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

塔里木河流域珍稀、特有植物组成特征及保护优先区识别

胡舒萍 纪旭 吴明玥 张芙宁 刘娜 赵珮杉 高广磊 秦树高 贾昕

Taxonomical characteristics of rare and endemic plant species and identification of their protection priority area in the Tarim River Watershed, Xinjiang of western China

Hu Shuping, Ji Xu, Wu Mingyue, Zhang Funing, Liu Na, Zhao Peishan, Gao Guanglei, Qin Shugao, Jia Xin

引用本文:
胡舒萍, 纪旭, 吴明玥, 张芙宁, 刘娜, 赵珮杉, 高广磊, 秦树高, 贾昕. 塔里木河流域珍稀、特有植物组成特征及保护优先区识别[J]. 北京林业大学学报, 2025, 47(6):19–29. doi: 10.12171/j.1000–1522.20240442
Hu Shuping, Ji Xu, Wu Mingyue, Zhang Funing, Liu Na, Zhao Peishan, Gao Guanglei, Qin Shugao, Jia Xin. Taxonomical characteristics of rare and endemic plant species and identification of their protection priority area in the Tarim River Watershed, Xinjiang of western China[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2025, 47(6):19–29. doi: 10.12171/j.1000–1522.20240442

在线阅读 View online: https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20240442

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

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

黑龙江丰林国家级自然保护区生态系统服务价值评估与分析

Evaluation and analysis on ecosystem service value of Fenglin National Nature Reserve in Heilongjiang Province of northeastern China

北京林业大学学报, 2021, 43(7): 100–110. https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20210041

青岛崂山次生植物群落物种分布及多样性特征

Species distribution and diversity characteristics of secondary plant communities in Laoshan Mountain of Qingdao, Shandong Province of eastern China

北京林业大学学报, 2020, 42(8): 22–33. https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20190414

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

气候变化背景下濒危植物梓叶槭在中国适生分布区预测

Prediction of suitable distribution area of the endangered plant *Acer catalpifolium* under the background of climate change in China

北京林业大学学报, 2021, 43(5): 33–43. https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20200254

松材线虫病木内天牛蛀道蛹室的优势长喙壳真菌分析

Dominantly ophiostomatoid fungus inhabiting tunnels and pupal chambers of *Monochamus alternatus* in pines infected by *Bursaphelenchus xylophilus*

北京林业大学学报, 2019, 41(6): 102–110. https://doi.org/10.13332/j.1000–1522.20180157

DOI:10.12171/j.1000−1522.20240442

塔里木河流域珍稀、特有植物组成特征及保护优先区识别

胡舒萍[1]　纪　旭[1]　吴明玥[1]　张芙宁[1]　刘　娜[1]　赵珮杉[1]
高广磊[1,2,3]　秦树高[1,2,3]　贾　昕[1,2,3]
（1. 北京林业大学水土保持学院，北京 100083；2. 宁夏盐池毛乌素沙地生态系统国家定位观测研究站，北京 100083；
3. 北京林业大学林木资源高效生产全国重点实验室，北京 100083）

摘要:【目的】塔里木河流域蕴含丰富的野生植物资源，其中不乏珍稀、特有物种，但相关资料尚缺整体梳理与更新。本研究旨在系统调查该区域珍稀、特有植物的组成特征，识别保护优先区，以应对当前生物多样性保护的紧迫需求。**【方法】**以流域内分布的野生珍稀、特有维管植物为对象，结合最新保护植物或生物多样性红色名录，检索多源数据资料，梳理出流域内珍稀、特有植物名录；在此基础上进行生活型、科属组成及物种分布格局分析，并依据物种多样性和系统发育多样性指标识别出塔里木河流域的植物保护优先区。**【结果】**(1)流域内分布的珍稀植物共计 33 科 60 属 99 种，在科、属水平上的分化程度均较高；特有植物共计 20 科 63 属 117 种，在属水平上的分化程度较高。两类植物均以草本为主，灌木次之，乔木最少。(2)流域内珍稀植物集中分布于西部高原山区以及中、东部的几个市县内；特有植物则主要分布在西部高原山区以及东部的个别市县内。(3)在 6 个县域内，识别出植物多样性保护优先区，这些区域能够覆盖流域内维管植物总数的 85.67%。然而，与现有自然保护区范围对比发现，仍存在部分保护空白区域。**【结论】**建议加强对当地珍稀、特有植物的保护，并重点关注流域西部的乌恰县、阿克陶县和叶城县以及东北部的和静县等地。本研究可为相关植物名录的修订以及植物多样性保护提供基础数据。

关键词：生物多样性；植物名录；濒危物种；特有种；分布格局；系统发育；保护优先区
中图分类号：S791；Q948　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**1000−1522(2025)06−0019−11
引文格式：胡舒萍，纪旭，吴明玥，等. 塔里木河流域珍稀、特有植物组成特征及保护优先区识别 [J]. 北京林业大学学报，2025，47(6)：19−29. Hu Shuping, Ji Xu, Wu Mingyue, et al. Taxonomical characteristics of rare and endemic plant species and identification of their protection priority area in the Tarim River Watershed, Xinjiang of western China[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2025, 47(6): 19−29.

Taxonomical characteristics of rare and endemic plant species and identification of their protection priority area in the Tarim River Watershed, Xinjiang of western China

Hu Shuping[1]　Ji Xu[1]　Wu Mingyue[1]　Zhang Funing[1]　Liu Na[1]　Zhao Peishan[1]
Gao Guanglei[1,2,3]　Qin Shugao[1,2,3]　Jia Xin[1,2,3]
(1. School of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;
2. Yanchi Ecological Research Station of the Mu Us Desert, Beijing 100083, China;
3. State Key Laboratory of Efficient Production of Forest Resources, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: [**Objective**] Wild plant species are abundant in the Tarim River Watershed, Xinjiang of western China, many of them are rare or endemic species. However, a comprehensive survey is lacking on the

收稿日期: 2024−12−18　**修回日期:** 2025−02−03
基金项目: 第三次新疆综合科学考察项目(2022xjkk0201)。
第一作者: 胡舒萍。主要研究方向：植物多样性保护。Email: shupinghu@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: 贾昕，博士，教授。主要研究方向：植物间相互作用、植物多样性和生态系统碳水循环。Email: xinjia@bjfu.edu.cn　地址：同上。
本刊网址: http://j.bjfu.edu.cn; http://journal.bjfu.edu.cn

taxonomy and spatial distribution of rare and endemic species in this watershed. This study aims to systematically investigate the compositional characteristics of rare and endemic plant species in this region and identify conservation priority areas to address the urgent needs of current biodiversity conservation. [**Method**] This study focused on wild rare and endemic vascular plant species distributed in the Tarim River Watershed, and compiled records on these species from multiple data sources, including the latest list of protected species and the red list of threatened species. Life form composition, taxonomical composition, and spatial distribution of these species were analyzed based on the compiled dataset. In addition, the priority areas for plant conservation were identified based on species and phylogenetic diversity. [**Result**] (1) The integrated plant species list consisted of 99 rare species belonging to 33 families and 60 genera, and 117 endemic species belonging to 20 families and 63 genera. Rare plants were found to be highly differentiated at both family and genus levels, and the endemic plants were highly differentiated at the genus level. Both rare and endemic plants were dominated by herbaceous species, followed by shrubs; and arbors represented life form with the smallest number of species. (2) Both rare and endemic plants were mainly distributed in the western plateau mountainous area of the watershed. Some of them were also distributed in several counties in the mid or eastern part of the watershed. (3) Six county-level priority areas for conserving plant diversity were identified, covering 85.67% of the total number of plant species in the watershed. Part of the conservation priority areas did not overlap with existing nature reserves, indicating a gap in plant diversity conservation. [**Conclusion**] Results of this study suggest that the conservation of rare and endemic plants should be strengthened in the Tarim River Watershed. And special attention should be paid to western counties such as Wuqia, Akto, and Yecheng, as well as Hejing County in the northeastern part. In addition, this study provides fundamental data for update of relevant plant species lists and the conservation of plant species diversity.

