

北洛河流域植物多样性地理格局与环境关系

田起隆^{1,2},许小明³,吕渡^{1,2},王浩嘉³,雷斯越³,易海杰^{1,2},贺洁³,何亮³,薛帆³,邹亚东³,王妙倩³,张晓萍^{1,3*} (1.中国科学院水利部水土保持研究所,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.中国科学院大学,北京 100049; 3.西北农林科技大学水土保持研究所,陕西 杨凌 712100)

摘要: 通过野外调查和历史文献及标本统计分析,确定并分析北洛河流域种子植物信息数据.结果表明:该区共有种子植物 123 科 581 属 1671 种,占黄土高原种子植物的 83.67%、67.24%、51.83%,集中分布于大型科(>50 种)、较大科(21~50 种)和单种属(1 种)、小型属(2~5 种)内.11 个干流流经的地理单元植物相似性聚类分为 5 组,较早分离的是黄龙县,最大类因子午岭山脉连接而包含 4 个地理单元(富县、合水县、宜君县、黄陵县).富县、合水县和黄龙县植物丰富度 SD 值最高,洛川县、华池县和甘泉县 SD 值最低.该区地理成分在属级水平上有 15 个分布区类型 16 个变型,以温带分布及其变型为主(287 属,占 49.40%),并与热带分布及其变型联系紧密(115 属,占 19.79%),植物丰富度 SD 值与温带成分显著正相关;黄陵县、洛川县、黄龙县 *R/T* 值最高,热带性质最强,华池县、定边县 *R/T* 值最低,热带性质最弱.*R/T* 值受海拔影响,随温度和降水从东南向西北递减.该区植物起源古老,分化程度高,物种多样性丰富,地理成分复杂,是重要的植物种质资源库.植物物种多样性地带性格局过渡性明显,体现出这些类群的生态位需求.需加强保护该区原生环境和植物,合理开发利用,可选择 6 大优势科(菊科、禾本科、蔷薇科、豆科、唇形科和毛茛科)中适地适树适草的物种(温带性质),进行植被恢复和水土流失治理.

关键词: 物种多样性; 科属组成; 地理成分; 丰富度; 温带性质

中图分类号: X173 文献标识码: A 文章编号: 1000-6923(2021)09-4378-10

DOI:10.19674/j.cnki.issn1000-6923.2021.0347

Relationship between geographical pattern of plant diversity and environmental factors in Beiluo River Basin. TIAN Qi-long^{1,2}, XU Xiao-ming³, LYU Du^{1,2}, WANG Hao-jia³, LEI Si-yue³, YI Hai-jie^{1,2}, HE Jie³, HE Liang³, XUE Fan³, ZHOU Ya-dong³, WANG Miao-qian³, ZHANG Xiao-ping^{1,3*} (1.State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Science and Ministry of Water Resources, Yangling 712100, China; 2.University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 10049, China; 3.Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A&F University, Yangling 712100, China). *China Environmental Science*, 2021,41(9): 4378~4387

Abstract: The diversity of seed plants in Beiluo River Basin was identified through field investigation and statistical analysis of historical documents. Result: There were 1671 species of seed plants belonging to 581 genera and 123 families in this area, accounting for 83.67%, 67.24% and 51.83% of the total seed plants in the Loess Plateau. of all the detected 1671 species, the majority (>65%) belonged to large (>50 species) and larger family (21~50 species), and more than half (~56%) belonged to single species genus and small genus (2~5 species). According to cluster analysis of the plant similarity for the 11 main streams, 5 groups were obtained, with Huanglong County as the firstly separated category, and the largest category including four geographical units, i.e. Fu County, Heshui County, Yijun County and Huangling County, which were all affected by the connection of Ziwuling mountains. The SD values of floristic richness of Fu County, Heshui County and Huanglong County were highest, while those of Luochuan County, Huachi County and Ganquan County were the lowest. There were 15 areal types and 16 forms of geographical elements at the genus level in this area, which were dominated by the temperate distribution and its forms (287 genera, accounting for 49.40%) and closely related to the tropical distribution and its forms (115 genera, accounting for 19.79%). There was a significant positive correlation between SD value of plant richness and temperate components. Huangling County, Luochuan County and Huanglong County had the highest *R/T* value and the strongest tropical property, while Huachi County and Dingbian County had the lowest *R/T* value and the weakest tropical property. The *R/T* value was affected by altitude and had a similar distribution pattern with temperature and precipitation decreasing from the southeast to the northwest. It is concluded that the plants in this area are important plant germplasm resources, because they have an ancient origin, a high degree of differentiation, rich species diversity and complex geographical elements. The transition pattern of plant species diversity zone is significant, which reflects the niche demands of these groups. Species of the six dominant families (Asteraceae, Poaceae, Rosaceae, Fabaceae, Lamiaceae and Ranunculaceae) that are

收稿日期: 2021-01-26

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41877083,41440012)

* 责任作者, 研究员, zhangxp@ms.iswc.ac.cn

suitable for the land and trees and grasses (temperate in nature) can be selected for vegetation restoration and soil erosion control.

Key words: species diversity; family and genus composition; geographical component; richness; temperate properties

植物物种多样性是生物多样性的重要组成部分,是植物在一定自然地理环境,特别是自然历史等综合条件作用下长期适应进化的结果,蕴涵大量生物与非生物环境相互作用的生态信息,其地理格局更是自然地理环境的反应和环境变迁的鉴证或依据^[1-3]。北洛河流域地处黄河中游,地形地貌复杂,沟壑纵横,具有黄土高原典型的丘陵沟壑、高塬沟壑和土石山等地貌特征;跨越温带半干旱和大陆性季风气候带;生境破碎化严重、植被类型典型多样、物种丰富^[4-5]。但该区年降水时空异质性强且多暴雨,破坏性大,加之生态环境脆弱、水土流失严重,导致该地区灾害频繁、生产落后,人民贫困^[6]。

近年来学者们对水土流失现状及防治做了大量的研究,在此过程中深刻地认识到植被对水土流失和气候的调控作用。它能削减降雨能量、增加入渗,减缓径流,减轻和控制侵蚀敏感因子,提高土壤抗冲性^[7-13];也能增加降水,提高湿度,减小温差,影响水文循环,进而改善区域气候和生态环境,因此对植被的研究很有必要^[14-19]。植被治理措施中适地适树适草的概念成为热点,植物适合种在什么区域抑或是什么区域适合种植什么植物来防治水土流失、与环境协调发展、发挥功能特性这都体现着该区植物多样性研究的重要性。目前,大多研究主要集中于植被演替下群落多样性和子午岭、黄龙山植物区系等方面^[20-22],关于环境因子驱动下区域尺度植物多样性之间的关系,需进一步深入研究。这对理解植物的起源、迁移和分布等方面具有重要意义。

