

文章编号: 1008-2786-(2006)3-357-09

# 灌丛对川西北高寒草甸土壤资源的影响

刘长秀<sup>1</sup>, 张宏<sup>1</sup>, 泽柏<sup>2</sup>

(1 四川师范大学资源生态研究中心, 四川 成都 610066; 2 四川省草原研究所, 四川 红原 624400)

**摘要:**以川西北高原红原县为研究区,用方格取样法,在相邻的高寒灌丛草地和高寒草甸样地中分别随机取0~20 cm土样50个,并分析了这些土样的土壤性状。利用SPSS(11.0)软件对实验数据进行了统计、分析和比较,研究了两个样地的各种土壤养分的平均含量、空间异质性和相关关系。结果表明,草甸样地的粘粒含量、 $P_{\text{total}}$ 、 $N_{\text{total}}$ 、 $ORG$ 、 $P_{\text{available}}$ 、 $N_{\text{available}}$ 、 $K_{\text{available}}$ 的含量都高于灌丛样地,且两样地速效养分差异极显著,但草甸样地土壤的 $ORG$ 、 $N_{\text{available}}$ 、 $K_{\text{available}}$ 的变异系数(CV)却明显小于灌丛样地,特别是 $K_{\text{available}}$ 的CV值,灌丛样地比草甸样地高出了53.37%;相关分析还表明,相对于草甸,灌丛样地中各养分元素之间的相关性明显增强。说明灌丛对高寒草甸土壤资源的异质性有明显的影响,其存在降低了草甸土壤养分的均值含量并增强了土壤养分的变异性和侵蚀潜力,不利于高寒草甸土壤养分的保持。

**关键词:**灌丛;高寒草甸;土壤资源;川西北高原

**中图分类号:**X171.1      **文献标识码:**A

高寒草地是我国重要的草地资源,素有“高原肉库”之美称。但由于近年来草地利用不合理,家畜载畜量过大,草地出现不同程度退化<sup>[1]</sup>。科技工作者从不同的角度,如不同扰动生境纤维素分解菌数量动态<sup>[2]</sup>,植被覆盖变化对土壤水分循环的影响<sup>[3]</sup>,土壤有机碳储量及分布特征<sup>[4]</sup>,生态系统土壤CO<sub>2</sub>排放及其碳平衡<sup>[5]</sup>,混播多年生禾草对草地植被状况和土壤肥力的影响及其经济价值<sup>[6]</sup>,不同土壤水分含量下高寒草地CH<sub>4</sub>的释放<sup>[7]</sup>,人工建设对草地生态系统的影响<sup>[8]</sup>等等方面对高寒草地进行了研究,但就灌丛对高寒草甸土壤的影响方面却未见报道。而大量研究表明<sup>[9-12]</sup>在半干旱草原中,灌丛的入侵大大加剧了土壤资源的空间异质性,使土壤水分和养分逐渐在灌丛下部土壤中聚集,形成灌丛“沃岛”,而灌丛间的土壤物质在水力和风力作用下形成土壤侵蚀。本文通过对川西北高寒地区相邻的灌丛草甸和典型草甸土壤主要养分的对比研究,

探讨了在严酷的高寒环境中,灌丛对草地土壤资源的空间分布的影响,以为该地相关研究提供理论参考。

## 1 研究方法

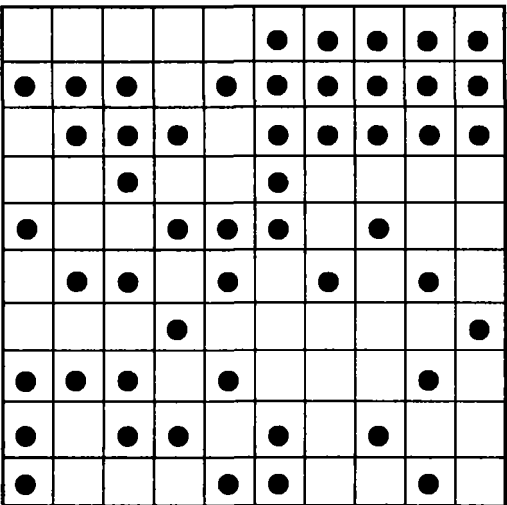
### 1.1 研究区概况

研究区位于四川省红原县(101°51′~103°23′E, 31°51′~33°19′N, 平均海拔3600 m),地处青藏高原东部边缘,川西北山地向高原的过渡地带,地势大体呈东南向西北倾斜,丘状高原和山地为其主要地貌类型。

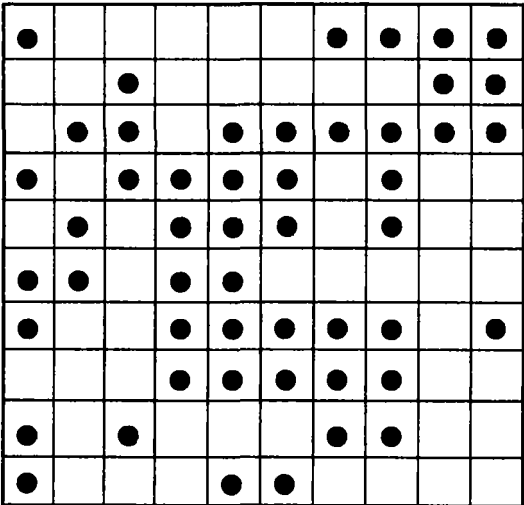
本区属大陆性高原寒温带季风气候,以寒冷、日温差大、霜冻期长、四季变化不明显为主要特征。空气稀薄,年均日照时间2158.7 h<sup>[13]</sup>;年均温1961~1991年为1.4℃,无绝对无霜期,极端最低温和最高温出现在1月和6月,分别为-36℃和26℃。>

收稿日期(Received date): 2006-01-02 改回日期(Accepted): 2006-03-15  
基金项目(Foundation item): 四川省教育厅重点项目(2005A091)资助。[Financially supported by the Education Department of Sichuan Province Vertical Item (2005A091)]  
作者简介(Biography): 刘长秀(1975-),女,汉族,四川资中县人,硕士研究生,主要从事生态资源开发与保护等方面的研究。[Liu Changxiu (1975-), female, the Han nationality, born in Zizhong County of Sichuan, master, mainly study on exploitation and conservation of ecological resources. Email: lcx1007@163.com; Tel: 13398157322]

