# 微地形对高寒草地土壤有机碳及氮含量的影响

杨 鹏[1]，赵锦梅[1]，雷隆举[1]，徐长林[2]，王正安[3]

(1. 甘肃农业大学 林学院，甘肃 兰州 730070；2. 甘肃农业大学 草业学院，甘肃 兰州 730070；3. 甘肃农业大学 资源与环境学院，甘肃 兰州 730070)

**摘 要**：[目的] 系统分析高寒草地不同微地形条件下土壤有机碳及氮含量的变化规律，为高寒地区合理利用草地提供理论参考。[方法] 在天祝高寒草地区选取 7 类不同微地形作为研究对象，测定其表层(0—30 cm)土壤有机碳及氮含量。[结果] 随着土层深度的增加，位于坡底平地，土壤全氮和铵态氮含量呈减小的趋势，位于阴坡不同坡位，土壤全氮含量呈“V”型变化，土壤铵态氮呈减小的趋势，位于阳坡不同坡位，土壤全氮含量呈减小的趋势，土壤铵态氮含量呈先增大后减小的趋势；所有微地形中，随着土层深度的增加，土壤有机碳含量呈减小的趋势；随着土层深度的增加，坡底平地，中坡阳面和中坡阴面微地形中，土壤水解氮含量呈减小的趋势，下坡阳面和下坡阴面微地形中，土壤水解氮含量呈先减小后增大的趋势，上坡阳面和上坡阴面微地形中，土壤水解氮含量呈先增大后减小的趋势。土壤表层全氮、水解氮、有机碳的含量的变化为：下坡位＞上坡位＞中坡位，而铵态氮的含量呈现先减小后增大的趋势。[结论] 地形的微变化明显影响土壤氮有机碳和素的含量。

**关键词**：微地形；有机碳；氮素；高寒草地

**文献标识码**：A **文章编号**：1000-288X(2018)03-0094-05 **中图分类号**：S812.2

**文献参数**：杨鹏，赵锦梅，雷隆举，等. 微地形对高寒草地土壤有机碳及氮含量的影响[J]. 水土保持通报，2018，38(3)：94-98. DOI：10.13961/j.cnki.stbctb.2018.03.015. Yang Peng, Zhao Jinmei, Lei Longju, et al. Effects of micro-topography on soil organic carbon and nitrogen content in alpine grassland[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2018, 38(3): 94-98.

# Effects of Micro-topography on Soil Organic Carbon and Nitrogen Content in Alpine Grassland

YANG Peng[1], ZHAO Jinmei[1], LEI Longju[1], XU Changlin[2], WANG Zhengan[3]

(1. *Forestry of College, Gansu Agriculture University, Lanzhou, Gansu* 730070, *China*; 2. *College of Pratacultural Science, Gansu Agriculture University, Lanzhou, Gansu* 730070, *China*; 3. *College of Resources and Environment, Gansu Agriculture University, Lanzhou, Gansu* 730070, *China*)

**Abstract**: [Objective] The study analyzed the variation of soil organic carbon (SOC) and nitrogen (N) content under different micro-topography in alpine grassland area in order to provide a theoretical basis for the reasonable use of grassland in alpine grassland. [Methods] This study selected 7 different kinds of micro-topography in alpine grassland of Tianzhu to measure SOC and N in the land surface(0—30 cm). [Results] With the increase of soil depths, the content of total N and $NH_4$-N decreased at the flat area of valley bottom. The content of soil total N showed a “V” trend and $NH_4$-N decreased in different position of north-facing slopes. In different position of south-facing slopes, the content of soil total N decreased, but soil content of $NH_4$-N showed an increase trend initially and decreased later. With the increase of soil depths, the content of SOC decreased in all micro-topography, while the content of soil hydrolyzable nitrogen decreased in terrace, middle and south-facing slope, middle and north-facing slope micro-topography. The content of hydrolyzable N decreased initially and then increased in bottom and south-facing slope and bottom and

**收稿日期**：2017-12-14 **修回日期**：2018-01-10

**资助项目**：国家自然科学基金项目“东祁连山区高寒灌丛土壤水文效应研究”(41661060)；甘肃省自然科学研究资助项目“高寒草地土壤大孔隙特征及优先流过程研究”(1606RJZA005)

**第一作者**：杨鹏(1993—)，男(汉族)，甘肃省天水市人，硕士研究生，研究方向为林业。E-mail：453436122@qq.com。

**通讯作者**：赵锦梅(1978—)，女(汉族)，甘肃省天水市人，博士，教授，主要从事水土保持与荒漠化研究。E-mail：zhaojm@gsau.edu.cn。

north-facing slope micro-topography, while increased initially and then decreased in top and south-facing slope and top and north-facing slope. [Conclusion] The variation of total N, hydrolyzable N and SOC content at different topographic positions was ranked as: bottom slope > top slope > middle slope. The content of $NH_4$-N decreased initially and then increased. In conclusion, the variation in micro-topography impacts the content of SOC and N dramatically.

