

文星跃, 黄艳娟, 黄成敏. 岷江上游河谷土壤发生的空间分异及环境意义[J]. 地理科学, 2017, 37(2): 266-273. [Wen Xingyue, Huang Yanjuan, Huang Chengmin. Spatial Heterogeneity and Environmental Significance of Pedogenesis in Soils from Valley of the Upper Minjiang River. Scientia Geographica Sinica, 2017, 37(2): 266-273.] doi: 10.13249/j.cnki.sgs.2017.02.013

岷江上游河谷土壤发生的空间分异及环境意义

文星跃¹, 黄艳娟², 黄成敏²

(1. 西华师范大学国土资源学院, 四川 南充 637002; 2. 四川大学环境科学与工程系, 四川 成都 610065)

摘要: 分析了岷江上游河谷沿岸及九顶山西北坡表层土壤粒度、氧化铁、有机质、碳酸盐、pH、有机碳同位素、阳离子交换性、粘土矿物等理化性质。结果表明, 三江至映秀段土壤具有较高的粘粉比、铁游离度及粘粒和有机质含量, 而碳酸盐含量、pH和有机质 $\delta^{13}\text{C}$ 值相对偏低, 说明土壤发育较好、淋溶作用较强, 反映了气候湿润和植被以乔木为主的环境特征; 草坡至凤仪段土壤颗粒较粗、碳酸盐含量和pH较高, 而铁游离度和有机质含量较低, 有机质 $\delta^{13}\text{C}$ 值偏重, 反映出干旱的气候和以 C_4 植被为主的环境特征。九顶山西北坡土壤随海拔的增加粘粉比、有机质含量增大, 出现纤铁矿而方解石缺失, 反映干旱河谷区高海拔气候湿润; 而海拔低于2 000 m的土壤粘粉比和粘粒、有机质含量较低, 方解石含量和pH值较高, 指示了干旱的气候特征。

关键词: 土壤发生; 空间分异性; 干旱河谷; 岷江上游; 九顶山

中图分类号: S151.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-0690(2017)02-0266-08

岷江上游河谷因其独特的地理位置和地形条件, 生态景观具有明显的沿河岸水平梯度和海拔梯度的变化特征。在汶川至茂县一线的岷江干流河谷沿岸, 因龙门山脉阻挡, 地处夏季风的背风坡, 受焚风效应影响, 气候干旱, 植被稀疏, 属典型的干旱河谷地段。该地段3级阶地以下区域普遍为草地、灌丛或荒地景观, 因植被稀疏, 水土流失严重, 而这一生态特征与3级阶地以上的高海拔地段以及该地段下游地区以林地为主的景观形成强烈反差。同时, 岷江上游河谷亦是2008年汶川地震的震中和极重灾区, 生态系统和土壤受损严重^[1-3], 全面、细致地理解土壤特征及其影响因素对该区生态重建和土壤修复具有重要意义。目前已有该区土壤肥力特征及退化机理的相关研究^[4-8], 但研究样点大多限于局部的坡地, 这对认识该区土壤差异性略显不足。土壤是外部环境成土因素和条件的产物, 在发育演变过程中其理化性质会随着环境的差异而有所不同, 通过土壤理化性质的研究可以揭示其发生过程中的变化和发育程度, 进而推论成土环境的特征^[9-11]。本文拟

对岷江上游干旱河谷与相邻湿润区河谷底部以及底部位于干旱河谷的九顶山西北坡不同海拔的土壤进行比较分析, 从土壤发生学角度探讨该区土壤形成特征的空间变化及其生态环境意义, 期望为该区生态修复提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究样地分布于岷江上游支流寿江流域的汶川县三江镇至映秀镇, 再沿岷江干流河谷地带至茂县凤仪镇, 以及九顶山西北坡(图1), 地貌形态变化大, 属典型的高山峡谷区。岷江支流寿江流域与都江堰毗邻, 属亚热带湿润气候, 年降水量多在900~1 300 mm; 而汶川草坡乡至茂县凤仪镇沿岷江干流河谷地段, 气候干旱少雨, 是岷江上游降水量最少的地区, 年降水仅为400~600 mm, 其中80%~90%的降水主要集中在5~10月, 而年蒸发量却达到1 000~1 800 mm。年均气温约11.2℃, 1月平均气温0.4℃, 7月平均气温20.8℃^[12]。

九顶山位于龙门山脉中部, 为其最高山峰, 地

收稿日期: 2016-03-02; **修订日期:** 2016-07-25

基金项目: 国家自然科学基金(41371225, 41671220), 四川省教育厅自然科学重点项目(13ZA0115), 西华师范大学创新团队项目(CXTD2016-4)资助。[Foundation: National Natural Science Foundation of China (41371225, 41671220); Key Project in Natural Science from Education Department of Sichuan Province (13ZA0115), Project for Innovation Team of China West University (CXTD2016-4).]

