

基于SOFM网络的西藏自治区流域尺度生态功能分区

牛泽鹏¹, 王晓峰^{2,3}, 罗广祥², 尹礼唱⁴

(1. 长安大学 地球科学与资源学院, 陕西 西安 710064; 2. 长安大学

土地工程学院, 陕西 西安 710064; 3. 陕西省土地整治重点实验室, 陕西 西安 710064;

4. 中国科学院 地理科学与资源研究所 陆地表层格局与模拟院重点实验室, 北京 100101)

摘要: [目的] 基于区域关键生态系统服务, 研究西藏自治区生态功能区划, 为高原生态系统的区域综合认知和空间综合治理提供科学依据。[方法] 在GIS技术支持下, 基于区域关键生态系统服务功能构建西藏生态功能分区指标体系, 运用自组织特征映射(SOFM)网络聚类栅格单元指标, 并基于小流域单元逐步合并破碎化的聚类结果来确定生态功能区边界。[结果] ①区域内各生态系统服务功能指标整体上呈现出从东南向西北递减的格局; ②根据各分类栅格的景观聚集度指数确定最优分类数为5类; ③破碎化的5种聚类结果经过子流域单元的合并而最终被划分为5个生态功能区。[结论] 根据各区域生态系统特征进行命名, 划分出藏北高寒荒漠草原生态脆弱区、藏中草原牧业盈余区、藏东亚热带山地针叶林农牧产品供给区、藏东南亚热带山地针叶林产水区和藏东南热带季雨林生物多样性保护区5个生态功能区。

关键词: 生态功能分区; 生态系统服务; SOFM网络; 流域单元; 西藏自治区

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2020)04-0116-08

中图分类号: X171.1

文献参数: 牛泽鹏, 王晓峰, 罗广祥, 等. 基于SOFM网络的西藏自治区流域尺度生态功能分区[J]. 水土保持通报, 2020, 40(4): 116-123. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.20200522.002; Niu Zepeng, Wang Xiaofeng, Luo Guangxiang, et al. Ecological function zoning of Tibet Autonomous Region based on SOFM network at watershed scale [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2020, 40(4): 116-123.

Ecological Function Zoning of Tibet Autonomous Region Based on SOFM Network at Watershed Scale

Niu Zepeng¹, Wang Xiaofeng^{2,3}, Luo Guangxiang², Yin Lichang⁴

(1. School of Earth Science and Resources, Chang'an University, Xi'an, Shaanxi 710064, China;

2. School of Land Engineering, Chang'an University, Xi'an, Shaanxi 710064, China; 3. Shaanxi Key

Laboratory of Land Consolidation, Xi'an, Shaanxi 710064, China; 4. Key Laboratory of Land Surface Pattern and Simulation, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract: [Objective] Based on the regional key ecosystem services, the regional ecological function regionalization of Tibet Autonomous Region was studied to provide basis for the regional comprehensive cognition and spatial comprehensive management of the plateau ecosystem. [Methods] With the support of GIS technology, the index system of ecological function partition in Tibet was constructed based on the regional key ecosystem service. Using the self-organizing feature mapping (SOFM) clustering grid cell index, the boundary of ecological functional area was determined by merging small watershed cells. [Results] ① The ecosystem service function index exhibited a notable decreasing gradient from the southeast to the northwest. ② According to the landscape aggregation index of each classification grid, the optimal classification number was five. ③ The fragmented five clustering results were finally divided into five ecological function areas after the merger of small watershed cells. [Conclusion] According to the characteristics of each regional ecosystem, the five ecological functional areas including: the ecologically fragile alpine desert grasslands in

收稿日期: 2020-03-09

修回日期: 2020-04-22

资助项目: 国家重点研发计划项目“‘两屏三带’生态系统服务格局优化”(2018YFC0507300); 中国科学院战略性先导科技专项(A类)(XDA2002040201); 第二次青藏高原综合科学考察研究: 生态安全屏障优化体系专题(2019QZKK0405)

第一作者: 牛泽鹏(1994—), 男(汉族), 河南省安阳县人, 硕士研究生, 研究方向为生态遥感。Email: 1453001009@qq.com。

通讯作者: 王晓峰(1977—), 男(汉族), 甘肃省庄浪县人, 博士, 教授, 主要从事生态遥感方面的教学与科研。Email: wangxf@chd.edu.cn。

Northern Tibet, the animal husbandry surplus areas in Central Tibet region, the agriculture and animal husbandry product supply areas in East Asia tropical mountain coniferous forests, the water production areas in Southeast Asia tropical mountain coniferous forests, and the biodiversity protection areas in Southeast Tibet tropical seasonal rain forests.