**Keywords: micro-topography; soil organic carbon; nitrogen; alpine meadow**

土壤氮素作为组成土壤的重要元素,同时,也是生态系统中重要的生态因子,因而一直备受生态学、土壤学等多个学科的关注,目前,国际全球变化研究的核心内容也将氮素归为其中[1]。近年来,国内外学者用地统计学方法对土壤养分的空间变异性进行了大量的研究,研究主要集中在土壤总氮和环境因子的关系上,例如:温度、年降水、年均温、黏土矿物、土壤质地、地形、pH 值等对土壤全氮的影响[2-4]。土壤有机碳氮含量与变异作为碳氮地球化学循环研究的重要内容受到国内外学者的大量研究,如张金屯[5]对全球气候影响下碳氮的研究。就湿地生态系统而言也有大量的研究,如白军红等[6]对向海湿地土壤的碳氮和湖北梁子湖湿地土壤养分的研究[7]。但就目前而言高寒草地土壤碳氮的研究还较少。高寒草甸作为祁连山高寒草地生态系统的主体,该区的研究主要集中于生态学和畜牧业生产等方面[8-9]。对于祁连山高寒草地地区的坡地土壤肥力水平,因受到当地的气候条件、微地形变化和土地利用方式的影响,沿坡面不同的微环境导致成土过程不一致,而造成了土壤养分的差异[10-11]。因此,高寒草甸区基于微环境下,土壤养分的差异应受到重视。

目前,对于高寒草地微地形的土壤理化性质研究较少,大多数都集中于丘陵区。研究者在有关地形变化与土壤理化性质之间关系的研究中已经表明坡位、坡向等地形的变化对土壤理化性质具有一定的影响[12-13],由于天祝高寒草地地形高低起伏,坡地微地形变化明显,土壤养分差异更应当被重视。因此,本研究拟选取天祝高寒草地为研究对象,对其不同微地形下土壤有机碳、氮的空间分布规律进行研究,系统分析高寒草地不同微地形条件下土壤有机碳及氮的变化规律,以期为草地结构与功能、草地的保护管理及其可持续利用等方面提供可以借鉴的资料。

# 1　材料与方法

## 1.1　样地自然概况

研究区位于祁连山东段的天祝金强河河谷,北纬 37°40′,东经 102°32′,海拔高度 2 955 ～3 258 m。样地属高原大陆性季风气候,气候寒冷潮湿,年积温为 1 380 ℃,年均温为 －0.1 ℃。降雨多集中于 7—9 月,年蒸发量为 1 592 mm,年均降水量为 416 mm。天然植被为寒温潮湿类高寒草甸。该地区水热同期,无绝对无霜期,仅分冷、热两季。土壤以亚高山草甸土、亚高山黑钙土等为主,土层厚度 40—80 cm,土壤 pH 值 7.0～8.2。

## 1.2　试验样地的设置

为研究微地形对高寒草地有机碳及氮含量的影响,在 2016 年 9 月在祁连山东段的天祝金强河河谷地带选取 7 个样地,分别为:坡底平地(T)、下坡阳面(BS)、中坡阳面(MS)、上坡阳面(TS)、下坡阴面(BN)、中坡阴面(MN)、上坡阴面(TN)。详见表 1。

**表 1　样地基本情况**

| 样地名称 | 海拔/m | 坡度/(°) | 土壤含水量/% | 土层厚度/cm | 草本植被盖度/% | 草本高度/cm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 坡低平地(T) | 2 960 | 0 | 11.01 | 70 | 96 | 4.0 |
| 下坡阳面(BS) | 3 050 | 25 | 9.13 | 55 | 98 | 15.3 |
| 中坡阳面(MS) | 3 150 | 21 | 9.03 | 50 | 95 | 11.8 |
| 上坡阳面(TS) | 3 250 | 35 | 11.01 | 45 | 93 | 8.7 |
| 下坡阴面(BN) | 3 050 | 15 | 19.32 | 60 | 97 | 19.0 |
| 中坡阴面(MN) | 3 150 | 20 | 17.97 | 40 | 90 | 19.2 |
| 上坡阴面(TN) | 3 250 | 30 | 27.28 | 50 | 88 | 19.6 |

