

引用格式: 李帅呈, 龚健, 杨建新, 等. 兰西城市群土地利用/覆被变化模式特征: 基于强度分析框架[J]. 资源科学, 2023, 45(3): 480–493. [Li S C, Gong J, Yang J X, et al. Characteristics of LUCC patterns of the Lanzhou-Xining urban agglomeration: Based on an intensity analysis framework[J]. Resources Science, 2023, 45(3): 480–493.] DOI: 10.18402/resci.2023.03.02

兰西城市群土地利用/覆被变化模式特征 ——基于强度分析框架

李帅呈¹, 龚健^{1,2}, 杨建新^{1,2}, 陈光¹, 张重¹, 张木茜¹

(1. 中国地质大学(武汉)公共管理学院, 武汉 430074;

2. 自然资源部法治研究重点实验室, 武汉 430074)

摘要:【目的】基于土地利用转移矩阵提出土地利用/覆被变化(LUCC)强度分析框架, 从绝对和相对强度两个角度分析地类之间的转换趋势及其对土地利用/覆被结构的影响。【方法】构建土地利用/覆被变化强度图谱以直观展现区域LUCC关键模式, 并以兰西城市群为例进行实证研究。【结果】土地利用/覆被变化强度图谱融合绝对和相对强度信息, 既可反映如耕地倾向于转化为建设用地、水域向林地转化的强度较低等LUCC的区域共性规律; 也能较好地揭示兰西城市群作为西部生态脆弱区中城市化重点区的特异性变化模式, 如2010—2020年期间, 兰西城市群在未利用地向水域、草地向耕地及建设用地向未利用地的转化过程中均表现出倾向性的变化模式, 但受气候变化、占补平衡政策及土地整治项目管护不周等因素影响, 分别表现为系统倾向性、绝对倾向性及相对倾向性的变化特征。进一步与转移矩阵及桑基图对比解析可知, 绝对强度和相对强度间不存在直接关联性, 所构建的强度分析框架及图谱受地类比例和区域整体LUCC强度的影响相对较小。【结论】本文提出的强度分析框架具有可行性, 可为识别及解析区域LUCC关键模式及规律, 优化土地资源管理政策提供科学支撑。

关键词: 土地利用/覆被变化; 强度分析; 强度图谱; 驱动机理; 兰西城市群

DOI: 10.18402/resci.2023.03.02

1 引言

土地利用/覆被变化(Land Use/Cover Change, LUCC)是气候、地形、人类活动等多种自然、社会和经济因素综合作用的结果^[1], 会对温室气体交换^[2]、水文循环^[3]、碳平衡^[4]、生物多样性等^[5]生态系统功能产生显著影响, 是人地关系地域系统研究的重要课题^[6]。由于人类需求及自然环境条件的变化, 不同区域土地利用/覆被模式及其变化强度也随之改变, 并表现出明显的区域差异化^[7,8]。量化表达并分析不同尺度下LUCC特征对制定科学合理的土地利用政策, 实现国土空间的可持续利用具有重要意义^[9]。

土地利用转移矩阵是表征区域内土地利用/覆被数量结构变化较为常用的方法^[10,11], 可以反映出各

地类之间转化的数量和方向^[12], 其所包含的地类转换信息是联结土地利用变化特征与社会经济发展的关键纽带。现有研究中对转移矩阵的应用主要集中在LUCC的特征分析^[13]、驱动力分析^[14,15]、情景模拟^[16,17]及生态环境效应评价^[18,19]等方面, 研究过程以直接利用矩阵的地类面积变化信息为主, 未考量区域土地利用/覆被结构与地类转化的潜在关系。如某种期末地类倾向于从哪一种期初地类获取转入, 这种转化行为又是否推动了期初地类在区域的占比发生显著变化? 同样, 某种期初地类是否抑制自身面积转出到某种期末地类, 又是否会对期末地类的比例产生显著影响? 显然, 直接利用转移矩阵记录的变化信息无法回答上述问题, 需要新的模型

收稿日期: 2022-11-25; 修订日期: 2023-02-28

基金项目: 国家自然科学基金项目(42071254); 国家自然科学基金青年项目(42101275); 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(CUGL170408; CUGGG-2021)。

作者简介: 李帅呈, 男, 吉林长春人, 硕士研究生, 研究方向为土地利用风险识别。E-mail: scli0102@cug.edu.cn

通讯作者: 龚健, 男, 湖南常德人, 教授, 研究方向为土地评价、土地利用规划和土地信息系统。E-mail: gongjian@cug.edu.cn

2023年3月

和方法进一步挖掘转移矩阵的深层次信息从而更全面地分析区域LUCC特征。

为充分利用转移矩阵信息,一些学者基于转移矩阵提出了系列模型指数及方法以更好地反映区域LUCC特征。Pontius等^[20]借助转移矩阵中各地类的相对比例预测地类间的转换面积,通过比较预测面积与实际面积判定转移过程是受到外界环境的促进或阻碍作用。随后,刘瑞等^[12]将净变化量、交换变化量、总变化量等变化信息融入该方法以实现更全面地揭示LUCC特征。Aldwaik等^[21]则考虑了区域土地利用/覆被结构对各地类间转换面积的影响,将可以显著提升地类在研究区的比例的转化过程定义为具有倾向性的土地利用/覆被变化过程,反之则定义为具有抑制性的转化过程。该分析框架在中国地区的应用始于对福建省九龙江流域LUCC模式的分析^[22]。而后,杨建新等^[23]为优化分析框架可视化表达方式,提出一种转换模式交叉列联表以直观展示土地利用/覆被变化过程中的倾向性与抑制性。总体来说,国内外对于转移矩阵信息的深层挖掘已取得了一定的研究进展,但上述各分析框架均是通过转移数量相对于研究区期初、期末地类面积的比例确定土地利用/覆被变化过程的倾向性与抑制性,而在绝对数量上衡量地类的转移趋势尚缺乏定量化的判别标准,对土地利用/覆被变化过程中绝对数量的转化模式及其影响效应的探究亟待拓展。

