

DOI: 10.5846/stxb202109132566

董兆蓉, 苑全治, 王紫晨, 任平. 川西农牧交错带“三生”空间冲突演变特征分析及模拟预测——以阿坝州四县为例. 生态学报, 2023, 43(15): 6243-6256.

Dong Z R, Yuan Q Z, Wang Z C, Ren P. Analysis and simulation prediction of the evolutionary characteristics of the living-production-ecological spatial conflicts in the agriculture-pastoral ecotone in western Sichuan: Taking four counties in Aba Prefecture as examples. Acta Ecologica Sinica, 2023, 43(15): 6243-6256.

川西农牧交错带“三生”空间冲突演变特征分析及模拟预测

——以阿坝州四县为例

董兆蓉^{1,2}, 苑全治^{1,2,*}, 王紫晨^{1,2}, 任平^{1,3}

1 四川师范大学地理与资源科学学院, 成都 610101

2 四川师范大学川西资源与可持续发展研究中心, 成都 610066

3 四川师范大学西南土地资源评价与监测教育部重点实验室, 成都 610066

摘要: 川西农牧交错带处于我国第一、第二阶梯的交替地带, 是西部生态脆弱典型区, 地势起伏显著, 地形及生态环境复杂, 积极开展川西农牧交错带“三生”空间冲突(生活、生产、生态)研究, 将有助于川西农牧交错带生态安全保障与社会经济协调良性发展。研究区域为阿坝藏族羌族自治州四县(马尔康、理县、黑水、松潘), 以 2005—2020 年土地利用数据为基础, 通过 CLUE-S 软件模拟了未来的土地利用模式; 将研究区域“三生”空间分为生活生产空间、生态生产空间、生产生态空间、生态空间 4 种类型, 并建立空间冲突测算模型, 对研究区域 2005—2025 年四期空间冲突水平进行了测算。结果表明: (1) 2005—2025 年四县域面积所占比重最大的是生态生产空间, 之后依次为生态空间、生产生态空间、生活生产空间。生活生产、生产生态空间面积连续上升, 仅生态生产空间面积减少, 生态空间面积以波动变化为主。(2) 2005—2025 年该区域以中等空间冲突为主。(3) 2005—2025 年, 总体而言空间冲突值的高-高聚集区主要位于四县域的农牧交错带、生活生产空间的交叉区域且表现明显, 高-高聚集区在松潘县和马尔康县的农牧交错带有逐渐扩大的趋势, 黑水县和理县聚集区面积先减少后轻微扩张; 空间冲突值的低-低聚集区主要位于以生态生产空间为主与生态空间的交叉区域; 集聚不显著的区域以生态空间为主。(4) 整体来看, 川西农牧交错区域“三生”空间中生态生产空间冲突强度最高。

关键词: 川西农牧交错带; CLUE-S 模型; 三生空间; 空间冲突

Analysis and simulation prediction of the evolutionary characteristics of the living-production-ecological spatial conflicts in the agriculture-pastoral ecotone in western Sichuan: Taking four counties in Aba Prefecture as examples

DONG Zhaorong^{1,2}, YUAN Quanzhi^{1,2,*}, WANG Zichen^{1,2}, REN Ping^{1,3}

1 The Institute of Geography and Resources Science, Sichuan Normal University, Chengdu 610101, China

2 Sustainable Development Research Center of Resources and Environment of Western Sichuan, Sichuan Normal University, Chengdu 610066, China

3 Key Laboratory of Land Resources Evaluation and Monitoring in Southwest, Ministry of Education, Sichuan Normal University, Chengdu 610066, China

Abstract: The western Sichuan agriculture-pastoral ecotone is located in the alternate zone of the first and second tiers in China. It is a typically ecologically fragile area in the west, with significant undulations, complex topography and ecological

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(41930651); 国家自然科学基金青年项目(41701100)

收稿日期: 2021-09-13; **采用日期:** 2022-12-02

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yuanqz@sicnu.edu.cn

environment. The study of spatial conflict (living-production-ecological) in the agriculture-pastoral ecotone of western Sichuan will contribute to the ecological security and social and economic coordinated and benign development in the ecotone. This paper takes four counties of Aba Tibetan and Qiang Autonomous Prefecture (Malkang, Li County, Heishui, and Songpan) as examples. The living-production-ecological space in the study area is divided into four types: living-production space, ecological-production space, production-ecological space, and ecological space. A spatial conflict measurement model is built to calculate the living-production-ecological spaces conflict index in the study area from 2005 to 2025. The results show that ecological production space accounts for the largest proportion of the four counties area from 2005 to 2025, followed by ecological space, production-ecological space, and living-production space. The area of living-production space and production-ecological space continues to rise, only the area of ecological-production space is reduced, and the area of ecological space is dominated by fluctuations. From 2005 to 2025, the region is dominated by medium-sized spatial conflicts. From 2005 to 2025, in general, the high-high agglomeration areas of spatial conflict values are mainly located in the four-county agriculture-pastoral ecotone and the intersection of living and production spaces, and their performance is obvious. The high-high agglomeration areas are gradually expanding in the agriculture-pastoral ecotone of Songpan County and Malkang County, and the high-high agglomeration areas of Heishui County and Li County first decrease and then slightly expand. The low-low agglomeration areas of spatial conflict value are mainly located at the intersection of ecological-production space and ecological space. Areas with inconspicuous agglomeration are dominated by ecological space. On the whole, the ecological-production space conflict intensity is the highest in the living-production-ecological spaces in the agriculture-pastoral ecotone of western Sichuan.

Key Words: agriculture-pastoral ecotone in western Sichuan; CLUE-S model; living-production-ecological spaces; spatial conflict

区域人口的增加以及经济的发展使得人类开发资源和改造环境的能力不断增强^[1],开垦土地、扩张建设用地等一系列空间开发利用活动也改变着区域生态系统的结构与功能,势必会形成一定的空间冲突问题^[2]。党的十八大会议指出空间发展的新目标是要逐渐形成集聚高效的生产空间、宜居舒适的生活空间、山清水秀的生态空间^[3],十九大继续提出要大力倡导社会主义生态文明观。在这一背景下,对于“三生”空间的研究也成为国家政府部门以及学术界关注的热点问题。近年来,诸多学者也针对“三生”空间进行了研究,研究内容主要包括:概念、识别^[4-6]、用地分类体系及时空演化机制^[7-10]、空间冲突、空间优化^[11-13]等几个方面,这也为研究川西农牧交错带“三生”冲突问题奠定了基础,测度研究区域的空间冲突水平,对促进区域经济及生态保护的和谐发展具有十分重要的意义。

“冲突”是一种常见的社会现象,它来源于社会学,是指因为某种原因导致多个主体之间产生心理状态或行为的矛盾^[14]。随后关于“冲突”的研究也引入到其它研究领域,地理学中有关冲突的研究最早开始于土地利用冲突^[14-15],研究内容主要包括概念及类型研究、冲突识别方法研究、冲突时空演变特征研究等。由于土地兼备自然与社会双重属性,土地利用主体目标的不同,使得各利益相关者在使用同一空间内的土地资源时会产生一定的冲突与矛盾现象。一方面,这些冲突问题包括土地利用数目、方式上的冲突,另一方面也包括空间布局上的冲突。从冲突的类型来看包括空间冲突^[16]、生态环境冲突^[17-18]、资源冲突^[19]、社会、经济及生态复合冲突^[20];而冲突的识别评价是冲突研究的核心内容,对于冲突的识别分析方法主要有定性和定量两种,定性法包括博弈论分析法^[21-22]及参与式调查法等^[23],定量法包括 PSR 模型及其 PSIR、DSP、DPSIR 等拓展模型^[24-25]、多目标评价法^[26-28]、适宜性评价^[29]、景观生态风险评价^[2,30-32]等;冲突时空演变特征研究中空间自相关分析必不可少,随着研究的深入,研究者们也通过适宜性评价^[33]或者结合 CLUE-S 模型^[34]、CA-Markov 模型^[35]等方法判断未来潜在冲突的演变情况。而对于“三生”空间冲突问题的研究和土地利用冲突的研究二者之间是一脉相通的,对前者的研究也扩展了后者的研究视角。目前学者们对于空间冲突的研究主要集中于冲突强度的等级测度、演变特征的分析、影响因素的分析以及潜在冲突的预测与识别等^[30-32,34]。

