

DOI: 10.20103/j.stxb.202406121363

王锐锋, 朱舒欣, 郭子良, 林海, 王清春, 崔国发. 新疆自然保护综合地理区划. 生态学报, 2025, 45(2): 539-553.

Wang R F, Zhu S X, Guo Z L, Lin H, Wang Q C, Cui G F. The comprehensive geographical regionalization supporting natural conservation in Xinjiang. Acta Ecologica Sinica, 2025, 45(2): 539-553.

新疆自然保护综合地理区划

王锐锋¹, 朱舒欣¹, 郭子良², 林 海¹, 王清春¹, 崔国发^{1,*}

¹ 北京林业大学生态与自然保护学院, 北京 100083

² 中国林业科学研究院生态保护与修复研究所, 北京 100091

摘要: 综合地理区划全面地反映了自然界的区域分异, 但当前研究仍缺乏结合生物、非生物以及地貌等多重因素的综合考量。目前以国家公园为主体的自然保护地体系建设已卓有成效, 亟需从区域角度提出兼顾自然地理特征和生物分异格局的区划方案。以综合性、地带性与非地带性相结合、生物因子与非生物因子相结合为区划原则, 采用热量、水分、土壤、植被和动物地理分布等 5 项指标, 通过自组织特征映射模型(SOFM)综合聚类, 以聚类结果为基础, 结合山系山脉界线及地貌完整性, 按照“自上而下”的原则划分区划单元, 根据新疆全域野外科学考察结果和卫星遥感三维影像加以修正, 同时充分考虑新疆自然保护地的分布情况, 保证了区划的客观性、科学性、系统性、准确性和适用性。新疆自然保护综合地理区划方案共分为四级, 包括了 5 个自然保护地理大区(一级区)、11 个自然保护地理地区(二级区)、21 个自然保护地理亚地区(三级区)和 48 个自然保护地理小区(四级区), 其中, 一级区划与新疆“三山夹两盆”的地形分布格局相协调, 划分为阿尔泰山 I、准噶尔盆地-北塔山 II、天山山地 III、塔里木盆地-吐哈盆地 IV 和昆仑山-阿尔金山 V。研究梳理了自然保护地理单元内的自然保护地及主要保护对象等, 该区划方案与新疆自然保护地分布较为吻合, 绝大多数自然保护地都未跨越自然保护地理亚地区, 各自然保护地理单元内的物种在地理分布上也相对不隔离, 同一自然保护地理单元内的自然保护地可组成以保护关键种、伞护种或旗舰种为目标的自然保护地群, 以此构建区域自然保护地网络, 提高生态系统连通性。该区划方案对新疆生物多样性保护、以国家公园为主体的自然保护地体系建设和生境廊道构建具有重要的指导作用, 同时也为其他省份乃至全国的自然保护综合地理区划提供理论依据和参考借鉴。

关键词: 新疆; 自然保护; 地理区划; 自组织特征映射模型(SOFM)

The comprehensive geographical regionalization supporting natural conservation in Xinjiang

WANG Ruifeng¹, ZHU Shuxin¹, GUO Ziliang², LIN Hai¹, WANG Qingchun¹, CUI Guofa^{1,*}

¹ School of Ecology and Nature Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

² Institute of Ecological Protection and Restoration Research, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China

Abstract: Comprehensive geographical division systematically reflects the regional differentiation of nature. However, current research still lacks an integrated consideration of multiple factors, including biotic, abiotic, and geomorphologic. At present, the construction of nature reserve system with national parks as the mainstay has achieved fruitful results. It is urgent to put forward a zoning plan that takes into account both natural geographical characteristics and biological differentiation pattern from a regional perspective. Taking comprehensiveness, combination of zonality and non-zonality, combination of biological factors and abiotic factors as the basic principles of zoning. Adopting five indexes such as heat, moisture, soil, vegetation, and animals' geographical distribution. Through the Self-Organizing Feature Map (SOFM)

基金项目: 第三次新疆综合科学考察——自然保护地体系总体布局与区域协调发展路径(2021xjkk1206)

收稿日期: 2024-06-12; **网络出版日期:** 2024-10-15

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: fa6716@163.com

comprehensive cluster, based on cluster results, and combined with the boundary of mountain range and the integrity of landform zoning units was delineated in the top-down principle. Corrected on the basis of the Xinjiang territory-wide field scientific investigation results and satellite remote sensing three-dimensional imagery, while taking full account of the distribution of natural protected areas in Xinjiang. It ensures the objectivity, scientificity, systematicness, accuracy, and applicability of zoning. Finally, the comprehensive geographical regionalization of Xinjiang was divided into four levels, including 5 zones (first level zoning), 11 regions (second level zoning), 21 subregions (third level zoning), and 48 areas (fourth level zoning). In which, the first level zoning was in harmony with the topographic distribution pattern of “three mountains and two basins” in Xinjiang. It was divided into the Altai Mountains I, the Junggar Basin-Beita Mountain II, the Tianshan Mountains III, the Tarim Basin-Tuha Basin IV, and the Kunlun Mountains-Altun Mountains V. This study generalized the natural protected areas and main protected objects in natural conservation geographical unit. The zoning scheme was in good agreement with the distribution of nature protected areas in Xinjiang. The vast majority of natural protected areas do not cross natural conservation geographical subregion, and the geographical distribution of species in each natural conservation geographical unit was also relatively non-isolated. Natural protected areas within the same natural conservation geographical unit can be organized into clusters of natural protected areas aimed at protecting keystone species, umbrella species, or flagship species to building a regional network of natural protected areas and improving ecosystem connectivity. The zoning scheme will play an important guiding role in biodiversity protection, natural protected area system with national parks as the mainstay and habitat corridor construction in Xinjiang. Furthermore, it also provides theoretical basis and reference for the comprehensive geographical zoning of natural conservation in other provinces and even the whole country.

Key Words: Xinjiang; natural conservation; geographical regionalization; Self-Organizing Feature Map (SOFM)

区划是对地域差异性和相似性的综合分类,从区域角度揭示地域综合体的形成发展、分异组合及内在联系^[1]。自然地理区划根据地表自然界的异同将地域加以划分,以此探讨自然综合体的特征及其发生、发展与分布的规律性,全面地反映自然界的分异,为生物多样性保护、自然保护区建设提供科学依据^[1-3]。自然保护区综合地理区划是自然地理区划的一个重要方面,主要基于自然环境要素和生物分布特征进行区划,其区划方案将对生物多样性保护策略与行动计划的制定具有重要的参考价值和现实意义^[4],尤其是为以国家公园为主体的自然保护区体系建设和生境廊道构建提供重要的依据。

国外区划工作起源于 19 世纪初,Hommeyer 提出大区域(Land)、区域(Land-schaft)、地区(Gegend)和小区(Ort)四级体系,开创了现代自然区划研究的先河^[1]。20 世纪初,Herbertson^[5]依据地形、气候和植被等因素划分了全球自然区。1972 年,Dasmann^[6]首次提出基于动植物区系的全球生物群系分省划定方案,为国家公园及自然保护区的保护和发展提供重要参考;在此基础上,Udvardy^[7]编制了全球生物地理省分类的区划方案,并建议在每个生物地理省建立生物圈保护区。2007 年,Spalding 等^[8]提出了全球的海洋生态区划。2020 年,Macias 等^[9]从地貌和景观的角度进行了自然地理区划。国外研究学者从多个角度为区划体系建立奠定了基础,为自然区划研究提供了理论依据和切实指引。

自 20 世纪 50 年代以来,我国自然地理区划和生物地理区划研究发展迅速^[10]。1954 年起,林超^[11]、冯绳武^[12]、黄秉维^[2]和侯学煜等^[13]学者相继提出了服务于土地和水资源利用、农林牧副渔发展方向的中国自然区划方案。1983 年,赵松乔^[3]总结了已有的较有影响力的区划方案,并以为农业服务为原则,提出了综合自然地理区划的新方案。这一阶段的区划研究受限于当时的计算机和遥感技术,区划方案中的边界较为模糊。20 世纪 90 年代以后,区划工作进入了新的发展阶段,众多学者展开了多个学科领域的综合研究。倪健等^[14]主要基于植被因素提出了生态地理区划方案,采用了模糊聚类得到散点图,通过插值和均衡扩散将其转换为分布图,以此确定了边界并划分为不同区域;傅伯杰等^[15]结合人类活动影响对生态环境进行了区域划分;王