中国西部地区生态本底脆弱且敏感,其LUCC特征已然成为各界关注的重点问题^[24-26]。兰西城市群作为西部生态脆弱区中城市化重点区,肩负着维护西部生态安全和促进西北内陆开放的双重责任^[27]。当前,兰西城市群生态保护与社会经济发展的空间竞争较为激烈,土地利用冲突问题日益凸显^[28]。因此,分析兰西城市群LUCC趋势特征及规律,对优化城市群土地利用结构及空间布局,协同推进区域生态文明建设与社会经济发展具有积极作用。故本文在已有研究成果的基础上,提出土地利用/覆被变化绝对强度和相对强度概念,将可以显著提升地类面积或比例的转化过程分别定义为具有绝对或相对倾向性的土地利用/覆被变化过程,反之则定义为具有绝对或相对抑制性的转化过程,从绝对数量和相对比例两个层面定义倾向性与抑制性。构建土地利用/覆被变化强度图谱展现区域LUCC关键模

式,并以兰西城市群为例进行实证研究。本文研究目标主要聚焦于:建立绝对数量上地类转换趋势的判定标准;从绝对数量和相对比例两个层面探究土地利用/覆被转移趋势以及对土地利用/覆被结构的影响;协助决策者识别并解析区域LUCC关键模式及规律,以期优化土地资源管理政策提供决策支撑。

2 研究区概况、数据来源与研究方法

2.1 研究区概况

兰西城市群地处中国西部腹地,青藏高原与黄土高原交汇地带,位于98°55'E—105°26'E、34°50'N—37°35'N之间,是以甘肃省兰州市与青海省西宁市为核心的跨省城市群。兰西城市群整体地势西高东低(图1),最低海拔1220 m,最高海拔5274 m,具有丘陵、河谷、山地及高原等多种地貌,属高原及温带大陆性气候,干燥少雨,年均温度较低,生态环境脆弱,周边地区多为重点生态功能区,在维护国家生态安全中发挥着关键作用。近年来,随着中国西北地区整体气候的暖湿化,兰西城市群作为生态脆弱区和敏感区,其土地利用/覆被的气候响应已较为明显^[29,30]。兰西城市群是中国9个培育发展类城市群之一,也是西北地区社会经济发展的重要增长极。2020年地区生产总值达5954.43亿元,总人口达1287.77万,近10年分别增长了159.56%和11.20%,城镇化建设持续推进,城乡建设用地面积增长明显,已为区域耕地和生态保护带来了较大压力^[31]。

2.2 数据来源及预处理

本文所用数据包括土地利用数据、基础地理信息数据、气象数据及社会经济数据,数据说明详见表1。其中,土地利用数据来源于中国多时期土地利用遥感监测数据集(CNLUCC)^[32],依照中科院土地利用分类体系将数据重分类为耕地、林地、草地、水域、建设用地及未利用地6个类别。基础地理信息数据中行政区划边界来源于1:100万全国基础地理数据库,研究区覆盖范围依据《兰州-西宁城市群发展规划》^[33]确定;青藏高原边界来源于中国地理分区数据集。气象数据中温度数据源自MOD11A1地表反演温度数据集,运用算数平均值法将逐日日间和夜间温度合成年数据,以研究区内像元均值表征温度年度值;相对湿度等其他气象指标来源于地面气候资料日值数据集,将气象站点逐日数据剔除空缺值及异常值后合成年数据,运用Anusplin进行薄



图1 研究区地理区位图

Figure 1 Location of the study area

注:基于自然资源部标准地图服务网站GS(2019)1819号标准地图制作,底图边界无修改。

表1 数据说明

Table 1 Description of the data

类型	数据	时段	空间分辨率	来源
土地利用	土地利用	2010、2020年	30 m	资源环境科学数据注册与出版系统
基础地理信息	行政区划边界	—	—	全国地理信息资源目录服务系统
	青藏高原边界	—	—	资源环境科学数据注册与出版系统
气象	温度	2010—2020年	1 km	Google Earth Engine
	相对湿度	2010—2020年	1 km	国家气象科学数据中心
	降水	2010—2020年	1 km	国家气象科学数据中心
	日照时长	2010—2020年	1 km	国家气象科学数据中心
社会经济	人口	2010—2020年	—	甘肃省、青海省统计局
	自然保护区数量	2010—2020年	—	甘肃省、青海省统计局

盘光滑样条插值生成栅格数据,以像元均值表征指标年度值。社会经济数据源于甘肃发展年鉴及青海统计年鉴^[34,35]。另外,本文所有空间数据处理统一采用Krasovsky 椭球体正轴等面积割圆锥投影。除土地利用数据采用30 m×30 m分辨率外,其余栅格数据均使用1 km×1 km分辨率。