为此,对流域内植物多样性进行分析,揭示不同地区植物的科属组成和地理成分,对比分析各地理单元植物多样性分布格局与环境因子关系,为植物资源的合理利用、生态环境建设、生物多样性保护及黄土高原水土流失治理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

北洛河流域地处黄河中游,是黄河的二级支流、渭河的一级支流,干流发源于陕西省定边县白于山郝庄梁,流经吴起、志丹、甘泉、富县、洛川

等县,在大荔县韦林镇的仓西村汇入渭河。地理坐标为东经 107°34'45"~110°01'37",北纬 34°57'13"~37°17'03",是陕西省纵跨纬度最大的河流,河道全长 680km,流域面积为 2.69 万 km²。属温带半干旱和大陆性季风气候,四季分明,春季干燥、夏季旱涝相间、秋季湿润、冬季寒冷干燥。多年平均降水量 514mm,由南向北、自东向西递减,降雨年内分布不均,集中在 5~9 月份,且多暴雨,破坏性大,水土流失极为严重。该区地形地貌复杂多变,地形破碎、沟壑纵横、山高坡陡,具有典型的丘陵沟壑地貌,可分为黄土丘陵沟壑区、黄土高塬沟壑区、土石山区、渭河、洛河冲积平原区及风沙区。主要土壤类型为黄绵土、黑垆土和灰褐土。

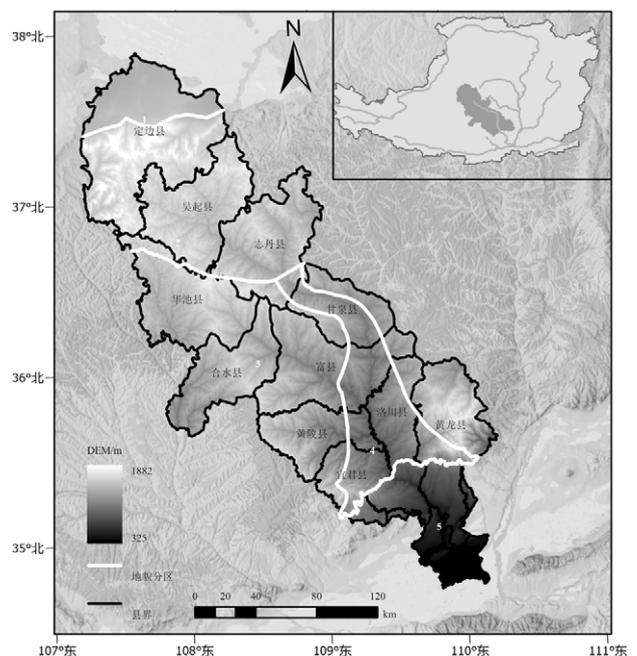


图1 北洛河流域主要地貌特征及涉及县域

Fig.1 The topographical characteristics of Beiluo River Basin in the Loess Plateau and the involved counties

1. 风沙丘陵区; 2. 丘陵沟壑区; 3. 土石山区; 4. 高塬沟壑区; 5. 阶地平原区

1.2 研究方法

1.2.1 数据获取 本研究选取流域中上游典型地貌植被区干流所流经的定边县、吴起县、合水县、富县、黄陵县等中国 11 个县级地理样本单元(图 1),于 2016~2020 年,根据不同地貌植被类型划分,选择

代表性林分类型,设置面积为 20m×20m(乔木)、10m×10m(灌木)和 1m×1m(草丛)样方的标准样地,进行野外植物群落调查,记录其中出现的物种名称^[23].并根据国家标本信息基础设施(<http://www.nsii.org.cn/>)标本馆标本和大量的分布数据,结合西北农林科技大学生命科学院植物标本馆(WUK)、中国科学院植物研究所标本馆(PE)等 19 个标本馆记录,参照《中国植物志》、《Flora of China》、《黄土高原植物志》、《甘肃植物志》、《陕西维管植物名录》、《子午岭木本植物志》、《陕西子午岭植物图鉴》、《西北农牧交错带常见植物图谱》和各地《县志》等书籍及相关文献,运用数理统计方法、构建研究区种子植物信息数据库^[24].经过中国数字植物标本馆(<http://www.cvha.cn/>)和 The Plant List (<http://www.theplantlist.org/>)对物种拉丁名反复核实(避免因科属调整和一种多名等因素造成的误差),去除栽培引种,确定该区植物名录,编制每个县的种子植物名录,确定各县种子植物组成及地理成分.

年均温、年均降水量和各地地理单元的海拔平均值数据来源于 WorldClim 数据库(2.1 版, <http://www.worldclim.org>)

1.2.2 统计分析

(1)采用 Sørensen 系数,进行等级聚类分析该区各县植物组成的相似性,计算公式为:

$$S=[2C/(A+B)]\times 100\% \quad (1)$$

式中: S 为各县物种相似性系数; A, B 分别为两地全部

物种数; C 为两地共有物种数^[25].

(2)植物种系分化度分析,用来评判该区域植物丰富度的数值^[26].某一区域植物中,每个科所含属越多,每个属所含种越多,被视为植物种系分化度越大,物种组成越丰富.用以下公式计算得出^[27].

$$SD=n2/n1+n3/n1 \quad (2)$$

式中: $n1, n2, n3$, 分别表示植物物种的科、属、种的数量; SD 值表示该植物的种系分化度.

(3) R/T 值为植物区系中热带成分(R)属与温带成分(T)属的比值,是衡量植物区系性质的一个指标, R/T 值越高植物区系的热带性质越强. R 是各种热带分布类型属(2~7)之和, T 是各种温带分布类型属(8~14)之和^[28].

数据处理、分析采用 Excel 2010、SPSS 26.0, 地图绘制由 ArcGIS 10.5 完成.

2 结果与分析

2.1 植物种类组成及相似性

据统计,北洛河流域种子植物共有 123 科 581 属 1671 种,其中裸子植物 4 科 8 属 13 种,分别占该区种子植物总科、属、种数的 3.25%、1.38%、0.78%;被子植物 119 科 573 属 1658 种,分别占该区种子植物总科、属、种数的 96.75%、98.62%、99.22%,在数量上占绝对优势.被子植物中双子叶植物有 97 科 460 属 1368 种,占被子植物总数的 82.51%;单子叶植物有 22 科 113 属 290 种,占 17.49%,双子叶植物优势明显.

