

岷江柏林下土壤物理性质及其地理空间差异^{*}

庞学勇 包维楷^{**} 张咏梅 冷俐 袁志忠

(中国科学院成都生物研究所 成都 610041)

摘要 对现存岷江柏分布区土壤物理性质的空间差异性研究表明,土壤容重理县居群最小,最大的为茂县居群,理县居群与茂县、马尔康、丹巴居群间有显著性差异。土壤总孔隙理县居群较大,但其孔隙组成中毛管孔隙与非毛管孔隙比(CP:NCP)较小;金川、小金、马尔康和丹巴居群虽土壤总孔隙不大,但其孔隙组成较合理;茂县居群土壤总孔隙小,非毛管孔隙数量又大。土壤持水量直接与土壤孔隙状况有关,最大持水量和毛管持水量理县居群最大,茂县居群土最小,茂县居群土壤持水量与其它居群间有显著性差异。土壤自然含水量是土壤孔隙状况与持水能力的综合体现,0~20 cm层土壤自然含水量顺序为:丹巴>金川>小金>理县>马尔康>茂县,茂县居群与其它居群土壤自然含水量有显著性差异。建议在干旱河谷区实施造林规划时,选择土体较稳定、人为干扰少、种植初期有水源保障的阴坡或半阴坡。图5表3参24

关键词 岷江柏居群;土壤物理性质;地理空间差异;干旱河谷;川西

CLC S714.2(271)

GEOGRAPHICAL COMPARISON OF SOIL PHYSICAL PROPERTIES UNDER *CUPRESSUS CHENGIANA* FORESTS^{*}

PANG Xueyong, BAO Weikai^{**}, ZHANG Yongmei, LENG Li & YUAN Zhizhong

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

Abstract The study was conducted in *Cupressus chengiana* forests with relation to geographical distribution. Soil physical properties (bulk density, total porosity, capillary porosity, non-capillary moisture, maximum moisture capacity, capillary moisture capability and natural water content) were investigated and their geographical differences were compared. Soil bulk density was the highest in MX population, and the lowest in Lixian (LX) population which was significantly lower than those in Maoxian (MX), Markang (MRK) and Danba (DB) populations. Soil total porosity was biggest in LX population, but CP:NCP was lower in its porosity composition; soil total porosity in Jingchuan (JC), Xiaojing (XJ), MRK and DB populations were lower than that in LX population, but the capillary porosity was main in their porosity composition; soil total porosity was lowest in MX population and CP:NCP was high. Soil moisture capacity was controlled by soil porosity condition. Soil maximum moisture capacity and capillary moisture capacity was biggest in LX population and lowest in MX population, and soil moisture capacity in MX population was significantly low than that in other populations. Soil natural water content was synthetical embodiment of soil porosity condition and soil moisture capacity. Topsoil (0~20 cm) natural water content in *C. chengiana* forest in different geographical populations showed the order, DB>JC>XJ>LX>MRK>MX, and soil natural water content in MX population was significantly low than that in other population. It is suggested that lunar slope or semi-lunar slope, with less human-induced and stable soil structure, should be selected when afforestation layout was carried out in dry and drought valley to ensure enough moisture at plantation initial stages. Fig 5, Tab 3, Ref 24

Keywords *Cupressus chengiana*; soil physical properties; geographical spatial difference; dry and drought valley; western Sichuan

CLC S714.2(271)

岷江柏(*Cupressus chengiana*)是我国珍稀濒危、单型属子

遗种和川甘区域局地特有种,主要分布于四川西北部岷江上游的茂县、理县,大渡河上游的马尔康、金川、小金、丹巴及白龙江上游的南坪等地的干旱河谷地带;其独有耐寒、耐旱、根深的生物学特性,能适应干旱贫瘠的恶劣环境,具有良好的水土保持和水源涵养功能,一直是高山峡谷地区干旱河谷段水土保持和荒山造林的重要树种之一;其自然分布地段大都接近谷底,交通方便,离居民点近,长期受人为活动破坏,现存不多^[1,2];若不采取积极有效的保护措施,该种群有灭绝的可能。有关岷江柏及其林分的研究主要基于20世纪60~80年代所获得的调

收稿日期:2003-09-17 接收日期:2003-11-06

^{*} 中国科学院方向性(KSCX2-SW-104)、中国科学院知识创新工程重大项目(KSCX1-07-02)和"十五"国家重大科技攻关项目(2001BA606A-05)项目资助 Supported by the Oriented Project (KSCX2-SW-104) and the Knowledge Innovation Project of the Chinese Academy of Sciences(KSCX1-07-02), and the key project of state 10th "5-year-plan" of China(2001BA606A-05)

^{**} 通讯作者 Corresponding author (Tel: 028-85231656; E-mail: Baowk@cib.ac.cn)

查资料,开展过岷江柏分布、分类学、群落和林分特征、林木生长过程等的初步研究^[2-4],并被后来的许多作者引用^[5-7].随后未见任何对岷江柏继续调查与深入研究的报道,而有关岷江柏土壤环境条件则一直缺乏必要的研究.