作者简介: 文星跃(1970-), 男, 重庆人, 博士, 副教授, 主要从事土壤地理学方面的研究。E-mail: wenxy@cwnu.edu.cn

处成都平原与青藏高原之间的过渡地带。植被垂直地带性显著,1 300~2 200 m的河谷底部和下部为干旱河谷灌草丛;1 600~2 400 m主要分布常绿阔叶与落叶阔叶混交林;2 400~3 600 m为亚高山针叶林;3 600~3 800 m及以上为高山灌草丛草甸。

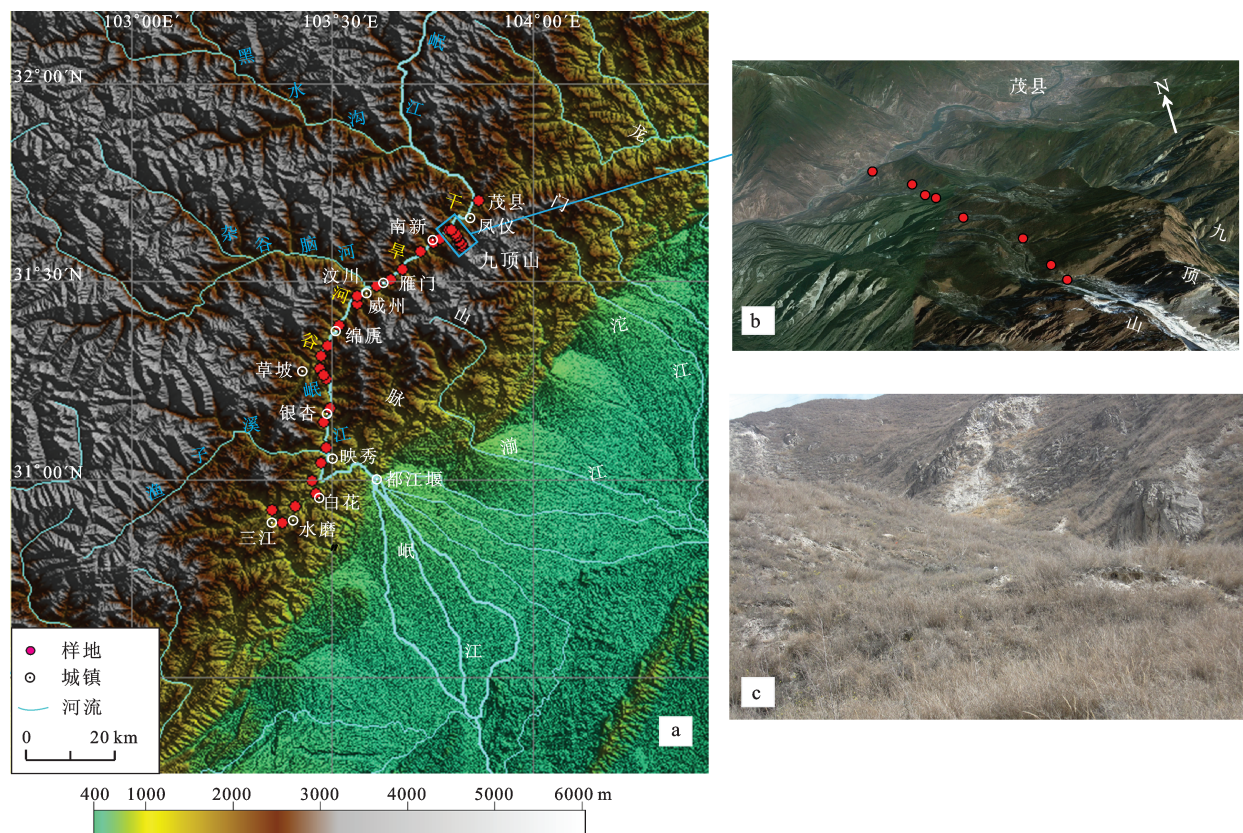
1.2 土样采集

样地选取相对开阔的坡地,样品由采集地10 m×20 m范围内按S形随机取3~4个点的表土混合而成。根据研究目的所需,表土采集的深度不一^[13-17]。由于岷江上游河谷沿岸具有明显发生层次、土层相对较厚的土壤多为现代耕作土或次生林地,而人为扰动较少的自然状态土壤多为新成土或雏形土,无明显淀积层,土层较薄。考虑到样品的一致性以及0~5 cm厚度可以反映土壤粒度、磁化率等成壤特征的认识^[13,14],本文所取样品深度统一为0~5 cm。共在岷江上游河谷沿岸采集了25个表土样品(除样品M01和M25为三级阶

地外,其余均为二级阶地),样品野外形态特征描述见文献^[18](图1a、图1c)。在九顶山西北坡不同海拔高度(1 800~3 480 m)采集8个表土(0~10 cm)(图1b和表1)。

1.3 试验方法

土壤pH值采用酸度计测定,水土比为2.5:1;土壤有机质采用重铬酸钾氧化—外加加热法;颗粒组成分别采用马尔文 Master 2000 型激光粒度仪(河谷土壤样品)和吸管法(九顶山样品);阳离子交换量采用醋酸铵交换法测定;盐基总量采用蒸干中和滴定法测定;游离铁含量用柠檬酸钠—重碳酸钠—连二亚硫酸钠浸后比色测定;全铁含量用硝酸—盐酸—硫酸消化后比色法测定;碳酸盐采用气量法测定^[19];粘土矿物组成采用X射线衍射仪(X'Pert Pro,荷兰 Philips 公司)测定。土壤有机质稳定碳同位素($\delta^{13}\text{C}$)在中科院地球环境研究所采用MAT-252质谱仪测试。



a: 岷江上游河谷底部土壤采样点分布; b: 九顶山西北坡土壤采样点分布(据 Google Earth, 视角海拔 9.45 km);

c: 岷江上游干旱河谷典型荒草地景观

图1 研究区位置与样地分布

Fig.1 Location of study area and distribution of sample sites

表1 九顶山西北坡土壤样品基本特征

Table 1 Basic features of soil samples from the northwest slope of the Jiuding Mountain

