

岷江上游干旱河谷区阳坡土壤性质空间分异特征

唐家良, 周麟*, 罗贵生, 王士革, 王道杰

(中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041)

摘要: 通过现场调查取样和室内理化试验, 定量分析了岷江上游干旱河谷区阳坡土壤性质的空间变异特征, 结合已有植被格局进行了区域土壤植被系统综合分析。研究结果表明: 岷江上游干旱河谷区阳坡表层土壤粘粒含量极低, $> 0.25\text{ mm}$ 颗粒占 45.2%; 土壤微团聚体中表层 $< 0.002\text{ mm}$ 的部分存在向下淀积或流失现象; pH 值偏高, 土壤 N、P 养分处于缺乏状态, 且有效养分含量极低, 土壤肥力水平低; 土壤性质水平分异图显示: 坡上部的疏林地土壤肥力高于其他土地利用地块, 相对新植林地而言, 靠近阴坡的疏林地植被恢复潜力更大。

关键词: 岷江上游干旱河谷; 土壤退化; 空间分异; 土壤肥力; 植被恢复

中图分类号: S157, S158

文献标识码: A

岷江是长江上游的重要支流之一, 其上游干流长 341 km, 流域面积 $23\,037\text{ km}^2$, 是成都平原乃至长江中下游的生态屏障。同时, 岷江上游地区还是藏、羌、回等少数民族的主要聚居地。岷江上游地质条件复杂, 断裂发育, 谷坡陡峻, 山峦高耸, 山体破碎, 植被稀疏。因为缺少水源的涵养和水电站等工程施工的影响, 岷江两岸环境显得格外脆弱, 地震、滑坡、崩塌、泥石流等山地地质灾害频频发生。近代人类大规模的非持续经营活动如森林超载砍伐、陡坡开垦、土地过度利用等人为干扰强度长期超过系统自身脆弱性所决定的抗性限度, 使退化的潜在威胁转化成了严重退化的现实^[1]。尽管岷江上游地区降雨量可达 400 mm 以上, 但区域内河谷地带 (海拔 1 300~2 000 m) 由于山峦阻隔和焚风效应, 形成明显的干燥谷坡, 生态系统却十分脆弱, 水土流失严重, 形成岷江上游干旱河谷, 面积约为 $210\text{ km}^{2[2]}$ 。干旱河谷系统是其自身脆弱性和不稳定性与外在的人为干扰综合作用的结果^[3]。

20 世纪 50 年代以来, 林业工作者一直在岷江

上游进行造林和植被恢复工作^[4], 而土壤环境条件恶劣 (水分不足和养分贫乏) 是该区植被恢复的关键障碍。该区域干旱河谷内阴坡林木相对茂密, 林木郁闭度可达 90% 以上, 而阳坡呈现植被生长缓慢、矮化等特征, 不能达到水土保持和恢复植被的目的。针对土壤水分的调查研究显示, 阳坡土壤有效含水量低, 且持续时间短, 涵养水源的能力较低^[5]。迄今为止, 岷江上游干旱河谷区土壤理化性质的监测研究还较缺乏。土壤养分和其他理化性质是限制阳坡植被生长的因子; 土壤养分在阳坡坡面的空间变化可能也受到植被空间分布格局的影响。本研究就此展开调查, 分析岷江上游干旱河谷区阳坡土壤理化性质 (特别是土壤养分) 的空间分布特征, 并探讨干旱河谷区土壤退化特征及退化机制, 从而为土壤植被系统恢复提供科学依据。

1 研究区域与采样分析方法

1.1 研究区域

收稿日期 (Received date): 2009-03-01; 改回日期 (Accepted): 2009-06-03。

基金项目 (Foundation item): 中国科学院西部行动计划项目 (KZCX2-XB2-02-01-01), 中国科学院成都山地灾害与环境研究所青年种子基金。[Western Development Plan of CAS (NO. KZCX2-XB2-02-01-01), Foundation for young scientist of MHE, CAS]

作者简介 (Biography): 唐家良 (1975-), 男, 四川隆昌人, 博士, 主要从事土壤水文与土壤地理研究。[Tang Jialiang (1975-), Male, PhD, born in Longchang, Siduan and specialized on soil hydrology and soil geography.] E-mail: jltang@imde.ac.cn

* 通讯作者: 周麟 (1964-), 男, 甘肃白银人, 硕士, 副研究员, 主要从事恢复生态学、草地生态和山地灾害生物防治研究工作。[Zhou Lin (1964-), male, Beiyin City, Gansu, assistant professor, specialized on the Restoration Ecology.] E-mail: linz@imde.ac.cn