良好性状的森林土壤应具有接收、容纳、供应水分和养分,促进气体交换,提高土壤生物活性以及对碳的供给能力,而所有这些性质都是以土壤物理性质和过程为基础的^[8].然而土壤物理性质对管理措施和人为干扰反应程度各异,有些反应极其敏感,如土壤容重、孔隙度和持水状况等,而有些却极具忍耐性,如土壤质地和土壤厚度等,在短时间内改变较少^[9,10].在景观不同的位置,因为地形等环境因子的影响,诸如土壤发生、形成、迁移、沉积、风化、分解等物理化学过程都存在很大的差异,造成土壤物理性质的空间差异^[11-18].近年来,土壤物理性质的空间差异性以及与植被状况的关系已成为国际上的研究热点之一.2002年,我们对大渡河上游及其支流和岷江上游及其支流7个县的岷江柏分布区进行了综合考察.在进行岷江柏群落调查的同时,也对岷江柏林下土壤进行了实地调查,选择测定了林下主要土壤理化指标.本文的主要目的是:1)阐述岷江柏林下土壤的主要物理性状及其特点;2)比较不同区域岷江柏

林下土壤物理性状,阐明现存岷江柏林下土壤物理指标的空间差异性;3)探讨土壤理化性质间的关系以及与植被、气候、干扰等的相互关系,为人工促进岷江柏更新与种群恢复重建以及合理的保护措施制定提供理论依据.

1 研究区概况和研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于长江上游的岷江上游及其支流杂古脑河、大渡河上游及其支流小金河、抚边河、足木足河等流域的干旱河谷地段,山体中下部的阳坡、半阳坡和半阴坡,海拔1 200~2 900 m,山之下部常受干风影响,所以气候干暖.岷江柏各地理分布区气候状况见表1.分布区内,山势陡峻,土层通常浅薄,有的地方基岩裸露.土壤为花岗岩、片麻岩、石英砂岩等坡积母质上发育的典型褐土和碳酸岩褐土.地表有较薄的枯枝落叶层.土体中碎石、砾石含量较多,土壤呈块状或核状结构,心土层有碳酸盐反应.中部土层有粘化现象,表土层微酸性或中性反应,心土层和底土层弱碱性或碱性反应.盐基饱和度以表土层最高,心土层次之,底土层最低.

Table 1 The climate factors of <i>C. chengiana</i> forest in different geographical populations(1959~1986) ^①							
地点 Site *	$\theta/^{\circ}\text{C}$		降水量 Rainfall (h/mm)			蒸发量 Evaporation (h/mm)	辐射总量 Amount of radiation ($\text{H}/10^8\text{J m}^{-2}$)
	年均温 Annual average	1月 Jan.	7月 July	全年 All year	5~9月占全年百分比 Ratio of May~Sept. to all year (r/%)		
MX	11.0	0.6	20.5	492.7	76.6	1113.02	42.26
LX	11.3	0.6	20.5	590.6	69.4	921.12	45.32
MRK	8.7	-0.8	16.4	760.9	80.3	892.89	54.39
XJ	12.0	2.2	19.9	613.9	78.0	1182.19	55.33
JC	12.8	2.5	20.7	616.2	82.0	932.81	51.44
DB	14.2	4.4	22.2	593.9	83.0	1441.39	53.49

* MX:茂县 Maoxian county; LX:理县 Lixian county; MRK:马尔康 Markang; JC:金川 Jinchuan county; XJ:小金 Xiaojin county; DB:丹巴 Danba county. 下同 The same below

1.2 研究内容和方法

1.2.1 样地选择 在岷江柏分布区的茂县、理县、马尔康、金川、小金和丹巴等地,全面调查岷江柏的分布现状与存在的区域环境背景(如海拔高度、坡向、坡度等)的基础上,根据各县内岷江柏现有分布的实际状况,选择典型样方,其分布图见图1,对各县区域内岷江柏生长的立地特征、密度、平均高度和种群特征(植物组成、林分郁闭度等)进行了全面调查.由于岷江柏在各县境内集中分布的面积各异,茂县境内破坏最大,现保存完整的分布区不足1 hm²,马尔康境内设有岷江柏专门的保护区,总面积达2.27×10⁴ hm²,群落保存较完好,有部分原始林存在.各县内样方调查数和土壤剖面采集数也是根据岷江柏实际分布面积大小而定.各调查岷江柏分布区域基本情况见表2.

1.2.2 土壤样品采集及测定方法 土壤采样和野外测定均在选择的样地内布设标准样方,在每个标准样地内随机布设2个剖面,共调查了27个剖面;分0~20 cm、20~40 cm和40~60 cm层采环刀样和用于室内分析的土样.环刀样重复2次,用于测定土壤容重、土壤持水性,室内分析土样用于测定土壤有机质等肥力因子.有机质测定用重铬酸钾法^[19],土壤容重、持水

量、孔隙度等水分物理性质用环刀一次取样连续测定^[20].