样号	海拔(m)	成土母质	土地覆被	深度(cm)	根系	砾石	土壤颜色
P1	3480	变质岩风化坡积物	草甸	0~10	多	较少	黑灰棕 10YR4/2
P2	3440	变质岩风化坡积物	灌草地	0~10	多	少	棕 10YR5/3
P3	3245	变质岩风化坡积物	林地	0~10	多	无	深黑灰棕 10YR3/2
P4	3021	变质岩风化坡积物	林地	0~10	多	少	棕 10YR5/3
P5	2550	变质岩风化坡积物	灌木林	0~10	多	少	棕 10YR5/3
P6	2315	变质岩风化坡积物	林地	0~10	多	少	黑灰 10YR4/1
P7	2085	黄土母质	人工林	0~10	多	少	浅灰 10YR7/2
P8	1840	黄土母质	荒草地	0~10	多	少	浅黄棕 10YR6/4

2 结果与讨论

2.1 岷江上游河谷沿岸土壤发生特征变化

2.1.1 颗粒组成

岷江上游河谷土壤颗粒组成以粉砂(2~50 μm)为主,其含量在 61.47%~89.25%之间,平均为 77.76%;其次为砂粒(>50 μm)含量,平均 13.49%,变化在 2.56%~33.58%之间;粘粒(<2 μm)含量较少,介于 2.92%~17.92%,平均为 8.75%。粘粉比介于 0.04~2.82之间,平均为 0.11。整体上看,较低的粘粒含量及粘粉比反映出岷江上游河谷土壤粘化作用较弱,成壤强度并不高。样品在空间分布上,自汶川县银杏乡往上游至茂县凤仪镇一线的河谷土壤粘粒含量明显偏低(图2),表明该段土壤发育极弱,与其以矮灌丛和草被为主的植被景观基本一致。

2.1.2 有机质含量

岷江上游河谷样品有机质含量介于 1.03%~4.15%之间,平均为 2.98%,表现出较高的有机质含量。从空间分布来看,所测样品除绵鹿到雁门一段土壤有机质相对较低外,其余干旱河谷地段与寿江流域土壤有机质含量并无明显的差异(图2)。另据王春明等^[5]的研究,岷江上游干旱河谷典型地段表层土壤有机质含量在 3.26%~7.28%,全氮和全钾含量也较高,说明土壤有较高的潜在肥力,但由于土壤多呈碱性及气候干燥等原因,潜在肥力向有效性肥力转化的能力较差。此外,土壤有机质含量较高很可能跟干旱河谷地区土壤有机质较低的矿质化有关。

2.1.3 碳酸盐与pH值

岷江河谷沿岸土壤碳酸盐含量在 0.04%~17.86%,平均 4.10%。pH 值介于 5.73~8.67 之间,

平均值为 7.42。在干旱河谷地段,表土受降水较少和蒸发强烈的影响,淋溶弱且碳酸盐发生表聚现象,导致 CaCO_3 和 pH 值均较大,特别是在威州至南新一段尤为明显(图2)。

2.1.4 铁游离度

岷江上游河谷土壤样品全氧化铁(Fe_T)含量范围为 28.65~77.88 g/kg,平均 50.57 g/kg;游离铁(Fe_D)含量 5.49~35.29 g/kg,平均 14.51 g/kg。反映成壤强度的铁游离度($\text{Fe}_\text{D}/\text{Fe}_\text{T}$)介于 11.54%~54.99%之间,平均 29.73%,总体上表现出土壤发育程度较弱。空间分布来看,铁游离度与前述粘粒含量及粘粉比变化基本一致,在干旱河谷地段表现出明显的偏低(图2)。

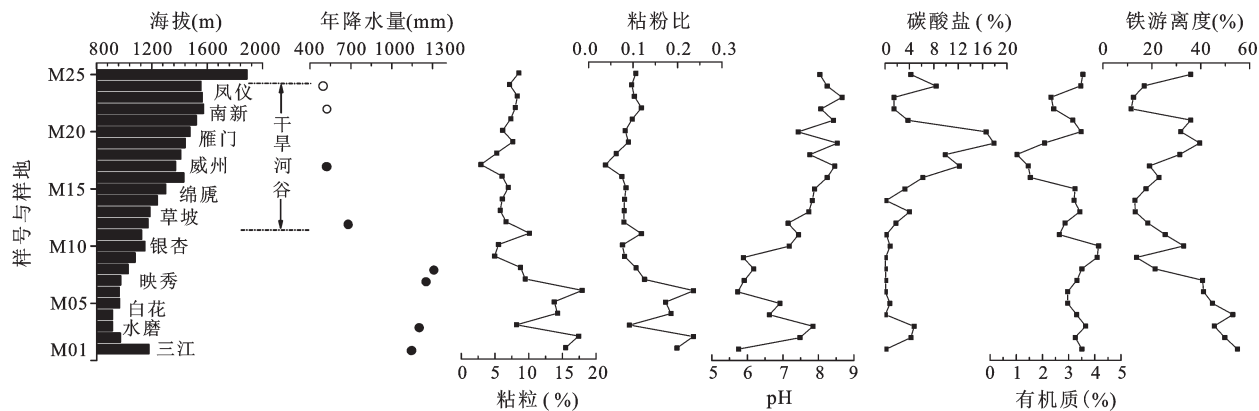
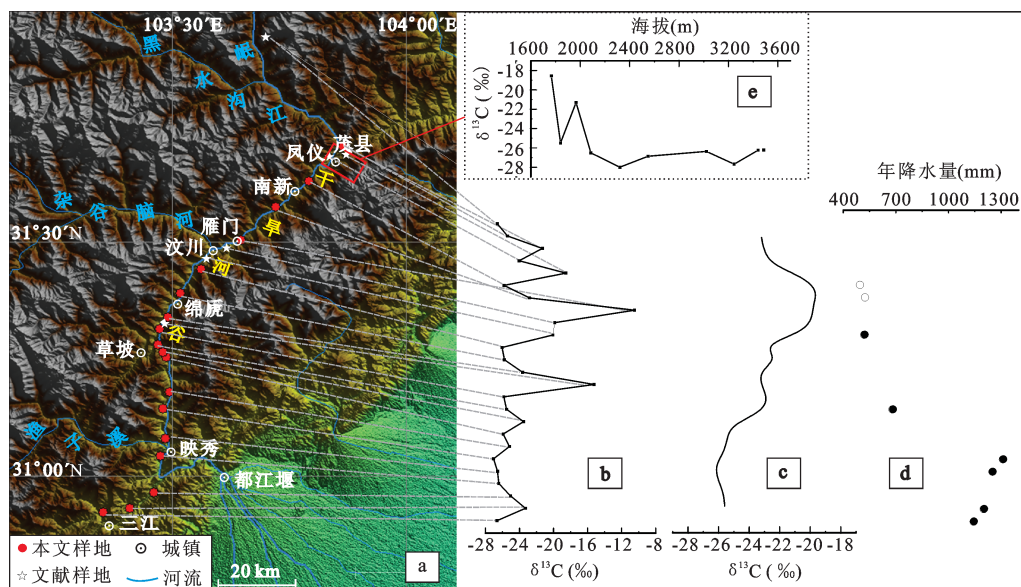
2.1.5 有机碳稳定同位素