川西农牧交错带与我国北方农牧交错带不同,北方农牧交错带受到水分条件制约,而它是受到温度的制

约,它比北方农牧交错带复杂。虽然之前的学者们在空间冲突问题方面已经做了诸多工作,但是依然存在一些不足之处。在研究尺度上,主要针对城市群^[2,30-31,36-38]、城市^[39-40]、滨海地区^[41]以及一些特殊的区域如流域城市^[25,44]、生态脆弱民族地区等^[43]。对位于川西农牧交错带中、小尺度的县域等研究很少,且大多数研究在时间上主要针对现状研究,预测川西农牧交错带未来冲突格局的研究非常少。川西农牧交错带是国家重要的生态功能区,同时也是脱贫攻坚的重点区域,保护生态环境与发展社会经济在该区域的国土空间上势必存在冲突,但是空间冲突的程度、空间分布和阶段性有待于研究。积极开展川西农牧交错带“三生”空间冲突研究,了解并预测川西农牧交错区域“三生”空间冲突水平对于促进该区域社会经济发展与生态保护协调可持续发展,保障生态安全具有重要意义。基于此,本文以位于川西农牧交错带的阿坝州四县为例,采用 CLUE-S 模型对研究区域 2025 年“三生”空间状况格局进行模拟预测;以研究区域土地利用的首要、次要功能为基础,划分研究区域“三生”空间,研究四县域 2005—2025 年“三生”空间的变化情况;并借鉴景观生态风险评价法建立空间冲突测算模型,基于景观格局层面对研究区域 2005—2025 年“三生”空间冲突水平进行测算与分析,有利于农牧交错带地区对用地结构进行调整,为更好的保护生态环境、缓和川西农牧交错区域空间冲突,优化空间布局等政策的制定提供参考。

1 数据与方法

1.1 研究区域概况

川西农牧交错位于四川西北部(97°22′—103°40′E,26°04′—34°20′N),处在我国青藏高原与四川盆地的交接区域,是长江上游生态环境的保护屏障,也是我国重要牧区之一,主要包括阿坝藏族羌族自治州和甘孜藏族自治州,面积约 $23.6 \times 10^4 \text{ km}^2$ ^[44]。该区地势高,地形起伏显著;气候类型多样,是大陆性季风气候与高原季风气候的过渡带^[45],年日照时数大于 2000h,日照充足,昼夜温差较大,干湿季分明,年平均降水量大约 600—700mm^[46];主要的土壤类型有草甸土、棕壤、褐土等。本文根据陈全功等人^[47]基于 GIS 平台做出的 2005 年中国农牧交错带地理分布图为依据,基于数据的可获取性、操作性,选择川西农牧交错区域中具有代表性与典型性的阿坝藏族羌族自治州的四个县(马尔康、理县、黑水、松潘)作为研究区域(如图 1)。以 2015 年为例,马尔康市、理县、黑水县、松潘县农业、牧业增加总值分别占地区第一产业增加值的 94.75%、94.57%、77.81%、92.58%;2015 年年末四县域实有耕地面积分别为 3927hm²、2489 hm²、6488 hm²、8274 hm²,以粮食作物例如小麦、玉米、马铃薯等种植为主;四县域均有大面积的草地,以牦牛、生猪、山羊、绵羊等牲畜养殖为主,2015 年年末四县域各类牲畜出栏头数分别达到 60389 头、19705 头、56140 头、80503 头。

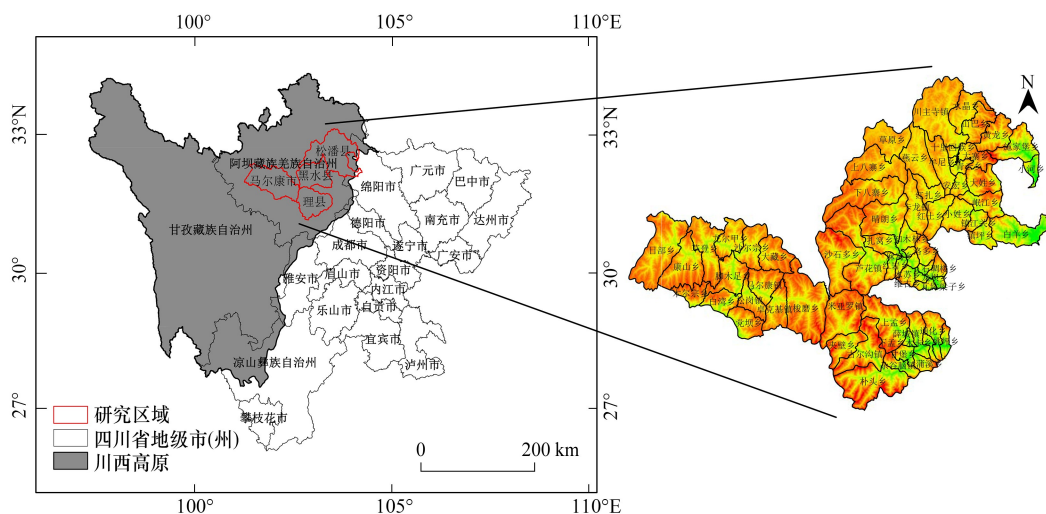


图 1 研究区地理位置示意图

Fig.1 Schematic diagram of the geographical location of the study area

1.2 数据来源

本文以 2005 年为起始年份,10a.为研究间隔,选取研究区域 2005 年、2015 年以及最新的 2020 年三期 30×30 m 土地利用覆被数据。土地利用覆被数据、人口数据、GDP 数据数据均从中国科学院资源环境科学数据中心(<http://www.resdc.cn>)获取;高程数据(30×30 m)从地理空间数据云免费获取(<http://www.gscloud.cn>),坡度、坡向数据从高程数据中提取;道路、河流以及居民点数据从全国地理信息资源目录服务系统(www.webmap.cn)中获取;其它社会统计数据来自四川省统计年鉴、阿坝州统计年鉴、中国县域统计年鉴、四县统计年鉴、公报等。

1.3 研究方法

1.3.1 CLUE-S 模型模拟设置

CLUE-S 模型是模拟预测土地利用格局的模型,该模型结合非空间分析模块和空间分析模块,消除了土地利用类型数量等一些因素的限制,适用于区域层面的土地利用模拟^[48]。非空间分析模块主要是对研究区域土地需求量进行计算,可使用插值计算、灰色系统预测法、马尔可夫模型等方法计算得到。最后将模型所需要的参数按要求输入模型,通过空间分析模块实现空间模拟。

CLUE-S 模型模拟时输入模型的参数众多且要求严格,本文主要参数设置如下:(1)驱动因素的选取:兼顾数据的相关性、可获得性、可操作性、时空一致性等原则,结合岷江上游的实际情况,本文筛选了 8 个驱动因素(高程、坡度、坡向、人口、GDP、距建设用地的距离、距河流的距离以及距主要道路的距离)。由于该区域海拔落差大,因而海拔高度、坡度、坡向必然会对土地的时空布局产生影响。社会因素方面,人类活动也影响着地类变化,考虑到数据的可获取性,选择的驱动因素是人口和 GDP。区位因素方面,选择距建设用地的距离、距河流的距离以及距主要道路的距离作为区位因素的体现。(2)研究尺度的选取:考虑到研究区域的范围大小和土地空间利用的实情,本研究选取了 6 类研究尺度(50m×50m、100m×100m、150m×150m、200m×200m、250m×250m、300m×300m)进行 Logistic 回归分析,并对不同尺度下的 Logistic 回归结果进行了 ROC 值大小检验,最终选取 200m×200m 作为模拟及研究的最佳尺度。本文所获取的各数据来源不同,各数据的空间坐标系存在差异,为保障空间分析的精度,将所有空间数据坐标系统一使用 WGS_1984_UTM_ZONE_47N,同时为避免产生误差,将所有收集到的数据都统一重采样为最佳模拟尺度即 200m×200m。(3)土地需求量文件:研究区域 2016—2025 年的土地利用数据通过插值法、马尔可夫模型计算得到。(4)各类型土地转换弹性系数、地类转换矩阵:根据研究区域实际土地利用情况并参考相关文献对弹性系数进行多次模拟调试,最终将耕地、林地、草地、水域、建设用地、未利用地转换弹性系数分别设置为 0.8、0.7、0.6、0.95、0.9、0.5;参考研究区域土地利用转换情况,设置了本研究所需要的各土地利用类型间的转换规则如表 1。