图1 岷江柏不同地理居群土壤采样点分布图
Fig.1 The map of soil sampling plots distribution in different geographical populations

①四川农业大学课题组.四川省土地生产潜力和人口承载力,1992

表2 岷江柏不同地理居群立地因子概况
Table 2 Outline of *C. chengiana* forest in different geographical populations

地点 Site	h_{alt}/m	坡向($^{\circ}$) Exposure	坡度($^{\circ}$) Slope	坡位 Slope position	密度(n/hm^{-2}) Density	h_{av}/m	d/cm	郁闭度 Conopy
MX	1685 ~ 1730	NE11 ~ NW6	35 ~ 37.5	中上部 Middle - upper	2125	3.10	4.00	0.35
LX	1910 ~ 2060	NE19 ~ NW61	40 ~ 42	中下部 Middle - lower	836	5.03	11.02	0.48
MRK	1920 ~ 2560	SW40 ~ NE46	23 ~ 38	中下部 Middle - lower	1515	5.15	8.71	0.53
XJ	2310 ~ 2485	NE5 ~ NW64	34 ~ 45	下部 Lower	5050	3.78	5.32	0.58
JC	2260 ~ 2420	SE64 ~ NW45	30 ~ 32	中下部 Middle - lower	1375	6.47	10.05	0.57
DB	2310	NE28	33 ~ 35	中下 Middle - lower	2438	8.35	8.97	0.58

1.2.3 数据处理 数据处理时,以县为地理居群单位(理县、金川、小金、马尔康、茂县、丹巴)分析同一居群下土壤剖面上下层间,不同地理居群同一土壤层间土壤物理指标间的差异,差异性检验均用 SPSS11.0 软件进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 土壤容重

岷江柏林下土壤容重均较小(图2),0~20 cm、20~40 cm 和 40~60 cm 层的变化范围分别为 0.87~1.13 g/cm³、0.86~1.32 g/cm³ 和 0.84~1.38 g/cm³,平均值分别为(0.99±0.15) g/cm³、(1.06±0.18) g/cm³ 和(1.23±0.15) g/cm³。从林下土壤剖面差异来看,除理县居群各土层间差别微小外,其它居群剖面各层间差异显著,均表现出表层小于下层土。从地理空间来看,各岷江柏居群之间,0~20 cm 层土壤容重理县居群最低,其次为小金、金川、马尔康、丹巴,最大的为茂县居群,理县居群与茂县、马尔康、丹巴居群间有显著性差异($P<0.05$);20~40 cm 层土壤容重仍以理县居群最低,最大的为茂县居群,理县居群土壤容重与茂县和马尔康居群呈显著性差异($P<0.05$),其它各居群之间无显著性差异;40~60 cm 层土壤容重与 20~40 cm 层土壤容重相似。

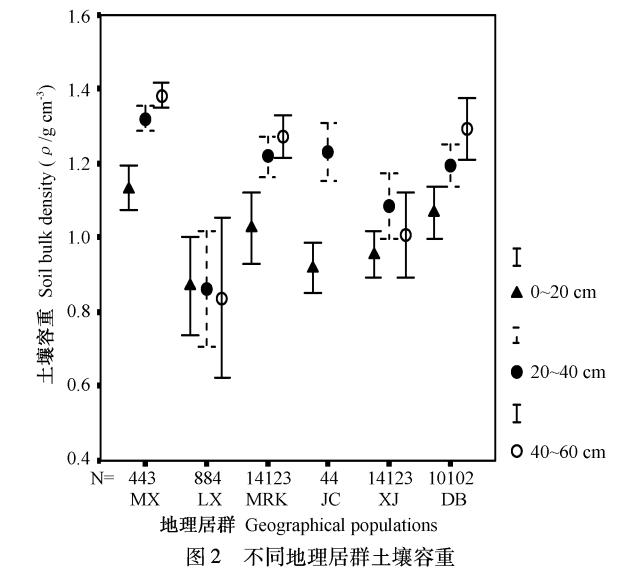


图2 不同地理居群土壤容重
Fig.2 Soil bulk density under different *C. chengiana* geographical populations

2.2 土壤孔隙性

2.2.1 土壤总孔隙 土壤孔隙的大小、数量及分布是土壤物理性质的基础,也是评价土壤结构特征的重要指标。图 3a 表明,岷江柏林下土壤总孔隙,0~20 cm、20~40 cm 和 40~60

cm 层的变化范围分别为 57.25%~67.10%、50.12%~67.44% 和 47.78%~68.34%,其平均值分别为 62.54%±5.89%、57.35%±6.99% 和 57.19%±9.23%。从林下土壤剖面差异来看,除理县居群土壤总孔隙有微小差别外,其它居群均表现出表层大于底土层,且茂县、马尔康、金川和丹巴居群上下层之间土壤总孔隙表现出显著性差异($P<0.05$)。从地理空间差异来看,不同岷江柏地理居群之间土壤总孔隙也表现出不同的差异,0~20 cm 层土壤总孔隙理县居群最大,其次依次为金川、小金、马尔康和丹巴,茂县最小,此层次茂县居群与其它居群土壤总孔隙有显著性差异($P<0.05$);20~40 cm 层和 40~60 cm 层土壤总孔隙与 0~20 cm 层有相似的趋势。

