

DOI: 10.11931/guihaia.gxzw202310051

李嘉楠, 王博, 赵硕, 等. 2024. 祁连山地区维管植物区系特征 [J]. 广西植物, 44(8): 1540–1552.

LI JN, WANG B, ZHAO S, et al., 2024. Floristic characteristics of vascular plants in Qilian Mountain region, China [J]. *Guihaia*, 44(8): 1540–1552.



祁连山地区维管植物区系特征

李嘉楠^{1,2,3}, 王博^{1,2,3}, 赵硕^{1,2,3}, 张发梅^{1,2,3}, 周国英^{1,2*}

(1. 中国科学院西北高原生物研究所, 西宁 810008; 2. 中国科学院藏药研究
重点实验室, 西宁 810008; 3. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 研究植物区系对植物资源保护及利用意义重大。祁连山地区作为生态过渡带具有丰富的植物多样性,但该区植物区系组成尚未得到系统化整理。为保证物种名录的准确性,探究植物区系分布状况,该研究通过对不同文献分散数据的搜集整理完成初步统计,利用植物标本信息进行校对以确定区系组成。结果表明:(1)祁连山地区共有维管植物 1 952 种,隶属 108 科 527 属,其中国家级保护植物 44 种,受威胁植物 100 种。(2)祁连山地区植物以草本为主,灌木次之,乔木最少,大多耐寒、耐旱,其中仅含 1 种植物的属数目最多,占比最大,区系地理成分多样且温带分布型占绝对优势。(3)祁连山东段物种丰富度最高,其次是中段,西段最少;随经度西移,相似性指数下降。这表明物种组成及地理成分性质是当地气候条件、地形条件及多样化的生境类型综合作用的结果。(4)特有现象较为显著,共计中国特有种 717 种,祁连山地区特有种 45 种,反映该地区生态系统的独特性、多样性及复杂性。该研究结果为该地区物种多样性维持及资源可持续开发利用提供了本底资料及科学依据。

关键词: 植物区系, 地理成分, R/T 值, 生物多样性, 祁连山地区

中图分类号: Q948.5 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2024)08-1540-13

Floristic characteristics of vascular plants in Qilian Mountain region, China

LI Jianan^{1,2,3}, WANG Bo^{1,2,3}, ZHAO Shuo^{1,2,3}, ZHANG Famei^{1,2,3}, ZHOU Guoying^{1,2*}

(1. Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining 810008, China; 2. Key Laboratory of Tibetan Medicine Research, Chinese Academy of Sciences, Xining 810008, China; 3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Vegetation plays a crucial role in the terrestrial ecosystem and can serve as a valuable indicator of environmental change. Studying the flora is of importance for protection and utilization of plant resources. Furthermore, understanding the composition and distribution of vegetation not only enhances plant biodiversity and quality but also enables us to make scientific use of plant resources. The ecological transition zone, known for its high species diversity,

收稿日期: 2024-05-16 接受日期: 2024-07-03

基金项目: 青海省重大科技专项课题(2023-SF-A5); 第二次青藏高原综合科学考察项目(2019QZKK1003); 2021 年第二批中央林业改革发展资金项目(QHGX-2022-031-01)。

第一作者: 李嘉楠(1998—), 博士研究生, 主要从事植物生态学研究, (E-mail) lijianan023@163.com。

*通信作者: 周国英, 博士, 研究员, 主要从事植物生态学研究, (E-mail) zhouguy@nwipb.cas.cn。

is an essential area for studying the flora. Qilian Mountain region, as an ecological transition zone, exhibits high plant diversity. However, the flora composition in this area has not been systematically documented. In order to ensure the accuracy of the species list and explore the distribution of flora, we conducted preliminary statistics by collecting and organizing scattered data from the literature. Subsequently, we used the plant specimen information to proofread and determine the flora composition. The results were as follows: (1) Qilian Mountains region had 1 952 species of vascular plants, belonging to 108 families and 527 genera, including 44 species of national protected plants and 100 species of threatened plants. (2) The dominant plant types in Qilian Mountain region were herbaceous, followed by shrubs, with trees being the least abundant. Most of these plants exhibited cold-resistance and drought-tolerance, with the majority being oligotrophic genera (the genera containing only one plant in Qilian Mountain region). The geographical components of the flora were diverse, but the temperate elements were predominant. (3) Species richness was the highest in the eastern region of the mountain, followed by the middle region, and the lowest in the western region. As longitude increased westward, the similarity index decreased. This suggests that the species composition and geographical components are synthetically influenced by local climatic conditions, topographic conditions, and diverse habitat types. (4) The presence of endemic species was significant, with a total of 717 endemic species in China and 45 endemic species in Qilian Mountain region, reflecting the uniqueness, diversity, and complexity of the ecosystem in the important region. In short, the flora of Qilian Mountain region is characterized by youthfulness. As an ecological transition zone, the region has extremely rich plant species diversity and breeds a large number of rare plants. Due to the large longitude span of the Qilian Mountain region, there are great differences in plant types between the eastern and western regions. The above results provide background data and a scientific reference for the maintenance of species diversity, sustainable development, and utilization of resources in this area.

Key words: flora, geographical component, R/T value, biodiversity, Qilian Mountain region

植物区系指某一地理区域在某一时间段中所有植物种类的集合体,是特定地理条件和漫长演化共同作用的结果(王荷生,1992;李岩等,2022)。研究植物区系在认识不同地区种间亲缘关系、探究物种演化过程、保护物种多样性(李锡文,1996;李岩等,2022;金万洲等,2022)等方面具有重要意义。生境的高度异质性可导致植物区系成分丰富多样,尤其表现在山地生态系统中。王俊伟等(2022)对布丹拉山南坡区系组成研究表明,随着海拔的升高,种子植物丰富度呈先增后减的趋势。赵万义等(2020)对罗霄山南北坡植物区系研究发现南坡以热带成分占优势而北坡以温带成分占优势。山地生态系统往往在有限的空间内,体现地形、海拔、气候等多种环境因子对植物的综合作用(Zhang et al., 2022),这种特殊的生境促使植物多样性增高且更易孕育新种,从而进一步丰富区系组成。因此,山地生态系统成为植物多样性研究的关键区域。

祁连山地处地球“第三极”青藏高原东北部,在中国植物区系分区中属泛北极植物区青藏高原亚区的唐古特地区(吴征镒,1979)。作为中国东

部季风区、西北荒漠区以及青藏高原高寒地区的生态交错带(王涛等,2017),祁连山不仅是植物多样性研究的重点区域,也是泛北极植物区青藏高原亚区成分的关键地带。受晚第三纪以来地质变化的强烈影响(Lin et al., 2018),该地区气候垂直差异大。这导致植物区系多样化,同时也孕育了大量的珍稀和特有植物。有关祁连山植物多样性及热点地区植物区系的研究较多。例如:金万洲等(2022)通过样方调查,分析了祁连山国家公园青海片区种子植物区系特征;王国宏等(1995)分析了祁连山北坡与贺兰山、大盘山等周围山系的植物区系相似性程度;刘建泉(2005)对祁连山保护区种子植物属的组成及地理成分进行了系统整理;吴玉虎(2004)通过多年数十次的野外考察,统计了祁连山大通河流域的野生种子植物数量。但是,目前该区域植物区系研究较为零散,对整个祁连山地区维管植物区系组成的研究未见报道。因此,本研究以祁连山地区维管植物为研究对象,通过数据的搜集,整理,核对以确定植物区系组成且重点关注以下几个问题:(1)祁连山地区维管植物区系组成及地理成分特征;(2)祁连山地区特

有、保护、濒危和受威胁植物的组成情况;(3) 祁连山地区植物区系在青藏高原植物区系中的地理意义。本文旨在通过以上分析为祁连山地区植物组成及演替、生物多样性调查、环境保护、植物资源开发利用等研究提供资料。

