

川西高山和亚高山灌丛的地被物及土壤持水性能

张远东, 刘世荣, 马姜明

(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)

摘要: 川西高山和亚高山灌丛是局域生境条件下相对稳定的群落, 其主要分布于林线以上和干旱阳坡等环境较为恶劣的地段, 生态水文效应尤为重要。以往对于该区域灌丛的研究, 多集中于类型、生物量等方面, 生态水文效应方面的研究基本上属于空白。通过对苔藓、枯落物和土壤的野外调查与室内实验, 分析了川西高山和亚高山 3 种主要灌丛在不同海拔梯度的地被物及土壤持水性能, 其有利于加深对长江上游高山和亚高山区灌丛水文效应的认识。研究表明: (1) 3 种类型中, 杜鹃灌丛持水性能最强, 其苔藓、枯落物和土壤 0~40cm 最大持水量在各海拔梯度平均为 46.73、139.98 t/hm² 和 2216.92 t/hm²; 高山栎灌丛各海拔梯度平均为 1.64、72.08 t/hm² 和 2114.88 t/hm²; 槲栎灌丛没有苔藓, 枯落物和土壤 0~40cm 最大持水量在各海拔梯度平均为 84.55 t/hm² 和 2062.83 t/hm²。(2) 杜鹃灌丛苔藓蓄积量及最大持水量随海拔升高而降低; 高山栎灌丛苔藓蓄积量及最大持水量先随海拔升高而增加, 在 3400m 处达到最大, 之后又降低。杜鹃灌丛苔藓最大持水率远高于高山栎灌丛。杜鹃灌丛和高山栎灌丛枯落物蓄积量及最大持水量均随海拔升高而降低; 槲栎灌丛则随海拔升高而升高。(3) 3 种灌丛在不同海拔随土壤深度的增加, 土壤容重均显著增大, 最大持水量显著下降, 但毛管持水量和最小持水量仅在部分类型显著下降。土壤 0~40cm 最大持水量只有杜鹃灌丛随海拔升高而显著降低, 其他两种不同海拔间差异不显著。

关键词: 灌丛; 苔藓; 枯落物; 土壤; 最大持水量

文章编号: 1000-0933(2006)09-2775-08 中图分类号: Q948, S715.3, S718.55 文献标识码: A

Water holding capacity of surface cover and soil of alpine and sub-alpine shrub in Western Sichuan, China

ZHANG Yuan-Dong, LIU Shi-Rong, MA Jiang-Ming (Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, Key Lab. on Forest Ecology and Environment of State Forestry Administration, Beijing 100091, China). Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(9): 2775~2782.

Abstract: Alpine and sub-alpine shrubs, distributed beyond tree line or on south-facing slope, are relatively stable community in western Sichuan. Their community component, biomass have been studied, however, very few were reported for the water holding capacity of surface cover and soil in those shrubs. We measured the cumulated mass (CM, t/hm²) of moss and litters, along with their maximal water holding capacity (MWHC, t/hm²) and maximal water holding rate (MWHR, %), in three main types of shrub at different elevations in western Sichuan. The physical characteristics of water in the soil included soil bulk density, MWHC, capillary water holding capacity (CWHC) and least water holding capacity (LWHC) were also measured by soaking and discharging experiments with samples of soil from different soil depths in all studied communities. The result showed that water holding capacity of *Rhododendron przewalskii* shrub is highest in three types. Average MWHC of moss, litters and soil in depth of 0~40 cm among different elevation are 46.73, 139.98 t/hm² and 2216.92 t/hm² relatively in *R. przewalskii* shrub; 1.64, 72.08, 2114.88 t/hm² in *Quercus aquifolioides* shrub; no mass and average MWHC of litters and soil in depth of 0~40 cm among

基金项目: 国家基础研究重点规划资助项目(2002CB111504); 国家“十五”科技攻关资助项目(2001BA510B06); 国家林业局 948 资助项目(2004-4-66); 第 35 批中国博士后科学基金资助项目(20040350374)

收稿日期: 2005-12-21; **修订日期:** 2006-06-11

作者简介: 张远东(1973~), 男, 新疆霍城人, 博士, 副研究员, 主要从事森林生态系统经营管理和景观生态学研究。E-mail: zyd@forestry.ac.cn

Foundation item: The project was supported by National Key Project for Basic Research (No. 2002CB111504); National Key Project for the Tenth Five Year Plan (No. 2002CB111504); SEA 948 Program (No. 2004-4-66); China Postdoctoral Science Foundation (No. 20040350374)