2.2.2 土壤毛管孔隙和非毛管孔隙 毛管孔隙具有毛管作用,而且孔隙中水的毛管传导率大,易于被植物吸收利用。图 3b 表明,岷江柏林下土壤毛管持水量,0~20 cm、20~40 cm 和 40~60 cm 层的变化范围分别为 31.41%~46.86%、33.01%~41.41% 和 31.98%~40.82%,平均值分别为 42.52%±7.81%、40.12%±6.78% 和 37.56%±6.26%。从林下土壤剖面差异来看,除茂县居群外,其它岷江柏居群土壤毛管孔隙均为表层大于底土层,理县、金川和丹巴居群上下层之间土壤毛管孔隙表现出显著性差异($P<0.05$)。从地理空间差异来看,0~20 cm 层土壤毛管孔隙丹巴、小金和理县居群其绝对值较大,茂县最小,它们之间有显著性差异($P<0.05$);20~40 cm 层和 40~60 cm 层土壤毛管孔隙各居群之间无显著性差异。

非毛管孔隙比较粗大,其孔隙中的水分,可在重力作用下排出,它一方面反映土壤的通气状况,另一方面在下雨时,通气孔发达的土壤可以大量吸收雨水,使之不造成地表径流。图 3c 可见,岷江柏各居群非毛管孔隙较小,0~20 cm、20~40 cm 和 40~60 cm 层的变化范围分别为 12.84%~26.08%、12.65%~27.65% 和 7.76%~33.75%,其平均值分别为 20.03%±9.17%、17.07%±9.50% 和 19.79%±14.74%。从林下土壤剖面差异来看,茂县、马尔康和金川居群非毛管孔隙上层大于下层,其它各居群表现出下层大于上层,茂县、理县、马尔康和金川土壤上下层间非毛管孔隙表现出显著性差异($P<0.05$)。从地理空间差异来看,0~20 cm 层土壤非毛管孔隙茂县和金川居群绝对值较大,丹巴最小,它们之间表现出显著性差异($P<0.05$);20~40 cm 和 40~60 cm 层土壤非毛管孔隙理县、金川和小金较大,茂县、马尔康和丹巴居群较小,它们之间有显著性差异($P<0.05$)。

从土壤孔隙组成上看,岷江柏各居群土壤孔隙以毛管孔隙为主,它们的关系可以用毛管孔隙与非毛管孔隙的数量比例(CP:NCP)来表示,理县岷江柏居群土壤总孔隙绝对数量大,但其 CP:NCP 值小,表明土壤孔隙中非毛管孔隙数量大,可能

与土壤中石砾含量多,质地较粗有关,不利于土壤纳水保肥,可以从土壤中水占孔隙少,仅多于茂县居群得到证明(图3d)。丹巴、金川和小金岷江柏居群土壤 CP : CNP 值大,土壤孔隙以毛

管孔隙为主,虽其土壤总孔隙绝对数量不大,但其保水保肥能力仍较强,图3d表明,土壤 CP : CNP 较大的丹巴、金川和小金岷江柏居群,自然条件下水占孔隙也较大。

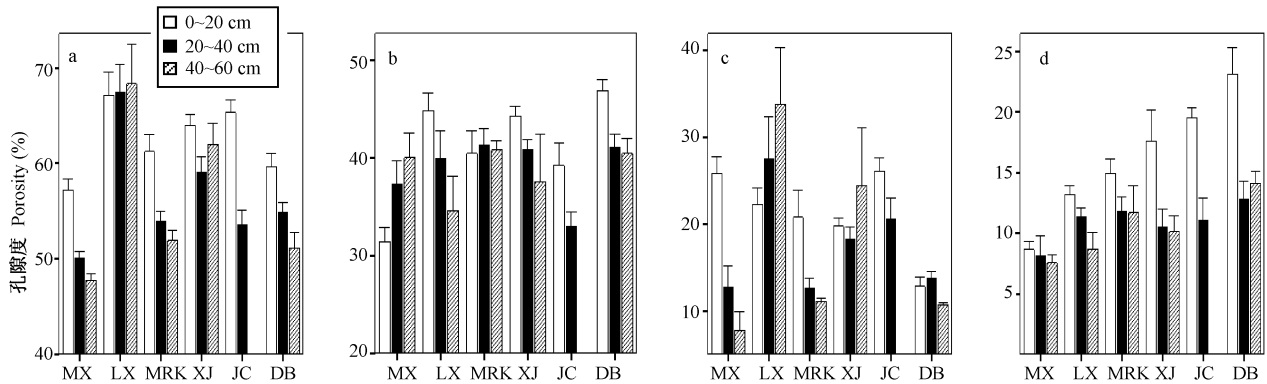


图3 岷江柏不同地理居群土壤总孔隙(a)、毛管孔隙(b)、非毛管孔隙(c)及水占孔隙度(d)比较
Fig. 3 Soil total porosity(a), capillary porosity(b), non-capillary porosity(c) and the ratio of natural moisture to total porosity(d) under different *C. chengiana* geographical populations