## 1.3　样品的采集及分析

在 7 个样地每个样地选取植物群落组成大致相同的样点 3 个,每个样点进行 3 次重复取样。采用土钻法取样,取样按照垂直高度分为 3 层(0—10,10—20 和 20—30 cm),每层进行 3 次重复,并将 3 次重复的土样混合在去除植物根系和石块后制成混合土样,将混合土样装入自封袋。在室内,对混合土样进行土壤有机碳及氮含量的测定和分析。

### 1.4 指标的测定与方法

土壤全氮采用凯氏定氮法;采用KCl浸提法测定土壤铵态氮含量;采用碱解扩散法测定土壤水解氮含量;采用重铬酸钾法测定土壤有机碳含量[14]。

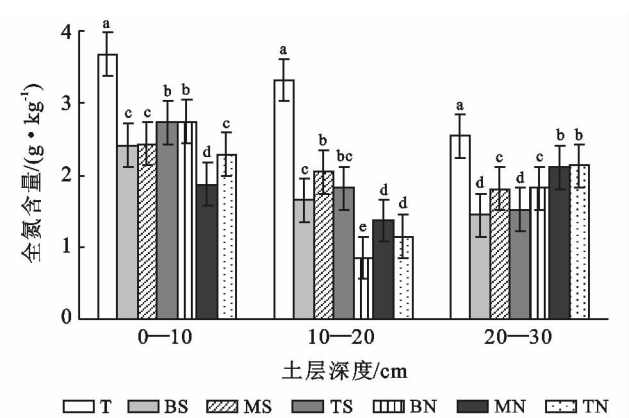
### 1.5 数据分析

数据的初步整理及图形的绘制采用Excel 2013,数据统计分析采用SPSS 22.0软件进行不同微地形高寒草地土壤有机碳及氮素比较分析,采用单因素方差分析(one-way ANOVA)和Duncan多重比较进行差异性显著性检验,显著水平设置为 $p=0.05$。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤全氮含量变化特征

如图1所示,受微地形的影响不同样地之间的土壤全氮含量具有一定的差异。T在0—30 cm土层范围内的土壤全氮含量显著高于其他高寒草地($p<0.05$)。在阳坡,在0—10 cm的土层中,土壤全氮含量由小到大的顺序为:BS<MS<TS,说明在微地形高寒草甸地区随着坡位增高土壤全氮含量增加;在10—20和20—30 cm土层,均为MS最大,BS最小。在阴坡,在0—10 cm土层,土壤全氮的含量随着坡位的升高呈现"V"型变化趋势,BN最大,MN最小;在10—20 cm土层BN最小,MN最大;20—30 cm土层TN最大,BN最小。对高寒草地不同土层的全氮含量进行统计分析表明:T的全氮含量均高于其他样地($p<0.05$),而BS与MS以及TS与BN之间差异不显著,MN与TN的土壤全氮含量差异显著。土层深度为10—20 cm时BS,MS,BN,MN之间差异显著($p<0.05$),MS与TS以及MN与TN之间差异不显著($p<0.05$)。土层深度为20—30 cm时BS与TS,MS与BN,MN与TN两两之间差异不显著($p<0.05$)。




注:同一土层不同小写字母表示微地形之间差异显著($p<0.05$)。T为坡底平地;BS为下坡阳面;MS为中坡阳面;TS为上坡阳面;BN为下坡阴面;MN为中坡阴面;TN为上坡阴面。下同。