Key words: biodiversity; plant species list; endangered species; endemic species; distribution pattern; phylogeny; conservation priority area

生物多样性是人类赖以生存和发展的基础。近年来，全球气候变化以及人类活动加剧，导致一些物种数量减少[1]、分布区缩小[2]，甚至走向濒危、极危乃至野外灭绝[3]。物种灭绝具有不可逆性，这使得生物多样性丧失的后果非常严重。因此，保护生物多样性已成为迫在眉睫的任务。植物多样性作为生物多样性的重要组成部分，提供了多种生态系统服务。然而，在生物多样性快速丧失的背景下，许多野生植物正面临着危机[4]，尤其是珍稀[5]和特有物种[6]。由于全球物种分布不均以及可用于物种保护的资源有限[7]，很难对现存的所有物种进行同等级别的保护。因此，在植物多样性保护中，植物的珍稀程度与特有属性往往是优先考虑的因素[8]。珍稀植物不仅能够为验证植物区系起源及演化历史提供有力证据，也是遗传育种的珍贵材料。特有植物则是一个地区植物区系特征的直观表现，也是评估植物多样性的重要指标[9]。因此，调查珍稀和特有植物资源本底，开展相应的生活型、科属组成分析，是保护与合理利用植物种质资源的重要前提。

近年，有关部门陆续发布了一系列与珍稀植物相关的新版名录，如《国家重点保护野生植物名录（2021）》[10]、《中国生物多样性红色名录·高等植物卷（2020）》[11]以及《新疆维吾尔自治区重点保护野生植物名录》[12]等。此外，植物分类系统仍在不断修订，植物分布本底数据也在持续增加。诸多变化可能致使部分珍稀植物和特有植物的名称、科属归类以及物种分布区等信息发生变动。因此，迫切需要对已有的珍稀植物和特有植物资源记录进行整合与更新，以保障本底数据的准确性，这将有利于后续植物保护工作的开展。

已查清的种质资源本底数据为生物多样性保护优先区的识别提供了基础资料[13]。近年来研究发现，系统发育多样性（phylogenetic diversity，PD）可用于反映生物多样性的形成历史与演化潜力[14−15]，因此可作为重要指标与物种丰富度、珍稀物种丰富度和特有物种丰富度等传统指标共同应用于植物多样性保护优先区的识别[16]。保护优先区的确定有助于精准识别保护空缺地，优化利用保护资源，从而提升植物多样性保护工作的有效性。

塔里木河流域内孕育了丰富的植物资源[17]，其位于新疆南部，由天山、昆仑山、阿尔金山和帕米尔高原环绕，是中国最大的内流河流域。整个流域由

高山、河谷、盆地绿洲和戈壁沙漠等景观构成，其中沙漠所占面积最大，流域内大部分地区干旱少雨[18]。流域内复杂的地貌和多样的气候条件，也为许多珍稀、特有植物提供了适生环境。已有学者针对全疆或塔里木河流域局部地区的珍稀植物和特有植物资源进行了初步分析，如王永刚等[19]发现全疆分布的国家重点保护野生植物主要集中在天山、阿尔泰山、准噶尔西部山地以及准噶尔盆地边缘。程芸等[8]对全疆特有植物资源进行统计分析，发现天山、阿尔泰山、昆仑山及帕米尔高原的山谷为植物特有种的集中分布区。杨淑萍等[20]研究发现喀喇昆仑山的珍稀、特有植物分布格局是以塔什库尔干塔吉克自治县为中心，自西北向东南逐渐减少；而帕米尔高原的珍稀、特有植物分布格局同样是以塔什库尔干塔吉克自治县为中心，自南向北逐渐减少[21]。然而，目前尚未见利用最新名录及数据资料，对整个塔里木河流域分布的珍稀、特有植物资源进行物种分布格局分析以及植物保护优先区识别的报道。

本文选取塔里木河流域内分布的野生珍稀、特有植物作为研究对象，交叉检索文献、专著、馆藏标本、在线数据库等多源数据资料，收集整理出该区内的珍稀、特有植物名录，并开展生活型组成、科属组成、物种分布格局以及植物多样性保护优先区识别等方面的分析，旨在为生物多样性保护提供基础数据，为相关植物名录的修订和植物保护策略的制定提供科学依据。

1　材料与方法

1.1　数据来源与处理

本文编制的《塔里木河流域野生珍稀维管植物名录》和《塔里木河流域野生特有维管植物名录》（见附录）所用数据均来源于以下 4 类。（1）公开发表的论文，在中国知网数据库（http://www.cnki.net/）中通过（“珍稀植物”或“保护植物”或“濒危植物”）和（“新疆”或“南疆”或“塔里木”）、（“特有植物”或“特有种”或“新种”）和（“新疆”或“南疆”或“塔里木”）等主题词组合，在 Web of Science 数据库（http://www.isiknowledge.com/）中通过（“rare species/plant”或“protected species/plant”或“endangered species/plant”或“threatened species/plant”）和（“Xinjiang”或“Southern Xinjiang”或“Tarim”）、（“endemic species/plant”或“new species/plant”）和（“Xinjiang”或“Southern Xinjiang”或“Tarim”）等主题词组合，对自 1983 年 1 月 1 日至 2024 年 8 月 10 日期间经同行评审并公开发表的论文进行检索，筛选出含塔里木河流域珍稀、特有植物物种名称、分布地、生境等有效信息的文献共计 40 篇；（2）相关专著，包括《中国植物志》[22]、《Flora of China》[23]、《新疆植物志》[24]、《新疆植物志（增补卷）》[25]、《中国荒漠植物图鉴》[26]、《新疆塔里木盆地野生植物图谱》[17]和《新疆塔里木盆地特有和珍稀维管植物》[27]等；（3）“植物智”在线数据库（http://www.iplant.cn/）；（4）标本数据，基于中国数字植物标本馆（https://www.cvh.ac.cn/）和中国国家标本资源平台（http://www.nsii.org.cn/），检索塔里木河流域珍稀、特有植物的标本信息，并为每个物种引证 1 份相关凭证标本。

在上述两份名录中，珍稀植物的确定依据为在《国家重点保护野生植物名录（2021）》、《新疆维吾尔自治区重点保护野生植物名录》和《中国生物多样性红色名录·高等植物卷（2020）》中收录的保护植物或极危、濒危、易危植物；特有植物的确定依据为在检索相应标本数据以及植物智中的图像库时，分布地记录仅在塔里木河流域的植物。

本文编制的《塔里木河流域野生维管植物总名录》（见附录）主要来源于《新疆野生维管植物名录》[28]所提供的数据集，并通过检索《中国寒区旱区常见荒漠植物图鉴·旱区植物卷》[29]、《中国寒区旱区常见荒漠植物图鉴·寒区植物卷》[30]、《中国北方草地植物彩色图谱》[31]、《中国北方草地植物彩色图谱（续编）》[32]等相关专著对该数据集进行补充和印证。

在完成数据收集后（引用数据来源详见附录），为修正异名物种、剔除无效物种，整理名录时均采用植物智中“植物名称校对”工具（http://www.iplant.cn/pnc）以及 TNRS 工具（Taxonomic Name Resolution Service，https://tnrs.biendata.org/）对每条物种记录进行名称修订，并且主要依据《中国生物物种名录（2024）》（http://www.sp2000.org.cn）中的观点规范物种学名、中文名、科名和属名，少数未包含在此名录中的名称则采用最新的研究以确定。分类系统方面，蕨类植物参考 PPG I 系统（2016），裸子植物参考杨氏系统（2022），被子植物参考 APG IV 系统（2016），并将科下类群依次按照属、种学名的字母顺序排列，以便查询。

