

不同坡位植被生长状况与土壤养分空间分布特征

雷斯越¹, 赵文慧¹, 杨亚辉¹, 吕渡¹, 白云斌², 何亮¹, 郭晋伟¹, 张晓萍¹

(1. 西北农林科技大学 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室,
陕西 杨凌 712100; 2. 陕西省延安市吴起县吴起镇林业站, 陕西 吴起 717600)

摘要:地形和土壤是影响植被群落的重要因素, 植被生长状况与土壤养分含量随地形而变化。以吴起县枣庄沟小流域为研究区, 采用样方法对不同坡位草地植被群落进行了植被调查, 采集0—20 cm的表层土壤测定土壤有机质、全氮、全磷含量, 研究不同坡位上植被群落与土壤养分变化关系, 以期了解黄土高原丘陵沟壑区地形对植被恢复的影响机制, 为当地生态恢复提供科学依据与指导。结果表明: 不同坡位上草地植被群落物种多样性、丰富度及地上生物量虽无显著差异, 但各项指标均表现出坡下>坡中>坡上的趋势, 这与土壤养分含量变化趋势相同。其中坡下位置各项土壤养分含量均为最大, 植被生长状况最好; 而沟坡位置土壤有机质含量、全氮含量、物种丰富度指数与地上生物量均为最低。植被生长状况与土壤养分在不同地形上变化趋势基本一致, 具有一定相关性。

关键词:地形; 坡位; 植被群落; 土壤养分; 黄土高原

中图分类号: S158.3

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2019)01-0086-06

Spatial Distribution Characteristics of Soil Nutrients and Vegetation Growth Status in Different Slopes

LEI Siyue¹, ZHAO Wenhui¹, YANG Yahui¹, LYU Du¹, BAI Yunbin²,
HE Liang¹, GUO Jinwei¹, ZHANG Xiaoping¹

(1. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Forestry Station in Wuqi Town, Wuqi County, Wuqi, Shaanxi 717600, China)

Abstract: Topography and soil are important factors affecting vegetation communities, and vegetation growth and soil nutrient content varied with topography. Zaozhuanggou watershed of Wuqi County was selected as the research area, the quadrat method was used in vegetation community and the surface soil of 0—20 cm was collected to determine the contents of soil organic matter, total nitrogen and total phosphorus in different slopes. The relationship between the vegetation and soil nutrient changes on the different slopes was analyzed, in order to understand the hilly-gully loess plateau terrain effect on vegetation restoration mechanism and provide the scientific basis and guidance for the local ecosystem restoration. The results showed that there were no significant differences in species diversity, richness and aboveground biomass of grassland vegetation communities in different slopes, but all indexes decreased in the order: lower slope>middle slope>upper slope, it was the same as the changes in soil nutrients content. In lower slope, the soil nutrient contents are the largest, and the vegetation growth is best; however, the SOM, TD, Margalef and aboveground biomass are all the lowest in groove slope. The growth status of vegetation and soil nutrients in different slopes are basically the same, and there is a correlation between them.

Keywords: terrain; slope; vegetation community; soil nutrients; Loess Plateau

在黄土高原, 土壤水分和养分是植被恢复与建设的主要限制因子^[1-2]。土壤资源作为不均一、变化的时空连续体, 受母质、地形等自然因素以及人类活动

的影响, 具有高度时空变异性^[3-6]。土壤的发育与地形、植被密切相关^[7-9]。

地形是影响土壤和环境间物质能量交换的重要

条件,在同一地区其他成土条件类似情况下,往往因地形的不同而导致土壤养分的空间变异^[10-12]。目前国内外许多学者对地形因子影响土壤性质作了比较深入的探讨^[13]。刘世梁等从两种尺度上研究了土壤理化性质对环境因子的响应,得出土壤性质的差异是地形因子和土地利用等外部因子综合作用的结果,而且其作用表现出较大的尺度差异性^[14]。Ciha, Geiger 等分析不同坡面位置土壤物理化学性质的明显变异对于土壤养分流失和水分状况的影响^[15-16]。许多研究表明,不同的坡面位置其土壤的理化性质变异明显,包括对干扰扩散的影响,对水土流失和养分流失的影响^[17-19]。在同一气候条件下,地形是影响植被格局的重要因子^[20-22]。

黄土高原丘陵沟壑区降水少而集中,地表破碎,黄土质地松散,抗蚀性能差,土壤侵蚀剧烈,水土流失严重^[23-24]。水分是影响植被生长和发育的重要因素,不同的地形会对降水进行再分配,对植被分布产生较大影响,从而进一步影响到土壤养分的积累与分布。在不同地形位置上,养分条件与水热条件的差异是造成微地形上景观差异的主要原因^[25]。坡位通过地面起伏变化、外加风蚀、水蚀影响,改变了表层土的土壤特征,从而在极小的范围内形成了非常明显的生境异质性,为局域范围内草本群落物种多样性的形成与维持提供了一种重要机制^[26]。

