北京林业大学学报
JOURNAL OF BEIJING FORESTRY UNIVERSITY

晋西黄土区沟谷不同部位植物多样性

江姗 魏天兴 范德卉 于欢 叶小曼 谢宇 李世杰

Plant diversity in different positions of gullies and valleys in the loess region of western Shanxi Province, northern China

Jiang Shan, Wei Tianxing, Fan Dehui, Yu Huan, Ye Xiaoman, Xie Yu, Li Shijie

引用本文:
江姗, 魏天兴, 范德卉, 于欢, 叶小曼, 谢宇, 李世杰. 晋西黄土区沟谷不同部位植物多样性[J]. 北京林业大学学报, 2024, 46(6):20–27. doi: 10.12171/j.1000–1522.20230329
Jiang Shan, Wei Tianxing, Fan Dehui, Yu Huan, Ye Xiaoman, Xie Yu, Li Shijie. Plant diversity in different positions of gullies and valleys in the loess region of western Shanxi Province, northern China[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2024, 46(6):20–27. doi: 10.12171/j.1000–1522.20230329

在线阅读 View online: https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20230329

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

典型黑土区不同水土保持树种的非结构性碳水化合物特征及种间差异

Non–structural carbohydrate allocation and interspecific differences of different soil and water conservation tree species in typical black soil region

北京林业大学学报, 2021, 43(10): 1–8. https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20210233

晋西黄土残塬沟壑区刺槐林土壤入渗特征及影响因素分析

Soil infiltration characteristics and influencing factors of *Robinia pseudoacacia* plantation in the loess gully region of western Shanxi Province, northern China

北京林业大学学报, 2021, 43(1): 77–87. https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20200122

北京市城镇化地区植物多样性评价

Evaluation on plant diversity in urbanization area of Beijing City

北京林业大学学报, 2022, 44(8): 48–55. https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20210257

大兴安岭双河保护区植物多样性和群落结构特征分析

Characteristics of plant diversity and community structure in Shuanghe Nature Reserve in Daxing’anling area of northeastern China

北京林业大学学报, 2021, 43(7): 79–87. https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20200029

科尔沁沙地植物群落物种多样性及其主要影响因素

Species diversity of plant communities and its main influencing factors in Horqin Sandy Land, Inner Mongolia of northern China

北京林业大学学报, 2020, 42(5): 106–114. https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20190284

海南省3座城市的植物多样性水平对比研究

Comparison in plant diversity in Haikou, Sanya and Wenchang cities of Hainan Province, southern China

北京林业大学学报, 2019, 41(4): 107–115. https://doi.org/10.13332/j.1000–1522.20180315

DOI:10.12171/j.1000−1522.20230329

晋西黄土区沟谷不同部位植物多样性

江 姗 魏天兴 范德卉 于 欢 叶小曼 谢 宇 李世杰
（北京林业大学水土保持学院，山西吉县森林生态系统国家野外科学观测研究站，北京 100083）

摘要:【目的】为了对黄土丘陵沟壑区小流域沟谷进行更精准的保护和修复，从植物多样性和生态位宽度等方面，对沟谷不同地貌部位（沟底、沟阳坡和沟阴坡）的自然恢复能力进行了研究。**【方法】**通过在山西吉县森林生态系统国家野外科学观测研究站进行野外实地调查，分析不同部位植物的群落生长特征及其多样性，比较不同地貌部位植物群落间的相似性。**【结果】**（1）研究区灌草植物共有 40 科 76 属 98 种，其中灌木 17 科 27 属 34 种，草本 29 科 51 属 64 种。灌木层科属种总数表现为沟阳坡 > 沟阴坡 > 沟底，草本层为沟底 > 沟阴坡 > 沟阳坡。（2）灌木层优势种为：黄刺玫、荆条、木蓝。草本层优势种为：芦苇、黄花蒿、披针薹草。在灌木层，沟底黄刺玫和杠柳的生态位宽度较大，沟阳坡和沟阴坡中荆条和木蓝的生态位宽度较大。在草本层，沟底芦苇和白莲蒿的生态位宽度较大，沟阳坡和沟阴坡中披针薹草的生态位宽度较大。（3）在沟底、沟阳坡和沟阴坡间 Margalef 指数、Shannon-Wiener 指数、Simpson 指数和 Pielou 指数并未表现出显著差异（$P > 0.05$）。各群落间 Jaccard 系数 $0.50 \leqslant q < 0.75$。Jaccard 系数在沟阳坡和沟阴坡间达到最大，为 0.630。**【结论】**整体来看，沟谷的自然恢复能力强，地貌部位中沟阳坡和沟阴坡自然植被恢复能力比沟底强。不同地貌部位的群落组成复杂度表现为沟阳坡 > 沟阴坡 > 沟底。沟谷不同地貌部位优势种不同，从沟阳坡到沟阴坡再到沟底，随着光照的减少和水分的增加，优势种由耐旱喜阳植物发展为耐阴植物。

关键词：植物多样性；生态位；水土保持；沟谷
中图分类号：S79；Q948.11 **文献标志码：**A **文章编号：**1000−1522(2024)06−0020−08
引文格式：江姗，魏天兴，范德卉，等. 晋西黄土区沟谷不同部位植物多样性［J］. 北京林业大学学报，2024，46(6)：20−27.
Jiang Shan, Wei Tianxing, Fan Dehui, et al. Plant diversity in different positions of gullies and valleys in the loess region of western Shanxi Province, northern China［J］. Journal of Beijing Forestry University, 2024, 46(6): 20−27.