Keywords: ecological function zoning; ecosystem services; SOFM network; watershed unit; Tibet Autonomous Region

生态区划是基于空间异质性和一致性,对生态地域和生态单元的形成发展、分异组合、划分合并和相关联系的一种地域综合研究^[1],能够为生态环境建设和环境管理政策的制定提供科学依据。近年来,随着生态恢复工程的实施,尤其是山水林田湖草综合治理,生态区划研究逐渐成为地理学、生态学等领域的研究热点。生态区划对于促进生态系统的保护与恢复、推动经济社会与生态环境协调发展具有十分重要的意义^[2],引起了国内外学者的广泛关注。早在1976年,美国生态学家Bailey^[3]首先提出生态区划的概念,为区域生态环境管理提供了整体化空间认知方式^[4]。Schneider等^[5]的全球城市生态分区方案,为全球和区域的生态系统保护与管理起到关键的空间指引作用^[6]。在中国,傅伯杰等^[7]在理论上提出了中国生态区划的目的、任务和特点,并在综合分析中国生态环境特点的基础上首次编制了中国生态区划方案,为中国生态环境治理奠定了基础。欧阳志云等^[8]则首次完成了中国生态功能区划,明确了对保障国家生态安全有重要意义的区域,为推进优化国土开发格局提供了依据,而后,以“全国生态环境十年变化(2000—2010年)调查与评估”为基础,对《全国生态功能区划》进行了修编。特殊区域的综合研究是目前地理学综合研究的前沿领域^[9],彭建等^[10]依循植被动态一致性准则,依据两步筛选法,实现了黄土高原生态地理分区多种方案间的优选。随着第二次青藏高原综合科学考察研究的实施,青藏高原的生态安全屏障体系优化成为其重要的研究内容,开展区域生态区划,能为其提供优化依据。近年来,基于生态系统服务功能的生态功能分区研究逐渐成为生态区划的主流之一,其研究尺度从国家到省^[4]、市^[11]、县域^[12],研究方法也从有限数据的半定量描述走向大数据与机器学习。李双成等^[13]将SOFM神经网络应用于区划研究中,指出基于SOFM网络的分区具有划分层次明显、客观性强等优点。分区边界的识别与划定是生态分区的重要环节,也是生态建设的基础和依据。由于自然地域系统各要素间的非线性作用,实际工作中往往需要反复讨论边界位置及其合理性^[14]。基于行政区划单元、流域单元等直接进行聚类,可以

得到较为清晰的分区边界^[15-16]。但这种方法忽视了基本单元内部的地理空间差异,容易打破自然边界^[17]。基于格网尺度的分类与基于机器学习自主确定边界的区划方法保证了区域生态功能特征差异^[14],但是囿于算法复杂度不适合大范围应用^[18]。王小丹等^[19]运用传统的空间叠置法、相关分析法以及专家集成等方法将西藏高原划分为三级生态功能区,但分区过程主观性较强。景观指数逐渐被引入分区方案的验证。彭建等^[10]根据分区中的区域共轭性原则,提出基于景观聚集度指数的优选方法。分区方法的创新对分区结果的验证能够确保地域划分的客观性、科学性,从而能有效指导区域的分区管治和区域可持续发展^[9]。在此研究背景下,本文尝试基于栅格单元SOFM聚类结果,结合景观聚集度指数优选最佳聚类方案,然后依据所选分类方案,逐步合并流域单元确定分区边界,以期保证区域内部地理特征的一致性与分区边界的合理性。

西藏自治区是青藏高原的核心地域和关键地带,是国家生态屏障的重要组成部分,其生态环境综合治理对提升当地人类福祉有着重要支撑,也对中国、东亚乃至亚洲均有重要的影响^[20]。本研究对西藏自治区进行生态功能分区,在地理信息系统的支持下,根据区域主导生态系统服务构建分区指标体系,运用自组织特征映射(SOFM)网络进行生态功能特征分类,通过DEM提取西藏自治区流域单元,最后在聚类结果的基础上,逐步合并流域单元划定生态功能区边界,为国家生态安全屏障建设以及高原生态环境分区管控提供基础。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

西藏自治区位于中国西南边陲,青藏高原西南部。地处 $26^{\circ}50'—36^{\circ}53'N$, $78^{\circ}25'—99^{\circ}06'E$ 之间。该区面积 120.22 km^2 ,约占全国总面积的 $1/8$,平均海拔在 $4\ 000\text{ m}$ 以上。气候纬度地带性和垂直地带性明显,从东南往西北为热带、亚热带、高原温带、高原亚寒带和高原寒带等气候带。年降水量由东南向西北逐渐减少,由东南部大于 $2\ 000\text{ mm}$ 下降到西北

地区不足 100 mm,降水主要集中在 5—9 月,干湿季分明。复杂的自然环境、气候条件和特殊的地理位置,使得西藏草地类型复杂多样,区域植被多以高寒灌丛、高寒草甸、高寒荒漠草原、高寒草原、典型草原等类型为主^[21]。

1.2 数据来源

本文使用的基础数据主要包括以下 4 大类。

①矢量数据:西藏自治区 2015 年行政区划边界与河流数据,来源于资源环境数据云平台(<http://www.resdc.cn/>); ②栅格数据:DEM 来源于地理空间数据云平台(<http://www.gscloud.cn/>),利用 SRTM3 V4.1 版本的数据进行加工得来,空间分辨率为 90 m;2015 年土地利用数据来源于资源环境数据云平台(<http://www.resdc.cn/>),将土地利用类型分为耕地、林地、草地、水域、城乡工矿居民用地和未利用地 6 个一级类;土壤数据来源于世界土壤数据库(<http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/soil-maps-and-databases/harmonized-world-soil-database-v12/en/>),比例尺为 1:100 万;归一化植被指数(NDVI)来自于地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn/>),是 MODND1D 月合成产品,然后利用最大值合成年度数据,空间分辨率为 500 m;植被的净初级生产力(NPP)数据来源于 NASA-USGS 平台(<https://lpdaac.usgs.gov/>),空间分辨率为 250 m;生物多样性维持数据采用张路等^[22]发布的 2010 年中国生态系统服务空间数据集(<http://www.sciencedb.cn/dataSet/handle/458>),空间分辨率为 250 m; ③气象数据:温度和降雨数据来源于中国气象科学数据共享服务网(<http://data.cma.gov.cn/>); ④社会经济统计数据来源于 2001—2016 年《西藏统计年鉴》。所有基础空间数据均统一处理为 WGS 1984 Albers 投影,重采样为 1 000 m。