1 材料与方 法

1.1 研究区概况

祁连山地区介于 93.4°—103.4° E 与 35.8°—40.0° N 之间,横跨青海、甘肃两省,总面积为 5.02 万 km²,海拔为 2 100~4 500 m,最高峰团结峰高达 5 826.8 m(陈桂琛等,1994)。地质构造过程中的侵蚀切割导致祁连山地区地势复杂,其山脉主要由党河南山、大通山、达坂山组成(赵珍,2016),地势西高东低,海拔落差大(图 1)。山间谷地面积宽广,河谷发育多级阶地(郭怀军,2017)。冬季长而寒冷干燥,夏季短而温凉湿润,属高原大陆性高寒半湿润山地气候。年均温-1.4~9.6℃;年降水量 150~680 mm,降水集中在 5—9 月(戎战磊,2019)。独特的地理环境促使该地区植被类型丰富(图 2)。森林为祁连山重要植被类型,具有坡向性的特点;高寒草甸对恶劣环境适应性极强;草地及灌丛分布范围广,对祁连山地区生态稳定具有重要作用(戎战磊,2019)。祁连山地区东西跨度较大,植被东西水平地带性规律显著,由东向西依次表现为温性草原、阔叶林、针叶林、高寒灌丛草甸、高寒草原以及高寒荒漠(陈桂琛等,1994)。

1.2 研究方法

本研究根据《中国植物志》(中国科学院中国植物志编辑委员会,1959—2004)、《青海植物志》(青海植物志编纂委员会,1999)、《甘肃植物志第二卷》(甘肃植物志编辑委员会,2005)等共计 13 本专著初步确定植物名录,物种名称数达 2 400 余种。将所涉及的物种根据拉丁名在中国数字植物标本馆(CVH, <http://www.cvh.ac.cn/>)以及《中国植物志》网站(<http://www.iplant.cn/frps>)记录收藏的标本中进行查询校对,排除同名、异名等重复记录物种以及在祁连山区域内无标本记录的物种。在此基础之上,查阅近期报道及相关文献整理祁连山新发现种,对名录进行补充,最终确定祁连山植物名录。中国特有种主要依据《中国植物志》网站确定。祁连山特有种主要依据《青海植物

志》《河湟地区生态环境保护与可持续发展》(河湟地区生态环境保护与可持续发展编辑委员会,2012)、《甘肃植物志第二卷》以及《甘肃河西地区维管植物检索表》(张勇等,2001)等确定。依据《国家重点保护野生植物名录》(中华人民共和国国家林业和草原局,中华人民共和国农业农村部,2021)、《濒危野生动植物物种国际贸易公约》(CITES, 2023)、《中国生物多样性红色名录—高等植物卷(2020)》(生态环境部 中国科学院,2023)确定濒危、保护植物。

统计祁连山维管植物基本特征,包括科、属、种的数量以及不同分级所占比例,优势科、属,代表科、属等。根据吴征镒(1991,2006)、臧得奎(1998)对植物科和属分布区类型的划分标准对祁连山植物进行地理成分分析。通过热带成分与温带成分的比值(R/T)研究该地区植物区系性质。通过相似性指数 S_c 对祁连山地区东、中、西三段进行植物相似性分析(张懿铨,1998)。相似性指数通过以下公式计算。

$$S_c = 2c / (A + B)$$

式中: A、B 分别表示 A、B 两地各自的物种数;c 表示 A、B 两地共有的物种数。

2 结果与分析

2.1 祁连山地区植物科属组成分析

2.1.1 祁连山地区植物科的组成分析 由表 1 可知,祁连山地区共有维管植物 1 952 种,隶属 108 科 527 属,其中包括种下等级分类群。依据祁连山地区植物科所含种数的多少划分大科(≥100)、较大科(30~99)、中型科(10~29)、小科(2~9)及仅含 1 种的科(1)(金万洲等,2022)。其中,大科含物种 783 种,约占本区总种数的 40.11%,包括禾本科(Poaceae)、菊科(Asteraceae)、蔷薇科(Rosaceae)、豆科(Leguminosae)和毛茛科(Ranunculaceae);较大科 15 科,包括十字花科(Cruciferae)、莎草科(Cyperaceae)、藜科(Chenopodiaceae)等;中型科共 12 科,如忍冬科(Caprifoliaceae)、报春花科(Primulaceae)、景天科(Crassulaceae)等;小科共 51 科,占比最大,如檀香科(Santalaceae)、杜鹃花科(Ericaceae)、车前科(Plantaginaceae)等;仅含 1 种的共 25 科,包括蕨科(Pteridiaceae)、五福花科(Adoxaceae)等。该区