10℃的年积温为 321.3℃; 历年平均风速 2.2 m/s, 年均降水 749.1 mm, 而年均蒸发量达 1262.5 mm, 除 6、7、8月外, 其余月份降水量均小于蒸发量, 空气干燥。该地多灾害天气, 年均发生暴雨 2.1 d<sup>[13]</sup>, 5~10月为多发期; 该地大风盛行, 最大瞬时风速达 36 m/s。境内的土壤类型以亚高山草甸土、沼泽土和高山草甸土为主, 其中亚高山草甸土占全县土地总面积的 55.4%, 其草群覆盖率达 70%~90%<sup>[13]</sup>。



东西向 Easting-westing  
草地样点图 grassland site samples



东西向 Easting-westing  
灌丛样点图 shrubland site samples

图 1 空间取样设计

Fig 1 The design of space sampling

1.2 空间取样设计

2005-07中旬, 在红原县阿木柯河的一级阶地玛莫草场 (32°54'958"N, 102°36'142"E; 海拔: 3478 m), 选择亚高山草甸和亚高山灌丛草甸分异明显又紧邻的样地作为研究对象。在两样地中分别确定一个 20 m × 20 m 的样方。再将每个样方分成 2 m × 2 m 的 100个单元, 分别随机抽 50个单元 (见图 1), 用土钻在抽取的单元中心点取 0~20 cm 的土壤样品带回实验室进行养分分析。取土时对每个样点的生境进行详细的记录。同时, 在两个样地中用对角线法, 分别确立 5点, 取 5~20 cm 的环刀土样, 以测定土壤容重。

1.3 实验分析

采用环刀法测土壤容重<sup>[14]</sup>; 有机质 (ORG)含量采用重铬酸钾容量法-外加热测定; 全氮 ( $N_{total}$ ) 含量采用半微量开氏法测定; 速效氮 ( $N_{avail}$ ) 含量采用碱解扩散法测定; 全磷 ( $P_{total}$ ) 采用酸溶-钼锑抗比色法测定; 速效磷 ( $P_{avail}$ ) 采用盐酸-氟化铵法测定; 速效钾 ( $K_{avail}$ ) 采用四苯硼钠比浊法<sup>[15]</sup>测定; 土壤 pH 采用水土比 = 1:1 的土壤悬液用电极法测定<sup>[16]</sup>; 土壤机械组成用 Rise-2008型激光粒度分析仪分析。

1.4 数据分析

采用 Excel 2000和 SPSS(11.0)软件对实验数据进行统计、分析和多重比较。分别计算了两个样地的各种养分的平均浓度、变异系数, 还用相关分析描述了每块样地的土壤性状值之间的关系。

2 结果与分析

2.1 植被覆盖状况

高寒灌丛草地以高山绣线菊 (*Spiraea alpina*) 为建群种, 盖度为 50%左右、高 0.5~0.7 m, 其中还夹杂一些藏沙棘 (*Hippophae tibetica*)。草本植物种类多, 盖度在 80%左右, 主要有藏茴香 (*Carum carvi* Linnaeus)、鹅绒萎陵菜 (*Potentilla anserina*)、毛茛状金莲花 (*Trollius ranunculoides* H. et al.), 线叶蒿草 (*Kobresia capillifolia*)、发草 (*Deschampsia caespitosa*)、早熟禾 (*Poa annua*)、珠芽蓼 (*Polygonum viviparum*)、圆穗蓼 (*Polygonum macrophyllum*)、高原毛茛 (*Ranunculus brotherusii*)、垂穗披碱草 (*Elymus nutans*)、星状风毛菊 (*Saussurea stella*) 等等。

高寒草甸的建群种主要有: 星状风毛菊、藏茴

香、鹅绒萎陵菜、毛茛状金莲花、发草、早熟禾、珠芽蓼、圆穗蓼、高原毛茛、高山紫菀 (*Aster alpinus*)、垂穗披碱草、线叶蒿草等。

## 2.2 土壤粒度分析

土壤机械组成是最基本的土壤参数之一<sup>[17]</sup>。本研究在所有的分析土样中均未发现  $> 0.125$  mm 的颗粒,粒径在  $0.1 \sim 0.125$  mm 粒级含量也很少,只有极个别土样在  $0.1\% \sim 0.2\%$  之间。从表 1 可知:

1.  $< 0.002$  mm 的颗粒属粘粒和胶体粒级范畴,这一粒级的含量灌丛土样只有  $4.536\%$ ,而草地土样占  $19.09\%$ ,是灌丛土样的  $4.2$  倍,两者间的差异达极显著水平,  $p$  值为  $0.001$ 。

2.  $0.002$  mm  $\sim 0.05$  mm 的粒级含量对两块样地都至关重要,从表 1 可发现,灌丛样地和草地样地该粒级均值含量分别达  $93.65\%$ 、 $77.99\%$ ,是两样地土样中所有粒级含量最多的。在草地样地和灌丛样地中最大分别可达  $95.75\%$ 、 $96.40\%$ 。在该粒级范围内,灌丛土样的均值比草地高出了  $20.08\%$ ,差异极显著,  $p$  值为  $0.000$ ,而  $0.002$  mm  $<$  粒径  $< 0.05$  mm 属最易风蚀的粉砂<sup>[18]</sup>,表明了灌丛样地比高寒草甸有更大的侵蚀潜力。

3.  $0.05$  mm  $<$  粒径  $< 0.1$  mm 的颗粒含量在两块样地中都较少。草地在  $2.9\%$  左右,略高于灌丛样地的  $1.652\%$ 。

4.  $< 0.005$  mm 的粉粒含量在一定程度上决定着土壤的物理力学性质,特别是决定着土壤的物理性质,如天然含水量、孔隙大小等,这一粒级含量草地土样在  $7.90\% \sim 99.96\%$  之间变化,灌丛土样在  $15.26\% \sim 46.94\%$  之间变化,但草地的均值仍高出灌丛  $7.99\%$ 。

## 2.3 土壤养分

统计分析表明除了土壤容重、pH 值、 $C/N$  之间差异不显著,灌丛样地略高于草地样地之外,两样地的其他土壤特性存在显著差异(表 2)。其中两样地之间的  $P_{\text{total}}$  和  $N_{\text{total}}$  差异显著,  $p$  值分别是  $0.033$  和  $0.017$ 。值得注意的是草地样地的土壤速效养分含量远远高于灌丛样地,  $N_{\text{avail}}$ 、 $K_{\text{avail}}$  分别高出  $13.63\%$ 、 $27.50\%$ ,而  $P_{\text{avail}}$  则高达  $40.03\%$ ,它们之间有极显著的差异,  $p$  值分别是  $0.000$ 、 $0.003$  和  $0.000$ 。