Plant diversity in different positions of gullies and valleys in the loess region of western Shanxi Province, northern China

Jiang Shan Wei Tianxing Fan Dehui Yu Huan Ye Xiaoman Xie Yu Li Shijie
(School of Soil and Water Conservation, Jixian National Forest Ecosystem Observation and Research Station, CNERN, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract:［**Objective**］In order to provide more precise protection and restoration of small watershed gullies in loess hills and gullies, the natural restoration capacity of different geomorphic parts of gullies (gully floor, gully sunny slope and gully shady slope) was investigated in terms of plant diversity and ecological niche width.［**Method**］Through field investigation at the National Field Scientific Observatory of Forest Ecosystems in Jixian County, Shanxi Province of northern China, we analyzed the growth characteristics of plant communities and their diversity in different parts of the landscape, and compared the similarities between plant communities in different parts of the landscape.［**Result**］(1) There were 98 species of shrub and grass in 40 families and 76 genera in the study area, including 34 species of shrub in 17 families and 27 genera, and 64 species of herb in 29 families and 51 genera. Total number of family species in the shrub layer was showed as gully sunny slope > gully shady slope > gully floor, while in the herb layer,

收稿日期: 2023−11−18 **修回日期:** 2024−06−05
基金项目: “十四五”国家重点研发计划（2022YFF1300401）。
第一作者: 江姗。主要研究方向：水土保持、林业生态工程。Email: js1998@bjfu.edu.cn 地址：100083 北京市海淀区清华东路 35 号北京林业大学水土保持学院。
责任作者: 魏天兴，博士，教授。主要研究方向：流域自然地理过程、生态修复、林草生态工程。Email: weitx@bjfu.edu.cn 地址：同上。
本刊网址: http://j.bjfu.edu.cn; http://journal.bjfu.edu.cn

it was showed as gully floor > gully shady slope > gully sunny slope. (2) The dominant species in shrub layer was *Rosa xanthina*, *Vitex negundo* var. *heterophylla*, and *Indigofera tinctoria*. The dominant species in the herbaceous layer were *Phragmites australis*, *Artemisia annua*, and *Carex lancifolia*. In the shrub layer, *Rosa xanthina* and *Periploca sepium* in the gully floor had larger width of ecological niches, and *Vitex negundo* var. *heterophylla* and *Indigofera tinctoria* in the gully sunny slope and gully shady slope had larger width of ecological niches. In the herb layer, *Phragmites australis* and *Artemisia stechmanniana* in the gully floor had larger width of ecological niches, and *Carex lancifolia* in the gully sunny slope and gully shady slope had larger width of ecological niches. (3) Margalef index, Shannon-Wiener index, Simpson index and Pielou index were not significantly different ($P > 0.05$) among varied geomorphological parts (gully floor, gully sunny slope, gully shady slope). Jaccard's coefficient between communities was $0.50 \leqslant q < 0.75$. The Jaccard coefficient reached a maximum of 0.630 between gully sunny slope and gully shady slope. [**Conclusion**] Overall, the gully is found to be naturally resilient, with the gully sunny slope and gully shady slope among the geomorphological sites being more resilient to natural vegetation than the gully floor. The complexity of community composition at different landscape sites is shown as gully sunny slope > gully shady slope > gully floor. The dominant species varies in different geomorphological parts of the gully, from gully sunny slope, gully shady slope to gully floor, and the dominant species evolved from drought-tolerant sun-loving plants to shade-tolerant plants as light decreases and water increases.

Key words: plant diversity; niche; soil and water conservation; gully and valley

作为评价植物群落结构和功能的重要指标，植物的多样性有助于揭示出植物群落的变化趋势及其稳定状态[1]。生态位是一个物种对各种资源的使用情况，同时揭示了不同物种间的关系，体现物种的价值。植物在生态环境中的生存能力用生态位宽度表示[2]。较大的生态位宽度，说明这个物种对它所处的环境利用效率高，反之对环境利用效率低[3]。

在前人的研究中，多样性与生态位常常同时出现。研究植物多样性与生态位对维持生态系统的稳定性有重要意义。近些年，许多学者对生态位与多样性进行了研究。陈铭等[4]在对天坑群落的研究中通过植物多样性和生态位了解植物群落的组成、结构和功能。李小鹏等[5]认为探究生态位特征及物种多样性对深入认识林下群落结构和数量分布具有重要意义。在研究桂西北香合欢（*Albizia odoratissima*）群落时，田一显等[6]利用植物多样性指数和生态位宽度等指标，筛选出香合欢等适宜南方地区推广的乡土树种。谭凤霞团队[7]对长湖的水生植物多样性深入探讨，发现长湖的水生植物种类相对较少，种群的稳定性较差。董雪等[8]对乌兰布和沙漠典型灌木群落多样性和生态位进行分析，得出白刺能较好适应当地环境的结论。

黄土高原气候干旱、强降雨集中、人类活动频繁、沟壑纵横交错、水土流失强，沟谷和沟坡都是水土保持的重点对象[9]。沟谷以陡峭斜坡为主，侵蚀严重，因此是生态环境恢复的重点区域[10]。现阶段对黄土高原植物多样性的研究大多在梁峁坡，对沟谷植物多样性的研究较少。本研究选取黄土丘陵沟壑区小流域沟谷不同地貌部位（沟底、沟阳坡和沟阴坡）为研究对象，分析不同部位植物的群落生长特征及其多样性，比较不同地貌部位植物群落间的相似性，对沟谷不同地貌部位的自然恢复能力进行了研究，以期为黄土区沟谷的植被恢复和水土保持提供理论依据。

1　研究区概况及研究方法

1.1　研究区概况

研究区位于 110°39′45″~110°47′45″E，36°14′27″~36°18′23″N，地处山西省临汾市吉县。全县地貌包括黄土高原残塬沟壑区、梁峁丘陵沟壑区和土石山区，年降水量 579 mm，属黄土高原东南部暖温带半湿润区，海拔 900 ~ 1 590 m，植被属落叶阔叶林植物地带。森林覆被率 72%，共 48 科 136 属 188 种。