根据所测样品的 $\delta^{13}\text{C}$ 值分布情况(图3),可以发现从汶川县草坡乡开始,土壤有机质 $\delta^{13}\text{C}$ 值开始出现正偏,表明 C_4 植物逐渐增多,这种情况与实地观察的草地和矮灌增多变化一致。在草坡乡至凤仪镇一线的干旱河谷地段,样品 $\delta^{13}\text{C}$ 值范围为-26.63‰~-10.5‰,平均值为-22.32‰,样地对应的年降水量相对三江乡至映秀镇段明显偏低(图3)。岷江上游地区土壤 $\delta^{13}\text{C}$ 值正偏反映了相对干旱的环境的这种认识,与北方黄土地层有机碳 $\delta^{13}\text{C}$ 的环境指示意义正好相反,由于植被类型的差异,在黄土高原地区, $\delta^{13}\text{C}$ 值的正偏变化反映的是温暖湿润的气候特征^[20-22]。

2.2 九顶山西北坡土壤发生特征的海拔梯度变化

2.2.1 颗粒组成特征

九顶山西北坡土壤砂粒含量在 34.18%~63.59%之间,平均 45.22%;粉砂含量范围 19.37%~49.45%,平均 37.04%;粘粒含量为 13.36%~

图2 岷江上游河谷底部土壤理化指标空间变化^①Fig.2 Spatial variations of physical and chemical indicators in the soils from the valley bottom of the upper Minjiang River^①

注: a:有机碳稳定同位素样品位置;b:有机碳稳定同位素值(位置☆的数据引自文献^[24]);c:有机碳稳定同位素五点平滑趋势曲线;
d:年降水量(数据来源同图2);e:九顶山西北坡有机碳稳定同位素海拔梯度变化。

图3 岷江上游河谷土壤有机质 $\delta^{13}\text{C}$ 分布Fig.3 Distribution of the organic $\delta^{13}\text{C}$ in the soils from the upper valley of the Minjiang River

20.45%,平均17.76%。总体上看,高海拔区域土壤粘粒和砂粒含量以及粘粉比较高,而粉砂含量较低(图4),表明湿润和乔木为主的环境下有利于土壤粉砂级颗粒向粘粒的转化,成壤作用相对较强,但受高海拔较低气温的影响,母质风化仍然较弱导致砂粒含量也明显偏高。

2.2.2 有机质特征

九顶山西北坡土壤样品有机质含量介于4.73%~8.37%,平均6.52%,有机质含量普遍较高,

总体表现为随海拔的升高而增加。在针阔混交林过渡带(海拔2 300 m左右)和3 200 m左右的针叶林地带,有机质含量最高(图4)。这可能因低海拔处植被稀疏及人类活动影响下,地表凋落物输入相对较少,同时低海拔相对高温的气候环境,利于微生物活动的影响,低输入率与高分解率的共同作用使低海拔土壤有机质含量相对偏低^[23]。海拔2 300 m左右为针阔混交林,其生物量和有机物质输入土壤相对较高,而高海拔的林地区域因气温