表 1 土地利用类型间的转换规则
Table 1 Conversion rules between land use types

转化规则 Conversion rules	耕地 Agriculture	林地 Forest	草地 Grassland	水域 Waterbody	建设用地 Built-up land	未利用地 Unused land
耕地 Agriculture	1	1	1	1	1	1
林地 Forest	1	1	1	1	1	1
草地 Grassland	1	1	1	1	1	1
水域 Waterbody	1	1	1	1	1	1
建设用地 Built-up land	0	0	0	0	1	0
未利用地 Unused land	1	1	1	1	1	1

1.3.2 “三生”空间分类

本文参考其他研究者对“三生”用地空间的划分方法^[7,9-10,49],结合研究区域土地利用的实际,将研究区域“三生”用地空间的格局划分为生活生产、生态生产、生产生态、生态空间四种空间类型。

生活生产空间具备生活、生产、居住等功能,但生产功能不包括与农业有关的生产。这一空间全部或部分

被建筑物覆盖,生产功能和生活功能交互,包括城镇用地、农村居民点以及其它建设用地。

生态生产空间是指拥有生态、生产双重功能,但它提供的生态功比生产功能更强大。这类空间的生态功能主要体现在水源涵养、环境净化、固沙、固碳、释放氧气等方面,提供的生产功能例如畜牧业、采挖中草药材等,将草地归为该空间类型。

生产生态空间主要是指耕地,其具有较强的生产功能,以农业生产获取农产品为主要目的,同时具有气候调节、土壤保持、涵养水源等部分生态功能。

生态空间以提供生态服务为主,参考相关研究结果^[7,9,10,49]以及结合研究区域的实际情况将水域、林地及未利用地划归为生态空间,其中研究区域的未利用地包括沼泽地、沙地、盐碱地、裸地等人类利用较少、不被随意扰动并具有生态功能的用地。

1.3.3 研究区“三生”空间冲突测算模型的构建

在空间冲突测算模型构建时,参考相关研究,本文以景观生态学相关理论和土地利用空间协调发展等理论为基础^[2,16,31,34,42],从三个方面(复杂性、稳定性、脆弱性)为切入点构建空间冲突测度模型以量化评价研究区域空间冲突程度,空间冲突综合水平模型为:

$$S = S_{AWMPFD} + S_{FI} - S_{PD}$$

式中 S 为空间冲突综合指数; S_{AWMPFD} 为空间复杂性指数、 S_{PD} 为空间脆弱性指数、 S_{FI} 为空间稳定性指数。

(1) “三生”空间复杂性指数

分形是描述自然事物、现象、人类活动在地理空间上的分布格局及空间演变的有效工具和重要方法^[50],反映了空间景观格局中的人为干扰程度。空间复杂性指数的测算通过对空间单元外部压力的测算来实现,综合考虑邻域范围内景观斑块对测度景观斑块的影响程度。景观斑块的空间复杂程度用面积加权平均拼块分形指数(AWMPFD)衡量。一般来说面积加权平均拼块分形指数值越大,则干扰度越大,斑块所受的外界压力也越大。计算公式如下:

$$S_{AWMPFD} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \frac{2\ln(0.25P_{is})}{\ln a_{ij}} \times \frac{a_{is}}{A}$$

式中, P_{is} 表示景观斑块的周长; a_{is} 表示斑块的面积; A 为空间景观单元面积; i, s 表示第 i 个空间景观网格内第 s 种景观类型; m 为划分的空间网格总数; n 为类型总数。

(2) “三生”空间脆弱性指数

受到外部压力影响的空间脆弱性指数^[32],它反映了空间斑块在受到外部压力时,产生破坏的难易程度^[39]。空间景观斑块抗压的能力会对空间脆弱状况产生直接的影响,空间越脆弱表明该空间斑块越易受到外部环境的干扰影响,抗压力能力较脆弱,从而也会导致冲突水平高。不同时期空间斑块抵御干扰的效力不同^[51]。本文空间脆弱性指数通过景观脆弱度指数测算得到,参考其它研究文献以及结合研究区域的实际情况^[2,28,30,40,52],空间内部各景观的脆弱度由强到弱依次是建设用地 6、林地 5、水域 4、耕地 3、草地 2、未利用地 1。公式如下:

$$S_{FI} = \sum_{i=1}^m \sum_{n=1}^r f_{in} \times \frac{a_{in}}{A}$$

式中, f_{in} 表示各种类型景观的脆弱度; a_{in} 表示景观斑块面积; A 表示空间单元面积; i, n 表示第 i 个空间景观网格内第 n 种景观类型。

(3) “三生”空间稳定性指数

冲突会导致区域空间格局的景观斑块破碎化,而空间景观破碎化会对生态系统平衡、生物多样性等产生影响,空间景观类型单一、形态破碎会导致空间景观单元的稳定性变低,空间冲突水平变强^[2]。因此本文空间单元的稳定性选取景观生态指数中的景观破碎度来计算,用斑块密度(PD)表示。稳定性的计算公式如下:

$$S_{PD} = 1 - \frac{PD - PD_{\min}}{PD_{\max} - PD_{\min}}$$

式中, $PD = \frac{n}{A}$, PD 为景观破碎度, A 为空间单元的面积; n 表示空间单元斑块数量, $PD_{\min}$ 表示它的最小值, $PD_{\max}$ 表示它的最大值。

本文采用正方形网格作为评价单元,利用 Fragstats4.2 软件的网格分析法对研究区域“三生”空间冲突水平进行相应的测度。考虑到研究区的范围、数据量、空间斑块等相关影响因素,本文参照相关研究对研究区数据进行格网化处理,对比不同大小的网格单元(包括 1000m×1000m,2000m×2000m,3000m×3000m,4000 m×4000 m),认为尺度为 3000m×3000m 时网格单元数据量合适,也有利于表达空间冲突的分布特征。因此,按照 3000m×3000m 的空间网格划分研究区域,全部研究区域共划分了 2862 个空间冲突评价单元,然后计算各单元网格中的指数,将三种指数的计算结果标准化后代入空间冲突综合水平模型,最终对该区域空间冲突水平实现定量的研究。参考相关学者的研究^[2, 30],将最终的空间冲突值标准化至(0,1)范围内,借助冲突的抛物线演变规律,使用等间距法将空间冲突等级划分为 5 种类型,具体阈值区间见表 2。

表 2 空间冲突各等级阈值及表现
Table 2 Threshold and performance of each level of spatial conflict

冲突类型 Conflict Type	阈值区间 Threshold interval	空间景观斑块表现 Space landscape patch performance
弱空间冲突 Weak space conflict	[0,0.2)	较少受到人为扰动作用的影响,景观斑块的结构完整、连续性较强、稳定性较高
较弱空间冲突 Weaker space conflict	[0.2,0.4)	一般与较弱空间冲突区域交叉分布,冲突水平较弱
中等空间冲突 Medium space conflict	[0.4,0.6)	景观斑块的破碎度上升,斑块边界复杂
较强空间冲突 Stronger space conflict	[0.6,0.8)	景观斑块的破碎化程度高、脆弱性和复杂性上升
强空间冲突 Strong space conflict	[0.8,1]	空间景观斑块相互割裂、包围,结构复杂、破碎化程度高

2 结果及分析

2.1 2005—2025 年“三生”空间时空变化分析

2.1.1 “三生”空间格局变化

本文对模型进行精度验证时以 2015 年土地利用数据为基础,多次调试 CLUE-S 模型运行时需要调试的参数,得到合适的参数结果,并将模拟时的其他参数按要求设置完成后输入模型,最终模拟得到了研究区域 2020 年土地利用状况。对模型进行精度检验主要分为两部分,一是针对 Logistic 回归结果的检验主要使用 ROC 值;二是通过计算 Kappa 系数评价 2020 年模拟数据与 2020 年实际数据的吻合度。结果显示在模拟尺度 200m×200m 时各地类 ROC 值都大于 0.7,即模型模拟时选择的驱动因子较好;Kappa 系数的计算结果为 88.67%,表明 CLUE-S 模型得到的模拟图像与实际土地利用情况吻合度较高,模拟结果极佳,可以用 CLUE-S 模型模拟预测研究区域 2025 年的土地利用格局。假设 2020—2025 年“三生”空间格局变化情况仍按照 2015—2020 年的趋势变化,使用马尔科夫模型结合 CLUE-S 模型预测 2025 年研究区域“三生”空间格局。之后对研究区域 2005—2025 年三期土地利用现状数据进行分类归并,最终得到四县域 2005 年、2015 年、2025 年“三生”空间格局图(如图 2),研究区域“三生”空间类型以生态生产空间为主,呈现集中连片分布的特点,遍布整个研究区域;生活生产空间和生产生态空间面积较小,呈现零星状块及条带状分布,这两种空间类型伴随着社会发展的加速,逐渐扩展到周围的空间;生态空间交叉分布于各个空间中。