Received date: 2005-12-21; **Accepted date:** 2006-06-11

Biography: ZHANG Yuan-Dong, Associate professor, mainly engaged in forest ecosystem management and landscape ecology. E-mail: zyd@forestry.ac.cn

different elevation are 84.55 t/hm² and 2062.83 t/hm² in *Quercus cocciferoides* shrub. The CM and MWHC of moss decreased significantly with increasing elevation in *R. przewalskii* shrub, increased significantly at first and then decreased with increasing elevation and reach the maximum at 3400m in *Q. aquifolioides* shrub. MWHC of moss in the former is higher than that in the later. The CM and MWHC of litters decreased with the increment of elevation in *R. przewalskii* and *Q. aquifolioides* shrub, increased in *Q. cocciferoides* shrub. Soil bulk density increased and MWHC decreased significantly with the increasing soil depth in all communities, but CWHC and LWHC decreased significantly only in some of communities. The MWHC in 0~40cm of soil decreased significantly with the increment of elevation in *R. przewalskii* shrub and was not significantly different among communities with different elevation in the other two types.

Key words: shrub; moss; litters; soil; maximal water holding capacity

地处青藏高原东南缘的川西高山峡谷地区,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。川西亚高山暗针叶林是该区主要的植被类型,但由于地形或人为的原因,高山和亚高山灌丛分布于森林边缘或是镶嵌其中,共同形成水源涵养的生态屏障。分布于林线上部的杜鹃灌丛和分布于阳坡的高山栎灌丛、槲子栎灌丛,都是局域生境条件下相对稳定的群落,并且位于生态环境较为恶劣的地段,其生态水文效应尤为重要。

对于川西亚高山森林水文学的研究已相当丰富,内容涉及森林冠层截留、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^[1~7]。但对于灌丛的研究,则只限于群落特征、生物量等方面^[8~11],对于高山、亚高山灌丛水文效应的研究,则基本上属于空白。本文既以川西高山和亚高山灌丛为研究对象,分析主要灌丛类型在不同海拔梯度上的地被物及土壤持水特征,这有利于加深对长江上游高山和亚高山灌丛水文效应的认识。

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',海拔在 2200~5500m 之间。该区位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 月份均温 -8℃,7 月份均温 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^[12,13]。主要植被类型为亚高山森林和高山草甸,高山和亚高山灌丛也占有相当大的面积。通过对米亚罗林区 1999 年 9 月 20 日 ETM 遥感影像解译,米亚罗灌丛面积占总面积的 10.44%^[14]。高山和亚高山灌丛主要分布于林线以上和干旱阳坡,主要有杜鹃灌丛、高山栎灌丛和槲子栎灌丛 3 种类型。杜鹃灌丛主要分布于林线以上的阴坡、半阴坡,海拔在 3600m 以上,有时极限分布可达 4500m,以青海杜鹃 (*Rhododendron przewalskii*) 为单优种,偶有褐毛杜鹃 (*Rhododendron watsonii*)、陕甘花楸 (*Sorbus koeheana*)、细枝绣线菊 (*Spiraea myrtilloides*) 渗入。杜鹃灌丛下土壤为山地假灰化棕色森林土, pH 4.6~5.3,呈强酸性;土壤腐殖质含量虽较多,但多系粗腐殖质,未很好矿物质化。高山栎灌丛主要分布于海拔 2700~3800m 的阳坡,以川滇高山栎 (*Quercus aquifolioides*) 为单优种,伴生种类包括木帚槲子 (*Cotoneaster dielsianus*)、平枝槲子 (*Cotoneaster horizontalis*)、鞘柄菝葜 (*Smilax stans*) 等;该类型中一部分由高山栎云杉林采伐后形成。高山栎灌丛下土壤为山地棕色森林土, pH 5.4~6.3,呈微酸性或趋于中性;土壤腐殖质含量较高,土壤肥力也相应较高。槲子栎灌丛主要分布于海拔 2200~2700m 的阳坡、半阳坡,除优势种槲子栎 (*Quercus cocciferoides*) 外,还有美丽胡枝子 (*Lespedeza formosa*)、粉背黄栌 (*Cotinus coggygria* var. *glaucophylla*)、美蔷薇 (*Rosa bella*)、马鞍羊蹄甲 (*Bauhinia faberi*)、圆叶山蚂蝗 (*Desmodium podocarpum*)、蕨 (*Caryopteris* spp.)、小花滇紫草 (*Onosma farrerii*)、小黄素馨 (*Jasminum humile*)、白刺花 (*Sorophora vrcifolia*)、黄刺玫 (*Rosa xanthina*) 和野花椒 (*Zanthoxylum simulans*) 等种类,该类型位于半干旱中山区向干旱河谷的过渡地带。槲子栎灌丛下为山地褐色森林土,具有强烈的碳酸盐反应,土壤肥力不高。以上 3 种灌丛类型都是局域地形条件下相对稳定的群落。