## 2.4 土壤养分的变异系数

与每种土壤养分的平均浓度 ( $n = 50$ ) 相关联的每个样地中土壤养分的变异系数 ( $CV$ ) [ $SD / \text{mean}$

( $100\%$ )] 为每个样地的土壤提供了一个综合的变化指标<sup>[19]</sup>。从表 (3) 中可以看出,两个样地土壤养分的变异系数都较大,其中  $P_{\text{avail}}$  的变异最大,草地土样和灌丛土样速效磷的变异分别达到  $38.82\%$  和  $38.33\%$ ,接近  $40\%$ 。通常认为变异系数  $CV \leq 10\%$  时为弱变异,  $10\% < CV \leq 100\%$  为中等变异,当  $CV > 100\%$  为强变异<sup>[20]</sup>。试验土壤各项特性的变异范围除了容重的变异系数  $< 10$  为弱变异外,其他各项指标都在  $15.36\% \sim 38.82\%$  之间,属中等变异。其中灌丛样地中的  $N_{\text{avail}}$ 、 $K_{\text{avail}}$ 、 $ORG$ 、pH、容重的变异系数明显大于草地,说明了灌丛对该高寒草甸的土壤资源的空间变异有较大的影响。

## 2.5 土壤成分的相关性分析

在草地土壤中  $P_{\text{avail}}$  和土壤 pH 值互成显著的负相关关系,  $N_{\text{total}}$  和  $N_{\text{avail}}$  互成显著的正相关关系。在灌丛地土壤中  $P_{\text{total}}$  与  $ORG$ ,  $P_{\text{avail}}$  与  $K_{\text{avail}}$ ,  $N_{\text{total}}$  与  $N_{\text{avail}}$ ,  $ORG$  与  $C/N$  都比呈显著的正相关,而  $P_{\text{total}}$  与 pH,  $N_{\text{total}}$  与  $C/N$ ,  $ORG$  与 pH 值呈显著的负相关关系(表 4)。值得注意的是两块样地中的全氮与速效氮都呈显著正相关。其他各元素之间都有相关关系,但没有达到显著水平。从其相关系数来看,在灌丛样地中各元素之间的相关性总体上强于草地样地。

## 3 讨论

通过对两块相邻而植被覆盖类型不同样地的土壤养分特征的研究可知,两块样地土壤的机械组成有较大的差别,绝大部分的土壤元素,在数量级和空间变异性上都有实质性的不同,特别是对植物生长有限制性意义的基本元素 N、P、K (见表 1、表 2、表 3),证明灌丛的存在对高寒草甸土壤资源的空间异质性有明显的影响。

川西北高原高寒、长冬无夏,植物生长期极短。高寒灌丛草地中灌丛的盖度较大,以其在光、温、水方面的竞争优势,极大的限制了灌丛间的草本植物的生长,使丛间不易形成草皮层,到了冬天,灌木枝叶凋落,丛间的部分土壤裸露,这就为土壤侵蚀创造了条件。而红原县是个暴雨多发地,且大风盛行,大风在各月均有出现,最大瞬间风速达到飓风标准<sup>[13]</sup>。在冻融季节灌丛间土壤由于没有植被覆盖,风力侵蚀比较严重,土壤在风蚀过程中往往伴随着土壤表层细颗粒物质的损失,损失的大部分是粒径  $< 0.05$  mm 的粉尘,因为只有这部分的悬移质才能

随气流飘出<sup>[21]</sup>。导致灌丛土壤中砂粒含量较多,细颗粒物 质和有机质含量较少,因而土壤质地也就更粗,土壤保水保肥性能相对较差。而高寒草甸草地是由浅根系的草本植物组成,植被覆盖较均匀,草地的各种生物学过程,以及土壤氮的矿化和吸收过程主要集中在 0~30 cm 的土层<sup>[22]</sup>,有十分坚韧的土壤草毡表层,风力侵蚀相对较弱,与灌丛草地相比较,其细颗粒物 质和有机质含量较多,土壤质地较好,土壤容重较小,大气降水在土壤内的入渗速率较快,不易发生水分和养分的水平运输。而灌丛间的土壤在水蚀和风蚀的联合作用下,导致了土壤水分和养分的流失,并使裸露斑块进一步扩大,从而增加了土壤物质水平分布的空间异质性。同时,土壤容重变大,孔隙度减小,持水能力下降,土壤全氮、全磷及有机质含量亦降低。

表 1 两样地 0~20 cm 土壤的粒度组成统计 (%)

Table 1 The soil granularity form statistics of two sites at the depth of 0~20 cm (%)

粒径 (mm)	< 0.002	0.002~0.05	0.05~0.1	> 0.005
草地	19.09±36.72*	77.99±2.33*	2.9±2.04	33.35±44.48
灌丛	4.54±3.50*	93.65±2.38*	1.65±1.33	25.36±12.87

\* 和 \* 表示在 ( $P < 0.05$ ) 和 ( $P < 0.01$ ) 的显著差异性  
\* and \* indicates significant difference at the ( $P < 0.05$ ) and ( $P < 0.01$ ) level  
表中数据代表相应的指标的平均值 ± 标准误 Each datum means mean ± se n=10

表 2 两个样地的土壤养分的平均浓度

Table 2 The mean concentration of soil nutrients at each site of the two communities

变量	草地养分含量	养分含量
$P_{total}$ (%)	0.14±0.03*	0.13±0.02*
$P_{avail}$ (mg/kg)	9.62±3.73*	6.87±2.63*
$N_{total}$ (%)	0.26±0.06*	0.24±0.04*
$N_{avail}$ (mg/kg)	481.14±92.63*	423.37±94.72*
ORG (%)	11.90±2.15	11.12±2.88
$K_{avail}$ (mg/kg)	221.61±40.20*	173.81±48.28*
容重 ( $g/m^3$ )	0.86±0.07	0.87±0.07
pH	5.56±0.22	5.63±0.23
C/N	27.64±8.20	28.01±8.02

\* 和 \* 表示在 ( $P < 0.05$ ) 和 ( $P < 0.01$ ) 的显著差异性  
\* and \* indicates significant difference at the ( $P < 0.05$ ) and ( $P < 0.01$ ) level  
表中数据代表相应的指标的平均值 ± 标准误 Each datum means mean ± se n=50

