

黄土丘陵区小流域土地覆被物空间分布特征 及影响因素研究

齐治军¹,许明祥^{1,2}

(1 西北农林科技大学 林学院,陕西 杨凌 712100;2 中国科学院水利部 水土保持研究所,陕西 杨凌 712100)

[摘要] 【目的】研究了小流域土地覆被物的主要类型、空间分布特征及其影响因素,为黄土丘陵区复杂地形条件下的流域水土流失防治及评估提供参考。【方法】在陕北黄土丘陵区安塞县的大南沟、纸坊沟、县南沟 3 个小流域,选取 172 个样地调查了植被、枯落物及生物结皮等土地覆被物的盖度、厚度及所处的地形条件等数据,并运用 SPSS 13.0 进行了分析。【结果】黄土丘陵区小流域土地覆被物以草本盖度最大,枯落物和生物结皮盖度次之,乔木和灌木盖度较小;植被盖度在沟坡大于梁岭坡,阴坡和半阳坡大于阳坡,不同坡度之间无显著规律,不同地形条件下枯落物盖度的变化与植被的变化趋势一致,生物结皮盖度的空间分布与植被盖度和枯落物盖度呈相反趋势;小流域 9 个土地覆被物指标可以归为 3 类土地覆被物因子,即地表覆被物、近地覆被物和地上覆被物。土地覆被物空间分布受地形因子及土地覆被物之间的影响,乔木盖度受地形影响较大;灌木盖度受坡度影响较大;草本盖度主要受乔木盖度的影响;枯落物受乔灌草盖度影响较大,受地形类因子影响较小;苔藓、藻类盖度及生物结皮盖度主要受枯落物、草本盖度等近地因子的影响。【结论】流域土地覆被物空间分布特征与水土流失状况密切相关,在黄土丘陵区小流域水土流失防治过程中,要针对不同的地形条件进行合理的植被配置,进而形成优化的土地覆被物配置,促进黄土丘陵区的生态环境建设和保护。

[关键词] 黄土丘陵区;小流域;土地覆被物;空间分布特征;影响因素

[中图分类号] S714.7

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2010)08-0075-08

Spatial distribution characteristics of land cover of small watershed and its influencing factors in Hilly-gullied region of Loess Plateau in China

QI Zhi-jun¹, XU Ming-xiang^{1,2}

(1 College of Forestry, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2 Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of

Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: 【Objective】The types of land coverage, its spatial distribution characteristics and influencing factors were studied according to the topography conditions, soil and water conservation and prevention in the hilly of Loess Plateau. 【Method】Based on 172 plots in 3 small watersheds of the Loess Plateau, the coverage and thickness of land cover and its topography condition were investigated, then analyzed by SPSS 13.0. 【Result】The Loess Hilly-gully region is mostly covered by herbage, secondly by litter and crust. The coverage of arbor and shrub is the least. The coverage of vegetation in gully slope is greater than

* [收稿日期] 2010-01-21

[基金项目] 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-421, KZCX2-YW-443);国家重点基础研究发展规划项目(2007CB407205);国家自然科学基金项目(40971174)

[作者简介] 齐治军(1984—),男,陕西吴起人,硕士,主要从事水土流失的尺度效应研究。E-mail:qizhijun_2003@126.com

[通信作者] 许明祥(1972—),男,陕西吴起人,副研究员,博士,主要从事水侵蚀环境土壤质量演变及土壤-植被互动效应研究。E-mail:xumx@nwsuaf.edu.cn

the ridge slope, the ubac greater than the tailo. However, the effect of the slope gradient on the coverage of vegetation was not significant. The change of the litter coverage was coincident with the vegetation coverage. On the contrary, there was a negative correlation between the biological crust and the vegetation, litter coverage. All land cover indicators in Loess Hilly-gully region were divided into surface cover, nearly surface cove and up-surface cover. The spatial distribution of land cover was affected by topography factor and land cover. The arbor coverage was affected by topography. The shrub coverage was affected by slope gradient. The herbage coverage was affected by arbor coverage. The litter was more affected by arbor, shrub and herbage coverage, but less affected by topography factor. The moss coverage, algae coverage and biological crust coverage were more affected by litter and herbage coverage. 【Conclusion】 The spatial distribution characteristics of land cover was closely related to the condition of soil and water erosion in small watersheds. In the progress of controlling water and soil erosion in small watersheds of Loess Hilly region, the suitable vegetation arrangements to different terrains would form the optimized arrangement of land cover and promote the construction and conservation of ecological environment in this area.