1.2　珍稀、特有植物组成特征及分布格局分析

使用 R 4.3.1 软件统计分析塔里木河流域珍稀、特有植物的组成特征，包括物种和生活型组成、植物科属组成。在分析科、属组成时，根据以往研究中的划分方式[33]，按科、属的含种数划分为“较大科”或“较大属”（含≥10 种）、“中等科”或“中等属”（含 5～9 种）、“寡种科”或“寡种属”（含 2～4 种）和“单种科”或“单种属”（含 1 种）。

以 2024 年新疆行政区划确定的 108 个县级行

政区为准，珍稀、特有植物的物种县域分布格局分析基于塔里木河流域所覆盖的 46 个市县[34]。考虑到兵团城市成立时间较晚，以及部分资料中记载的植物物种分布位置精确度有限，故将和田市与和田县、昆玉市与皮山县、图木舒克市与巴楚县、阿拉尔市与阿克苏市、铁门关市与库尔勒市的所有数据分别合并后再进行统计分析[8]。统计分析各市县所分布的珍稀、特有植物物种数后，使用 ArcGIS 10.8 软件绘制塔里木河流域珍稀、特有植物物种分布图，同时依据物种数由高到低的顺序在图中给各个市县注明编号。图中县级行政区边界数据来自国家地理信息公共服务平台（https://www.tianditu.gov.cn/）所提供的标准地图〔审图号 GS（2024）0650 号〕，底图未经任何修改。

1.3 植物多样性保护优先区的识别与分析

根据前人研究中的指标选取[16, 35]，并结合现有数据基础，构建塔里木河流域植物多样性保护优先区评价体系。其主要包含物种多样性和系统发育多样性两个方面，由野生维管植物的总物种丰富度、珍稀物种丰富度、特有物种丰富度以及系统发育多样性这 4 项评价指标构成。分别统计各市县的植物总物种数、珍稀物种数、特有物种数，作为相应的物种丰富度。系统发育多样性指数则依据《塔里木河流域野生维管植物总名录》，使用 R 4.3.1 软件中 V.Phylomaker2 包的 Scenario 3 方法，基于 mega-tree GBOTB.extended 进行匹配，构建出带枝长的塔里木河流域野生维管植物系统发育树，再结合 ape 包和 picante 包对树文件进行处理获得。

形成含 4 项评价指标的数据集后，对数据进行标准化，利用 FactoMineR 包进行主成分分析（principal component analysis，PCA），利用 factoextra 包与 ggpubr 包进行 PCA 可视化，选取累积方差贡献率达到 80% 的主成分进行分析，加权平均后计算出各市县的主成分得分并进行排序，该主成分得分即保护指数。然后以《昆明–蒙特利尔全球生物多样性框架》中提出的“3030”保护目标[36]为标准，根据各市县排序结果以及地域面积，识别出累计面积达到塔里木河流域县域总面积 30% 的前几个县，并在县内选取所有林草类地块作为植物多样性保护优先区。依据选取结果，利用 ArcGIS 10.8 软件绘制植物多样性保护优先区与自然保护区分布叠加图，进而分析两者重叠情况。其中，自然保护区边界数据来源于中国自然保护区标本资源共享平台（http://bhq.papc.cn）的地理信息库，林草类地块数据来源于武汉大学杨杰、黄昕教授团队公布的 2023 年度中国土地覆盖数据（https://zenodo.org/records/12779975）。

2 结果与分析

2.1 珍稀、特有植物物种及生活型组成

2.1.1 珍稀植物物种及生活型组成

塔里木河流域分布的珍稀植物共 33 科 60 属 99 种（表 1）。其中，蕨类植物物种数最少，仅 2 个，分别为瓶尔小草科（Botrychiaceae）小阴地蕨属（*Botrychium*）的小阴地蕨（*B. lunaria*）和水龙骨科（Polypodiaceae）多足蕨属（*Polypodium*）的欧亚多足蕨（*P. vulgare*）。裸子植物共 6 种，分属于 2 科 2 属，即柏科（Cupressaceae）的刺柏属（*Juniperus*）和麻黄科（Ephedraceae）的麻黄属（*Ephedra*）。被子植物共 91 种，隶属于 29 科 56 属。研究区内珍稀植物的生活型有乔木、灌木和草本 3 大类（图 1），其中草本植物 67 种（占总种数的 68%），灌木植物 23 种（23%），乔木植物仅 9 种（9%）。

2.1.2 特有植物物种及生活型组成

据统计塔里木河流域内分布的特有植物共 20 科 63 属 117 种（表 1），全部为被子植物，无特有蕨类植物或裸子植物。从生活型组成来看，仅有草本和灌木两类，且草本植物物种数量占有明显优势（103 种，占总种数的 88%），灌木植物仅 14 种（12%）（图 1）。

表 1 塔里木河流域珍稀植物和特有植物物种组成

Tab. 1 Composition of rare and endemic plant species in the Tarim River Watershed

植物类别	珍稀植物			特有植物		
	科数	属数	种数	科数	属数	种数
蕨类植物	2	2	2	0	0	0
裸子植物	2	2	6	0	0	0
被子植物	29	56	91	20	63	117
总计	33	60	99	20	63	117

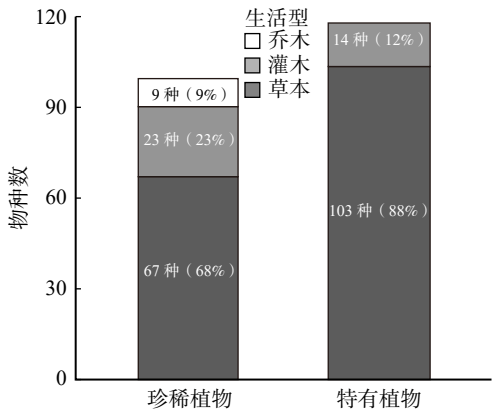


图 1 塔里木河流域珍稀植物和特有植物生活型组成

Fig. 1 Life form composition of rare and endemic plant species in the Tarim River Watershed

2.2　珍稀、特有植物的科属组成

2.2.1　珍稀植物科、属组成

塔里木河流域内分布的珍稀植物以寡种科和单种科、寡种属和单种属较多，尤其是寡种属和单种属占据明显的物种数量优势（图 2a、2b），说明研究区内的珍稀植物在科、属水平上的分化程度均较高。具体来看，较大科和中等科共占总科数的 18%，占总种数的 46%，而较大属和中等属仅共占总属数的 4%，占总种数的 19%；寡种科、单种科两者则共占总科数的 82%，占总种数的 54%，寡种属和单种属共占总属数的比例达 96%，占总种数的 81%。

2.2.2　特有植物科、属组成

塔里木河流域内分布的特有植物主要属于少数优势科（图 2c），例如菊科（Asteraceae）、豆科（Fabaceae）、禾本科（Poaceae）、毛茛科（Ranunculaceae）等。具体来看，较大科含 4 科 63 种，分别占总科数的 20%、总种数的 54%；中等科含 5 科 32 种，分别占总科数的 25%、总种数的 27%。较大科和中等科虽只占总科数的 45%，但两者所含的物种数却占总种数的 81%。

从属的含种数方面来看，特有植物在属水平上以寡种属和单种属为主（图 2d），说明该区域特有植物在属水平上的分化程度较高。具体来看，无较大属存在，中等属仅占总属数和总种数的 10% 和 34%；而寡种属和单种属共占总属数的 90%、总种数的 66%。

2.3　珍稀、特有植物分布格局

2.3.1　珍稀植物物种分布格局

在研究区 46 个县级行政区中，珍稀植物的分布主要集中在 3 个区域（图 3）。一是位于研究区西部的塔什库尔干塔吉克自治县（39 种）、乌恰县（34 种）、叶城县（32 种）、阿克陶县（27 种）、和田县（24 种）；二是位于研究区中部的阿克苏市（22 种）、阿拉尔市（22 种）；三是位于研究区东北部的和静县（27 种）、库车市（19 种）及以东的若羌县（21 种）。而位于研究区中心荒漠地带的沙雅县（7 种）、巴楚县（5 种）、墨玉县（4 种）、洛浦县（4 种）、麦盖提县（2 种）及荒漠边缘地带的新和县（8 种）、疏勒县（4 种）、疏附县（4 种）、伽师县（3 种）、岳普湖县（1 种）等区域分布的珍稀植物物种数则明显低于上述 3 个集中区域。