1.2　研究方法

1.2.1　样地设置及调查

样地位于山西吉县森林生态系统国家野外科学观测研究站，根据前期数据整理和实地调查，2023 年 7—8 月在蔡家川流域选择 3 个具有代表性的沟谷进行灌木及草本调查。3 条沟谷均为西北—东南走向，沟谷宽度 20~30 m，在暴雨情况下超渗产流，研究区植被起源为自然恢复。沟谷两侧坡面破碎情况较少、坡面坡度大、植被盖度大，且当地常驻人口少、无放牧情况，因此研究区干扰情况可忽略。将沟谷分为沟底、沟阳坡、沟阴坡 3 种地貌部位，每种地貌部位分别相隔 10~30 m 设置 3 个 5 m × 5 m 灌木样方，每个灌木样方内设置 3 个 1 m × 1 m 草本样

方，调查并记录每个样方里出现的灌木和草本植物基本信息。因大部分乔木处于幼苗阶段，将其记录在灌木层。样地坡度、坡向、经纬度及海拔通过GPS 测定。表 1 为样地基本信息表。

表 1 样地基本信息

Tab. 1 Basic information of sample plots

沟样地号 Gully sample plot No.	部位 Position	经度 Longitude	纬度 Latitude	海拔 Elevation/m	坡向 Aspect/(°)	坡度 Slope/(°)
1	沟底 Gully floor	110°46′40″E	36°16′24″N	898.4		
	沟阳坡 Gully sunny slope	110°46′25″E	36°16′13″N	891.1	140	14
	沟阴坡 Gully shady slope	110°46′44″E	36°16′30″N	905.2	320	30
2	沟底 Gully floor	110°46′15″E	36°16′08″N	914.0		
	沟阴坡 Gully shady slope	110°46′14″E	36°16′07″N	917.0	70	35
	沟阳坡 Gully sunny slope	110°46′15″E	36°16′08″N	918.0	250	36
3	沟底 Gully floor	110°44′34″E	36°16′42″N	920.0		
	沟阳坡 Gully sunny slope	110°44′34″E	36°16′42″N	928.0	210	40
	沟阴坡 Gully shady slope	110°44′34″E	36°16′42″N	925.0	40	39

注：坡向以正北为0°，顺指针方向旋转。Note: aspect is measured with north as 0 degrees, turning clockwise.

1.2.2 灌木和草本植物地上地下生物量的测定

（1）灌木地上地下生物量的测定。首先确定灌木优势种，调查灌木各优势种的多度、丛幅和高度。为了使样地免受破坏，在样地邻近地区选择相似地段挑选出优势种平均标准株，用“全株收获法”收集灌木地上、地下部分，带回实验室后立刻称鲜质量，置于 65 ℃ 烘箱烘干至恒质量后，再分别乘以各组丛（株）数，获得样地内地上部分和地下部分的生物量。

（2）草本地上地下生物量的测定。在样地邻近地区选择相似地段设置 1 m × 1 m样方，调查物种组成，然后将样方中的植物地上部分剪下，同时挖出地下部分，按（1）中的方法测定生物量。

1.2.3 物种多样性计算

分别计算灌木层和草本层的重要值、Margalef 指数（M）、Simpson 指数（D）、Shannon-Wiener 指数（H）、Pielou 指数（J_{sw}）及 Jaccard 相似系数（q）。

$$I = (F_r + G_r + H_r)/3$$

$$M = (S-1)/\ln N$$

$$D = 1 - \sum_{(i=1)}^{s} P_i^2$$

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

$$J_{sw} = H/\ln S$$

$$q = a/(a+b+c)$$

式中：I 为重要值，F_r 为相对频度，G_r 为相对盖度，H_r 为相对高度。$P_i = n_i/N$，N 为个体总数，n_i 为第 i 种个数；S 为物种数；a 为地貌 A、B 群落共有物种数，b 为 A 独有物种数，c 为 B 独有物种数。$0 \leqslant q < 0.25$ 为极不相似，$0.25 \leqslant q < 0.50$ 为中等不相似，$0.50 \leqslant q < 0.75$ 为中等相似，$0.75 \leqslant q \leqslant 1$ 为极相似。

1.2.4 生态位宽度

Shannon 生态位宽度：$B_S = -\sum_{j=1}^{r} P_{ij} \ln(P_{ij})$

式中：P_{ij} 代表植物 i 在资源 j 上的重要值占该植物在所有资源水平上的重要值的比例；r 为样方总数。

1.3 数据分析

采用 Microsoft Excel 2016 对数据进行整理及计算，使用 Origin 2022 软件进行绘图，用 SPSS 24 进行单因素方差分析（One-Way ANOVA）并用 LSD 法进行检验。

2 结果与分析

2.1 不同部位灌草植物群落组成特征

在调查的 9 个样地中，共有植物 40 科 76 属 98 种。其中灌木层植物 17 科 27 属 34 种，草本植物 29 科 51 属 64 种。沟底灌木 11 科 19 属 20 种，草本 25 科 40 属 52 种。沟阳坡灌木 14 科 21 属 27 种，草本 19 科 36 属 40 种。沟阴坡灌木 14 科 21 属 23 种，草本 21 科 35 属 41 种。灌木层的科属种整体趋势表现为沟阳坡 > 沟阴坡 > 沟底，草本层为沟底 > 沟阴坡 > 沟阳坡。这些植物中包括了菊科 21 种、蔷薇科 12 种、豆科 12 种、唇形科 4 种、胡颓子科 4 种、禾本科 3 种、忍冬科 3 种，分别占物种总数的 21.43%、12.24%、12.24%、4.08%、4.08%、3.06%、3.06%。本次调查的 3 个沟道，属于灌草群落，基本无高大乔木生长，但是在自然演替和人工干扰的情况下，正逐步向乔灌草群落发展。

查询《国家重点保护野生植物名录》，本次调查中出现了两种国家二类保护植物，分别是野大豆（*Glycine soja*）和甘草（*Glycyrrhiza uralensis*），野大豆仅出现沟底，而甘草在沟底、沟阳坡和沟阴坡均有分布。

2.2 不同部位灌草植物群落重要值

重要值通常表示一个物种在群落的地位及作用，不同部位灌草植物群落物种重要值，如表 2 所

示。从表 2 可知，灌木层优势种为黄刺玫（*Rosa xanthina*）、荆条（*Vitex negundo* var. *heterophylla*）、木蓝（*Indigofera tinctoria*）等。草本层优势种为芦苇（*Phragmites australis*）、黄花蒿（*Artemisia annua*）、披针薹草（*Carex lancifolia*）等。