2 研究方法

2.1 样地选设

选择有大面积杜鹃灌丛分布的阴坡,分别在海拔 3800、4000、4200m 处设置样地;选择有大面积高山栎灌丛分布的阳坡,在海拔 3000、3200、3400m 和 3600m 处设置样地;选择有大面积槲栎子栎灌丛分布的阳坡,在海拔 2300、2500m 和 2700m 设置样地;样地大小均为 20m ×20m,对样地进行群落调查。每类灌丛选择 3 个坡面,以使同一类型和海拔的样地至少有 3 个重复。

表 1 米亚罗高山和亚高山灌丛样地的基本情况

Table 1 Outline of alpine and sub-alpine shrub in Miyaluo, West Sichuan								
灌丛类型 Shrub type	优势树种 Dominance species	海拔 Elevation (m)	坡向 Slope direction	坡度 Gradient (°)	平均高 Tree mean height (m)	郁闭度 Canopy density	苔藓厚度 Thickness of moss (cm)	枯落物厚度 Thickness of litters (cm)
A	<i>R. przewalskii</i>	3750 ~ 3850	N	25 ~ 40	4 ~ 5	0.9 ~ 0.95	7	4
A	<i>R. przewalskii</i>	3950 ~ 4050	N	25 ~ 40	2.5 ~ 3.5	0.7 ~ 0.8	4	3
A	<i>R. przewalskii</i>	4150 ~ 4250	N	25 ~ 40	1 ~ 1.5	0.6 ~ 0.7	2	3
B	<i>Q. aquifolioides</i>	2950 ~ 3050	S,SW	30 ~ 45	5 ~ 6	0.8 ~ 0.9	0.5	5
B	<i>Q. aquifolioides</i>	3150 ~ 3250	S,SW	30 ~ 45	3 ~ 4	0.7 ~ 0.8	0.5	3
B	<i>Q. aquifolioides</i>	3350 ~ 3450	S,SW	30 ~ 45	1.5 ~ 2.5	0.7 ~ 0.8	1	3
B	<i>Q. aquifolioides</i>	3550 ~ 3650	S,SW	30 ~ 45	1.0 ~ 2.0	0.5 ~ 0.6	0.5	3
C	<i>Q. cocciferoides</i>	2050 ~ 2150	S,SW	30 ~ 45	2.5 ~ 4	0.5 ~ 0.6	—	2
C	<i>Q. cocciferoides</i>	2250 ~ 2350	S,SW	30 ~ 45	2.5 ~ 4	0.5 ~ 0.6	—	3
C	<i>Q. cocciferoides</i>	2650 ~ 2750	S,SW	30 ~ 45	4 ~ 6	0.6 ~ 0.8	—	5

A 杜鹃灌丛 *R. przewalskii* shrub;B 高山栎灌丛 *Q. aquifolioides* shrub;C 槲栎子栎灌丛 *Q. cocciferoides* shrub;下同 the same below

2.2 地被物及土壤样本的采集

在各样地上部、下部各设 2 个、中部设 1 个 1 ×1m² 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面积鲜重(M_1 ,t/hm²),同时用密封袋取样带回。考虑到该区域土层浅薄,在各样地相同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。

2.3 地被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 ,g),装入布袋后在清水中浸泡 24h 称重(m_2 ,g);同时另取一部分(m_3 ,g)在 65℃ 条件下烘干 24h 测定干重(m_0 ,g)。计算样品最大持水率(P)和单位面积苔藓(枯落物)最大持水量(M ,t/hm²)。计算公式如下:

$$P = \left[\frac{m_2}{m_1} \times \frac{m_3}{m_0} - 1 \right] \times 100 \%$$
$$M = M_0 \times P = \frac{m_0}{m_3} \times M_1 \times P$$

式中, M_0 (t/hm²)表示单位林地面积苔藓(枯落物)干重。取样重复 5 次。

2.4 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} ,g),计算最大持水量(C_{max} ,g/cm³);然后放于干砂上 2h,此时环刀中土壤的非毛细水已全部流出,称重(m_{s2} ,g)计算毛细管持水量(C_{cap} ,g/cm³);再将其放于干砂上 24h,此时环刀中土壤的水分分为毛细管悬着水,称重(m_{s3} ,g)计算最小持水量(C_{min} ,g/cm³);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} ,g)。该方法详见《森林土壤定位研究方法》^[15]。容重与持水量的计算公式如下:

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
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

$$D = \frac{m_{s0}}{V}$$

$$C_{\max} = \frac{m_{s1} - m_{s0}}{V}$$

$$C_{\text{cap}} = \frac{m_{s2} - m_{s0}}{V}$$

$$C_{\min} = \frac{m_{s3} - m_{s0}}{V}$$

式中, m_{s0} 、 m_{s1} 、 m_{s2} 、 m_{s3} (g) 分别为环刀内土壤干重、浸泡 12h 后的饱和重量、失去非毛管水后的重量和仅持有毛管悬着水的重量; D (g/cm^3) 为土壤容重; V (cm^3) 为环刀容积; $C_{\max}$ 、 C_{cap} 、 $C_{\min}$ (g/cm^3) 分别为土壤最大持水量、毛管持水量和最小持水量。单位换算后将各层累计可求出单位林地面积 0 ~ 40cm 土壤最大持水量 (t/hm^2)。