从“三生”空间的数量结构看(表 3),2005—2025 年生态生产空间面积超过研究区域总面积的 50%,所占比重最大;其次是生态空间,占比维持在 40%以上;生产生态空间占比居四种空间类型的第三位,不足总面积的 3%;生活生产空间面积最少。从四种空间类型随时间的推移看,研究区域生活生产、生产生态空间面积呈现连续上升趋势,2005 年—2025 年,生活生产空间占比从 0.03%上升到 0.12%,生产生态空间占比从 2.19%上升到 2.42%,主要是“5.12 大地震”以后该区域灾后重建以及随着城镇化进程加快等原因导致,随着发展加快

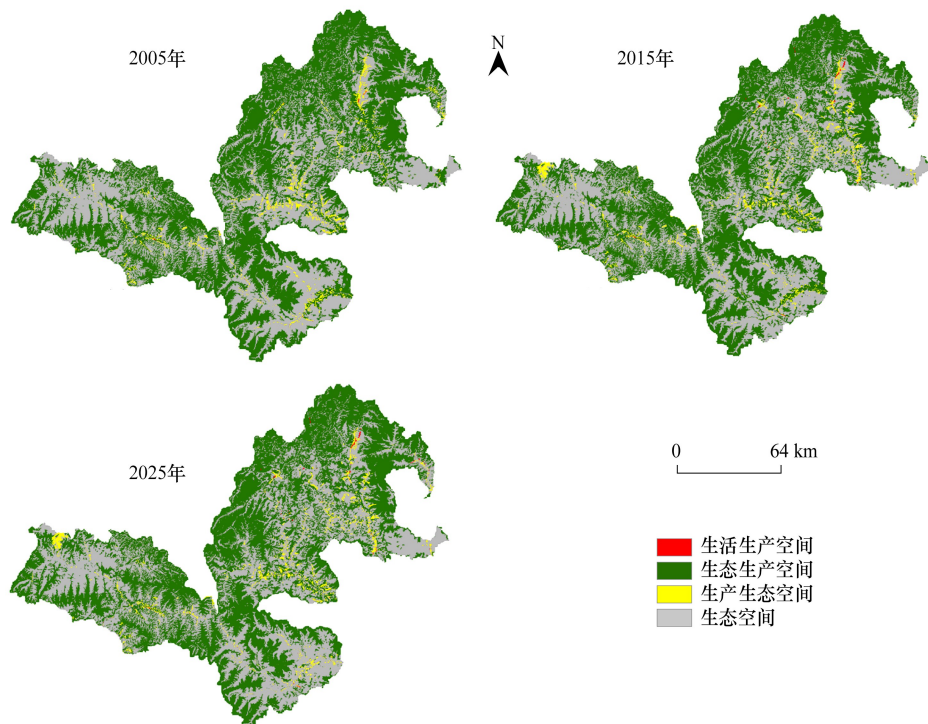


图 2 研究区 2005—2025 年“三生”空间分布图

Fig.2 Spatial distribution map of "Sansheng" in the study area from 2005 to 2025

居住条件、医疗条件、基础设施等的不断完善,人口也逐渐增多,为保证粮食生产、居住安全,因此生活生产、生产生态空间面积的增加不可避免。生态生产空间的面积则连续下降,面积比重从 2005 年的 53.96%减少到 2025 年的 51.93,一方面,是受到生活生产、生产生态空间等的挤压导致面积出现降低;另一方面,也考虑到地震及次生灾害破坏了大量草地。生态空间面积变化趋势为先下降后小幅度上升,主要是生态空间各用地面积变化较为波动导致,例如该空间内未利用地受到于大地震及所产生的泥石流、滑坡等地质次生灾害影响,导致该区域林地等遭到破坏,面积边有所增加,最终导致生态空间面积变化呈现波动的态势。

表 3 研究区域 2005—2025 年“三生”空间面积统计

Table 3 Statistics of the living-production-ecological spaces classification system of research area based on land use function in the study area from 2005 to 2025

空间类型 Conflict type	2005		2015		2025	
	面积 Area/hm ²	比例 Proportion/%	面积 Area/hm ²	比例 Proportion/%	面积 Area/hm ²	比例 Proportion/%
生活生产空间 Living and production space	708	0.03	2380	0.10	2796	0.12
生态生产空间 Ecological production space	1256716	53.96	1210888	51.99	1209456	51.93
生产生态空间 Production ecological space	50996	2.19	56104	2.41	56408	2.42
生态空间 Ecological space	1020504	45.82	1059552	45.50	1060264	45.53
总计 Total	2328924	100	2328924	100	2328924	100

2.1.2 2005—2025 年“三生”空间转移矩阵分析

本研究还使用转移矩阵模型对“三生”空间的时空变化进行了分析(表 4),研究发现 2005—2015 年四县生态生产空间的转出量最大,转出量达到 139204hm²,发生了大量的损失,这可能是由于耕地的扩张、过度放牧、草地开垦以及草地沙化、退化等原因导致^[53—55],其余空间均以转入为主,其中生活生产空间的转入主要来自生产生态空间和生态空间,生产生态空间的转入主要来自于生态生产空间。根据模拟得到的 2025 年结

果,对 2015—2025 年“三生”空间做转移矩阵分析可以看出,2015—2025 年相比于前十年来说,各空间类型的面积转变较少。生态生产空间呈现明显的转出趋势,转出面积为 1432 hm²,其余三种空间面积均以转入为主,分别净转入 416 hm²、304 hm²和 712 hm²。对整个研究时段即 2005—2025 年“三生”空间也做转移矩阵分析,可以看出预计到 2025 年生活生产空间以转入为主,转入主要来自于生态生产空间;生产生态空间也以转入为主;生态生产、生态空间以转出为主。

表 4 不同时段内研究区域“三生”空间的转移矩阵及变化状况/hm²

Table 4 The transfer matrix and change status of the living-production-ecological spaces classification system of research area based on land use function in the study area in different time periods

时间 Time	空间类型 Conflict type	生活生产空间 Living and production space	生态生产空间 Ecological production space	生产生态空间 Production ecological space	生态空间 Ecological space	转出 Transfer out	转入 change into	净变化 Net change
2005—2015	生活生产空间	376	12	172	148	332	2004	1672
	生态生产空间	396	1117512	11812	126996	139204	93376	-45828
	生产生态空间	652	9300	33712	7332	17284	22392	5108
	生态空间	956	86064	10408	925076	95428	134476	39048
2015—2025	生活生产空间	1788	116	192	284	592	1008	416
	生态生产空间	524	1110788	4688	94888	100100	98668	-1432
	生产生态空间	188	4208	44756	6952	11348	11652	304
	生态空间	296	94344	6772	958140	101412	102124	712
2005—2025	生活生产空间	224	52	216	216	484	2572	2088
	生态生产空间	716	1053460	13200	189340	203256	155996	-47260
	生产生态空间	772	8708	28252	13264	22744	28156	5412
	生态空间	1084	147236	14740	847444	163060	202820	39760

2.2 2005—2025 年“三生”空间冲突变化分析

对研究区域 2005—2025 年冲突指数进行测度(见表 5、图 3),测算结果表明:

2005 年研究区域空间冲突水平以中等、较弱空间冲突为主,冲突单元占比达到 67.75%。其中弱空间冲突单元与较弱空间冲突单元大多数交叉分布于研究其区域的周边,在研究区域的内部零星分布,空间单元网格内部主要以草地、林地和未利用地为主,未利用地也主要是沼泽地、沙地、盐碱地、裸地等以生态功能为主的地类,脆弱性较小,相对而言受人类干扰较少,因此冲突水平以弱、较弱为主;中等空间冲突分布于研究区域的各乡镇;较强空间冲突单元在四县域均有分布,这一时期,强空间冲突较少,仅零星分布于松潘县的川主寺镇、十里回族乡以及黑水县的芦花镇、红岩乡、扎窝乡,这两种级别的空间冲突单元主要出现于海拔较低有耕地和建设用地分布,以生活生产、生产生态空间为主的区域,这些区域受人类活动干扰大,因此空间冲突强度较高。

2015 年研究区域空间冲突水平以中等空间冲突和较强空间冲突为主,中等及以上空间冲突单元数量占比达到 67.21%,空间冲突水平明显增强。中等以下空间冲突单元数量减少。较强空间冲突和强空间冲突单元数量均有所增加,与 2005 年相比较强空间冲突单元占比增加了 13.03%,强冲突占比增加了 2.83%,达到 3.21%,二者均向周边乡镇有所扩散,马尔康的日部乡、马尔康镇、梭磨乡,理县的蒲溪乡、米亚罗镇,黑水县的沙石多乡、知木林乡以及松潘县一些乡镇的部分中等、较强空间冲突到 2015 年演变为强空间冲突。将这种冲突格局演变与“三生”空间格局演变结合来看,这种空间冲突强度的增高主要是由于城镇、村庄、耕地等生活生产、生产生态空间空间的外部扩张使得空间承受的外界压力变大导致。

假设 2020—2025 年“三生”空间格局变化情况仍按照 2015—2020 年的趋势变化,对预测的 2025 年“三生”空间也进行冲突测度可以发现,到 2025 年弱、较弱以及中等空间冲突缓慢上升,较强、强空间冲突有所下降。相比于 2015 年空间冲突水平有所下降。

表 5 “三生”空间冲突综合指数表

Table 5 Living-Production-Ecological spatial conflict comprehensive index table

冲突类型 Conflict Type	冲突分级 Conflict classification	空间冲突单元数量 Number of space conflict units			冲突单元占比 Proportion of conflict units		
		2005	2015	2025	2005	2015	2025
弱空间冲突 Weak space conflict	0.0—0.2	450	366	437	15.72	12.79	15.27
较弱空间冲突 Weaker space conflict	0.2—0.4	672	539	591	23.48	18.83	20.65
中等空间冲突 Medium space conflict	0.4—0.6	1267	1030	1084	44.27	35.99	37.88
较强空间冲突 Stronger space conflict	0.6—0.8	486	859	732	16.98	30.01	25.58
强空间冲突 Strong space conflict	0.8—1.0	11	92	42	0.38	3.21	1.47
平均值 Average value		0.424	0.485	0.457			
总计 Total		2886	2886	2886	100	100	100

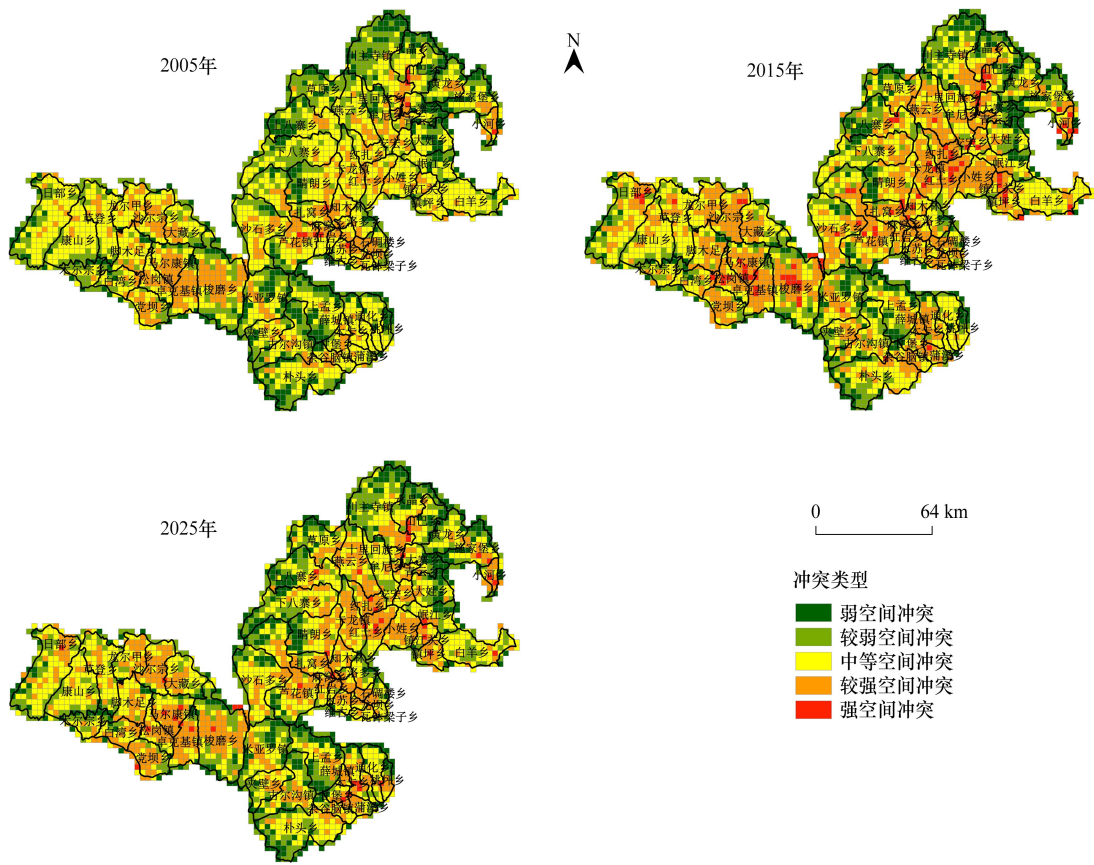


图 3 研究区域“三生”空间冲突水平空间分布

Fig.3 The spatial distribution of the living-production-ecological spatial conflict in the study area

总体而言,2005—2025 年研究区域“三生”空间冲突水平变化呈现先增长后下降的趋势,较强、强空间冲突占比先增长后减少,中等及以下冲突占比先减少后升高。强空间冲突单元聚集在马尔康市的马尔康镇、理县的薛城镇、黑水县的芦花镇、松潘县的川主寺镇等,集中分布在生活生产空间附件,这些区域景观空间结构复杂、破碎化程度较高及空间脆弱性高因此冲突水平强;较强空间冲突则主要分布于生活生产、生态生产、生产生态以及生态空间的交界区域(如图 2),由于生态生产空间和生态空间与其他空间类型相比较为脆弱,伴随着空间复杂性的增强使得这两类脆弱度较高的空间类型容易被其他类型侵占,因此这些交错地区冲突强度较强;弱空间冲突和较弱空间冲突主要交叉分布于研究区域的周边,空间复杂性程度不高,所受的外部压力较

小,因此空间冲突综合指数的值低。

2.3 研究区域“三生”空间冲突聚集特征

GeoDa 软件与 GIS 软件相结合,利用空间自相关分析,探讨研究区域“三生”空间冲突的分布情况,2005、2015 和 2025 年空间冲突的全局 Moran' s I 值分别为 0.5664、0.5704、和 0.5869 ($P<0.01$),表明研究区域空间冲突的分布具有显著的空间正相关性并且伴随时间的推移空间冲突的聚集性呈现增强的特点,预计到 2025 年聚集性也会有所增强。

分析空间冲突的局部空间自相关集聚程度可知(图 4),在 95%的置信水平上,冲突以高-高、低-低集聚为主,高-低集聚与低-高集聚数量少,分布零散,无显著规律。由图 3 结合图 1 研究区 2005—2025 年“三生”空间分布图可以看出,高-高聚区主要位于马尔康县、理县、黑水县及松潘县的农牧过渡带、生活生产空间附近,高-高集聚区在松潘县和马尔康县的农牧交错带表现一直很明显且有逐渐扩大的趋势,黑水县和理县集聚区面积先减少后轻微扩张。低-低集聚区主要位于以生态生产空间为主与生态空间的交叉区域。集聚不显著的区域以生态空间为主,也交叉分布有其他的空间类型。