2.3　不同部位灌草植物群落优势种生态位宽度

不同部位灌草植物群落优势种生态位宽度如表 3 所示。生态位宽度是指一个物种对环境的适应能力和利用资源的效率。生态位宽度越大，表示该种植物在群落中的数量越多，分布更广泛、均匀。由表 3 可知，在灌木层，沟底的黄刺玫、杠柳（*Periploca sepium*）生态位宽度较大，沟阳坡和沟阴坡的荆条、木蓝生态位宽度较大。草本层中，沟底的芦苇、白莲蒿（*Artemisia stechmanniana*）生态位宽度较大，沟阳坡和沟阴坡的披针薹草生态位宽度较大。

2.4　不同部位灌草植物群落生长特征

不同部位灌草植物群落生长特征如图 1 所示。沟阴坡与沟阳坡在灌草平均高度、灌木地上生物量、灌草平均盖度上差异均不显著（$P > 0.05$）。沟底在灌草平均高度、灌草地上生物量、灌草地下生物量、灌草平均盖度上均与沟阳坡、沟阴坡存在显著差异（$P < 0.05$）。3 种部位类型在草本地下生物量、灌木地下生物量上均有显著差异（$P < 0.05$）。

2.5　不同部位灌草植物群落物种多样性特征

图 2 为不同部位灌草植物群落物种多样性指数。由图 2 可知，在沟底、沟阳坡、沟阴坡间 Margalef 指

表 2　不同地貌部位灌草植物群落前 5 位物种重要值

Tab. 2　Top five species importance values of shrub and grass communities in different geomorphological positions

层次 Level	部位 Position	主要物种 Major species
灌木 Shrub	沟底 Gully floor	黄刺玫（14.78%）+ 荆条（11.59%）+ 尖叶铁扫帚（10.57%）+ 杠柳（10.38%）+ 萝藦（5.56%） *Rosa xanthina* (14.78%) + *Vitex negundo* var. *heterophylla* (11.59%) + *Lespedeza juncea* (10.57%) + *Periploca sepium*(10.38%) + *Cynanchum rostellatum* (5.56%)
	沟阳坡 Gully sunny slope	荆条（16.40%）+ 黄刺玫（12.17%）+ 木蓝（8.46%）+ 杠柳（8.15%）+ 油松（6.27%） *Vitex negundo* var. *heterophylla* (16.40%) + *Rosa xanthina* (12.17%) + *Indigofera tinctoria* (8.46%) + *Periploca sepium* (8.15%) + *Pinus tabuliformis* (6.27%)
	沟阴坡 Gully shady slope	木蓝（12.50%）+ 荆条（10.30%）+ 河朔荛花（9.66%）+ 黄刺玫（8.79%）+ 杠柳（7.06%） *Indigofera tinctoria* (12.50%) + *Vitex negundo* var. *heterophylla* (10.30%) + *Wikstroemia chamaedaphne* (9.66%) + *Rosa xanthina* (8.79%) + *Periploca sepium* (7.06%)
草本 Herb	沟底 Gully floor	芦苇（12.24%）+ 白莲蒿（8.07%）+ 黄花蒿（6.18%）+ 角蒿（4.64%）+ 大油芒（4.32%） *Phragmites australis* (12.24%) + *Artemisia stechmanniana* (8.07%) + *Artemisia annua* (6.18%) + *Incarvillea sinensis* (4.64%) + *Spodiopogon sibiricus* (4.32%)
	沟阳坡 Gully sunny slope	披针薹草（13.55%）+ 狗尾草（10.73%）+ 华北前胡（9.60%）+ 黄花蒿（6.75%）+ 芦苇（5.68%） *Carex lancifolia* (13.55%) + *Setaria viridis* (10.73%) + *Peucedanum harry-smithii* (9.60%) + *Artemisia annua* (6.75%) + *Phragmites australis* (5.68%)
	沟阴坡 Gully shady slope	黄花蒿（13.31%）+ 披针薹草（11.82%）+ 狗尾草（7.92%）+ 华北前胡（5.99%）+ 败酱（4.92%） *Artemisia annua* (13.31%) + *Carex lancifolia* (11.82%) + *Setaria viridis* (7.92%) + *Peucedanum harry-smithii* (5.99%) + *Patrinia scabiosifolia* (4.92%)