2.3 研究方法

2.3.1 土地利用/覆被变化绝对强度

绝对强度反映了在一定时间间隔内地类间相互转化的绝对数量情况,可从某地类转出至其他地类和其他地类转入至该地类两个角度分析。

公式(1)计算了在时间间隔 $[Y,Y_{t+1}]$ 内期初地类*i*转化为期末某一地类*n*的绝对转入强度 $AI_{in}(i\neq n)$;公式(2)计算了在同一时间间隔内除*n*以外所有其他地类转化为地类*n*的平均绝对转入强度 MAI_n 。

$$AI_{in} = \frac{C_{in}/(Y_{t+1} - Y_t)}{\sum_{i=1}^I C_{in}} \tag{1}$$

$$MAI_n = \frac{\left\{ \left[\left(\sum_{i=1}^I C_{in} \right) - C_{nn} \right] / (I - 1) \right\} / (Y_{t+1} - Y_t)}{\sum_{i=1}^I C_{in}} \tag{2}$$

2023年3月

式中: i 代表期初地类编码; n 代表转入地类编码; C_{in} 代表时间间隔 $[Y_t, Y_{t+1}]$ 内地类 i 转入到地类 n 的土地面积; C_{nn} 代表时间间隔 $[Y_t, Y_{t+1}]$ 内地类 n 未变化的面积; t 代表期初时间节点编码; Y_t 代表期初时间节点 t 对应年份; Y_{t+1} 代表期末时间节点对应年份; I 代表期初地类数量。

公式(3)计算在时间间隔 $[Y_t, Y_{t+1}]$ 内期初某一地类 m 转化为期末地类 j 的绝对转出强度 $AO_{mj}(m \neq j)$;公式(4)计算在时间间隔 $[Y_t, Y_{t+1}]$ 内地类 m 转化为除 m 以外其他地类的平均绝对转出强度 MAO_m 。

$$AO_{mj} = \frac{C_{mj}/(Y_{t+1} - Y_t)}{\sum_{j=1}^J C_{mj}} \quad (3)$$

$$MAO_m = \frac{\left\{ \left[\left(\sum_{j=1}^J C_{mj} \right) - C_{mm} \right] / (J - 1) \right\} / (Y_{t+1} - Y_t)}{\sum_{j=1}^J C_{mj}} \quad (4)$$

式中: m 代表转出地类编码; j 代表期末地类编码; C_{mj} 代表时间间隔 $[Y_t, Y_{t+1}]$ 内地类 m 转出到地类 j 的土地面积; C_{mm} 代表时间间隔 $[Y_t, Y_{t+1}]$ 内地类 m 未变化的面积; J 代表期末地类数量。

2.3.2 土地利用/覆被变化相对强度

绝对强度从转入和转出两个角度反映了地类转移的绝对数量情况,相对强度在此基础上,进一步分析了地类之间转化强度对研究区土地利用/覆被结构的影响。

公式(5)计算了在时间间隔 $[Y_t, Y_{t+1}]$ 内期初地类 i 转化为期末某一地类 n 的相对转入强度 $RI_{in}(i \neq n)$;公式(6)计算了在同一时间间隔内除 n 以外所有其他地类转化为地类 n 的平均相对转入强度 MRI_n 。

$$RI_{in} = \frac{C_{in}/(Y_{t+1} - Y_t)}{\sum_{j=1}^J C_{ij}} \quad (5)$$

$$MRI_n = \frac{\left[\left(\sum_{i=1}^I C_{in} \right) - C_{nn} \right] / (Y_{t+1} - Y_t)}{\sum_{j=1}^J \left[\left(\sum_{i=1}^I C_{ij} \right) - C_{nj} \right]} \quad (6)$$

式中: C_{ij} 代表时间间隔 $[Y_t, Y_{t+1}]$ 内期初地类 i 转入到期末地类 j 的土地面积; C_{nj} 代表地类 n 转变为期末地类 j 的土地面积。

公式(7)计算了在同一时间间隔 $[Y_t, Y_{t+1}]$ 内期初某

一地类 m 转化为期末地类 j 的相对转出强度 $RO_{mj}(m \neq j)$;公式(8)计算了在同一时间间隔 $[Y_t, Y_{t+1}]$ 内地类 m 转化为除 m 以外其他地类的平均相对转出强度 MRO_m 。

$$RO_{mj} = \frac{C_{mj}/(Y_{t+1} - Y_t)}{\sum_{i=1}^I C_{ij}} \quad (7)$$

$$MRO_m = \frac{\left[\left(\sum_{j=1}^J C_{mj} \right) - C_{mm} \right] / (Y_{t+1} - Y_t)}{\sum_{i=1}^I \left[\left(\sum_{j=1}^J C_{ij} \right) - C_{im} \right]} \quad (8)$$

式中: C_{im} 代表期初地类 i 转变为地类 m 的土地面积。

2.3.3 土地利用/覆被变化的倾向性与抑制性

在土地利用/覆被变化绝对强度方面,从地类 n 获取转入的角度看,如果地类 n 均匀地从其他地类获取相同的转入面积,那么对于任意期初地类 $i(i \neq n)$ 而言,地类 n 的绝对转入强度 AI_{in} 应与其平均绝对转入强度 MAI_n 相等,即 $AI_{in} = MAI_n$,表明地类 n 从各个地类获取转入是均等的,受研究区土地利用/覆被结构影响较小。如果 $AI_{in} > MAI_n$,说明地类 n 从地类 i 处获得转入的面积高于平均水平,其倾向于从期初地类 i 获得转入。反之,则代表地类 n 从地类 i 处获得转入面积低于平均水平,其从期初地类 i 处获取转入的过程受到抑制。