2.3 土壤持水状况

2.3.1 土壤最大持水量 土壤持水供水能力是土壤团聚体、土壤孔隙状况和土壤颗粒组成的综合反映,土壤最大持水量直接决定于土壤总孔隙大小。图4a表明,岷江柏林下土壤最大持水量变化较大,0~20 cm、20~40 cm和40~60 cm层的变化范围分别为38.09%~70.56%、35.99%~61.61%和35.53%~57.49%,其平均值分别为 $57.16\% \pm 14.88\%$ 、 $45.86\% \pm 10.56\%$ 和 $44.14\% \pm 10.84\%$ 。从林下土壤剖面差异来看,土壤最大持水量均为表层大于底层,且马尔康、金川、小金和丹巴居群上下层之间土壤最大持水量表现出显著性差异($P < 0.05$)。从地理空间差异来看,其总体趋势与土壤总孔隙一致,0~20 cm层土壤最大持水量理县居群最大,其次依次为小金、金川、马尔康和丹巴,茂县最小,此层次茂县居群与其它居群土壤最大持水量有显著性差异($P < 0.05$);20~40 cm层和40~60 cm层土壤最大持水量与0~20 cm层趋势相似,理县居群与其它居群土壤最大持水量有显著性差异($P < 0.05$)。茂县居群土壤最大持水量小主要与其所处海拔低、受人为干扰强烈,植被破坏严重,林地有机物少,造成土壤总孔隙降低,容纳水分的空间小有关;理县居群土壤最大持水量大主要与该岷江柏居群生长在地势较陡的山体中下部(表2),土体疏松,土壤非毛管孔隙大,是可能导致该居群土壤最大持水量大的主要原因。

2.3.2 土壤毛管持水量和非毛管持水量 图4b表明,岷江柏土壤毛管持水量与土壤最大持水量趋势一致,0~20 cm、20~40 cm和40~60 cm层的变化范围分别为27.75%~54.33%、28.27%~46.83%和28.97%~41.45%,其平均值分别为 $44.11\% \pm 12.06\%$ 、 $36.48\% \pm 8.89\%$ 和 $34.19\% \pm 6.20\%$ 。从林下土壤剖面差异来看,除茂县居群有微小差别外,其它岷江柏居群土壤毛管持水量表层大于底层,且理县、金川、小金和丹巴居群上下层之间土壤最大持水量表现出显著性差异($P < 0.05$)。从地理空间差异来看,不同居群间土壤毛管持水量各层差异与岷江柏各居群间最大持水量有相似的特点,0~20 cm层土壤最大持水量理县居群最大,其次依次为小金、金川、马尔康

和丹巴,茂县最小,此层次茂县居群与其它居群土壤毛管持水量表现出显著性差异($P < 0.05$);20~40 cm层和40~60 cm层土壤毛管持水量与0~20 cm层趋势相似,理县居群与茂县、马尔康居群土壤毛管持水量有显著性差异($P < 0.05$)。

不同岷江柏居群土壤非毛管持水量有较大差异(图4c),各居群土壤非毛管孔持水量表层大于底层,马尔康、金川和小金居群土壤非毛管孔持水量土壤上下层之间有显著性差异($P < 0.05$)。各居群间,0~20 cm层土壤非毛管持水量理县、小金和金川居群较大,与丹巴居群有显著性差异($P < 0.05$);20~40 cm层理县居群较大,与其它居群间有显著性差异($P < 0.05$);40~60 cm层理县居群虽其绝对值较大,但其居群内变异也大,与其它居群间无显著性差异。

2.3.3 土壤自然含水量 土壤自然含水量能较好地反映土壤水分和林内湿润状况,是土壤孔隙状况与持水能力的综合体现,并影响到凋落物分解与土壤表层的物质和能量及其土壤盐基养分的淋溶。图4d可见,岷江柏林下土壤自然含水量,0~20 cm、20~40 cm和40~60 cm层的变化范围分别为7.70%~21.90%、6.18%~14.55%和5.46%~11.93%,其平均值分别为 $17.19\% \pm 7.29\%$ 、 $10.42\% \pm 5.04\%$ 和 $9.68\% \pm 4.01\%$ 。从林下土壤剖面差异来看,岷江柏各地理居群土壤自然含水量均为表土层大于底层,且马尔康、金川、小金和丹巴居群上下层之间土壤自然含水量有显著性差异($P < 0.05$)。从地理空间差异来看,0~20 cm层土壤自然水量顺序为:丹巴>金川>小金>理县>马尔康>茂县,茂县居群与其它居群土壤自然含水量有显著性差异($P < 0.05$),马尔康、理县居群与金川和丹巴居群间有显著性差异($P < 0.05$);20~40 cm层自然含水量理县居群最大,与其它居群间有显著性差异($P < 0.05$),其它居群间无显著性差异;40~60 cm层土壤自然含水量各居群间无显著性差异。另外,各岷江柏居群土壤自然含水量与土壤最大持水量、毛管持水量和非毛管持水量相关系数分别为:0.544、0.476和0.387,都达到极显著水平,从相关系数大小看,各林地自然含水量的大小主要取决于最大持水量,即与总孔隙有关。