研究区域内气候干燥,降水少而不均,蒸发量极大、土壤瘠薄,具粗骨性,干旱,缺水。土壤表层(0~20 cm)含水量除湿季(5~9月)外,均接近或低于植物凋萎含水量,土壤三相比例失调,养分缺乏。据茂县气象站多年观测,该区年均温 11.0℃,年降雨量 494.8 mm,年蒸发量 1 355.7 mm,全年日照时数 1 557.1 h,平均年辐射 418.4 J/cm,年平均风速 4.2 m/s,突出特点是年蒸发量大,风大风频;土壤为千枚岩残坡积物发育的褐土^[5]。

所选典型坡面位于茂县凤仪镇龙洞沟下游右侧(图 1),总面积为 10.34 hm²,为西南朝向,坡面最低点海拔 1 599 m,最高点海拔 1 816 m,整个坡面坡度平均为 35°,垂直落差大。土壤容重在 0.95~1.74 mg/m³之间,土壤含水量仅为 1.25%~4.75%,为典型干旱阳坡景观,自然植被主要为少量灌木和草丛。核心监测区面积为 2.7 hm²,由 2 条自然沟构成,均为封闭集水区,自然沟汇流出口设有径流和泥沙观测点,以测定水土流失量。

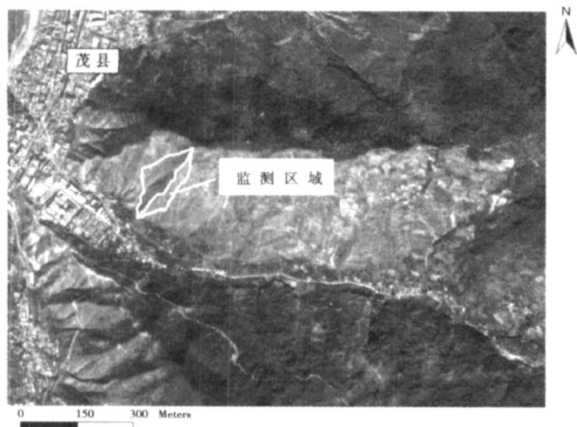


图 1 研究区位置及地形图

(背景图引自: <http://www.earthol.com>)

Fig 1 Site and topography of research area

(Cited from: <http://www.earthol.com>)

对自然沟集水区的背景调查显示,2条沟在土地利用方式上存在一定差别,西侧支沟面积较大(1.78 hm²),支沟上部分布成片灌木林,中部有水平阶地,种植有花椒、刺槐等树种;东侧支沟面积稍小(0.94 hm²),主要为稀疏灌木和荒草。各支沟中下部均有少量耕地,并种植有岷江柏,尽管部分柏树树龄达 10 a 以上,但仍未郁闭成林,地表裸露面积 > 80%。在两条自然沟出口分别设置径流和泥沙

收集装置,从而可对两条支沟进行对比,由此分析典型阳坡土壤性质的空间分布特征和生境要素状况。

1.2 采样和分析方法

2007-04 在阳坡集水区(图 2)进行土壤剖面调查,剖面深度为 50 cm,在网格形状分布的 24 个土壤剖面中分别采集表层(0~20 cm)和亚表层(20~50 cm)土壤样品,其中 24 个表层样,10 个亚表层样。

室内去除大块砾石并对样品进行预处理,然后测定土壤理化性质。测定方法参照文献[6],土壤质地和微团聚体均采用吸管法,pH 为电位法(土水比 1:2.5),有机质为重铬酸钾氧化-外加热法,全 P 为氢氟酸-高氯酸消煮-钼锑抗比色法,全 K 为氢氟酸-高氯酸消煮-火焰光度法,碱解氮为碱解扩散法测定,速效磷为 0.5 mol/L NaHCO₃ 浸提-钼锑抗比色法测定,速效钾为 1 mol/L 中性醋酸铵浸提,火焰光度法测定。