**图1 微地形变化下土壤全氮含量**

### 2.2 土壤水解氮含量变化特征

由图2可知,在地形发生微小变化后,土壤的水解氮含量出现不同程度的差异。在0—10 cm的土层中,水解氮由大到小的顺序依次为:T>MS>BN>TN>BS>MN>TS,其中,T除与MS以及BN的差异不显著($p<0.05$),T与其他样地的差异显著($p<0.05$),位于阳坡坡位的样地,3个阳坡样地的差异均显著($p<0.05$),位于阴坡坡位的样地,BN与TN、TN与MN之间差异不显著($p<0.05$)。在10—20 cm的土层中,水解氮由大到小的顺序依次为:T>TN>BN>MS>BS)>MN>TS,其中,T与TN的差异不显著($p<0.05$),T与其他样地的差异显著($p<0.05$),在阳坡,MS与TS差异显著($p<0.05$),在阴坡,TN与BN、TN与MN差异均显著($p<0.05$)。在20—30 cm的土层中,水解氮由大到小的顺序依次为:TN>BN>MS>BS>T>MN>TS,其中,TN与BN差异不显著($p<0.05$),TN与其他样地的差异均显著($p<0.05$)。在阳坡,BS与MS差异不显著,而TS与BS及TS与MS差异显著($p<0.05$);在阴坡,MN与BN及MN与TN差异显著($p<0.05$)。说明在地形发生微小变化的情况下,土壤的水解氮的含量发生了波动,位于阳坡,随着坡位的升高土壤水解氮的含量先变大后变小,在土壤深度不同的情况下,MS的土壤水解氮含量最高。位于阴坡,在同一土层随着坡位的升高水解氮的含量先减小后增大,在0—10 cm的土层中BN的水解氮含量最高,在10—20 cm以及20—30 cm的土层中TN的水解氮含量最高。T在0—10 cm以及10—20 cm的土层中均高于其他样地,而在20—30 cm的土层中T的水解氮含量稍低。

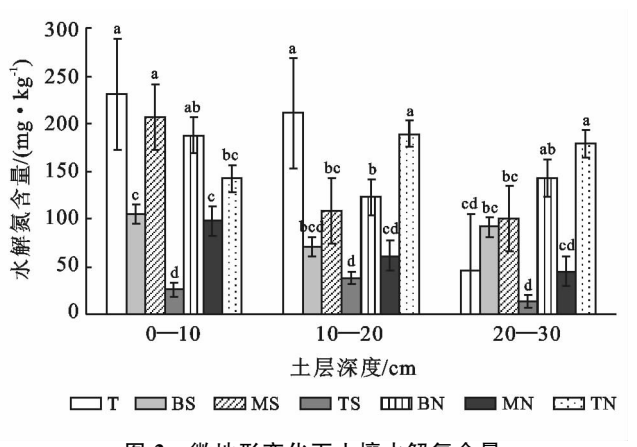



**图2 微地形变化下土壤水解氮含量**

### 2.3 土壤铵态氮含量变化特征

从图3可知,位于阴坡坡位的0—10 cm土层,BN与TN土壤铵态氮含量差异显著($p<0.05$),位

于阳坡坡位的 0—10 cm 土层,BS 与 TS 土壤铵态氮含量差异显著($p<0.05$);在 10—20 cm 土层,BS 与 T,MS 和 MN 这 3 个样地间的土壤铵态氮含量差异显著($p<0.05$),而 MN 与 BS 及 MN 与 TN 土壤铵态氮含量差异均显著($p<0.05$);在 20—30 cm 土层,TN 与 BN 差异不显著,TN 与其他样地均产生显著差异($p<0.05$)。说明在地形发生微小变化时 0—10 cm 以及 10—20 cm 的变化范围波动较大,对 20 cm 以下的土壤铵态氮含量影响不大,同一土层中土壤铵态氮的含量随着坡位的升高而呈现先变小后变大的趋势。