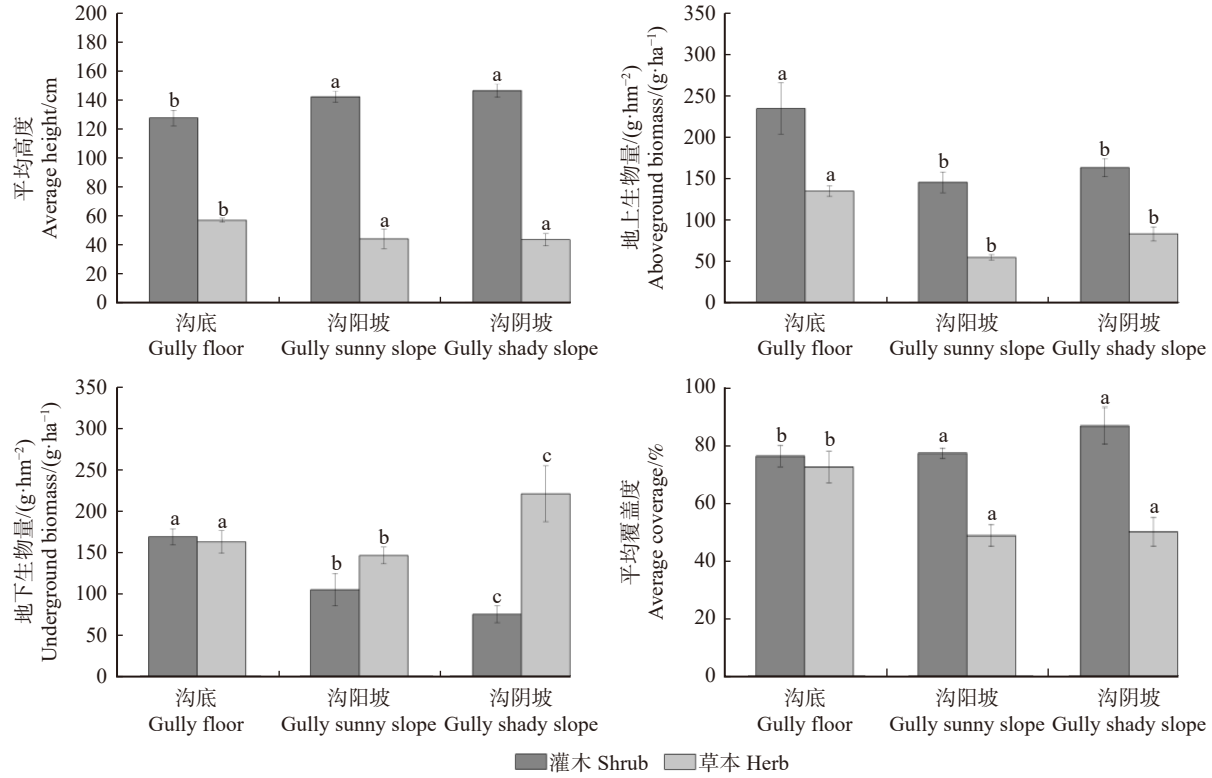
注：括号内数据为重要值。Note: data in the brackets are important values.

表 3　不同部位灌草植物群落前 5 位生态位宽度

Tab. 3　Niche width of top five shrub-herb plant communities in different positions

部位 Position	灌木 Shrub	生态位宽度 Niche width	草本 Herb	生态位宽度 Niche width
沟底 Gully floor	黄刺玫 *Rosa xanthina*	0.84	芦苇 *Phragmites australis*	0.56
	杠柳 *Periploca sepium*	0.64	白莲蒿 *Artemisia stechmanniana*	0.56
	荆条 *Vitex negundo* var. *heterophylla*	0.60	黄花蒿 *Artemisia annua*	0.39
	尖叶铁扫帚 *Lespedeza juncea*	0.58	角蒿 *Incarvillea sinensis*	0.37
	萝藦 *Cynanchum rostellatum*	0.46	披针薹草 *Carex lancifolia*	0.34
沟阳坡 Gully sunny slope	荆条 *Vitex negundo* var. *heterophylla*	0.69	披针薹草 *Carex lancifolia*	0.78
	木蓝 *Indigofera tinctoria*	0.62	华北前胡 *Peucedanum harry-smithii*	0.67
	黄刺玫 *Rosa xanthina*	0.62	狗尾草 *Setaria viridis*	0.58
	杠柳 *Periploca sepium*	0.58	黄花蒿 *Artemisia annua*	0.54
	臭椿 *Ailanthus altissima*	0.40	败酱 *Patrinia scabiosifolia*	0.41
沟阴坡 Gully shady slope	荆条 *Vitex negundo* var. *heterophylla*	0.69	披针薹草 *Carex lancifolia*	0.73
	木蓝 *Indigofera tinctoria*	0.61	黄花蒿 *Artemisia annua*	0.64
	黄刺玫 *Rosa xanthina*	0.59	狗尾草 *Setaria viridis*	0.48
	河朔荛花 *Wikstroemia chamaedaphne*	0.51	华北前胡 *Peucedanum harry-smithii*	0.43
	杠柳 *Periploca sepium*	0.47	败酱 *Patrinia scabiosifolia*	0.38

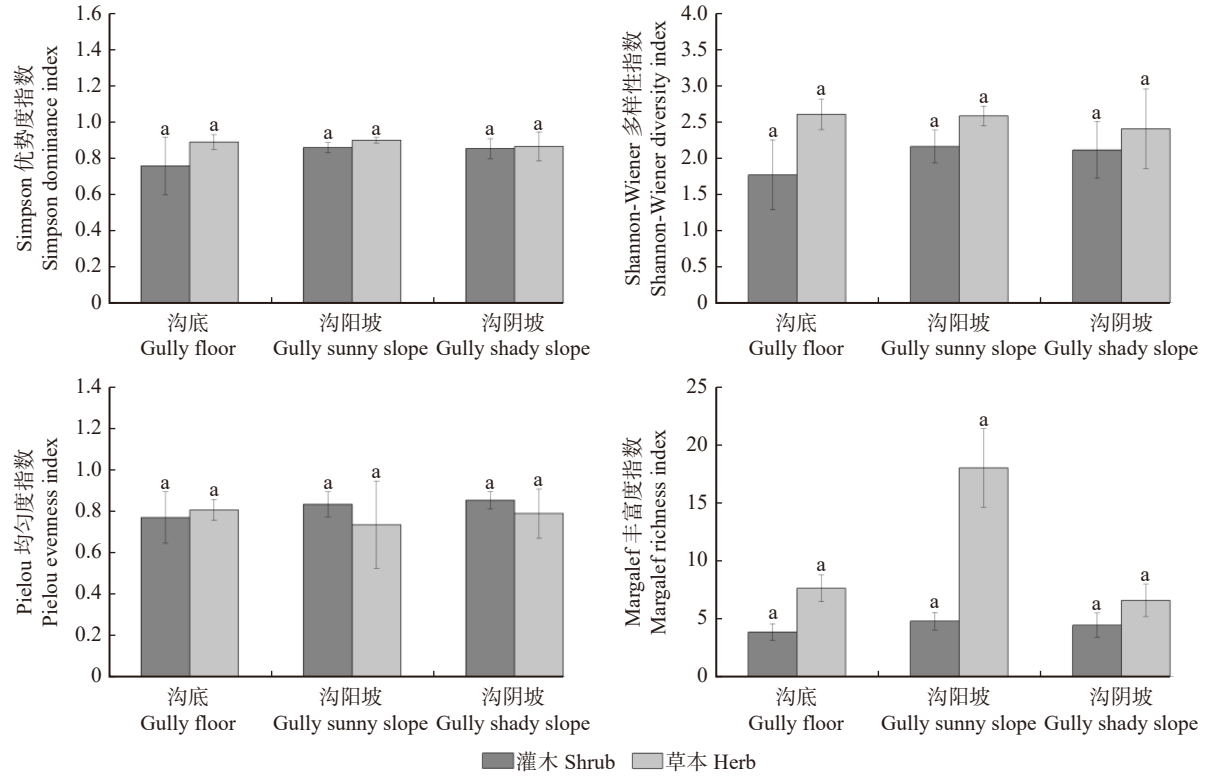
数、Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数和 Pielou 指数并未表现出显著差异($P > 0.05$)。不同部位灌草植物群落相似性系数如表 4 所示。群落相似性系数是根据植物种群数量等指标对比两个群落间是否相