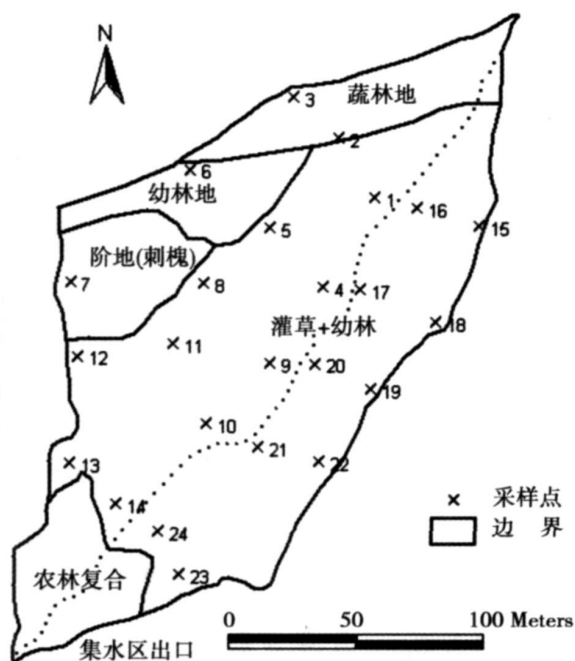


图 2 研究区域土地利用与采样点图

(虚线左侧为治理沟集水区,右侧为对照沟集水区)

Fig 2 Land use and sampling points in the research area

(Treated catchment lies in the left of the dotted line, control catchment lies in the right of the dotted line)

统计分析采用 Excel 2003, SPSS11.5 软件。空间分布制图采用 ArcView 软件,利用其空间分析模块,参考临近 12 个采样点数据,对土壤性质进行反距离比重法(IDW)插值,获得土壤性质空间分布图。

2 结果与分析

2.1 阳坡土壤质地和微团聚体特征

集水区 内土壤质地数据表明, 表层土壤 > 0.25 mm 的颗粒占总量的 45.2 % (表 1), 颗粒组成变异幅度均小于 10 %; 土壤表层粘粒含量平均值为 66.6 g/kg 变异幅度中等, 其含量远低于红壤等耕作土壤^[7]; 剖面各层 (表层和 B 层) 土壤质地没有明显差异 (P> 0.05)。土壤质地分析表明集区内土层为砂质土壤, 不利于保水。

Bernard 等认为土壤本身性质是土壤侵蚀的内因, 土壤团聚体稳定性与易蚀性呈负相关, 土壤侵蚀与大团聚体 (> 0.25 mm) 的含量呈负相关, 团聚体稳定性可作为土壤侵蚀的表征指标^[8]。阳坡土壤表层微团聚体中 > 0.25 mm 的组成平均占总团聚体的 48.6 % (表 1), 远大于紫色土约 5 % 的比率^[9], 说明岷江上游干旱河谷区阳坡土壤比紫色土更偏沙质特征, 不适宜作物耕种。研究区域内阳坡土壤 > 0.25 mm 的团聚体含量与处于严重侵蚀状态下的红壤相似^[10], 低于轻度侵蚀红壤 (平均为 70 % 左右)。B 层 < 0.002 mm 微团聚体成分显著高于表层 (P< 0.01), 这可能是小直径微团聚体沿垂直方向向下迁移淀积或表层微团聚体被冲刷造成的。

2.2 阳坡土壤基本化学性质统计特征

土壤表层 pH 平均值为 8.20 呈碱性 (表 2), 空间变异幅度较小; B 层土壤 pH 平均值为 8.70, 显著高于表层土壤 (P< 0.01)。集水区 内表层土壤有机质与全 N 含量均显著高于 B 层 (P< 0.05), 空间变异性强 (CV> 20 %), 由于集水区为单一的土壤类型, 因此土壤有机质与全氮的空间变异与土地利用类型有关^[11]。土壤全 P 含量低, 其空间变异也较大。土壤表层全 K 含量较高, 高于同一纬度带的紫色土^[9 12], B 层全 K 含量显著高于表层 (P< 0.01)。集水区 内土壤呈现缺氮磷而富钾的特征。与其他土壤相比^[13-15], 干旱区内土壤有效养分含量均偏低, 且表层有效养分变异系数较大 (> 40 %)。结合我国第 2 次土壤普查评价指标^[14] 进行分析, 表明岷江上游干旱河谷区阳坡表层土壤有效养分均处于稍缺和缺乏水平, 有机质含量处于中等水平。B 层土壤有效养分均低于表层。

2.3 表层土壤性质水平分异

2.3.1 表层土壤物理性质水平分异特征

图 3 显示表层土壤粘粒含量为坡上和坡下较高, 而坡中由于坡度较大, 植被稀疏, 土壤粘粒含量较少; 土壤微团聚体 (< 0.002 mm) 含量大致呈现上坡含量低, 而下坡较高的趋势 (图 4), 下坡小直径微团聚体也有所增加, 改善了下坡土壤结构。