为此,通过对枣庄沟小流域不同坡位上的植被进行生态学调查和地表土壤进行养分测定来分析地形对植被和土壤养分的影响,研究不同坡位上植被与土壤养分之间的变化关系。以期了解黄土高原丘陵沟壑区地形对植被恢复的影响机制,为当地生态恢复提供科学依据与指导。

1 研究区概况

枣庄沟小流域位于陕西省吴起县王台村东北部,调查区域为(108°16′2.73″—108°16′29.34″E, 36°59′0.84″—36°59′48.5″N),小流域面积为 1.59 km²,海拔范围为 1 345~1 583.26 m。吴起县地处半干旱黄土丘陵沟壑区,该区多年平均降雨量为 478.3 mm,主要集中在 7—9 月,占全年降雨量的 62.4%,年均气温 7.8℃。该流域土质为粉质壤土,土壤类型以黄绵土为主,地带性植被以灌木和草本为主。

2 材料与方法

2.1 样点布设

样地选取在枣庄沟流域上游 2 条支沟内,一条支沟以草地为主,另一条除草地外还分布有沙棘林地,其总面积约占支沟面积的 35%。另有少量的山杏和

刺槐分布在小流域边缘。根据不同坡位,将研究区域划分为峁顶、坡上、坡中、坡下以及沟坡 5 个部位,其中沟坡指沟缘线以下地形部位。

首先在室内以 GOOGLE EARTH 影像图上每 50 m 为间隔,考虑覆盖调查支沟及沟道两侧对称原则,按照峁顶、坡上、坡中、坡下和沟坡的位置初步布设了 125 个样点,其中林地 5 个,沙棘林 13 个,梯田 13 个,坝地 2 个,草地 92 个。为保证地形剖面上点位的完整性和可对比性,选择了草地类型下 71 个样点的完整数据进行分析,71 个样点分布如图 1 所示。样点分布为峁顶 9 个,坡上 14 个,坡中 23 个,坡下 20 个,沟坡 5 个。实地调查在 2016 年 7—8 月进行,用 GPS 记录每个样点的精确位置。

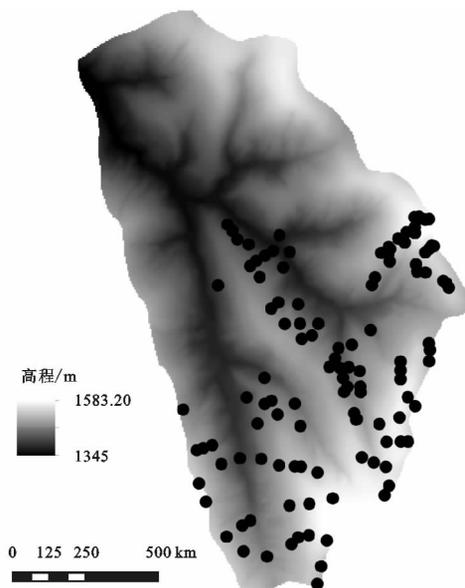


图 1 研究区及采样点位置

2.2 植被调查

运用样方法,采用 1 m×1 m 的样方对草地植被群落进行植物名称、数量、高度、覆盖度以及地上生物量的调查,每个样点做两个重复。

2.3 土壤植被分析与统计

由于研究表明土壤有机质主要集中在 20 cm 以内的表层土壤中^[27-29],地形因子对表层土壤的影响较下层更为深远。故而在样方内四角部位以及样方中心五点采集 0—20 cm 地表土壤混合后,对土壤有机质(重铬酸钾—硫酸溶液—油浴法)、全氮(半微量凯氏法)、全磷(碱熔—钼锑抗比色法)等指标进行测定,每个样点 3 个重复。研究不同坡位上,植被生长状况与土壤养分空间分布特征的关系。

本研究中,选取植被 α 多样性指数表征植被生长状况。其中为表示物种多样性特征选取 Simpson 指数(D)和 Shannon-Wiener 指数(H)。其中, Simpson 指数着重反映植被优势物种在样方中的分布状况,