玺婧等^[16]以区域水分状况为主导因素提出了荒漠生态系统的生态地理分区。然而这些区划大多以单一因素为目标,而不是多因素共同主导,不能满足区域生物多样性保护和自然保护地体系建设的需要。2014年,郭子良等^[4]综合考虑了气候、土壤、植物、动物和植被等5个方面,提出了中国自然保护综合地理区划,为区域生物多样性政策的制定提供了科学依据。近年来,我国的区划工作更多地聚焦于生态地理方面,并侧重于生态保护修复^[17-19],少有自然保护方面的区划研究,也缺乏关于空间上物种地理隔离程度的考虑。在人类活动加剧和全球气候变化的背景下,建设自然保护地是减缓生物多样性丧失的有效途径^[20]。其中,国家公园是最重要的自然保护地类型^[21],其空间布局是自然保护地体系规划的关键,由于我国的自然生态系统类型多样且地域分异明显,划分地理单元以在区域内评价筛选国家公园候选区是亟需解决的问题^[22]。

新疆是我国生物多样性最丰富的地区之一,目前已有气候^[23]、地貌^[24]、生态功能^[25]和农业^[26]等方面的区划研究,但尚未提出针对生物多样性保护和自然保护地体系建设的综合自然地理区划。本研究以新疆为研究区,基于热量、水分、土壤、植被和动物地理分布等方面,采用自组织特征映射模型(Self-Organizing Feature Map, SOFM)的聚类方法,综合山脉山峰及地貌完整性提出四级自然保护综合地理区划方案,区划时将具有共同特征的网格划分到同一单元中,并根据野外科学考察结果和卫星遥感三维影像进行修正。此外,还考虑了新疆自然保护地空间分布特征,除极少数自然保护区外,其他自然保护地几乎都未跨越自然保护地理亚地区。自然保护地理单元内的物种在地理上也是相对不隔离的。同时,本文阐述了各自然保护地理大区的特征与资源概况,梳理了自然保护地理单元内的自然保护地及主要保护对象、重要自然保护地之间的关系等,对于推动新疆自然保护地体系科学布局、国家公园候选区选址与范围划定、保护空缺识别和生境廊道构建具有重要意义,也能为省域自然地理区划提供参考。

1 区划原则

1.1 综合性

综合地理区划研究旨在综合反映某一地区的地域分异,主要体现在指标选择的综合性和区划考虑因素的全面性^[4,27]。指标体系是综合地理区划的基本依据^[28],但数量分类方法只能保证区划结果的客观性,并不能呈现相邻基本地理单元的关联程度^[4]。因此,区划时还需全面考虑山系山脉及地貌等因素,并根据野外科学考察和卫星遥感三维影像加以修正。

1.2 地带性与非地带性相结合

地域分异是地带性和非地带性因素相互制约、共同作用的结果^[18]。热量、水分、土壤、植被和动物界等自然带组成要素之间存在着特殊的有规律的联系,使之具有地带性^[29],而地质地貌等非地带性因素加剧了地带性的分异,导致地貌类型的界线常作为各级自然保护综合体的界线^[30]。

1.3 生物因子与非生物因子相结合

热量、水分、土壤等非生物因子对区域自然地理环境有重要影响^[4],植被和动物等生物因子随着自然地理环境变化而产生的空间格局具有地域异质性^[31-32]。生物因子与非生物因子在长期作用下相互适应,将两者结合能较为全面地反映某一地区的地域性差异。

2 研究区域概况

新疆维吾尔自治区位于亚欧大陆腹部,中国西北部,总面积 $1.66 \times 10^6 \text{ km}^2$,约占我国国土面积的1/6,与俄罗斯、哈萨克斯坦、吉尔吉斯斯坦、塔吉克斯坦、巴基斯坦、蒙古、印度、阿富汗等8个国家接壤,是连接亚欧的枢纽中心、“一带一路”发展建设的核心区,具有重要的地理位置和战略意义^[33-34]。同时,新疆也是我国西部重要生态屏障和生态环境脆弱区,在维护国家生态安全中具有特殊且关键的地位^[35]。新疆属于典型的温带大陆性干旱气候,年均气温约为 8.32°C ,多年平均降水量 159.43 mm ,年均日照时数为 2836 h ^[36-37]。北有阿尔泰山,南有昆仑山,中有横亘全疆的天山,三大山系之间为准噶尔盆地和塔里木盆地,构成了独特的“三山

夹两盆”地理环境特征^[38]。

新疆自然景观多样,拥有森林、草原、湿地、荒漠、沙漠和高原苔地等多种生态系统类型^[39]。疆内野生动植物资源丰富,分布有脊椎动物 733 种、无脊椎动物 1 万余种,列入国家重点保护的野生动物 178 种,其中国家 I 级保护野生动物 45 种、国家 II 级保护野生动物 133 种;野生高等植物 4019 种,列入国家重点保护的野生植物 38 种,包括国家 I 级保护野生植物 1 种、国家 II 级保护野生植物 37 种^[40—41],是普氏野马(*Equus ferus*)、野骆驼(*Camelus ferus*)、雪豹(*Panthera uncia*)等珍稀濒危物种的集中分布区,也是雪岭云杉(*Picea schrenkiana*)林、新疆五针松(*Pinus sibirica*)林、新疆野苹果(*Malus sieversii*)等珍稀生态系统的典型分布区^[42]。

研究组于 2022 年 7 月—8 月和 2023 年 6 月—11 月前往新疆进行野外科学考察,全程共 30235.68 km(图 1),详细考察了新疆各地州市的气候特征、土壤类型以及植被和动物分布。



图 1 2022—2023 年新疆全域野外科考路线图

Fig.1 Roadmap for field science expeditions throughout Xinjiang, 2022—2023

3 区划数据

依据上述的区划原则,选取了 5 项自然保护区划指标,包括热量、水分、土壤、植被和动物地理分布,区划数据如表 1 所示。

3.1 热量分布

$\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温是表征地区热量的标尺^[45],也是划分气候带的主要热量指标^[46—48]。 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温的数据分类参考了暖温带、中温带和寒温带的气候带划分标准^[47],划分为 6 类(图 2 和表 2)。

3.2 水分分布

干燥度是可能蒸发量与降水量的比值,用于表征水分状况和区域湿润情况^[46—48]。干燥度的数据分类参考了极干旱、干旱、半干旱、半湿润和湿润的级别划分标准^[47],划分为 10 类(图 3 和表 2)。

表 1 自然保护区划指标数据来源
Table 1 The data source of natural conservation zoning index

自然保护区划指标 Natural conservation zoning index	数据 Data	来源 Source
热量分布 Heat distribution	≥10℃ 积温(1981—2010)	Chelsa Climate (https://chelsa-climate.org/downloads/)
水分分布 Moisture distribution	中国 1km 逐年干燥度数据集(1981—2010)	国家青藏高原科学数据中心 (https://www.tpc.ac.cn/home)
土壤分布 Soil distribution	中国土壤类型空间分布数据 (《1:100 万中华人民共和国土壤图》,全国土壤普查办公室,1995)	资源环境科学数据平台 (https://www.resdc.cn/)
植被分布 Vegetation distribution	中华人民共和国植被图(1:1000000) ^[43]	中国科学院植物科学数据中心 (https://www.plantplus.cn/cn)
动物地理分布 Animals' geographical distribution	中国动物地理区划 ^[44]	《中国动物地理》

3.3 土壤分布

土壤是受气候、生物、地形等因素长期演化形成的复杂自然综合体^[49—50],我国土壤系统分类为多级分类制,包括土纲、亚纲、土类、亚类、土族和土系等 6 级^[51]。考虑到区划数据的空间适配性,本文选取土壤分类系统的最高单元——土纲,作为土壤分布的分类依据,共 12 类(图 4 和表 2)。

3.4 植被分布

植被是热量、水分和土壤等自然环境因素长期综合作用的产物^[32]。植被类型是植被区划的基础,陆地的植被可以根据群落的组成划分为不同的植被类型,包括植被型组、植被型、群系组、群系和群丛等不同级别^[52]。考虑到区划数据的空间适配性,本文选取中国植被图中的植被型作为植被分布的分类依据,共 12 类(图 5 和表 2)。

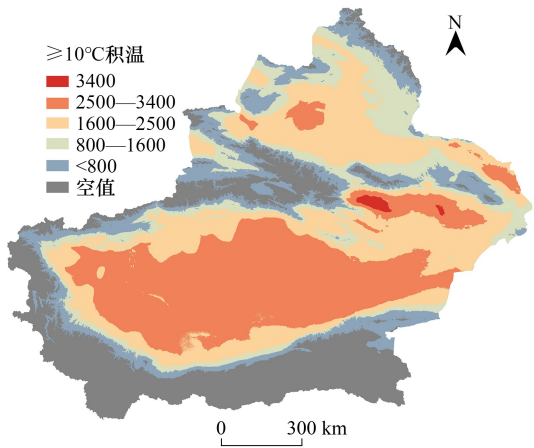


图 2 新疆 ≥10℃ 积温分布(1981—2010 年)

