土壤容重显著大于森林和灌丛,持水量则相反。

土壤 0~40cm 各层最大持水量累计后,不同类型间差异亦显著(表 2)。其大小顺序为:天然次生林 > 老

表3 土壤容重、持水量及其在不同土层间差异显著性检验

指标 Index	土层深度 Soil depth (cm)	Table 3 Soil bulk density, water holding capacity and the ANOVA among different types and among different depth in all types										差异显著度 Sig. value	
		耕地 CL	退耕还林地 AL	草地 GL	灌丛 SL	天然次生林 NS	人工林 PL	老龄林 OG	所有类型间 All types	天然次生林与 人工林之间 NS vs. PL	退耕还林地 与草地之间 AL vs. GL		
土壤容重	0~10	1.19±0.14	1.14±0.11	0.99±0.08	0.52±0.11	0.39±0.12	0.75±0.09	0.64±0.10	0.000***	0.000***	0.000***	0.095	
Bulk density	10~20	1.11±0.08	1.26±0.09	1.24±0.12	0.87±0.07	0.70±0.08	0.82±0.06	0.86±0.07	0.000***	0.000***	0.000***	0.442	
(g/cm <sup>3</sup> )	20~30	1.23±0.10	1.32±0.08	1.33±0.08	0.95±0.08	0.84±0.12	0.88±0.09	0.95±0.11	0.000***	0.000***	0.346	0.612	
	30~40	1.38±0.07	1.50±0.09	1.43±0.09	1.10±0.08	1.09±0.07	1.12±0.06	1.14±0.07	0.000***	0.000***	0.455	0.325	
Sig. value		0.017*	0.000***	0.000***	0.000***	0.000***	0.000***	0.000***					
最大持水量	0~10	56.1±4.4	54.7±4.0	60.7±4.8	67.9±4.2	75.1±5.2	64.1±5.6	69.2±5.1	0.000***	0.000***	0.000***	0.132	
MWHC(mm)	10~20	55.1±4.9	53.8±4.8	52.6±5.0	54.8±4.4	65.4±4.7	61.5±4.1	60.7±4.1	0.000***	0.000***	0.019*	0.209	
	20~30	56.1±4.7	52.4±4.5	51.5±4.7	52.6±3.8	55.3±4.3	55.8±4.1	54.7±3.8	0.000***	0.000***	0.786	0.511	
	30~40	52.8±4.5	45.3±4.2	43.4±4.4	45.3±3.6	48.7±4.5	49.3±4.3	52.0±4.1	0.000***	0.000***	0.413	0.324	
Sig. value		0.187	0.008**	0.000***	0.000***	0.000***	0.000***	0.000***					
毛管持水量	0~10	54.4±4.7	50.9±4.1	57.3±3.8	47.8±3.8	54.3±4.5	49.1±4.1	51.6±5.8	0.007**	0.008**	0.008**	0.133	
CWHC(mm)	10~20	62.5±4.8	51.4±4.0	49.7±4.9	42.0±3.1	48.7±3.9	44.4±3.4	48.6±3.1	0.000***	0.005**	0.005**	0.261	
	20~30	52.2±3.6	50.3±4.4	47.5±3.9	39.0±3.3	44.4±3.4	42.1±4.9	44.8±3.9	0.003**	0.176	0.176	0.543	
	30~40	50.5±3.0	43.2±4.8	37.2±3.8	35.3±2.9	40.6±2.8	38.4±3.3	40.1±3.1	0.000***	0.205	0.205	0.448	
Sig. value		0.019*	0.021*	0.007**	0.005**	0.007**	0.002**	0.004**					
最小持水量	0~10	43.1±3.3	37.6±3.1	42.6±3.8	38.0±3.8	41.1±3.9	42.3±2.7	33.6±3.2	0.006**	0.213	0.213	0.275	
LWHC(mm)	10~20	48.4±3.8	37.8±3.9	37.2±4.2	32.1±3.0	37.4±3.2	38.7±2.2	31.3±3.8	0.000***	0.361	0.361	0.398	
	20~30	38.2±4.3	36.2±3.3	34.8±4.0	31.2±3.1	35.6±2.4	36.4±3.9	27.1±3.6	0.001**	0.355	0.355	0.401	
	30~40	35.5±3.5	30.5±3.0	32.7±3.6	29.3±3.5	30.0±2.1	31.4±2.4	23.8±3.1	0.003**	0.278	0.278	0.355	
显著值		0.037*	0.168	0.025*	0.081	0.032*	0.036**	0.043*					
Sig. value													