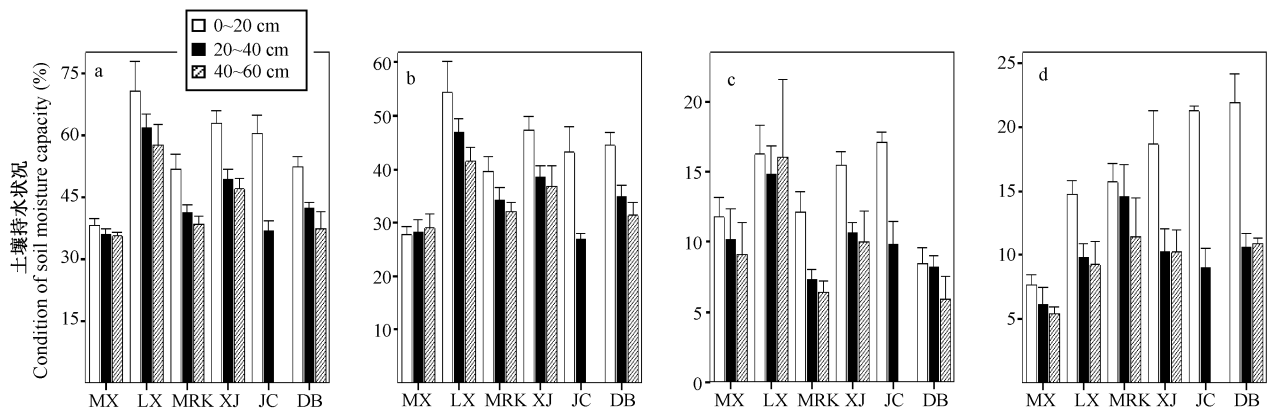


图4 岷江柏不同地理居群土壤最大持水量(a)、毛管持水量(b)、非毛管持水量(c)及自然含水量(d)比较

Fig. 4 Soil maximum moisture capacity(a), capillary moisture capacity(b), non-capillary moisture capacity(c) and content of natural moisture(d) under different *C. chengiana* geographical populations

3 结论与讨论

3.1 土壤物理性质各指标的相关性及其对岷江柏更新的影响

土壤容重的差异一部分由于有机质差异所致,从表3可见,土壤容重与有机质的含量呈极显著的负相关($r = -0.621^{**}$),土壤中有有机质主要来源于凋落物分解。在森林生态系统中,凋落物作为联系地上植被与土壤的中间载体,是森林土壤有机质和养分的主要补给者,在维持土壤肥力、促进森林生态系统正常的生物循环、养分平衡和土壤物理结构等方面起着重要作用。不同地理居群之间土壤有机质对土壤容重的作用是不同的,它们之间的关系可以通过线性回归曲线拟合,斜率绝对值越大,表明有机质对土壤容重影响越强烈,从图5可见,马尔康岷江柏居群土壤有机质对土壤容重的影响最大,理县居群最小,其它居群位于中间。

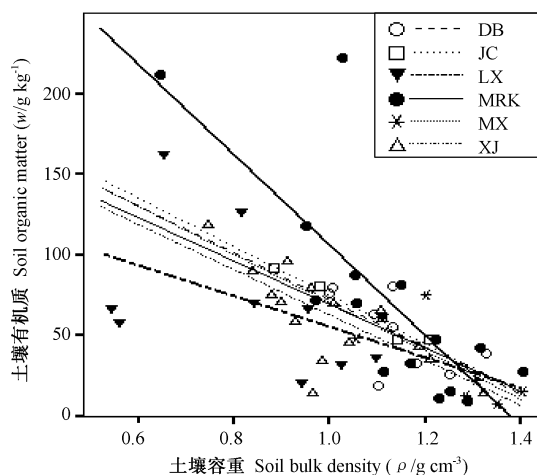


图5 不同地理居群岷江柏林下土壤有机质和容重的关系

Fig. 5 Relations of soil bulk density and organic matter under different *C. chengiana* geographical populations

从以上分析可知,理县岷江柏居群土壤容重最小,但有机质对其的作用又最小,说明该居群土壤容重不光受土壤有机质的影响。通过野外调查发现,该岷江柏居群生长在地势较陡的山体中下部(表2),土体不稳定,多石砾,常有复土现象,土壤结构发育不完整,是可能导致该居群土壤容重小的原因。茂县

岷江柏居群土壤容重最大,除有机质对其有一定的影响外,与其地处海拔低,离居民点近,林分郁闭度较小、林龄小、人为干扰强烈有关。马尔康岷江柏居群土壤容重受有机质影响较大,与当地部分是原始林,大多数调查样方林龄较大,有机质积累时间长,人为干扰很少,植被对土壤的生物作用时间较长有关。