不同字母表示不同位置差异显著($P < 0.05$)。Different letters indicate significant differences among varied positions ($P < 0.05$).

图 1 不同部位灌草植物群落生长特征

Fig. 1 Growth characteristics of shrub and grass communities in different positions



相同字母表示差异不显著($P > 0.05$)。The same letter indicates that there is no significant difference ($P > 0.05$).

图 2 不同部位灌草植物群落物种多样性指数

Fig. 2 Species diversity index of shrub and grass communities in different positions

似。任意两个群落间 $0.50 \leqslant q < 0.75$，说明不同部位灌草植物群落间呈中等相似。其中沟阳坡和沟阴坡这两个部位的群落间的 Jaccard 系数最大，达到 0.630。

表 4　不同地貌部位灌草植物群落相似性系数

Tab. 4　Similarity coefficients of shrub and grass communities in different geomorphological positions

项目 Item	沟底 Gully floor	沟阳坡 Gully sunny slope	沟阴坡 Gully shady slope
沟底 Gully floor	1		
沟阳坡 Gully sunny slope	0.521	1	
沟阴坡 Gully shady slope	0.545	0.630	1

3　讨　　论

3.1　群落组成特征

在灌丛群落组成中菊科和蔷薇科具有优势种地位，占全部总数的 33.67%。在雨水冲刷下，沟阳坡和沟阴坡的表层土壤发生侵蚀和搬运后，土壤在沟底出现沉积，土壤养分、水分随之在沟底累积，这是沟底草本植物生长良好的原因[11]。沟阳坡物种数最多，且在重要值和生态位宽度前 5 位均出现了油松和刺槐，说明沟阳坡群落结构组成更复杂。

本研究标注了沟谷不同部位植物重要值和生态位宽度的前 5 位，对比发现其排序并不完全相同，说明物种生态位宽度大，并不意味着该物种为群落的优势种，这与韩锦涛等[12]对植物多样性的研究中提出的看法一致。生态位宽度大说明该物种的对资源的利用能力强，这与白晓航等[13]研究结果一致。沟阳坡、沟阴坡、沟底的灌木层两个指标前 5 位都存在黄刺玫、荆条、杠柳，表明它们种群密度较大、有较强的资源综合利用能力且有较大的分布区域[14]，在群落发展过程中占据优势种或亚优势种地位。从植物生长习性来看，黄刺玫喜光耐干旱的习性，与本研究沟阳坡的黄刺玫重要值及生态位宽度大于沟阴坡黄刺玫重要值及生态位宽度的结果一致；而荆条作为喜阳耐旱的植物，虽然沟阳坡与沟阴坡生态位宽度相差不大，但重要值沟阳坡 > 沟阴坡；木蓝在沟阳坡、沟阴坡的重要值和生态位宽度的排序中比较靠前，且研究表明沟阴坡和沟阳坡相较于沟底更干旱缺水[15]，说明了木蓝比较能适应干旱环境，而这与木蓝适应性较强的习性一致。

沟底草本层中芦苇的重要值和生态位宽度均最大，白莲蒿和芦苇在沟底的生态位宽度基本相似，这说明芦苇和白莲蒿对于沟底的环境适应良好，资源利用效率高，也与芦苇和白莲蒿耐阴及沟底本身荫蔽性较好的特性有关。沟阴坡、沟阳坡生态位宽度最大的植物是披针薹草，披针薹草多生长在坡面，沟坡的环境给披针薹草提供了条件；黄花蒿在沟阴坡重要值大于披针薹草，是因为黄花蒿植株较高，光照条件比披针薹草充足，披针薹草虽然对环境适应较强，但因其高度较低，在与黄花蒿争夺光照过程中，披针薹草处于不利地位。

3.2　群落生长特征

沟底灌木平均高度显著低于沟阳坡和沟阴坡，但沟底草本平均高度显著高于沟阴坡和沟阳坡。植物的高度与很多环境因子相关，但排除相同的海拔、气温等条件，沟底相比沟坡光照条件较差，认为光照对植被的生长产生了影响。沟底灌木平均盖度小于沟阴坡和沟阳坡，但沟底草本平均盖度显著大于沟阴坡和沟阳坡，表明沟底环境更适宜于草本生长，而沟阴坡和沟阳坡环境更适宜于灌木生长。沟底水分条件较好，促进枯落物分解；而沟阴坡和沟阳坡枯落物层比沟底厚，影响了种子萌发和幼苗的生长[16]。

沟底灌木和沟底草本地上生物量显著高于沟阳坡和沟阴坡的地上生物量，沟阴坡灌木和沟阴坡草本的地上生物量高于沟阳坡的地上生物量。这可能是因为沟坡的土壤、腐殖质等受降水作用冲刷到沟底[17]，并在沟底淤积，给沟底植物的生长发育提供了有利的条件。沟阳坡、沟阴坡的草本地下生物量显著高于沟底，沟阴坡和沟阳坡的灌木地下生物量显著低于沟底。该结果可能由于草本植物根系大多在土壤表层分布[18]，灌木根系则分布在更下层，草本根系吸收土壤表层水分，影响水分下渗，灌木接收到的水分少。沟底水分条件好，所以草本与灌木地下生物量相差不大。