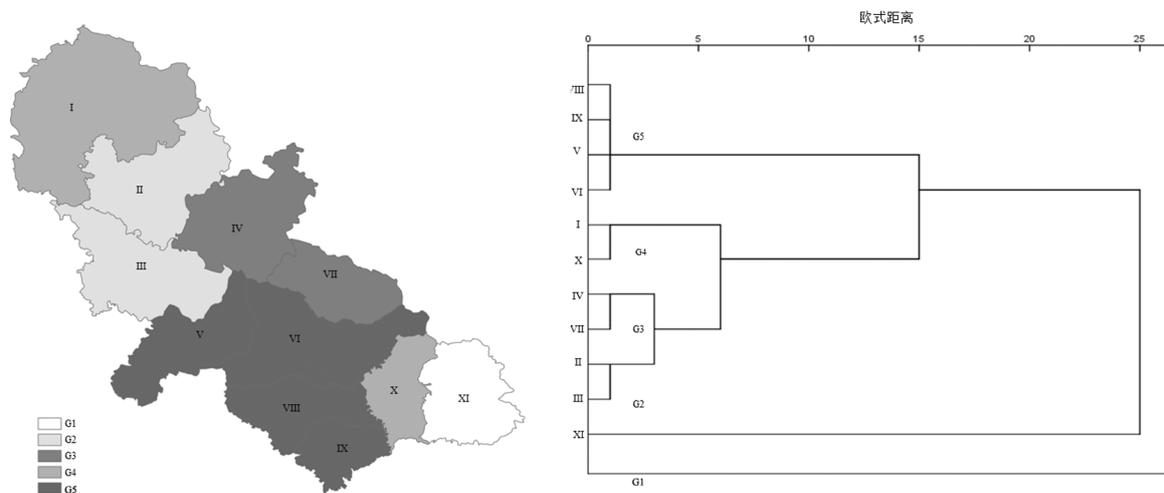


图 2 北洛河流域种子植物相似性聚类树状图

Fig.2 Dendrogram of seed plant similarity in Beiluo River Basin

G 表示分组类型; I.定边县; II.吴起县; III.华池县; IV.志丹县; V.合水县; VI.富县; VII.甘泉县; VIII.黄陵县; IX.宜君县; X.洛川县; XI.黄龙县

基于不同县级地理样本单元种子植物相似性 Sørenson 系数构建物种相似性欧式距离矩阵,采用 Ward 法进行聚类分析(图 2),可以反应出各地多样性特征间的联系,理解其发展演化过程,为判断区域植物过渡属性提供科学依据^[29].11 个干流流经的地理单元植物聚类分为 5 组,即 G1 组:XI 黄龙县;G2 组:III 华池县、II 吴起县;G3 组:VII 甘泉县、IV 志丹县;G4 组:X 洛川县、I 定边县;G5 组:VI 富县、V 合水县、IX 宜君县、VIII 黄陵县.聚类分析树状图整体反映该区植物物种相似性变化的地理分布格局.

2.2 植物科属构成多样性

科作为植物分类学中较自然的演化单位,是揭示该区植物多样性特征的重要途径^[30].研究区内野生种子植物共 123 科,对所含的属、种数进行统计(表 1),结果显示,其中>50 种的大型科有 6 科,为菊科 Asteraceae(59 属 204 种)、禾本科 Poaceae(52 属 127 种)、蔷薇科 Rosaceae(24 属 120 种)、豆科 Fabaceae(34 属 115 种)、唇形科 Lamiaceae(26 属 65 种)和毛茛科 Ranunculaceae(12 属 61 种),占该区种子植物总科数的 4.88%(比例最低),但占总属数、总种数的 35.63%、41.41%,是该区的基础和主体,表明植物种类集中在>50 种的科中,优势现象十分显著,无论是在属级还是种级水平上均是该区的优势科.含 21~50 种的较大科有 14 科 130 属 403 种,分别占该区总科、属、种数的 11.38%、22.37%、24.12%;含 11~20 种的中型科有 19 科,含 83 属 270 种,分别占该区总科、属、种数的 15.45%、14.29%、16.16%;含 2~10 种的寡种科有 57 科 134 属 279 种,分别占该区总科、属、种数的 46.34%、23.06%、16.70%;单种科有 27 科,分别占该区总科、属、种数的 21.95%、4.65%、1.61%.

表 1 北洛河流域种子植物科的组成

Table 1 Composition of seed plants family in the Beiluo River Basin

科内含种数	科数	占总科数 (%)	属数	占总属数 (%)	种数	占总种数 (%)
>50	6	4.88	207	35.63	692	41.41
21~50	14	11.38	130	22.37	403	24.12
11~20	19	15.45	83	14.29	270	16.16
2~10	57	46.34	134	23.06	279	16.70
1	27	21.95	27	4.65	27	1.61
总计	123	100	581	100	1671	100

属是反映植物系统发育过程和多样性特征的重要研究对象^[31].对本区野生种子植物 581 属所含的种数进行统计(表 2),结果显示,主要有单种属(含 1 种)、小型属(2~5 种)、中型属(6~9 种)、较大属(10~14 种)和大型属(≥ 15 种)5 个类型.该区含 ≥ 15 种的大型属有 10 属 229 种,为蒿属 *Artemisia*(49 种)、藁草属 *Carex*(24 种)、委陵菜属 *Potentilla*(23 种)、柳属 *Salix*(22 种)、堇菜属 *Viola*(22 种)、铁线莲属 *Clematis*(21 种)、锦鸡儿属 *Caragana*(18 种)、黄芪属 *Astragalus*(18 种)、萹蓄属 *Polygonum*(17 种)和披碱草属 *Elymus*(15 种),是该区的优势属,分别占该区总属数、总种数的 1.72%、13.71%;含 10~14 种的较大属有 20 属 234 种,分别占总属数总种数的 3.44%、14.00%;含 6~9 种的中型属有 37 属 270 种,分别占总属数总种数的 6.37%、16.16%;含 2~5 种的小型属有 225 属 649 种,分别占总属数总种数的 38.73%、38.84%;单种属有 289 属,占总属数的 49.74%,在各类属中所占比例最高,其所含种数占总种数的 17.29%,仅次于小型属类型所含的种数.因此,属型的统计分析表明,该区 88.47%的植物种类集中于小型属和单种属,它们在该区植物组成中占绝对优势.也可以说单种属构成了该区植物属的主体,而小型属所包含的植物种类构成了该区植物种的主体.