从地类 m 转出的角度看,如果地类 m 均匀地转出至期末各地类 $j(m \neq j)$,地类 m 的绝对转出强度应与其平均绝对转出强度相等,即 $AO_{mj} = MAO_m$,表明地类 m 是均匀地转出到各期末地类 j 的,受研究区土地利用/覆被结构影响较小。如果 $AO_{mj} > MAO_m$,说明地类 m 倾向于转出为地类 j ,反之则说明其转出为地类 j 的过程受到抑制。

在土地利用/覆被变化相对强度方面,从地类 n 获取转入的角度看,如果地类 n 依据各地类 $i(i \neq n)$ 的期初面积比例从 i 获取转入,则地类 n 从期初地类 i 获得转入的相对强度 RI_{in} 应与地类 n 的平均相对转入强度 MRI_n 一致,即 $RI_{in} = MRI_n$,表明地类 n 从各个地类获取转入是相对均匀的,意味着地类 n 获取转入这一过程对不同期初地类 i (除 n 外)的面积比例的影响是均等的。如果 $RI_{in} > MRI_n$,说明地类 n 相对倾向于从期初地类 i 获得转入,且转化过程对地类 i 的期初面积比例产生了相对较大的影响;否则说明

地类 n 从期初地类 i 获取转入的过程相对受到抑制,且对地类 i 的期初面积比例影响相对较小。

从地类 m 转出的角度看,如果地类 m 依据各地类 $j(j \neq m)$ 的期末面积比例转出为地类 j ,则地类 m 转出为期末地类 j 的强度 RO_{mj} 应与地类 m 转出的平均相对强度 MRO_m 一致,即 $RO_{mj}=MRO_m$,表明地类 m 转出为 j 的过程是相对均匀的,且地类 m 转出这一过程对不同期末地类 j (除 m 外)的面积比例影响是均等的。如果 $RO_{mj}>MRO_m$,说明地类 m 相对倾向于转出至 j ,且这一过程对地类 j 的期末面积比例产生了相对较大的影响;否则说明地类 m 转出为 j 的过程相对受到抑制,且对地类 j 期末面积比例产生的影响相对较小。

2.3.4 土地利用/覆被变化强度图谱

本文构建的强度分析框架是对转移矩阵信息的深层挖掘和再解析,可以为土地管理者提供更多的决策信息。但当研究区LUCC分析涉及较多的时间节点和土地类别时,决策者往往难以从复杂多样的变化类型中直观地识别出关键和感兴趣的时空模式,因此有必要将强度分析框架的计算结果通过一种直观的方式进行可视化表达,为此本文构建了土地利用/覆被变化强度图谱以展现区域LUCC的关键模式。

图2展示了在某一时间间隔内,根据期初地类 i 与期末地类 j 相互转化情况构建的土地利用/覆被变化强度图谱单元,其中 x 轴用于标识期初地类, y 轴用于标识期末地类。强度图谱的每个单元中包含4个元素,元素①和元素②分别用于标识绝对转入强度和绝对转出强度,元素③和元素④分别用于标识相对转入强度和相对转出强度。填充规则如下:红色代表具有倾向性,蓝色代表具有抑制性。

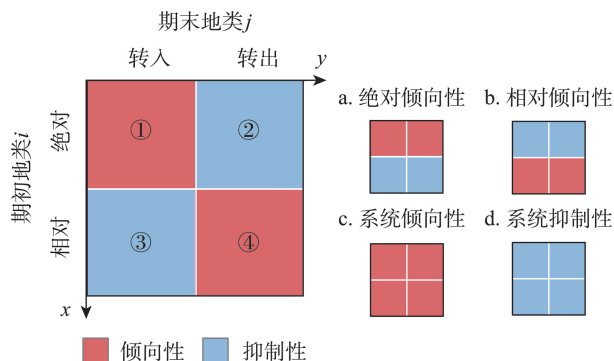


图2 土地利用/覆被变化强度图谱单元

Figure 2 Intensity map unit of land use/cover change (LUCC)

色代表具有倾向性,蓝色代表具有抑制性。特别是,在横向上若图谱单元中元素①和②均填充为红色,则代表期初地类 i 向期末地类 j 的转化过程中绝对转入强度及绝对转出强度均具有倾向性,总体上呈现绝对倾向性的转化特征(图2a);若元素③和④均填充为红色,代表转化过程具有相对倾向性(图2b)。若4个元素均填充为红色或蓝色,则代表具有系统倾向性(图2c)或系统抑制性(图2d)。

3 结果与分析

3.1 兰西城市群2010—2020年LUCC强度图谱

图3展现了2010—2020年间兰西城市群土地利用/覆被变化强度图谱,图谱中各地类间的转化特征不尽相同,其中耕地→草地(表示耕地向草地的转化,后同),林地→草地,草地→耕地及草地→建设用地呈现绝对倾向性的转化特征;建设用地→耕地,建设用地→未利用地及未利用地→耕地呈现相对倾向性的转化特征;耕地→建设用地与未利用地→水域呈现出系统倾向性的转化特征;耕地→林地,耕地→水域及林地→耕地等转化过程呈现系统抑制性的转化特征。