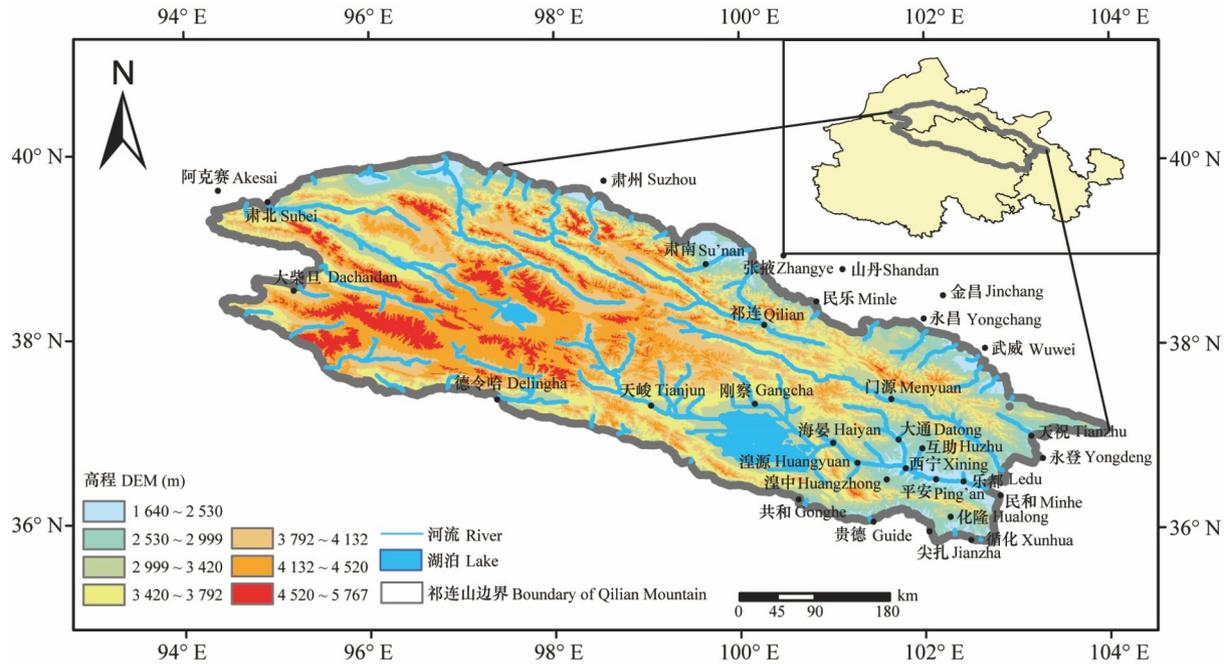


图 1 祁连山地区地理位置分布图

Fig. 1 Distribution map of geographical location in Qilian Mountain region

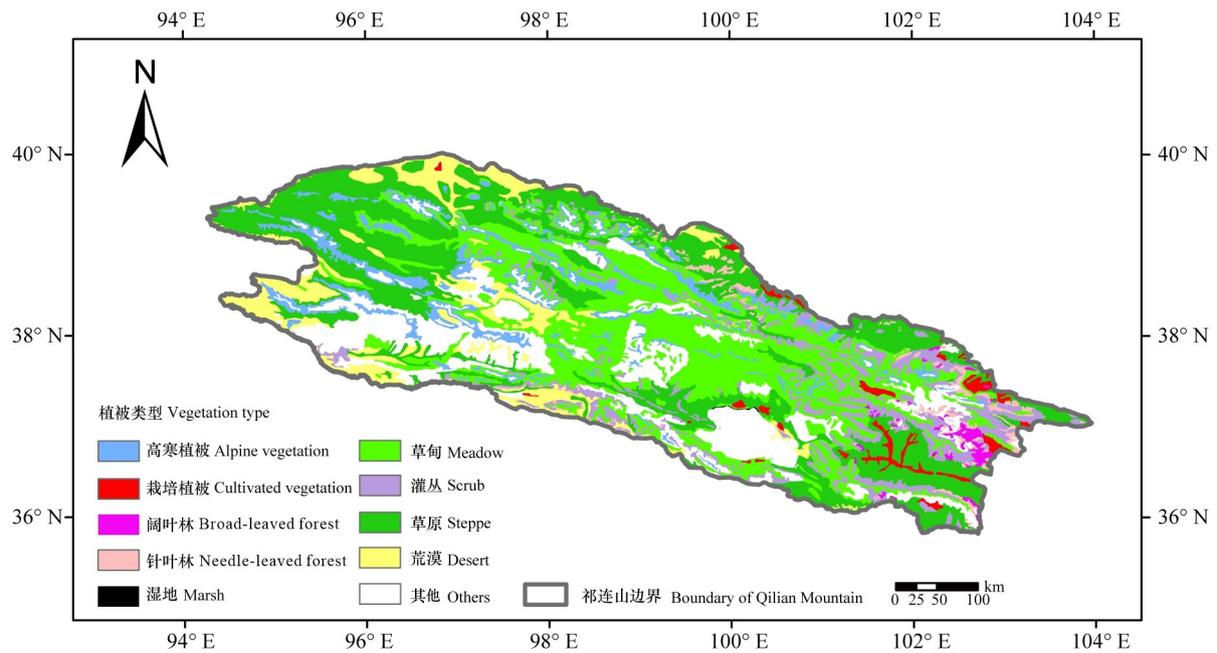


图 2 祁连山地区植被类型分布图

Fig. 2 Distribution map of vegetation types in Qilian Mountain region

优势科共 13 科,包含全部大科和物种数大于 50 的较大科,共 1 236 种,隶属 278 属。

代表科在一定程度上可以代表该地区植物区

系的植被特征,即具有区系起源意义的科(吴晓菊和陈学林,2003)。祁连山地区代表科共 10 科(表 2),包括 83 属 421 种植物,约占祁连山地区总属数

的 15.75%,总种数的 21.57%。代表科分布型以温带型与世界广布型为主。表征科反应植物区系的地方特征(吴晓菊和陈学林,2003)。祁连山地区表征科共 10 科(表 2),共 95 属 486 种,约占祁连山地

区总属数的 18.03%,总种数的 24.90%。其中,世界广布型有 5 科,温带型科有 4 科,热带型科有 1 科。同为表征科和代表科的有怪柳科(Tamaricaceae)、毛茛科、忍冬科、松科(Pinaceae)、蔷薇科。

表 1 祁连山地区植物科的分级统计

Table 1 Level statistics on families of plants in Qilian Mountain region

类别(种) Type (Species)	科 Family		属 Genus		种 Species	
	数量 Number	百分比 Percentage (%)	数量 Number	百分比 Percentage (%)	数量 Number	百分比 Percentage (%)
≥100	5	4.63	166	31.50	783	40.11
30~99	15	13.89	198	37.57	721	36.94
10~29	12	11.11	40	7.59	178	9.12
2~9	51	47.22	98	18.60	245	12.55
1	25	23.15	25	4.74	25	1.28
合计 Total	108	100	527	100	1 952	100

表 2 祁连山地区植物代表科及表征科

Table 2 Representative and characteristic families of plants in Qilian Mountain region

排名 Order	代表科 Representative family		排名 Order	表征科 Characteristic family	
	科名 Family	RVG (%)		科名 Family	RVS (%)
1	怪柳科 Tamaricaceae	100	1	怪柳科 Tamaricaceae	14.55
2	杨柳科 Salicaceae	66.67	2	龙胆科 Gentianaceae	8.14
3	毛茛科 Ranunculaceae	40.00	3	毛茛科 Ranunculaceae	5.20
4	松科 Pinaceae	30.00	4	松科 Pinaceae	4.78
5	忍冬科 Caprifoliaceae	30.77	5	忍冬科 Caprifoliaceae	4.40
6	茄科 Solanaceae	23.33	6	罂粟科 Papaveraceae	4.29
7	蔷薇科 Rosaceae	20.97	7	藜科 Chenopodiaceae	4.14
8	蹄盖蕨科 Athyriaceae	20.00	8	灯芯草科 Juncaceae	4.00
9	蓼科 Polygonaceae	20.00	9	蔷薇科 Rosaceae	3.94
10	报春花科 Primulaceae	18.18	10	虎耳草科 Saxifragaceae	3.83

注: **RVG**. 祁连山地区属数占世界属数的百分比; **RVS**. 祁连山地区种数占世界种数的百分比。

Note: **RVG**. Ratio of genera in Qilian Mountain region to total genera of the world; **RVS**. Ratio of species in Qilian Mountain region to total species of the world.

2.1.2 祁连山地区植物属的组成分析 如表 3 所示,依据祁连山地区植物属所含种数的多少划分大属(≥30)、较大属(15~29)、中型属(5~14)、小属(2~4)及仅含 1 种的属(1)(金万洲等,2022)。大属共 8 属,其中黄芪属(*Astragalus*)植物数量最多,共有 46 种,此外还包括薹草属(*Carex*)、柳属

(*Salix*)等。较大属共 16 属,包括龙胆属(*Gentiana*)、棘豆属(*Oxytropis*)、披碱草属(*Elymus*)等。优势属包括大属和较大属,共 24 属 591 种,约占祁连山地区总属数的 4.55%,总种数的 30.28%。中型属共 88 属,是包含种数最多的等级,其种数约占总种数的三分之一。常见属有翠

表 3 祁连山地区植物属的分级统计
Table 3 Level statistics on genera of plants
in Qilian Mountain region

类别 (种) Type (Species)	属 Genus		种 Species	
	数量 Number	百分比 Percentage (%)	数量 Number	百分比 Percentage (%)
≥30	8	1.52	311	15.93
15~29	16	3.03	280	14.34
5~14	88	16.70	666	34.12
2~4	166	31.50	446	22.85
1	249	47.25	249	12.76
合计 Total	527	100	1 952	100

雀属 (*Delphinium*)、蓼属 (*Polygonum*) 等。小属共 166 属, 如刺续断属 (*Morina*)、当归属 (*Angelica*) 等。仅含 1 种的共 249 属, 属数最多, 占比最大, 如中国特有属虎榛子属 (*Ostryopsis*)、黄缨菊属 (*Xanthopappus*) 等。

表征属的确定主要参考各属的种数与该属占全球植物区系总种数的百分比获得 (李仁伟, 2001)。为了保证研究的可靠性, 将区系平均重要值 (10) 以上的属视为该研究区的表征属。祁连山地区表征属有 13 属, 共 211 种 (表 4), 其分布型以世界广布和北温带分布为主。其中, 委陵菜属 (*Potentilla*)、茶藨子属 (*Ribes*)、蒿属 (*Artemisia*)、披碱草属 (*Elymus*) 同时为优势属。

2.2 祁连山地区植物区系地理成分分析

2.2.1 科的地理成分 祁连山地区 108 科共划分为 9 个分布类型及 9 个变型 (表 5), 主要包括世界广布型科、热带分布型科、温带分布型科三大类型。祁连山地区 47 科为世界广布型科, 占该区总科数 43.52%。世界广布型科 (以北温带为主) 中含 50 种以上的科共 13 科, 含 278 属 1 236 种。这表明祁连山地区植物对环境的适应能力较强。热带分布型科 (2~7) 在祁连山地区分布最少, 共 29 科, 占非广布科总数的 47.54%, 包括大戟科 (*Euphorbiaceae*)、马鞭草科 (*Verbenaceae*)、五加科 (*Araliaceae*) 等, 这丰富了该地区植物区系组成。温带分布型科 (8~15) 共包括 32 科, 占非广布科的 52.46%, 包括百合科 (*Liliaceae*)、列当科 (*Orobanchaceae*)、柏科 (*Cupressaceae*) 等, 表明祁