1.3 研究方法

1.3.1 生态功能分区指标体系 西藏自治区是中国重要的生态安全屏障区,也是中国生态建设的重点区域。本文根据其区域特点选取了生物多样性维持、产水、固碳、土壤保持、食物供给 5 种生态功能构建评价体系,计算各生态功能指数。

(1) 生物多样性维持。生物多样性维持功能是反映生态系统在维护物种、生态系统多样性等方面的能力^[23],是生态系统提供的最主要功能之一。生物多样性保护重要性模拟数据以县为单元,收集指示物种分布。满足如下任一标准即选为指示物种: ①中国特有并处于濒危; ②中国特有并处于受威胁状态

的物种; ③绝大多数种群分布在中国,并处于濒危; ④绝大多数种群分布在中国,并处于受威胁状态的物种; ⑤其他具有特殊意义的动植物物种、其他国家一级和二级保护动植物。

(2) 产水。本文利用 InVEST 模型中的产水模块,基于水量平衡法计算产水量,用降水量与实际蒸散量之差来表示^[24]。计算公式为:

$$W_Y(x) = \left[1 - \frac{AET(x)}{P(x)}\right] \times P(x) \quad (1)$$

$$\frac{AET(x)}{P(x)} = 1 + \frac{PEI(x)}{P(x)} - \left\{1 + \left[\frac{PEI(x)}{P(x)}\right]^w\right\}^{1/w} \quad (2)$$

$$PEI(x) = K_C(x) \times E_{T_0}(x) \quad (3)$$

$$\omega(x) = \frac{AWC(x) \times Z}{P(x)} + 1.25 \quad (4)$$

式中: W_Y 为栅格单元 x 的产水量(mm); $P(x)$ 为年降雨量(mm); $AET(x)$ 为年实际蒸散量(mm); $PET(x)$ 为年潜在蒸散量(mm); $K_C(x)$ 为作物蒸散系数; $E_{T_0}(x)$ 为参考植被蒸散量(mm); $\omega(x)$ 为自然气候—土壤性质的参数; $AWC(x)$ 为植物可利用含水量(mm)。

(3) 固碳。植被净初级生产力(net primary productivity, NPP)指绿色植物在单位时间、单位面积上积累的有机物数量,是由光合作用产生的有机物总量扣除自身呼吸后剩余的部分^[25]。本研究采用 NPP 数据表征研究区栅格尺度的固碳能力。

(4) 土壤保持。本文使用 RUSLE 模型计算土壤保持量,实际土壤侵蚀量和潜在土壤侵蚀量的差值即为土壤保持量^[25]。实际土壤侵蚀量计算公式为:

$$A_r = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P \quad (5)$$

潜在土壤侵蚀量是假设无植被覆盖且不采取任何水土保持措施下的土壤侵蚀量,将两项因子数值设为 1,计算公式为:

$$A_p = R \cdot K \cdot LS \quad (6)$$

土壤保持量为二者之差,即:

$$\Delta A = A_p - A_r \quad (7)$$

式中: $A_r, A_p, \Delta A$ 分别为实际土壤侵蚀量、潜在土壤侵蚀量和土壤保持量 $[t/(hm^2 \cdot a)]$; R 为降雨侵蚀力因子; K 为土壤可蚀性因子; LS 为地形因子,其中, L 为坡长因子, S 为坡度因子; C 为植被覆盖因子; P 为水土保持措施因子。

(5) 食物供给。西藏自治区草地面积 8.82×10^7 hm^2 位于全国第二,是全国 5 大牧区之一,畜牧业作为西藏的经济支柱产业^[27]。考虑到草地和耕地是西藏自治区食物供给的主要来源,本文选取肉类产量与粮食产量作为食物供给服务的主要指标,均以产量(t)来表示。农作物、畜产品产量与地块 NDVI 值之间

具有显著的线性关系^[28],因此可以将粮食产量、肉类产量基于 NDVI 值分别分配给耕地、草地栅格,对食物产量统计数据进行空间化,最后将这个指标归一化后进行叠加,得到食物供给的栅格数据。计算公式为:

$$G_i = \frac{NDVI_i}{NDVI_{sum}} \times G_{sum} \quad (8)$$

式中: i 为栅格序号; G_i 为第 i 个栅格所分配的粮食或肉类产量; G_{sum} 为粮食或肉类总产量; $NDVI_i$ 为第 i 个栅格的 NDVI 值; $NDVI_{sum}$ 为研究区 NDVI 值之和。