表 1 土壤基本物理性质统计特征

Table 1 The statistics characteristics of soil physical properties

样品 Sample	项目 Index	土壤质地 Soil texture(g/kg)			土壤微团聚体 Soil microaggregate(g/kg)		
		< 0.002 mm	0.002~ 0.25 mm	> 0.25 mm	< 0.002 mm	0.002~ 0.25 mm	> 0.25 mm
表层 Surface horizon	Mean	66.59 a	461.42a	452.60a	20.23 a	493.82a	485.96 a
	CV, %	22.2	10.6	12.6	44.0	13.6	13.8
B 层 B horizon	Mean	67.47 a	451.97a	466.69a	33.67b	471.87a	494.46 a
	CV, %	15.1	8.0	10.7	18.1	10.4	9.9

注: 土壤表层取样数为 24, 土壤 B 层取样数为 10; 方差分析, 数据列内字母不同表示具有显著的差异。

表 2 土壤基本化学性质统计特征

Table 2 The statistics characteristics of soil chemical properties

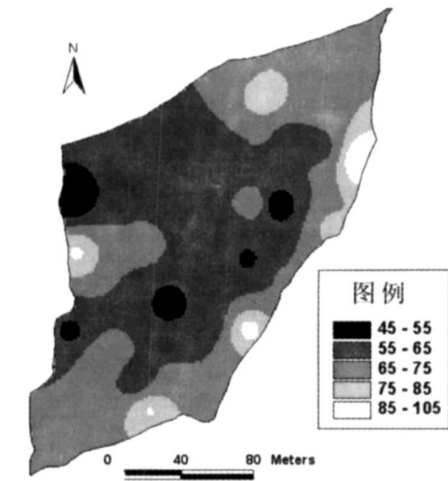
样品 Sample	项目 Index	pH	有机质 g/kg	全 N g/kg	全 P g/kg	全 K g/kg	有效 N mg/kg	有效 P mg/kg	速效 K mg/kg
表层 Surface horizon	Mean	8.20a	28.14a	1.79a	0.49 a	33.92a	79.38a	3.38a	44.54a
	CV, %	4.2	47.5	40.9	9.6	8.0	58.3	41.8	56.8
B 层 B horizon	Mean	8.70b	14.76 b	1.26b	0.45b	37.86b	44.32 b	2.31b	23.78b
	CV, %	2.5	33.3	19.1	10.1	6.3	48.7	12.7	13.7

注: 土壤表层取样数为 24 土壤 B 层取样数为 10 方差分析, 数据列内字母不同表示具有显著的差异。

2.3.2 表层土壤化学性质水平分异特征

阳坡表层土壤 pH 表现为坡顶较高, 而坡下较低 (图 5), 这可能是由于坡顶在较强的侵蚀作用下富含碳酸钙的淀积层出露, 使得表层土壤 pH 更高; 同时下坡靠近居民区, 部分区域为耕地, 有机肥或其他肥料施用频次更高, 从而降低了土壤 pH 值。由于有机质和全 N 显著相关, 两者的空间分布特征也基本相同 (图 6和图 7), 均表现为坡上疏林地和坡下东侧较高。由于坡上疏林地靠近阴坡, 且受地形雨的影响, 水分条件稍好, 为整个坡面上植被覆盖度最高的区域, 土壤有机质和全 N 养分稍高; 坡下东

侧坡度明显平缓, 因此有机质和全 N 养分容易积累。土壤有效 N 的坡面分布特征 (图 8)与有机质、全 N 相似。土壤全 P 和速效 P 的平面分布无相似性 (图 9和图 10), 全 P 表现为坡上低, 而坡下相对较高, 富含养分的微团聚体在坡下的相对淀积可能是全 P 富集的原因; 速效 P 则呈现与土壤有机质、全 N 相似的坡面分布, 其影响因素较复杂, 可能受到土壤有机质、土壤 CaCO_3 、土壤粘粒等因素的综合影响。西侧支沟土壤全 K 含量相对富集 (图 11), 这可能与岩石风化程度相关; 而土壤速效钾的空间分布 (图 12)与速效 P 相似。



注: 粘粒和微团聚体含量单位: g/kg 后同。
图 3 土壤粘粒 (<0.002 mm) 含量分布图
Fig. 3 Spatial distribution of soil clay (<0.002 mm)