Shannon-Wiener 指数则主要表达全部物种在样方中的分布。计算公式如下:

$$D=1-\sum_{i=1}^S p_i^2 \quad (1)$$

$$H=-\sum_{i=1}^S P_i \ln P_i \quad (2)$$

为表示物种丰富度选取 Margalef 指数 (D_{ma}) 代表物种总数与样本含量的关系, 计算公式如下:

$$D_{ma}=\frac{S-1}{\ln N} \quad (3)$$

式中: S 为样方内物种数目; N 为样方内所有物种的个体总数。

地上生物量计算则是在样方内按照 $0.5 \text{ m} \times 0.5 \text{ m}$ 用剪刀剪取其地上部分(包括枯落物)装入档案袋, 在烘箱内以 75°C 烘干 24 h 至恒重后称重, 估算地上生物量(地上生物量=样品干重 $\times 4$)。

运用 Excel 以及 SPSS 对采集数据进行统计分析并对其进行 ANOVA 显著性检验和各指标之间相关性分析。

3 结果与分析

3.1 植被群落调查

枣庄沟小流域土地利用类型以退耕 15 a 草地为主, 其草本植被生长状况良好, 植被覆盖度高。灌木林地与乔木林地分布较少, 灌木林地以沙棘为主, 乔木林地以山杏、刺槐为主。沙棘与乔木林地林下植被较少, 草地的植物种类较丰富。主要植被有 10 科 16 属 29 种, 如禾本科针茅属的长芒草 (*Stipa bungeana* Trin)、赖草属的赖草 (*Leymus secalinus* (Georgi) Tzvel.), 菊科蒿属的铁杆蒿 (*Artemisia gmelinii*)、茭蒿 (*Artemisia giraldii* Pamp)、白蒿 (*Herba artemisiae aieversianae*) 以及狗娃花属的阿尔泰狗娃花 (*Heteropappus altaicus* (Willd.) Novopokr.), 蔷薇科委陵菜属的二裂萎陵菜 (*Potentilla bifurca* Linn.)、星毛萎陵菜 (*Potentilla acaulis* L.), 豆科胡枝子属的达乌里胡枝子 (*Lespedeza davurica* (Laxm.) Schindl.)、黄芪属的草木樨状黄芪 (*Astragalus melilotoides* Pall.)、糙叶黄芪 (*Astragalus scaberrimus* Bunge) 等。研究区地上植被具体所属分科如表 1 所示。

3.2 不同坡位植被生长状况

本研究从植被的物种多样性、物种丰富度和地上生物量三方面选取 Simpson 指数 (S)、Shannon-Wiener 指数 (H)、Margalef 指数 (R) 和地上生物量 4 个指标对不同坡位植被生长状况进行评价。分析 71 个草地样方的植被群落 α 多样性特征, 不同坡位上植被

多样性特征与地上生物量如表 2 所示。

由表 2 可得, 在不同坡位上, 采样草地植被群落的 Simpson 指数关系为坡下 > 坡中 > 坡上 > 沟坡 > 崩顶, 其中坡中与坡下、沟坡与坡上的 Simpson 指数较为接近, 崩顶最低。运用单因素方差分析, 位于崩顶的草地植被群落 Simpson 指数与坡中、坡下呈显著性差异 ($p < 0.05$)。采样草地植被群落的 Shannon-Wiener 指数关系为坡下 > 坡中 > 沟坡 > 坡上 > 崩顶, 其中坡上与沟坡的 Shannon-Wiener 指数极为接近。采样草地植被群落的 Margalef 指数关系为坡下 > 坡中 > 崩顶 > 坡上 > 沟坡, 其中坡上与沟坡的 Margalef 指数极为接近。从物种多样性来分析, 不同坡位上, 草地植被群落虽无显著性差异, 但 Simpson 指数和 Shannon-Wiener 指数表现基本一致, 皆为坡下最大, 坡中紧随其后且坡中与坡下指数差异不大, 坡上和沟坡居中, 崩顶最小。而表示物种丰富度的 Margalef 指数坡下位置依旧最大, 但崩顶居中, 沟坡最小。地上生物量关系为坡下 > 崩顶 > 坡中 > 坡上 > 沟坡, 不同坡位地上生物量的变化趋势依旧为坡下位置最大, 崩顶次之, 沟坡最小。

由此可得, 无论是植被群落 α 多样性指数还是地上生物量均为坡下最大, 说明坡下位置植被生长状况最好, 这与汝海丽等的研究结果是一致的^[30]。而崩顶的物种多样性指数相较其他坡位为最低, 但其物种丰富度和地上生物量较高, 说明崩顶虽然优势种分布不明显, 但是由于崩顶光照充足, 水热条件好, 故而植被生物量高, 丰富度较高。沟坡位于沟缘线以下, 坡度陡峭, 水土流失较为严重, 水热条件差, 植被生长环境较差, 能适应该环境的植被种类较少, 故而地上生物量与物种丰富度最低。