1.3.2 自组织特征映射网络 SOFM 神经网络又称自组织特征映射网络 (self-organizing feature maps, SOFM) 由芬兰学者 Kohonen 教授^[29] 提出,它属于非监督人工神经网络,可以对外界未知环境进行学习或者模拟,并对自身的网络结构进行适当的调整,通过对输入信号的竞争学习而将其划归为不同的类别。SOFM 学习规则是一种与大脑皮层竞争(抑制)相似的算法。竞争学习中每一时刻只有一个输出单元激活,或每组输出单元中只有一个激活,输出单元为了激活而竞争,聚类中心映射到一个曲面或平面上,并且保持拓扑结构不变,因此,它能根据学习规则对输入的模式自动进行分类,降低了指标和权重的主观性,提高分类的客观性和准确性,在地理学和生态学领域得到广泛应用^[30]。

SOFM 网络学习过程:①权值初始化,用小的随机数对各权向量赋予初值,各节点权值应取为不一样的。②在样本集中随机选择一个样本 X 作为输入。③在时刻 t ,选择最佳匹配单元 i (竞争过程)。这里是选定输入向量 X 与所有权向量之间的最不相似者作为胜单元,用欧氏距离表示 W 。其中,下标 c 表示获胜单元,则有:

$$\|X - W_c\| = \min \|X_i - W_i\| \quad (9)$$

本文运用 SOM Toolbox 2.0 (<http://www.cis.hut.fi/projects/somtoolbox/>) 工具箱在 Matlab R2017 年平台训练 SOFM 网络。除生物多样性维持服务外,其他生态系统服务计算 2000,2005,2010 和 2015 年 4 期数据求平均值,作为输入层数据。初始权值为 $[0,1]$ 的随机数,基本学习速率为 0.1,循环次数为 200 次,其他均采用默认值。

利用 SOFM 神经网络对分区指标进行空间聚类,由于西藏已有分区方案^[19] 的分区在 5 个以上,考虑到区域空间分异表征准确性及其刻画细致性的需要,初始设置聚类类别数由 5 类逐一增加到 12 类。分类数目对最后的结果影响很大,可以根据分区单元的聚集度来筛选最优分区方案。本研究具体选用景

观水平下的聚集度指数 (aggregation index, AI),综合度量不同分区方案所划定的各类型区域的空间聚集水平^[31]。

$$AI = \left| \sum_i \left(\frac{g_{ii}}{\max g_{ii}} \right) P_i \right| \quad (0 \leq AI \leq 100) \quad (10)$$

式中: g_{ii} 为斑块类型 i 像元之间的节点数; $\max g_{ii}$ 为斑块类型 i 像元之间的最大节点数; P_i 为斑块类型 i 所占的面积比例。

1.3.3 提取子流域单元 运用 DEM 数据,基于 GIS 水文分析方法提取流域单元,研究区共生成 4 705 个子流域。将 DEM 自动提取的河网与现状河流进行空间对比,发现两者总体吻合较好(见图 1)。

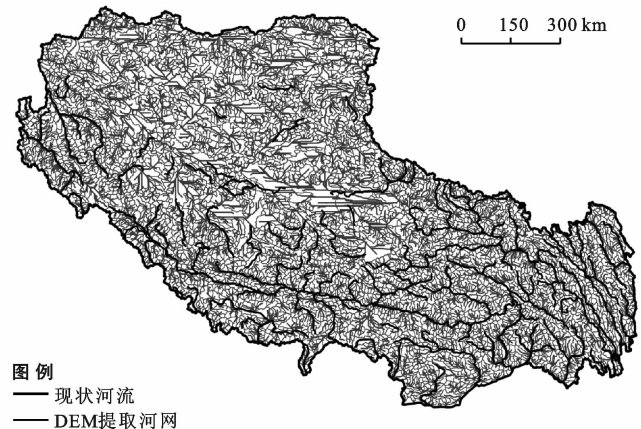


图 1 西藏自治区子流域分布

1.3.4 分类到分区的转换 将归一化的指标因子作为 SOFM 的输入数据进行聚类,在优选聚类结果的基础上,运用 ArcGIS 软件中的合并图斑工具逐步合并由 DEM 提取的子流域单元。在合并流域单元的过程中遵循以下原则:①面积占优原则。当流域单元内部有多个类别栅格单元时,将其归并为面积占优的类别;②区域完整性原则。西藏是中国湖泊最多的地区,在合并流域单元时要保证湖泊的完整性;③区域共轭性原则。分区结果具有一定的空间连续性^[4],不能存在独立于区域之外而又从属于该区域的单元。

2 结果分析

2.1 生态系统服务空间分布格局

将生态系统服务的归一化 $0 \sim 1$ 值作为功能指数,数值越大代表相应服务功能越强。运用 GIS 软件中的自然间断点分级法 (Jenks) 分为 5 个等级,分别代表高值区、中高值区、中值区、中低值区、低值区。由图 2 可以看出,西藏自治区生物多样性维持的高值区与中高值区主要分布在藏东南。此区域处于北热