连山地区植物区系的温带性质更为显著。

2.2.2 属的地理成分 祁连山地区 527 个属可划分为 15 个类型及 19 个变型 (表 6)。主要包括世界广布型属、热带分布型属、温带分布型属。祁连山地区世界广布型属共 68 属, 其中黄芪属 (*Astragalus*)、藁草属 (*Carex*)、早熟禾属 (*Poa*)、龙胆属 (*Gentiana*) 占比较大, 含物种数均超过 20 种。世界广布型包含小属和仅含 1 种的属有 41 个, 包括变豆菜属 (*Sanicula*)、补血草属 (*Limonium*) 等。与科分布型规律一致, 热带分布型属 (2~7) 最少, 只有 47 属, 占非广布属总数的 10.24%, 包括大戟属 (*Euphorbia*)、麻黄属 (*Ephedra*)、卫矛属 (*Euonymus*) 等。温带分布型属 (8~15) 最多, 共 412 属, 占非广布属总数的 89.76%, 包括大属风毛菊属 (*Saussurea*)、蒿属 (*Artemisia*)、柳属 (*Salix*) 等, 表明温带成分的属对祁连山地区物种形成起决定作用。

2.3 祁连山地区特有、保护、濒危和受威胁植物

本区维管植物中, 中国特有种共 717 种, 可划分为 28 个亚型 (表 7)。其中, 西北-西南分布型占比最大, 占特有种总种数的 41.98%, 主要为甘肃、青海、四川、西藏、云南等地区的物种。第二大分布亚型为西北分布型, 共 211 种, 占特有种总数的 29.43%。以西北-西南和西北-华北地区为主分布区的物种高达 462 种, 占特有种总数的 64.44%。祁连山特有种共 45 种, 隶属 18 科 31 属, 其中以草本植物居多, 如青海棘豆 (*Oxytropis qinghaiensis*)、西宁披碱草 (*Elymus dahuricus* var. *xiningensis*) 等。近些年的报道共记录祁连山地区新记录属 1 属, 新记录种 22 种, 如玉龙蕨 (*Polystichum glaciale*) 等。

根据《国家重点保护野生植物名录》, 祁连山地区共有保护植物有 44 种, 其中国家 I 级保护植物 3 种, II 级保护植物 41 种。根据《濒危野生动植物种国际贸易公约》, 祁连山地区共有濒危野生植物 40 种, 除蒙古栎 (*Quercus mongolica*) 被列入附录 III 外, 其余植物均被列入附录 II。根据《中国生物多样性红色名录—高等植物卷 (2020)》, 祁连山地区受威胁物种有 100 种。本文关注等级包括极危 (CR)、濒危 (EN)、易危 (VU)、近危 (NT)。其中, 极危物种有 1 种, 濒危物种有 10 种, 易危物种有 32 种, 近危物种有 57 种。

2.4 祁连山地区物种相似性比较

为阐明祁连山地区植物的水平分布格局, 将

表 4 祁连山地区植物表征属
Table 4 Characteristic genera of plants in Qian Mountain region

属 Genus	种数 No. of species	世界总种数 Species number of the world	区系重要值 Floristic importance value	分布型 Areal-type
披碱草属 <i>Elymus</i>	24	40	60.00	8. 北温带分布 N. Temp.
微孔草属 <i>Microula</i>	12	29	41.38	14-1 中国—喜马拉雅分布 (SH)
仲彬草属 <i>Kengyilia</i>	10	30	33.33	8. 北温带分布 N. Temp.
李属 <i>Prunus</i>	10	30	33.33	8. 北温带分布 N. Temp.
苹果属 <i>Malus</i>	9	35	25.71	8. 北温带分布 N. Temp.
委陵菜属 <i>Potentilla</i>	33	200	16.50	8. 北温带分布 N. Temp.
香青属 <i>Anaphalis</i>	11	80	13.75	8. 北温带分布 N. Temp.
蒿属 <i>Artemisia</i>	38	300	12.67	8. 北温带分布 N. Temp.
栒子属 <i>Cotoneaster</i>	11	90	12.22	8. 北温带分布 N. Temp.
锦鸡儿属 <i>Caragana</i>	12	100	12.00	11. 温带亚洲分布 Temp. Asia
杨属 <i>Populus</i>	12	100	12.00	8. 北温带分布 N. Temp.
繁缕属 <i>Stellaria</i>	13	120	10.83	1. 世界广布 Cosmopolitan
茶藨子属 <i>Ribes</i>	16	160	10.00	8. 北温带分布 N. Temp.

注：区系重要值为祁连山地区种数占世界总种数的百分比。

Note: Floristic importance value is the percentage of species in Qilian Mountain region to total species of the world.

其划分为东、中、西三段。其中,阿克塞、肃北、大柴旦、德令哈属于西段,肃州、酒泉、天峻、肃南、张掖、祁连、刚察属于中段,其余则属于东段。由图 3 可知,东段物种最为丰富,高达 1 786 种,占到总种数的 91.50%。中段物种数共 945 种,西段物种数最少,仅 321 种。东段-中段相似性指数最高,在 43.65%以上,而东段-西段与西段-中段相似性指数极低,分别为 4.56%和 3.16%。

3 讨论与结论

3.1 祁连山地区植物组成及区系组成差异

山地生态系统高的环境异质性为植物物种丰富度的提高提供极大的可能性(冯建孟等,2006;方精云等,2009)。祁连山地区维管植物共 1 952 种,隶属 108 科 527 属。东段植物丰富度高,共 1 786 种植物,占到总种数的 91.50%。其植被类型多样,森林分布以温带阔叶林、针叶林及针阔混交林为主,灌丛以温性灌丛占优势,同时还分布有温性草原,这是东部受西南及东南季风的影响,气候相对湿润所致。中段物种共有 945 种,植物表现出过渡性特征,以寒性针叶林、高寒落叶灌丛、高寒草甸以及紫花针茅草原为主。西段物种数最

少,仅 321 种,以高寒荒漠为主,多生长耐寒耐旱植物。究其原因,是因为西部地区以隆起带及高山为主,受西风环流影响,随着气流向内陆深入,途径的干旱地区及高山带使水汽消耗殆尽,所以西部适宜荒漠植物生长(陈桂琛等,1994;贾文雄等,2008)。对梵净山(夏常英等,2020)、布丹拉山(王俊伟等,2022)、高黎贡山(罗亚皇等,2024)等的研究表明,气候差异是驱动山地生态系统不同微环境物种组成的主要驱动因子,与我们的研究结果一致。另外,祁连山地区植物多样性及物种相似性指数自东向西呈递减模式。这可能是中段地区尤其刚察、祁连两地与东段地区地理位置较为接近,并且自然环境较为类似导致。东段-西段与西段-中段相似性极低,一方面是由于祁连山地区经度跨度大,西段与东段、中段两地气候类型及海拔等地理条件差异显著;另一方面是由于西段地区以干旱荒漠区为主,地表植被稀疏且类型单一,导致共有种稀少。该区相似性指数结果同样表明环境异质性影响物种分布的相似度,本结果与海南地区植物区系研究(陈琳等,2023)的结果一致。

祁连山地区属的地理成分温带性质极为显著,R/T 值约为 0.131。从数量上来看,温带分布

表 5 祁连山地区植物科分布型
Table 5 Areal-types of families of plants in Qilian Mountain region