Key words: Hilly-gullied region of Loess Plateau; small watershed; land cover; the spatial distribution characteristic; influencing factor

随着全球性水土流失问题的日益突出,土地利用/覆被变化(LUCC)受到了国内外学者的广泛关注并已开展了大量研究,目前的研究涉及到土地利用的动力机制^[1-4]、土地覆盖的变化^[5-7]、土地利用与土地覆盖变化模型^[8-9]、土地覆被对水土流失的影响^[10-12]等方面。

黄土高原复杂的地形条件和长期的人类活动,使得该区域水土流失尤其严重。植被、枯落物及生物结皮与水土流失有密切联系,为了便于研究,本研究将植被、枯落物及生物结皮统称为土地覆被物。土地覆被物的空间分布和组成严重影响流域的产水产沙,不同的土地覆被物分布会导致不同的产水产沙效应。作为水土流失的重要影响因素,关于土地覆被物空间分布特征和影响因素的研究,对水土流失防治有重要的指导作用。目前,已有不少关于黄土高原土地覆被物的相关研究,包括植被的生长发育及恢复演替^[13]、植被对水土流失的影响^[14-17]、植被季节变化^[18]、枯落物形成、组成、储量和空间分布及其影响因素^[10,19]、枯落物的减水减沙功能^[20-21]、生物结皮的组成、生长影响因子和分布规律^[22]等。这些研究多针对特定的土地覆被物(尤其是高等植被)展开,较少关注不同空间层次的土地覆被物,尤其是近地层和地表覆被物分布特征和影响的研究报道尚不多见。

为此,本试验通过野外调查,研究了陕北黄土丘陵区小流域土地覆被物的主要类型、空间分布特征及其影响因素,以期对小流域治理现状和水土流失评估、小流域水土流失防治措施配置及黄土丘陵区

生态建设等提供参考。

1 研究区域及研究方法

1.1 研究区域概况

研究区位于陕西省安塞县(108°5'44"~109°26'18"E, 36°30'45"~37°19'31"N)的大南沟(3.4 km²)、纸坊沟(8.17 km²)、县南沟(43 km²)3个小流域。该区地处陕北黄土高原丘陵沟壑区,气候区划上属暖温带半干旱季风气候,平均海拔1200 m,相对高差100~300 m。年均气温8.8℃,年均降水量505.3 mm,全年降水分配不均匀,7-9月份降水量占全年降水的60%以上,年日照时数为2395.6 h,日照百分率达54%,≥0℃积温3733.5℃,≥10℃积温3282.7℃,干燥度指数1.48,无霜期160 d左右。

研究区地带性土壤为黑垆土(干润均腐土),由于严重的水土流失,原有的黑垆土损失殆尽,土壤以黄土母质上发育的黄绵土(钙质干润锥形土)为主。

研究区自然植被区划上属于森林草原的南部边缘,地带性植被为暖温性灌草丛和草甸草原群落,主要植被有以铁杆蒿(*Artemisia gmelinii*)、芨蒿(*Artemisia giraldii*)、茵陈蒿(*Artemisia capillaris*)、长芒草(*Stipa bungeana*)、白羊草(*Bothriochloa ischaemum*)等为主的草本植物群落。人工植被以刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、柠条(*Caragana korshiskii*)、沙棘(*Hippophae rhamnoides*)等乔灌木为主。

1.2 研究方法

野外调查于 2008-09 在陕西省安塞县进行。在 3 个小流域内,以沟口、沟道中部、沟头和代表支沟为基准,确定至少 4 个断面进行调查。在每个断面按照沟底、沟坡下部、沟坡中部、沟坡上部、梁峁坡、梁峁的坡位顺序,结合坡度和坡向确定了 172 个样点。在乔木和灌木样点 10 m×10 m 的样方内,以对角线为基准调查 3 次。在草本样地,以 50 cm×50 cm 的样方调查 3 次。在样方内,首先测量海拔、坡度、坡向和地形等地形类信息,然后调查乔木、灌木和草本的盖度,枯落物的厚度、盖度和质量,生物结皮的组成和盖度。由于所调查小流域内生物结皮中地衣的分布较少,经常以随机斑点状出现,其盖度在生物结皮盖度中所占比例极小,因此在实际调查中仅以<1%表示其存在,在本研究中仅对其进行归类分析而不做更深入的讨论。调查的样地包括天然乔木、人工乔木、天然灌木、人工灌木、天然草地、人工草地、荒坡、人工经济林和农耕地等不同土地利用类型,综合了流域内自然和人工土地覆被物,能够反映研究区小流域土地覆被物的实际情况。

将调查数据中的地形类因子分别赋值,将地形分为沟坡和梁峁坡,坡向分为阴坡、阳坡和半阳坡,坡度分为 0~9°,10~19°,20~29°和≥30° 4 个级别,用相关分析、主成分分析、判别分析及方差成分估计等方法,分析不同土地覆被物的空间分布特征及其影响因素,并用单项方差分析进行差异显著性检验。所有分析均采用软件 SPSS 13.0 完成。

2 结果与分析

2.1 土地覆被物的空间分布特征

由图 1 可知,黄土丘陵区小流域土地覆被物以草本盖度最大(62%),枯落物和生物结皮盖度次之(48%),再次是苔藓盖度(37%),乔木盖度较小(17%),灌木盖度最小,不足 10%。说明研究区土地覆被物以近地层和地表覆盖为主。因此,草本的生长和分布状况对流域水土流失的影响最为重要。