表 2 北洛河流域种子植物属的组成

Table 2 Composition of seed plants genus in Beiluo River Basin

属内含种数	属数	占总属数 (%)	种数	占总种数 (%)
≥ 15	10	1.72	229	13.71
10~14	20	3.44	234	14.00
6~9	37	6.37	270	16.16
2~5	225	38.73	649	38.84
1	289	49.74	289	17.29
总计	581	100	1671	100

2.3 植物属的分布区类型

根据吴征镒^[32]对中国种子植物属的分布区类型划分,本研究区种子植物共 581 属,可以将其划分为 15 个分布区类型和 16 个变型.其中世界分布型有 77 属,占区域内分布属的 13.25%;北温带分布有 140 属,占总属数的 24.1%,其变型北温带和南温带(全温带)间断分布有 34 属、变型欧亚和南美温带间断分布有 4 属,分别占总属数的 5.85%、0.69%;泛热带分布有

58属,占总属数的9.98%,其变型热带亚洲、非洲和中、南美洲间断分布仅1种,占总属数的0.17%;旧世界温带分布有48属,占总属数的8.26%.其有2个变型,地中海、西亚(或中亚)和东亚间断分布有8属、欧亚和南部非洲(有时也在大洋洲)间断分布有5属,分别占总属数的1.38%、0.86%;东亚和北美洲间断分布有30属,占总属数的5.17%;东亚分布有27属,占总属数的4.65%.其有2个变型,中国-喜马拉雅有7属、中国-日本分布有15属,分别占总属数的1.21%、2.58%;地中海、西亚至中亚分布有20属,占总属数的3.44%.其有3个变型,地中海区至西亚或中亚和墨西哥或古巴间断分布、地中海至温带-热带亚洲均为2属,占总属数的0.34%,地中海至中亚和南非洲、大洋洲间断分布仅有1属;温带亚洲分布有18属,占总属数的

3.1%;热带亚洲至热带大洋洲分布、中国特有分布有13属,占总属数的2.24%;旧世界热带分布、热带亚洲至热带非洲分布有12属,占总属数的2.07%;热带亚洲(印度-马来西亚)分布有11属,占总属数的1.9%.有2个变型,越南(或中南半岛)至华南(或西南)分布、爪哇(或苏门达腊)、喜马拉雅间断或星散分布到华南、西南均只有1属;中亚分布有6属,占总属数的1.03%.有3变型,中亚东部(亚洲中部)分布有6属,西亚至西喜马拉雅和西藏分布有2属,中亚至喜马拉雅和我国西南分布有1属;热带亚洲和热带美洲间断分布有5属,占总属数的0.86%;大洋洲和南美洲间断分布有2属,占总属数的0.34%;热带亚洲、非洲(或东非、马达加斯加)和大洋洲间断分布只有1属,仅占属数的0.17%(表3).

表3 北洛河流域种子植物属的分布区类型统计

Table 3 The generic area-types of seed plants in Beiluo River Basin

分布区类型及变型	属	占属数的百分比(%)
1 世界分布	77	13.25
2 泛热带分布	58	9.98
2-2 热带亚洲、非洲和中、南美洲间断分布	1	0.17
3.热带亚洲和热带美洲间断分布	5	0.86
4.旧世界热带分布	12	2.07
4-1 热带亚洲、非洲(或东非、马达加斯加)和大洋洲间断分布	1	0.17
5.热带亚洲至热带大洋洲分布	13	2.24
6.热带亚洲至热带非洲分布	12	2.07
7.热带亚洲(印度-马来西亚)分布	11	1.90
7-1 爪哇(或苏门达腊)、喜马拉雅间断或星散分布到华南、西南	1	0.17
7-4. 越南(或中南半岛)至华南(或西南)分布	1	0.17
8 北温带分布	140	24.10
8-4 北温带和南温带(全温带)间断分布	34	5.85
8-5 欧亚和南美温带间断分布	4	0.69
9.东亚和北美洲间断分布	30	5.17
10 旧世界温带分布	48	8.26
10-1 地中海、西亚(或中亚)和东亚间断分布	8	1.38
10-3 欧亚和南部非洲(有时也在大洋洲)间断分布	5	0.86
11 温带亚洲分布	18	3.10
12 地中海、西亚至中亚分布	20	3.44
12-1 地中海至中亚和南非洲、大洋洲间断分布	1	0.17
12-2 地中海区至西亚或中亚和墨西哥或古巴间断分布	2	0.34
12-3 地中海至温带-热带亚洲、大洋洲和南美洲间断分布	2	0.34
13 中亚分布	6	1.03
13-1 中亚东部(亚洲中部)分布	6	1.03
13-2 中亚至喜马拉雅和我国西南分布	1	0.17
13-3 西亚至西喜马拉雅和西藏分布	2	0.34
14 东亚分布	27	4.65
14SH 中国-喜马拉雅	7	1.21
14SJ 中国-日本分布	15	2.58
15 中国特有分布	13	2.24
合计	581	100

除世界分布属外,研究区内植物属的分布型包括热带成分、温带成分、古地中海成分、东亚成分及中国特有成分.该区温带成分 4 分布型 4 变型,共计 287 属,占总属的 49.40%,温带成分优势较明显;热带成分 6 分布型 4 变型,有 115 属,占总属的 19.79%,在区域内占有一定比例;东亚成分有 1 个分布型 2 个分布变型,49 属,占总属的 8.43%;古地中海成分 2 分布型 6 变型,共 40 属,占总属的 6.88%;中国特有成分只有 13 属,仅占 2.24%.

2.4 植物多样性与地理成分相关性

该区涉及 11 个县,各县科属组成为(图 3):洛川县 67 科 177 属 258 种,植物种系分化度 SD 值为 6.49, R/T 值为 0.29;华池县 82 科 237 属 363 种,SD 值为 7.32, R/T 值为 0.18;甘泉县 86 科 256 属 406 种,SD 值为 7.70, R/T 值为 0.25;宜君县 97 科 304 属 559 种,SD 值为 8.90, R/T 值为 0.27;黄陵县 97 科 323 属 568 种,SD 值为 9.19, R/T

值为 0.31;志丹县 81 科 288 属 512 种,SD 值为 9.88, R/T 值为 0.24;吴起县 79 科 270 属 523 种,SD 值为 10.04, R/T 值为 0.22;定边县 68 科 229 属 459 种,SD 值为 10.12, R/T 值为 0.19;黄龙县 94 科 341 属 693 种,SD 值为 11.00, R/T 值为 0.28;合水县 93 科 314 属 715 种,SD 值为 11.06, R/T 值为 0.21;富县 108 科 398 属 801 种,SD 值为 11.10, R/T 值为 0.26.