① 图中年降水量“●”数据引自汶川县土壤普查办编《汶川县土壤普查报告》(1985);“○”数据引自茂县土壤普查办编《茂汶羌族自治县土壤》(2005)。

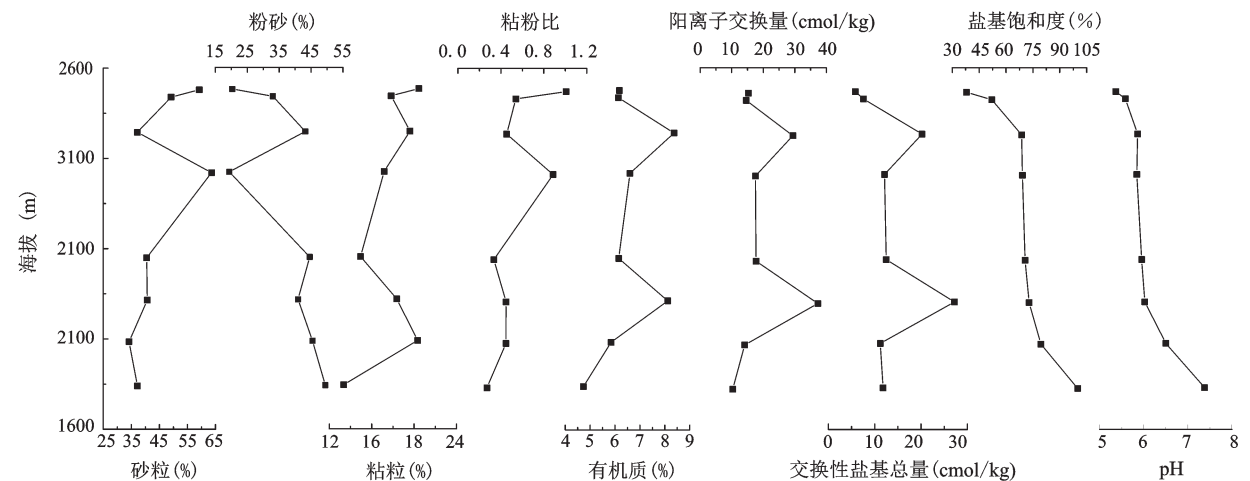


图4 九顶山西北坡土壤特征海拔梯度变化

Fig.4 Variations of the soil feature with elevation gradient in the northwest slope of the Jiuding Mountain

较低不利于土壤有机质的分解而使其含量偏高。

2.2.3 有机碳稳定同位素

九顶山西北坡土壤有机质 $\delta^{13}\text{C}$ 值范围为 -28.00‰ ~ -18.55‰ ,平均 -25.33‰ ,随海拔升高呈负偏趋势,尤其是在海拔2 000 m左右发生了明显的转变(图3)。反映了干旱河谷区随海拔的增加 C_4 植物逐渐减少的特征,在海拔2 000 m以上区域适宜 C_3 植物发育。柏松等^[24]的岷江上游土壤有机碳同位素海拔梯度变化具有类似的特征。九顶山样品有机质 $\delta^{13}\text{C}$ 值在海拔2 300 m左右为最轻值 -28.00‰ ,而往上略为偏重(图3)。贡嘎山植物碳同位素研究表明^[25],气温是植被碳同位素海拔变化的主要限制因子,受此影响 C_4 植物主要分布在2 100 m以下的低海拔区,而海拔2 000 m以上的 C_3 植物碳同位素随海拔的增加出现变重变化,幅度为 $1.3\text{‰}/\text{km}$ 。

2.2.4 土壤粘土矿物

九顶山西北坡土壤粘土矿物组成以伊利石为主,含有较多的高岭石和石英。但随海拔的变化,土壤粘土矿物存在明显差异(表2)。在海拔低于2 000 m的土壤中出现了方解石,且海拔越低,方解石的含量越高,前述干旱河谷沿岸较高的碳酸盐含量与pH值很可能与此有关。而在海拔约2 000 m以上分布的土壤中,方解石未检出,且在海拔3 200 m~3 400 m区域,土壤中发现少量纤铁矿,反映出高海拔区域相对潮湿的环境特征^[26]。

2.2.5 阳离子交换性能和pH

九顶山西北坡土壤样品阳离子交换量和交换性盐基总量范围分别为 $10.30\sim 37.30\text{ cmol/kg}$ 和 $5.80\sim$

表2 九顶山西北坡土壤粘土矿物组成

Table 2 Composition of clay minerals in the soils from the northwest slope of the Jiuding Mountain

样号	海拔(m)	伊利石	石英	方解石	高岭石	纤铁矿
P1	3480	+++++	+++	—	+++	—
P2	3440	+++++	++	—	+++	+
P3	3245	+++++	+++	—	++	+
P4	3021	+++++	+++	—	+++	—
P5	2550	+++++	+++	—	++++	—
P6	2315	+++++	+	—	++++	—
P7	2085	+++++	++	+	+++	—
P8	1840	+++++	+	++++	++	—

注:“+++++”非常多;“++++”多量;“+++”一定量;“++”少量;“+”极少;“—”未检出。

27.20 cmol/kg ,而盐基饱和度范围为 $37.91\%\sim 100\%$ (图4)。样品阳离子交换量和交换性盐基总量海拔梯度变化峰值出现在2 300 m和3 200 m的林地区域,与有机质变化趋势高度相关。土壤有机质累积有助于盐基离子的增多^[27,28]。盐基饱和度变化与土壤的pH值一致,在低海拔区域,土壤呈中性偏碱性,盐基饱和度达饱和,表明土壤盐基饱和度受酸碱性影响明显^[28,29]。

2.3 岷江上游河谷土壤发生空间分异的影响因素

从岷江上游河谷底部土壤和九顶山西北坡土壤发生特征的空间差异性,得出气候是影响该区土壤发育的主要因素,而气候特征的差异缘于地貌位置和海拔梯度的变化。从河谷沿岸变化来看,三江到映秀一带属岷江支流寿江流域,因有岷

江东南向切穿龙门山脉,西南和东南季风带来的暖湿气流可沿河谷进入,导致气候温暖湿润。该区域土壤样品粘粒含量、粘粉比、铁游离度、有机质含量相对较高,而碳酸盐含量、pH和有机质 $\delta^{13}\text{C}$ 值相对较低,这跟降水较多和植被丰富是一致的;而从映秀沿岷江河谷往北,弯曲的河谷阻隔暖湿气流,加之东北-西南走向的龙门山脉海拔逐渐增加,对季风阻挡作用而形成的焚风效应也逐渐增强,降水减少而呈现干温的气候特征。野外观察,映秀-银杏-草坡沿线的岷江河谷植被类型逐渐由灌草向矮草群落过渡,而继续往上游的草坡至凤仪一线,河谷两岸基本上以矮草植被景观为主,属典型的干旱河谷地段。土壤样品也表现出较低的粘粒含量、粘粉比、铁游离度和较高的碳酸盐含量、pH和有机质 $\delta^{13}\text{C}$ 值(图2和3)。岷江上游干旱河谷区不同植被覆盖类型下土壤质量存在显著差异,总体上林地的土壤质量优于灌木林和灌草植被^[30],表明在干旱河谷地段湿度的减少一方面制约了土壤的发育,同时也严重影响乔木的生长。