3.3　群落物种多样性特征

草本层的 Simpson 指数、Margalef 指数、Shannon-Wiener 指数都比灌木层高，这与王丽红[19]关于植被恢复的研究结论一致。蔡家川流域土壤水分和养分贫乏，草本对资源的需求低于灌木，因此草本植物发育较好[20]。Margalef 指数代表植物群落中种类丰富度。沟阳坡草本层的 Margalef 丰富度指数大于沟底和沟阴坡，说明了沟阳坡不仅物种种数最多，而且个体总数也最多，结合沟阳坡草本层盖度较小的结果来看，较小的盖度可以满足底层植物对光照的需求，让更多植物在沟阳坡生长发育。

Shannon-Wiener 指数越高，说明群落植物多样性越大、群落越复杂。从图 2 可以看出，沟阴坡和沟阳坡的植被群落多样性较大，而沟底相对来说物种多样性较小。沟底 Shannon-Wiener 指数最低，沟阳坡和沟阴坡相差不大。这说明沟底植物多样性最低，且沟底物种种数中草本种数最多、灌木种数最

少，可知沟底群落结构最简单，抵抗干扰能力较弱，群落结构相对不稳定。

Simpson 优势度指数越大，说明群落物种分布越不均匀，也就是说优势种越突出[21]。Pielou 均匀指数代表每个种的个体数量上的差异，指数越大，说明各个种的数量相差不大。沟底、沟阴坡和沟阳坡中，草本层和灌木层的多样性指数均无显著差别（$P > 0.05$），说明植物分布相对均匀。

群落的相似性系数是指两个生境间物种多样性变化的速率和范围，群落的相似性系数越大，表明各群落越相似，生态环境的差异越小。由表 4 数据得知，沟底的植物群落与沟阳坡的植物群落、沟底的植物群落与沟阴坡的植物群落相似性较低，沟阳坡的植物群落与沟阴坡的植物群落相似性较高。沟阴坡和沟阳坡群落间相似性系数较大，说明两者较为相似，原因可能是沟阴坡和沟阳坡的海拔相差不大、坡度相似，因此水分、热量和光照条件等生态因子也相似[22]。

4 结　　论

通过对山西吉县蔡家川流域沟底、沟坡植物群落的物种组成、群落结构、植物多样性、生态位宽度进行了调查与分析，得出如下结论：

（1）不同地貌优势种不同，从沟阳坡到沟阴坡再到沟底，随着光照减少和水分增加，优势种由耐旱喜阳植物发展为耐阴植物。

（2）从物种组成、生物量、平均盖度等方面整体来看，沟谷的自然恢复能力强。在不同地貌部位中，沟阳坡和沟阴坡自然植被恢复能力比沟底强。在沟谷植被恢复初期，应该保护黄刺玫、荆条、木蓝、芦苇、黄花蒿、披针薹草等植物，并考虑人工促进沟底植物恢复。

（3）不同地貌部位的群落组成复杂度表现为沟阳坡 > 沟阴坡 > 沟底。

参 考 文 献

[1] 刘瑞雪, 林小龙, 陈龙清. 水淹干扰下水库水滨带植物群落谱系结构与物种多样性格局 [J]. 生态学报, 2023, 43(11): 4700−4711.
Liu R X, Lin X L, Chen L Q. Phylogenetic structure and species diversity pattern of plant community under flooding disturbance in the riparian zone of reservoirs[J]. Acta Ecologica Sinica, 2023, 43(11): 4700−4711.

[2] 刘润红, 常斌, 荣春艳, 等. 漓江河岸带枫杨群落主要木本植物种群生态位 [J]. 应用生态学报, 2018, 29(12): 3917−3926.
Liu R H, Chang B, Rong C Y, et al. Niche of main woody plant populations of *Pterocarya stenoptera* community in riparian zone of Lijiang River, China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2018, 29(12): 3917−3926.

[3] 陈仕友, 姜春前, 白彦锋, 等. 马尾松次生林林窗初期灌木层优势物种生态位研究 [J]. 北京林业大学学报, 2023, 45(7): 27−35.
Chen S Y, Jiang C Q, Bai Y F, et al. Niche of dominant species in shrub layer of *Pinus massoniana* secondary forest at the initial stage of forest gap[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2023, 45(7): 27−35.

[4] 陈铭, 黄林娟, 黄贵, 等. 广西大石围天坑群草本植物多样性及其生态位变化规律 [J]. 生态学报, 2023, 43(7): 2831−2844.
Chen M, Huang L J, Huang G, et al. Diversity and niche characteristics of herbaceous plants in Dashiwei Tiankeng Group, Guangxi[J]. Acta Ecologica Sinica, 2023, 43(7): 2831−2844.

[5] 李小鹏, 卜元坤, 陈佳卉, 等. 桥山林区辽东栎次生林生态位及多样性特征与林分分布格局的关系 [J]. 生态学杂志, 2024, 43(2): 415−423.
Li X P, Bu Y K, Chen J H, et al. Relationship between niche and diversity characteristics and distribution pattern of *Quercus wutaishanica* secondary forest in Qiaoshan[J]. Chinese Journal of Ecology, 2024, 43(2): 415−423.

[6] 田一显, 韩俊学, 陈炳超, 等. 桂西北香合欢群落物种多样性及种间生态位特征 [J]. 广西林业科学, 2022, 51(4): 466−474.
Tian Y X, Han J X, Chen B C, et al. Species diversity and interspecific niche characteristics of *Albizia odoratissima* community in Northwest Guangxi[J]. Guangxi Forestry Science, 2022, 51(4): 466−474.