分布型 Areal-type	科数(属数,种数) Number of families (genera, species)	科的百分比 Percentage of family (%)
1. 世界广布 Cosmopolitan	47(408, 1 543)	
2. 泛热带分布 Pantropic	20 (32, 78)	32.79
2-2 热带亚洲—热带非洲—热带美洲(南美洲)分布 Trop. Asia, Trop. Afr.-Trop. Amer. (S. Amer.)	1(1, 12)	1.64
2S. 以南半球为主的泛热带 Pantropic especially S. Hemisphere	1(3, 4)	1.64
3. 东亚(热带、亚热带)及热带南美间断分布 Top. & Subtr. E. Asia & (S.) Trop. Amer. disjuncted	2(3, 8)	3.28
3i. 热带以外的中、南美(沿安底斯山脉) Extratropical C. & S. Amer., Trans-Andean	1(1, 1)	1.64
5. 热带亚洲至热带大洋洲分布 Trop. Asia to Trop. Australasia Oceania	2(2, 2)	3.28
7. 热带亚洲分布 Trop. Asia = Trop. SE. Asia+ Indo-Malaya + Trop. S. & SW. Pacific Isl.	2(5, 17)	3.28
8. 北温带分布 N. Temp.	10(28, 91)	16.39
8-4 北温带和南温带间断分布 N. temp. & S. Temp. disjuncted	13(29, 140)	21.31
8-5 欧亚和南美洲温带间断分布 Eurasia & Temp. S. Amer. disjuncted	2(4, 23)	3.28
10. 旧世界温带分布 Old World Temp.	1(3, 16)	1.64
10-3 欧亚和南非洲(有时也在澳大利亚)间断分布 Eurasia & S. Afr. (sometimes also Australia) disjuncted	1(2, 5)	1.64
12. 地中海区、西亚至中亚分布 Medit., W. to C. Asia	0(0, 0)	0.00
12-1 地中海区至中亚和南非洲、大洋洲间断分布 Mediterranean to C. Asia and S. Afr. and/ or Australasia disjuncted	1(1, 1)	1.64
12-3 地中海区至温带—热带亚洲分布 Mediterranean to Temp-Trop. Asia, with Australasia and/or S. N. to S. Amer. disjuncted	1(2, 9)	1.64
12-5 地中海区—北非洲、中亚—蒙古、西南非洲、西南澳大利亚、北美西南部、智利西部 (泛地中海)间断分布散分布 Mediterranean to/ or N. Afr., C. Asia to Mongolia, SW. Afr., SW. Australia, SW. Amer. (California) & W. Chile (Pan-Mediterranean diffused)	1(1, 1)	1.64
14. 东亚分布 E. Asia	1(1, 1)	1.64
16. 南半球热带以外间断或星散分布 Extratropical S. Hemisphere disjuncted or dispersed	1(1, 1)	1.64

注：世界广布型不在计算范围内；祁连山地区植物科分布型资料来源吴征镒（2006）和臧得奎（1998）。

Note: Excluding cosmopolitan in percentage; data of the areal-types of families in Qilian Mountain region are from Wu (2006) and Zang (1998).

型属共 412 属，而热带分布型属仅 47 属，表明该区温带型属占绝对优势。与湟水河流域（吴玉虎，2003）、大通河流域（吴玉虎，2004）、三江源地区（张静等，2019）、青海湖流域（刘师，2022）等研究结果一致。其中，三江源国家公园 R/T 值 > 青海湖地区 > 湟水流域及青海东部的黄河上游谷地，表明 R/T 值存在明显的纬度地带性规律（刘均阳等，2014），与罗霄山种子植物区系研究结果一致（赵万义等，2020）。祁连山属于中纬度地区，海拔高，

年均温低，因而温带分布型占比更大。热带型植物多分布于该研究区的东部，这与东部地区温暖湿润的气候环境密切相关（郭怀军，2017）。

3.2 祁连山地区植物区系年轻性

祁连山植物区系是晚第三纪至第四纪衍生的年轻区系（王国宏等，1995）。自中新世—上新世时期以来，祁连山初步形成西高东低的地貌格局，并在第四纪山体持续隆升，最终形成一系列高大山脉（郭怀军，2017）。地质构造的变化进一步影

表 6 祁连山地区植物属分布型
Table 6 Areal-types of genera of plants in Qilian Mountain region

分布型 Areal-type	属数 (种数) Number of genera (Species)	百分比 Percentage (%)
1. 世界广布 Cosmopolitan	68 (426)	
2. 泛热带分布 Pantropic	29 (59)	6.32
3. 热带亚洲和热带美洲间断分布 Trop. Asia & Trop. Amer. disjuncted	3 (3)	0.65
4. 旧世界热带分布 Old World Tropics	2 (9)	0.44
4-1 热带亚洲、非洲(或东非、马达加斯加)和大洋洲间断分布 Trop. Asia., Africa (or E. Afr., Madagascar) & Australasia disjuncted	1 (3)	0.22
5. 热带亚洲至热带大洋洲分布 Tropical Asia & Trop. Australasia	3 (3)	0.65
6. 热带亚洲至热带非洲分布 Trop. Asia to Trop. Africa	4 (10)	0.87
7. 热带亚洲(印度—马来西亚)分布 Trop. Asia (Indo-Malesia)	4 (10)	0.87
7-1 爪哇(或苏门答腊)、喜马拉雅间断或星散分布到华南、西南 Java (or Sumatra), Himalaya to S., SW. China disjuncted or diffused	1 (2)	0.22
8. 北温带分布 North Temperate	138 (785)	30.07
8-1 环北极分布 Circumpolar (Circumartic)	2 (2)	0.44
8-2 北极—高山分布 Arctic-alpine	8 (29)	1.74
8-4 北温带和南温带间断分布“全温带”NY Temp. & S. Temp. disjuncted (“Pan-temperate”)	37 (168)	8.06
8-5 欧亚和南美温带间断分布 Eurasia & S. Amer. Temp. disjuncted	3 (20)	0.65
9. 东亚和北美洲间断分布 E. Asia & N. Amer. disjuncted	19 (26)	4.14
10. 旧世界温带分布 Old World Temperate	55 (122)	11.98
10-1 地中海区、西亚(或中亚)和东亚间断分布 Mediterranean, W. Asia (or C. Asia) & E. Asia disjuncted	7 (10)	1.53
10-2 地中海区和喜马拉雅间断分布 Mediterranea & Himalaya disjuncted	3 (6)	0.65
10-3 欧亚和南部非洲(有时也在大洋洲)间断分布 Eurasia & S. Africa (Sometimes also Australasia) disjuncted	2 (6)	0.44
11. 温带亚洲分布 Temp. Asia	24 (63)	5.23
12. 地中海区、西亚至中亚分布 Mediterranea, W. Asia to C. Asia	33 (48)	7.19
12-1 地中海区至中亚和南非洲、大洋洲间断分布 Mediterranean to C. Asia & S. Africa, Australasia disjuncted	1 (7)	0.22
12-2 地中海区至中亚和墨西哥至美国南部间断分布 Mediterranean to C. Asia & Mexico to S. USA. disjuncted	2 (6)	0.44
12-3 地中海区至温带—热带亚洲、大洋洲和南美洲间断分布 Mediterranean to Temp. -Trop. Asia, with Australasia and/or S. Amer. disjuncted	1 (1)	0.22
12-4 地中海区至热带非洲和喜马拉雅间断分布 Mediterranean to Trop. Africa & Himalaya disjuncted	1 (1)	0.22
12-5 地中海区—北非洲, 中亚, 北美西南部, 智利和大洋洲(泛地中海)间断分布 Mediterranean to N. Africa, C. Asia, SW. N. Amer., S. Africa, Chile and Australasia disjuncted (“Pan-Mediterranean”)	1 (1)	0.22
13. 中亚分布 C. Asia	10 (13)	2.18
13-1 中亚东部(亚洲中部)分布 East C. Asia (or Asia Media), In Sinkiang (especially Kaschgaria), Kansu, Qinghai to Mongolia	4 (4)	0.87
13-2 中亚至喜马拉雅和我国西南分布 C. Asia to Himalaya & S. W. China	7 (14)	1.53
13-3 西亚至西喜马拉雅和西藏分布 W. Asia to W. Himalaya & Xizang	2 (3)	0.44
13-4 中亚至喜马拉雅—阿尔泰和太平洋北美洲间断分布 C. Asia to Himalaya-Altai & Pacific N. Amer. disjuncted	2 (2)	0.44
14. 东亚分布 E. Asia	12 (24)	2.61
14-1 中国—喜马拉雅分布 Sino-Himalaya (SH)	19 (39)	4.14
15. 中国特有分布 Endemic to China	19 (28)	4.14

注: 世界广布型不在计算范围内; 祁连山地区植物属分布型资料来源吴征镒(1991)和臧得奎(1998)。

Note: Excluding cosmopolitan in percentage; data of the areal-types of genera in Qilian Mountain region are from Wu (1991) and Zang (1998).