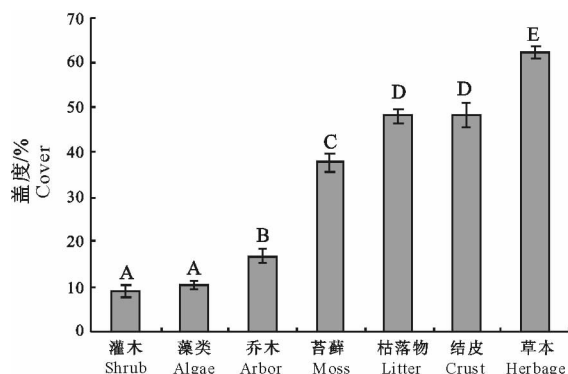


图 1 黄土丘陵区小流域土地覆被物盖度的调查

Fig. 1 Percentage of watershed land cover in the hilly Loess Plateau

土地覆被物的空间分布受地形(沟坡及梁峁坡)、坡度和坡向等地形类因子,及土地覆被物因子、气候、人类活动^[23]等因素的综合影响。3 个小流域不同地形条件下土地覆被物空间分布特征的调查结果如表 1 所示。

表 1 不同地形条件下土地覆被物的空间分布特征

Table 1 Land cover spatial distribution characteristics of different terrains and slopes

地形条件 Terrain condition	乔木盖度/% Arbor cover	灌木盖度/% Shrub cover	草本盖度/% Herbage cover	枯落物 厚度/mm Litter thickness	枯落物盖度/% Litter cover	苔藓盖度/% Moss cover	藻类盖度/% Algae cover	生物结皮 盖度/% Crust cover
沟坡 Gully slope	19.6±2.1 a	8.2±1.7 a	63.1±1.9 a	11.9±0.5 a	51.0±2.1 a	28.9±2.5 A	8.9±1.0 a	38.21±3.1 A
梁峁坡 Ridge slope	13.4±2.0 b	9.8±2.5 a	60.1±2.0 a	11.5±1.1 a	44.4±2.6 a	48.1±3.1 B	12.3±1.3 b	60.4±3.43 B
阴坡 Shady slope	16.4±2.7 a	13.0±4.7 a	68.0±4.0 a	11.9±0.9 a	51.6±4.7 a	32.2±7.3 a	5.3±1.5 a	37.7±8.6 a
半阳坡 Semi-sunny slope	18.4±2.3 a	9.2±2.5 a	63.9±2.2 a	11.6±0.7 a	50.1±2.5 a	38.4±3.0 a	8.7±1.1 a	47.6±3.3 a
阳坡 Sunny slope	15.8±2.2 a	7.7±1.9 a	59.0±1.9 a	10.4±1.1 b	43.7±2.4 a	38.3±3.1 a	13.2±1.4 a	51.7±3.6 a
0~9°	21.3±8.9 a	0.5±0.3 a	63.7±5.0 a	14.4±4.5 a	54.4±9.9 a	38.7±10.1 a	9.3±3.2 a	48.5±11.9 a
10~19°	12.8±4.6 a	10.7±6.4 b	63.1±5.6 a	10.6±1.7 a	47.0±6.7 a	43.6±10.3 a	8.4±2.9 a	52.1±11.7 a
20~29°	18.8±6.7 a	13.0±7.3 B	59.7±7.1 a	11.2±2.0 a	49.1±8.9 a	34.1±10.6 a	10.8±3.9 a	45.6±12.6 a
≥30°	15.8±8.0 a	6.4±3.2 a	62.3±6.2 a	12.1±1.9 a	44.3±6.0 a	34.6±8.5 a	13.5±4.3 a	48.6±10.2 a

注:同列数据后的小写或大写字母表示各土地覆被物指标在不同地形间的差异显著性达 0.05 或 0.01 水平(df=172)。

Note:The uppercase or lowercase indicate the significant difference of each terrains' land cover indicators are at 5% and 1% level, respectively (df=172).

由表 1 可见,沟坡乔木盖度显著大于梁峁坡,约

是梁峁坡的 1.5 倍;阴坡和半阳坡乔木盖度略高于

阳坡;0~9°坡面的乔木盖度高于其他较大坡度坡面。沟坡和梁峁坡的灌木盖度差异不大,分别为8.2%和9.8%;10~29°中坡面的灌木盖度高于其他小坡度和大坡度坡面。草本盖度在不同坡形及不同坡度间差异均较小,阴坡草本盖度略高于半阳坡和阳坡。总体而言,植被盖度在沟坡大于梁峁坡,阴坡和半阳坡大于阳坡,10~29°坡面大于其他坡面,但随坡度梯度的变化其变化规律并不显著。研究区乔、灌、草盖度的空间分布特征与不同地形条件下的光温水差异有关。一般而言,沟坡、阴坡水分条件优于梁峁坡和阳坡,而光热条件则相反^[24]。尽管不同植被对光热水的需求有差异,但在干旱缺水的黄土丘陵区,水分对植被的影响更为重要^[25]。不同坡度下植被盖度的差异主要受地形条件、土地利用方式等影响^[26]。黄土丘陵区陡坡多分布于沟坡,缓坡多分布于梁峁坡,且受人为活动干扰较大。

枯落物厚度和盖度主要受其来源植被^[19]及地形条件的影响。由表1可见,沟坡的枯落物盖度和厚度大于梁峁坡,阴坡和半阳坡大于阳坡,0~9°坡面高于9°以上坡面,这与该区域乔木和草本盖度的