强度图谱既反映出了LUCC的区域共性规律,同时也直观表达了具有区域特异性的变化模式。

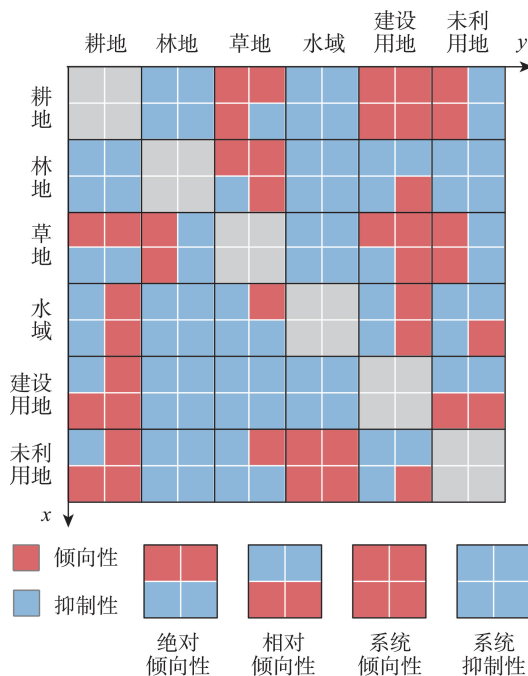


图3 2010—2020年兰西城市群土地利用/覆被变化强度图谱

Figure 3 Intensity map of land use/cover change (LUCC) of the Lanzhou-Xining urban agglomeration, 2010-2020

比如,耕地→建设用地具有系统倾向性转化特征,林地→未利用地,水域→林地及建设用地→林草地等呈现系统抑制性转化特征,这些变化模式符合中国土地系统变化的一般性规律^[36,37],也常出现在其他地区的LUCC分析结果中^[23,38-41],在一定程度上说明本文提出的强度分析框架及可视化图谱具有可行性。此外,图谱也展现出兰西城市群作为西部生态脆弱区中城市化重点区所具有的区域特异性变化模式,如未利用地→水域呈现系统倾向性转化特征,草地→耕地呈现绝对倾向性转化特征,建设用地→未利用地呈现相对倾向性转化特征等。由于LUCC的区域共性规律已有较多学者进行过广泛且深入的探讨,本文不再过多赘述,后文主要针对兰西城市群区域特异性变化模式展开详细分析。

3.2 区域特异性变化模式解析

3.2.1 未利用地→水域变化模式解析

在2010—2020年时期,兰西城市群在未利用地向水域转化过程中呈现出系统倾向性变化特征。根据图4未利用地→水域强度分析结果,在绝对强

度方面,若各地类以相同的绝对强度转入至水域,则水域从其他各地类获取转入的面积应当相等,水域获取新增面积的过程不存在倾向性或抑制性,而实际上水域以明显高于平均水平(0.09%)的强度(0.29%)从未利用地处获得转入(图4a),表明其更倾向于占用未利用地以提升面积总量,抑制从耕地等其他4个地类处获取面积。同理,未利用地以高于平均水平(0.10%)的强度(0.19%)转出至水域(图4b),表明其转化为水域具有倾向性,且抑制向林地及建设用地转化。

在相对强度方面,若各地类根据其期初面积以相同比例转入水域,则各地类的相对转入强度应当相等,转化过程对研究区各期初地类(除水域)的比例结构影响是相同的,而未利用地以大于平均相对强度(0.02%)的比例(0.19%)向水域转化(图4c),相较于耕地、林地、草地及建设用地等转化至水域受抑制的地类,未利用地倾向将其面积以更高的比例转入至水域,使得转化过程对未利用地的占比产生相对更大的影响;同理,水域以大于平均相对强度