3 结果分析

3.1 苔藓蓄积量和最大持水量

由图 1 及表 2 可以看出, 杜鹃灌丛苔藓蓄积量在不同海拔间差异显著, 随海拔升高而下降。高山栎灌丛苔藓蓄积量在不同海拔间差异显著, 随海拔升高先是逐渐升高, 在海拔 3400m 处达到最大, 然后下降。这两种灌丛苔藓最大持水量的变化趋势与其各自蓄积量相同。杜鹃灌丛各海拔高度苔藓蓄积量和最大持水量平均为 $5.24 \text{ t}/\text{hm}^2$ 和 $46.73 \text{ t}/\text{hm}^2$, 远高于高山栎灌丛的 $0.32 \text{ t}/\text{hm}^2$ 和 $1.71 \text{ t}/\text{hm}^2$ 。槲子栎灌丛位于较低海拔的干旱阳坡, 灌丛下没有苔藓。

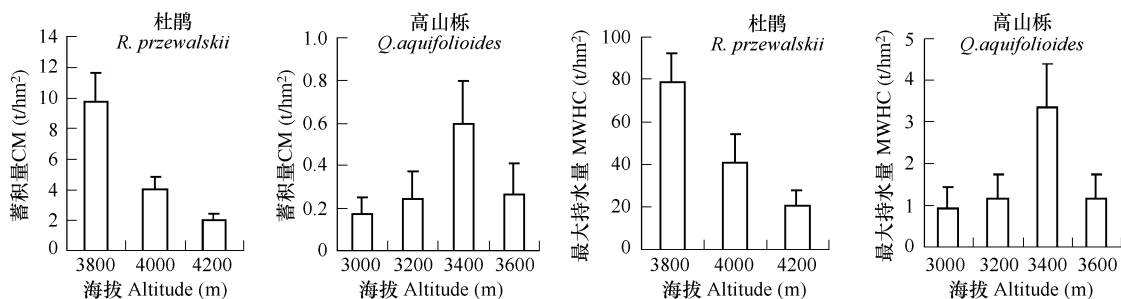


图 1 杜鹃和高山栎灌丛的苔藓蓄积量及其最大持水量

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

杜鹃灌丛和高山栎灌丛苔藓最大持水率在不同海拔间没有显著差异, 但前者平均为 940.5%, 远高于后者 449.2%。这说明两种灌丛内苔藓的种类及其持水性能是不同的。

3.2 枯落物蓄积量与最大持水量

从图 3、图 4 可以看出, 3 种灌丛枯落物蓄积量在不同海拔间均差异显著 (表 2), 但变化趋势不同。杜鹃和高山栎灌丛枯落物蓄积量随海拔升高而降低, 槲子栎灌丛则随海拔升高而升高。最大持水量的变化规律与蓄积量一致。杜鹃灌丛各海拔高度枯落物蓄积量平均为 $21.79 \text{ t}/\text{hm}^2$ 、高山栎灌丛平均为 $12.12 \text{ t}/\text{hm}^2$ 、槲子栎灌丛平均为 $20.37 \text{ t}/\text{hm}^2$; 杜鹃灌丛各海拔高度枯落物最大持水量平均为 $139.98 \text{ t}/\text{hm}^2$ 、高山栎灌丛为 $72.08 \text{ t}/\text{hm}^2$ 、槲子栎灌丛为 $84.55 \text{ t}/\text{hm}^2$ 。

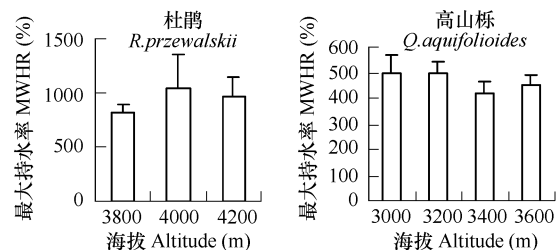


图 2 杜鹃和高山栎灌丛的苔藓最大持水率

Fig. 2 The maximal water holding rate (MWHR) of moss

表 2 3 种灌丛苔藓、枯落物和土壤指标在不同海拔间的方差分析(*F* 值)

灌丛类型 Shrub types	苔藓 Moss			枯落物 Litters			土壤 0 ~ 40cm 最大持水量 Soil 0 ~ 40cm MWHC
	蓄积量 CM	最大持水量 MWHC	最大持水率 MWHR	蓄积量 CM	最大持水量 MWHC	最大持水率 MWHR	
A	14.201 **	9.297 **	0.539	19.569 **	10.966 **	0.482	5.567 *
B	3.793 *	3.900 *	0.583	13.768 **	5.967 **	0.169	1.126
C	—	—	—	12.001 **	9.148 **	0.727	0.700