变化规律一致,同时也与平缓地面易于累存枯落物有关。

生物结皮盖度与植被盖度和枯落物分布密切相关,植被和枯落物通过影响光热水条件和分泌分解物抑制生物结皮的生长发育^[22,27]。由表1可见,研究区梁峁坡的苔藓、藻类和生物结皮盖度显著或极显著地高于沟坡,分别较沟坡高65.9%,38.2%和58.4%;阳坡和半阳坡盖度高于阴坡,与植被和枯落物盖度呈相反分布规律。在坡度 $\geq 30^\circ$ 的地形上,藻类的盖度高于其他坡度,而在20°以下坡面上,苔藓的盖度略高于20°以上坡面。

2.2 小流域土地覆被物表征指标的相关分析

对乔木盖度、灌木盖度、草本盖度、枯落物厚度、枯落物盖度、苔藓盖度、藻类盖度及生物结皮盖度等8个土地覆被物指标进行相关分析,结果如表2所示。由表2可见,除草本盖度与乔木盖度、枯落物厚度与灌木盖度、藻类盖度与灌木盖度没有显著关系外,其余土地覆被物指标间的关系均达到显著或极显著水平。因此,从中筛选土地覆被物的表征指标是可行的。

表2 小流域土地覆被物指标之间的相关分析($n=172$)

Table 2 Relativity of land cover in little watershed ($n=172$)

指标 Index	乔木盖度 Arbor coverage	灌木盖度 Shrub coverage	草本盖度 Herbage coverage	枯落物盖度 Litter coverage	枯落物厚度 Litter thickness	苔藓盖度 Moss coverage	藻类盖度 Algae coverage
灌木盖度 Shrub coverage	-0.227**						
草本盖度 Herbage cover	-0.063	0.203**					
枯落物厚度 Litter coverage	0.495**	0.055	0.252**				
枯落物盖度 Litter thickness	0.451**	0.276**	0.436**	0.437**			
苔藓盖度 Moss coverage	-0.354**	-0.259**	-0.309**	-0.394**	-0.533**		
藻类盖度 Algae coverage	-0.315**	-0.143	-0.188*	-0.275**	-0.305**	0.567**	
生物结皮盖度 Bio-crust coverage	-0.419**	-0.262**	-0.397**	-0.446**	-0.643**	0.931**	0.604**

注: * 或 ** 表示土地覆被物指标间的相关性达 0.05 或 0.01 显著水平。

Note: * or ** indicate the relativity of different land cover indicators are at 5% or 1% level.

为了筛选土地覆被物的表征指标,应用主成分分析法对9个土地覆被物指标进行分析,将其归类得到3类土地覆被物因子,所得结果见表3。

表3 土地覆被物指标的旋转成分矩阵

Table 3 Rotated factor matrix of land cover

主成分 Factor	苔藓 盖度 Moss	生物结 皮盖度 Crust	地衣 盖度 Lichen	藻类 盖度 Algae	草本 盖度 Herbage	枯落物 盖度 Litter cover	枯落物 厚度 Litter thickness	乔木 盖度 Arbor	灌木 盖度 Shrub	方差/% Variance	累计/% Cumulative
1	0.921	0.869	0.775	0.214	-0.113	-0.483	-0.416	-0.457	-0.306	33.02	33.02
2	-0.138	-0.388	-0.04	-0.172	0.758	0.683	0.431	0.201	0.169	22.93	55.95
3	0.087	0.022	-0.02	-0.155	-0.332	0.062	0.387	0.756	-0.730	15.56	71.51

由表 3 可知,第 1 主成分为地表因子(结皮因子),包括苔藓盖度、地衣盖度、藻类盖度及生物结皮盖度;第 2 主成分为近地因子,包括枯落物盖度、枯落物厚度及草本盖度;第 3 主成分为地上因子,包括灌木盖度及乔木盖度。地表因子反映的是苔藓、地衣、藻类等低等植物对土壤表面的覆被和保护;近地因子中,草本的高度变化较大,集中于 1~50 cm,但与乔、灌木相比差异较大,且草本在保护土壤、防止水土流失方面与枯落物有相似功能^[20-21,28],故将其归为近地因子。乔木和灌木与地表因子、近地因子在形成及作用方式上存在着显著差异^[14,21,29],故将其归为地上因子。

在因子归类的基础上,对地表因子、近地因子和地上因子进行判别分析,确定每类因子不同指标的影响程度,得到不同类土地覆被物的判别函数为:

$$\text{地表因子 } L_1 = 1.866 \times \text{苔藓盖度} - 1.103 \times \text{生物结皮盖度} + 0.661 \times \text{藻类盖度}; \quad (1)$$

$$\text{近地因子 } L_2 = 0.953 \times \text{枯落物盖度} + 0.787 \times \text{草本盖度} - 0.363 \times \text{枯落物厚度}; \quad (2)$$

$$\text{地上因子 } L_3 = 0.993 \times \text{乔木盖度} - 0.030 \times \text{灌木盖度}. \quad (3)$$