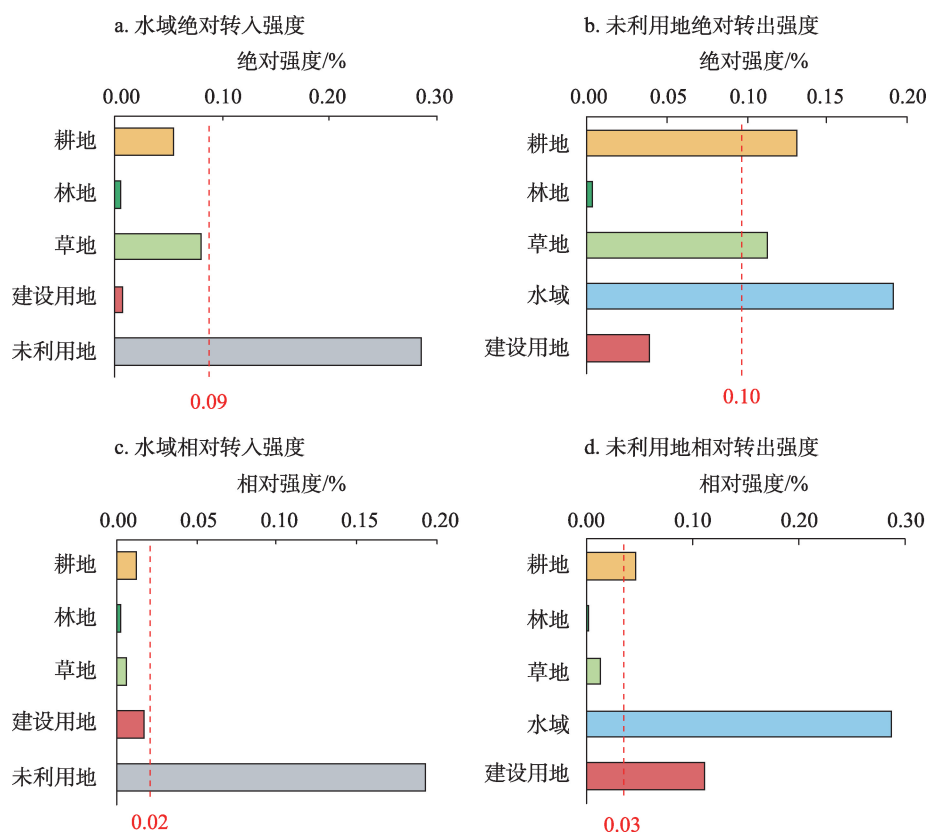


图4 2010—2020年兰西城市群未利用地→水域强度分析

Figure 4 Intensity analysis of unused land to water transition in the Lanzhou-Xining urban agglomeration, 2010-2020

(0.03%)的比例(0.29%)从未利用地获取转化面积(图4d),相较于未利用地转出过程中受到抑制的地类,水域的比例获得了相对更大的提升,使得转化过程对水域在研究区的占比产生显著影响。

3.2.2 草地→耕地变化模式解析

兰西城市群草地向耕地的转化同样呈现倾向性的变化模式,但表现为绝对倾向性的转化特征。在绝对强度方面,耕地以高于平均水平(0.06%)的绝对强度(0.19%)从草地获取转入面积(图5a),草地同时也以高于平均水平(0.03%)的强度(0.06%)向耕地转化(图5b),两者均是对方主要的转化方向,进而使得草地向耕地转化的过程在绝对数量上具有倾向性的变化特征。在相对强度方面,耕地从草地获取转入(0.06%)及草地向耕地转出(0.19%)的强度却均低于平均强度(0.07%、0.24%),转化过程是具有抑制性的(图5c、5d)。相较于草地转出及耕地获取转入过程中其他绝对强度受抑制的地类,草地与耕地之间转化的绝对数量更大,但由于耕地和草地本身面积基数较大等原因,草地流向耕地的

过程对草地及耕地在研究区的占比没有显著影响,出现相对抑制性的转化特征,表明绝对倾向性的转化过程未必可以显著促进两地类在区域内的土地利用/覆被结构有所提升或下降。

3.2.3 建设用地→未利用地变化模式解析

兰西城市群在建设用地→未利用地的转化过程中呈现相对倾向性的变化特征。在绝对强度方面,未利用地从建设用地获取转入(0.01%)及建设用地转出至未利用地(0.05%)均低于平均绝对强度(0.05%、0.12%),意味着相较于其他地类,建设用地与未利用地之间转化的面积是相对较小的,转化过程在绝对数量上具有抑制性(图6a、6b)。但在相对强度方面,未利用地以高于平均水平(0.02%)的强度(0.05%)从建设用地获取转入面积(图6c),建设用地也以高于平均水平(0.01%)的强度(0.013%)向未利用地转化(图6d),建设用地向未利用地的转化在相对强度上具有显著的倾向性特征。同时也说明绝对强度的抑制性并不能对相对强度的倾向性造成直接限制,即使建设用地向未利用地转化面积