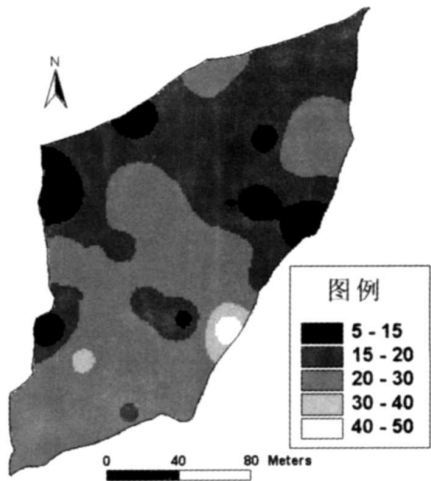


图 4 土壤微团聚体 (<0.002 mm) 含量分布图
Fig. 4 Spatial distribution of soil micro-aggregate (<0.002 mm)

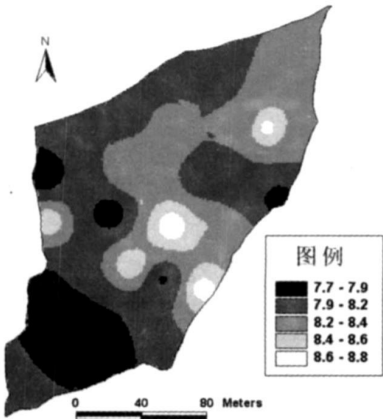


图 5 土壤 pH 分布图
Fig. 5 Spatial distribution of soil pH

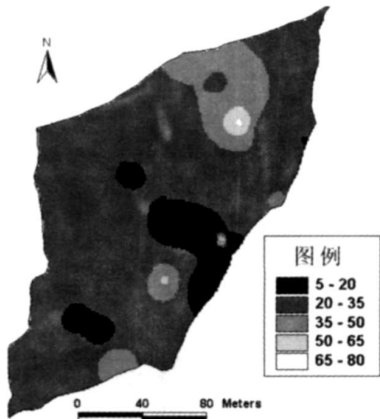


图 6 土壤有机质分布图
Fig. 6 Spatial distribution of soil organic matter

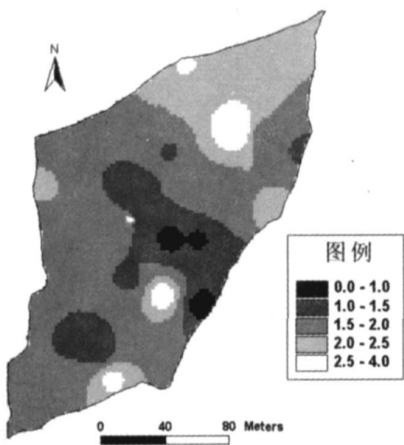


图 7 土壤全 N 分布图

Fig. 7 Spatial distribution of soil total N

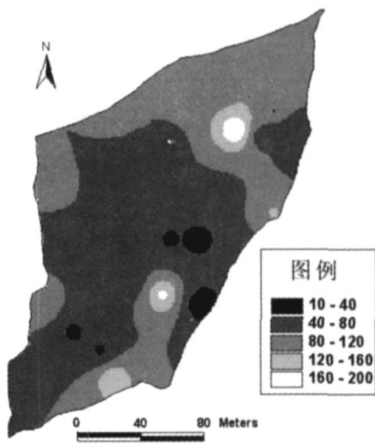


图 8 土壤有效 N 分布图

Fig. 8 Spatial distribution of soil available N

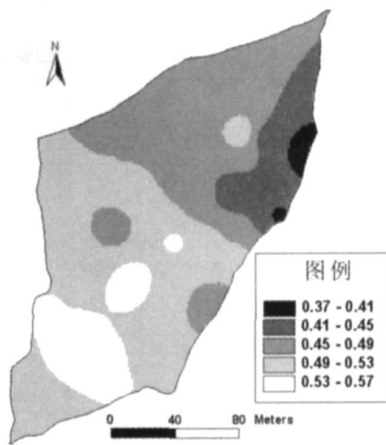


图 9 土壤全 P 分布图

Fig. 9 Spatial distribution of soil total P

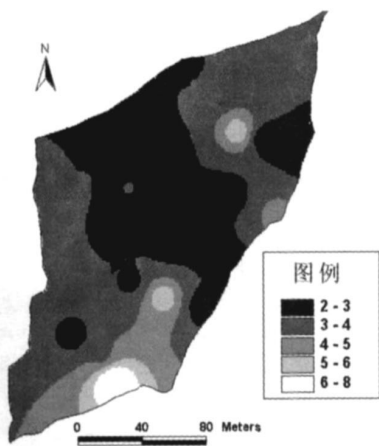


图 10 土壤速效 P 分布图

Fig. 10 Spatial distribution of soil available P

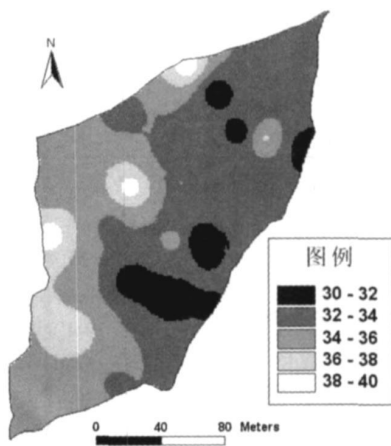


图 11 土壤全 K 分布图

Fig. 11 Spatial distribution of soil total K

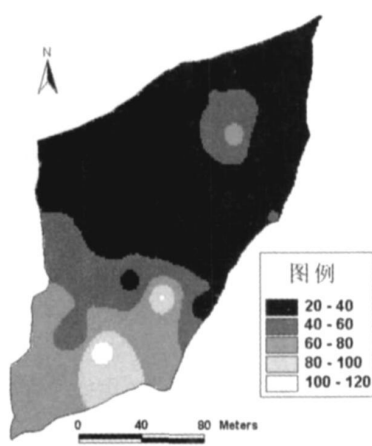


图 12 土壤速效 K 分布图

Fig. 12 Spatial distribution of soil available K

注:土壤有机质及全量养分含量单位均为 g/kg;速效养分含量单位均为 mg/kg。

2.4 阳坡土壤退化特征与恢复对策分析

统计分析(表 3)表明:干旱河谷阳坡土壤微团聚体中 $< 0.002\text{ mm}$ 成分与土壤有机质呈显著负相关关系 ($R = -0.63$ $P < 0.01$),土壤有机质与其他粒级组分没有显著的相关关系,这说明研究区域土壤有机质可能胶结小团聚体^[16],从而增加 $> 0.25\text{ mm}$ 水稳性团聚体组成 ($R = 0.108$ $P > 0.05$),因此相应减少了小直径的微团聚体。土壤全 P 与土壤中 $< 0.002\text{ mm}$ 颗粒成分显著负相关 ($R = -0.42$ $P < 0.05$)。