从河谷山地垂直变化来看,尽管上述河谷沿岸土壤样地海拔差异较大,但土壤特征仍然反映了地貌位置对气候的影响,其原因很可能在于河谷沿岸样品海拔均在2 000 m以下,气候随海拔梯度变化不明显。而地处干旱河谷地段的九顶山西北坡,土壤样地海拔介于1 840~3 480 m(表2),土壤发生特征的海拔梯度变化反映出在2 000 m以下土壤淋溶作用不明显、发育较弱,表现为较低的粘粉比和粘粒、有机质含量,较多的方解石及pH;随海拔的增加,土壤粘粉比、有机质含量增大,且出现纤铁矿而方解石缺失,同时有机质 $\delta^{13}\text{C}$ 值负偏,指示了干旱河谷高海拔气候较湿润的特征。岷江上游气候特征立体分布明显,降水量随海拔增加而增加^[31]。而土壤有机质、全氮、有效氮和磷含量也随海拔升高而增大^[5,6],表现出该区土壤肥力特征分布也跟降水密切相关。

2.4 岷江上游河谷土壤空间分异性对植被恢复的启示

岷江上游生态环境治理一直受到人们的关注,尽管人们采取了许多措施,但生态环境仍然脆弱^[32-34]。岷江上游生态环境治理应结合气候条件的差异性,采取分段治理的策略。在干旱河谷低海拔地带土壤发育较弱、淋溶作用较差、而碳酸盐含量和pH值高,适宜栽培耐旱和耐碱的C₄型草本

和灌木类植物。特别是在植被覆盖度较低的地带,相对于生物多样性提高的治理,优先进行植被恢复,以达到快速增强水土保持的能力^[34];而在非干旱河谷区以及海拔大于2 000 m以上的干旱河谷坡地,气候相对湿润,土壤发育较好,肥力相对较高,造林立地条件较好^[5,6],则可逐渐过渡为以C₃型的乔木林为主。此外,应加强生态环境管理,严格保护现有各类植被的自然发育。

3 结论

1) 受地貌位置和海拔梯度变化的影响,岷江上游河谷土壤发生特征表现出明显的空间分异性。三江至映秀段土壤发育较好、淋溶作用较强,土壤具有较高的粘粉比、铁游离度及粘粒和有机质含量,而碳酸盐含量、pH和有机质 $\delta^{13}\text{C}$ 值相对较低,反映了气候湿润和植被以乔木为主的环境特征;草坡至凤仪段土壤成壤作用弱,淋溶作用差,土壤颗粒较粗、碳酸盐含量和pH较高,而铁游离度和有机质含量较低,有机质 $\delta^{13}\text{C}$ 值偏重,反映出干旱的气候和以C₄植被为主的环境特征。

2) 九顶山西北坡随海拔的增加,土壤发育增强,淋溶作用较好,表现在高海拔土壤粘粉比、有机质含量较大,出现纤铁矿而方解石缺失,表明干旱河谷地带高海拔气候湿润;而海拔低于2 000 m的土壤粘粉比和粘粒、有机质含量较低,方解石含量和pH值较高,指示了干旱的气候特征。岷江上游河谷土壤发生特征的空间分异性对指导生态重建和植被恢复具有指示意义。

参考文献(References):

- [1] 吴宁, 卢涛, 罗鹏, 等. 地震对山地生态系统的影响—以5.12汶川大地震为例[J]. 生态学报, 2008, 28(12): 5810-5819. [Wu Ning, Lu Tao, Luo Peng et al. A review of the impacts of earthquake on mountain ecosystems: taking 5. 12 Wenchuan Earthquake as an Example. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(12): 5810-5819.]
- [2] 徐小军, 何丙辉, 胡恒, 等. 汶川地震区土壤物理性质与渗透性的坡面分布特征[J]. 水土保持学报, 2011, 25(6): 34-39. [Xu Xiaojun, He Binghui, Hu Heng et al. Distribution of soil physical properties and permeability on slopes in Wenchuan Earthquake zone. Journal of Soil and Water Conservation, 2011, 25(6): 34-39.]
- [3] 姜琳, 边金虎, 李爱农, 等. 岷江上游2000-2010年土壤侵蚀时空格局动态变化[J]. 水土保持学报, 2014, 28(1): 18-35. [Jiang Lin, Bian Jinhu, Li Ainong et al. Spatial-temporal changes of