Fig.2 The distribution of ≥10℃ accumulated temperature in Xinjiang (1981—2010)

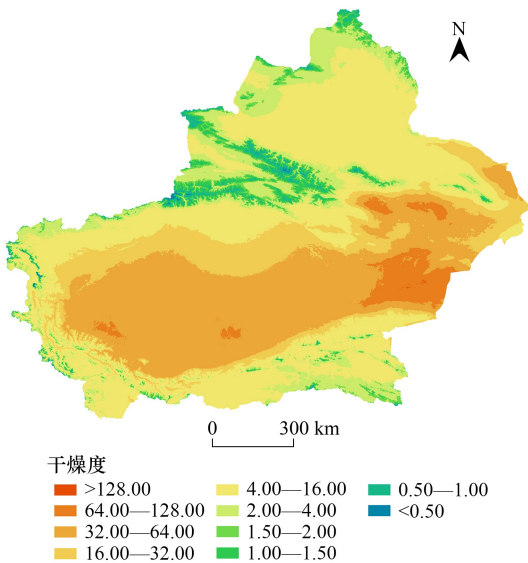


图 3 新疆 1km 逐年干燥度数据集(1981—2010 年)

Fig.3 The annual dryness data set of 1km in Xinjiang (1981—2010)

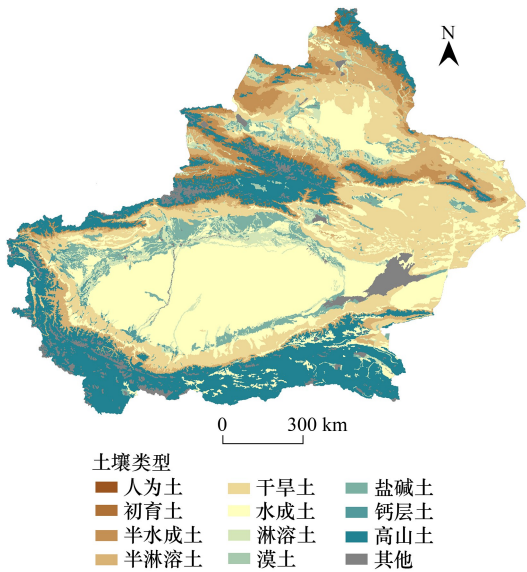


图 4 新疆土壤类型空间分布

Fig.4 The spatial distribution of soil types in Xinjiang

3.5 动物地理分布

动物地理区划旨在表明动物分布的区域差异,区划界线代表了分布的阻碍,是动物区系中大多数成分的分
布边界,中国动物地理区划包括界、亚界、区、亚区和省等 5 个层级^[44]。考虑到区划数据的空间适配性,本
文选取中国动物地理区划中的动物地理省作为动物地理分布的分类依据,共 8 类(图 6 和表 2)。

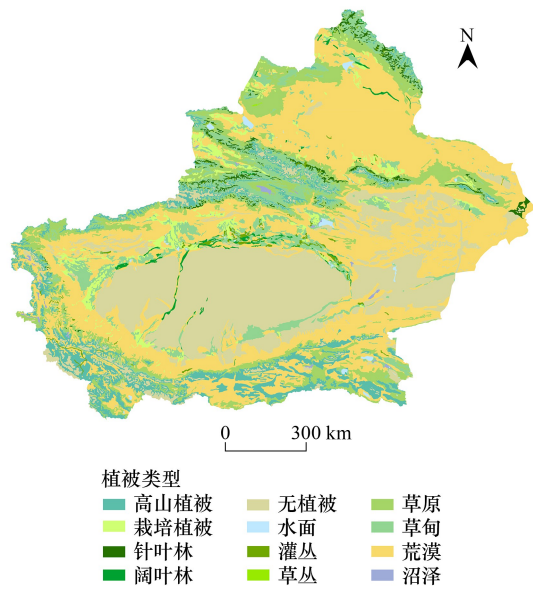


图 5 新疆植被图
Fig.5 The vegetation map in Xinjiang

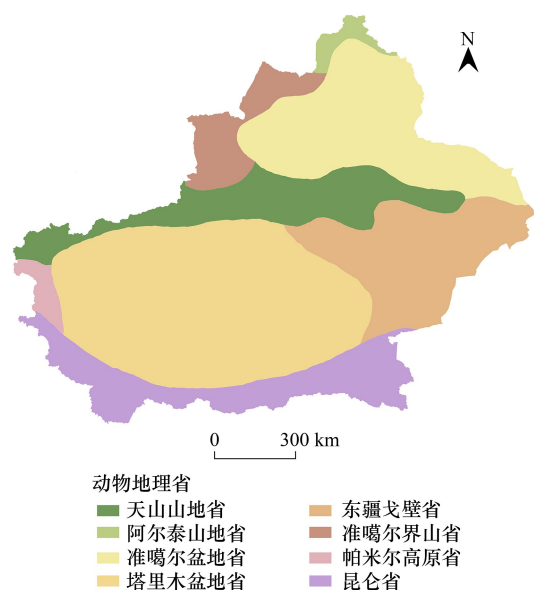


图 6 新疆动物地理区划
Fig.6 The zoogeographic region in Xinjiang

表 2 自然保护区划指标体系

Table 2 The natural conservation zoning index system

区划指标 Zoning index	区划数据 Zoning data	指标分类 Index classification
热量分布 Heat distribution	$\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温	$>3400^{\circ}\text{C}$ (暖温带) 2500—3400 $^{\circ}\text{C}$ (中温带) 1600—2500 $^{\circ}\text{C}$ (中温带) 800—1600 $^{\circ}\text{C}$ (寒温带) $<800^{\circ}\text{C}$ (寒温带) 空值
水分分布 Moisture distribution	干燥度	$>128.00, 64.00—128.00, 32.00—64.00, 16.00—32.00$ (极干旱) 4.00—16.00 (干旱) 2.00—4.00, 1.50—2.00 (半干旱) 1.00—1.50 (半湿润) 0.50—1.00, <0.50 (湿润)
土壤分布 Soil distribution	土纲	人为土、初育土、半水成土、半淋溶土、干旱土、水成土、淋溶土、漠土、盐碱土、钙层土、高山土、其他
植被分布 Vegetation distribution	植被型	高山植被、栽培植被、针叶林、阔叶林、无植被、水面、灌木、草丛、草原、草甸、荒漠、沼泽
动物地理分布 Animals' geographical distribution	动物地理省	天山山地省 (山地森林、草原动物群) 阿尔泰山地省 (山地泰加林、草原动物群) 准噶尔盆地省 (中温带荒漠动物群) 塔里木盆地省 (暖温带荒漠动物群) 东疆戈壁省 (戈壁荒漠动物群) 准噶尔界山省 (山地灌木、荒漠草原动物群) 帕米尔高原省 (高山草原动物群) 昆仑省 (高山寒漠动物群)

4 区划方法

4.1 自然保护区划指标聚类

新疆行政界线矢量数据来源于第三次新疆综合科学考察专项“科考数据平台与标准体系建设(2021xjkk1300)”(<https://www.xjsedata.cn/home>),该数据已按新疆测绘成果中心提供的标准数据更新至2021年。通过 ArcGIS 10.6 将新疆全域划分为 3 km×3 km 的 182781 个网格,将热量、水分、土壤、植被和动物地理分布等 5 项自然保护区划指标的栅格图层分别用网格切割,得到每个网格的各项指标类型(表 2),运用 R 语言 kohonen 程序包,通过自组织特征映射模型(Self-Organizing Feature Map, SOFM)对网格指标进行综合聚类。

SOFM 模型是一种无监督、竞争学习的数据聚类 and 可视化算法^[53],1981 年由芬兰学者 Kohonen 提出^[54],能较好地完成多指标分类问题^[55]。它由输入层和竞争层组成,输入层样本的分类指标数即表示节点或神经元的数量,竞争层的神经元以二维形式排列成节点矩阵^[56],每个神经元随机赋予权值进行无监督训练。选择最小距离的竞争层神经元作为获胜神经元,以获胜神经元为中心,按距离远近不同程度地调整优胜邻域内所有神经元的权值,反复迭代计算,最终特征相似的输入数据较靠近,差异较大的数据相分离,来实现对输入数据的分类^[57-59]。本研究中输入层包括热量、水分、土壤、植被和动物地理分布等 5 项自然保护区划指标(表 2),竞争层神经元以 3×4 的矩阵排列,反复迭代计算得到聚类值。将聚类值赋到网格中,利用 ArgGIS 10.6 将其融合,得到自然保护综合聚类结果,作为划分区划单元的基础。