2.3.2　特有植物物种分布格局

在研究区 46 个县级行政区中，特有植物主要分布在西部的塔什库尔干塔吉克自治县（53 种）、乌恰县（49 种）、叶城县（23 种）、阿克陶县（21 种）、和田县（16 种）和策勒县（13 种）等地，其中以塔什库尔干塔吉克自治县分布的物种数最多，表明该县是特有种的集中区。此外，东南部的若羌县（11 种）与北部

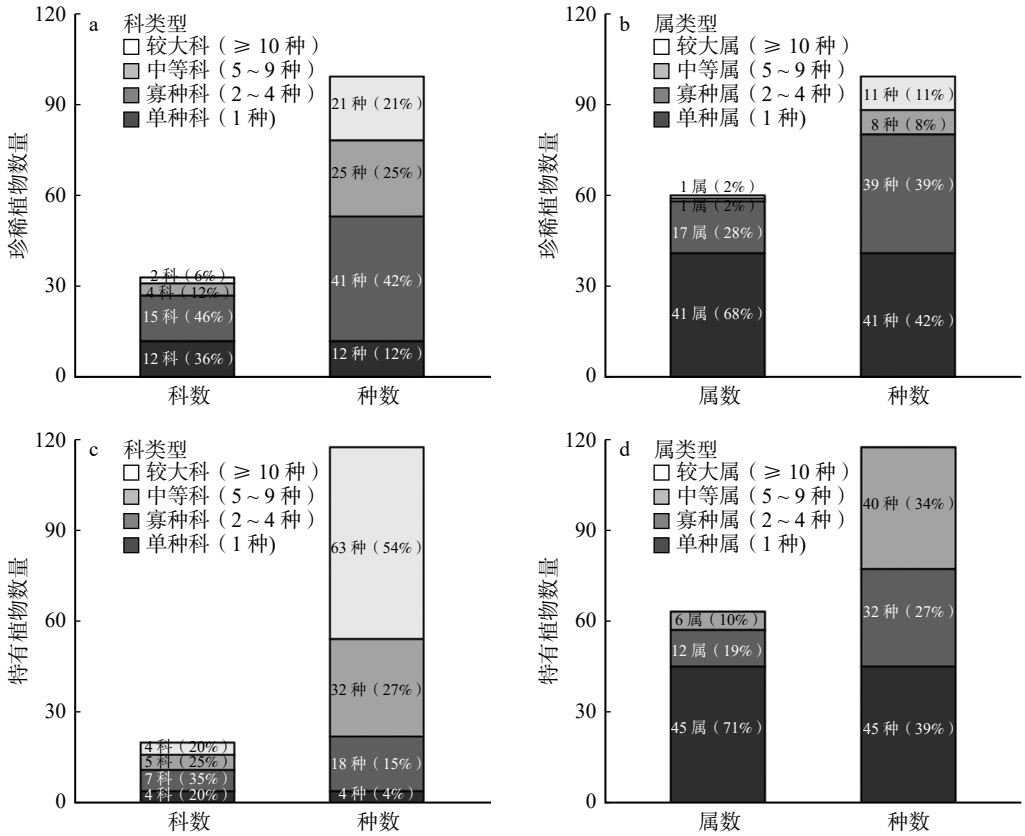
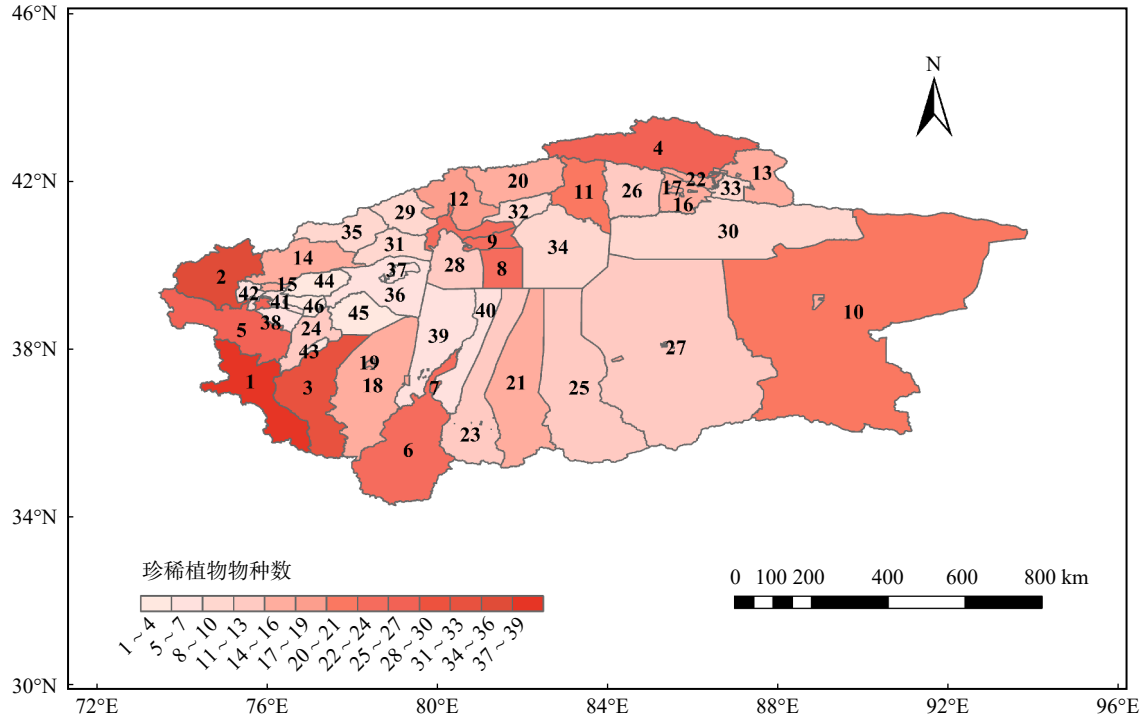


图 2　塔里木河流域珍稀植物和特有植物的科、属数量结构分析

Fig. 2　Quantity structure analysis on the family and genus of rare and endemic plant species in the Tarim River Watershed



图中编号代表县域所含物种数排名。下同。1. 塔什库尔干塔吉克自治县；2. 乌恰县；3. 叶城县；4. 和静县；5. 阿克陶县；6. 和田县；7. 和田市；8. 阿克苏市；9. 阿拉尔市；10. 若羌县；11. 库车市；12. 温宿县；13. 和硕县；14. 阿图什市；15. 喀什市；16. 库尔勒市；17. 铁门关市；18. 皮山县；19. 昆玉市；20. 拜城县；21. 于田县；22. 焉耆回族自治县；23. 策勒县；24. 莎车县；25. 民丰县；26. 轮台县；27. 且末县；28. 阿瓦提县；29. 乌什县；30. 尉犁县；31. 柯坪县；32. 新和县；33. 博湖县；34. 沙雅县；35. 阿合奇县；36. 巴楚县；37. 图木舒克市；38. 英吉沙县；39. 墨玉县；40. 洛浦县；41. 疏勒县；42. 疏附县；43. 泽普县；44. 伽师县；45. 麦盖提县；46. 岳普湖县。

图 3 塔里木河流域珍稀植物物种县域分布

Fig. 3 County-level distribution of rare plant species in the Tarim River Watershed

的和静县(9 种)也分布较多特有植物。而位于中心荒漠地带及其边缘的市县分布的特有植物则相对稀少，例如尉犁县、柯坪县、英吉沙县、疏勒县、疏附县、泽普县均仅分布有 1 种特有植物；和硕县、库尔勒市、铁门关市、焉耆回族自治县、阿瓦提县、新和县、博湖县、沙雅县、巴楚县、图木舒克市、墨玉县、洛浦县、伽师县、麦盖提县、岳普湖县均无特有植物分布记录(图 4)。