表 7 祁连山地区植物中国特有种分布型分析
Table 7 Areal-types of endemic species to
China in Qilian Mountain region

分布型 Areal-type	种数 Number of species	占本分布 型百分比 Percentage of areal- type (%)	占全区种 数百分比 Percentage of species (%)
华北 NC	1	0.14	0.05
华北-东北 NC-NE	1	0.14	0.05
华北-华中 NC-CC	1	0.14	0.05
华东 EC	1	0.14	0.05
西北 NW	211	29.43	10.81
西北-东北 NW-NE	1	0.14	0.05
西北-华北 NW-NC	33	4.60	1.69
西北-华北-东北 NW-NC-NE	8	1.12	0.41
西北-华北-华中 NW-NC-CC	4	0.56	0.20
西北-华北-华中-华南 NW-NC-CC-SC	1	0.14	0.05
西北-华中 NW-CC	3	0.42	0.15
西北-西南 NW-SW	301	41.98	15.42
西北-西南-东北 NW-SW-NE	1	0.14	0.05
西北-西南-华北 NW-SW-NC	46	6.41	2.36
西北-西南-华北-东北 NW-SW-NC-NE	3	0.42	0.15
西北-西南-华北-华南 NW-SW-NC-SC	1	0.14	0.05
西北-西南-华北-华中 NW-SW-NC-CC	30	4.18	1.54
西北-西南-华北-华中-东北 NW-SW-NC-CC-NE	1	0.14	0.05
西北-西南-华北-华中-华东 NW-SW-NC-CC-EC	2	0.28	0.10
西北-西南-华北-华中-华南 NW-SW-NC-CC-SC	4	0.56	0.20
西北-西南-华东 NW-SW-EC	1	0.14	0.05
西北-西南-华中 NW-SW-CC	22	3.07	1.13
西北-西南-华中-华东-东北 NW-SW-CC-EC-NE	3	0.42	0.15
西北-西南-华中-华南 NW-SW-CC-SC	1	0.14	0.05
西南 SW	24	3.35	1.23
西南-华北 SW-NC	1	0.14	0.05
西南-华中 SW-CC	1	0.14	0.05
全国 National	10	1.39	0.51
总计 Total	717	100	36.70

注: NC. 华北地区; NW. 西北地区; NE. 东北地区; EC. 华东地区; SC. 华南地区; CC. 华中地区; SW. 西南地区。

Note: NC. North China; NW. Northwest China; NE. Northeast China; EC. East China; SC. South China; CC. Central China; SW. Southwest China.

响区域内气候,使古老的地理成分只在局部残存,取而代之的是年轻成分的定居与分化(张宏达,1997)。具体而言,松柏及各种蕨类植物在祁连山地区分布比例低,并且大多分布于河流沟谷等温暖湿润地带,据此可推断第四纪冰期导致该山脉群环境变化剧烈,进而造成大量喜暖湿环境的热带、亚热带植物灭绝,仅小部分向南或者向谷地等“避难所”迁移并最终得以留存。同时,由于上新世以来青藏高原不断抬升,祁连山气候特征表现为干旱寒冷,森林被高山草原及高寒荒漠等取代,一些年轻的成分如蒿草属、针茅属等在该区定居。此外,特有种的出现是植物种系分化适应新环境的结果(张宏达,1997)。从祁连山地区的特有现象上看,该地区共有 717 种中国特有种,45 种祁连山特有种,它们大多同样是第四纪冰期以来的产物,如大通报春(*Primula farferiana*)、达坂山黄芪(*Astragalus dabanshanicus*)、祁连山獐牙菜(*Swertia przewalskii*)等。与我们研究结果相反,虽然九岭山脉特有现象同样显著,但该地区特有种多为第三纪的古特有植物(覃俏梅等,2021)。因此,通过特有种判定区系年轻与否需要根据研究地区具体情况而定。

3.3 祁连山地区植物区系过渡性及地理意义

生态过渡带受到小地形微环境作用,因而生物多样性高(王俊伟等,2022)。幕阜山脉(姬红利等,2019)、梵净山(夏常英等,2020)、九岭山脉(覃俏梅等,2021)等研究表明交会地带的植物区系过渡性更显著,这与本研究结果一致。祁连山地区作为三大高原的交会处与过渡区,植物区系由此也表现出过渡性特征:东部是黄土高原植物区系的延伸;北部及西部受蒙古高原的影响以荒漠植被为主;南部是青藏高原高寒植被的过渡区(陈桂琛等,1994)。从地理成分来看,该区区系地理成分多样,例如热带亚洲和热带美洲间断分布、环北极分布、中亚分布等,这些结果表明该区植物区系过渡性特征明显,具有生态地理边缘效应。从地理分布格局来看,祁连山地区植物区系孕育了大量第四纪成分,与青藏高原植物区系呈现出一致性(陈桂琛等,1994);同时地质过程中形成温暖湿润的微地形又为部分第三纪成分提供了“避难所”;在此基础上不断出现生态幅广和受边缘效应影响的植物种,从而形成了祁连山物种多样性丰富、地理成分多样的植物区系分布格局。