4.2 聚类结果划分及命名

以自然保护综合聚类结果为基础,按照“自上而下”的原则划分区划单元,形成“大区-地区-亚地区-小区”4 级区划方案^[60-61],并采用自然名称命名法^[24],以山脉、盆地、水系和沙漠戈壁等名称为区划单元命名^[62-63]。一级区划以自然保护综合聚类结果为基础划分,为自然保护地理大区,编码采用大写罗马数字(I、II、III…);二级区划以自然保护综合聚类结果为基础,在一级区划内依据山系山脉界线进行划分^[64],为自然保护地理地区,编码采用阿拉伯数字(1、2、3…);三级区划以自然保护综合聚类结果为基础,在二级区划内依据地貌的完整性进行划分,为自然保护地理亚地区,编码采用大写英文字母(A、B、C…);四级区划依据地貌类型及界线在三级区划内进行划分,为自然保护地理小区,编码采用(1)、(2)、(3)。

结合 2022—2023 年新疆全域野外科学考察结果和卫星遥感三维影像,对各级区划边界进行修正。

5 结果与分析

5.1 新疆自然保护综合聚类结果

全面考虑可以反映区域自然地理特征的生物和非生物因素及其指标数据的空间适配性,量化处理后得到新疆自然保护综合聚类结果(图 7),图中的类型仅代表具有共同特征的网格聚集形成的单元,不指代具体内容或分区。

5.2 新疆自然保护综合地理区划方案

依据自然保护综合聚类结果(图 7),结合山系山脉界线及地貌完整性,提出了新疆自然保护综合地理区划方案(表 3)。区划方案包括 5 个一级区(自然保护地理大区)、11 个二级区(自然保护地理地区)、21 个三级区

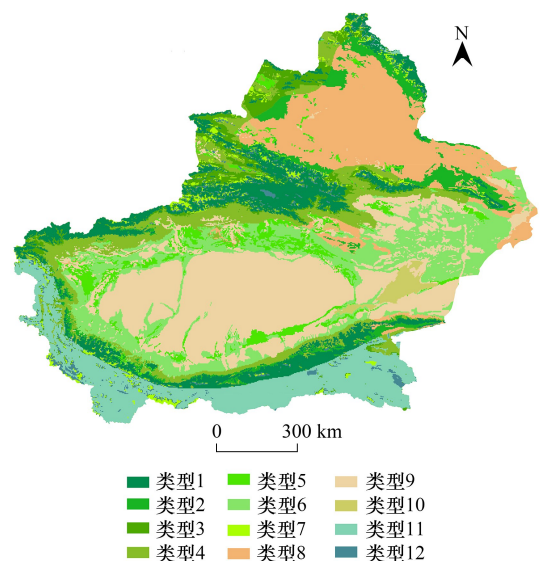


图 7 新疆自然保护综合聚类结果

Fig.7 The comprehensive cluster results of natural conservation in Xinjiang

(自然保护地理亚地区)和 48 个四级区(自然保护地理小区)。

表 3 新疆自然保护综合地理区划方案

Table 3 The scheme of natural conservation comprehensive geographical regionalization in Xinjiang

自然保护地理大区 Natural conservation geographical zone	自然保护地理地区 Natural conservation geographical region	自然保护地理亚地区 Natural conservation geographical subregion	自然保护地理小区 Natural conservation geographical area
阿尔泰山 I Altai Mountains I	阿尔泰山 I 1	阿尔泰山 I 1A	阿尔泰山高山 I 1A(1) 阿尔泰山中低山 I 1A(2)
准噶尔盆地-北塔山 II Junggar Basin-Beita Mountain II	准噶尔盆地 II 1	额尔齐斯河-乌伦古河流域及平原 II 1A 古尔班通古特沙漠 II 1B 天山北麓山地及平原 II 1C	额尔齐斯河-乌伦古河流域及平原 II 1A(1) 古尔班通古特沙漠 II 1B(1) 天山北麓山地及平原 II 1C(1)
	北塔山-三塘湖戈壁 II 2	北塔山-三塘湖戈壁 II 2A	卡拉麦里 II 2A(1) 北塔山 II 2A(2) 三塘湖戈壁 II 2A(3)
天山山地 III Tianshan Mountains III	准噶尔西部山地 III 1	准噶尔西部山地 III 1A	塔尔巴哈台山-萨吾尔山-吾尔喀什尔山 III 1A(1) 巴尔鲁克山-玛依勒山-加依尔山 III 1A(2)
	天山山脉 III 2	北天山 III 2A 东天山 III 2B 南天山 III 2C	依连哈比尔尕山 III 2A(1) 阿拉套山-博罗科努山 III 2A(2) 博格达山 III 2B(1) 巴里坤山-莫钦乌拉山-喀尔力克山 III 2B(2) 阿拉沟山 III 2C(1) 比伊克山-那拉提山-额尔宾山 III 2C(2) 科克铁克山-霍拉山 III 2C(3) 哈尔克他乌山 III 2C(4) 天山南脉 III 2C(5)
	伊犁河谷 III 3	伊犁河谷 III 3A	伊犁河-巩乃斯河流域 III 3A(1) 特克斯河-大古尔格朗河流域 III 3A(2)
塔里木盆地-吐哈盆地 IV Tarim Basin-Tuha Basin IV	塔里木盆地 IV 1	天山南麓山地及平原 IV 1A	拜城盆地 IV 1A(1) 阿克苏河-塔里木河流域 IV 1A(2) 柯坪山 IV 1A(3) 喀什三角洲 IV 1A(4) 叶尔羌河流域 IV 1A(5)
		塔克拉玛干沙漠 IV 1B	塔克拉玛干沙漠西部 IV 1B(1) 塔克拉玛干沙漠东部 IV 1B(2)
		库鲁克库姆沙漠-库姆塔格沙漠 IV 1C	库鲁克库姆沙漠-罗布泊 IV 1C(1) 库姆塔格沙漠 IV 1C(2)
		昆仑山北麓山地及平原 IV 1D	和田河流域及平原 IV 1D(1) 车尔臣河流域及平原 IV 1D(2)
	吐哈盆地-焉耆盆地- 噶顺戈壁 IV 2	吐哈盆地-噶顺戈壁 IV 2A 焉耆盆地-库鲁克塔格 IV 2B	吐哈盆地 IV 2A(1) 噶顺戈壁西部 IV 2A(2) 噶顺戈壁东部 IV 2A(3) 焉耆盆地-库米什盆地 IV 2B(1) 库鲁克塔格 IV 2B(2)
昆仑山-阿尔金山 V Kunlun Mountains- Altun Mountains V	阿尔金山 V 1 昆仑山 V 2	阿尔金山 V 1A 西昆仑 V 2A 中昆仑 V 2B 东昆仑 V 2C	阿尔金山 V 1A(1) 公格尔山-慕士塔格山 V 2A(1) 塔什库祖克山-喀拉塔格山 V 2A(2) 喀拉塔什山-喀什塔什山-托库孜达坂山 V 2B(1) 中昆仑南部山原 V 2B(2) 祁曼塔格山 V 2C(1) 库木库里盆地 V 2C(2) 阿尔格山-博卡雷克塔格 V 2C(3)
	帕米尔高原-喀喇 昆仑山 V 3	帕米尔高原-喀喇昆仑山 V 3A	帕米尔高原 V 3A(1) 喀喇昆仑山 V 3A(2) 羌塘 V 3A(3)

5.2.1 一级区划——自然保护地理大区

一级区划以自然保护综合聚类结果为基础,并与新疆“三山夹两盆”的地形分布格局相协调,将全疆划分 5 个自然保护地理大区:阿尔泰山 I、准噶尔盆地-北塔山 II、天山山地 III、塔里木盆地-吐哈盆地 IV 和昆仑山-阿尔金山 V (图 8 和表 3)。