带季雨林、半常绿季雨林带,相对西藏其他区域降雨丰富,植被类型多,生物多样性丰富。中值区与中低值区分布广泛,其中中值区主要分布在西北部与东部区域。低值区分布较少,主要在昌都地区。西藏自治区固碳呈现出从东南向西北递减的趋势。东南部地区属于北热带季雨林区,属于森林生态系统,固碳能力强,是明显的高值区。中西部地区主要是高寒草原、高寒草甸等高寒植被分布区,相对于东南部的林地,其固碳的能力较弱。产水服务呈现东高西低的空间格局。高值区集中分布东南部,主要受降水分配格局与生态系统类型分布的影响,从而表现出明显的区域分异特征,自东南向西北逐渐递减在这与降水量由东南向西北逐渐减少的趋势一致。山南地区南部、昌都地区与林芝地区为利用类型为林地,属于北部热带

季雨林带,受到气候与植被的影响,呈现出较高的产水量,而其他地区则比较低。西藏自治区的土壤保持整体水平较低,南部植被状况良好,土壤保持量相对较高,主要分布在山南地区、林芝地区和昌都地区;中西部地区地形起伏大,植被覆盖度低,土壤保持能力较弱。本文食物供给服务主要反映区域的肉类供给与粮食供给能力,食物供给中粮食产量分布比较集中,肉类产量分布相对较广。高值区主要分布在中部区域,此区域主要是西藏最重要的河谷农业区和商品粮基地。中值区与中低值区分布在西藏北部大部分地区,其主要土地利用类型为温性草原与高寒草原,根据土地利用类型与食物供给量的函数关系,因此大面积分布为中值区与中低值区。东南部土地利用类型主要为林地,因此食物供给能力较弱,为低值区。

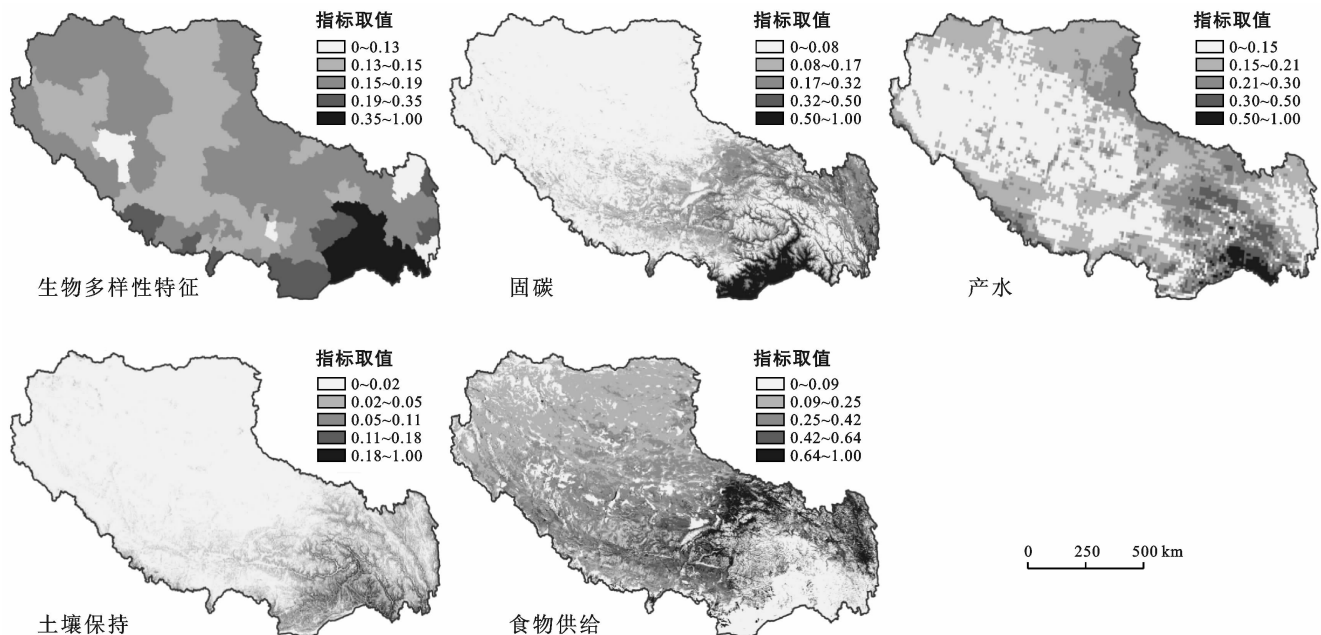


图 2 西藏自治区生态系统服务指标空间分布

2.2 生态功能类型划分

本文使用 Fragstats 4.2 软件计算每一种聚类结果的景观聚集度指数。景观聚集度随着分类数目的增加而减少,5 到 12 种分类结果的聚集度依次是 79.27,76.53,76.61,74.09,73.71,71.54,71.63,71.63。依据聚集水平综合考虑数据的可分区性,选择分为 5 类作为分区依据,其分类结果如图 3 所示。由图 3 可以看出,类别 1 主要分布在西藏北部,各类生态系统服务均在较低的水平;类别 2 主要分布在西藏中部,各生态系统服务水平也不高;类别 3 主要集中在东部地区,食物供给能力比较强;类别 4 与类别 5 集中分布在藏东南,主要为森林生态系统,生物多样性维持