灌丛地土壤比草甸土壤有更低的养分含量 (表 3), 主要原因有三: 1. 由于土壤质地的差异。因为不同土壤颗粒在养分转化中所起的作用不同<sup>[23]</sup>, 对土

壤中各种养分的吸附性能也不同, 导致它们吸附了不同性质和组成的营养元素。粒径小的颗粒比表面大, 因而具有强大的吸附功能。Christensen 等人采用超声波分散—沉降法研究了几种不同类型的土壤后发现, 土壤 N 在土壤粘粒中分布较多, 而在粗粒部分较少<sup>[24]</sup>。随着粒径的加粗, N 在土壤颗粒中的含量逐渐降低, 与本研究结果中草甸样地土壤的粘粒比灌丛样地高出了 32%, 前者土壤有机质、全氮、全磷、速效氮、速效磷、速效钾均较高是一致的 (见表 1、表 2)。2 与不同植被类型间的碳循环方式不同有关。相对于灌丛, 草地植被会把大部分的光合产物分配到根系, 尤其在高寒地区更是如此<sup>[25]</sup>。因我们取土是在该地植物生长极为旺盛的 7 月下旬, 与草地相比, 灌丛样地植物生长旺盛、地上生物量大得多, 灌丛地植物从土壤中吸收的营养物质较多, 养分资源更多的集中于地上生物量。而草本植物有较大的根冠比率 (Root/shoot ratio), 从而增加了 C 向地下的分配量<sup>[26]</sup>。3 还因为草地有轻度的放牧, 而使凋落物积累量减少, 这是由于动物的践踏使凋落物破碎并与土壤充分接触, 这有助于凋落物的分解, 也有助于 C 和养分元素转移到土壤中<sup>[27]</sup>。同时凋落物减少, 使土壤表层变暖, 有利于早春植物的返青。也使植物冠层采光增强, 光合效率提高<sup>[28]</sup>。另外, 牲畜排泄物的归还使土壤表层速效养分增加, 土壤的矿化作用加强, 这些都有助于土壤有机质和养分的积累。

表 3 两块样地土壤养分的变异系数 (%)

Table 3 The coefficient of variation (CV) of nutrients in soil samples at each of two sites

样地	$N_{total}$	$N_{avail}$	$P_{total}$	$P_{avail}$	$K_{avail}$	ORG	容重
草地	24	19.25	17.95	38.82	18.14	18.06	7.79
灌丛	17	22.37	15.36	38.33	27.78	25.9	8.47

土壤有机质是土壤的重要组成部分, 影响、制约土壤性质, 同时还是土壤微生物生命活动所需能量的来源, 其含量是评价土壤肥力和土壤质量的一项重要指标<sup>[29]</sup>。它也是陆地生物圈生物地球化学循环的主要成分之一<sup>[30]</sup>, 其含量对土壤的性质, 如通风性、湿度、阳离子保持能力等有着重要的影响。在草原生态系统中, 土壤有机质是植物养分元素循环的中心, 影响水分关系和侵蚀潜力, 在土壤结构中是一个关键因子<sup>[31]</sup>。同时, 凋落物和土壤有机质能增加土壤团聚体, 团聚体的稳定性和渗透率, 能减少雨

滴和径流等对土壤的影响<sup>[32]</sup>, 因而有机质库的动态稳定是生态系统健康运行的基础<sup>[33]</sup>。

川西北高原气候寒冷且较湿润, 植被地下生物量极高, 两个样地土壤中有机质含量都较高, 均值可达 11% 以上, 草地中最小为 5.81%, 而灌丛中最小是 3.82%, 这主要由于所取土壤为表层土壤, 在高寒地带有机质大量积累而腐殖质矿质化量较少所致<sup>[34]</sup>。但灌丛地的有机质比草地低了 0.78%, 其原因主要是在高寒地区, 植物体死亡后形成粗腐殖质积聚于地表, 经微生物分解进入土壤; 且草地地下生物量比地上生物量大得多, 主要是发达的根系, 集中在 0~30 cm 土层中, 死亡后直接在土壤中被微生物分解形成土壤有机质<sup>[35]</sup>, 大量的死根及根系分泌物也可以直接影响土壤中有机质的含量, 从而影响土壤的物理化学性质<sup>[36]</sup>。而相对于草地, 灌丛地上生物量大得多, 凋落物的质量更差,  $C/N$  值更高<sup>[37]</sup>, 这都延长了土壤表层微生物或真菌进行异氧呼吸的分解时间, 从而降低了植物残体的分解速率。

氮素在地球上大多数地方都是陆地植物生长的主要限制因子<sup>[38]</sup>。土壤氮含量的改变将通过改变土壤碳氮比而改变微生物呼吸, 进而影响土壤  $CO_2$  的释放<sup>[39]</sup>。有机质和氮素是土壤中重要的组成成分, 二者都是影响土壤呼吸的重要因子<sup>[40]</sup>。在高海拔处底物碳氮比值大、温度低、湿度大, 底物和环境条件都不利于微生物活动, 所以高海拔处微生物活动受到抑制, 土壤有机质和氮素累积速率大于分解速率。

土壤氮素的 95% 以上是以有机态存在<sup>[41]</sup>, 因此土壤全氮量主要决定于有机质含量。大量研究证明, 土壤全氮与有机质含量间存在很好的线性正相关<sup>[42]</sup>, 而本研究相关分析表明在灌丛地中全氮与有机质呈不显著的负相关关系 (表 4), 这可能和高寒地区的灌丛枯枝落叶有较高的  $C/N$  值, 微生物分解困难有关。草地表层由于土层结构疏松, 通气性较好, 根系发育, 生物活动强烈, 因而枯枝落叶分解较快, 相对来说土壤有机质易分解, 氮素也在微生物作用下迅速矿化后被植物吸收利用, 因而表现在相同土壤深度内其含量高于灌丛草地。