CM,Cumulated mass; MWHC,Maximal water holding capacity; MWHR,Maximal water holding rate;下同,the same below; * *p* < 0.05; ** *p* < 0.01

3 种灌丛最大持水率在海拔间差异不显著,杜鹃灌丛平均为 589.1 %,高山栎灌丛平均为 596.7 %,槲子栎灌丛为 427.5 %(图 5)。

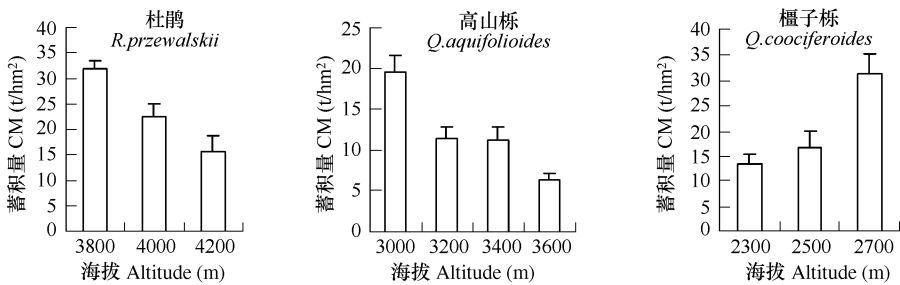


图 3 3 种灌丛的枯落物蓄积量
Fig.3 The cumulated mass(CM) of litters of three shrubs

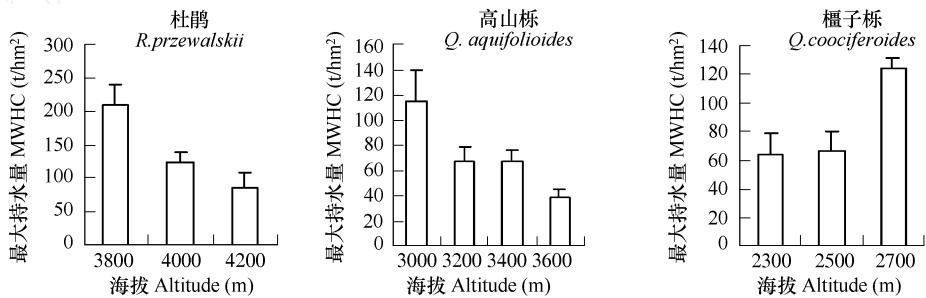


图 4 3 种灌丛的枯落物最大持水量
Fig. 4 The maximal water holding capacity(MWHC) of litters of three shrubs

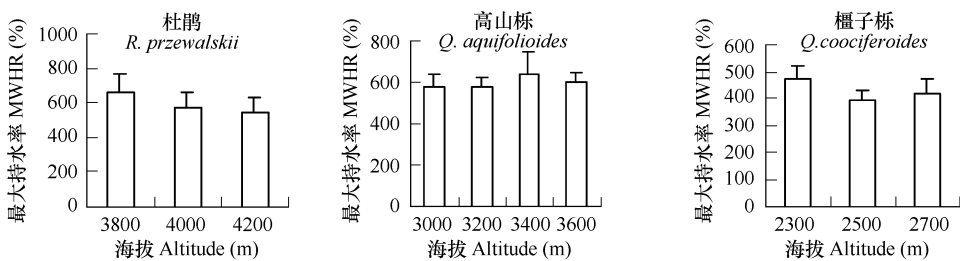


图 5 3 种灌丛的枯落物最大持水率
Fig.5 The maximal water holding rate(MWHR) of litters of three shrubs

3.3 土壤容重和持水量

从表 3 可以看出,3 种灌丛在不同海拔随土壤深度的增加,土壤容重均显著增大,最大持水量显著下降,但毛管持水量和最小持水量仅在部分类型显著下降。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。这种降低应当主要表现在容纳重力水的土壤大孔隙上,而毛管孔隙则仅在部分类型受到影响。杜鹃灌丛土壤 0~40cm 最大持水量在不同海拔间差异显著(图 6,表 2),随海拔升高而降低。高山栎和槲栎灌丛在不同海拔间差异不显著。杜鹃灌丛各海拔高度土壤 0~40cm 最大持水量平均为 2216.92 t/hm²、高山栎灌丛为 2114.87 t/hm²、槲栎灌丛为 2062.83 t/hm²。