能力均比较强。其中,类别 4 在藏西北也有分布,但相对于藏东南分布比较分散。

2.3 生态功能分区

由图 3 可以看出各类别的聚集效果,但是边界并不是十分清晰,因此寻求科学合理的划分边界方法十分必要。为合理划分生态功能区,本文在聚类结果的基础上,逐步合并子流域单元,最终得到各区域边界,将西藏地区划分为 5 个生态功能区(见图 4)。生态功能区的命名是生态功能分区结果的具体体现和标识,是分区工作的一个重要环节^[19]。命名需要反映区域生态功能的特点,明晰不同分区生态系统服务与生态敏感性的差异^[32]。因此,根据分区聚类类型特征,西

西藏自治区生态功能区的命名均由地区名称+地带+生态功能区 3 部分组成。①藏北高寒荒漠草原生态脆弱区。该区主要包括藏北的阿里地区与那曲地区北部,属于高寒荒漠草原地带,占西藏总面积的 43.91%。区域土地利用类型以草地和未利用地为主,分别占 82.73%,12.94%(其中 7.43%是裸岩石质地)。固碳、产水、土壤保持等生态系统服务都属于较低的水平。该区域地势平缓开阔,包括了羌塘国家级自然保护区,它是高寒荒漠草原生态系统的代表地区^[33],这里不仅有星罗棋布的湖泊,空旷无边的草场以及雪山和冰川,而且有众多的濒危野生动植物,是生态环境极为脆弱的区域^[34]。②藏中草原牧业盈余区。该区主要包括日喀则地区与那曲地区中部,属于高寒草原和温性草原地带,占西藏总面积的 22.82%。区域土地利用类型以草地为主,占 82.64%,其次为 9.84%的未利用地(其中 8.22%是裸岩石质地)。尽管耕地面积只占区域面积的 0.54%,但是占整个西藏耕地面积的 32.26%。除食物供给服务相对较高外,其他服务水平均比较低。该区主要为草地,地形起伏比较平缓,适合高原畜牧业发展,是西藏的主要牧区。西藏整体生态环境都比较脆弱,因此,更需要合理放牧与进行农业生产,防治生态环境的破坏。③藏东亚热带山地针叶林农牧产品供给区。该区主要包括拉萨市、那曲地区东部与昌都地区,跨温性草原、高寒草甸、温性针叶林等多种地带,占西藏总面积的 17.94%。区域土地利用类型以草地、未利用地为主,分别占 67.99%,17.11%(其中主要为 16.23%的裸岩石质地)。虽然该区的耕地面积仅占 1.05%,但是却占整个西藏耕地面积的 49.63%。该区水热条件较好,是西藏的河谷农业区与商品粮基地,是西藏主要粮食产区,食物供给服务处于很高的水平。④藏东南亚热带山地针叶林产水区。该区主要包括林芝市北部、昌都地区南部以及山南地区的小部分区域,大部分区域属于亚热带山地寒温性针叶林地带,占西藏总面积的 7.65%。区域土地利用类型林地、草地、水域均分布较广,分别占 30.86%,25.61%和 8.11%,但同时分布有 35.04%的裸岩石质地。该区域地貌主要为横断山地,高山深谷,水源丰富^[35],区域生物多样性维持、产水服务都处于较高的水平。⑤藏东南热带季雨林生物多样性保护区。该区主要包括山南地区的南部与林芝市的南部地区,属于北热带季雨林带与半常绿季雨林带,占西藏总面积的 7.68%。区域土地利用类型以林地为主,占 74.00%,其次为裸岩石质地,占 13.71%。区域生物多样性维持、固碳等服务水平很高。该区与国家重点生物多样性保

护区范围基本一致,这从侧面也证明了本研究分区结果的合理性。

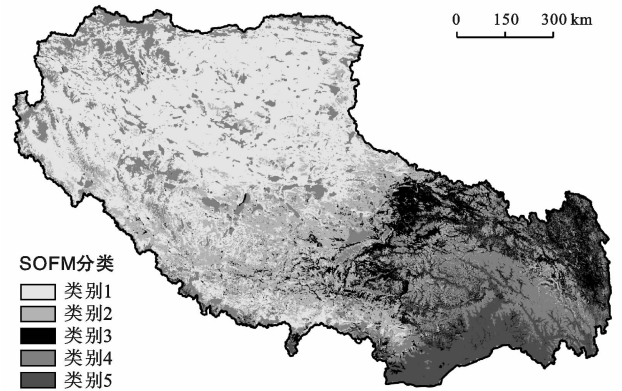
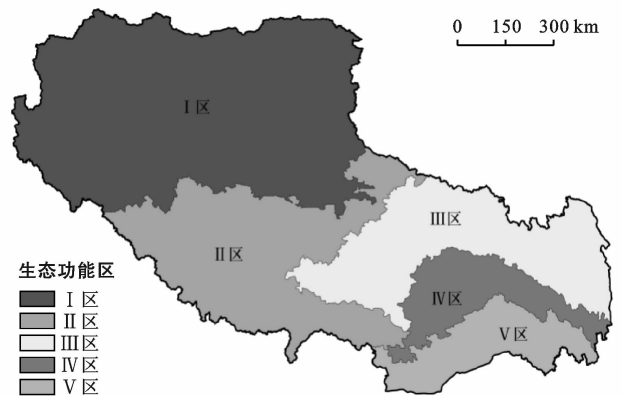