该区富县、合水县和黄龙县植物丰富度最高,SD 值均在 11 以上;洛川县、华池县和甘泉县的丰富度最低,SD 值均在 8 以下;宜君县、黄陵县、志丹县、吴起县和定边县植物丰富度居中,但定边县仅 459 种,SD 却达到 10.12,这说明定边县与含有 500 种以上的宜君县、黄陵县、志丹县、吴起县相比物种丰富度高.黄陵县、洛川县、黄龙县热带性质最强,华池县、定边县热带性质最低,这种分布模式是气候与环境共同作用的结果.

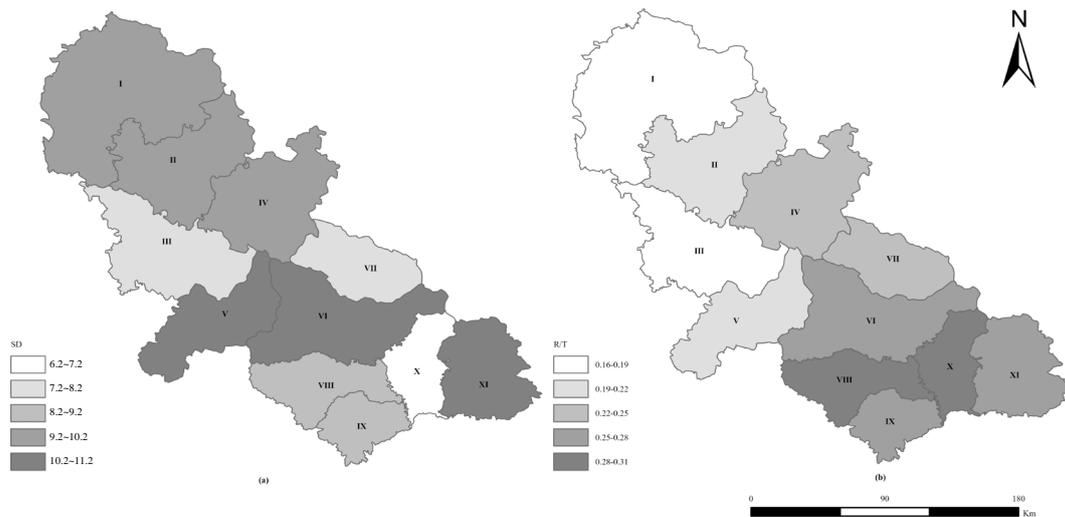


图 3 北洛河流域种子植物多样性特征

Fig.3 Characteristics of seed plant diversity in Beiluo River Basin

SD.植物区系种系分化度;R/T.R 热带成分/T 温带成分; I .定边县; II .吴起县; III .华池县; IV .志丹县; V .合水县; VI .富县; VII .甘泉县; VIII .黄陵县; IX .宜君县; X .洛川县; XI .黄龙县

表 4 北洛河流域种子植物 SD 值与分布区类型关系

Table 4 Relationship between the SD values and area-types of seed plants in Beiluo River Basin

变量	SD	R/T	R	T
SD	1.000			
R/T	0.310	1.000		
R	0.097	0.651*	1.000	
T	0.831*	0.024	0.141	1.000

注:*表示在0.05水平上显著相关.

将 11 个县级地理样本单元 SD 值与 R/T 值, R 值(热带成分)与 T 值(温带成分)做相关分析发现:本研究区植物丰富度与温带成分显著正相关,热带成分与 R/T 值显著正相关(表 4).这说明温带成分的多样性分布格局是导致流域内不同区域种系分化的基础.热带成分的渗入是导致各区域植物多样性差异的原因.温带成分更适合在此区域内生长发育,保持物种延续.所以,研究 R/T 值与环境因子关系有利于

揭示该区植物多样性分布格局,该区域内植被恢复应优先选用温带性质植物。

2.5 R/T 值与环境因子关系

通过将各地理单元 R/T 值与环境因子回归分析(图 4)发现,R/T 值随海拔升高呈现降低趋势图 4(a),这表明海拔是限制热带成分扩散分布的重要因

素.R/T 值随年均温升高呈增大趋势,这与 R/T 和年均降水量变化趋势相同.这说明温度和降水是影响热带成分植物迁移的直接生态因子[图 4(b)、图 4(c)].这些因子的共同作用解释了,本流域植物区系呈现过渡性特征明显的原因,对于区域植被恢复和生态建设具有重要意义。

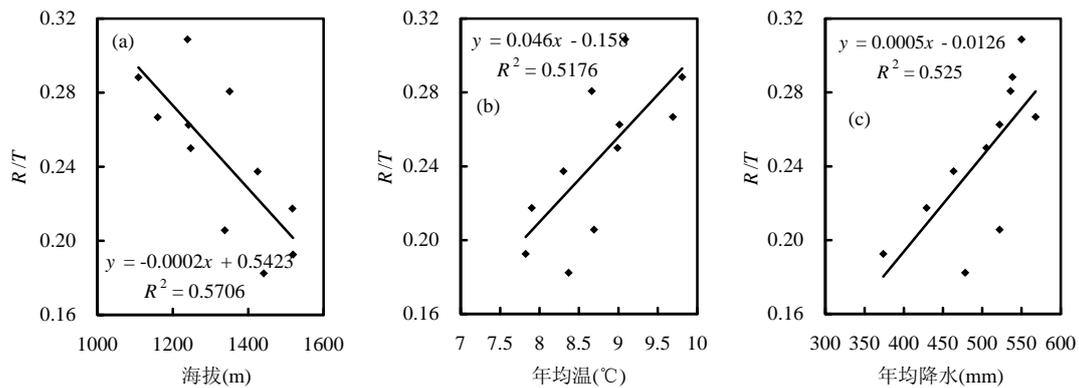


图 4 北洛河流域 R/T 值与环境因子关系

Fig.4 Relationship between R/T values and environmental factors in Beiluo River Basin