\* P < 0.05; \*\* P < 0.01; \*\*\* P < 0.001

龄针叶林 > 人工云杉林 > 灌丛 > 农田 > 草地(退耕还林地)(图 3),其中天然次生林显著高于人工云杉林,草地与退耕还林地之间没有显著差异。

#### 4 讨论

20 世纪 50 ~ 80 年代,川西亚高山林区经历了大规模的采伐与更新,以老龄暗针叶林为主的亚高山森林退化成次生阔叶林、人工云杉林、灌丛、草甸、农田和残留老龄林镶嵌分布的格局<sup>[10,11]</sup>,林地水文效应也随之变化。农田没有苔藓和枯落物层,土壤容重大,土壤 0 ~ 40cm 最大持水量较低。退耕还林地和草甸仅有少量枯落物,持水量很少;其土壤容重较大,土壤持水量也较低。与撂荒形成的草甸相比,退耕还林地水文效应的变化还不显著;这是由于所植云杉仍处于苗期,退耕还林地仍以草本占优势,草甸与退耕还林地之间地被物和土壤持水性能均没有显著差异。在 7 种土地利用类型中,

这 3 种类型采伐后都经历超过 30a 的耕作(表 1),属于受干扰最为严重的类型。其中,农田土壤 0 ~ 40cm 最大持水量高于草甸、退耕还林地,这与其他地区的研究结果不同。在太行山区和黄土丘陵区,农田总孔隙度(最大持水量)低于撂荒地<sup>[12~14]</sup>。将本区农田土壤与退耕还林地和草甸进行对比,可以发现后两者容重更大,表明退耕初期土壤变得紧实,持水量下降。灌丛苔藓、枯落物蓄积量及最大持水量,以及土壤 0 ~ 40cm 最大持水量均位于各类森林和 3 种严重干扰类型之间。人工林和天然次生林苔藓、枯落物蓄积量与最大持水量均低于原始林;土壤容重天然次生林比原始林低,人工林则比原始林高;土壤 0 ~ 40cm 最大持水量则正好相反。总体说来,随着干扰程度的增加,苔藓、枯落物蓄积量及最大持水量下降,土壤容重增加,土壤持水性能下降。这与其他地区人为干扰对土壤物理性质的影响相一致<sup>[15~17]</sup>。

人工针叶林和天然次生林是川西亚高山森林恢复的两种主要类型<sup>[11]</sup>,人工针叶林苔藓与枯落物蓄积量显著高于次生阔叶林,但其最大持水量间却无显著差异,这说明次生阔叶林苔藓和枯落物的最大持水率要显著高于人工针叶林,其单位重量地被物的持水性能要优于后者。人工针叶林中云杉占绝对优势,林下灌草稀疏,枯落物以凋落针叶、小枝为主,分解困难,是造成枯落物蓄积量高的主要原因。宁夏六盘山森林恢复过程中具有类似的规律,人工落叶松林枯落物蓄积量及最大持水量分别是次生阔叶林的 2.1 和 1.8 倍,阔叶林枯落物的持水率高于针叶林<sup>[18]</sup>。天然次生林土壤最大持水量显著高于人工针叶林,这表明阔叶林能够降低土壤容重,增加土壤孔隙度,尤其是非毛管空隙,这与常绿阔叶林区不同恢复途径的结论相一致<sup>[19,20,12]</sup>。川西亚高山森林大规模采伐后,迹地上天然恢复要经历草本和灌木阶段<sup>[21]</sup>,次生桦木林的林龄通常要比人工云杉林小 3 ~ 5a(表 1),因此人工更新能够更快的恢复森林环境。但选择何种恢复途径还应考虑未来林分的其它生态系统服务功能。自然恢复过程中物种多样性要高于人工恢复过程<sup>[22,23]</sup>,两种恢复途径之间林分耗水特性、NPP 及固碳能力等有待深入研究。

#### References:

- [ 1 ] Fan H. A study on 50a land use and cover change of watershed of upper Minjiang River, *Journal of Mountain Science*, 2002, 20(1): 64—69.
- [ 2 ] Xie C H, Guan W B, Wu J A, *et al.* Interception capability of dark coniferous forest ecosystem in Gongga Mountain. *Journal of Beijing Forestry University*, 2002, 24(4): 68—71.
- [ 3 ] Cheng J H, Zhang H J, Yu X X, *et al.* Water holding capacity characteristic of ground cover and soil under pure *Abies fabri* forest on the Gongga Mountain. *Journal of Beijing Forestry University*, 2002, 24(3): 45—49.
- [ 4 ] Cheng G W, Yu X X, Zhao Y T, *et al.* Evapotranspiration simulation of subalpine forest area in Gongga Mountain. *Journal of Beijing Forestry University*, 2003, 25(1): 23—27.