研究表明:土壤 pH 与有机质、全 N、有效 N、速效 K 成显著负相关,因此说明土壤高碱度是阻止土壤肥力恢复的重要因素,因此植被恢复措施应注意

调节土壤 pH 值。已有研究证明植被生物量与土壤有机质、全 N 及其他速效养分均存在显著正相关关系^[17],随着干旱河谷区阳坡植被系统的退化,其土壤有机质也相应处于较低水平。相对新植林地而言,靠近阴阳坡分界线(海拔 $1\ 800\text{ m}$)的疏林地土壤肥力高于其他土地利用地块,因此植被恢复潜力也更大。在水土得到良好保持的基础上,增加土壤有机质,能增强植被生长所需的营养物质,从而促进区域内植被恢复。土壤有机质与全 N、有效养分均显著或极显著正相关(表 3),证明在干旱河谷区内有机质投入可显著增加土壤有效养分。土壤有机质与 pH 呈显著负相关关系,证明有机质可以缓冲阳坡土壤的碱性,从而增加土壤的植被恢复潜力。

表 3 土壤理化性质相关系数表
Table 3 Correlation coefficient of soil physical and chemical properties

参数	微团聚体 (mm)			土壤质地 (mm)			pH	土壤养分						
	< 0.002	0.002~ 0.25	> 0.25	0.002	0.002~ 0.25	> 0.25		有机质	全 N	有效 N	全 P	速效 P	全 K	速效 K
微团聚体	< 0.002													
	0.002~ 0.25	0.05												
	> 0.25	- 0.18	- 0.99*											
土壤质地	< 0.002	0.37	0.68*	- 0.71* *										
	0.002~ 0.25	0.08	0.79*	- 0.78* *	0.46*									
	> 0.25	- 0.16	- 0.86*	0.87**	- 0.68**	- 0.95**								
土壤养分	pH	0.54**	- 0.21	0.14	0.07	- 0.25	0.20							
	有机质	- 0.63*	- 0.03	0.11	- 0.07	- 0.20	0.17	- 0.42*						
	全 N	- 0.63*	- 0.01	0.09	- 0.01	- 0.20	0.15	- 0.45*	0.99**					
	有效 N	- 0.62*	0.01	0.07	- 0.06	- 0.19	0.16	- 0.44*	0.99**	0.97**				
	全 P	0.13	- 0.24	0.22	- 0.42*	- 0.17	0.29	0.03	0.00	- 0.05	0.03			
	速效 P	- 0.33	0.17	- 0.13	0.13	- 0.05	0.01	- 0.36	0.73**	0.72**	0.78*	0.23		
	全 K	0.24	- 0.16	0.13	- 0.03	- 0.04	0.11	- 0.06	- 0.17	- 0.14	- 0.15	0.24	- 0.14	
	速效 K	- 0.16	0.02	0.01	- 0.06	- 0.09	0.09	- 0.44*	0.42*	0.39	0.46*	0.43*	0.73**	0.02