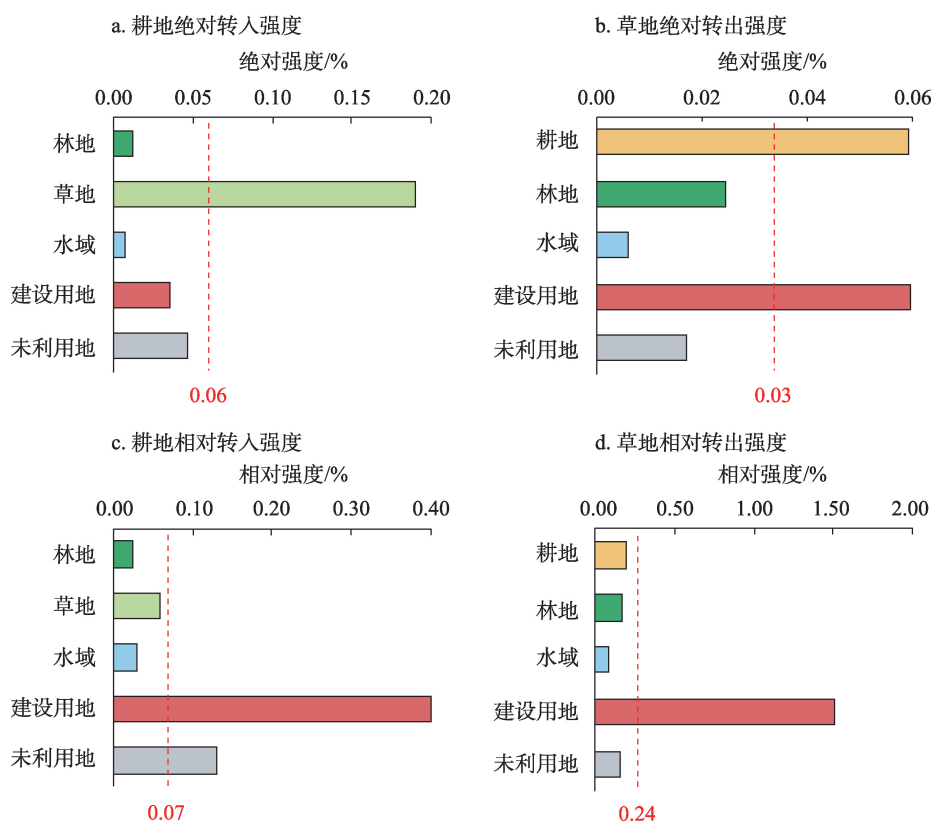


图5 2010—2020年兰西城市群草地→耕地强度分析

Figure 5 Intensity analysis of grassland to cropland transition in the Lanzhou-Xining urban agglomeration, 2010-2020

2023年3月

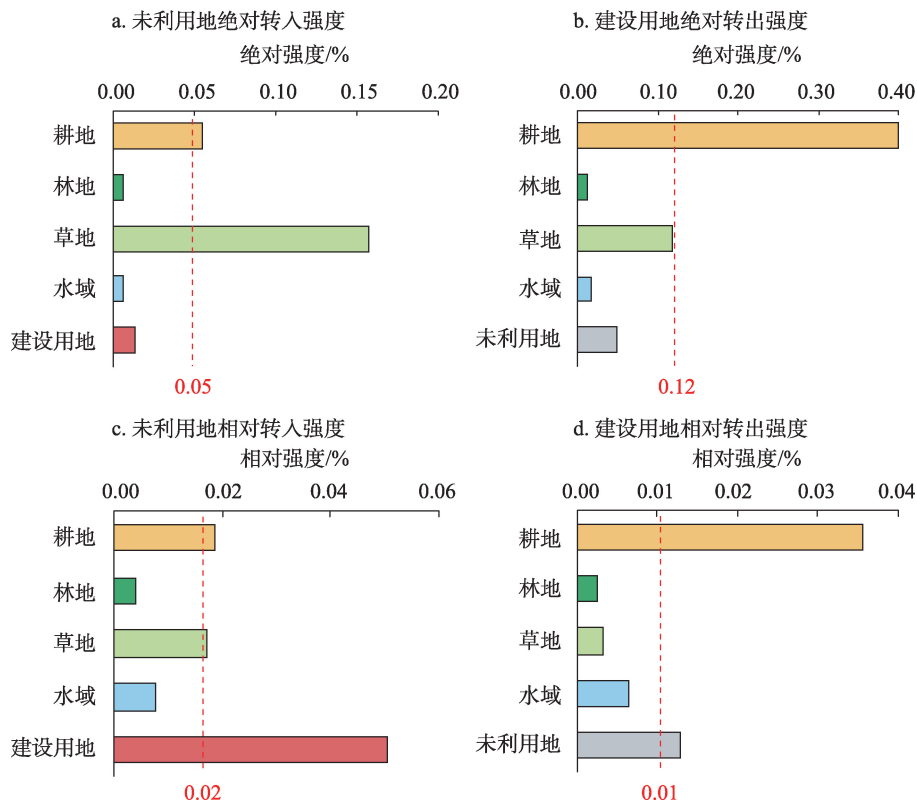


图6 2010—2020年兰西城市群建设用地→未利用地强度分析

Figure 6 Intensity analysis of construction land to unused land transition in the Lanzhou-Xining urban agglomeration, 2010-2020

较小,但依然可以对二者在区域内的占比造成相对较大的影响。

3.3 区域特异性变化模式驱动机理

3.3.1 未利用地→水域变化模式驱动机理

在全球气候变暖的背景下,兰西城市群及上游青藏高原地区近年来升温明显,区域水文循环过程发生显著变化^[42],具体表现为兰西城市群上游区域冰川积雪加速消融、区域内冻土退化及降水增加,土地利用/覆被的气候响应则体现在研究区湖泊、河流及湿地等水域面积不断扩张,占用周围的未利用地。

青藏高原是全球中低纬度现代冰川分布面积最大的地区^[43],这些冰川为兰西城市群等下游区域水循环提供了水源。近年来,青藏高原温度呈上升趋势(图7a),冰川受此影响正经历显著的收缩,根据中国第二次冰川清查数据及人工目视解译结果,中国冰川面积在2008—2018年期间减少了约3.74%^[44,45],水域面积增加的部分原因则是响应了上游地区冰川质量的损失,加速消融的冰川及积雪促进下游地区河流径流量增加,依靠冰川融水供给的

内陆湖水位增长是兰西城市群内未利用地向水域转化呈系统倾向性的主要驱动因素之一。

冻土退化在驱动湖泊扩张中同样发挥重要作用,兰西城市群局部地区海拔较高,被多年冻土覆盖,当地表温度低于冻土的熔点时,永久冻土所能贡献的水分是有限的,水域面积主要受降水和潜在蒸散量等其他水平衡因素控制。而兰西城市群温度的持续升高(图7b)会导致冻土活动层厚度增加、融化面积扩大和融化时间延长。兰西城市群年均温度低于0℃的冻土主要集中在西部青海省境内高海拔地区,根据地表反演温度数据集显示,2010—2020年期间,兰西城市群内冻土面积(图7c)呈显著下降趋势,由于部分冻土的融化,河流及湖泊的水资源供给增强,驱动未利用地向水域转化。