2.4 植物多样性保护优先区的识别与分析

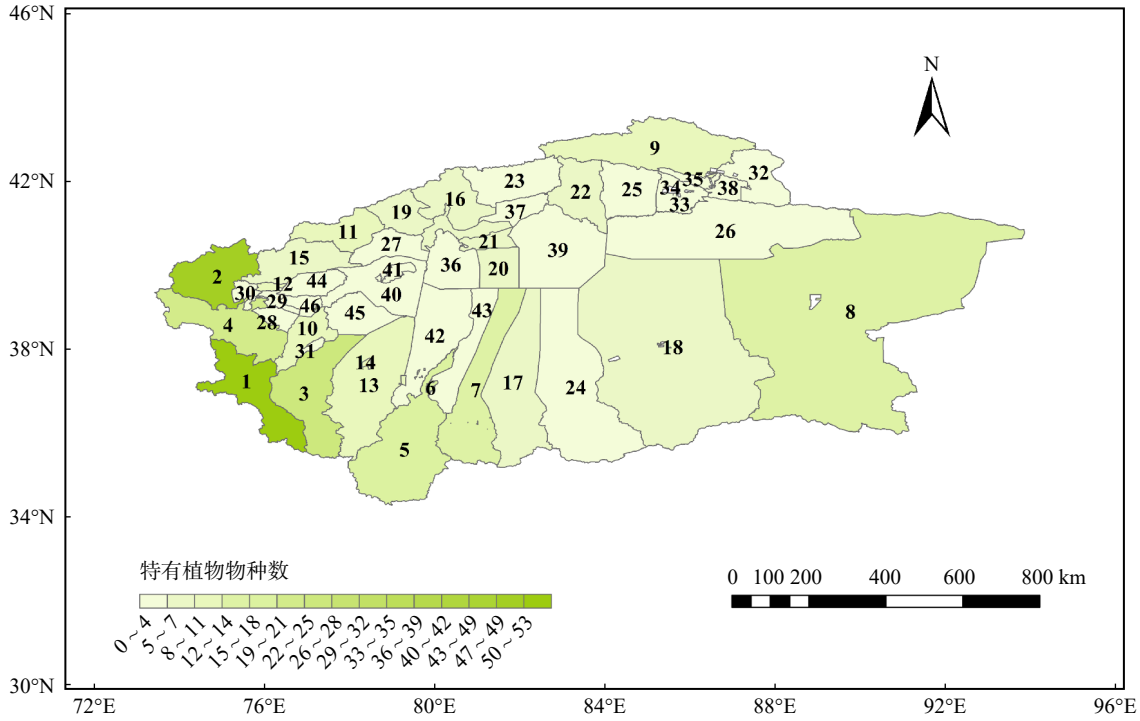
对塔里木河流域内各县域所含植物的总物种丰富度、珍稀物种丰富度、特有物种丰富度和系统发育多样性这 4 项指标进行主成分分析，结果显示前 2 个主成分特征值分别为 2.98、0.83，方差贡献率分别为 74.41%、20.87%，累积方差贡献率达 95.28%(图 5)。因此，提取主成分 1 和 2 进行分析，将各县域所含的 4 项指标综合为 1 项保护指数并排序。结合林草类地块覆盖数据，在 6 个县域中识别出植物多样性保护优先区(表 2)。植物多样性保护优先区内分布的野生维管植物物种占研究区内总物种的 85.67%、珍稀物种的 81.82% 以及特有物种的 85.47%，说明识别出的植物多样性保护优先区能够最大限度地覆盖研究区内植物物种资源。

塔里木河流域内目前分布有 7 个自然保护区，其中塔什库尔干野生动物自然保护区和中昆仑自然保护区为自治区级自然保护区，其余 5 个均为国家级自然保护区。将识别到的植物多样性保护优先区与这 7 个自然保护区的所在区域进行叠加分析，发现现有自然保护区的覆盖区域存在一定的保护空白(图 6)。具体来看，植物多样性保护优先区在西北最为集中，但仅在塔什库尔干塔吉克自治县设有一个自治区级野生动物保护区，乌恰县、阿克陶县、叶城县等地未见自然保护区覆盖，导致西部出现较多保护空白区。此外，东北部的自然保护区覆盖范围明显小于植物多样性保护优先区的聚集范围，使得广泛分布林草地的和静县显示出较大的保护空缺。

3 讨 论

3.1 塔里木河流域珍稀、特有植物组成特征

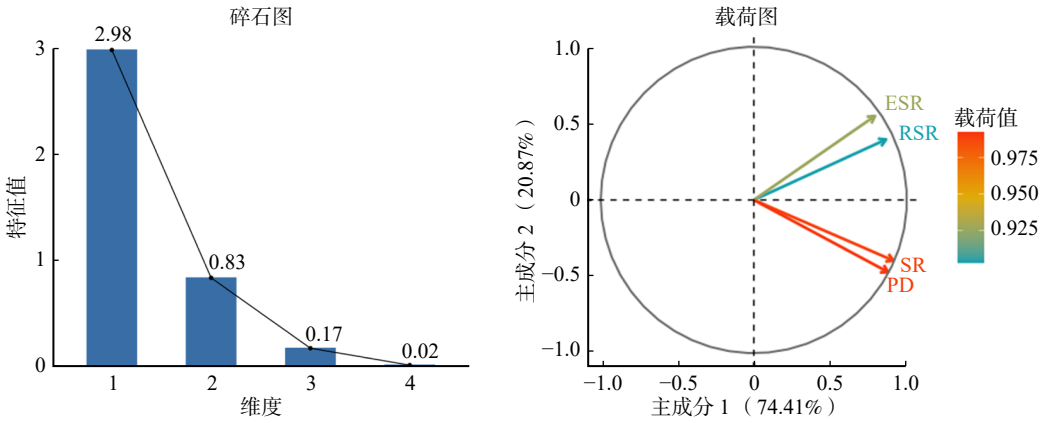
本研究收集整理塔里木河流域珍稀植物共 33 科 60 属 99 种、特有植物共 20 科 63 属 117 种。已有针对该流域植物资源调查的成果中收录了 19 科 23 属 35 种珍稀植物、37 科 133 属 263 种特有植物[27]。对比来看，本研究无论是珍稀植物还是特有植物，在科、属、种这 3 个水平上都出现了数量变



1. 塔什库尔干塔吉克自治县；2. 乌恰县；3. 叶城县；4. 阿克陶县；5. 和田县；6. 和田市；7. 策勒县；8. 若羌县；9. 和静县；10. 莎车县；11. 阿合奇县；12. 喀什市；13. 皮山县；14. 昆玉市；15. 阿图什市；16. 温宿县；17. 于田县；18. 且末县；19. 乌什县；20. 阿克苏市；21. 阿拉尔市；22. 库车市；23. 拜城县；24. 民丰县；25. 轮台县；26. 尉犁县；27. 柯坪县；28. 英吉沙县；29. 疏勒县；30. 疏附县；31. 泽普县；32. 和硕县；33. 库尔勒市；34. 铁门关市；35. 焉耆回族自治县；36. 阿瓦提县；37. 新和县；38. 博湖县；39. 沙雅县；40. 巴楚县；41. 图木舒克市；42. 墨玉县；43. 洛浦县；44. 伽师县；45. 麦盖提县；46. 岳普湖县。

图 4　塔里木河流域特有植物物种县域分布

Fig. 4　County-level distribution of endemic plant species in the Tarim River Watershed



SR.总物种丰富度；RSR.珍稀物种丰富度；ESR.特有物种丰富度；PD.系统发育多样性指数。

图 5　塔里木河流域 4 项植物多样性评价指标的主成分分析

Fig. 5　Principal component analysis on four indices related to plant species diversity in the Tarim River Watershed