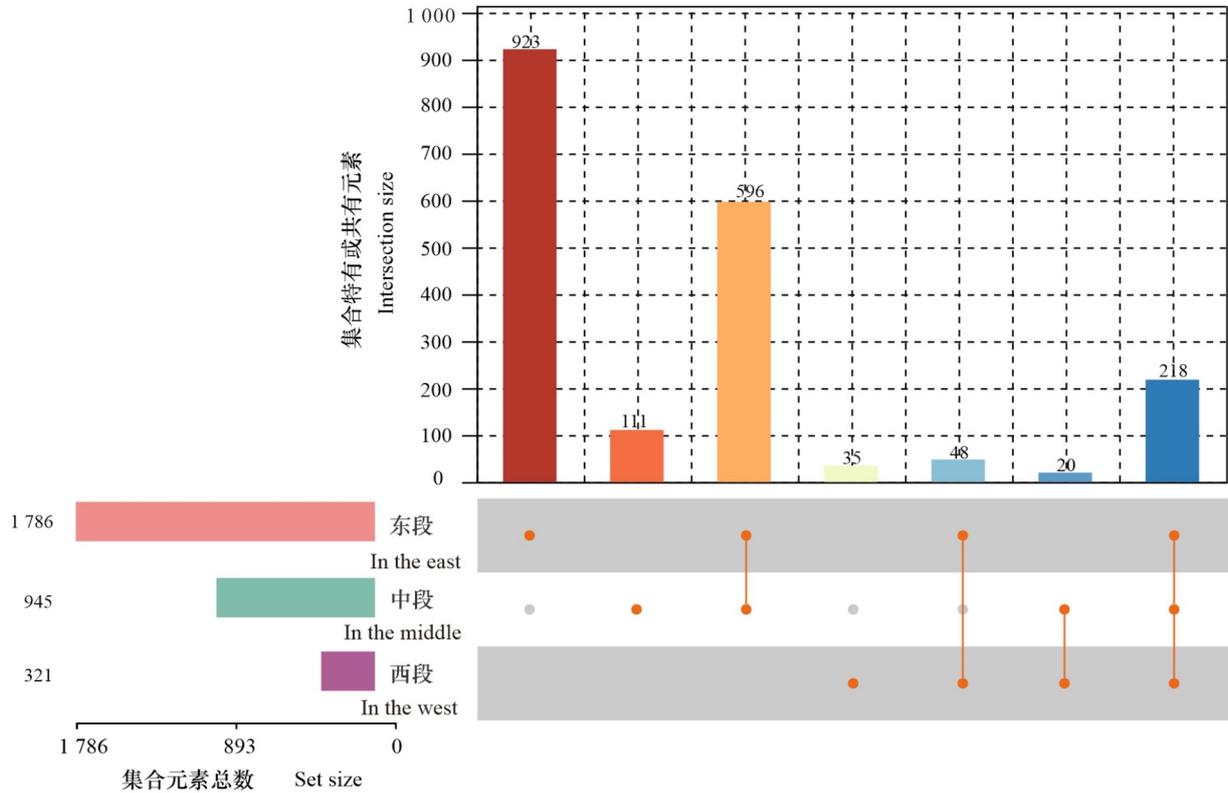


图3 祁连山地区植物水平分布 UpSet 矩阵图

Fig. 3 UpSet layout of plant horizontal distribution in Qilian Mountain region

3.4 祁连山地区植物保护与利用

祁连山地区独特的地理位置以及地貌条件孕育了丰富的植物资源,其中部分植物有医疗、造油、饲料、防风固沙等用途,研究价值与经济价值高,开发利用前景广阔。但是环境变化以及人为采挖使得一些植物的适生区范围逐渐变小,最终这些植物成为濒危植物。根据《国家重点保护野生植物名录》祁连山地区共有保护植物 44 种,根据《中国生物多样性红色名录—高等植物卷(2020)》祁连山地区有受威胁物种 100 种。因此,在保护植物资源、维持生态平衡的基础上对其进行合理利用仍是祁连山地区需要长期考虑的重要问题。面对该挑战,可通过就地保护、科学人工繁育等方法以确保高原特色植物的可持续发展。

总之,本研究系统整理祁连山地区植物名录,关注区域内植物组成差异、地理成分多样性、特有种组成、濒危植物保护等内容,可为该地区生态环境保护、资源利用等研究提供第一手资料。但是,由于本研究数据来源主要为书籍及植物标本

馆数据,可能存在数据不全及数据滞后等问题,因此在之后的研究中还需不断进行数据的更新与完善。此外,该地区特有种的进化过程以及保护方案、气候暖湿化后对植物多样性的影响将成为后续研究关注的重点。

致谢 感谢中国科学院西北高原生物研究所吴玉虎研究员审阅全文,并提出宝贵意见。

参考文献:

- CITES, 2023. Convention on international trade in endangered wild fauna and flora [R]. Scientific Committee of the People's Republic of China on endangered species: 1-42. [CITES, 2023. 濒危野生动物植物物种国际贸易公约 [R]. 中华人民共和国濒危物种科学委员会: 1-42.]
- CHEN GC, PENG M, HUANG RF, et al., 1994. Vegetation characteristics and its distribution of Qilian Mountains region [J]. Acta Bot Sin, 36(1): 63-72. [陈桂琛, 彭敏, 黄荣福, 等, 1994. 祁连山地区植被特征及其分布规律 [J]. 植物学报, 36(1): 63-72.]
- CNEN L, YANG XB, LI DH, et al., 2023. Comparative study

- of flora from central mountainous area to eastern coastal area of Hainan [J]. *Guihaia*, 43(2): 266–276. [陈琳, 杨小波, 李东海, 等, 2023. 海南中部山区到东部沿海区域植物区系比较研究 [J]. *广西植物*, 43(2): 266–276.]
- Chinese Botanical Committee of the Chinese Academy of Science, 1959–2004. *Flora Reipublicae Popularis Sinicae*: Vol. 1–80 [M]. Beijing: Science Press. [中国科学院中国植物志编辑委员会, 1959–2004. 中国植物志: 1–80 卷 [M]. 北京: 科学出版社.]
- Editorial committee of ecological environment protection and sustainable development in the Huanghe River region, 2012. *Ecological environment protection and sustainable development in the Huanghe River region* [M]. Xining: Qinghai People's Publishing House. [河湟地区生态环境保护与可持续发展编辑委员会, 2012. 河湟地区生态环境保护与可持续发展 [M]. 西宁: 青海人民出版社.]
- Editorial Committee of Flora of Gansu, 2005. *Flora of Gansu*: Vol. 2 [M]. Lanzhou: Gansu Science & Technology Press. [甘肃植物志编辑委员会, 2005. 甘肃植物志: 第二卷 [M]. 兰州: 甘肃科学技术出版社.]
- Editorial committee of Flora of Qinghai, 1999. *Flora of Qinghai* [M]. Xining: Qinghai People's Publishing House. [青海植物志编纂委员会, 1999. 青海植物志 [M]. 西宁: 青海人民出版社.]
- FANG JY, WANG XP, TANG ZY, 2009. Local and regional processes control species richness of plant communities: the species pool hypothesis [J]. *Biodivers Sci*, 17(6): 605–612. [方精云, 王襄平, 唐志尧, 2009. 局域和区域过程共同控制着群落的物种多样性: 种库假说 [J]. *生物多样性*, 17(6): 605–612.]
- FENG JM, WANG XP, XU CD, et al., 2006. Altitudinal patterns of plant species diversity and community structure on Yulong Mountains, Yunnan, China [J]. *Mount Res*, 24(1): 110–116. [冯建孟, 王襄平, 徐成东, 等, 2006. 玉龙雪山植物物种多样性和群落结构沿海拔梯度的分布格局 [J]. *山地学报*, 24(1): 110–116.]
- GUO HJ, 2017. An investigation on Quaternary geology and geomorphology of Qilian Mountains and its adjacent areas [D]. Xi'an: Northwest University. [郭怀军, 2017. 祁连山及邻区第四纪地质与地貌研究 [D]. 西安: 西北大学.]
- JI HL, ZHAN XH, ZHANG L, et al., 2019. Diversity and biogeographical characteristics of lycophytes and ferns in Mufu Mountains, China [J]. *Biodivers Sci*, 27(11): 1251–1259. [姬红利, 詹选怀, 张丽, 等, 2019. 幕阜山脉石松类和蕨类植物多样性及生物地理学特征 [J]. *生物多样性*, 27(11): 1251–1259.]
- JIA WX, HE YQ, LI ZS, et al., 2008. The regional difference and catastrophe of climatic change in Qilian Mt. region [J]. *Acta Geogr Sin*, 63(3): 257–269. [贾文雄, 何元庆, 李宗省, 等, 2008. 祁连山区气候变化的区域差异特征及突变分析 [J]. *地理学报*, 63(3): 257–269.]
- JIN WZ, BU J, LUO HW, et al., 2022. Floristic characteristics of seed plants in Qinghai area of Qilian Mountain National Park [J]. *J Zhejiang A & F Univ*, 39(2): 289–296. [金万洲, 卜静, 罗惠文, 等, 2022. 祁连山国家公园青海片区种子植物区系特征 [J]. *浙江农林大学学报*, 39(2): 289–296.]
- LI XW, 1996. Floristic statistics and analyses of seed plants from China [J]. *Acta Bot Yunnan*, 18(4): 3–24. [李锡文, 1996. 中国种子植物区系统计分析 [J]. *云南植物研究*, 18(4): 3–24.]
- LI RW, 2001. Studies on the spermatophyte flora in the Sichuan [D]. Guangzhou: Sun Yat-sen University. [李仁伟, 2001. 四川种子植物区系研究 [D]. 广州: 中山大学.]
- LI Y, CAO W, HE H, et al., 2022. Flora of lycophytes and ferns in Northeast China [J]. *Bull Bot Res*, 42(3): 321–328. [李岩, 曹伟, 何欢, 等, 2022. 中国东北地区石松类和蕨类植物区系研究 [J]. *植物研究*, 42(3): 321–328.]
- LIN P, HE Z, DU J, et al., 2018. Impacts of climate change on reference evapotranspiration in the Qilian Mountains of China: Historical trends and projected changes [J]. *Int J Clim*, 38(7): 2980–2993.
- LIU JQ, 2005. Study on genera flora of seed plants in Qilian Mountain Nature Reserve, China [J]. *J Arid Land Resour Environ*, 7(S1): 221–228. [刘建泉, 2005. 祁连山保护区种子植物属的区系研究 [J]. *干旱区资源与环境*, 7(S1): 221–228.]
- LIU JY, LIU JJ, HAN QS, 2014. Pteridophyte flora in Taibaishan Nature Reserve of Shaanxi Province [J]. *Guihaia*, 34(1): 77–83. [刘均阳, 刘建军, 韩其晟, 2014. 陕西太白山自然保护区蕨类植物区系研究 [J]. *广西植物*, 34(1): 77–83.]
- LIU S, 2022. Study on flora of seed plants in Qinghai Lake Basin, China [D]. Xianyang: Northwest A & F University. [刘师, 2022. 青海湖流域种子植物区系研究 [D]. 咸阳: 西北农林科技大学.]
- LUO YH, MA LL, GAO LM, et al., 2024. Spatiotemporal dynamics of forest arbor layer along an elevational gradient in the southern Gaoligong Mountains [J]. *Guihaia*, 44(5): 793–805. [罗亚皇, 马梁梁, 高连明, 等, 2024. 高黎贡山南段海拔梯度森林乔木层时空动态 [J]. *广西植物*, 44(5): 793–805.]
- National Forestry and Grassland Administration of the People's Republic of China, Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China. List of National Key Protected Wild Plants [EB/OL]. [2021–09–07]. [中华人民共和国国家林业和草原局 中华人民共和国农业农村部. 国家重点保护野生植物名录 [EB/OL]. [2021–09–07]. <http://www.forestry.gov.cn/www/gkml/11057.html>.]
- Ministry of Ecology and Environment, Chinese Academy of Sciences. Red List of Chinese Biodiversity-Volume of Higher Plants, 2023 [EB/OL]. [2023–05–19]. [生态环境部 中国科