[7] 谭凤霞, 罗静波, 祁梅, 等. 长湖水生植物多样性与生态位的季节性变化研究 [J]. 长江流域资源与环境, 2021, 30(5): 1121−1129.
Tan F X, Luo J B, Qi M, et al. Seasonal variation on the diversity, niche breadth and niche overlap of aquatic plant in Changhu Lake[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2021, 30(5): 1121−1129.

[8] 董雪, 辛智鸣, 段瑞兵, 等. 乌兰布和沙漠典型灌木群落多样性及其生态位 [J]. 干旱区研究, 2020, 37(4): 1009−1017.
Dong X, Xin Z M, Duan R B, et al. Species diversity of typical shrubs and niches of dominant shrub species in the Ulanbuh Desert[J]. Arid Zone Research, 2020, 37(4): 1009−1017.

[9] 杨寒月, 张光辉, 张宝军. 黄土丘陵沟壑区沟坡典型植物群落生长特征 [J]. 水土保持研究, 2019, 26(2): 62−67.
Yang H Y, Zhang G H, Zhang B J. Growth characteristics of typical plant communities on gully slopes in the loess hilly-gully region[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2019, 26(2): 62−67.

[10] 李梁, 张建军, 陈宝强, 等. 晋西黄土区长期封禁小流域植被群落动态变化 [J]. 林业科学, 2018, 54(2): 1−9.
Li L, Zhang J J, Chen B Q, et al. Dynamic changes of vegetation communities in a small watershed been chronically closed in the Loess Plateau in western Shanxi Province[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2018, 54(2): 1−9.

[11] 王亚娟, 陈云明, 孙亚荣, 等. 宁南黄土丘陵区侵蚀沟不同部位植物多样性与土壤养分 [J]. 水土保持研究, 2023, 30(5): 99−105.

Wang Y J, Chen Y M, Sun Y R, et al. Plant diversity and soil nutrients in different parts of erosion cully in loess hilly region of south Ningxia[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2023, 30(5): 99−105.

[12] 韩锦涛, 李素清, 赵德怀, 等. 晋西北丘陵风沙区人工植物群落优势种群生态位研究 [J]. 山西师范大学学报 (自然科学版), 2018, 32(1): 57−65.
Han J T, Li S Q, Zhao D H, et al. Study on ecological niche analysis of dominant species in artificial plant communities in sandy hill regions of northwest Shanxi Province, China[J]. Journal of Shanxi Normal University (Natural Science Edition), 2018, 32(1): 57−65.

[13] 白晓航, 张金屯. 小五台山森林群落优势种的生态位分析 [J]. 应用生态学报, 2017, 28(12): 3815−3826.
Bai X H, Zhang J T. Niche analysis of dominant species of forest community in Xiaowutai Mountain, China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2017, 28(12): 3815−3826.

[14] 刘润红, 陈乐, 涂洪润, 等. 桂林岩溶石山青冈群落灌木层主要物种生态位与种间联结 [J]. 生态学报, 2020, 40(6): 2057−2071.
Liu R H, Chen L, Tu H R, et al. Niche and interspecific association of main species in shrub layer of *Cyclobalanopsis glauca* community in karst hills of Guilin, southwest China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(6): 2057−2071.

[15] 马南方. 黄土丘陵区典型小流域土壤水碳时空分布特征及影响因素 [D]. 杨凌: 中国科学院大学, 2022.
Ma N F. Temporal and spatial distribution characteristics and influencing factors of soil water and carbon in typical small watershed of the loess hilly region[D]. Yangling: University of Chinese Academy of Sciences, 2022.

[16] 徐恩凯, 周梓滢, 胡永歌, 等. 黄土丘陵沟壑区生态修复和植物景观营造模式与策略: 以郑州市滨黄河区域为例 [J]. 风景园林, 2022, 29(5): 75−81.
Xu E K, Zhou Z Y, Hu Y G, et al. Model and strategy of ecological restoration and plant landscape construction in loess hilly and gully region: a case study of the area along the Yellow River in Zhengzhou City[J]. Landscape Architecture, 2022, 29(5): 75−81.

[17] 赵宇辉. 晋西黄土区蔡家川流域切沟空间分布与发育风险评价 [D]. 北京: 北京林业大学, 2022.
Zhao Y H. Study on the spatial distribution and development risk assessment of gully in Caijiachuan Watershed in the loess region of western Shanxi Province [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2022.

[18] 张开心, 王西平, 朱洪生, 等. 不同地貌形态下植物地境结构特征研究: 以河南省南太行地区为例 [J]. 中南林业科技大学学报, 2023, 43(2): 124−132.
Zhang K X, Wang X P, Zhu H S, et al. Research on the structural characteristics of underground plant habitat in different geomorphic forms: a case study of the south Taihang Region in Henan Province[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2023, 43(2): 124−132.

[19] 王丽红. 大兴安岭火烧迹地落叶松人工林生态效应研究 [D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2017.
Wang L H. Ecological effects of *Larix gmelinii* plantation in burned areas of Great Xing'an Mountains[D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2017.

[20] 张桐, 王玉杰, 王云琦, 等. 晋西黄土区不同森林群落类型植物多样性研究 [J]. 北京林业大学学报, 2015, 37(11): 82−88.
Zhang T, Wang Y J, Wang Y Q, et al. Plant diversity in various forest community types in the Loess Plateau of western Shanxi Province, northern China[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2015, 37(11): 82−88.

[21] 李梁. 蔡家川流域侵蚀沟分类及植被恢复特征研究 [D]. 北京: 北京林业大学, 2018.
Li L. Study on classification of erosion gully and characteristics of vegetation restoration in Caijiachuan Watershed[D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2018.

[22] 郝文芳, 杜峰, 陈小燕, 等. 黄土丘陵区天然群落的植物组成、植物多样性及其与环境因子的关系 [J]. 草地学报, 2012, 20(4): 609−615.
Hao W F, Du F, Chen X Y, et al. Composition and diversity analysis of natural-community plants in the loess hilly region[J]. Acta Agrestia Sinica, 2012, 20(4): 609−615.

（责任编辑　孟　瑶
责任编委　崔国发）