注: 微团聚体和土壤质地的分级单位均为 mm; 表中* 表示显著相关 ($P < 0.05$), ** 表示极显著相关 ($P < 0.01$)。

3 结论

1. 研究表明: 岷江上游干旱河谷区阳坡土壤肥力水平低, pH 值偏高, 为砂质土, 土壤微团聚体中表层 < 0.002 mm 成分存在向下淀积或流失现象; 阳坡土壤 N、P 养分处于缺乏状态, 且有效养分含量极低。

2 坡上部的疏林地土壤肥力高于其他土地利用地块; 相对新植林地而言, 靠近阴坡的疏林地植被恢复潜力更大。

岷江上游干旱河谷阳坡土壤肥力亟需恢复, 可利用土壤-植被系统之间的相互促进作用, 形成良性循环, 从而加快区域内植被恢复进程。

参考文献 (References)

[1] Bao W eikai, Chen Q ingheng, Liu Zhaoguang. Degradation of mountain ecosystem in the upper reaches of M injiang River and countermeasures for their rehabilitation and reconstruction [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Valley*, 1995, 4(3): 277~ 282 [包维楷, 陈庆恒, 刘照光. 岷江上游山地生态系统的退化及其恢复与重建对策[J]. *长江流域资源与环境*, 1995, 4(3): 277~ 282]

[2] Yang Q inzhou. Study on the arid valey scrubs in the upper reaches of M injiang river [J]. *Journal of Mountain Science*, 2007, 25(1): 1~ 32 [杨钦周. 岷江上游干旱河谷灌丛研究[J]. *山地学报*, 2007, 25(1): 1~ 32]

2007, 25(1): 1~ 32]

[3] Bao W eikai, Wang Chunming. Degradation mechanism of mountain ecosystem at the dry valley in the upper reaches of the M injiang river [J]. *Journal of Mountain Science*, 2000, 18(1): 57~ 62 [包维楷, 王春明. 岷江上游山地生态系统的退化机制[J]. *山地学报*, 2000, 18(1): 57~ 62]

[4] Bao W eikai, Chen Q ingheng, Chen Kem ing. Environmental control techniques for vegetation restoration in dry valley of upper reaches of M injiang River [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1999, 10(5): 542~ 544 [包维楷, 陈庆恒, 陈克明. 岷江上游干旱河谷植被恢复环境优化调控技术研究[J]. *应用生态学报*, 1999, 10(5): 542~ 544]

[5] He Q ihua, He Yonghua, Bao W eikai. Dynamics of soilwater contents on southfacing slope of dry valley area in the upper reaches of the M injiang river [J]. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 2004, 10(1): 68~ 74 [何其华, 何永华, 包维楷. 岷江上游干旱河谷典型阳坡海拔梯度上土壤水分动态[J]. *应用与环境生物学报*, 2004, 10(1): 68~ 74]

[6] Lu Rukun. Analysis Methods for Soil and Agricultural Chemistry [M]. Beijing: Chinese Agricultural Science and Technology Press, 1999 [鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999]

[7] Tang Jialing, Zhang Bin, Wang M ingzhu, et al. Spatial distribution and evaluation of soil fertility in a small catchment in southern hilly region of China [J]. *Soils*, 2006, 38(4): 384~ 389 [唐家良, 张斌, 王明珠, 等. 低丘红壤区小流域土壤肥力性质的空间分布特征[J]. *土壤*, 2006, 38(4): 384~ 389]