碳氮比通常被认为是土壤氮素矿化能力的标志, 碳氮比低则利于微生物的分解, 氮的矿化速率就高。土壤中植物有机残体在其腐解过程中, 由于碳

的损失而使  $C/N$  趋于降低, 因此土壤有机质的  $C/N$  也是其腐殖化程度的重要标志<sup>[43]</sup>。草地土壤碳氮比介于 13.1~56.69 之间, 灌丛土壤碳氮比介于 5.08~53.83 之间, 在均值上灌丛略高 (见表 2); 由频数分步分析可知, 灌丛的  $C/N$  集中在 25 左右, 而草地的  $C/N$  集中在 22.5 左右; 相关分析表明, 灌丛土壤  $C/N$  (由于土壤全氮以有机氮占绝对优势, 这可近似地代表有机质的  $C/N$ ) 与有机质含量呈极显著正相关 ( $r=0.892^{**}$ ,  $n=50$ ), 即是说土壤有机质的腐殖化程度有伴随其积累量增加而降低的趋势, 而草甸土壤的  $C/N$  与有机质之间则呈不显著负相关, 这些都说明了草甸样地较灌丛样地土壤腐殖化程度更高, 氮矿化能力更强。

富含有机质的酸性土, 其全氮和碱解氮含量都较高。相关分析表明, 两个样地土壤碱解氮与全氮都呈显著的正相关 ( $r_{草}=0.273^{**}$ ,  $r_{灌}=0.25^{*}$ ,  $n=50$ ) (表 5), 说明土壤全氮是碱解氮的基本控制因素。换言之, 增加土壤的全氮含量, 就能增加其碱解氮含量即提高土壤供氮水平, 且在有机质和全氮含量较低的土壤中, 这种关系表现得更为明显。

与“碱解氮与有机质呈正相关, 且在各类土壤中均达到极显著水平<sup>[44]</sup>”研究结果不同, 在本研究的两个样地中碱解氮与有机质都呈负相关, 但均未达到显著性水平 (见表 4)。而与其碱解氮与有机质的  $C/N$  呈负相关的研究结果相同。这主要与该地高寒气候条件影响有机质的分解和  $N$  的矿化速率有关。也就是说, 土壤碱解氮在主要决定于有机质 (或全氮) 含量的前提下, 还在一定程度受制于有机质的  $C/N$  或腐殖化程度。

土壤全磷属土壤较为稳定的一类指标, 它的含量主要取决于土壤母质的类型及质地, 但它的含量也与土壤有机磷的净矿化作用、土壤磷素的微生物和非生物固定作用有关<sup>[45]</sup>。而土壤磷素的非生物固定作用与微生物固定作用和净矿化作用同时存在, 其固定的数量、强度和速率与土壤性质、成分和环境条件有关<sup>[46]</sup>。这也许是本研究中两个样地的  $P_{\text{可给}}$  差别不大的主要原因。由于不同的植被覆盖, 造成了草甸样地的微环境更有利于磷素的固定和矿化, 因而草甸的  $P_{\text{可给}}$  比灌丛草地高出 40.03%, 所以, 磷的净矿化作用、微生物和非生物固定作用会影响土壤的供磷能力和植物的营养状况。

表 4 川西北高原红原县研究区两个样地土壤成分相关性矩阵  
Table 4 Correlation matrix of soil constituents from two sites in study area in Hongyuan county  
of northwest plateau of Sichuan province China

	$P_{total}$	$P_{avail}$	$N_{total}$	$N_{avail}$	$K_{avail}$	ORG	pH	容重	C/N
$P_{total}^{gr}$	10.229	0.055	0.101	0.117	0.068	-0.243	0.24	0.011	
$P_{total}^{sh}$	1	-0.06	0.229	0.022	0.118	0.241 <sup>f</sup>	-0.304 <sup>e</sup>	-0.739	0.065
$P_{avail}^{gr}$		1	0.198	-0.065	-0.051	0.138	-0.269 <sup>*</sup>	-0.477	0.093
$P_{avail}^{sh}$		1	0.222	0	0.453 <sup>*</sup>	0.033	0.051	-0.367	-0.086
$N_{total}^{gr}$			1	0.273 <sup>‡</sup>	-0.187	0.061	-0.186	-0.162	-0.179
$N_{total}^{sh}$			1	0.25 <sup>*</sup>	0.308 <sup>*</sup>	-0.199	-0.026	-0.629	-0.544 <sup>*</sup>
$N_{avail}^{gr}$				1	0.234	-0.195	0.036	-0.719	-0.158
$N_{avail}^{sh}$				1	0.072	-0.034	0.188	-0.315	-0.104
$K_{avail}^{gr}$					1	-0.015	0.17	0.448	-0.025
$K_{avail}^{sh}$					1	0.106	-0.043	-0.548	-0.032
$ORG^{gr}$						1	-0.193	-0.226	-0.008
$ORG^{sh}$						1	0.268 <sup>*</sup>	-0.073	0.892 <sup>*</sup>
$pH^{gr}$							1	0.752	-0.108
$pH^{sh}$							1	0.114	-0.217
容量 <sup>gr</sup>								1	-0.018
容量 <sup>sh</sup>								1	0.193
C/N <sup>gr</sup>									1
C/N <sup>sh</sup>									1

注:表中“gr”代表“草甸样地”;“sh”代表“灌丛样地”  
\* 和 \* \* 分别是 0.05 和 0.01 的显著性水平检验  
\* and \* \* Correlation is significant at the 0.05 and 0.01 level respectively.

一定土层内养分平均值的变异系数 (CV) 可以提供土壤异质性的信息<sup>[47]</sup>。本研究中对植物生长有重要意义的速效养分  $N_{avail}$ 、 $K_{avail}$  灌丛草地的变异系数明显大于草甸草地, 而两样地的  $P_{avail}$  的 CV 基本持平。灌丛样地中  $K_{avail}$  的变异系数比草地高出 53.14%, 这是因为钾在土壤中的移动性较强<sup>[48]</sup>, 较容易随着土壤重力水的运动向土壤下层移动, 而灌丛发达的深根系更加速了这种移动, 这是草地样地 0~20 cm 土壤的  $K_{avail}$  均值含量比灌丛样地高 47.8 mg/kg 的重要原因; 此外高寒灌丛草甸植被较高寒草甸繁茂得多, 灌丛庞大的深根系可将深层的速效钾和其他养分吸收并以枯枝落叶的方式在灌丛下的土壤表层累积, 从而加大了这些元素在灌丛草地中的空间异质性。而高寒草甸由于植被覆盖比较均匀, 根系集中于浅土表层, 土壤养分分布比较均匀。另外在灌丛草地地上景观异质性明显强于草甸, 冬天土壤在风蚀的过程中, 引起灌丛间土壤细颗粒和有机质的吹蚀和搬运, 而高大的灌丛树冠层可以作为大气尘埃有效的捕捉器, 富于养分的尘埃在降雨时被冲洗, 并滴入树冠层下的土壤, 导致灌丛草地土