3.3 不同坡位土壤养分变化特征

本研究选取 125 个不同坡位上 0—20 cm 表层土壤样品对土壤有机质 (SOM)、全氮 (TN)、全磷 (TP) 的含量进行测定, 结果如表 3 所示。

不同坡位上有机质含量关系为坡下 > 坡中 > 坡上 > 崩顶 > 沟坡, 坡下、崩顶和沟坡位置的有机质含量存在显著性差异 ($p < 0.05$)。这与 Gregorich 发现土壤有机质含量从崩顶到坡脚逐渐增加^[31] 这一结论相吻合。全氮含量关系与有机质含量基本一致, 变化趋势为坡下 > 坡中 > 崩顶 > 坡上 > 沟坡, 其中坡上与崩顶全氮含量极为接近, 坡下与沟坡存在显著性差异 ($p < 0.05$)。不同坡位的土壤全磷含量无显著性差异, 变化趋势依旧为坡下最大, 但是沟坡仅随其后, 坡上与崩顶全磷含量

极为接近,坡中最低,这与刘军秀^[32]的研究结果相同,不过研究区整体全磷含量都较低。坡中部位全磷含量最低,分析认为是由于坡中位置坡度大,侵蚀强度较大,使得土壤中磷流失较多。崩顶与坡上位置全磷亦被冲刷淋溶,坡下与沟坡位置较低,易于养分的汇集积累,使得

坡下和沟坡全磷含量稍高于上部其他坡位。综上所述,坡下位置的土壤养分含量均为最高,这与高雪松等的研究结果一致,高雪松等人认为下坡位是坡面养分的汇集处,其土壤养分含量高于中坡位和上坡位,但坡位间的养分含量差异不明显^[33]。

表 1 研究区常见物种名称及分科

| 物种 | 科属 | 生活型 |
|---|----------|-----|
| 阿尔泰狗娃花(<i>Heteropappus altaicus</i> (Willd.)Novopokr.) | 菊科狗娃花属 | 多年生 |
| 艾蒿(<i>Artemisia lavandulaefolia</i> DC.) | 菊科蒿属 | 多年生 |
| 达乌里胡枝子(<i>Lespedeza davurica</i> (Laxm.)Schindl.) | 豆科胡枝子属 | 半灌木 |
| 大萼萎陵菜(<i>Potentilla conferta</i> Bge.) | 蔷薇科萎陵菜属 | 多年生 |
| 二裂萎陵菜(<i>Potentilla bifurca</i> Linn.) | 蔷薇科萎陵菜属 | 多年生 |
| 甘草(<i>Glycyrrhiza uralensis</i> Fisch) | 豆科甘草属 | 多年生 |
| 星毛萎陵菜(<i>Potentilla acaulis</i> L.) | 蔷薇科萎陵菜属 | 多年生 |
| 长芒草(<i>Stipa bungeana</i> Trin.) | 禾本科针茅属 | 多年生 |
| 萎陵菜(<i>Potentilla chinensis</i> Ser.) | 蔷薇科萎陵菜属 | 多年生 |
| 堇菜(<i>Viola verecunda</i> A. Gray) | 堇菜科堇菜属 | 多年生 |
| 白蒿(<i>Herba Artemisiae sieversianae</i>) | 菊科蒿属 | 两年生 |
| 甘肃蒿(<i>Artemisia gansuensis</i> Ling & Y. R. Ling) | 菊科蒿属 | 半灌木 |
| 黄蒿(<i>Artemisia scoparia waldst. et Kit</i>) | 菊科蒿属 | 两年生 |
| 远志(<i>Polygala tenuifolia</i> Willd.) | 远志科远志属 | 多年生 |
| 芫蒿(<i>Artemisia giraldii</i> Pamp.) | 菊科蒿属 | 半灌木 |
| 猪毛蒿(<i>Artemisia scoparia Waldst. et Kit</i>) | 菊科蒿属 | 多年生 |
| 赖草(<i>Leymus secalinus</i> (Georgi)Tzvel.) | 禾本科赖草属 | 多年生 |
| 黄连(<i>Coptis chinensis</i> Franch) | 莲科莲属 | 多年生 |
| 菟丝子(<i>Cuscuta chinensis</i> Lam) | 菟丝子科菟丝子属 | 一年生 |
| 火绒草(<i>Leontopodium japonicum</i>) | 菊科火绒草属 | 多年生 |
| 铁杆蒿(<i>Artemisia gmelinii</i>) | 菊科蒿属 | 半灌木 |
| 草木樨状黄芪(<i>Astragalus melilotoides</i> Pall) | 豆科黄芪属 | 多年生 |
| 冷蒿(<i>Artemisia frigida</i> Willd. Sp. Pl.) | 菊科蒿属 | 多年生 |
| 地椒(<i>Thymus mongolicus</i> Ronn) | 唇形科百里香属 | 多年生 |
| 茵陈蒿(<i>Artemisia capillaries</i>) | 菊科蒿属 | 多年生 |
| 扫帚草(<i>Kochia scoparia</i> (L)Schrad) | 藜科地肤属 | 一年生 |
| 糙叶黄芪(<i>Astragalus scaberimus</i> Bunge) | 豆科黄芪属 | 多年生 |
| 糙隐子草(<i>Cleistogenes squarrosa</i> (Trin)Keng) | 禾本科隐子草属 | 多年生 |
| 硬质早熟禾(<i>Poa sphondylodes</i> Trin) | 禾本科早熟禾属 | 多年生 |