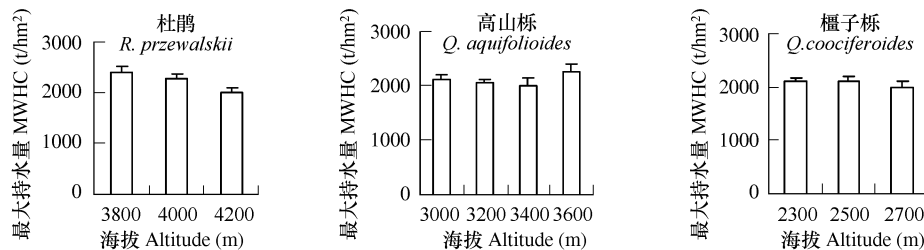


图 6 3 种灌丛土壤 0~40cm 最大持水量

Fig. 6 Maximal water holding capacity(MWHC)of soil in 0~40 cm depth of three shrubs

表 3 土壤容重、持水量及其在不同土层间差异显著性检验(*F* 值)

Table 3 Soil bulk density, water holding capacity and the difference significance check among different depth in all types (*F* value)

灌丛类型 Shrub types		A			B				C		
指标 Index	土深 Soil depth (cm)	3800 m	4000 m	4200 m	3000 m	3200 m	3400 m	3600 m	2300m	2500 m	2700 m
容重 Bulk density (g/cm ³)	0~10	0.26 ±0.10	0.63 ±0.09	0.70 ±0.10	0.44 ±0.08	0.47 ±0.11	0.55 ±0.12	0.61 ±0.14	0.53 ±0.04	0.65 ±0.06	0.74 ±0.14
	10~20	0.58 ±0.14	0.88 ±0.07	0.97 ±0.08	0.93 ±0.14	0.92 ±0.03	0.95 ±0.18	1.05 ±0.20	0.87 ±0.06	0.84 ±0.05	0.94 ±0.17
	20~30	0.74 ±0.17	1.03 ±0.11	1.14 ±0.12	0.90 ±0.06	0.94 ±0.08	1.13 ±0.10	1.25 ±0.11	1.04 ±0.03	0.90 ±0.08	1.02 ±0.10
	30~40	0.84 ±0.11	1.04 ±0.07	1.15 ±0.08	0.95 ±0.08	1.08 ±0.08	1.21 ±0.08	1.33 ±0.09	1.07 ±0.03	0.96 ±0.03	1.09 ±0.09
	<i>F</i> value	4.702 *	9.507 **	7.259 **	4.894 *	13.420 **	6.747 **	6.642 **	25.839 **	6.178 **	3.967 *
最大持水量 MWHC (g/cm ³)	0~10	0.70 ±0.02	0.60 ±0.03	0.67 ±0.03	0.64 ±0.01	0.64 ±0.04	0.64 ±0.04	0.71 ±0.04	0.57 ±0.02	0.60 ±0.03	0.61 ±0.03
	10~20	0.62 ±0.03	0.52 ±0.03	0.59 ±0.04	0.53 ±0.05	0.49 ±0.01	0.50 ±0.04	0.55 ±0.05	0.54 ±0.01	0.55 ±0.04	0.52 ±0.05
	20~30	0.56 ±0.04	0.45 ±0.04	0.51 ±0.04	0.48 ±0.02	0.50 ±0.03	0.45 ±0.03	0.51 ±0.04	0.51 ±0.02	0.51 ±0.05	0.49 ±0.03
	30~40	0.52 ±0.04	0.43 ±0.03	0.49 ±0.03	0.47 ±0.01	0.44 ±0.03	0.43 ±0.03	0.49 ±0.03	0.49 ±0.02	0.49 ±0.02	0.47 ±0.03
	<i>F</i> value	6.418 **	12.491 **	11.275 **	5.867 *	10.242 **	8.008 **	7.391 **	4.017 *	3.069 *	3.521 *
毛管持水量 CWHC (g/cm ³)	0~10	0.48 ±0.03	0.49 ±0.06	0.54 ±0.07	0.41 ±0.04	0.38 ±0.03	0.50 ±0.04	0.56 ±0.04	0.47 ±0.02	0.46 ±0.03	0.41 ±0.03
	10~20	0.46 ±0.03	0.46 ±0.03	0.52 ±0.03	0.32 ±0.05	0.32 ±0.03	0.35 ±0.02	0.40 ±0.04	0.45 ±0.02	0.44 ±0.06	0.39 ±0.04
	20~30	0.46 ±0.05	0.40 ±0.04	0.45 ±0.04	0.30 ±0.05	0.29 ±0.02	0.33 ±0.03	0.37 ±0.03	0.44 ±0.04	0.42 ±0.04	0.37 ±0.04
	30~40	0.43 ±0.03	0.36 ±0.03	0.41 ±0.04	0.31 ±0.03	0.26 ±0.03	0.31 ±0.02	0.36 ±0.02	0.45 ±0.03	0.40 ±0.03	0.34 ±0.03
	<i>F</i> value	0.388	3.559 *	3.432 *	1.059	4.003 *	12.442 **	10.073 **	0.145	1.180	0.922
最小持水量 LWHC (g/cm ³)	0~10	0.33 ±0.03	0.33 ±0.03	0.37 ±0.03	0.31 ±0.05	0.28 ±0.03	0.36 ±0.04	0.41 ±0.04	0.34 ±0.01	0.33 ±0.03	0.29 ±0.02
	10~20	0.33 ±0.03	0.34 ±0.02	0.37 ±0.03	0.23 ±0.02	0.22 ±0.03	0.26 ±0.02	0.29 ±0.03	0.32 ±0.02	0.30 ±0.05	0.25 ±0.02
	20~30	0.30 ±0.04	0.30 ±0.03	0.33 ±0.03	0.23 ±0.03	0.21 ±0.03	0.25 ±0.02	0.28 ±0.02	0.30 ±0.03	0.26 ±0.04	0.25 ±0.02
	30~40	0.30 ±0.02	0.26 ±0.03	0.29 ±0.04	0.20 ±0.05	0.19 ±0.04	0.24 ±0.01	0.27 ±0.03	0.34 ±0.03	0.27 ±0.04	0.23 ±0.02
	<i>F</i> value	0.196	3.011 *	2.981 *	0.976	1.478	5.931 **	3.260 *	0.641	0.671	2.086