- 学院, 2023. 中国生物多样性红色名录—高等植物卷(2020) [EB/OL]. [2023-05-19]. https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk01/202305/t20230522_1030745.html.]
- QIN QM, WU LF, YE HG, et al., 2021. Spermatophyte flora of Jiuling Range, Jiangxi [J]. *Guihaia*, 41(3): 470-481. [覃俏梅, 吴林芳, 叶华谷, 等, 2021. 江西九岭山脉种子植物区系研究 [J]. *广西植物*, 41(3): 470-481.]
- RONG ZL, 2019. Effects of climate change on distribution of dominant species and pattern of vegetation in Qilian Mountains [D]. Lanzhou: Lanzhou University. [戎战磊, 2019. 气候变化对祁连山优势物种分布和植被格局的影响 [D]. 兰州: 兰州大学.]
- WANG JW, MING SP, YANG K, et al., 2022. Analysis of elevation pattern of seed flora on the south slope of Budanla Mountain in southern Tibet, China [J]. *Guihaia*, 42(3): 384-393. [王俊伟, 明升平, 杨坤, 等, 2022. 藏南布丹拉山南坡种子植物区系海拔格局分析 [J]. *广西植物*, 42(3): 384-393.]
- WANG HS, 1992. Floristic geography [M]. Beijing: Science Press. [王荷生, 1992. 植物区系地理 [M]. 北京: 科学出版社.]
- WANG GH, CHE KJ, WANG JY, 1995. A floristic study on the vascular plants from the North Qilian Mountain [J]. *J Gansu Agric Univ*, 30(3): 249-255. [王国宏, 车克钧, 王金叶, 1995. 祁连山北坡植物区系研究 [J]. *甘肃农业大学学报*, 30(3): 249-255.]
- WANG T, GAO F, WANG B, et al., 2017. Status and suggestions on ecological protection and restoration of Qilian Mountains [J]. *J Glaciol Geocryol*, 39(2): 229-234. [王涛, 高峰, 王宝, 等, 2017. 祁连山生态保护与修复的现状问题与建议 [J]. *冰川冻土*, 39(2): 229-234.]
- WU XJ, CHEN XL, 2003. Analysis of the flora of the family of the seed plants in Kongtong Mountain of Gansu Province [J]. *Guihaia*, 23(3): 203-210. [吴晓菊, 陈学林, 2003. 甘肃崆峒山种子植物区系科的分析 [J]. *广西植物*, 23(3): 203-210.]
- WU YH, 2003. A study on the flora of Huangshui River valley in Qinghai, China [J]. *Acta Bot Boreal-Occident Sin*, 23(2): 205-217. [吴玉虎, 2003. 青海湟水流域植物区系研究 [J]. *西北植物学报*, 23(2): 205-217.]
- WU YH, 2004. The flora of Datong River valley in Qinghai, China [J]. *Acta Bot Yunnan*, 26(4): 355-372. [吴玉虎, 2004. 大通河流域植物区系 [J]. *云南植物研究*, 26(4): 355-372.]
- WU ZY, 1979. Discussion on the division of flora in China [J]. *Acta Bot Yunnan*, 1(1): 1-20. [吴征镒, 1979. 论中国植物区系的分区问题 [J]. *云南植物研究*, 1(1): 1-20.]
- WU ZY, 1991. The areal-types of Chinese genera of seed plants [J]. *Acta Bot Yunnan*, 13(Suppl. 4): 1-139. [吴征镒, 1991. 中国种子植物属的分布区类型 [J]. *云南植物研究*, 13(增刊4): 1-139.]
- WU ZY, ZHOU ZK, SUN H, et al., 2006. The areal types of seed plants and their origin and differentiation [M]. Kunming: Yunnan Science and Technology Press. [吴征镒, 周浙昆, 孙航等, 2006. 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.]
- XIA CY, WU XX, FU LZ, et al., 2020. Species diversity and floristics characteristics of vine in Fanjing Mountain area, Guizhou [J]. *Guihaia*, 40(2): 264-271. [夏常英, 吴学学, 傅连中, 等, 2020. 梵净山地区藤本植物的多样性及区系特征 [J]. *广西植物*, 40(2): 264-271.]
- ZANG DK, 1998. A preliminary study on the ferns in China [J]. *Acta Bot Boreal-Occident Sin*, 13(3): 148-154. [臧得奎, 1998. 中国蕨类植物区系的初步研究 [J]. *西北植物学报*, 13(3): 148-154.]
- ZHANG Y, LIU XD, LI P, et al., 2001. Key to vascular plants in Hexi area of Gansu Province [M]. Lanzhou: Lanzhou University Press. [张勇, 刘贤德, 李鹏, 等, 2001. 甘肃河西地区维管植物检索表 [M]. 兰州: 兰州大学出版社.]
- ZHAO WY, LIU ZC, YE HG, et al., 2020. Floristic characteristics and north-south differentiation of seed plants in the Luoxiao Mountains [J]. *Biodivers Sci*, 28(7): 842-853. [赵万义, 刘忠成, 叶华谷, 等, 2020. 罗霄山脉种子植物区系及其南北分化特征 [J]. *生物多样性*, 28(7): 842-853.]
- ZHAO Z, 2016. The research of the phenology change and its response to geographical elements in Qilian Mountains from 1982 to 2014 [D]. Lanzhou: Northwest Normal University. [赵珍, 2016. 祁连山植被物候期变化及其对地理要素的响应 [D]. 兰州: 西北师范大学.]
- ZHANG HD, 1997. Plant endemism and biodiversity [J]. *Ecol Sci*, 16(2): 11-19. [张宏达, 1997. 植物的特有现象与生物多样性 [J]. *生态科学*, 16(2): 11-19.]
- ZHANG J, DAI WCJ, XIE YP, et al., 2019. Characteristics on the flora of seed plants in Sanjiangyuan National Park [J]. *Acta Bot Boreal-Occident Sin*, 39(5): 935-947. [张静, 才文代吉, 谢永萍, 等, 2019. 三江源国家公园种子植物区系特征分析 [J]. *西北植物学报*, 39(5): 935-947.]
- ZHANG YL, 1998. Coefficient of similarity—An important parameter in floristic geography [J]. *Geogr Res*, 17(4): 94-99. [张懿锂, 1998. 植物区系地理研究中的重要参数——相似性系数 [J]. *地理研究*, 17(4): 94-99.]
- ZHANG YX, FU B, SUN JY, 2022. Heat wave mitigation of ecosystems in mountain areas — a case study of the Upper Yangtze River basin [J]. *Ecosyst Health Sustain*, 8(1): 2084459.

(责任编辑 李 莉 王登惠)