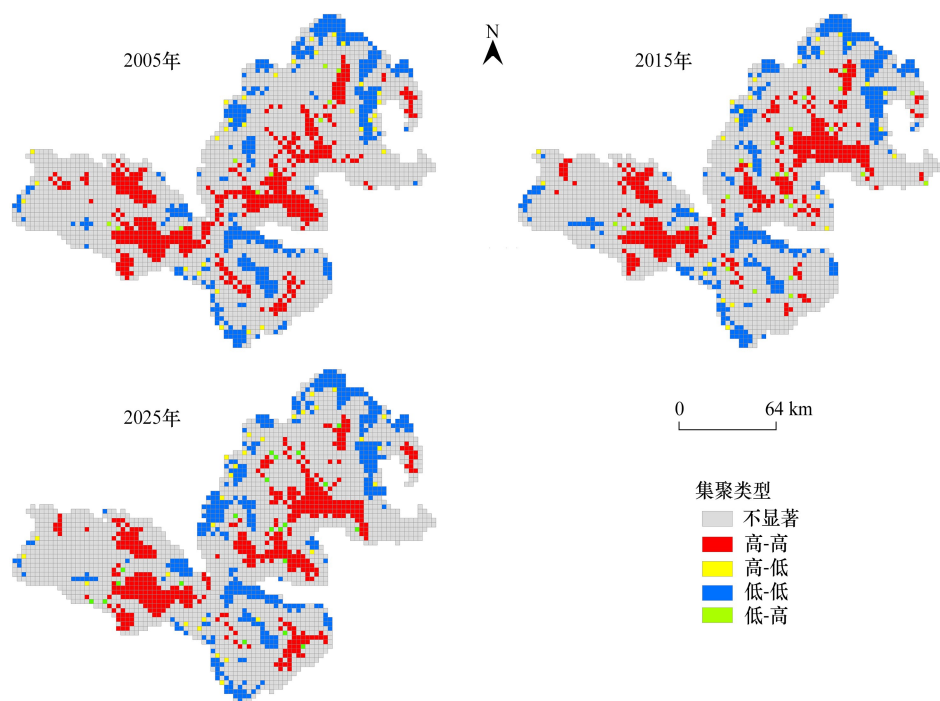


图 4 研究区域空间冲突的空间自相关分析

Fig.4 Spatial autocorrelation analysis of spatial conflicts in research areas

2.4 各等级空间冲突在不同空间类型上的分布

本文测算了研究区域各等级空间冲突在不同空间类型上分布面积的变化,得到以下结果(见图 5):

总体而言四类空间中冲突强度最高的空间为生态生产空间,其余依次为生态空间、生产生态、生活生产空间。冲突强度最高的生态生产空间冲突强度以较弱空间冲突及以上强度为主,面积占比达到 60%,2005—2025 年,弱、较弱、中等空间冲突面积有所下降,较强和强空间冲突占比在 2015 年达到最高,到 2025 年二者呈现小幅度下降,受到城乡发展的影响,人类放牧、开垦等活动的干扰,生态生产空间易被侵占,空间面积缩减,容易受到外界环境的扰动,空间稳定性差。生态空间、生活生产、生产生态空间以中等及以上空间冲突为主,中等及以下空间冲突占比较为稳定,较强、强空间冲突有所下降。

2.5 对策及建议

2005—2015 年,研究区域空间冲突强度以上升趋势为主,若到 2025 年“三生”空间格局变化情况仍按照

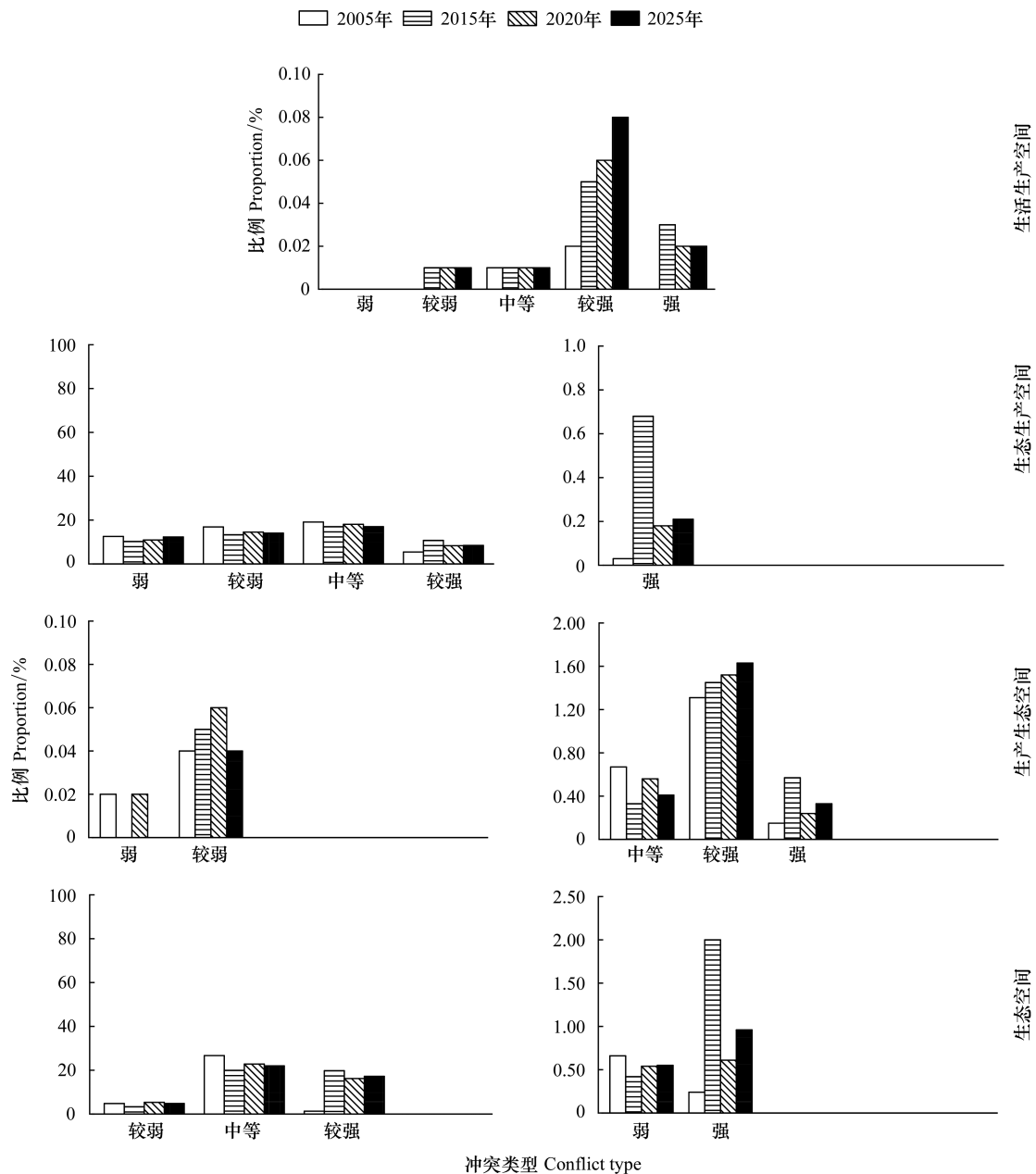


图5 各等级空间冲突在不同空间类型上的分布

Fig.5 Distribution of spatial conflicts of different levels in different spatial types

最近的 2015—2020 年的趋势变化,预计到 2025 年冲突强度比 2015 年会有所下降,但是总体来说相比于研究初始年份冲突强度有所增强。冲突强度最高的空间类型为生态生产空间。生活生产、生产生态空间面积的扩张导致生态生产空间被占用,农牧交错区域冲突愈加突出,从长远来看,将影响研究区生态、经济和资源的和谐发展。

(1) 冲突强度最高的空间类型为生态生产空间,生态生产空间以草地为主,草地最容易受到外界的干扰。结合冲突自相关分析结合“三生”空间分布图可以发现高冲突区域主要聚集分布农牧过渡带、生活生产空间附近,这些区域畜牧业的好坏影响牧区的发展与农牧民的生存,因此对于这些区域要重点关注,调整对这些区域不合理的现存土地利用方式,优化土地利用结构;同时要合理的规划城乡居民点的发展布局,要防止城乡居民建设用地、农业用地的不合理扩张,以此缓解高冲突区域的冲突态势。在空间冲突严重的农牧交错区域,要