壤不同粒级分布极不均匀, 从而增强了养分的空间异质性。

4 小结

在相同的高寒气候环境条件下, 通过对不同的植被类型的土壤资源的空间分布特征的分析, 本次研究初步得到以下结论:

- 1 草甸样地与灌丛样地相比, 粒度分布有明显的差异, 特别是对保持土壤养分有重要意义的粘粒含量, 前者是后者的 4.2 倍。而在灌丛样地中易风蚀的粉粒含量比例更大, 从而加大了其侵蚀潜力。
- 2 草甸样地土壤中的  $P_{total}$ 、 $N_{total}$ 、ORG、 $P_{avail}$ 、 $N_{avail}$ 、 $K_{avail}$  的含量都高于灌丛样地, 其中, 速效养分在两者间有极显著的差异。
- 3 草甸样地土壤的 ORG、 $N_{avail}$ 、 $K_{avail}$  的变异系数明显小于灌丛样地, 特别是  $K_{avail}$ , 灌丛样地的 CV 值比草甸样地高出了 53.37%。
- 4 相关分析还表明, 相对于草甸, 灌丛样地中各养分元素之间的相关性明显增强。

结果显示: 灌丛在高寒草甸中的出现, 有降低草甸养分含量和加大养分空间异质性和土壤侵蚀潜力的趋势, 不利于该地土壤养分的保持。

致谢: 本试验的野外取样得到四川草原研究所的罗光荣、郑群英等的协助; 四川师大资环学院生态研究中心的张伟、罗丹、叶敏、陈军雄等参加了取样及实验工作, 在此深表感谢!

## 参考文献 (References)

- [1] Shen Jinlin, Meng Yang, Hu Wenliang. Experimental study of improvement measures on the degraded grassland in alpine areas [J]. *Acta Praticulturae Sinica*, 1999, 8(1): 9~14 [沈景林, 孟杨, 胡文良. 高寒地区退化草地改良试验研究 [J]. 草业学报, 1999, 8(1): 9~14]
- [2] Ma Liping, Zhang Degang, Yao Tuo. Study on the dynamics of soil cellulose decomposer in alpine grassland under disturbance in Tianzhu [J]. *Grassland and Turf*, 2005, 108(1): 29~33 [马丽萍, 张德罡, 姚拓. 高寒草地不同扰动生境纤维素分解菌数量动态研究 [J]. 草原与草坪, 2005, 108(1): 29~33]
- [3] Wang Genxun, Shen Yongping, Qian Ju, et al. Study on the influence of vegetation change on soil moisture cycle in alpine meadow [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2003, 25(6): 653~659 [王根绪, 沈永平, 钱鞠, 等. 高寒草地植被覆盖变化对土壤水分循环影响研究 [J]. 冰川冻土, 2003, 25(6): 653~659]
- [4] Zeng Yongnian, Feng Zhaodong, Cao Guangchao, et al. The soil organic carbon storage and its spatial distribution of alpine grassland in the source region of the Yellow River [J]. *ACTA GEOGRAPHICA SINICA*, 2004, 59(4): 497~504 [曾永年, 冯兆东, 曹广超, 等. 黄河源区高寒草地土壤有机碳储量及分布特征. 地理学报, 2004, 59(4): 497~504]
- [5] Zhang Xianzhou, Shi Peili, Liu Yunfen, et al. The letting out of soil CO<sub>2</sub> and balance of C in ecosystem of Alpine Meadow [J]. *SCIENCE IN CHINA Ser. D Earth Sciences*, 2004, 34 (suppl): 193~199 [张宪洲, 石培礼, 刘允芬, 等. 青藏高原高寒草原生态系统土壤 CO<sub>2</sub> 排放及其碳平衡 [J]. 中国科学 D 辑, 地球科学, 2004, 34 (增刊): 193~199]
- [6] Dong Shikui, Hu Zizhi, Long Ruijun. Effect of mixture perennial grasses on vegetation and soil fertility of grassland and economic values of mixture grassland in alpine region [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2002, 16(3): 98~101 [董世魁, 胡自治, 龙瑞军. 高寒地区混播多年生禾草对草地植被状况和土壤肥力的影响及其经济价值分析 [J]. 水土保持学报, 2002, 16(3): 98~101]
- [7] Hu Qiwei, Wu Qian, Li Dong, et al. Comparative study on methane emissions from alpine grasslands with different soil water content [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2005, 24(2): 118~122 [胡启武, 吴琴, 李东, 等. 不同土壤水分含量下高寒草地 CH<sub>4</sub> 释放的比较研究 [J]. 生态学杂志, 2005, 24(2): 118~122]
- [8] Wang Genxu, Wu Qingba, Wang Yibo, et al. The impacts of rail road engineering on the alpine grassland ecosystem in the Qinghai Tibet Plateau [J]. *SCIENCE & REVIEW TECHNOLOGY*, 2005, 1: 8~13 [王根绪, 吴青柏, 王一博, 等. 青藏铁路工程对高寒草地生态系统的影响 [J]. 科技导报, 2005, 1: 8~13]
- [9] Schlesinger W. H., J. A. Rakes & A. E. Hartley. On the spatial pattern of soil nutrients in desert ecosystems [J]. *Ecology*, 1996, 77: 364~374
- [10] Virginia R. A. & W. M. Jarrell. Soil properties in an amesquite dominated Sonoran Desert ecosystem [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1983, 47: 138~144
- [11] Gamet W. & Y. A. Steinberger. Proposed mechanism for the formation of "fertile islands" in the desert ecosystem [J]. *Journal of Arid Environments*, 1989, 16: 257~262
- [12] Zhang Guosheng, Liu Hailong, Zhang Xiaohong, et al. Distribution Patterns of Soil Properties Under Natural *Sabina Vulgaris* Shrub in MU-US Sandy Land [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2004, 18(3): 137~143 [张国盛, 刘海东, 张小红, 等. 毛乌素沙地天然臭柏灌丛的土壤特性 [J]. 干旱区资源与环境, 2004, 18(3): 137~143]
- [13] The edit council of Sichuan Hongyuan. The county record of Hongyuan [M]. Chengdu: Sichuan Press, 1996 [四川省红原县志编撰委员会编撰. 红原县志 [M]. 成都: 四川人民出版社, 1996]
- [14] Huo Yazhen, Li Tianjie, et al. The experiment practice of soil geography [M]. Beijing: The Publishing Company of Higher Education, 1986 [霍亚贞, 李天杰, 等. 土壤地理实验实习 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1986]
- [15] Yang Shihong. The experiment practice of nature geography [M]. Beijing: The Publishing Company of Science [杨士弘. 自然地理学实验与实习 [M]. 北京: 科学出版社, 2002]
- [16] Lin Dayi. The experiment guidance of soil agronomy [M]. Beijing: Chinese Forestry Press, 2004 [林大仪. 土壤学实验指导 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2004]
- [17] Liu Xuemei, Huang Yuanfang. An experiment study on employing laser grain size analyzer to analyze soil mechanical composition [J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2005, 36(4): 579~582 [刘雪梅, 黄元仿. 应用激光粒度仪分析土壤机械组成的实验研究 [J]. 土壤通报, 2005, 36(4): 579~582]
- [18] Xiao Honglang, Zhao Xue, Zhao Wenzhi. Study on UAP-USTIC isohumic acid degradation under farming in Hebei, China [J]. *Acta Pedologica Sinica*, 1998, 35(1): 129~134. [肖洪浪, 赵雪, 赵文智. 河北坝缘简育干润均腐土耕种过程中的退化研究 [J]. 土壤学报, 1998, 35(1): 129~134]
- [19] E. Bochet, J. L. Rubio, J. Poesen. Relative efficiency of three representative maternal species in reducing water erosion at the microscale in a semiarid climate [J]. *Geomorphology*, 1998, 23: 139~150
- [20] Xu Yongmei, Feng Yaoli, Zhang Xiaoling. Study of soil available nutrient spatial variability [J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2003, 40(2): 103~105 [许咏梅, 冯耀祖, 张小玲. 土壤速效养分空间变异研究 [J]. 新疆农业科学, 2003, 40(2): 103~105]
- [21] Zhu Zhenda, Chen Guangting. Chinese lands sandiness and hum-