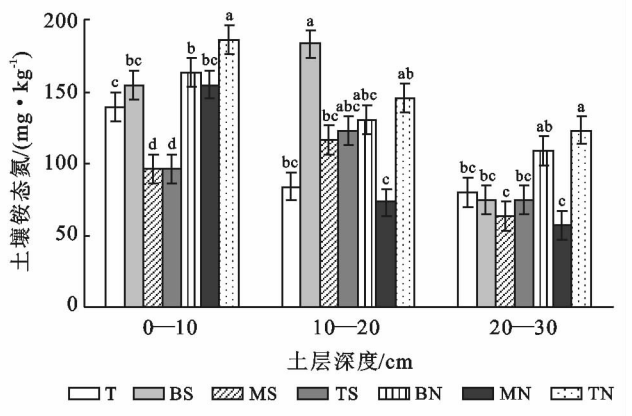



**图 3　微地形变化下土壤铵态氮含量**

### 2.4　土壤有机碳含量变化特征

由图 4 可知,在地形发生微小变化的情况下,土壤有机碳含量变化不尽相同,在 0—10 cm 的土层中,BS,MS,MN 三者之间差异不显著,TS 与 TN 之间差异也不显著($p<0.05$),而 T 与其他样地之间差异均显著($p<0.05$),且在阳坡中随着坡位的升高土壤有机碳的含量变高,BN 的有机碳含量最高,BS 的有机碳含量最低,TN 的有机碳含量高于 TS 的,而 MN 的有机碳含量低于 MS 的。在 10—20 cm 的土层中,各个样地之间差异显著($p<0.05$),有机碳含量最高的是 T,最低的是 MN。在 20—30 cm 的土层中,T 与其他各个样地之间差异均显著,而阳坡的所有样地差异均不显著($p<0.05$),位于阴坡坡位的各个样地差异均显著($p<0.05$),有机碳含量最高的是 T,有机碳含量最低的是 MN,阳坡的样地中随着坡位的升高有机碳含量有略微的减小。说明土壤表层的有机碳含量是最高的,且在 0—10 cm 的土层中阳坡的有机碳含量与坡位呈现正相关,而阴坡的有机碳含量随着坡位的升高先变小后变大,最终还是略低于初始值。在 10—20 cm 以及 20—30 cm 的土层中阴坡的有机碳含量随着坡位的升高先变小后变大,但是变大后的数值大于初始值,而在这 2 层土壤所有的样地中 T 的有机碳含量最高,且略高于 TN。

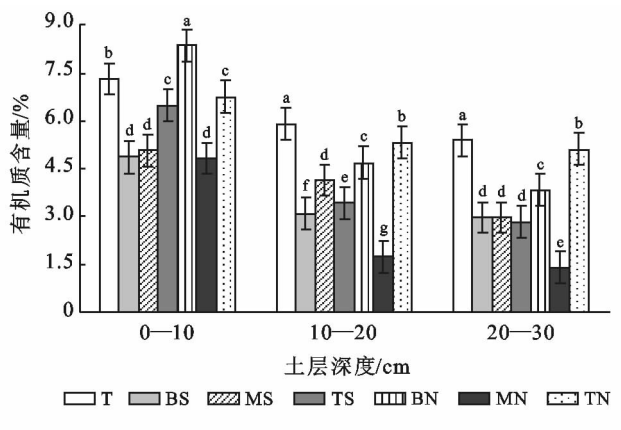



**图 4　微地形变化下土壤有机碳含量**

## 3　结论与讨论

在坡位变化过程中,环境因子发生了巨大的变化。在阴坡,土壤有机碳、铵态氮、水解氮的含量随着坡位的升高呈现“V”变化趋势,而土壤全氮只有土壤表层呈现这样的变化趋势。在阳坡,表层土壤全氮和有机碳的含量均随着坡位的升高而变大,而在 10—20 和 20—30 cm 的土层中土壤全氮和有机碳的含量均呈现单峰曲线变化,土壤水解氮的含量在 0—30 cm 的土层中均随着坡位的升高呈现减小的趋势,土壤铵态氮除 0—10 cm 的土层呈现减小后不变外,10—20 和 20—30 cm 土层呈现随着坡位的升高先减小后增大的趋势。刘世梁等[15]在岷江丘陵微地形土壤营养物质研究过程中得出:中坡位<上坡位<下坡位,该研究的结论与本研究中土壤表层的全氮、水解氮、有机碳的结论相一致。但是,产生差异的原因有以下两点:①草地植被的影响。在高寒草地生境条件下,阴坡植被比阳坡丰富,且生物量高于阳坡,阴坡植物大多为深根性植物,而阳坡植物大多为浅根性植物,因此在地下 10—30 cm 的土层中发生了与土壤表层不一样的变化规律;丰富的地表植物导致当地的草甸区基本上不产生地表径流,也就不存在土壤有机碳及氮的流失;阴坡的地表枯落物比阳坡的丰富,地表枯落物的分解可以大幅度提高土壤有机碳及氮的含量。②土壤含水量大小会对微地形的土壤有机碳及氮含量的大小产生影响。在所有的样地中土壤含水量的大小均呈现:阴坡>阳坡、上坡位>下坡位>中坡位,土壤含水量的大小改善了土壤的微环境,增加了土壤微生物和种类的数量,对枯落物、植物残体和土壤养分的分解提供了相对优良的环境条件[16],这

也是阴坡样地的土壤有机碳及氮高于阳坡样地的的主要原因。在土壤表层中,坡向对土壤养分的影响非常明显。但大多数研究认为,阴坡的土壤氮素含量一定比阳坡高[17-18]。