以保护为主,要积极开展生态修复工作,将整治草地生态系统作为农牧交错区域协调发展的核心任务。草原监管制度要从严,要严格管控放牧、采矿、采沙取土、采挖中草药等影响草地的活动,依法管理草地,合理利用草地,提高执法权威,逐步修复草地生态系统。

(2) 尽管对预测的 2025 年“三生”空间进行冲突水平测度表明与 2015 年相比空间冲突水平有所下降,但是相较于研究初始年份 2005 年冲突水平有所升高。作为生态保护屏障,这些区域的发展不能只贪图短期的经济效益,要在保护环境的前提上走出一条可持续发展的道路。近年来,阿坝州的发展战略为打造全域旅游景区,将旅游作为经济发展的主要引擎,带来了可观的经济效益,但也不可避免地对生态环境产生了更大的干扰。未来除了要因地制宜合理安排农牧活动,积极发展生态友好型产业,也要逐步让旅游业、农牧业、加工业走上融合发展的道路。通过为农牧民提供更多的就业机会等方式降低农牧民对于土地的依赖,最终实现经济、生态环境的正向可持续发展。

(3) 模型模拟时的限制区域为生态优先保护区,结合冲突结果研究表明生态优先保护区域内土地利用空间冲突水平以弱、较弱为主,在未来要继续严格控制生态优先保护区内地类的转变,坚持生态安全优先战略,确保生态优先保护区域内冲突水平以稳健发展为主。该区域分布有米亚罗、白羊、三打古等自然保护区,在这些自然保护区内要严格限制生产建设活动,公路、电网等设施的建设尽量避免穿越生态优先保护区域的核心区域,加强保护区的建设与管护力度,在已经建成的保护区基础上提高管理效率。

3 结论与讨论

本文选择位于川西农牧交错区域的阿坝藏族羌族自治州马尔康、理县、黑水及松潘四县作为研究区域,运用 CLUE-S 模型预测了 2025 年“三生”空间格局,利用空间冲突测度模型对研究区域 2005—2025 年“三生”空间冲突水平进行了测度,研究结果表明:

(1) 2005—2025 年四县域生态生产空间面积最大,超过研究区域总面积的 50%;其次是生态空间、生产生态、生活生产空间。从四种类型随时间变化来看,研究区域生活生产、生产生态空间面积持续增长,生态生产空间的面积持续下降,生态空间面积以波动变化为主,变化趋势为先下降后小幅度上升。四县域生态生产空间的转出量最大,发生了大量的损失,其余三种空间面积均以转入为主。

(2) 2005—2025 年该区域冲突程度以中等空间冲突为主,较强、强空间冲突占比先增长后减少,中等及以下冲突占比先减少后升高。中等及以上空间冲突单元占比由 2005 年的 61.63% 上升到 2025 年的 64.93%,在 2015 年占比为 69.21% 达到最高;2005—2025 年,弱、较弱空间冲突单元占比先下降后上升,整体呈现下降趋势,相比于 2015 年预计到 2025 年弱、较弱空间冲突单元数量缓慢上升。

(3) 2005—2025 年四县域空间冲突的分布具有显著的空间正相关性,并且空间冲突的聚集性随时间的推移呈现增强增强的特点,预计到 2025 年聚集性会有所增强。根据空间冲突的局部空间自相关集聚分析可知,较强空间冲突的聚集区主要位于马尔康县、理县、黑水县及松潘县的农牧过渡带,强空间冲突的聚集区主要位于农牧交错带、生活生产空间交错区域。高-高集聚区在松潘县和马尔康县的农牧交错带表现一直很明显且有逐渐扩大的趋势,黑水县和理县集聚区面积先减少后轻微扩张。低-低集聚区主要位于以生态生产空间为主与生态空间的交叉区域。集聚不显著的区域以生态空间为主,也交叉分布有其他的空间类型。

(4) 整体来看,川西农牧交错区域四类空间中冲突强度最高的空间为生态生产空间,其余依次为生态空间、生产生态空间和生活生产空间。生态生产空间冲突强度以较弱空间冲突及以上强度为主,面积占比达到 60%,2005—2025 年,弱、较弱、中等空间冲突面积有所下降,但是较强和强空间冲突占比在 2015 年达到最高,到 2025 年二者呈现小幅度下降;生态空间、生活生产空间和生产生态空间以中等及以上空间冲突为主,中等及以下空间冲突占比较为稳定,较强、强空间冲突有所下降。

由于用地空间的多宜性和复杂性,用地空间冲突仍普遍存在^[56],而开展用地空间冲突识别为今后进行调控的依据。围绕用地空间开展的冲突研究类型多种多样,从冲突的表现形式看有用地产权冲突、空间冲突、生

态环境冲突、资源冲突、复合冲突等,从冲突的显隐性看有当前的冲突以及潜在的冲突,从冲突发生的地区看在城市、农村、城乡交错地区、农牧交错等地区频发。且冲突的形成机制、表现形式等都较为复杂,有些冲突也不能以在空间上得以展示。而本文关于空间冲突的研究以景观生态学理论为基础,从景观格局的层面出发,借鉴景观格局指数,构建了空间冲突测度模型,对位于农牧交错区域的阿坝藏族羌族自治州四县(马尔康、理县、黑水、松潘)空间冲突水平进行了评价和预测,但是未能从多个视角出发,结合定性、定量等多种方法测度空间冲突水平。为了全面的评价冲突水平,未来应该尝试将定性与定量的方法结合,引入指标评价等方法,构建更加完善的空间冲突评价体系。在此基础上,从空间用地方式、社会经济发展、生态环境保护等角度出发建立相对应的调控方案,并进一步探讨怎样合理地将其更好地应用于空间优化与模拟的研究中^[35],这也是今后的研究中亟需深入挖掘的地方。

参考文献(References):

- [1] 龙花楼,曲艺,屠爽爽,李裕瑞,戈大专,张英男,马历,王文杰,王婧. 城镇化背景下中国农区土地利用转型及其环境效应研究:进展与展望. 地球科学进展, 2018, 33(5): 455-463.
- [2] 彭佳捷,周国华,唐承丽,贺艳华. 基于生态安全的快速城市化地区空间冲突测度——以长株潭城市群为例. 自然资源学报, 2012, 27(9): 1507-1519.
- [3] 杨清可,段学军,王磊,金志丰. 基于“三生空间”的土地利用转型与生态环境效应——以长江三角洲核心区为例. 地理科学, 2018, 38(1): 97-106.
- [4] 方创琳,鲍超,张传国. 干旱地区生态-生产-生活承载力变化情势与演变情景分析. 生态学报, 2003, 23(9): 1915-1923.
- [5] 刘燕. 论“三生空间”的逻辑结构、制衡机制和发展原则. 湖北社会科学, 2016, (3): 5-9.
- [6] 李广东,方创琳. 城市生态-生产-生活空间功能定量识别与分析. 地理学报, 2016, 71(1): 49-65.
- [7] 张红旗,许尔琪,朱会义. 中国“三生用地”分类及其空间格局. 资源科学, 2015, 37(7): 1332-1338.
- [8] 刘继来,刘彦随,李裕瑞. 中国“三生空间”分类评价与时空格局分析. 地理学报, 2017, 72(7): 1290-1304.
- [9] 戴文远,江方奇,黄万里,廖李红,姜坤. 基于“三生空间”的土地利用功能转型及生态服务价值研究——以福州新区为例. 自然资源学报, 2018, 33(12): 2098-2109.
- [10] 王考,姚云峰,包金兰. 县级尺度“三生”用地动态变化及其空间集聚特征. 水土保持通报, 2018, 38(1): 306-312.
- [11] 龙花楼,屠爽爽. 论乡村重构. 地理学报, 2017, 72(4): 563-576.
- [12] 刘鹏,陈荣蓉,杨朝现,信桂新,王金捷. 基于“三生空间”协调的农村居民点布局优化研究. 水土保持研究, 2017, 24(2): 283-288.
- [13] 陈晓华,王方,储金龙. 基于“三生”空间协调的传统村镇居民点空间优化研究——以国家建制镇示范点源潭镇为例. 安徽建筑大学学报, 2016, 24(6): 84-90.
- [14] 于伯华,吕昌河. 土地利用冲突分析:概念与方法. 地理科学进展, 2006, 25(3): 106-115.
- [15] Upreti B R. Land conflict in Nepal. Community, Work & Family, 2004, (3): 371-393.
- [16] 周国华,彭佳捷. 空间冲突的演变特征及影响效应——以长株潭城市群为例. 地理科学进展, 2012, 31(6): 717-723.
- [17] 谢花林. 土地利用生态安全格局研究进展. 生态学报, 2008, 28(12): 6305-6311.
- [18] Pacheco F A L, Varandas S G P, Fernandes L F S, Junior R F V. Soil losses in rural watersheds with environmental land use conflicts. Science of the Total Environment, 2014, 485-486: 110-120.
- [19] Hilson G. An overview of land use conflicts in mining communities. Land Use Policy, 2002, 19(1): 65-73.
- [20] 孙磊,周杰文,刘耀彬. 城市化加速推进中的农村土地冲突类型划分——以江西省为例. 中国国土资源经济, 2009, 22(7): 39-41.
- [21] De Luca G, Sekeris P G. Land inequality and conflict intensity. Public Choice, 2012, 150(1/2): 119-135.
- [22] 阮松涛,吴克宁. 城镇化进程中土地利用冲突及其缓解机制研究——基于非合作博弈的视角. 中国人口·资源与环境, 2013, 23(S2): 388-392.
- [23] 杨磊,刘建平. 权力边界模糊与策略化治理:土地冲突演变机制研究——基于对湖北省L市和G开发区的调查. 公共管理学报, 2014, 11(4): 71-82.
- [24] 杨永芳,安乾,朱连奇. 基于PSR模型的农区土地利用冲突强度的诊断. 地理科学进展, 2012, 31(11): 1552-1560.
- [25] 赵杰,罗志军,赵越,曹丽萍,冉凤维,江春燕. 基于改进灰靶模型的区域土地利用冲突强度诊断——以南昌市为例. 江西农业大学学报, 2017, 39(6): 1256-1263.
- [26] Karimi A, Hockings M. A social-ecological approach to land-use conflict to inform regional and conservation planning and management. Landscape Ecology, 2018, 33(5): 691-710.