CWHC: capillary water holding capacity; LWHC:Least water holding capacity; * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$

4 结论与讨论

通过对 3 种灌丛地被物及土壤持水性能的分析,可以看出,杜鹃灌丛苔藓、枯落物蓄积量及最大持水量随海拔升高而降低。这是由于杜鹃灌丛位于阴坡林线以上,随海拔进一步升高,灌丛高度降低、盖度下降(表 1),灌丛内生态环境愈加恶劣,苔藓层盖度、厚度降低,枯落物凋落量亦随之下降。高山栎灌丛苔藓蓄积量及最大持水量先随海拔升高而增加,在 3400m 处达到最大,之后又降低。这和苔藓喜阴湿环境有关,在阳坡,随海拔增高、温度降低,灌丛内生境趋于阴冷,因而苔藓先是随海拔升高而增加,但到了海拔 3600m,已开始接近阳坡林线,林内环境又趋恶劣,苔藓蓄积量反而下降。在海拔 2800m 以下的槲栎灌丛,由于该海拔已开始进入干旱河谷过渡区,灌丛内环境趋于旱化,就没有苔藓的存在。高山栎灌丛枯落物蓄积量及最大持水量随海

拔升高而降低,槲子栎灌丛则随海拔升高而升高。在川西高山峡谷地区,海拔对于水热组合的强烈影响作用到群落特征上:分布在阳坡 2800m 以下的槲子栎灌丛,随海拔降低干旱化趋势愈加显著,灌丛中美丽胡枝子、粉背黄栌、白刺花等耐旱成分逐渐增加,灌丛高度降低、枯落物减少;而在 2800m 以上的高山栎灌丛,随海拔升高温度降低,灌丛高度降低、枯落物减少;因而在这两种灌丛内枯落物与海拔的关系表现出相反的趋势。

3 种灌丛在不同海拔随土壤深度的增加,土壤容重均显著增大,最大持水量显著下降,但毛管持水量和最小持水量仅在部分类型显著下降。这与该区域各种森林土壤的特征是一致的^[16],其与土层浅薄密切相关。3 种灌丛土壤 0~40cm 最大持水量只有杜鹃灌丛随海拔升高而显著降低,其他两种不同海拔间差异不显著。这应当和杜鹃灌丛所处高海拔有关系,在林线以上,随海拔升高土壤发育停滞显著,到了 4500m 以上,基本上就是高山流石滩了。

3 种类型中,杜鹃灌丛持水性能最强,其苔藓最大持水量在不同海拔梯度间平均为 46.73 t/hm²,枯落物最大持水量平均为 139.98 t/hm²,土壤 0~40cm 最大持水量平均为 2216.92 t/hm²。高山栎灌丛这 3 个指标分别为 1.64、72.08 t/hm² 和 2114.88 t/hm²;槲子栎灌丛没有苔藓,枯落物和土壤 0~40cm 最大持水量平均值分别为 84.55 t/hm² 和 2062.83 t/hm²。

川西米亚罗林区 20 世纪 50~80 年代经历过大规模采伐,是川西林业局的重点伐区,在没有及时人工更新新的采伐迹地,在伐后的 4~10(15)a 间,是迹地群落演替的灌丛阶段,主要是悬钩子灌丛或箭竹灌丛^[17],这两类灌丛在 20 世纪 50~70 年代,曾经是米亚罗林区普遍分布的群落类型,但经过 25~50a 的演替,目前已进入阔叶林或针阔混交林阶段。只有在 20 世纪 90 年代零星采伐的部分区域,还有少量的悬钩子灌丛分布,根据以前的研究^[15],在海拔 3300m 左右的 40 度阴坡,1994 年迹地悬钩子灌丛苔藓蓄积量和最大持水量分别为 2.81 t/hm² 和 22.78 t/hm²,枯落物蓄积量和最大持水量分别为 1.60 t/hm² 和 7.51 t/hm²,土壤 0~40cm 最大持水量为 2170 t/hm²,枯落物蓄积量远比上述 3 种类型少,表现出群落处于恢复初期的特点。