[8] Bernard B, Eric R. Aggregate stability as an indicator of soil sus-

- ceptibility to runoff and erosion: validation at several levels [J]. *Catena*, 2002, 47: 133~ 149
- [9] Zhu Bq, Chen Shi, You Xiang *et al*. Soil fertility restoration on degraded upland of purple soil [J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2002, 39 (5): 743~ 749 [朱波, 陈实, 游祥, 等. 紫色土退化旱地的肥力恢复与重建 [J]. 土壤学报, 2002, 39 (5): 743~ 749]
- [10] Wang Chunyan, Huang Li, Tan Wenfeng *et al*. Relationship between organic matter and aggregates in several eroded Udisols [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2007, 21 (3): 52~ 56 [王春燕, 黄丽, 谭文峰, 等. 几种侵蚀红壤中有机质和团聚体的关系 [J]. 水土保持学报, 2007, 21 (3): 52~ 56]
- [11] Wang Hongjie, Shi Xuezheng, Li Xinwen *et al*. Spatial distribution feature of soil nutrient contents from a small watershed and their relations to land use [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2004, 18 (1): 15~ 18, 42 [王洪杰, 史学正, 李宪文, 等. 小流域尺度土壤养分的空间分布特征及其与土地利用的关系 [J]. 水土保持学报, 2004, 18 (1): 15~ 18, 42]
- [12] Luo Dongqi, Wei Chaofu, Xie Deti *et al*. The Forecast of released nutrient from purple parent material in the upper reaches of the Yangtze River and its environmental effects [J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 2003, 22 (2): 179~ 183 [骆东奇, 魏朝富, 谢德体, 等. 长江上游紫色母质养分溶出及环境效应预测 [J]. 矿物岩石地球化学通报, 2003, 22 (2): 179~ 183]
- [13] Xu Junbing. Investigation of soil nutrients' distribution of cropland in Yangzhou area in Jiangsu province [J]. *Jiangsu Agricultural Science*, 2003, 3: 84~ 87 [徐俊兵. 江苏扬州地区耕地土壤养分分布状况调查 [J]. 江苏农业科学, 2003, 3: 84~ 87]
- [14] Chen Cuiling, Zhang Yulan, Jiang Aifeng *et al*. Investigation on the nutrient contents in plough layers in the major soils of Henan province [J]. *Henan Agricultural Science*, 2007, 2: 60~ 62 [陈翠玲, 张玉兰, 蒋爱凤, 等. 河南省主要土壤耕层有效养分含量分析 [J]. 河南农业科学, 2007, 2: 60~ 62]
- [15] Ge Fanglong, Zhang Jianhui, Su Zheng'an *et al*. Response of changes in soil nutrients to soil erosion on a purple soil of cultivated sloping land [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27 (2): 459~ 464 [葛方龙, 张建辉, 苏正安, 等. 坡耕地紫色土养分空间变异对土壤侵蚀的响应 [J]. 生态学, 2007, 27 (2): 459~ 464]
- [16] Stevenson F. J. *Humus Chemistry* [M]. New York: John Wiley and Sons, 1982: 374~ 402
- [17] Zheng Qihong, Zhang Hong, Jia Haikun *et al*. Dynamics of soil nutrients during natural recovery process of abandoned farmland in Huailai basin, Hebei province [J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2006, 22 (1): 24~ 28 [郑秋红, 张宏, 贾海坤, 等. 怀来盆地弃耕地自然恢复过程中土壤养分动态 [J]. 生态与农村环境学报, 2006, 22 (1): 24~ 28]

Spatial Characteristics of Degraded Soil on Southfacing Hillslope in the Dry Valley ofM injiang River

TANG Jialiang ZHOU Lin LUO Guisheng WANG Shige WANG Daojie

(Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China)

Abstract The field investigation and analysis of physical and chemical properties of soil samples were conducted to elucidate the spatial characteristics of degraded soils on southfacing hillslope in the dry valley ofM injiang River; the mechanism of soil degradation was also discussed. The results showed that the clay contents of soils were low while coarser composition ($> 0.25\text{ mm}$) accounted for 45.2% of total. The physical structure was unfriendly for vegetation. The micro-aggregates ($< 0.002\text{ mm}$) in surface soil were illuviated or flushed away. Soil alkalinity was high as more than 8.2 while soil nutrients were deficient, especially for available nutrients of nitrogen and phosphorus. The spatial distribution illustrated that soil fertility under the sparse forest on upslope was higher than other land uses. Compared to the new afforested field, the sparse forest field near the northfacing hillslope can be restored more easily.

Key words dry valley ofM injiang River soil degradation spatial distribution soil fertility vegetation restoration