表 2 不同坡位植被多样性特征与地上生物量分布

| 坡位 | 样本数量 | Simpson 指数 S | Shannon-Wiener 指数 H | Margalef 指数 R | 地上生物量/g |
|-----------|------|--------------|---------------------|---------------|---------|
| 崩顶 | 9 | 0.628 | 1.50 | 2.12 | 201.00 |
| 坡上 | 14 | 0.689 | 1.56 | 1.83 | 152.88 |
| 坡中 | 23 | 0.751 | 1.69 | 2.19 | 198.56 |
| 坡下 | 20 | 0.760 | 1.76 | 2.30 | 204.04 |
| 沟坡 | 5 | 0.679 | 1.57 | 1.81 | 123.98 |
| ANOVA 显著性 | 71 | 0.063* | 0.392 | 0.397 | 0.296 |

注:“*”表示具有显著性($p < 0.05$)。

造成这种现象的原因主要有以下两点:(1)黄土高原水土流失严重,土壤保水保肥能力弱,水分与养

分流失严重。由于坡下位置较低坡度较缓,部分土壤养分被冲刷至此得以汇集累积,使得坡下位置植被生长状况较好。(2)随着坡位升高,土壤颗粒砂性增强粘性减弱,保存养分的能力逐渐降低,下坡位土壤颗粒粘性较其他坡位更强,故而土壤养分含量较其他坡位更高。而沟坡土壤养分含量普遍较低主要是由于沟坡位于沟缘线以下,地形破碎陡峭,坡度大,冲刷侵蚀较为严重,保水保肥能力差,不利于土壤养分积累,故而沟坡位置的土壤有机质含量和全氮含量皆为最低,导致沟坡位置的植被生长状况也次于其他位置。

表 3 不同坡位土壤养分含量

| 坡位 | 样本数量 | 有机质 含量 SOM/ (g · kg ⁻¹) | 全氮 含量 TN/ (g · kg ⁻¹) | 全磷 含量 TP/ (g · kg ⁻¹) |
|-----------|------|---|---|---|
| 崩顶 | 18 | 11.14 | 1.64 | 0.61 |
| 坡上 | 34 | 11.49 | 1.63 | 0.62 |
| 坡中 | 31 | 13.46 | 1.85 | 0.52 |
| 坡下 | 28 | 15.02 | 2.00 | 0.87 |
| 沟坡 | 14 | 9.38 | 1.59 | 0.71 |
| ANOVA 显著性 | 125 | 0.029* | 0.057* | 0.258 |

注：“*”表示具有显著性($p < 0.05$)。

3.4 植被生长状况与土壤养分变化的相关性

植被群落的地上生物量和物种多样性与土壤养分及水分是相互联系,相互制约的^[34]。不同坡位上植被多样性特征与土壤养分变化之间的相关性,结果如表4所示。土壤有机质含量与全氮含量有极显著相关性($p < 0.01$),相关系数为 0.961。除此以外,有机质含量与 Shannon-Wiener 指数、Margalef 指数相关系数为 0.856,0.855,三者在不同坡位上的变化趋势均为坡下>坡中>坡上。不同坡位上全氮含量的变化趋势与植被 Shannon-Wiener 指数呈显著相关,相关系数为 0.940。不同坡位草地植被的 Simpson 指数与 Shannon-Wiener 指数相关性极显著($p < 0.01$),相关系数为 0.965,二者在不同坡位上变化趋势也趋于一致。不同坡位上草地植被群落的 Margalef 指数与地上生物量呈显著相关($p < 0.05$),