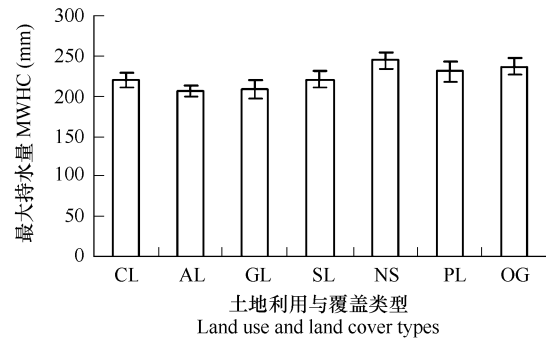


图 3 土壤 0 ~ 40cm 最大持水量

Fig. 3 Maximum water holding capacity (MWHC) of soil in 0—40 cm depth

- [ 5 ] Yu X X, Zhao Y T, Zhang Z Q, *et al.* Characteristics of soil water infiltration in sub-alpine dark coniferous ecosystem of upper reaches of Yangtze River. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(1): 15—19.
- [ 6 ] Zu Q K, Chen L H, Zhang D S, *et al.* Mechanisms of soil-reinforcement by roots in forest ecological systems in Gongga Mountain. *Journal of Beijing Forestry University*, 2002, 24(4): 64—67.
- [ 7 ] Huang L L. Preliminary studies on water conservative functions of alpine forest in western Sichuan. In: Li C B ed. *Ecological Research of Sichuan Forest*. Chengdu: Sichuan Science and Technology Press, 1990, 87—99.
- [ 8 ] Jiang Y X. Phytocenological role of forest floor in subalpine fir forests in west Sichuan province. *Acta Phytocologica et Geobotanica Sinica*, 1981, 5(2): 89—98.
- [ 9 ] Zhang W R, Xu B T. *The Method of Long-term Research on Forest Soil*. Beijing: Chinese Forestry Press, 1986. 30—36.
- [ 10 ] Zhang Y D, Liu S R and Zhao C M. Spatial pattern of subalpine forest restoration in west Sichuan. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(9): 1706—1710.
- [ 11 ] Zhang Y D, Zhao C M, Liu S R. The influence factors of subalpine forest restoration in Miyaluo, west Sichuan. *Scientia Silvae Sinicae*, 2005, 41(4): 189—193.
- [ 12 ] Xu Z Q, Li W H, Zheng J B, *et al.* Studies on ability of holding water and preventing erosion of different land use ways in Taihang Mountain area, *Journal of Soil Water Conservation*, 2004, 18(4): 101—104.
- [ 13 ] Liang W, Bai C X, Sun B P, *et al.* Soil water availability and soil water storage capacity in forest or grass lands converted from farmlands in Loess Hilly and Gully Region — a case study of Chaigou watershed in Wuqi County. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2006, 26(4): 38—39.
- [ 14 ] Yang G, Ding G D, Chang G L, *et al.* Study on improving soil properties of forest vegetation in different land where returning farmland to forests in Loess Plateau. *Research of Soil and Water Conservation*, 2006, 13(3): 204—210.
- [ 15 ] Zhen H, Ouyang Z Y, Wang X K, *et al.* Effects of forest restoration types on soil quality in red soil eroded region, Southern China. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 27(5): 2109—2117.
- [ 16 ] Zheng S Z, Xiao Q L, Wu W D, *et al.* Effects of different artificial types of forest in hilly red soil on physical and chemical properties of soil. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2006, 34(11): 2455—2457.
- [ 17 ] Zhang X B, Shangguan Z P. Effect of human-induced disturbance on physical properties of soil in artificial *Pinus tabulaeformis* Carr. forests of the Loess Plateau. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(11): 3685—3695.
- [ 18 ] Zhang L Y, Liu C F, Wang Y H, *et al.* Study on eco-hydrological function of forest litter and soil in the south side of Liupan Mountains, Ningxia Hui autonomous region, China. *Forest Research*, 2007, 20(1): 15—20.
- [ 19 ] Zhang D H, Lin X W. A preliminary study on the difference of soil fertility changes between planting chinese fir and recovering broad-leaved forest after clear cutting. *Acta Ecologica Sinica*, 1993, 13(3): 261—266.
- [ 20 ] Chen A L, You S S, Lin D X. Soil physical and chemical properties under different regeneration of broad-leaved forest land. *Journal of Zhejiang Forestry College*, 2001, 18(2): 127—130.
- [ 21 ] Shi L X, Wang J X, Xu Y M, *et al.* The early succession process of vegetation at cut-over area of dark coniferous forest in Miyaluo, west Sichuan. *Acta Phytocologica et Geobotanica Sinica*, 1988, 12(4): 306—313.
- [ 22 ] Ma J M, Liu S R, Shi Z M, *et al.* Changes of species composition and diversity in the restoration process of subalpine dark brown coniferous forests in western Sichuan, China. *Scientia Silvae Sinicae*, 2007, 43(5): 17—23.
- [ 23 ] Wu Y, Liu Q, He H, *et al.* Dynamics of species diversity in artificial restoration process of subalpine coniferous forest. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(8): 1301—1306.