判别函数表明,在地表因子中,苔藓的影响显著

大于藻类,是表征地表因子的主要指标,在预防水土流失方面有重要作用^[30],可以作为地表典型因子;在近地因子中,枯落物和草本都有重要作用;在地上因子中,乔木的作用显著大于灌木。因此,在黄土高原丘陵区土地覆被物研究及水土流失评估中,可用苔藓盖度或生物结皮盖度代表地表因子,用枯落物盖度和草本盖度代表近地因子,以乔木盖度代表地上因子。

2.3 小流域土地覆被物空间分布的影响因素

为了区分地形类因子对土地覆被物及不同土地覆被物之间的影响程度,用常规线性模型(General loglinear analysis, GLM)的方差成分估计模块(Variance components analysis),计算了黄土高原丘陵区小流域地形类因子及不同土地覆被物指标在土地覆被物盖度变异(方差)中所占的百分比。并以坡度、坡向、地形等为随机因子,用最小二乘无偏估计法计算了土地覆被物盖度的方差。

地上覆被物受到气候、地形及人类活动等因素的综合影响,本研究仅分析了其受地形类因子的影响作用,所得结果见表 4。表 4 表明,乔木盖度主要受地形和坡度的影响,二者分别解释乔木盖度变异的 75.0% 和 25.0%。灌木盖度主要受坡度的影响,坡度可解释其变异的 94%。

表 4 地形类因子在土地覆被物盖度变异(方差)中所占的百分比

Table 4 Variance percentage of topographical factors

%

指标 Index	项目 Item	坡度 Slope gradient	坡向 Slope aspect	地形 Topography
乔木盖度 Vegetation coverage	方差 Variance	6.7	0.0	19.7
	方差比例 Variance proportion	25.0	0.0	75.0
灌木盖度 Shrub coverage	方差 Variance	20.4	1.2	0.0
	方差比例 Variance proportion	94.0	6.0	0.0

注:应用 GLM 估计各因子方差时,方差值可能出现负值,方差值为负值时则取 0。下表同。

Note: The variance may be negative when using GLM to estimate it. Assume the variance as zero if it appears negative. The follow tables are the same.

近地因子受到地形类因子和地上因子不同程度的影响。由表 5 可知,草本盖度主要受地上因子中乔木盖度的影响,其影响程度达到 89.0%;其次受到地形类因子中坡度和坡向的影响,地形类因子合计可解释草本盖度变异的 11.0%。枯落物厚度和

盖度主要受地上因子和草本盖度的影响,二者可解释枯落物厚度和盖度变异的 90% 以上。总体而言,近地覆被物受地上因子及草本盖度影响较大,受地形类因子影响较小。

表 5 地形类因子及土地覆被物指标在近地覆被物盖度/厚度变异(方差)中所占的百分比

Table 5 Variance percentage of topographical factors and near surface cover

%

指标 Index	项目 Item	坡度 Slope gradient	坡向 Slope aspect	地形 Topography	乔木盖度 Vegetation coverage	灌木盖度 Shrub coverage	草本盖度 Herbage coverage
草本盖度 Herbage coverage	方差 Variance	7.8	6.4	0.0	112.7	0.0	
	方差比例 Variance proportion	6.0	5.0	0.0	89.0	0.0	
枯落物厚度 Litter thickness	方差 Variance	1.7	1.0	0.0	53.7	1.0	12.3
	方差比例 Variance proportion	2.0	1.0	0.0	78.0	1.0	18.0
枯落物盖度 Litter coverage	方差 Variance	24.1	5.0	9.0	163.9	99.5	105.5
	方差比例 Variance proportion	6.0	1.0	2.0	41.0	24.0	26.0

地表因子受地形类因子、地上因子及近地因子等因素的综合影响。由表 6 可知,苔藓盖度主要受枯落物的影响,枯落物影响程度为 49%;其次受植被盖度(乔木、灌木及草本盖度)的影响,植被盖度可解释其变异的 34%;受地形影响较小,为 17%。藻类盖度主要受近地因子的影响,近地因子可解释其

变异的 81%,地形类因子中坡度及坡向可解释其变异的 18%,说明其受地上因子影响较小。生物结皮盖度主要受近地因子的影响,近地因子可解释其变异的 59%,受乔木盖度和地形的影响程度分别为 26%和 14%。

表 6 地形类因子及土地覆被物指标在地表覆被物盖度/厚度变异(方差)中所占的百分比

Table 6 Variance percentage of topographical factors and land cover indicators

%

指标 Index	项目 Item	坡度 Slope gradient	坡向 Slope aspect	地形 Topography	乔木 盖度 Vegetation coverage	灌木 盖度 Shrub coverage	草本 盖度 Herbage coverage	枯落物 厚度 Litter thickness	枯落物 盖度 litter coverage
苔藓盖度 Moss coverage	方差 Variance	0.0	0.0	99.1	137.8	13.9	44.9	119.6	164.4
	方差比例 Variance proportion	0	0	17	24	2	8	21	28
藻类盖度 Algae coverage	方差 Variance	9.6	10.7	0.3	0.0	1.5	30.5	8.5	51.6
	方差比例 Variance proportion	8	10	0	0	1	27	8	46
生物结皮盖度 Bio-crust coverage	方差 Variance	4.2	1.3	119.9	223.1	10.9	76.8	128.9	284.6
	方差比例 Variance proportion	0	0	14	26	1	9	15	35