相关系数为 0.934。

由此可得,草地植被群落的生长状况与土壤养分含量关系密切,土壤养分含量的差异性会在植被的生长状况上体现出来,植被生长状况影响土壤养分积累,两者分别从宏观和微观两方面体现出不同坡位对植被恢复产生的影响。尤其是土壤全氮含量与植被群落 α 多样性指数各项指标之间的相关性较强,其与 Shannon-Wiener 指数相关性显著。土壤有机质含量与植被 α 多样性指数各指标间相关性系数均低于全氮与其各项指标间相关性系数,但有机质含量与地上生物量相关系数大于全氮含量与地上生物量相关系数。分析认为土壤全氮含量作用侧重于植被物种多样性特征,而有机质含量则侧重于植被生物量特征。

不同坡位其坡度、土壤颗粒组成及性质皆有差异,侵蚀强度不同,土壤保水保肥能力也不同,使得不同坡位土壤养分含量存在一定差异。水热条件的不同导致土壤矿化、腐殖化速率不同,土壤养分积累转化的速率也不同,最终导致植被生长状况出现分异。同时,由于不同坡位的植被生长状况有所不同,地上生物量有所差异,对降雨截流和土壤入渗作用强度不同,使得不同坡位上养分冲刷汇集程度不一。而不同坡位的植被生物量的差异也导致地下根系生物量有所不同,根系分泌物会影响土壤有机质含量,改善土壤团粒结构,增强土壤颗粒粘性,从而改善土壤保水保肥的能力,同时对土壤养分积累也产生深远影响。

表 4 植被多样性特征与土壤养分变化的相关系数

| 参数 | 有机质 含量 SOM | 全氮 含量 TN | 全磷 含量 TP | Simpson 指数 S | Shannon-Wiener 指数 H | Margalef 指 R | 地上 生物量 |
|---------------------|---------------|-------------|-------------|-----------------|------------------------|-----------------|-----------|
| 有机质含量 SOM | 1 | | | | | | |
| 自由度 df | 124 | | | | | | |
| 全氮含量 TN | 0.961** | 1 | | | | | |
| 自由度 df | 124 | 124 | | | | | |
| 全磷含量 TP | 0.311 | 0.44 | 1 | | | | |
| 自由度 df | 124 | 124 | 124 | | | | |
| Simpson 指数 S | 0.791 | 0.85 | 0.291 | 1 | | | |
| 自由度 | 70 | 70 | 70 | 70 | | | |
| Shannon-Wiener 指数 H | 0.856 | 0.940* | 0.456 | 0.965** | 1 | | |
| 自由度 | 70 | 70 | 70 | | 70 | | |
| Margalef 指数 R | 0.855 | 0.863 | 0.225 | 0.512 | 0.662 | 1 | |
| 自由度 | 70 | 70 | 70 | 70 | 70 | 70 | |
| 地上生物量 | 0.778 | 0.696 | -0.01 | 0.303 | 0.427 | 0.934* | 1 |
| 自由度 | 70 | 70 | 70 | 70 | 70 | 70 | 70 |

注:*表示具有显著性($p < 0.05$);**表示具有极显著性($p < 0.01$)。

4 结论

(1) 经过植被群落调查本研究区草地群落主要植被有 10 科 16 属 29 种,如长芒草(*Stipa bungeana* Trin)、

铁杆蒿(*Artemisia gmelinii*)、阿尔泰狗娃花(*Heteropappus altaicus* (Willd.)Novopokr.)、达乌里胡枝子(*Lespedeza davurica* (Laxm.)Schindl.)等。

(2) 不同坡位草地植被生长状况由坡上到坡下

逐渐转好,土壤养分含量变化趋势也为坡下>坡中>坡上。坡下位置由于坡度较缓,水土流失强度较其他位置弱,为土壤养分汇集处,各项指标均为最大;崮顶虽物种多样性指数最小但地上生物量较高,位于崮顶的草地植被群落 Simpson 指数与坡中、坡下呈显著性差异($p<0.05$)。沟坡物种丰富度与地上生物量最低,有机质 SOM 含量与全氮 TN 含量在坡下与沟坡位置存在显著差异($p<0.05$)。

(3) 不同坡位草地植被生长状况与土壤养分空间分布变化趋势基本一致,各项指标之间有一定相关性。其中有机质含量与全氮含量, Simpson 指数与 Shannon-Wiener 指数相关性极显著($p<0.01$),而全氮含量与 Shannon-Wiener 指数也呈显著相关($p<0.05$)。分析认为土壤有机质含量侧作用于植被生物量,而全氮含量侧重于对植被物种多样性特征的作用。植被与土壤养分相互作用相互影响,从宏观和微观两种角度反映了地形对区域植被恢复的影响机制。

致谢:陕西省吴起县林业局刘广亮对野外工作给与了很多协调和帮助。吴起镇林业站蔡美玲、李延霞参与了野外流域植被调查工作。在此表示诚挚谢意。

参考文献:

- [1] 周萍,刘国彬,侯喜禄.黄土丘陵区铁杆蒿群落植被特性及土壤养分特征研究[J].草业学报,2008,17(2):9-18.
- [2] 胡相明,程积民,万惠娥,等.黄土丘陵区地形、土壤水分与草地的景观格局(英文)[J].生态学报,2006,26(10):3276-3285.
- [3] 秦松,樊燕,刘洪斌,等.地形因子与土壤养分空间分布的相关性研究[J].水土保持研究,2008,15(1):46-49.
- [4] Xu Y, Zhang J H, Han S J, et al. [Spatial heterogeneity of soil inorganic nitrogen in a broadleaved-Korean pine mixed forest in Changbai Mountains of northeast China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2010,21(7):1627-1634.
- [5] 李建辉,李晓秀,张汪寿,等.基于地统计学的北运河下游土壤养分空间分布[J].地理科学,2011,31(8):1001-1006.
- [6] Chuai X W, Huang X J, Wan-Jing W, et al. Spatial variability of soil organic carbon and related factors in Jiangsu Province, China[J]. Pedosphere, 2012,22(3):404-414.
- [7] Jenny H. The soil resource: Origin and behavior[M]. Springer Science & Business Media, 2012.
- [8] Honeycutt C W, Heil R D, Cole C V. Climatic and topographic relations of three Great Plains soils: II. Carbon, nitrogen, and phosphorus[J]. Soil Science Society of America Journal, 1990,54(2):476-483.
- [9] Norton J B, Sandor J A, White C S. Hillslope soils and organic matter dynamics within a native american agroecosystem on the colorado plateau[J]. Soil Science Society of America Journal, 2003,67(1):225-234.

- [10] 张宏伟,魏忠义,王秋兵.沈阳城市土壤全钾和碱解氮的空间变异性[J].应用生态学报,2008,19(7):1517-1521.
- [11] Schwanghart W, Jarmer T. Linking spatial patterns of soil organic carbon to topography: A case study from south-eastern Spain [J]. Geomorphology, 2011, 126(1):252-263.
- [12] 高美荣,朱波,黄菊英,等.紫色土坡地尺度土壤养分的空间变异特性[J].西南农业学报,2007,20(6):1241-1245.
- [13] Chuangmin L, Changzhe L, minhua S. Multivariate statistical analysis techniques applied in differentiation of soil fertility[J]. Acta Ecologica Sinica, 1996,16(4):444-447.
- [14] 刘世梁,郭旭东,连纲,等.黄土高原土壤养分空间变异的多尺度分析:以横山县为例[J].水土保持学报,2005,19(5):105-108.
- [15] Ciha A J. Slope position and grain yield of soft white winter wheat 1[J]. Agronomy Journal, 1982,76(2):193-196.
- [16] Geiger S C, Manu A, Bationo A. Changes in a sandy sahelian soil following crop residue and fertilizer additions[J]. Soil Science Society of America Journal, 1992,56(1):172-177.
- [17] 曾庆华.泥沙研究进展综述[J].泥沙研究,1999(1):74-80.
- [18] 张胜利,任京柱.开矿对小流域水沙的影响研究[J].水土保持学报,1992,6(2):76-79.
- [19] 陈浩.流域系统水沙过程变异规律研究进展[J].水土保持学报,2001,15(5):102-107.
- [20] Hara M, Hirata K, Fujihara M, et al. Vegetation structure in relation to micro-landform in an evergreen broad-leaved forest on Amami Ohshima Island, south-west Japan [J]. Ecological Research, 1996,11(3):325-337.
- [21] Sakai A, Ohsawa M. Topographical pattern of the forest vegetation on a river basin in a warm-temperate hilly region, central Japan [J]. Ecological Research, 1994,9(3):269-280.
- [22] Kikuchi T, Miura O. Vegetation patterns in relation to micro-scale landforms in hilly land regions[J]. Vegetatio, 1993,106(2):147-154.
- [23] Wang Z Q. Preliminary discussion on ecological environment construction in the gullied rolling loess region in northern Shaanxi[J]. Soil Water Conservation, 2000(8):26-28.
- [24] 李登科.陕北黄土高原丘陵沟壑区植被覆盖变化及其对气候的响应[C]//中国气象学会年会,2009.
- [25] 王晓燕.燕沟流域侵蚀强度演变特征研究[D].陕西杨凌:西北农林科技大学,2003.