#### 参考文献:

- [ 1 ] 樊宏. 岷江上游近 50a 土地覆被的变化趋势. *山地学报*, 2002, 20(1): 64—69.
- [ 2 ] 谢春华, 关文彬, 吴建安, 等. 贡嘎山暗针叶林生态系统林冠截留特征研究. *北京林业大学学报*, 2002, 24(4): 68—71.
- [ 3 ] 程金花, 张洪江, 余新晓, 等. 贡嘎山冷杉纯林地生物及土壤持水特性. *北京林业大学学报*, 2002, 24(3): 45—49.
- [ 4 ] 程根伟, 余新晓, 赵玉涛, 等. 贡嘎山亚高山森林带蒸散特征模拟研究. *北京林业大学学报*, 2003, 25(1): 23—27.
- [ 5 ] 余新晓, 赵玉涛, 张志强, 等. 长江上游亚高山暗针叶林土壤水分入渗特征研究. *应用生态学报*, 2003, 14(1): 15—19.
- [ 6 ] 朱清科, 陈丽华, 张东升, 等. 贡嘎山森林生态系统根系固土力学机制研究. *北京林业大学学报*, 2002, 24(4): 64—67.
- [ 7 ] 黄礼隆. 川西高山林区森林水源涵养性能的初步研究. 见: 李承彪主编. *四川森林生态研究*, 成都: 四川科学技术出版社, 1990. 87—99.
- [ 8 ] 蒋有绪. 川西亚高山冷杉林枯枝落叶层的群落学作用. *植物生态学与地植物学丛刊*, 1981, 5(2): 89—98.
- [ 9 ] 张万儒, 许本彤. *森林土壤定位研究方法*. 北京: 中国林业出版社, 1986. 30—36.
- [ 10 ] 张远东, 刘世荣, 赵常明. 川西亚高山森林恢复的空间格局分析. *应用生态学报*, 2005, 16(9): 1706—1710.



- [11] 张远东, 赵常明, 刘世荣. 川西米亚罗林区森林恢复的影响因子分析. 林业科学, 2005, 41(4): 189 ~ 193.
- [12] 郑华, 欧阳志云, 王效科, 等. 不同森林恢复类型对南方红壤侵蚀区土壤质量的影响. 生态学报, 2004, 27(5): 2109 ~ 2117.
- [13] 郑诗樟, 肖青亮, 吴蔚东, 等. 红壤丘陵不同人工林型对土壤理化性状的影响. 安徽农业科学, 2006. 34(11): 2455 ~ 2457.
- [14] 张希彪, 上官周平. 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. 生态学报, 2006. 26(11): 3685 ~ 3695.
- [15] 许中旗, 李文华, 郑均宝, 等. 太行山区不同土地利用方式保水防蚀能力研究. 水土保持学报, 2004, 18(4): 101 ~ 104.
- [16] 梁伟, 白翠霞, 孙保平, 等. 黄土丘陵区退耕地土壤水分有效性及蓄水性能——以陕西省吴旗县柴沟流域为例. 水土保持通报, 2006, 26(4): 38 ~ 39.
- [17] 杨光, 丁国栋, 常国梁, 等. 黄土高原不同退耕还林地森林植被改良土壤特性研究. 水土保持研究, 2006, 13(3): 204 ~ 210.
- [18] 张雷燕, 刘常富, 王彦辉, 等. 宁夏六盘山南侧森林枯落物及土壤的水文生态功能研究. 林业科学研究, 2007, 20(1): 15 ~ 20.
- [19] 张鼎华, 林肖文. 采伐迹地恢复阔叶林与人工栽杉土壤肥力变化差异的初步研究. 生态学报, 1993, 13(3): 261 ~ 266.
- [20] 陈爱玲, 游水生, 林德喜. 阔叶林地在不同更新方式下土壤理化性质的变化. 浙江林学院学报, 2001, 18(2): 127 ~ 130.
- [21] 史立新, 王金锡, 宿以明, 等. 川西米亚罗地区暗针叶林采伐迹地早期植被演替过程的研究. 植物生态学与地植物学学报, 1988, 12(4): 306 ~ 313.
- [22] 马姜明, 刘世荣, 史作民, 等. 川西亚高山暗针叶林恢复过程中群落物种组成和多样性的变化. 林业科学, 2007, 43(5): 17 ~ 23.
- [23] 吴彦, 刘庆, 何海, 等. 亚高山针叶林人工恢复过程中物种多样性变化. 应用生态学报, 2004, 15(8): 1301 ~ 1306.