不同地形(沟坡及梁峁坡)的水热差异,使得乔木盖度受地形影响较大^[24]。黄土丘陵区灌木多分布于沟缘线和陡坡,因此灌木受坡度影响较大^[26]。由于乔木具有高度优势,能够通过光热条件影响林下草本分布^[31],使得草本盖度受乔木盖度影响较大。乔木和草本等植被作为枯落物的主要来源,极大地影响着枯落物的盖度和厚度。植被和枯落物通过改变局部区域光热水分条件和分泌分解物质,影响苔藓、藻类及结皮的生长发育和空间分布^[27,32]。

3 结 论

1) 黄土高原丘陵区小流域土地覆被物以草本盖度最大,枯落物和生物结皮盖度次之,乔木和灌木盖度较小,说明土地覆被物覆盖以近地层和地表覆盖为主,草本生长和分布状况可能对流域水土流失的产生有重要影响。

2) 植被总盖度以沟坡大于梁峁坡,阴坡和半阳坡大于阳坡,不同坡度之间无显著规律;枯落物厚度和盖度主要受其来源植被和地形条件的影响,在沟坡大于梁峁坡,阴坡和半阳坡大于阳坡,缓坡高于较陡坡面;苔藓和生物结皮盖度的空间分布特征与植被盖度和枯落物盖度呈相反趋势,藻类则在梁峁坡、阳坡及陡坡上分布较多。

3) 9 个土地覆被物指标可归为 3 类土地覆被物因子:第 1 类为地表因子,包括苔藓盖度、地衣盖度、藻类盖度和生物结皮盖度;第 2 类为近地因子,包括草本盖度、枯落物盖度及厚度;第 3 类为地上因子,

包括灌木盖度及乔木盖度。苔藓盖度可作为地表因子的表征指标,近地因子中枯落物盖度和草本盖度都有着重要作用,乔木盖度可作为地上因子的主要表征指标。

4) 土地覆被物的空间分布受地形类因子及土地覆被物之间的影响。乔木盖度受地形影响较大,灌木盖度受坡度影响较大,草本盖度主要受乔木盖度的影响;枯落物盖度及厚度受乔、灌木盖度影响较大,受地形类因子影响较小;苔藓、藻类盖度及生物结皮盖度主要受枯落物、草本盖度等近地因子的影响。

[参考文献]

- [1] 史纪安,傅伯杰,陈利顶,等. 榆林地区土地利用覆被变化区域特征及其驱动机制分析 [J]. 地理科学, 2003, 23(4): 493-498.
Shi J A, Fu B J, Chen L D, et al. The characteristics and driving mechanism of land use/land use change in Yulin region [J]. Scientia Geographica Sinica, 2003, 23(4): 493-498. (in Chinese)
- [2] Xiao J Y, Shen Y J, Ge J F, et al. Evaluating urban expansion and land use change in Shijiazhuang, China, by using GIS and remote sensing [J]. Landscape and Urban Planning, 2006, 75: 69-80.
- [3] Andrea E G, Micheal W B, Jane S. Tourism, forest conversion, and land transformations in the Angkor basin, Cambodia [J]. Applied Geography, 2009, 29: 212-223.
- [4] 余新晓,张晓明,牛丽丽. 黄土高原流域土地利用/覆被动态演变及驱动力分析 [J]. 农业工程学报, 2009, 25(7): 219-205.
Yu X X, Zhang X M, Niu L L. Dynamic evolution and driving force analysis of land use/cover change on loess plateau watershed [J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(7): 219-225. (in Chinese)