另外,从表3可以看出,土壤容重与土壤孔隙性和土壤持水特性呈极显著的负相关,说明土壤总孔隙、毛管孔隙和非毛管孔隙直接决定于土壤容重,间接受土壤有机质的影响。相关研究表明^[21],土壤矿质颗粒经腐殖质胶结团聚形成微团聚体,团聚次数越多,土壤容重越小,土壤总孔隙就越大,土壤孔隙的大小又是土壤持水供水能力的基础,故土壤持水状况受土壤容重和有机质的影响。

岷江柏是干旱河谷区唯一能天然成林的树种,其林下自然更新情况,一方面决定于自身的抗旱、耐寒等生物特性,另一方面现存天然岷江柏居群的土壤环境状况对其有明显的影。通过野外调查发现,在土壤水分状况好,物理性质较好的马尔康、金川和小金等岷江柏居群,林下自然更新好,而在茂县、理县等居群,土体不稳定,土壤中石砾含量多,土壤受人为干扰强烈,林下更新较差,更应对这些干扰强烈的岷江柏居群加以保护。

3.2 岷江柏林下土壤物理性质空间差异原因探讨

岷江柏生长环境恶劣,分布在山地植被垂直带谱的最下方,离居民点近,受人为干扰强烈,故土壤物理性质空间差异是植被状况、保护管理措施和人为干扰状况等多种原因造成的。

3.2.1 植被状况 土壤作为植被生长的重要环境条件,一方面与自然风化条件有关,另一方面与植被的生物作用有关^[22,23],在同一区域自然条件基本相同的情况下,其差异主要体现在植被的生物作用上。岷江柏分布区生态环境极度恶劣,植物的生长好坏直接关系到土壤环境状况,理县岷江柏居群,由于地势较陡的山体中下部,土体不稳定,多石砾,常有复土现象,土壤结构发育不完整,生物作用时间较短,土壤环境差;马尔康、金川、小金等居群,岷江柏个体大,有部分原始林存在(表2),生物作用时间长,土壤条件好;茂县居群地处海拔低,离民点近,岷江柏受到砍柴,修枝等破坏,植被个体小,改善土壤性状能力弱,土壤物理性质差。

3.2.2 地形条件 地形特征是通过影响山体物质的稳定性间接影响土壤物理性质。从表2可见,马尔康岷江柏分布区域

表 3 岷江柏林下土壤性质的相关系数 (N = 62)
Table 3 Correlative coefficient of soil properties under *C. chengiana* forests

指标 Index	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀
有机质 OM (X ₁)	-0.621 **	0.604 **	-0.053	0.473 **	0.173	0.449 **	0.378 **	0.376 **	0.361 **
容重 Bulk density (X ₂)	1	-0.921 **	-0.54 **	-0.687 **	-0.188 *	-0.816 **	-0.723 **	-0.607 **	-0.540 **
总孔隙 Total porosity (X ₃)		1	0.064	0.701 **	0.192 *	0.843 **	0.742 **	0.616 **	0.540 **
毛管孔隙 Capillary porosity (X ₄)			1	-0.688 **	0.264 *	0.488 **	0.696 **	-0.186 *	0.190 *
非毛管孔隙 Non-capillary porosity (X ₅)				1	-0.056	0.238 *	0.019	0.578 **	0.254 *
水占孔隙 Ratio of natural moisture to total porosity (X ₆)					1	0.278 *	0.261 *	0.128	0.911 **
饱和水含量 Maximum moisture capacity (X ₇)						1	0.936 **	0.648 **	0.544 **
毛管水含量 Capillary moisture capacity (X ₈)							1	0.352 **	0.476 **
非毛管水含量 Non-capillary moisture capacity (X ₉)								1	0.387 **
自然含水量 Content of natural water (X ₁₀)									1

度最小 (23° ~ 38°), 而理县岷江柏分布区坡度最高 (40° ~ 42°), 茂县岷江柏分布区其坡度也很陡 (35° ~ 37.5°). 在地势陡峭的岷江柏分布区, 土体不稳定, 多石砾, 常有复土现象, 土壤稳定性差, 土壤结构发育不完整, 生物作用时间较短, 土壤有机质含量低, 由于土壤有机质与土壤容重呈显著负相关 (表 3), 因此土壤容重增大, 进而影响到土壤孔隙和土壤持水性能. 同时, 在坡度大的地段, 水土流失强烈, 土壤粘粒和细土部分流失, 影响土壤团粒结构形成.

3.2.3 人为干扰 岷江上游山地生态系统的退化是系统自身的脆弱性和不稳定性与外在的人为干扰综合作用的结果, 人为干扰活动是生态环境退化的驱动力和外因^[24]. 人为干扰如过度放牧、牛羊践踏、修枝、伐薪及收集林下凋落物积肥等对土壤物理性质有显著性影响, 随着干扰强度的增加, 土壤表层孔隙度减小, 尤其是大孔隙明显减少; 土壤有效水降低, 持水供水能力减弱, 渗透系数减小^[21]. 茂县岷江柏居群土壤物理性质差主要与地处海拔低, 离民点近, 岷江柏受到砍柴、修枝等强烈破坏, 植被个体小, 加上牛羊放牧等活动的影响, 土壤变得紧实、孔隙小, 持水能力差.