阿尔泰山 I:阿尔泰山位于新疆最北部,地形具有明显的阶梯状,有较多的山间盆地。热量和水分的垂直梯度变化明显,雪线以上冰雪恒冻,终年寒冷,雪线以下积温偏低,热量资源较为不足;山区河网密布,径流丰富,水分分布呈现“西多东少、北多南少”的格局。土壤类型多样,具有明显的垂直地带性,高海拔区域主要为高山土,中低海拔区域主要为钙层土。植被发育完整,类型多样,具有山地寒温带泰加林与中温带荒漠交错与过渡的特征。森林建群树种单一,主要是新疆落叶松 (*Larix sibirica*),其次是新疆云杉 (*Picea obovata*)、新疆冷杉 (*Abies sibirica*) 和新疆五针松等。植被垂直带谱明显,高山分布着高山植被、针叶林和草甸等,中低山的植被以草原为主。在动物地理分布上,北部为山地泰加林、草原动物群,南部为中温带荒漠动物群,分布有雪豹、貂熊 (*Gulo gulo*)、紫貂 (*Martes zibellina*)、驼鹿 (*Alces alces*)、马鹿 (*Cervus canadensis*)、棕熊 (*Ursus arctos*)、北山羊 (*Capra sibirica*) 等国家重点保护野生动物。该自然保护地理大区包括 1 个自然保护地理地区、1 个自然保护地理亚地区和 2 个自然保护地理小区。

准噶尔盆地-北塔山 II:该大区位于新疆北部,界于阿尔泰山和天山之间。从整体上看,热量充足,额尔齐斯河和乌伦古河流域的积温相对较低,古尔班通古特沙漠以南和三塘湖戈壁的积温相对较高。水分分布较均匀,大多处于干燥水平,仅最东端为极干燥区域。地带性土壤为荒漠灰钙土和灰棕色漠土。在植被分布上,主要为荒漠植物,梭梭 (*Holoxylon ammodendron*) 和白梭梭 (*H. persicum*) 是面积最大、最典型的植物。在动物地理分布上,主要为中温带荒漠动物群,分布有普氏野马、蒙古野驴 (*Equus hemionus*)、鹅喉羚 (*Gazella subgutturosa*)、戈壁盘羊 (*Ovis darwini*) 和河狸 (*Castor fiber*) 等国家重点保护野生动物。该自然保护地理大区包括 2 个自然保护地理地区、4 个自然保护地理亚地区和 6 个自然保护地理小区。

天山山地 III:该大区横贯于新疆中部,包括准噶尔西部山地、北天山、东天山和南天山等区域。区内盆地和高山相间分布,导致热量分布差异极大,积温随海拔升高而下降。天山山地是全疆最湿润的区域,水分分布呈现出由干旱到湿润的垂直气候特征,即海拔越高湿度越大;在水分坡向分布上,北坡较湿润,南坡较干旱;中部高山阻隔了南北向水汽的输送,形成新疆南干北湿的大环境。地带性土壤有山地灰棕漠土、棕钙土、栗钙土、黑钙土、灰褐土,以及亚高山草甸土、高山草甸土等。在植被分布上,准噶尔西部山地、东天山和天山南脉草原带分布宽广,北天山分布有山地草甸、亚高山草甸和高山草甸,高山草甸是天山分布最高的植被带,天山的山地森林主要为雪岭云杉林。在动物地理分布上,准噶尔西部山地和伊犁河谷主要为山地灌丛、荒漠草原动物群,其余区域基本为山地森林、草原动物群,分布有雪豹、北山羊、盘羊、马鹿、棕熊、伊犁鼠兔 (*Ochotona iliensis*)、四爪陆龟 (*Testudo horsfieldii*)、新疆北鲵 (*Ranodon sibiricus*) 等国家重点保护野生动物,其中,伊犁鼠兔为新疆特有种。该自然保护地理大区包括 3 个自然保护地理地区、5 个自然保护地理亚地区和 13 个自然保护地理小区。

塔里木盆地-吐哈盆地 IV:该大区地处天山和昆仑山之间,包括塔里木盆地、吐哈盆地、噶顺戈壁、焉耆盆地和库鲁克塔格。绝大部分区域积温高于 2000℃,吐哈盆地部分区域积温最高可达 3767℃,为全疆最高;同



图 8 自然保护地理大区

Fig.8 The natural conservation geographical zone

时也是全疆最干旱的区域,尤其是东南部的库鲁克库姆沙漠、罗布泊和库姆塔格沙漠。土壤类型较为单一,塔克拉玛干沙漠为初育土,沙漠周围及东部区域主要为漠土。在植被分布上,塔里木河流域有少量的阔叶林、灌丛、草甸和栽培植被,叶尔羌河流域、车尔臣河流域以及吐哈盆地有少量草甸和栽培植被,其余区域均为荒漠植被或无植被。胡杨(*Populus euphratica*)、梭梭、多枝怪柳(*Tamarix ramosissima*)、芦苇(*Phragmites australis*)、芨芨草(*Neotrinia splendens*)和骆驼刺(*Alhagi camelorum*)等为常见的优势种。在动物地理分布上,区内西部主要为暖温带荒漠动物群,东部主要为戈壁荒漠动物群,分布有野骆驼、马鹿、塔里木兔(*Lepus yarkandensis*)等国家重点保护野生动物,其中,塔里木兔为新疆特有种。该自然保护地理大区包括2个自然保护地理地区、6个自然保护地理亚地区和16个自然保护地理小区。

昆仑山-阿尔金山 V:该大区位于青藏高原的西北部,塔里木盆地的南缘,包括帕米尔高原、喀喇昆仑山、昆仑山和阿尔金山。区内冰川数量众多,热量极低,积温不足,整体上较为干旱。土壤类型单一,主要为高山土,在最北部边缘分布有少量的干旱土。在植被分布上,以荒漠和高山植被为主,森林少,植被稀疏。在动物地理分布上,北部为暖温带荒漠动物群,南部为高山寒漠动物群,最西端为高山草原动物群,分布有雪豹、藏野驴(*Equus kiang*)、野牦牛(*Bos mutus*)、帕米尔盘羊(*Ovis polii*)、西藏盘羊(*Ovis hodgsoni*)、藏羚(*Pantholops hodgsonii*)、藏原羚(*Procapra picticaudata*)等国家重点保护野生动物,以及新疆特有种——柯氏鼠兔(*Ochotona koslowi*)。该自然保护地理大区包括3个自然保护地理地区、5个自然保护地理亚地区和11个自然保护地理小区。

5.2.2 自然保护地理地区

以自然保护综合聚类结果为基础,依据阿尔泰山、北塔山、准噶尔西部山地、天山、库鲁克塔格、阿尔金山、昆仑山和喀喇昆仑山等山系和山脉的界线将全疆划分为11个自然保护地理地区(图9和表3)。山脉之间的界线明显,以此作为区划依据。

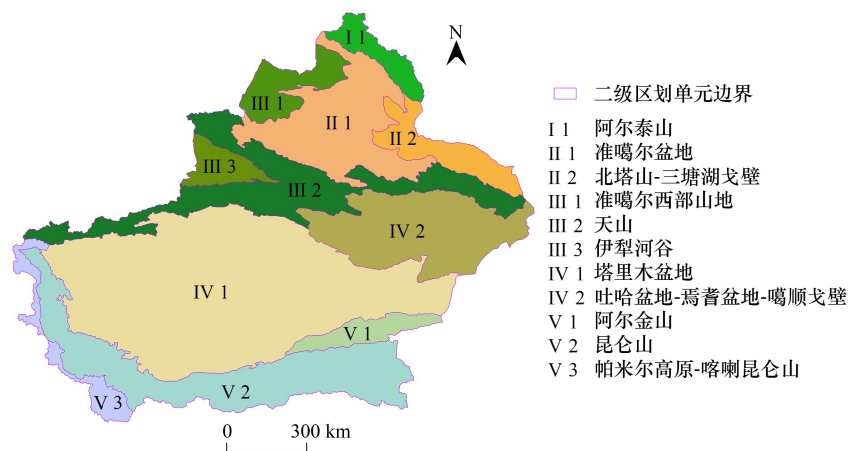


图9 自然保护地理地区

Fig.9 The natural conservation geographical region

阿尔泰山系位于亚洲中部,斜跨中国、哈萨克斯坦、俄罗斯和蒙古四国,呈西北-东南走向,我国境内为山体中段南坡,地势西高东低,南陡北缓,山地与山前平原以大断裂为界,断裂处与准噶尔盆地北部边缘相连接,将此连接处作为区划界线。北塔山是阿尔泰山向南延伸的支脉,位于阿尔泰山与东天山之间,呈东西走向,也是准噶尔盆地与蒙古戈壁之间的过渡地带。

天山山系是亚洲中部最大的山系,由东向西呈掌状撒开,地跨中国、哈萨克斯坦、吉尔吉斯斯坦、乌兹别克斯坦和塔吉克斯坦等五个国家,我国境内包括准噶尔西部山地和天山山脉两部分。准噶尔西部山地是许多平行断块山的总称,山地间为盆地和谷地所隔,北部为东西走向的山地与谷地,南部为菱块状的山地和盆地。天