- soil erosion in the upper reaches of Minjiang River from 2000 to 2010. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2014, 28(1): 18-35.]
- [4] 刘珊珊, 张兴华, 宫渊波, 等. 放牧干扰对岷江上游山地森林/干旱河谷交错带土壤活性有机碳的影响[J]. *应用生态学报*, 2014, 25(2): 359-366. [Liu Shanshan, Zhang Xinghua, Gong Yuanbo et al. Effects of grazing disturbance on soil active organic Carbon in mountain forest-arid valley ecotone in the upper reaches of Minjiang River. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2014, 25(2): 359-366.]
- [5] 王春明, 包维楷, 陈建中, 等. 岷江上游干旱河谷区褐土不同亚类剖面及养分特征[J]. *应用与环境生物学报*, 2003, 9(3): 230-234. [Wang Chunming, Bao Weikai, Chen Jianzhong et al. Profile characteristics and nutrients of dry cinnamon soils in dry valley of the upper Minjiang River. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 2003, 9(3): 230-234.]
- [6] 王春明. 岷江上游干旱河谷土壤肥力的垂直变化[D]. 重庆: 西南农业大学, 2001. [Wang Chunming. Changes in soil physical and chemical properties varying with altitudinal gradients in dry valley of the Minjiang River Chongqing: Agricultural University of Southwest, Thesis, 2001.]
- [7] 黄容, 潘开文, 王进闯, 等. 岷江上游半干旱河谷区 3 种林型土壤氮素的比较[J]. *生态学报*, 2010, 30(5): 1210-1216. [Huang Rong, Pan Kaiwen, Wang Jinchuang et al. Comparison of soil Nitrogen status among three stand types in the semi-arid areas of upper reaches of the Minjiang River. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(5): 1210-1216.]
- [8] 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): 557-562. [Bao Weikai, Wang Chunming. Degradation mechanism of mountain ecosystem at the dry valley in upper reaches of the Minjiang River. *Journal of Mountain Science*, 2000, 18(1): 557-562.]
- [9] Rozhkov V A. Soils and the soil cover as witnesses and indicators of global climate change[J]. *Eurasian Soil Science*, 2009, 42(2): 118-128.
- [10] 胡雪峰, 龚子同. 土壤发生学与第四纪研究[J]. *热带亚热带土壤科学*, 1998, 7(3): 257-259. [Hu Xuefeng, Gong Zitong. Relationship between soil Genesis and quaternary research. *Tropical and Subtropical Soil Science*, 1998, 7(3): 257-259.]
- [11] 张凤荣, 马步洲, 李连捷. 土壤发生与分类学[M]. 北京: 北京大学出版社, 1992. [Zhang Fengrong, Ma Buzhou, Li Lianjie. *Soil Genesis and taxonomy*. Beijing: Peking University Press, 1992.]
- [12] 杨兆平, 常禹, 胡远满, 等. 岷江上游干旱河谷景观变化及驱动力分析[J]. *生态学报*, 2007, 26(6): 869-874. [Yang Zhaoping, Chang Yu, Hu Yuanman et al. Landscape change and its driving forces of dry valley in upper reaches of Minjiang River. *Chinese Journal of Ecology*, 2007, 26(6): 869-874.]
- [13] 高君亮, 高永, 罗凤敏, 等. 表土粒度特征对风蚀荒漠的响应[J]. *科技导报*, 2014, 32(25): 20-25. [Gao Junliang, Gao Yong, Luo Fengmin et al. Response of surface soil grain size characteristics to wind erosion desertification. *Science & Technology Review*, 2014, 32(25): 20-25.]
- [14] 郭雪莲, 刘秀铭, 吕镜, 等. 天山黄土区与黄土高原表土磁性特征对比及环境意义[J]. *地球物理学报*, 2011, 54(7): 1854-1862. [Guo Xuelian, Liu Xiuming, Lv Bin et al. Comparison of topsoil magnetic properties between the loess region in Tianshan Mountain and Loess Plateau. And Its Environmental Significance. *Chinese Journal of Geophysics*, 2011, 54(7): 1854-1862.]
- [15] Sidorova V A, Krasilnikov P V. Soil-geographic interpretation of spatial variability in the chemical and physical properties of topsoil horizons in the steppe zone[J]. *Eurasian Soil Science*, 2007, 40(10): 1042-1051.
- [16] 刘杰, 张杨珠, 罗尊长, 等. 湘中南丘岗地区土壤发生特性及系统分类[J]. *湖南农业大学学报: 自然科学版*, 2012, 38(6): 355-648. [Liu Jie, Zhang Yangzhu, Luo Zunchang et al. Genetic characteristics and taxonomy of soils in hilly regions of central-south Hunan province. *Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences)*, 2012, 38(6): 355-648.]
- [17] 赵明松, 张甘霖, 李德成, 等. 苏中平原南部土壤有机质空间变异特征研究[J]. *地理科学*, 2013, 33(1): 83-89. [Zhao Mingsong, Zhang Ganlin, Li Decheng et al. Spatial variability of soil organic matter and factor analysis in the South of middle Jiangsu Plain. *Scientia Geographica Sinica*, 2013, 33(1): 83-89.]
- [18] 文星跃, 黄成敏, 黄凤琴, 等. 岷江上游河谷土壤粒径分形维数及其影响因素[J]. *华南师范大学学报: 自然科学版*, 2011, (1): 80-86. [Wen Xingyue, Huang Chengmin, Huang Fengqin et al. Fractal dimensions of soil particles and related affecting factors from the valley of upper Minjiang River. *Journal of South China Normal University(Natural Science Edition)*, 2011(1): 80-86.]
- [19] 张甘霖, 龚子同. 土壤调查实验室分析方法[M]. 北京: 科学出版社, 2012. [Zhang Ganlin, Gong Zitong. *Soil survey laboratory methods*. Beijing: Science Press, 2012.]
- [20] Liu Weiguo, Ning Youfeng, An Zhisheng et al. Carbon isotopic composition of modern soil and paleosol as a response to vegetation change on the Chinese Loess Plateau[J]. *Science in China Series D-earth Sciences*, 2005, 48(1): 93-99.
- [21] He Yong, Qin Dahe, Ren Jiawen et al. The summer monsoon evolution recorded by Carbon isotope of organic matter from the Yuanbao loess section during the Last Interglaciation[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2002, 47(15): 1289-1291.
- [22] Ning Y F, Liu W G, An Z S. Variation of soil $\delta\delta^{13}C$ values in Xifeng loess-paleosol sequence and its paleoenvironmental implication[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2006, 51(11): 1350-1354.
- [23] 王琳, 欧阳华, 周才平, 等. 贡嘎山东坡土壤有机质及氮素分布特征[J]. *地理学报*, 2004, 59(6): 1012-1019. [Wang Lin, Ouyang Hua, Zhou Caiping et al. Distribution characteristics of soil organic matter and Nitrogen on the eastern slope of Mt. Gongga. *Acta Geographica Sinica*, 2004, 59(6): 1012-1019.]
- [24] 柏松, 黄成敏, 唐亚. 岷江上游干旱河谷海拔梯度上的土壤发生特征[J]. *土壤*, 2008, 40(6): 980-985. [Bai Song, Huang Chengmin, Tang Ya. Pedogenetic property variation with elevation in dry valley of the upper Minjiang River. *Soils*, 2008, 40(6):