- griness[M]. Beijing: Science Publishing House, 1994. 157~179 [朱震达, 陈广庭. 中国土地沙质荒漠化 [M]. 北京: 科学出版社, 1994. 157~179]
- [22] Fisher F.M., J.C. Zak, G. L. Cunningham & W. C. Whitford. Water and nitrogen effects on growth and allocation patterns of creosote bush in the northern of Chihuahuan Desert [J]. *Journal of Range Management*, 1987, 41: 387~391
- [23] Cameron R.S., Posner A.M. Mineralizable organic nitrogen in soil fractionated according to particle size [J]. *Journal of Soil Science*, 1979, 30: 565~577
- [24] Christensen B.T. Carbon and nitrogen in particle size fractions isolated from Danish arable soils by ultrasonic dispersion and gravity-sedimentation [J]. *Acta Agriculturae Scandinavica*, 1985, 35: 175~187
- [25] Zhang Dongqiu, Shi Peili, Zhang Xianzhou. Some advance in the main factors controlling soil respiration [J]. *Advances in earth science*, 2005, 20(7): 778~785 [张东秋, 石培礼, 张宪洲. 土壤呼吸主要影响因素的研究进展 [J]. 地球科学进展, 2005, 20(7): 778~785]
- [26] Demer J.D., Beriske D.D., Boutton T.W. Does grazing mediate soil carbon and nitrogen accumulation beneath C4 perennial grasses along an environmental gradient [J]. *Plant and Soil*, 1997, 191: 147~156
- [27] Naeth M.A., Bailey A.W., Pluth D.J. *et al*. Grazing impacts on litter and soil organic matter in mixed prairie and fescue grassland ecosystems of Alberta [J]. *J. Range Manage.*, 1991, 44(1): 7~12
- [28] Lecain D.R., Morgan J.A., Schuman G.E. *et al*. Carbon exchange rates in grazed and ungrazed pastures of Wyoming [J]. *J. Range Manage.*, 2000, 53: 199~206
- [29] Wang Q.ingkuai, Wang Sibong, Gao Hong *et al*. Influence of land use on soil organic matter [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2005, 24(4): 360~363 [王清奎, 汪思龙, 高洪, 等. 土地利用方式对土壤有机质的影响 [J]. 生态学杂志, 2005, 24(4): 360~363]
- [30] Percival H.J., Parfitt R.L., Scott N.A. Factors controlling soil carbon levels in New Zealand grassland: Is clay content important? [J]. *Soil Sci Soc Am J.*, 2000, 64: 1623~1630
- [31] Tisdale J.M., Oades J.M. Organic matter and water stable aggregates in soils [J]. *J. Soil Sci.*, 1982, 33: 141~163
- [32] Tomalak G.W. Dynamics of mulch layer in grassland ecosystem [A]. In: D.K.R.L. eds. *The grassland ecosystem, a preliminary synthesis*. Range Sci. Dep. Series No. 2 [C]. Fort Collins: Colorado State Univ., 1969. 225~240
- [33] Burke I.C., Yonker C.M., Parton W.J. *et al*. Texture, climate and cultivation effects on soil organic matter content in U.S. grassland soils [J]. *Soil Sci Soc Amer J.*, 1989, 53: 800~805
- [34] Liu Yuhong, Fei Haikun. Study on composition and character of soil humus in Alpine arctic meadow [J]. *Chinese Qinghai Journal of Animal and Veterinary Sciences*, 2000, 30(3): 12~13 [刘育红, 裴海昆. 高寒草甸土壤腐殖质组成及性质的研究. 青海畜牧兽医杂志, 2000, 30(3): 12~13]
- [35] Li Mingfeng, Dong Yunshu, Geng Yuanbo *et al*. Analyses of the correlation between the fluxes of CO<sub>2</sub> and the distribution of C & N in grassland soils [J]. *Environment science*, 2004, 25(2): 7~11 [李明峰, 董云社, 耿元波, 等. 草原土壤的碳氮分布与 CO<sub>2</sub> 排放通量的相关性分析. 环境科学, 2004, 25(2): 7~11]
- [36] Li L.H., Han X.G., Wang Q.B. Correlations between plant biomass and soil respiration in a *Leymus chinensis* community in the Xilin river basin of Inner Mongolia [J]. *Acta Botanica Sinica*, 2002, 44(5): 593~597
- [37] Tian Yingbing, Xiong Mingbiao, Xiong Xiaoshan, *et al*. The organic carbon distribution and flow in wetland soil-plant system in Ruogai plateau [J]. *Acta Phytocologia Sinica*, 2003, 27(4): 490~495 [田应兵, 熊明彪, 熊晓山, 等. 若尔盖高原湿地土壤-植物系统有机碳的分布与流动 [J]. 植物生态学报, 2003, 27(4): 490~495]
- [38] Vitousek P.M., Aber J.D., Howarth R.W., *et al*. Human alteration of the global nitrogen cycle: sources and consequences [J]. *Ecological Applications*, 1997, 7: 737~750
- [39] Peng Shaolin, Li Yaolin, Renhai, *et al*. Progress in research on soil respiration under the global change [J]. *Advance in Earth Sciences*, 2002, 17(5): 705~713 [彭少麟, 李跃林, 任海, 等. 全球变化条件下的土壤呼吸效应 [J]. 地球科学进展, 2002, 17(5): 705~713]
- [40] Wang Q.ingkuai, Li Linghao, Liu Xianhua, *et al*. Spatial heterogeneity of soil organic carbon and total nitrogen in an xilin river basin grassland, inner Mongolia [J]. *Acta Phytocologia Sinica*, 1998, 22(5): 409~414 [王其兵, 李凌浩, 刘先华, 等. 内蒙古锡林河流域草原土壤有机碳及氮素的空间异质性分析 [J]. 植物生态学报, 1998, 22(5): 409~414]
- [41] Yu Tianren, Wang Zhenquan. Soil analysis chemistry [M]. Beijing: Science Publishing House, 1988. [于天仁, 王振权. 土壤分析化学 [M]. 北京: 科学出版社, 1988.]
- [42] Xi Chengfan. Chinese soil [M]. Beijing: Chinese Agriculture Publishing House, 1998. [席承藩. 中国土壤 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1998.]
- [43] Paul E.A., Clark F.E. Soil microbiology and biochemistry [J]. Academic Press, San Diego, 1989.
- [44] Liu Shiquan, Gao Lili, Pu Yulin, *et al*. Analysis on status of soil organic matter and N nutrient and their influencing factors in Tibet [J]. *Journal of soil and water conservation*, 2004, 18(6): 54~67 [刘世全, 高丽丽, 蒲玉琳. 西藏土壤有机质和氮素状况及其影响因素分析 [J]. 水土保持学报, 2004, 18(6): 54~67]
- [45] Li Jianping, Yao Zhuhuang, Liu Shiquan, *et al*. Tibet municipality soil resource [M]. Beijing: Science Publishing House, 1994. [李建平, 姚祖芳, 刘世全, 等. 西藏自治区土壤资源 [M]. 北京: 科学出版社, 1994.]
- [46] Pao Xinkui, Cao Guangning, Zhao Baolian. The abiological fixation effect of Alpine soil [A]. China academy of sciences Haibei station of alpine meadow ecosystem. alpine meadow ecosystem (the third volume) [C]. Beijing: Science Publishing House, 1991. 247~256 [鲍新奎, 曹广民, 赵宝莲. 高山土壤的磷素非生物固定作用 [A]. 中国科学院海北高寒草甸生态系统定位站. 高寒草甸生态系统 (第3集) [C]. 北京: 科学出版社, 1991. 247~256]
- [47] Zhang Hong, Shi Peijun. Research progress in relationship between