- 因子的关系[J]. 生态学杂志, 2007, 26(1): 100-107.
- [30] 赵晓光, 吴发启. 黄土高原坡耕地土壤水分主要受控因子研究[J]. 水土保持通报, 1999, 19(1): 10-14.
- [31] 邱扬, 傅伯杰, 王军, 等. 黄土丘陵小流域土壤水分时空分异与环境关系的数量分析[J]. 生态学报, 2000, 20(5): 741-747.
- [32] 高红贝, 邵明安. 温度对土壤水分运动基本参数的影响[J]. 水科学进展, 2011, 22(4): 484-494.
- [33] 高红贝, 邵明安. 干旱区降雨过程对土壤水分与温度变化影响研究[J]. 灌溉排水学报, 2011, 30(1): 40-45.
- [34] Yang Q, Fu B, Wang J, et al. Spatiotemporal prediction of soil moisture content using multiple-linear regression in a small catchment of the Loess Plateau, China[J]. *Catena*, 2003, 54(1): 173-195.
- [35] 侯喜禄, 白岗栓, 曹清玉. 刺槐、柠条、沙棘林土壤入渗及抗冲性对比试验[J]. 水土保持学报, 1995, 9(3): 90-95.

(上接第 91 页)

- [26] 张庆, 牛建明, Alexander B, 等. 不同坡位植被分异及土壤效应: 以内蒙古短花茅草原为例[J]. 植物生态学报, 2011, 35(11): 1167-1181.
- [27] Davidson E A, Ackerman I L. Changes in soil carbon inventories following cultivation of previously untilled soils[J]. *Biogeochemistry*, 1993, 20(3): 161-193.
- [28] Post W M, Kwon K C. Soil carbon sequestration and land-use change: processes and potential[J]. *Global Change Biology*, 2000, 6(3): 317-327.
- [29] Jobbagy E G, Jackson R B. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation[J]. *Ecological Applications*, 2000, 10(2): 423-436.
- [30] 汝海丽, 张海东, 焦峰, 等. 黄土丘陵区微地形条件下草本群落特征与土壤水分及养分关系分析[J]. 草地学报, 2016, 24(4): 776-782.
- [31] Gregorich E G, Anderson D W. Effects of cultivation and erosion on soils of four toposequences in the Canadian prairies[J]. *Geoderma*, 1985, 36(3): 343-354.
- [32] 刘军秀. 荒漠草原区丘陵不同地貌部位土壤理化性质与植被生长状况研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古师范大学, 2016.
- [33] 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.
- [34] 聂莹莹, 李新娥, 王刚. 阳坡—阴坡生境梯度上植物群落 α 多样性与 β 多样性的变化模式及与环境因子的关系[J]. 兰州大学学报: 自科版, 2010, 46(3): 73-79.

(上接第 97 页)

- [10] 张小娟, 宋维峰, 吴锦奎, 等. 元阳梯田水源区土壤水氢氧同位素特征[J]. 环境科学, 2015(6): 2102-2108.
- [11] 窦培谦. 密云水库上游流域特征与氮磷流失规律关系研究[D]. 北京: 首都师范大学, 2006.
- [12] 陈阿辉, 李卫平, 于玲红, 等. 克鲁伦河夏季水体中氮、磷污染特征[J]. 环境污染与防治, 2015, 37(9): 34-38.
- [13] 赵晓静, 张胜利, 马国栋. 间伐强度对秦岭锐齿栎林冠层和枯落物层水化学效应的影响[J]. 生态学报, 2015, 35(24): 8155-8164.
- [14] Wang P, Gao C, Yao Q, et al. Temporal and spatial distribution characteristics of nitrogen losses in hilly area of Taihu Lake[J]. *Environmental Science*, 2006, 27(8): 1671-1675.
- [15] 马东, 杜志勇, 吴娟, 等. 崂山水库流域不同土地利用类型地表径流的氮磷流失特征[J]. 水土保持学报, 2011, 25(6): 31-33.
- [16] 徐幸仪, 王建群, 胡小丽. 镇江丘陵区农业流域土地利用对氮素输移的影响[J]. 水电能源科学, 2013, 31(2): 112-115.
- [17] 陆海明, 尹澄清, 王夏晖, 等. 于桥水库周边农业小流域氮素流失浓度特征[J]. 环境科学学报, 2008, 28(2): 349-355.
- [18] Richards C, Johnson L B, Host G. Landscape influences on habitat, water chemistry, and macroinvertebrate assemblages in Midwestern stream ecosystems [R]. NRRI Technical Report, 2015.
- [19] 涂安国, 尹炜, 陈德强, 等. 丹江口库区典型小流域地表径流氮素动态变化[J]. 长江流域资源与环境, 2010, 19(8): 926-932.
- [20] 牟溥, 王庆成, Anne, 等. 土地利用、溪流级别与溪流河水处理理化性质的关系[J]. 生态学报, 2004, 24(7): 1486-1492.