山山脉呈纬向分布且横亘新疆全域,天然分割出南部的塔里木盆地、吐哈盆地和北部的准噶尔盆地。库鲁克塔格为天山余脉,呈东西走向,与塔里木盆地的东北缘相接,将此连接处作为区划界线。

阿尔金山属阿尔金山-祁连山山系区,位于东昆仑与塔里木盆地之间,为北东走向,向东延伸到青海省境内。

昆仑山系包括昆仑山脉、喀喇昆仑山脉和帕米尔高原。昆仑山脉呈东西走向,西起帕米尔高原东部,东到柴达木河上游谷地,与塔里木盆地以深大断裂相隔。喀喇昆仑山脉位于青藏高原西北部,昆仑山和喜马拉雅山之间,呈西北-东南走向,我国境内为山体北翼和东段。帕米尔高原是昆仑山、喀喇昆仑山和天山的交会处,我国境内为其东部;由于我国境内的喀喇昆仑山和帕米尔高原面积较小,所以将其划分到了同一地理地区内。

5.2.3 自然保护地理亚地区和小区

以自然保护综合聚类结果为基础,依据地貌完整性将全疆划分为 21 个自然保护地理亚地区(图 10 和表 3)。

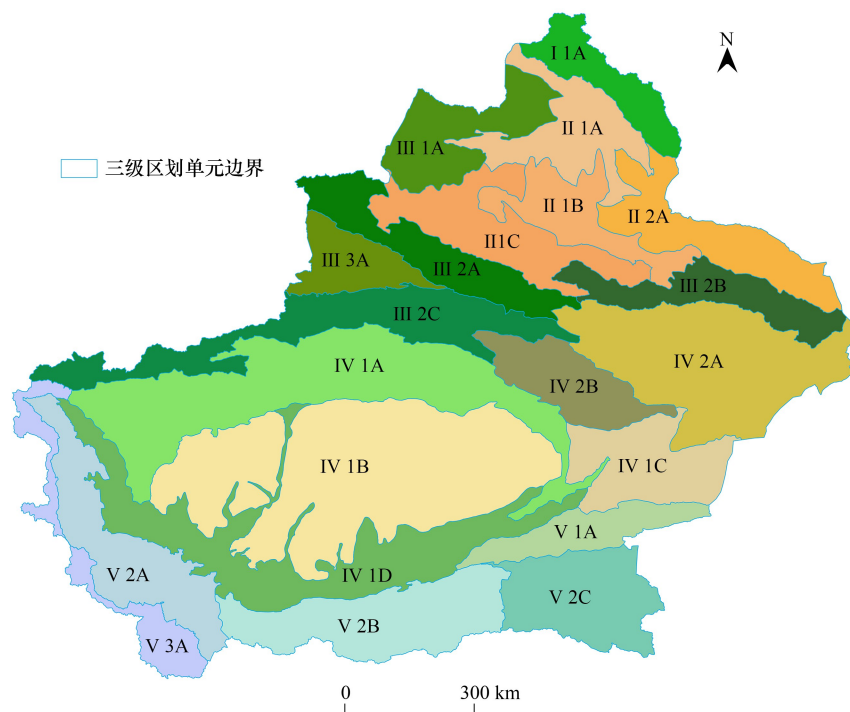


图 10 自然保护地理亚地区

Fig.10 The natural conservation geographical subregion

准噶尔盆地、天山山脉、塔里木盆地、昆仑山全部或大部分面积在疆内,可细分为多个自然保护地理亚地区。准噶尔盆地北部为额尔齐斯河-乌伦古河流域及平原,中部为古尔班通古特沙漠,南部为天山北麓山地及平原。天山山脉可分为北天山、东天山、南天山和伊犁河谷。塔里木盆地位于天山和昆仑山之间,属于大型封闭性山间盆地,包括北部的天山南麓山地及平原、中心的塔克拉玛干沙漠、东部的库鲁克库姆沙漠-库姆塔格沙漠和南部的昆仑山北麓山地及平原。昆仑山分为西昆仑、中昆仑和东昆仑。

阿尔泰山、准噶尔西部山地、北塔山-三塘湖戈壁、伊犁河谷、阿尔金山及帕米尔高原-喀喇昆仑山等区域由于所涉及的山体大部分在疆外,因疆内面积较小未再细分,以自然保护地理地区直接作为自然保护地理亚地区。

依据地貌类型及界线在将全疆划分为 48 个自然保护地理小区(图 11 和表 3)。

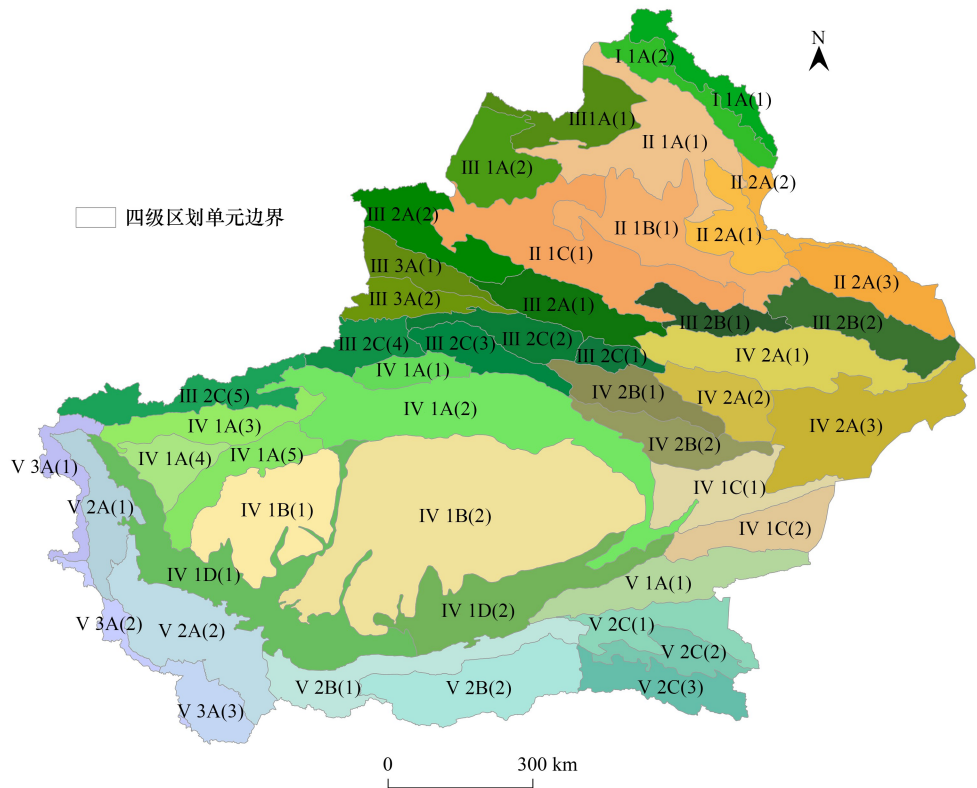


图 11 自然保护地理小区

Fig.11 The natural conservation geographical area

5.3 区划方案与自然保护地分布

在划分自然保护综合地理区划的过程中,充分考虑了自然保护地的分布情况(图 12)。本研究中的新疆自然保护地边界矢量数据来源于国家林业和草原局。阿尔泰山 I 大区的自然保护地主要分布在阿尔泰山高山 I 1A(1)小区中,以自然保护区为主,森林公园次之。准噶尔盆地-北塔山 II 大区的自然保护地主要分布在额尔齐斯河流域、天山北麓和卡拉麦里山,也是以自然保护区为主。天山山地 III 大区的自然保护地呈现北多南少、西多东少的分布格局,东部和北部以森林公园为主,南部以自然保护区为主。罗布泊野骆驼国家级自然

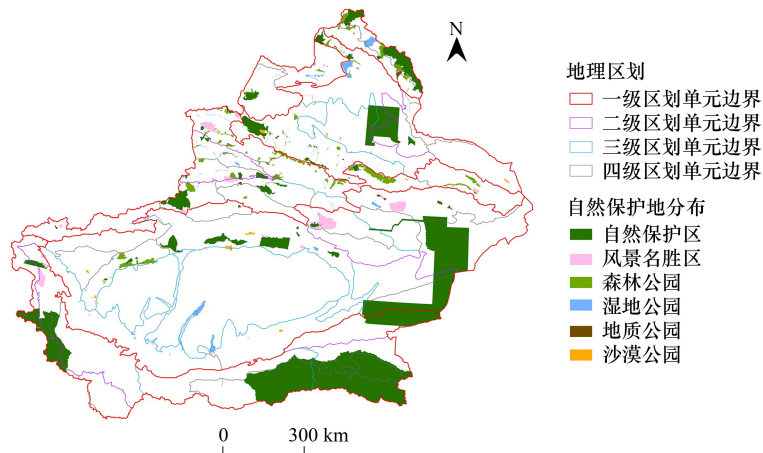


图 12 新疆自然保护综合地理区划与自然保护地分布

Fig.12 The natural conservation comprehensive geographical regionalization and distribution of natural protected areas in Xinjiang