本研究阴坡和阳坡的两种生境各有特点,另外阴坡和阳坡的植被类型不一样,有可能导致阳坡的氮素含量高于阴坡,坡度、土壤质地等都会对土壤氮素产生影响。坡向、坡位作为重要的立地因子直接或间接的影响土壤有机碳及氮素的空间分布。坡向对土壤有机碳及氮的影响可能通过接受光照的变化来体现,然而,坡位在地形要素中,不仅是一个位置概念,而且代表着水分、养分等的生态梯度变化[19]。在适当的海拔范围内,坡位也是影响土壤养分状况的关键因素[20]。

本文仅对高寒草地的土壤氮素在不同坡向、不同坡位上的空间分布差异进行了研究,对于高寒地区退化草地的恢复具有一定指导意义。就坡向、坡位对高寒草地土壤有机碳及氮素的影响是否会随着阴、阳坡植被种类的不同而发生变化需要做进一步的试验和研究分析外,针对该区域范围内立地土壤养分条件与草本生长之间的关系也有待进一步验证。

[ 参 考 文 献 ]


[1] 程先富,史学正,于东升,等. 基于GIS的土壤全氮空间分布估算:以江西省兴国县为例[J]. 地理研究,2007,26(1):110-116.

[2] 程先富,史学正. 亚热带典型地区土壤全氮和地形、母岩的关系研究:以江西省兴国县为例[J]. 水土保持学报,2004,18(2):137-139.

[3] 贺敬滢,张桐艳,李光录. 丹江流域土壤全氮空间变异特征及其影响因素:以陕南张地沟小流域为例[J]. 中国水土保持科学,2012,10(3):81-86.

[4] 王淑平,周广胜,吕育财,等. 中国东北样带(NECT)土壤碳、氮、磷的梯度分布及其与气候因子的关系[J]. 植物生态学报,2002,26(5):513-517.

[5] 张金屯. 全球气候变化对自然土壤碳、氮循环的影响[J]. 地理科学,1998,18(5):72-80.

[6] 白军红,邓伟,张玉霞. 内蒙古乌兰泡湿地环带状植被区土壤有机质及全氮空间分异规律[J]. 湖泊科学,2002,14(2):145-151.

[7] 熊汉锋,廖勤周,吴庆丰,等. 湖北梁子湖湿地土壤养分的分布特征和相关性分析[J]. 湖泊科学,2005,17(1):93-96.

[8] 马玉寿,郎百宁,李青云,等. 江河源头草地生态环境现状及恢复途径[J]. 中国草地,1999(6):60-62.

[9] 杨成德,龙瑞军,陈秀蓉,等. 东祁连山高寒草甸土壤微生物量及其与土壤物理因子相关性特征[J]. 草业学报,2007,16(4):62-68.

[10] Wang Jun, Fu Bojie, Qiu Yang, et al. Soil nutrients in relation to land use and landscape position in the semi-arid small catchment on the loess plateau in China[J]. Journal of Arid Environments, 2001,48(4):537-550.

[11] Ovalles F A, Collins M E. Soil-landscape relationships and soil variability in North Central Florida[J]. Soil Science Society of America Journal, 1986,50(2):401-408.

[12] 高雪松,邓良基,张世熔. 不同利用方式与坡位土壤物理性质及养分特征分析[J]. 水土保持学报,2005,19(2):53-56.

[13] 赵海霞,李波,刘颖慧,等. 皇甫川流域不同尺度景观分异下的土壤性状[J]. 生态学报,2005,25(8):2010-2018.

[14] 鲁如坤. 土壤农化分析方法[M]. 北京:中国农业科学出版社,2000.

[15] 刘世梁,傅伯杰,马克明,等. 岷江上游高原植被类型与景观特征对土壤性质的影响[J]. 应用生态学报,2004,15(1):26-30.

[16] 何福红,黄明斌,党廷辉. 黄土高原沟壑区小流域土壤水分空间分布特征[J]. 水土保持通报,2002,22(4):6-9.

[17] Gong X, Brueck H, Giese K M, et al. Slope aspect has effects on productivity and species composition of hilly grassland in the Xilin River Basin, Inner Mongolia, China[J]. Journal of Arid Environments, 2008,72(4):483-493.

[18] Liu Minxia, MA Jianzu. Feature variations of plant functional traits and environmental factor in south and north facing slope[J]. Research of Soil & Water Conservation, 2013,20(1):102-106.

[19] 张燕平,赵粉侠,刘秀贤,等. 干热河谷印楝生长与立地条件关系[J]. 林业科学研究,2005,18(1):74-79.

[20] 薛立,薛晔,吴敏,等. 不同坡位火力楠林土壤肥力变化特征[J]. 水土保持通报,2011,31(6):51-54.