- Chinese)
- [5] 冯雨薇,冯学武,王海军,等.窟野河地区基于小流域尺度的土地利用动态变化研究[J].干旱区资源与环境,2009,23(11):31-36.
Feng Y W, Feng X W, Wang H J, et al. Study on landuse dynamic changing base on the small basin scale of Kuyehe River Basin [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2009, 23(11): 31-36. (in Chinese)
- [6] Bethany A B, John F M. Identifying land cover variability distinct from land cover change: Cheatgrass in the Great Basin [J]. Remote Sensing of Environment, 2005, 94: 204-213.
- [7] Shalaby A, Tateishi R. Remote sensing and GIS for mapping and monitoring land cover and land-use changes in the North-western coastal zone of Egypt [J]. Applied Geography, 2007, 27: 28-41.
- [8] 唐华俊,吴文斌,杨鹏,等.土地利用/土地覆被变化(LUCC)模型研究进展[J].地理学报,2009,64(4):456-468.
Tang H J, Wu W B, Yang P, et al. Recent progresses of land use and land cover change (LUCC) models [J]. Acta Geographica Sinica, 2009, 64(4): 456-468. (in Chinese)
- [9] Terry S, Kristi S. Using the FORE-SCE model to project land-cover change in the southeastern United States [J]. Ecological Modelling, 2009, 219: 49-65.
- [10] 魏文俊,王兵,冷冷.宁夏六盘山落叶森林凋落与枯落物分布及持水特性的研究[J].内蒙古农业大学学报,2006,27(3):19-23.
Wei W J, Wang B, Leng L. The research of litter fall and litter distribution and its characteristics of the holding water of different defoliated forest in Liupan Mountains of Ningxia [J]. Journal of Inner Mongolia Agricultural University, 2006, 27(3): 19-23. (in Chinese)
- [11] 李丽娟,姜德娟,李九一,等.土地利用/覆被变化的水文效应研究进展[J].自然资源学报,2007,22(2):211-224.
Li L J, Jiang D J, Li J Y, et al. Advances in hydrological response to land use/land cover change [J]. Journal of Natural Resources, 2007, 22(2): 211-224. (in Chinese)
- [12] 邓慧平,李秀彬,陈军锋,等.流域土地覆被变化水文效应的模拟:以长江上游源头区梭磨河为例[J].地理学报,2003,25(1):53-62.
Deng H P, Li X B, Chen J F, et al. Simulation of hydrological response to land cover change in the Suomo Basin [J]. Acta Geographica Sinica, 2003, 58(1): 53-62. (in Chinese)
- [13] 房世波,谭凯炎,刘建栋,等.鄂尔多斯植被盖度分布环境因素的关系[J].植物生态学报,2009,33(1):25-33.
Fang S B, Tan K Y, Liu J D, et al. Vegetation cover and its relationship with environmental factors at different scales in the Ordos region of China [J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2009, 33(1): 25-33. (in Chinese)
- [14] 陈云明,刘国彬,徐炳成.黄土丘陵区人工沙棘林水土保持作用机理及效益[J].应用生态学报,2005,16(4):595-599.
Chen Y M, Liu G B, Xu B C. Effects of artificial seabuckthorn forest on soil and water conservation in Loess Hilly region [J]. Chin J Appl Ecol, 2005, 16(4): 595-599. (in Chinese)
- [15] 祁生林,张洪江,何凡,等.长江三峡花岗岩林地坡面降雨渗透与水土流失关系研究[J].工程地质学报,2006,14(3):365-369.
Qi S L, Zhang H J, He F, et al. Field experiments and findings on the relationship of in-filtration and runoff with rainfall on forest granitic slope at Three Gorges of Yangtze River [J]. Journal of Engineering Geology, 2006, 14(3): 365-369. (in Chinese)
- [16] 徐宪立,马克明,傅伯杰,等.植被与水土流失关系研究进展[J].生态学报,2006,26(9):3137-3143.
Xu X L, Ma K M, Fu B J, et al. Research review of the relationship between vegetation and soil loss [J]. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(9): 3137-3143. (in Chinese)
- [17] Cebecauer T. The consequences of land-cover changes on soil erosion distribution in Slovakia [J]. Geomorphology, 2008, 98(1): 187-198.
- [18] 伍永秋,张青春,张岩.黄土高原小流域植被特征及其季节变化[J].水土保持学报,2002,16(1):104-107.
Wu Y Q, Zhang Q C, Zhang Y. Crop characteristics and their temporal change on Loess Plateau of China [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2002, 16(1): 104-107. (in Chinese)
- [19] 王波,张洪江,徐丽君,等.四面山不同人工林枯落物储量及其持水特性研究[J].水土保持学报,2008,22(4):90-95.
Wang B, Zhang H J, Xu L J, et al. Reserves and water capacity characteristics of different species of litter in Simian Mountain [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2008, 22(4): 90-95. (in Chinese)
- [20] 吴钦孝,赵鸿雁,韩冰.黄土高原森林枯枝落叶层保持水土的有效性[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2001,29(5):95-98.
Wu Q X, Zhao H Y, Han B. Effectiveness of forest litter to soil and water conservation [J]. Jour of Northwest Sci-Tech Univ of Agri and For: Nat Sci Ed, 2001, 29(5): 95-98. (in Chinese)
- [21] 张晓明,余新晓,武思宏,等.黄土区森林植被对坡面径流和侵蚀产沙的影响[J].应用生态学报,2005,16(9):1614-1618.
Zhang X M, Yu X X, Wu S H, et al. Effects of forest vegetation on runoff and sediment production on sloping lands of Loess area [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2005, 16(9): 1614-1618. (in Chinese)
- [22] 焦雯君,朱清科,张宇清,等.陕北黄土区退耕还林地生物结皮分布及其影响因子研究[J].北京林业大学学报,2007,29(1):102-107.
- [23] 贾克斌,李瑞,夏照华,等.宁夏盐池植被盖度变化及影响因素[J].中国水土保持科学,2006,4(6):18-22.
Zhang K B, Li R, Xia Z H, et al. Research on change of vege-