shrub invasion and soil heterogeneity in a natural semiarid grassland [J]. *Acta Phytocologia Sinica*, 2001, 25(3): 366~370 [张宏, 史培军. 半干旱地区天然草地灌丛化与土壤异质性关系研究进展 [J]. 植物生态学报, 2001, 25(3): 366~370]

[48] Shang Zhanhuan, Long Ruijun. Formation reason and recovering

problem of the black soil type' degraded alpine grassland in Qinghai Tibet Plateau [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2005, 24(6): 652~656 [尚占环, 龙瑞军. 青藏高原“黑土型”退化草地成因与恢复. 生态学杂志, 2005, 24(6): 652~656]

## Effect of Shrub on the Alpine Meadow Soil Ecosystem in the Northwestern Plateau of Sichuan Province, China

LU Changxiu<sup>1</sup>, ZHANG Hong<sup>1</sup>, ZE Bai<sup>2</sup>

(1. School of Resources and Environment, Sichuan Normal University, Chengdu 610066, China;

2. Sichuan Grassland Research Institute, Hongyuan 624400, China)

**Abstract** The northwestern plateau of Sichuan province is the important zone of containing water of Yangtze River and the Yellow River, and the important part of South agriculture and stock breeding interlaced area, the ecosystem is very fragility because of high altitude and cold climate. Latter years, the grassland degradation and desertification is very serious. The course of land degradation is the transformation at time and space distributing of soil resource. This article studied the relations between the vegetation change and space distributing of soil resource. This research used pane sampling random sampled 50 soil samples in the depth of 0~20 cm of each site in two adjacent sites representing the Alpine meadow and Alpine shrubland respectively, in study area in Hongyuan county of the northwestern plateau of Sichuan province, and analyzed the nutrition composition of these soil samples. Have been done statistical work, analyzed and compared these experimental data using the SPSS(11.0), studied the mean concentration, spacial heterogeneity and correlation relation of each soil nutrient. Results indicated that meadow is higher than shrub land in concentration of soil viscil grain,  $P_{\text{total}}$ ,  $N_{\text{total}}$ ,  $ORG$ ,  $P_{\text{avail}}$ ,  $N_{\text{avail}}$ ,  $K_{\text{avail}}$ , and difference is the best significant of the quick nutrients. But it is notable that meadow soil is significant lower than shrub land at the coefficient of variation ( $CV$ ) of  $ORG$ ,  $N_{\text{avail}}$ ,  $K_{\text{avail}}$  in soil samples, especially  $CV$  exceeding 53.37% were found for  $K_{\text{avail}}$  in the Alpine shrub land than Alpine meadow. The correlation analyse showed that the correlation of shrub land is not able stronger, relating to the meadow. Showed that shrub have significant impact to the resource heterogeneity of Alpine meadow soil ecosystem, it exists to decrease the meadow soil nutrient average concentration and increase its variability, these didn't go against the soil nutrient holding in the Alpine meadow.

**Keywords** shrub; Alpine meadow; soil resource; northwest plateau of Sichuan province