图 3 西藏自治区 SOFM 分类



注: I 为藏北高寒荒漠草原生态脆弱区; II 为藏中草原牧业盈余区; III 为藏东亚热带山地针叶林农牧产品供给区; IV 为藏东南亚热带山地针叶林产水区; V 为藏东南热带季雨林生物多样性保护区。

图 4 西藏自治区生态功能分区

3 讨论与结论

3.1 讨论

本研究从流域单元出发,生态功能分区结果不仅能够反映西藏的生态系统整体特征,并且与西藏的县域功能定位有较大的契合性。如西藏将各县主要分为粮食基地县、农业县、半农半牧县、牧业县、“一江两河”经济开发县等,其县域功能定位与部分生态服务功能相契合。I 藏北高寒荒漠草原生态脆弱区包括了羌塘国家级自然保护区,该区也是国家重点保护的生态脆弱区;II 藏中草原牧业盈余区与西藏主要牧业区相契合;III 藏东亚热带山地针叶林农牧产品供给区与西藏的主要粮食产区与经济发展区相契合;IV 藏东南亚热带山地针叶林产水区与西藏主要水源区相契合;V 藏东南热带季雨林生物多样性保护区与国家重点生物多样性保护区的边界基本一致。

将本研究的区划结果与《全国生态功能区划》(修编版)以及王小丹等^[19]西藏高原的区划结果进行对

比,可以看出,在指标体系上,王小丹等选择了主要生态系统服务与生态敏感性因子,而本研究与《全国生态功能区划》(修编版)则主要侧重于生态系统服务,并且均包含了食物供给这一功能;在区划边界范围上,本研究与已有研究有所差异,但是所反映的主要生态系统服务功能大致相同(见表 1)。导致差异的主要原因是本研究与已有研究在指标因子的选择与计算、基本分区单元以及分区方法的不同。

SOFM 神经网络模型具有拓扑结构不变性,是一种较好的非监督分类方法,可以避免权重确定的主观性等问题,但是无法直接确定最佳分类数,需要根据试验内容与经验自行判断,因此,这也是本文存在的

不足之处。与以往直接基于县域单元或流域单元作为 SOFM 网络的输入数据不同,本文首先考虑区域内部结构的差异性,保证分类结果的相对准确性,基于比较精确的栅格单元作为 SOFM 网络的输入数据。但随着数据精度越高不可避免分类结果的破碎程度越大,各类别之间没有清晰的边界。本文通过提取流域单元逐步合并得到各分区的边界,在此过程中考虑到了区域完整性,保证了分区边界上湖泊不被分割,但此方法较为耗时。因此,如何更加客观、合理地确定区划边界,结合机器学习与大数据研究适合不同数据类型、不同尺度区域的分区技术与方法是需要相关研究者共同考虑的问题。

表 1 本研究与已有研究区划结果对比

项目	西藏生态功能分区 (本研究)	西藏高原生态功能区划 (一级区划名称)	全国生态功能区划 (修编版)
指标体系	生物多样性维持、土壤保持、产水、固碳、食物供给	水源涵养、生物多样性、土壤保持、防风固沙、生态敏感性	水源涵养、生物多样性保护、土壤保持、防风固沙、农产品提供
对应区划结果	藏北高寒荒漠草原生态脆弱区	羌塘高原寒带半干旱草原生态区、昆仑高原寒带干旱荒漠生态区、阿里山地温带干旱荒漠生态区	藏西北羌塘高原生物多样性保护重要区
	藏中草原牧业盈余区	藏南山原宽谷温带半干旱灌丛草甸生态区	西藏水源涵养区
	藏东亚热带山地针叶林农牧产品供给区	怒江源高原寒带半湿润高寒草甸生态区	西藏农产品提供区
	藏东南亚热带山地针叶林产水区	藏东高山深谷温带半湿润常绿阔叶林—暗针叶林生态区	—
	藏东南热带季雨林生物多样性保护区	藏东南山地热带雨林、季雨林生态区	藏东南生物多样性保护重要区

3.2 结论

(1) 西藏自治区主要生态系统服务整体上呈现出从东南向西北递减的格局。其中,生物多样性维持的高值区集中分布在藏东南热带季雨林带;固碳的高值区主要分布在藏东南与东部横断山区;产水服务的高值区主要分布在东南部;土壤保持整体水平较低,高值区主要分布在东南部;食物供给的高值区主要分布在拉萨市、那曲地区东部与昌都地区等区域。

(2) 西藏自治区可划分为藏北高寒荒漠草原生态脆弱区、藏中草原牧业盈余区、藏东亚热带山地针叶林农牧产品供给区、藏东南亚热带山地针叶林产水区和藏东南热带季雨林生物多样性保护区 5 个生态功能区。各分区特征明显,分区结果在一定程度上能够体现西藏生态功能的分布特点,以期西藏生态系统区域综合认知和空间综合治理提供理论依据。

[参 考 文 献]

[1] 宋治清,王仰麟,丁艳,等. 市域生态功能区划与可持续发展研究:以深圳市为例[J]. 资源科学,2004,26(5):117-124.
 [2] 洪步庭,任平,苑全治,等. 长江上游生态功能区划研究[J]. 生态与农村环境学报,2019,35(8):1009-1019.
 [3] Bailey R G. Delineation of ecosystem regions [J]. Envi-

ronmental Management, 1983,7(4):365-373.