- 980-985.]
- [25] Li Jiazhu, Wang Guoan, Liu Xianzhao et al. Variations in Carbon isotope ratios of C-3 plants and distribution of C-4 plants along an altitudinal transect on the eastern slope of Mount Gongga[J]. Science in China Series D-earth Sciences, 2009, 52(11): 1714-1723.
- [26] Qafoku N P, Ranst E V, Noble A et al. Variable charge soils: Their mineralogy, chemistry and management[J]. Advances in Agronomy, 2004, 84: 159-215.
- [27] 刘世全, 蒲玉琳, 张世熔, 等. 西藏土壤阳离子交换量的空间变化和影响因素研究[J]. 水土保持学报, 2004, 18(5): 1-5. [Liu Shiquan, Pu Yulin, Zhang Shirong et al. Spatial change and affecting factors of soil cation exchange capacity in Tibet. Journal of Soil and Water Conservation, 2004, 18(5): 1-5.]
- [28] Wisawapipat W, Kheoruenromne I, Suddhiprakarn A et al. Surface charge characteristics of variable charge soils in Thailand [J]. Australian Journal of Soil Research, 2010, 48(4): 337-354.
- [29] Qafoku N P, Sumner M E, West L T. Mineralogy and chemistry of some variable charge subsoils[J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 2000, 31(7/8): 1051-1070.
- [30] 周义贵. 岷江上游干旱河谷区不同土地利用/植被恢复类型土壤生态效益评价[D]. 雅安: 四川农业大学, 2014. [Zhou Yigui. Evaluation on soil ecological benefits in different land use/vegetation restoration in the dry-valley region of the upper reaches of Minjiang River Yaan: Aricultural University of Sichuan, Dissertation, 2014.]
- [31] 张一平, 张昭辉, 何云玲. 岷江上游气候立体分布特征[J]. 山地学报, 2004, 22(2): 179-183. [Zhang Yiping, Zhang Zhaohui, He Yunling. Distribution of climatic elements in the upper reaches of Minjiang River. Journal of Mountain Science, 2004, 22(2): 179-183.]
- [32] 岷江上游综合考察队. 岷江上游森林生态问题综合考察报告. 四川林业科技, 1980, 增刊:1-31.[Comprehensive Survey Team. Comprehensive investigaion on forest ecological problems in the upper reaches of Minjiang River. Journal of Sichuan Forestry Science and Technology, 1980, Supplementary issues:1-31.]
- [33] 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. [Bao Weikai, Chen Qingheng, Chen Keming. Environment control techniques for vegetation restoration in dry valley of upper reaches of Minjiang River. Chinese Journal of Applied Ecology, 1999, 10(5): 542-544.]
- [34] 李国强, 马克明, 傅伯杰. 区域植被恢复对生态安全的影响预测——以岷江上游干旱河谷为例[J]. 生态学报, 2006, 26(12): 4127-4134. [Li Guoqiang, Ma Keming, Fu Baijie. Impacts prediction of regional vegetation restoration on ecological security. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(12): 4127-4134.]

Spatial Heterogeneity and Environmental Significance of Pedogenesis in Soils from Valley of the Upper Minjiang River

Wen Xingyue¹, Huang Yanjuan², Huang Chengmin²

(1. College of Land and Resources, China West Normal University, Nanchong 637002, Sichuan, China; 2. Department of Environmental Science and Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, Sichuan, China)

Abstract: Investigation on the pedogenesis of soils from the upper reaches of the Minjiang River is necessary for ecological reconstruction and vegetation restoration in this region. The soils development from the valley of the upper Minjiang River and the Jiuding Mountain were investigated based on the physical and chemical properties such as grain size distribution, oxide of iron, organic matter, carbonate, pH, organic stable isotope, cation exchange capacity, and clay mineralogy. The well development and eluviation prevailed in the soils from the Sanjiang to the Yingxiou, demonstrated by the higher values of clay/silt, iron free degree, clay and organic mater contents and lower values of carbonate content, pH and organic $\delta^{13}\text{C}$, indicating an environmental property of warm-wet climatic conditions and prevailed trees. However, the soils from the Caopo to the Fengyi were characterized by the higher sand and carbonate contents, pH and organic $\delta^{13}\text{C}$, and lower values of iron free degree and organic mater content, showing an arid climate in where C_4 vegetation prevail. The clay/silt and organic mater content increase, iepidocrocite arising and calcite lack occurred in the high altitude region of the Jiuding Mountain, indicating a wet climatic condition. While the soils under 2000 metre above sea level presented an arid climatic feature, as demonstrated by the lower values of clay/silt and contents of clay and organic mater, as well as the higher calcite content and pH.

Key words: pedogenesis; spatial heterogeneity; arid valley; the upper Minjiang River; the Jiuding Mountain