3 讨论

本研究发现,北洛河流域种子植物共有 123 科 581 属 1671 种,占黄土高原种子植物的 83.67%、67.24%、51.83%^[33],占中国种子植物的 36.50%、18.16%和 6.13%^[34].该区具有很高的物种多样性保护价值,是黄土高原代表性的植物种质资源库,对地区生态建设和经济发展具有重要作用.其中单种科和寡种科共有 84 科,占总科数的 68.29%(比例最高),是科组成的主体,但种数仅占到总种数的 18.31%;大型科和较大科共 20 科 337 属 1095 种,只占总科数的 16.26%,属、种却占到 58%、65.53%,这说明属和种趋向于集中在有限的少数科内;其中优势科为菊科、禾本科、蔷薇科、豆科、唇形科和毛茛科.该区含 ≥ 15 种的大型属有 10 属 229 种,优势属,分别为:蒿属、藁草属、委陵菜属、柳属、堇菜属、铁线莲属、锦鸡儿属、黄芪属、篇蓄属和披碱草属.单种属与小型属合计 514 属(含 938 种),分别占总属数、总种数的 88.47%、56.13%,该区主要的优势种基本上均来自该类型,是在该区植物中占绝对优势,表现出该区保存有较多的残遗属和新建属,有利于古老残遗植物类群的保存与新建类群的分化迁移定居^[35].这说明本区植物起源古老,分化程度高,组成复杂^[36-37].综上,

可从 6 大优势科(菊科、禾本科、蔷薇科、豆科、唇形科和毛茛科)中选择适地适树适草的物种,进行当地植被恢复及建设。

根据不同县级地理样本单元种子植物相似性聚类分析可知,11 个干流流经的地理单元种子植物多样性可分为 5 大类:第一大类黄龙县,位于流域的东南端,在相似性聚类分析中与其他县较早分离,因山脉、河流或峡谷阻隔而产生地理隔离,使个体之间遗传信息不能交换,经长期演化和分化易形成新物种^[38];第二大类将华池县及吴起县聚类,表明这两个区域大部分都处于温带森林草原亚地带,地形地貌及气候环境特征相似,因此两个区域的植物组成相似性较高;第三大类将甘泉县及志丹县聚类,均处于温带森林草原向暖温带北部落叶栎林亚地带的过渡地带^[39];第四大类将洛川县及定边县聚类,但相似性系数仅 32.9%(<50%),表明二者间的联系较弱^[25].这由于两地农耕历史悠久,受人类活动影响,使该地区物种数较低易于聚类.第五大类将富县、合水县、宜君县和黄陵县聚类,都属于土石山区,有子午岭连接且地理位置更为接近,共有种的比例很高,因此植物类型相似度很高^[37].聚类结果符合张振万等^[40]关于陕北黄土高原植物分区界线的初步划分。

该区种子植物地理成分分析表明,从属的分布

区类型来看,该区含有 15 个分布区类型和 16 个变型,温带性质明显(特别是“北温带分布”成分),热带成分占有一定比例,有部分东亚成分和古地中海成分,其他成分很少.植物丰富度与温带成分有显著正相关性,这说明该区种子植物地理成分类型符合该区所处地理位置为温带的特征.黄陵县、洛川县、黄龙县、宜君县、富县和甘泉县 R/T 值均在 0.25 以上,热带性质高,这与其均处于暖温带落叶栎林亚地带相一致;志丹县、吴起县、定边县和华池县 R/T 值均在 0.25 以下,热带性质偏低,这与该区都处于温带相一致;而合水县属于暖温带北部落叶栎林亚地带,其 R/T 值却低于志丹县、吴起县,这很有可能受到土壤、气候或降水等因素的影响,这值得更深一步的研究.同时, R/T 值这种受海拔影响,随温度和降水大体上从东南向西北递减的特征,能够反映植物区系的地带性格局,这种分布模式反应出这些类群的生态位需求,可间接支持多样性格局假说中的“寒冷忍耐假说”相关论断,即冬季低温是热带起源种北迁(或垂直向上迁移)的主要限制^[41-43].这与其他学者的研究结果相一致^[44-46],反映出黄土高原暖温带气候—温带季风性半湿润气候—半干旱气候特点.这表明本流域多种地理成分交错,新老混杂,过渡特征明显,广布的温带性质物种具有更好的适应性,这种分布模式是植物长期适应进化的结果,体现出这些类群的生态位需求.

4 结论

4.1 黄土高原典型地貌植被区的北洛河流域有种子植物 123 科 581 属 1671 种,裸子植物 4 科 8 属 13 种,被子植物 119 科 573 属 1658 种.大型科和较大科共 20 科 337 属 1095 种是该区植物的主体,单种属与小型属共 514 属 938 种,是该区植物的主体成分,植物起源古老,分化程度高,物种多样性丰富,组成复杂,是重要的植物种质资源库.

4.2 该区植物相似性聚类可分为 5 组不同地理单位的植物组成,属的分布区类型多样,有 15 个分布区类型和 16 个变型,以温带分布为主,地理成分交错,新老混杂.植物丰富度 SD 值与温带成分有显著正相关性, R/T 值受海拔影响,随温度和降水从东南向西北呈递减的过渡性地带特征.

4.3 该区进行植被恢复和水土流失治理可从这 6

大优势科(菊科、禾本科、蔷薇科、豆科、唇形科和毛茛科)中选择适地适树适草的温带性质物种.

参考文献:

- [1] 王荷生.植物区系地理 [M]. 北京:科学出版社, 1992.
Wang H S. Floristic Geography [M]. Beijing: Science Press, 1992.
- [2] 马克平.试论生物多样性的概念 [J]. 生物多样性, 1993,(1):20-22.
Ma K P. On the concept of biodiversity [J]. Biodiversity Science, 1993,(1):20-22.
- [3] 吴征镒,周浙昆,孙航,等.种子植物分布区类型及其起源和分化 [M]. 昆明:云南科技出版社, 2006.
Wu Z Y, Zhou Z K, Li D Z, et al. The areal-types of seed plant and their origin and differentiation [M]. Kunming: Yunnan Science and Technology Press, 2006.
- [4] 冉大川,刘斌,王宏,等.黄河中游典型支流水土保持措施减洪减沙作用研究 [M]. 郑州:黄河水利出版社, 2006.
Ran D C, Liu B, Wang H, et al. Study on flood and sediment reduction by soil and water conservation measures in typical tributaries of the Middle Yellow River [M]. Zhenzhou: Yellow River Water Conservancy Press, 2006.
- [5] 陈妮,李谭宝,张晓萍,等.北洛河流域植被覆盖度时空变化的遥感动态分析 [J]. 水土保持通报, 2013,33(3):206-210,327.
Chen N, Li T B, Zhang X P, et al. Spatiotemporal variations of vegetation coverage in Beiluo River watershed based on remote sensing data analysis [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2013,33(3):206-210,327.
- [6] 唐克利.黄河泥沙与黄土高原水土流失综合治理问题 [J]. 中国水土保持, 1985,(12):12-14.
Tang K L. Yellow River sediment and comprehensive control of soil and water loss in Loess Plateau [J]. Soil and Water Conservation in China, 1985,(12):12-14.
- [7] 朱显谟.黄土地区植被因素对于水土流失的影响 [J]. 土壤学报, 1960,(2):110-121.
Zhu X M. Influence of vegetation factors on soil erosion in loess area [J]. Acta pedologica Sinica, 1960,(2):110-121.
- [8] 余新晓.森林植被减弱降雨侵蚀能量的数理分析 [J]. 水土保持学报, 1988,(2):24-30.
Yu X X. Mathematical analysis of forest vegetation reducing rainfall erosion energy [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1988,(2):24-30.
- [9] 焦菊英,王万忠,李靖,等.黄土丘陵沟壑区水土保持人工林减蚀效应研究 [J]. 林业科学, 2002,38(5):87-94.
Jiao J Y, Wang W Z, Li J, et al. The soil erosion reducing benefit of soil and water conservation of plantation on the loess hilly and gully region [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2002,38(5):87-94.
- [10] 李占斌,朱冰冰,李鹏.土壤侵蚀与水土保持研究进展 [J]. 土壤学报, 2008,(5):802-809.
Li Z B, Zhu B B, Li P. Advancement in study on soil erosion and soil and water conservation [J]. Acta pedologica Sinica, 2008,(5):802-809.
- [11] Ran L, Lu X, Xu J. Effects of vegetation restoration on Soil conservation and sediment loads in China: A critical review [J]. Critical Reviews in Environmental Science & Technology, 2013,

- 43(13):1384-1415.
- [12] Chen H, Zhang X P, Muratjan A, et al. Effects of vegetation and rainfall types on surface runoff and soil erosion on steep slopes on the Loess Plateau, China [J]. CATENA, 2018,170:141-149.
- [13] Wang Y, Feng X, Zhao J, et al. Quantifying the effects of vegetation restorations on the soil erosion export and nutrient loss on the Loess Plateau [J]. Frontiers in Plant Science, 2020,11.
- [14] Zhang L, Dawes W R, Walker G R. Response of mean annual evapotranspiration to vegetation changes at catchment scale [J]. Water Resources Research, 2001,37(3):701-708.
- [15] 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,(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,(9): 3137-3143.
- [16] Makarieva A M, Gorshkov V G, Li B L. Precipitation on land versus distance from the ocean: Evidence for a forest pump of atmospheric moisture [J]. Ecological Complexity, 2009,6(3):302-307.
- [17] 刘国彬,上官周平,姚文艺,等.黄土高原生态工程的生态成效 [J]. 中国科学院院刊, 2017,32(1):11-19.
- Liu G B, Shang G Z P, Yao W Y, et al. Ecological effects of soil conservation in Loss Plateau [J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2017,32(1):11-19.
- [18] Wu G L, Liu Y F, Zeng C, et al. Trade-off between vegetation type, soil erosion control and surface water in global semi-arid regions: A meta-analysis [J]. Journal of Applied Ecology, 2020,57(5).
- [19] 张 琨,吕一河,傅伯杰,等.黄土高原植被覆盖变化对生态系统服务影响及其阈值 [J]. 地理学报, 2020,75(5):949-960.
- Zhang K, Lu Y H, Fu B J, et al. The effects of vegetation coverage changes on ecosystem service and their threshold in the Loess Plateau [J]. Acta Geographica Sinica, 2020,75(5):949-960.
- [20] 李 轲,赵勇钢,刘小芳,等.黄土丘陵区典型草地演替中植物群落特征与土壤储水量关系 [J]. 水土保持通报, 2019,39(1):55-60.
- Li K, Zhao Y G, Liu X F, et al. Relationship between plant community characteristics and soil water storage along typical grassland succession in loss hilly region [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2019,39(1):55-60.
- [21] 李登武.陕北黄土高原维管植物区系地理研究 [D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2008.
- Li D W. The floristic geography of vascular plant in the Loess Plateau of Northern Shanxi Province [D]. Yangling: Northwest Agriculture and Forestry University, 2008.
- [22] 王凯博.子午岭植被演替过程中物种多样性研究 [D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2008.
- Wang K B, Studies on the species diversity in vegetation succession in ziwuling area [D]. Yangling: Northwest Agriculture and Forestry University, 2008.
- [23] 方精云,朱江玲,郭兆迪,等.植物群落清查的主要内容、方法和技术规范 [J]. 生物多样性, 2009,17(6):533-548.
- Fang J Y, Zhu J L, Guo Z D, et al. Methods and protocols for plant community inventory [J]. Biodiversity Science, 2009,17(6):533-548.
- [24] Qian H, Deng T, Jin Y, et al. Phylogenetic dispersion and diversity in regional assemblages of seed plants in China [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2019,116(46):23192-23201.
- [25] 张镜铨,张雪梅.植物区系地理研究中的重要参数——相似性系数 [J]. 地理研究, 1998,17(1):59-63.
- Zhang Y L, Zhang X M. An important parameter in the study of floristic geography - Similarity coefficient [J]. Geographical Research, 1998,17(1):59-63.
- [26] 白 龙,段博文,陈 曦,等.辽宁省西部低山丘陵区草地类型分布及植物区系特征 [J]. 草地学报, 2020,28(6):1726-1735.
- Bai L, Duan B W, Chen X, etc. Distribution of Grassland types and Floristic characteristics in the low mountains and hilly of Western Liaoning Province [J]. Acta Agrestia Sinica, 2020,28(6):1726-1735.
- [27] 张光富.安徽板桥自然保护区植物多样性 [M]. 南京:南京师范大学出版社, 2001.
- Zhang G F. Plant diversity in Banqiao Nature Reserve [M]. Nanjing: Nanjing Normal University Press, 2001.
- [28] 董厚德.辽宁东部的主要植被类型及其分布 [J]. 植物生态学与地植物学丛刊, 1981,(4):241-257.
- Dong H D. Main vegetation types and their distribution in eastern Liaoning [J]. Series of Plant Ecology and Geobotany, 1981,(4):241-257.
- [29] 武吉华,张 坤,江 源,等.植物地理学 [M]. 北京:高等教育出版社, 2004.
- Wu J H, Zhang K, Jiang Y, et al. Phytogeography [M]. Beijing: Higher Education Press, 2004.
- [30] 廖文波,张宏达,仲铭锦.广东亚热带植物区系表征科的区系地理学分析 [J]. 生态科学, 1994,(1):47-55.
- Liao W B, Zhang H D, Zhong M J. Floristic geographical analysis of the subtropical flora of Guangdong Province [J]. Ecological Science, 1994,(1):47-55.
- [31] Cox C B, Moore P D.生物地理学 [M]. 赵铁桥 译.北京:高等教育出版社, 2007.
- Cox C B, Moore P D. Biogeography [M]. Zhao Tiejiao trans. Beijing: Higher Education Press, 2007.
- [32] 吴征镒.中国种子植物属的分布区类型 [J]. 云南植物研究, 1991,(S4):1-139.
- Wu Z Y. Distribution type of seed plant genera in China [J]. Yunnan Plant Research, 1991,(S4):1-139.
- [33] 张文辉,李登武,刘国彬,等.黄土高原地区种子植物区系特征 [J]. 植物研究, 2002,(3):373-379.
- Zhang W H, Li D W, Liu G B, etc. Floristic characteristics of seed plants in the Loess Plateau [J]. Plant research, 2002,(3):373-379.
- [34] 李锡文.中国种子植物区系统计分析 [J]. 云南植物研究, 1996,18(4): 363-384.
- Li X W. Floristic statistics and analyses of seed plants from China [J]. Yunnan Plant Research, 1996,18(4):363-384.
- [35] 张文辉,康永祥,李 红.陕西木本植物区系研究 [J]. 植物研究, 1999,19(4):374-384.
- Zhang W H, Kang Y X, Li H. Study on the woody plant flora of Shaanxi [J]. Plant Research, 1999,19(4):374-384.
- [36] 李登武,张文辉,苟小东,等.陕北黄土高原植物区系的演变及新生代植物区系分析(英文) [J]. 草地学报, 2011,19(2):181-190.
- Li D W, Zhang W H, Gou X D. The evolution of the flora of the Loess Plateau in northern Shaanxi and the analysis of the flora of the