保护区跨越了塔里木盆地-吐哈盆地Ⅳ和昆仑山-阿尔金山Ⅴ两个大区。塔里木盆地-吐哈盆地Ⅳ大区的自然保护地以自然保护区为主,风景名胜区次之。昆仑山-阿尔金山Ⅴ大区中自然保护区的面积占自然保护地总面积的 98%以上(包括交叉重叠)。

6 讨论

本文依据综合性、地带性与非地带性相结合和生物因子与非生物因子相结合的原则,考虑热量、水分、土壤、植被和动物地理分布等指标及数据的空间适配性,采用 SOFM 模型进行综合聚类,聚类结果兼顾了自然地理特征和生物分异格局,同时结合山系山脉界线和地貌完整性,按照“自上而下”的原则划分区划单元,并根据野外考察等加以修正。一级区划结果呈现“三山夹两盆”的分布格局,与侯学煜等^[13]、赵松乔^[3]和傅伯杰等^[15]提出的综合自然地理区划方案较为相似,与王芳等^[18]划分的生态地理区划也有关联性;二级区划结果与郭子良等^[4]提出的全国区划方案中的三级区划大致相同,仅东天山及其南部区域划分时有所差异;三级区划结果与《中国陆域生态基础分区(试行)》中划定的三级区划边界近似度较高^[19]。但整个区划方案与倪健等^[14]提出的生态地理区划有较大差异,这可能与散点图转换为分布图的准确度有关。四级区划依据地貌类型及界线划分,体现了地域相似性,将其作为区划的最小单元,可最大程度减少自然保护地体系建设和生境廊道构建过程中的地理阻隔。此外,以往的研究大多直接通过数据计算得出区划结果^[14,18,61,65],不能保证区划结果与实际情况的一致性,本研究经过了实地考察验证,使得区划方案更加科学可靠。

该区划方案进一步梳理了新疆自然保护地的分布格局,除罗布泊野骆驼国家级自然保护区、卡拉麦里山有蹄类野生动物自然保护区、中昆仑自治区级自然保护区和帕米尔高原湿地自治区级自然保护区外,其他自然保护地几乎都未跨越自然保护地理亚地区。相同自然保护地理单元内的自然保护地都有着相似的物种及生境,地理上也是相对不隔离的。阿尔泰山Ⅰ大区的自然保护地,大多以保护山地泰加林、珍稀濒危野生动物植物,以及森林、山地草原、湿地生态系统为主要目标;准噶尔盆地-北塔山Ⅱ大区的自然保护地保护了蒙古野驴等有蹄类野生动物及其生境、梭梭林及其生境等;天山山地Ⅲ大区自然保护地的主要保护对象包括雪豹、北山羊等野生动物,雪岭云杉林、野果林,以及森林生态系统和高山湖泊等;塔里木盆地-吐哈盆地Ⅳ大区除罗布泊野骆驼国家级自然保护区以外的自然保护地,主要集中在叶尔羌河和塔里木河流域附近,大多以保护胡杨林及其生态为主要目标;昆仑山-阿尔金山Ⅴ大区中自然保护地,主要保护对象为雪豹、盘羊、藏羚羊等高山野生动物,以及高原荒漠和高寒草原生态系统。

此外,卡拉麦里山有蹄类野生动物自然保护区与其右侧同一自然保护地理小区的奇台荒漠类草地自然保护区,共同组成了保护蒙古野驴等野生动物及其生境的自然保护地群;罗布泊野骆驼国家级自然保护区是新疆面积最大的自然保护地,与其东侧的甘肃敦煌西湖国家级自然保护区和甘肃安南坝国家级自然保护区,共同组成了保护野骆驼及其生境的自然保护地群;阿尔金山国家级自然保护区、中昆仑自治区级自然保护区、和田地区西昆仑藏羚羊繁殖地市级自然保护区,与其北部的西藏羌塘国家级自然保护区、青海可可西里国家级自然保护区,共同组成了保护藏羚羊、野牦牛、藏野驴等物种及其生境的自然保护地群。识别自然保护地理单元内的保护空缺,通过生境廊道将其与自然保护地连接,构建区域自然保护地网络,将有利于提高生物多样性和生态系统连通性。

该区划方案将对新疆自然保护地体系建设,尤其是卡拉麦里国家公园和昆仑山国家公园与周边保护空缺区域的生境廊道构建,阿尔泰山、天山和塔里木等国家公园候选区的范围划定,以及下一批国家公园候选区的选址有着重要作用。

7 结论

新疆自然保护综合地理区划方案以聚类结果为基础,按照“自上而下”的原则划分区划单元,保证了区划的客观性和科学性;以山系和山脉界线和地貌完整性为依据,保证了区划的系统性;结合新疆全域野外科学考

察结果和卫星遥感三维影像,对各级区划边界进行修正,保证了区划的准确性;同时考虑了自然保护地的分布情况,保证了区划的适用性。该区划方案将对生物多样性保护、生境廊道构建、国家公园选址与范围划定,以及自然保护地体系建设具有较好的指导作用。

研究中采用的 SOFM 聚类方法适用于大多数区划,但由于新疆呈现“三山夹两盆”的独特地貌特征,依据山系和山脉界线和地貌完整性来确定区划边界的方法可能更适合山地较多的地域,是否适合疆外的平原地区还有待考证。

参考文献(References):

- [1] 郑度,葛全胜,张雪芹,何凡能,吴绍洪,杨勤业. 中国区划工作的回顾与展望. 地理研究, 2005, 24(3): 330-344.
- [2] 黄秉维. 中国综合自然区划草案. 科学通报, 1959, 18: 594-602.
- [3] 赵松乔. 中国综合自然地理区划的一个新方案. 地理学报, 1983, 38(1): 1-10.
- [4] 郭子良,崔国发. 中国自然保护综合地理区划. 生态学报, 2014, 34(5): 1284-1294.
- [5] Herbertson A J. The major natural regions; an essay in systematic geography. The Geographical Journal, 1905, 25(3): 300.
- [6] Dasmann R F. Towards a system for classifying natural regions of the world and their representation by National Parks and reserves. Biological Conservation, 1972, 4(4): 247-255.
- [7] Udvardy M D F. A classification of biogeographic provinces of the world. IUCN Occasional Paper, 1975, 18: 1-48.
- [8] Spalding M D, Fox H E, Allen G R, Davidson N, Ferdaña Z A, Finlayson M, Halpern B S, Jorge M A, Lombana A, Lourie S A, Martin K D, McManus E, Molnar J, Recchia C A, Robertson J. Marine ecoregions of the world: a bioregionalization of coastal and shelf areas. BioScience, 2007, 57(7): 573-583.
- [9] Macias A, Bródka S, Kubacka M, Piniarski W. Physical and geographical regionalization and environmental management: a case study in Poland. Polish Journal of Environmental Studies, 2020, 29(4): 2753-2762.
- [10] 刘闯,石瑞香. 中国四大生态地理区的划分及其界线数据研究. 全球变化数据学报(中英文), 2018, 2(1): 42-50.
- [11] 林超. 中国自然区划大纲(摘要). 地理学报, 1954, 20(4): 395-418.
- [12] 冯绳武. 中国自然地理区划大纲草案. 兰州大学学报, 1959, (1): 39-43.
- [13] 侯学煜,姜恕,陈昌笃,胡式之. 对于中国各自然区的农、林、牧、副、渔业发展方向的意见. 科学通报, 1963, (9): 8-26.
- [14] 倪健,陈仲新,董鸣,陈旭东,张新时. 中国生物多样性的生态地理区划. 植物学报, 1998, 40(4): 370-382.
- [15] 傅伯杰,刘国华,陈利顶,马克明,李俊然. 中国生态区划方案. 生态学报, 2001, 21(1): 1-6.
- [16] 王玺婧,吴秀芹,张宇清,吴斌,马青,刘博. 我国荒漠生态系统生物多样性生态地理分区. 中国水土保持科学, 2012, 10(5): 1-8.
- [17] 刘焱序,傅伯杰,王帅,赵文武. 从生物地理区划到生态功能区划——全球生态区划研究进展. 生态学报, 2017, 37(23): 7761-7768.
- [18] 王芳,李炳元,田思雨,郑度,葛全胜. 中国生态地理区划更新和优化. 地理学报, 2024, 79(1): 3-16.
- [19] 中华人民共和国自然资源部. 自然资源部办公厅关于印发《中国陆域生态基础分区(试行)》的通知. (2023-05-16) [2024-06-10]. https://m.mnr.gov.cn/gk/tzgg/202306/t20230614_2791436.html
- [20] 徐卫华,赵磊,韩梅,欧阳志云. 国家公园空间布局物种保护状况评估. 国家公园(中英文), 2023, 1(1): 11-16.
- [21] 欧阳志云,唐小平,杜傲,臧振华,徐卫华. 科学建设国家公园:进展、挑战与机遇. 国家公园(中英文), 2023, 1(2): 67-74.
- [22] 唐小平,欧阳志云,蒋亚芳,马伟,徐卫华,陈尚,刘增力. 中国国家公园空间布局研究. 国家公园(中英文), 2023, 1(1): 1-10.
- [23] 毛伟峰,南庆红,史红政. 新疆气候变化特征及气候分区方法研究. 气象, 2008, 34(10): 67-73.
- [24] 柴慧霞,欧阳,陈曦,程维明,周成虎. 新疆地貌区划的一个新方案. 干旱区地理, 2009, 32(1): 95-106.
- [25] 高利军,黄韶华,白金凤,杨春. 新疆生态功能区划初探. 干旱环境监测, 2003, (2): 90-92.
- [26] 邓依萍,刘涛. 新疆节水农业区划及分区对策研究. 节水灌溉, 2008(10): 8-11, 15.
- [27] 陶岸君. 中国村镇特色的空间分异格局和综合区划. 地理学报, 2023, 78(12): 3144-3160.
- [28] 孔凡婕,王芳,葛全胜,李炳元,梁梦茵. 基于生态地理多要素综合分析的我国陆域生态地理区划优化与应用研究. 自然资源情报, 2024, (3): 43-49.
- [29] 景才瑞. 论自然界结构的特征——地带性规律与非地带性规律. 华中师院学报(自然科学版), 1983, (3): 117-123.
- [30] 赵汝植. 非地带性因素在四川综合自然区划中的作用. 西南师范大学学报(自然科学版), 1989, (2): 95-102.
- [31] 满苏尔,董廷旭. 陆地动物群的地域分异规律浅析. 新疆师范大学学报(自然科学版), 1993, (1): 91-96.
- [32] 许洛山,赵慈良,刘翔宇,阎恩荣. 浙江普陀山岛植被区划方案. 浙江农林大学学报, 2018, 35(4): 657-663.
- [33] 苏庆义,王奉龙,桂子豪. 向西开放背景下的新疆自贸试验区建设:重大意义、现实挑战与政策应对. 克拉玛依学刊, 1-17 [2024-06-10].