References:

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] Zhao Y T, Yu X X, Zhang Z Q, et al. Study on water transport in interface of litters and moss in *Abies fabri* forest of upper reach of Yangtze River. Journal of Soil and Water Conservation, 2002, 16(3): 118~121.
- [4] Yu X X, Cheng G W, Zhao Y T, et al. Evapotranspiration calculation of dark coniferous forest ecosystem in the upper reaches of Yangtze River. Journal of Soil and Water Conservation, 2002, 16(5): 14~16.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] Liu W B. Main types of the semi-arid valley shrubs in the upper reaches of the Minjiang River. Mountain Research, 1994, 12(1): 27~31.
- [9] Liu Q, Bao W K, Qiao Y K, et al. Studies on the interspecific relationship among dominant species of the semi-arid valley shrubs in Maoxian on the upper reaches of the Minjiang River. Chinese Journal of Application and Environment Biology, 1996, 2(1): 36~42.
- [10] Liu G H, Zhang J Y, Zhang Y X, et al. Distribution regulation of aboveground biomass of three main shrub types in the dry valley of Minjiang River. Journal of Mountain Science, 2003, 21(1): 24~32.
- [11] Liu G H, Ma K M, Fu B J, et al. Aboveground biomass of main shrubs in dry valley of Minjiang River. Acta Ecologica Sinica, 2003, 23(9): 1757~1764.
- [12] Jiang Y X. Community characteristic and classification principle of alpine dark coniferous forest in Miyaluo, West Sichuan. Acta Phytocologica et Geobotanica Sinica, 1963, 1(1): 42~50.

- [13] Jiang Y X. The primary study on habitat type of alpine forest in Miyaluo and Markang, West Sichuan. *Scientia Silvae Sinicae*, 1963, 8(4) : 321 ~ 335.
- [14] Zhang Y D, Liu S R, Zhao C M. Spatial pattern of sub-alpine forest restoration in West Sichuan. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(12) : 2245 ~ 2249.
- [15] Zhang W R, Xu B T. The Method of Long-term Research on Forest Soil. Beijing: Chinese Forestry Press, 1986. 30 ~ 36.
- [16] Zhang Y D, Zhao C M, Liu S R. Woodland hydrological effects of spruce plantations and natural secondary series in sub-alpine region of Western Sichuan. *Journal of Natural Resources*, 2004, 19(6) : 713 ~ 719.
- [17] 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.

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 程金花, 张洪江, 余新晓, 等. 贡嘎山冷杉纯林地被物及土壤持水特性. *北京林业大学学报*, 2002, 24(3) : 45 ~ 49.
- [3] 赵玉涛, 余新晓, 张志强, 等. 长江上游亚高山峨眉冷杉林地被物层界面水分传输规律研究. *水土保持学报*, 2002, 16(3) : 118 ~ 121.
- [4] 余新晓, 程根伟, 赵玉涛, 等. 长江上游暗针叶林生态系统蒸散计算. *水土保持学报*, 2002, 16(5) : 14 ~ 16.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 刘文彬. 岷江上游半干旱河谷灌丛的主要类型. *山地研究*, 1994, 12(1) : 27 ~ 31.
- [9] 刘庆, 包维楷, 乔永康, 等. 岷江上游茂县半干旱河谷灌丛优势种间关系的研究. *应用与环境生物学报*, 1996, 2(1) : 36 ~ 42.
- [10] 刘国华, 张洁瑜, 张育新, 等. 岷江干旱河谷三种主要灌丛地上生物量的分布规律. *山地学报*, 2003, 21(1) : 24 ~ 32.
- [11] 刘国华, 马克明, 傅伯杰, 等. 岷江干旱河谷主要灌丛类型地上生物量研究. *生态学报*, 2003, 23(9) : 1757 ~ 1764.
- [12] 蒋有绪. 川西米亚罗高山暗针叶林的群落特点及其分类原则. *植物生态学与地植物学丛刊*, 1963, 1(1) : 42 ~ 50.
- [13] 蒋有绪. 川西米亚罗、马尔康高山林区生境类型的初步研究. *林业科学*, 1963, 8(4) : 321 ~ 335.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] 张远东, 赵常明, 刘世荣. 川西亚高山人工云杉林和自然恢复演替系列的林地水文效应. *自然资源学报*, 2004, 19(6) : 713 ~ 719.
- [17] 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.