- Cenozoic [J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2011,19(2):181-190.
- [37] 左家哺. 中国种子植物区系定量化研究 V. 区系相似性 [J]. *热带亚热带植物学报*, 1996,(3):18-25.
- Zuo J F. Quantitative study on seed plant flora of china v. Floristic similarity [J]. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 1996, (3):18-25.
- [38] 王义凤, 肖向明. 黄土高原地区主要植被类型的气候梯度分布 [J]. *植物学报*, 1993,35(4):291-299.
- Wang Y F, Xiao X M. Climatic gradient of main vegetation types in the loess plateau region [J]. *Acta Botanica Sinica*, 1993,35(4):291-299.
- [39] 张希彪, 上官周平. 黄土高原子午岭种子植物区系特征研究 [J]. *生态学杂志*, 2005,24(8):872-877.
- Zhang X B, Shang G Z P. Floristic characteristics of seed plants in Ziwouling of Loess Plateau [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2005,24(8):872-877.
- [40] 张振万, 张春林, 陈彦生, 等. 陕北黄土高原植物区系分区界线初探 [J]. *西北植物学报*, 1992,(4):53-58.
- Zhang Z W, Zhang C L, Chen Y S. A Preliminary study on the border line of the Floristic regionalization in the loess plateau of northern shaanxi [J]. *Acta Botany Northwest*, 1992,(4):53-58.
- [41] Currie D J, Francis A P. Regional versus climatic effect on taxon richness in angiosperms: Reply to Qian and Ricklefs [J]. *The American Naturalist*, 2004,163(5):780-785.
- [42] 田义超, 黄远林, 张 强, 等. 北部湾南流江流域土地覆盖及生物多样性模拟 [J]. *中国环境科学*, 2020,v.40(3):394-408.
- Tian Y C, Huang Y L, Zhang Q, et al. Simulation of land cover and biodiversity in Nanliu River Basin in Beibu Gulf [J]. *China Environmental Science*, 2020,v.40(3):394-408.
- [43] 陈模舜, 金则新, 柯世省, 等. 极濒危物种天台鹅耳枥群落特征及其与环境因子的关系 [J]. *林业科学*, 2020,56(9):1-11.
- Chen M S, Jin Z X, Ke S X, et al. Community characteristics and their relations with environmental variables of critically endangered species *Carpinus tientaiensis* [J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2002,38(5):87-94.
- [44] 唐志尧, 方精云. 植物物种多样性的垂直分布格局 [J]. *生物多样性*, 2004,(1):20-28.
- Tang Z Y, Fang J Y. A review on the elevational patterns of plant species diversity [J]. *Biodiversity Science*, 2004,(1):20-28.
- [45] 赵鸣飞, 王宇航, 邢开雄, 等. 黄土高原山地森林群落植物区系特征与地理格局 [J]. *地理学报*, 2014,69(7):916-925.
- Zhao M F, Wang Y H, Xing K X, et al. Floristic traits and geographic patterns of natural montane forests at community level on the Loess Plateau, North China [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2014,69(7):916-925.
- [46] 董雪蕊, 张 红, 张明罡. 基于系统发育的黄土高原地区木本植物多样性及特有性格局 [J]. *生物多样性*, 2019,27(12):1269-1278.
- Dong X Y, Zhang H, Zhang M G, et al. Explaining the diversity and endemic patterns based on phylogenetic approach for woody plants of the Loess Plateau [J]. *Biodiversity Science*, 2019,27(12):1269-1278.

作者简介: 田起隆(1992-), 男, 陕西西安人, 博士研究生, 主要从事水土保持植被研究. 发表论文 2 篇.

《中国环境科学》刊发论文获评“第二届中国科协优秀科技论文”

《中国环境科学》编辑部 2017 年 8-9 月组织权威专家, 从 2013-2017 年发表在具有 CN 号的中国科技期刊上的环境学科所有论文中遴选优秀论文, 推荐参加“第二届(2017 年度)中国科协优秀科技论文遴选计划”, 并组织专家参与线下评审会, 最终《中国环境科学》2014 年 6 期刊发的薛文博、付飞、王金南、唐贵谦、雷宇、杨金田、王跃思等人的文章“中国 PM_{2.5} 跨区域传输特征数值模拟研究”获评“第二届中国科协优秀科技论文”, 是环境学科唯一入选的一篇文章, 论文作者获得奖金一万元。