[4] 贾良清,欧阳志云,赵同谦,等. 安徽省生态功能区划研究[J]. 生态学报,2005,25(2):254-260.
 [5] Schneider A, Friedl M A, Potere D. Mapping global urban areas using MODIS 500-m data: New methods and datasets based on 'urban ecoregions' [J]. Remote Sensing of Environment, 2010,114(8):1733-1746.
 [6] 刘焱序,傅伯杰,王帅,等. 从生物地理区划到生态功能区划:全球生态区划研究进展[J]. 生态学报,2017,37(23):7761-7768.
 [7] 傅伯杰,陈利顶,刘国华. 中国生态区划的目的、任务及特点[J]. 生态学报,1999,19(5):3-7.
 [8] 欧阳志云. 中国生态功能区划[J]. 中国勘察设计,2007(3):21-22.
 [9] 李双成,蒙吉军,彭建. 北京大学综合自然地理学研究的贡献[J]. 地理学报,2017,72(11):1937-1951.
 [10] 张甜,彭建,刘焱序,等. 基于植被动态的黄土高原生态地理分区[J]. 地理研究,2015,34(9):1643-1661.
 [11] 罗怀良,朱波,刘德绍,等. 重庆市生态功能区的划分[J]. 生态学报,2006,26(9):3144-3151.
 [12] 李潇然,李阳兵,王永艳,等. 三峡库区县域景观生态安全格局识别与功能分区:以奉节县为例[J]. 生态学杂志,2015,34(7):1959-1967.

- [13] 黄皎,高阳,赵志强,等.基于GIS与SOFM网络的中国综合自然区划[J].地理研究,2011,30(9):1648-1659.
- [14] 毛祺,彭建,刘焱序,等.耦合SOFM与SVM的生态功能分区方法:以鄂尔多斯市为例[J].地理学报,2019,74(3):460-474.
- [15] 马程,李双成,刘金龙,等.基于SOFM网络的京津冀地区生态系统服务分区[J].地理科学进展,2013,32(9):1383-1393.
- [16] 李慧蕾,彭建,胡熠娜,等.基于生态系统服务簇的内蒙自治区生态功能分区[J].应用生态学报,2017,28(8):2657-2666.
- [17] 谢高地,张昌顺,张林波,等.保持县域边界完整性的中国生态区划方案[J].自然资源学报,2012,27(1):154-162.
- [18] 丁世飞,齐丙娟,谭红艳.支持向量机理论与算法研究综述[J].电子科技大学学报,2011,40(1):2-10.
- [19] 王小丹,钟祥浩,刘淑珍,等.青藏高原生态功能区划研究[J].地理科学,2009,29(5):715-720.
- [20] 钟祥浩,刘淑珍,王小丹,等.青藏高原国家生态安全屏障保护与建设[J].山地学报,2006,24(2):129-136.
- [21] 吕晓洁,潘韬,张玉虎,等.西藏自治区草地生态系统服务功能损益核算研究[J].首都师范大学学报(自然科学版),2019,40(5):57-63.
- [22] 张路,肖焱,郑华,等.2010年中国生态系统服务空间数据集[J/OL].中国科学数据(中英文网络版),2018(4):138-150.
- [23] 黄心怡,赵小敏,郭熙,等.基于生态系统服务功能和生态敏感性的自然生态空间管制分区研究[J].生态学报,2020,40(3):1-12.
- [24] 张彪,李文华,谢高地,等.森林生态系统的水源涵养功能及其计量方法[J].生态学杂志,2009,28(3):529-534.
- [25] 朱文泉,潘耀忠,张锦水.中国陆地植被净初级生产力遥感估算[J].植物生态学报,2007,31(3):413-424.
- [26] 肖玉,谢高地,安凯.青藏高原生态系统土壤保持功能及其价值[J].生态学报,2003,23(11):2367-2378.
- [27] 王传旗,邓时梅,张文静,等.论西藏草业发展[J].草学,2018(1):74-79.
- [28] Groten S M E. NDVI-crop monitoring and early yield assessment of Burkina Faso [J]. International Journal of Remote Sensing, 1993,14(8):1495-1515.
- [29] Kohonen T. The self-organizing map [J]. Neurocomputing, 1998,21(1):1-6.
- [30] 陈凯,刘增文,李俊,等.基于SOFM网络对黄土高原森林生态系统的养分循环分类研究[J].生态学报,2011,31(23):37-45.
- [31] 彭建,胡熠娜,吕慧玲,等.基于要素—结构—功能的生态功能分区:以大理白族自治州为例[J].生态学杂志,2016,35(8):2251-2259.
- [32] 郑度,欧阳,周成虎.对自然地理区划方法的认识与思考[J].地理学报,2008,63(6):563-573.
- [33] 刘世梁,赵海迪,董世魁,等.基于SPEI的近50年青藏高原高寒草地自然保护区气候变化研究[J].环境科学学报,2014,23(12):1883-1888.
- [34] 郭燕红,张寅生,马颖钊,等.藏北羌塘高原双湖地表热源强度及地表水热平衡[J].地理学报,2014,69(7):983-992.
- [35] 王亚慧,戴尔阜,马良,等.横断山区产水量时空分布格局及影响因素研究[J].自然资源学报,2020,35(2):371-386.