化，且珍稀植物均呈上升趋势，特有植物均呈下降趋势。植物分类系统的更新是两者科属组成发生变化的原因之一。此外，近年来植物分布本底数据不断增加，其中不乏一些珍稀植物在研究区内被发现，加上《国家重点保护野生植物名录（2021）》、《新疆维吾尔自治区重点保护野生植物名录》和《中国生物多样性红色名录·高等植物卷（2020）》等资料的全面更新，导致部分植物加入名录或被移除，从而造成珍稀植物物种名录及其科、属数量发生变化并显著增多。在特有植物名录方面，本研究不仅收录了近年来在研究区内新发现的特有种，同时也剔除了许多由于野外分布地扩大或被其他物种合并而失去特有性的植物物种，进而导致特有植物的科、属、种数量下降。系统梳理这些更新与变化有助于进一步查清当前条件下研究区内珍稀、特有植物的资源本底。

在生活型组成方面，塔里木河流域珍稀、特有植物都以草本为主，灌木次之，乔木最少（图 1）。尤在特有植物中，草本植物占总种数的 88%，且无乔木植

表 2 塔里木河流域县域植物多样性保护优先区识别

Tab. 2 Identification of priority areas for conserving plant species diversity at the county level in the Tarim River Watershed

县域名称	物种丰富度	珍稀物种丰富度	特有物种丰富度	系统发育多样性指数	面积/km^2	保护指数
塔什库尔干塔吉克自治县	867	39	53	18 942.37	23 678	3.43
乌恰县	827	34	49	18 639.75	22 000	3.02
和静县	906	27	9	20 639.66	34 976	2.57
阿克陶县	752	27	21	17 688.93	25 059	1.87
叶城县	709	32	23	16 926.98	28 561	1.83
若羌县	766	21	11	16 686.52	202 300	1.37
以上县域所含物种占比/%	85.67	81.82	85.47			

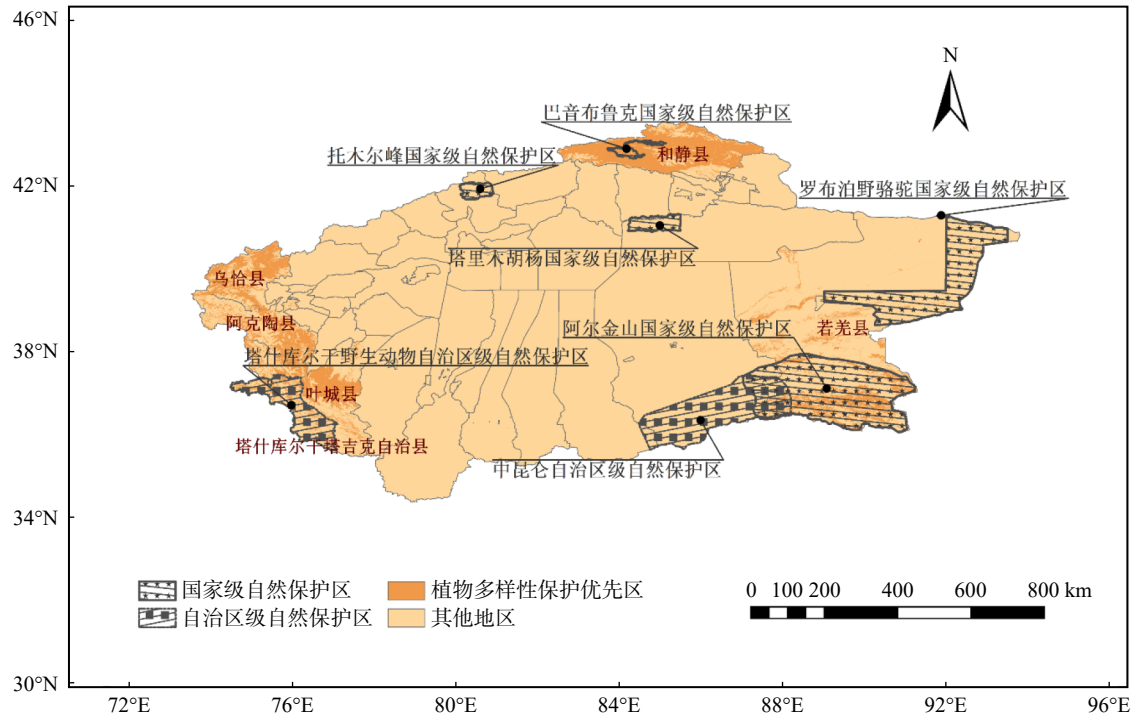


图 6 塔里木河流域植物多样性保护优先区与现有自然保护区的分布叠加

Fig. 6 Distribution of priority areas for conserving plant diversity overlaid with the distribution of existing nature reserves in the Tarim River Watershed

物。相比之下，全国范围内草本植物占所有特有种的 60%，乔木植物占 11%[37]。这种差异的可能原因，一方面，乔木受水分、温度限制，在荒漠区和高寒区的物种相对稀少，导致研究区内特有植物中的草本植物表现出明显的物种数量优势；另一方面，草本植物世代较短，能比木本植物更快地产生遗传变异[38]。因此，在塔里木河流域的荒漠、高原及河谷等干旱、高寒极端生境中，草本植物的特有化现象明显。

在科、属组成方面，塔里木河流域的珍稀植物以寡种科和单种科、寡种属和单种属为主（图 2a、2b），特有植物也多归于寡种属和单种属（图 2d）。研究区内复杂、多样且严酷的生境条件，一方面为这些植物提供了不同的选择压力与进化方向[8]，另一方面也阻碍了基因交流，这可能是珍稀、特有植物在科或属水平上分化程度较高的原因[39]。而本区的特有植物则以较大科和中等科占据明显的物种数量优势（图 2c），例如菊科、豆科、禾本科等。这几科也是世界维管植物物种分布数量排名前五的大科[40]，它们可能具备较强的环境适应性，因此在研究区内也得到了充分的物种分化，进而使得科内特有物种的组成表现出较高的多样性。

基于已厘清的塔里木河流域现有珍稀、特有植物资源本底数据，本研究继而深入分析了其生活型以及科、属组成，可为塔里木河流域植物种质资源的保护与利用提供基础数据。但由于研究数据均来源于公开发表的文献、专著及标本记录等，数据从野外

采集到鉴定公布存在一定滞后性，且少许物种名称、分布地尚存在争议。加之在检索标本信息过程中发现，多份标本存在以下问题：(1)部分物种采集年代久远，已多年没有新标本补充；(2)标本未拍照录入在线平台，仅可查看相关文字简介；(3)采集签难以辨认；(4)采集地名称仅为新疆或某地区，经纬度、海拔、生境等基础信息缺失。这些问题均可能导致分析结果的不确定性，限制后续研究的深入。因此，未来开展相应调查工作时，应及时更新数据，尽量避免上述问题，以提高研究成果的时效性和准确性。

3.2　塔里木河流域植物多样性分布特征与保护现状

从珍稀、特有植物的物种分布特征来看，研究区内的珍稀植物集中在西部的多个市县、中部的个别市县以及东部的几个市县，特有植物主要分布在西部地带以及东部的个别市县内。位于研究区中心的塔克拉玛干沙漠及其边缘地带，珍稀植物和特有植物物种数量相对稀少(图 3、4)。这种分布格局与研究区的地形地貌、水文条件及人为保护等因素密切相关。研究区西部是帕米尔高原[21]，多山且河流交错[20]，例如昆仑山、喀喇昆仑山、喀什噶尔河、塔什库尔干河、叶尔羌河等，形成了多样的生境，为众多物种提供了生态位。中部是塔里木河、阿克苏河、叶尔羌河、和田河等河流的交汇点，充足的水分可能是较多珍稀植物分布于此的重要原因。东部的珍稀植物和特有植物分布较多，不仅得益于孔雀河、开都河提供的充足水分，以及天山、阿尔金山位于其两侧形成的部分特殊生境，最重要的是该区域设有多个自然保护区，有效保护了物种生境，减少了人类活动干扰。