- tation fraction and its effect factors in Yanchi county, Ningxia Hui Autonomous Region [J]. *Science of Soil and Water Conservation*, 2006, 4(6): 18-22. (in Chinese)
- [24] 周 萍, 刘国彬, 侯喜禄. 黄土丘陵区侵蚀环境不同坡面及坡位土壤理化特征研究 [J]. *水土保持学报*, 2008, 22(1): 7-12. Zhou P, Liu G B, Hou X L. Study on soil physical and nutrients properties of different slope aspects and positions in eroded Loess Hilly Region [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2008, 22(1): 7-12. (in Chinese)
- [25] 徐炳成, 山 仑, 陈云明. 黄土高原半干旱区植被建设的土壤水分效应及其影响因素 [J]. *中国水土保持科学*, 2003, 1(4): 32-35. Xu B C, Shan L, Chen Y M. Review and discussion on the effect and influence factors of vegetation construction on soil water in semi-arid on Loess Plateau [J]. *Science of Soil and Water Conservation*, 2003, 1(4): 32-35. (in Chinese)
- [26] 武春华, 陈云明, 王国梁. 黄土丘陵区典型群落特征及其与环境因子的关系 [J]. *水土保持学报*, 2008, 22(3): 64-69. Wu C H, Chen Y M, Wang G L. Characteristics of typical communities in relation to environmental factors in Loess Hilly Region [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2008, 22(3): 64-69. (in Chinese)
- [27] 张 健, 刘国彬, 许明祥, 等. 黄土丘陵区影响生物结皮退化因素的初步研究 [J]. *中国水土保持科学*, 2008, 6(6): 14-20. Zhang J, Liu G B, Xu M X, et al. Influencing factors of biological crust degradation in Hilly-gullied region of Loess Plateau in China [J]. *Science of Soil and Water Conservation*, 2008, 6(6): 14-20. (in Chinese)
- [28] 卢晓杰, 李 瑞, 张克斌. 农牧交错带地表覆盖物对土壤入渗的影响 [J]. *水土保持通报*, 2008, 28(1): 1-5. Lu X J, Li R, Zhang K B. Influence of surface coverage on soil infiltration in the farming-grazing transitional zone [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2008, 28(1): 1-5. (in Chinese)
- [29] 吴钦孝, 赵鸿雁. 黄土高原森林水文生态效应和林草适宜覆盖指标 [J]. *水土保持通报*, 2000, 20(5): 32-34. Wu Q X, Zhao H Y. Hydro-ecological effects of forest and suitable index of vegetation coverage [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2000, 20(5): 32-34. (in Chinese)
- [30] 赵允格, 许明祥, 王全九, 等. 黄土丘陵区退耕地生物结皮对土壤理化性状的影响 [J]. *自然资源学报*, 2006, 21(3): 441-448. Zhao Y G, Xu M X, Wang Q J, et al. Impact of biological soil crust on soil physical and chemical properties of rehabilitated grassland in Hilly Loess Plateau, China [J]. *Journal of Natural Resource*, 2006, 21(3): 441-448. (in Chinese)
- [31] 张琴妹, 张 程, 刘茂松, 等. 干旱区群落乔木层对草本层空间格局及形态特征的影响 [J]. *生态学报*, 2007, 27(4): 1265-1272. Zhang Q M, Zhang C, Liu M S, et al. The influences of carbonaceous layer on spatial patterns and morphological characteristics of herbaceous layer in an arid plant community [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(4): 1265-1272. (in Chinese)
- [32] 赵允格, 许明祥, 王全九, 等. 黄土丘陵区退耕地生物结皮理化性状初报 [J]. *应用生态学报*, 2006, 17(8): 1429-1434. Zhao Y G, Xu M X, Wang Q J, et al. Physical and chemical properties of soil bio-crust on rehabilitated grassland in hilly Loess Plateau of China [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(8): 1429-1434. (in Chinese)

(上接第 74 页)

- [16] 胡君利, 林先贵, 尹 睿, 等. 浙江慈溪不同利用年限水稻土主要微生物过程强度的比较 [J]. *环境科学学报*, 2008, 28(1): 174-179. Hu J L, Lin X G, Yin R, et al. Comparison of microbial processes in paddy soils of different ages in Cixi, Zhejiang [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2008, 28(1): 174-179. (in Chinese)
- [17] 秦 华, 林先贵, 陈瑞蕊, 等. DEHP 对土壤脱氢酶及微生物功能多样性的影响 [J]. *土壤学报*, 2005, 42(5): 829-834. Qin H, Lin X G, Chen R R, et al. Effects of DEHP on dehydrogenase activity and microbial functional diversity in soil. [J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2005, 42(5): 829-834. (in Chinese)
- [18] 薛 冬, 姚槐应, 黄昌勇. 不同利用年限茶园土壤矿化、硝化作用特性 [J]. *土壤学报*, 2007, 44(2): 373-378. Xue D, Yao H Y, Huang C Y. Characteristics of mineralization and nitrification in soils of tea gardens different in age [J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2007, 44(2): 373-378. (in Chinese)
- [19] 区余端, 苏志尧, 彭桂香. 车八岭山地常绿阔叶林火灾后土壤微生物群落功能多样性 [J]. *生态学报*, 2009, 29(11): 6156-6164. Ou Y D, Su Z Y, Peng G X. Soil microbial functional diversity in a montane evergreen broadleaved forest of Chebaling following the Huge Ice Storm in South China [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(11): 6156-6164. (in Chinese)