3.2.4 管理保护措施 保护管理措施也是影响土壤物理性质的一个重要原因. 马尔康岷江柏居群土壤物理性质较好, 与当地保护措施好不无关系. 当地政府正在积极筹备岷江柏自然保护区, 老百姓积极配合, 有相当部分岷江柏原始林存在, 植被对土壤的生物作用时间较长. 鉴于此, 为促进岷江柏自然更新, 除加强保护, 减少人为干扰外, 在有水源保障的阴坡或半阴坡, 实施人为造林也是十分必要的.

References

1 四川森林编辑委员会. 四川森林. 北京: 中国林业出版社, 1990
2 四川植被协作组. 四川植被. 成都: 四川人民出版社. 1980
3 中国科学院植物研究所主编. 中国高等植物图鉴 (第一册). 北京: 科学出版社, 1980
4 傅立国, 陈潭清, 郎楷永, 洪涛. 中国高等植物 (第三册). 青岛: 青岛出版社, 2000
5 傅立国. 中国植物红皮书——稀有濒危植物 (第一册). 北京: 科学出版社, 1992
6 高宝莼. 四川珍稀濒危植物. 第 1 卷. 成都: 四川民族出版社, 1989
7 刘庆. 亚高山针叶林生态学研究. 成都: 四川大学出版社, 2002
8 Burger JA, Kelting DL. Using soil quality indicators to assess forest stand management. *For Ecol Manag*, 1999, **122**: 155 ~ 156
9 Doran JW, Parkin TB. Defining and assessing soil quality. In: Doran JW, et al eds. Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. *Soil Sci Soc Am*, 1994, **35**: 3 ~ 21
10 Powers RF, Tiarks AE, Boyle JR. Assessing soil quality: practicable

standards for sustainable forest productivity in the United States. In: Adams MB, Ramakrishna K, Davidson EA eds. The Contribution of Soil Science to the Development and Implementation of Criterion and Indicators of Sustainable Forest Management. *Soil Sci Soc Am*, 1998, **53**: 53 ~ 80
11 Qiu Y (邱扬), Fu BJ (傅伯杰), Wang J (王军), Chen LD (陈利顶). Variability of the soil physical properties on the loess plateau. *Acta Geogr Sin* (地理学报), 2002, **57** (5): 587 ~ 594
12 Hartemink AE. Soil chemical and physical properties as indicators of sustainable land management under sugar cane in Papua New Guinea. *Geoderma*, 1998, **85**: 283 ~ 306
13 Li HB (李哈尔滨). Theory and methodology of spatial heterogeneity quantification. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 1998, **9** (6): 651 ~ 657
14 Qiu Y (邱扬), Fu BJ (傅伯杰), Wang J (王军). Spatial heterogeneity of soil moisture content on the loess Plateau, China and its relation to influencing factors. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 2001, **12** (5): 715 ~ 720
15 Webster R. Quantitative spatial analysis of soil in the field. *Adv Soil Sci*, 1985, **3**: 1 ~ 7
16 Martinez - Mena M, Williams AG, Terman JL, Fitzjohn C. Role of antecedent soil water content on aggregates stability in a semi - arid environment. *Soil & Till Res*, 1998, **48**: 71 ~ 80
17 Keck TJ, Quimby WF, Nielsen GA. Spatial distribution of soil attributes on reconstructed mine soils. *Soil Sci Soc Am J*, 1993, **57**: 782 ~ 786
18 Qiu Y (邱扬), Fu BJ (傅伯杰), Wang Y (王勇). Spatiotemporal variation in soil erosion and its relation to the environmental factors. *J Soil Water Conserv* (水土保持学报), 2002, **16** (1): 101 ~ 106
19 Nanjing Institute of Soil Science, CAS (中国科学院南京土壤研究所). Physical and Chemical analysis of soil. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1978
20 Zhang WR (张万儒), Xu BT (许本彤). Located methodology of forest soil. Beijing: Published by China Forestry Publishing House, 1986
21 Pang XY (庞学勇), Liu Q (刘庆), Liu SQ (刘世全), Wu Y (吴彦), Lin B (林波), He H (何海). Effect of human - induced disturbance on soil physical properties of subalpine coniferous forests in western Sichuan. *Chin J Appl Environ Biol* (应用与环境生物学报), 2002, **8** (6): 583 ~ 587
22 Odum EP. The strategy of ecosystem development. *Science*, 1969, **164**: 262 ~ 270
23 Zhang QF (张庆费), Song YK (宋永昌), You WH (由文辉). Relationship between plant community secondary succession and soil fertility in Tiantong, Zhejiang province. *Acta Ecol Sin* (生态学报), 1999, **19** (2): 174 ~ 178
24 Bao WK (包维楷), Liu ZG (刘照光). Human - induced disturbance regime in the dagou valley in the upper reaches of the Mingjiang River. *Chin J Appl Environ Biol* (应用与环境生物学报), 1999, **5** (3): 233 ~ 239