<http://kns.cnki.net/kcms/detail/65.1285.C.20240712.1034.008.html>.

- [34] 刘时栋, 徐丽萍, 张婕. 新疆土地生态安全时空变化. 生态学报, 2019, 39(11): 3871-3884.
- [35] 李力. 助力新疆脱贫攻坚和生态保护——中华环境保护基金会援疆项目纪实. 环境与可持续发展, 2021, 46(5): 109-112.
- [36] 许玉凤, 杨井, 李卫红, 方功焕, 张淑花, 邓海军, 董杰. 1982—2013 年新疆不同植被生长时空变化. 草业学报, 2016, 25(1): 47-63.
- [37] 张云蕾. 气候变化条件下新疆干旱演变趋势及其应对策略[D]. 石河子: 石河子大学, 2023.
- [38] 赵鹏, 陈桃, 王茜, 于瑞德. 气候变化和人类活动对新疆草地生态系统 NPP 影响的定量分析. 中国科学院大学学报, 2020, 37(1): 51-62.
- [39] 焦鹏. 新疆自然保护区建设与管理中存在的问题研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆师范大学, 2012.
- [40] 新疆维吾尔自治区生态环境厅自然生态保护处. 自治区生物多样性概况. (2023-08-23) [2024-06-10]. <https://sthjt.xinjiang.gov.cn/xjepd/zrstswdyx/202308/b5c7b557eb064034a0684edbc4b3787a.shtml>
- [41] 新疆维吾尔自治区人民政府. 新疆维吾尔自治区概况. (2023-07) [2024-06-10]. <https://www.xinjiang.gov.cn/xinjiang/xjgk/202407/f92d6fd49e534902b3750dacc7a260b2.shtml>
- [42] 新疆维吾尔自治区人民政府. 新疆国家公园潜力区布局方案完成. (2024-03-06) [2024-06-10]. <https://www.xinjiang.gov.cn/xinjiang/bmdt/202403/c8be3ed7b3e9474abdbd13152d93d72f.shtml>
- [43] 张新时. 中华人民共和国植被图(1:1000000). 北京: 地质出版社, 2007.
- [44] 张荣祖. 中国动物地理. 北京: 科学出版社, 2011.
- [45] 王翠华, 文涌彬, 任万竹. 基于 GIS 的澳洲坚果在云南适宜种植区划分研究. 林业调查规划, 2023, 48(3): 46-49.
- [46] 中国科学院自然区划工作委员会. 中国气候区划(初稿). 科学出版社, 1959.
- [47] 张家诚, 林之光. 中国气候. 上海: 上海科学技术出版社, 1985.
- [48] 郑景云, 卞娟娟, 葛全胜, 郝志新, 尹云鹤, 廖要明. 1981—2010 年中国气候区划. 科学通报, 2013, 58(30): 3088-3099.
- [49] 安宁, 郭彬, 张东梅, 杨淇越, 罗维成. 河西走廊中段荒漠植被组成及土壤养分空间分布特征. 干旱区研究, 2024, 41(3): 432-443.
- [50] 蔡亚楠, 鞠正山, 黄勤, 冯金超, 沈颖. 土壤有机碳汇内涵与核算方法辨析. 生态学报, 2024, 44(2): 602-611.
- [51] 龚子同. 中国土壤地理. 北京: 科学出版社, 2014.
- [52] 陈灵芝. 中国植物区系与植被地理. 北京: 科学出版社, 2014.
- [53] Heskes T. Self-organizing maps, vector quantization, and mixture modeling. IEEE Transactions on Neural Networks, 2001, 12(6): 1299-1305.
- [54] Kohonen T. Self-organized formation of topologically correct feature maps. Biological Cybernetics, 1982, 43(1): 59-69.
- [55] 刘亚男, 吴克宁, 李晓亮, 李潇. 基于 GIS 和模糊 SOFM 模型的省级尺度土地类型划分研究——以河南省为例. 中国土地科学, 2021, 35(11): 112-122.
- [56] 张学儒, 张镡锂, 刘林山, 张继平. 基于 SOFM 神经网络模型的土地类型分区尝试——以青藏高原东部样带为例. 地理研究, 2013, 32(5): 839-847.
- [57] 吴佳楠, 储君, 孙裔煜, 晁恒. SOFM 网络下的深圳市城市用地功能识别分析. 北京大学学报: 自然科学版, 2022, 58(4): 664-672.
- [58] 李臻, 陈义华, 陈从喜, 李政, 任升莲, 任芳语. 基于 SOFM 方法的安徽省矿产资源开发主体功能区划研究. 合肥工业大学学报: 自然科学版, 2023, 46(1): 111-117.
- [59] Kohonen T. Essentials of the self-organizing map. Neural Networks, 2013, 37: 52-65.
- [60] 郭子良. 中国自然保护综合地理区划与自然保护区体系有效性分析[D]. 北京: 北京林业大学, 2016.
- [61] 邹易, 蒙吉军, 吴英迪, 魏婵娟, 程浩然, 马宇翔. 基于自组织特征映射模型(SOFM)网络的中国自然资源生态安全区划. 生态学报, 2024, 44(1): 171-182.
- [62] 国家基础地理信息中心. 中国山脉山峰名称代码. GB/T 22483—2008: 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局; 中国国家标准化管理委员会, 2008.
- [63] 杨发相. 新疆地貌及其环境效应. 北京: 地质出版社, 2011.
- [64] Snethlage M A, Geschke J, Ranipeta A, Jetz W, Yoccoz N G, Körner C, Spehn E M, Fischer M, Urbach D. A hierarchical inventory of the world's mountains for global comparative mountain science. Scientific Data, 2022, 9: 149.
- [65] 樊杰, 周侃, 盛科荣, 郭锐, 陈东, 王亚飞, 刘汉初, 王正, 孙勇, 张杰, 伍健雄, 赵浩. 中国陆域综合功能区及其划分方案. 中国科学: 地球科学, 2023, 53(2): 236-255.