建立自然保护区是就地保护生物多样性的一种关键途径，也是保护物种及其生境最直接有效的方式[41−42]。但从植物多样性保护优先区与现有自然保护区的对比结果来看，研究区内现存自然保护区的覆盖存在一定的空白区(图 6)，例如，乌恰县、阿克陶县、叶城县等高原山区以及和静县等地，这些地方珍稀、特有植物分布众多，物种丰富度和系统发育多样性较高，但目前尚未被自然保护区覆盖。此外，现有保护区设立更多基于大型动物的数量、分布与迁徙，对于珍稀、特有植物考虑较少。因此，为了更加全面高效地保护区域植物多样性，建议扩大部分保护区面积或增设新的保护区，并加强对植物多样性和种质资源的保护，尤其是保护优先区面积较小却聚集众多植物物种的西部山区，进而最大限度地保育生物多样性和生态系统完整性。

然而，受限于数据可获得性，本研究植物分布数据只能精确到县域，限制了物种多样性分布格局的空间精度。随着未来更详细的野外调查数据积累，可进一步深入分析其分布特征，并精确识别植物保护优先区。此外，这些珍稀、特有物种分布的驱动因素以及对气候和土地利用变化的响应等问题，也有待进一步探索。

4　结　　论

本研究通过收集文献、专著、标本记录、在线数据库等多源数据资料，对塔里木河流域分布的珍稀、特有植物资源进行了名录整理，分析了这些植物的生活型组成、科属数量结构以及分布特征，识别出植物多样性保护优先区，并与现有自然保护区覆盖范围进行对比，得到以下主要结论。

(1)珍稀植物共计 33 科 60 属 99 种，以草本为主，灌木次之，乔木最少，并且在科、属水平上的分化程度均较高。

(2)特有植物共计 20 科 63 属 117 种，其中大部分为草本植物，并且在属水平上的分化程度较高。

(3)珍稀植物集中分布在研究区西部高原山区以及中部、东部的几个市县内，特有植物则主要分布在研究区西部高原山区以及东部的个别市县内，而两类植物在中心荒漠地带及其边缘地区分布均较少。

(4)共在 6 个县域内识别出植物多样性保护优先区，可覆盖研究区内植物总物种的 85.67%。相比之下，现有自然保护区的覆盖范围存在一定的保护空白区，建议考虑加强对当地珍稀、特有植物的保护力度，并重点关注乌恰县、阿克陶县、叶城县以及和静县等地。

参　考　文　献

[1] Wiens J J. Climate-related local extinctions are already widespread among plant and animal species[J]. PLoS Biology, 2016, 14(12): e2001104.

[2] Jaureguiberry P, Titeux N, Wiemers M, et al. The direct drivers of recent global anthropogenic biodiversity loss[J]. Science Advances, 2022, 8(45): eabm 9982.

[3] Humphreys A M, Govaerts R, Ficinski S Z, et al. Global dataset shows geography and life form predict modern plant extinction and rediscovery[J]. Nature Ecology & Evolution, 2019, 3(7): 1043−1047.

[4] Lughadha E N, Bachman S P, Leão T C C, et al. Extinction risk and threats to plants and fungi[J]. Plants People Planet, 2020, 2(5): 389−408.

[5] Liu Y P, Shen Z H, Wang Q G, et al. Determinants of richness patterns differ between rare and common species: implications for Gesneriaceae conservation in China[J]. Diversity and Distributions, 2017, 23(3): 235−246.

[6] Coelho N, Gonçalves S, Romano A. Endemic plant species conservation: biotechnological approaches[J]. Plants, 2020, 9(3): 345.

[7] 赵淑清, 方精云, 雷光春. 全球 200: 确定大尺度生物多样性优先保护的一种方法 [J]. 生物多样性, 2000, 8(4): 435−440.
Zhao S Q, Fang J Y, Lei G C. Global 200: an approach to setting large-scale biodiversity conservation priorities[J]. Chinese Biodiversity, 2000, 8(4): 435−440.

[8] 程芸, 袁磊. 新疆植物特有种的地理分布规律 [J]. 干旱区研究, 2011, 28(5): 854−859.
Cheng Y, Yuan L. Study on geographic distribution of endemic plant species in Xinjiang[J]. Arid Zone Research, 2011, 28(5): 854−859.

[9] Myers N, Mittermeier R A, Mittermeier C G, et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities[J]. Nature, 2000, 403: 853−858.

[10] 国家林业和草原局. 国家重点保护野生植物名录 [EB/OL]. (2021−09−08) [2024−11−21]. https://www.forestry.gov.cn/c/www/gkml/11057.jhtml.
National Forestry and Grassland Administration. List of national key protected wild plants[EB/OL]. (2021−09−08) [2024−11−21]. https://www.forestry.gov.cn/c/www/gkml/11057.jhtml.

[11] 生态环境部, 中国科学院. 关于发布《中国生物多样性红色名录·脊椎动物卷 (2020)》和《中国生物多样性红色名录·高等植物卷 (2020)》的公告 [EB/OL]. (2023−05−19) [2024−11−21]. https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk01/202305/t20230522_1030745.html.
Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China and Chinese Academy of Sciences. Released the red list of biodiversity in China: vertebrates (2020) and the red list of biodiversity in China: higher plants (2020)[EB/OL]. (2023−05−19) [2024−11−21]. https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk01/202305/t20230522_1030745.html.

[12] 新疆维吾尔自治区人民政府办公厅. 新疆维吾尔自治区重点保护野生植物名录 [EB/OL]. (2024−02−16) [2024−11−21]. https://www.xinjiang.gov.cn/xinjiang/zfgbml/202404/a60aa5e0c95f4150975f58d9c2264416.shtml.
General Office of the People's Government of Xinjiang Uygur Autonomous Region. List of wild plants under key protection in Xinjiang Uygur Autonomous Region[EB/OL]. (2024−02−16) [2024−11−21]. https://www.xinjiang.gov.cn/xinjiang/zfgbml/202404/a60aa5e0c95f4150975f58d9c2264416.shtml.

[13] 赵仁生, 许诗嘉, 宋鹏飞, 等. 青藏高原药用植物分布格局及保护优先区 [J]. 生物多样性, 2022, 30(4): 68−77.
Zhao R S, Xu S J, Song P F, et al. Distribution patterns of medicinal plant diversity and their conservation priorities in the Qinghai-Tibet Plateau[J]. Biodiversity Science, 2022, 30(4): 68−77.

[14] Faith D P. Biodiversity and evolutionary history: useful extensions of the PD phylogenetic diversity assessment framework[J]. Annals of the New York Academy of Sciences, 2013, 1289(1): 69−89.

[15] Molina-Venegas R, Rodríguez M A, Pardo-de-Santayana M, et al. Maximum levels of global phylogenetic diversity efficiently capture plant services for humankind[J]. Nature Ecology & Evolution, 2021, 5(5): 583−588.

[16] 刘端, 赵莉娜, 鲁丽敏, 等. 广西生物多样性保护优先区筛选 [J]. 植物资源与环境学报, 2022, 31(2): 1−9.
Liu D, Zhao L N, Lu L M, et al. Screening of conservation priority areas of biodiversity in Guangxi[J]. Journal of Plant Resources and Environment, 2022, 31(2): 1−9.

[17] 李志军, 黄文娟, 杨赵平, 等. 新疆塔里木盆地野生植物图谱 [M]. 北京: 科学出版社, 2013.
Li Z J, Huang W J, Yang Z P, et al. Native plants atlas in Tarim Basin of Xinjiang[M]. Beijing: Science Press, 2013.

[18] 张齐飞, 陈亚宁, 孙从建, 等. 塔里木河流域水储量变化及绿洲生态安全评估 [J]. 干旱区地理, 2024, 47(1): 1−14.
Zhang Q F, Chen Y N, Sun C J, et al. Changes in terrestrial water storage and evaluation of oasis ecological security in the Tarim River Basin[J]. Arid Land Geography, 2024, 47(1): 1−14.