- [27] Brown G, Raymond C M. Methods for identifying land use conflict potential using participatory mapping. *Landscape and Urban Planning*, 2014, 122: 196-208.
- [28] 冯宇, 毕如田, 王瑾, 吕春娟, 张迁迁. 流域矿业开采引发的土地利用空间冲突及优化配置. *中国土地科学*, 2016, 30(11): 32-40.
- [29] 黄安, 许月卿, 卢龙辉, 刘超, 张益宾, 郝晋珉, 王惠. “生产-生活-生态”空间识别与优化研究进展. *地理科学进展*, 2020, 39(3): 503-518.
- [30] 周德, 徐建春, 王莉. 环杭州湾城市群土地利用的空间冲突与复杂性. *地理研究*, 2015, 34(9): 1630-1642.
- [31] 廖李红, 戴文远, 陈娟, 黄万里, 江方奇, 胡秋凤. 平潭岛快速城市化进程中三生空间冲突分析. *资源科学*, 2017, 39(10): 1823-1833.
- [32] 贺艳华, 唐承丽, 周国华, 何胜, 邱永红, 石亮, 张浩中. 基于地理学视角的快速城市化地区空间冲突测度——以长株潭城市群地区为例. *自然资源学报*, 2014, 29(10): 1660-1674.
- [33] Slätmo E. Land for agriculture? Conflicts and synergies between land use in two parts of Scandinavia. *Fennia*, 2019, 197(1): 25-39.
- [34] 赵旭, 汤峰, 张蓬涛, 胡波洋, 徐磊. 基于 CLUE-S 模型的县域生产-生活-生态空间冲突动态模拟及特征分析. *生态学报*, 2019, 39(16): 5897-5908.
- [35] 孙丕苓. 生态安全视角下的环京津贫困带土地利用冲突时空演变研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2017.
- [36] 吴蒙, 周冯琦, 程进. 基于生态系统服务的快速城市化地区空间冲突测度及时空演变特征. *中国人口·资源与环境*, 2021, 31(5): 12-20.
- [37] 唐凯, 周国华. 基于经济学视角的空间冲突形成原因及其风险测度——以长株潭城市群为例. *湖南师范大学自然科学学报*, 2013, 36(3): 90-94.
- [38] 金星星, 陆玉麒, 林金煌, 祁新华, 胡国建, 李欣. 闽三角城市群生产-生活-生态时空格局演化与功能测度. *生态学报*, 2018, 38(12): 4286-4295.
- [39] 陈士梅, 艾东, 付野. 基于生态安全的空间冲突测度与影响因素研究——以昆明市为例. *中国农业大学学报*, 2020, 25(5): 141-150.
- [40] 陈竹安, 冯祥瑞, 洪志强, 马彬彬, 李亦佳. 南昌市土地利用的空间冲突风险评估及分区优化研究——基于“三生空间”视角. *世界地理研究*, 2021, 30(3): 533-545.
- [41] 尹昌霞, 马仁锋, 毛菁旭. 滨海地区三生空间冲突的时空评测及优化. *上海国土资源*, 2021, 42(2): 78-84.
- [42] 韦江伟, 赵锐峰, 李玲慧, 贾志斌. 干旱区三生用地时空演变特征及空间冲突研究——以黑河中游地区为例. *水土保持研究*, 2021, 28(4): 284-292.
- [43] 陈晓. 宁夏生态移民安置区空间冲突时空分异研究[D]. 银川: 宁夏大学, 2019.
- [44] 张楚, 袁大刚, 宋易高, 陈剑科, 付宏阳. 川西地区具有机土壤物质特性土壤的系统分类. *土壤学报*, 2018, 55(5): 1085-1097.
- [45] 郑勇, 杨武年, 刘冲, 夏杰, 裴志方, 杨鑫. 川西高原近 20 a 植被覆盖变化遥感动态监测及驱动力分析. *遥感技术与应用*, 2020, 35(6): 1447-1456.
- [46] 宋思梦, 陈梁婧, 张茂娟, 王欣然, 梁蔡佳, 周旭. 川西高原牧区牧草种植业现状及对策. *现代农业科技*, 2021, (15): 204-206.
- [47] 陈全功, 张剑, 杨丽娜. 基于 GIS 的中国农牧交错带的计算和模拟. *兰州大学学报: 自然科学版*, 2007, 43(5): 24-28.
- [48] 许小亮, 李鑫, 肖长江, 欧名豪. 基于 CLUE-S 模型的不同情景下区域土地利用布局优化. *生态学报*, 2016, 36(17): 5401-5410.
- [49] 于莉, 宋安安, 郑宇, 简卿, 张蓬涛. “三生用地”分类及其空间格局分析——以昌黎县为例. *中国农业资源与区划*, 2017, 38(2): 89-96.
- [50] 张慧霞, 娄全胜. 基于分形理论与信息熵的广州边缘区绿地空间结构分析——以番禺区为例. *生态环境学报*, 2010, 19(7): 1593-1598.
- [51] 万利, 陈佑启, 谭靖, 张洁瑕. 北京郊区生态安全动态评价与分析. *地理科学进展*, 2009, 28(2): 238-244.
- [52] 谢花林. 基于景观结构和空间统计学的区域生态风险分析. *生态学报*, 2008, 28(10): 5020-5026.
- [53] 万婷, 涂卫国, 席欢, 李裕冬, 唐学芳, 杨一川. 川西北不同程度沙化草地植被和土壤特征研究. *草地学报*, 2013, 21(4): 650-657.
- [54] 刘晓枫, 道里刚, 周俗, 张洪轩, 杨廷勇, 曹银波, 江涛. 基于遥感技术的川西北牧区草地退化研究. *草学*, 2020, (4): 43-46, 52.
- [55] 李守剑, 贾程. 川西北高寒草地退化成因及恢复对策. *四川林业科技*, 2013, 34(6): 89-92.
- [56] 肖练练, 刘青青, 虞虎, 林明水. 基于土地利用冲突识别的国家公园社区调控研究——以钱江源国家公园为例. *生态学报*, 2020, 40(20): 7277-7286.