[19] 王永刚, 叶强, 王艺菡, 等. 新疆分布的国家重点保护野生植物地理成分及分布特征 [J]. 植物资源与环境学报, 2022, 31(4): 20−27.
Wang Y G, Ye Q, Wang Y H, et al. Geographical components and distribution characteristics of national key protected wild plants distributed in Xinjiang[J]. Journal of Plant Resources and Environment, 2022, 31(4): 20−27.

[20] 杨淑萍, 姜洁, 阎平. 中国喀喇昆仑山珍稀濒危植物及特有种的生态地理分布 [J]. 自然资源学报, 2017, 32(11): 1919−1929.
Yang S P, Jiang J, Yan P. Eco-geographic distributions of rare and endangered plants and endemic species in Karakorum Mountains of China[J]. Journal of Natural Resources, 2017, 32(11): 1919−1929.

[21] 杨淑萍, 姜洁, 阎平. 中国帕米尔高原珍稀濒危植物及特有种的生态地理分布 [J]. 干旱区资源与环境, 2018, 32(1): 115−120.
Yang S P, Jiang J, Yan P. Eco-geographic distribution of rare and endangered plants and endemism in the Pamirs Region of China[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2018, 32(1): 115−120.

[22] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志 [M]. 1−80 卷. 北京: 科学出版社, 1959−2004.
Flora of China Editorial Committee of Chinese Academy of Sciences. Flora reipublicae popularis sinicae[M]. Vol. 1−80. Beijing: Science Press, 1959−2004.

[23] Wu Z Y, Raven P H, Hong D Y, et al. Flora of China[M]. Vol. 1−25. Beijing: Science Press, 1994.

[24] 新疆植物志编辑委员会. 新疆植物志 [M]. 1−6 卷. 乌鲁木齐: 新疆科技卫生出版社, 1991−2011.
Editorial Committee of Flora of Xinjiang. Flora of Xinjiang[M]. Vol. 1−6. Urumqi: Xinjiang Science and Health Publishing House, 1991−2011.

[25] 新疆植物志编辑委员会. 新疆植物志 (增补卷)[M]. 乌鲁木齐: 新疆科学技术出版社, 2019.
Editorial Committee of Flora of Xinjiang. Flora of Xinjiang

(supplementary volume)[M]. Urumqi: Xinjiang Science and Technology Publishing House, 2019.

[26] 卢琦, 王继和, 褚建民. 中国荒漠植物图鉴 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2012.
Lu Q, Wang J H, Chu J M. Desert plant in China[M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2012.

[27] 李志军, 张玲, 邱爱军, 等. 新疆塔里木盆地特有和珍稀维管植物 [M]. 北京: 科学出版社, 2015.
Li Z J, Zhang L, Qiu A J, et al. Endemic and rare vascular plants in Tarim Basin of Xinjiang[M]. Beijing: Science Press, 2015.

[28] 陈慧妹, 李文军, 邱娟, 等. 新疆野生维管植物名录 [J]. 生物多样性, 2023, 31(9): 56−62.
Chen H M, Li W J, Qiu J, et al. A checklist of wild vascular plants in Xinjiang, China[J]. Biodiversity Science, 2023, 31(9): 56−62.

[29] 李新荣, 李小军, 刘光琇. 中国寒区旱区常见荒漠植物图鉴: 旱区植物卷 [M]. 北京: 科学出版社, 2012.
Li X R, Li X J, Liu G X. Illustration of common desert plants in cold and arid regions of China: plants in arid regions[M]. Beijing: Science Press, 2012.

[30] 李新荣, 李小军, 刘光琇. 中国寒区旱区常见荒漠植物图鉴: 寒区植物卷 [M]. 北京: 科学出版社, 2012.
Li X R, Li X J, Liu G X. Illustration of common desert plants in cold and arid regions of China: plants in cold regions[M]. Beijing: Science Press, 2012.

[31] 谷安琳, 王宗礼. 中国北方草地植物彩色图谱 [M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2009.
Gu A L, Wang Z L. Atlas of rangeland plants in northern China[M]. Beijing: Agricultural Science and Technology Press, 2009.

[32] 谷安琳, 王宗礼. 中国北方草地植物彩色图谱 (续编)[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2011.
Gu A L, Wang Z L. Atlas of rangeland plants in northern China (supplement)[M]. Beijing: Agricultural Science and Technology Press, 2011.

[33] 谭卫宁, 罗柳娟, 农素芸, 等. 广西木论国家级自然保护区植物物种多样性初步研究 [J]. 广西植物, 2023, 43(12): 2182−2195.
Tan W N, Luo L J, Nong S Y, et al. Primary study on species diversity of plant in Guangxi Mulun National Nature Reserve[J]. Guihaia, 2023, 43(12): 2182−2195.

[34] 程晓瑜, 吕洁华. 塔里木河流域碳储量的气候影响机制及地形分异下的归因 [J]. 干旱区研究, 2024, 41(5): 865−875.
Cheng X Y, Lü J H. Mechanism of climate influence on carbon storage in the Tarim River Basin and attribution under topographic differentiation[J]. Arid Zone Research, 2024, 41(5): 865−875.

[35] 赵莉娜, 鲁丽敏, 单章建, 等. 基于植物大数据的自然保护地识别和资源利用规划 [J]. 植物资源与环境学报, 2022, 31(4): 1−10.
Zhao L N, Lu L M, Shan Z J, et al. Natural protection area identification and resource utilization planning based on botanical big data[J]. Journal of Plant Resources and Environment, 2022, 31(4): 1−10.

[36] 田瑜, 李俊生.《昆明−蒙特利尔全球生物多样性框架》“3030”目标的内涵及实现路径分析 [J]. 生物多样性, 2024, 32(6): 145−158.
Tian Y, Li J S. Analysis of the connotation and implementation path for the 30 by 30 target in the Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework[J]. Biodiversity Science, 2024, 32(6): 145−158.

[37] 黄继红, 马克平, 陈彬. 中国特有种子植物的多样性及其地理分布 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2014.
Huang J H, Ma K P, Chen B. Diversity and geographic distribution of endemic species of seed plants in China[M]. Beijing: Higher Education Press, 2014.

[38] 黄俞淞, 吴望辉, 蒋日红, 等. 广西弄岗国家级自然保护区植物物种多样性初步研究 [J]. 广西植物, 2013, 33(3): 346−355.
Huang Y S, Wu W H, Jiang R H, et al. Primary study on species diversity of plant in Longgang National Nature Reserve of Guangxi[J]. Guihaia, 2013, 33(3): 346−355.

[39] 冯建孟, 朱有勇. 滇西北地区种子植物地理分布及区系分化 [J]. 西北植物学报, 2009, 29(11): 2312−2317.
Feng J M, Zhu Y Y. Geographical patterns and flora differentiation of seed plants in northwest Yunnan, China[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2009, 29(11): 2312−2317.

[40] 钱宏, 张健, 赵静超. 世界上已知维管植物有多少种? 基于多个全球植物数据库的整合 [J]. 生物多样性, 2022, 30(7): 33−37.
Qian H, Zhang J, Zhao J C. How many known vascular plant species are there in the world? An integration of multiple global plant databases[J]. Biodiversity Science, 2022, 30(7): 33−37.

[41] Liu Y, Zhao W W, Zhang Z J, et al. The role of nature reserves in conservation effectiveness of ecosystem services in China[J]. Journal of Environmental Management, 2023, 342: 118228.

[42] 赵卫, 王昊, 肖颖, 等. 气候变化对野生生物类自然保护区的影响及其风险 [J]. 生态学报, 2023, 43(13): 5270−5280.
Zhao W, Wang H, Xiao Y, et al. Effect and risk of climate change on wildlife nature reserves[J]. Acta Ecologica Sinica, 2023, 43(13): 5270−5280.

（责任编辑　孟　瑶
责任编委　孟　平）