水域倾向占用未利用地与区域内降水的小幅增加也存在一定联系。并非所有冰川融水都会转移到湖泊之中,冰川融水在流入湖泊前经历了蒸发和入渗,在兰西城市群温度上升的背景下,水汽含量也随之增加,年均相对湿度呈升高趋势(图7d),更温暖、更湿润的条件造成了对流降水的增加(图

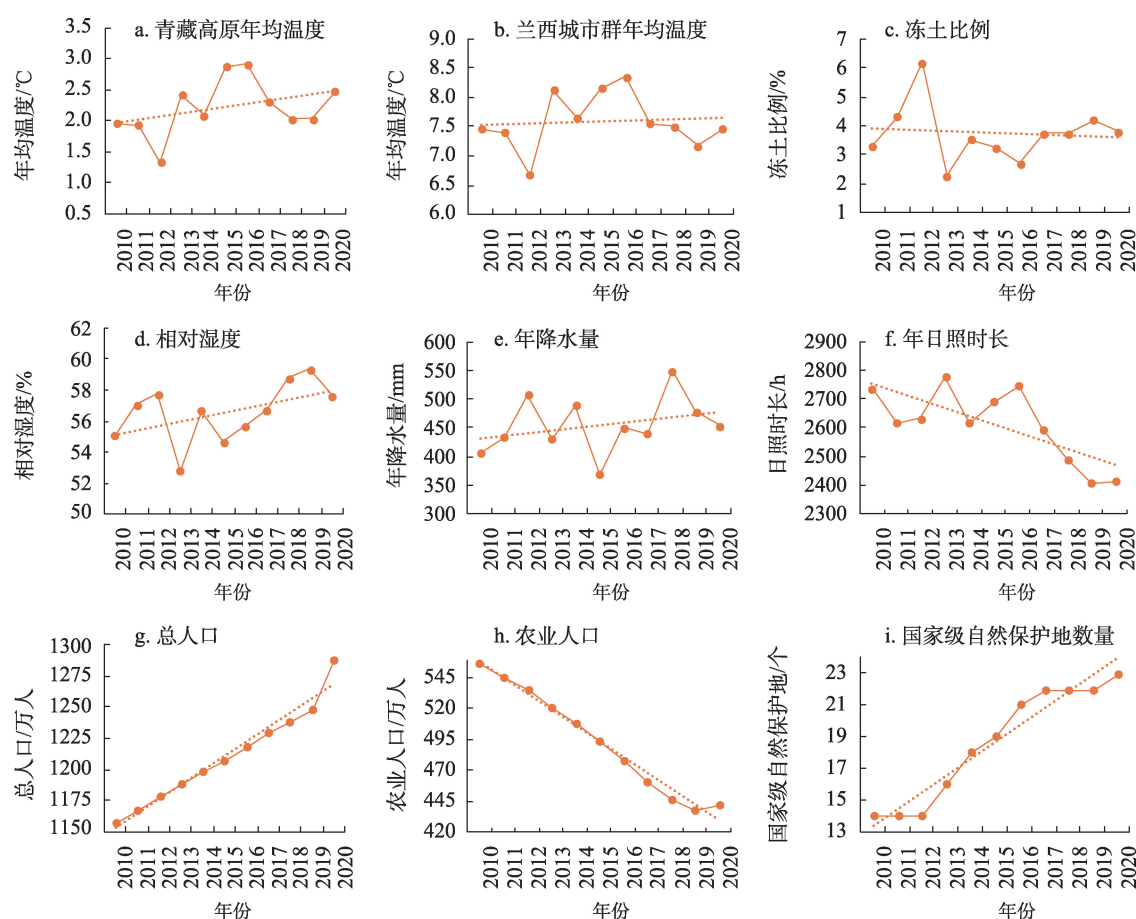


图7 2010—2020年兰西城市群自然社会经济指标变化情况

Figure 7 Changes of the natural and socioeconomic indicators of the Lanzhou-Xining urban agglomeration, 2010-2020

7e), 优先占用无地表覆盖物的未利用地产生更多的径流, 同时促进湖泊的扩张^[46], 在强度图谱中则表现为其他地类向水域转化均为系统抑制性, 未利用地向水域转化则表现为系统倾向性。同时有研究表明, 青藏高原地区风速和太阳辐射的减少(图7f)使得河流湖泊等充分供水的下垫面潜在蒸发量减少^[47], 降低的潜在蒸散量增强了湖泊的地表流量, 强化了降水量对湖泊扩张的影响, 也在一定程度上促进了湖泊及河流对周围未利用地的占用。

气候暖湿化所造成的影响已在LUCC中体现。冰冻圈的物质负平衡状态及降雨量的增加使得水域扩张应是以外延式为主, 水域周围的未利用地率先被占用。通过进一步的计算发现, 兰西城市群在2000—2010年期间未利用地→水域表现为相对倾向性的变化特征, 而在2010—2020年期间转变为系统倾向性, 水域占用未利用地的倾向性在增强。受全球气候变暖的显著性不断提升及水域周围未利

用地的有限性影响, 水域未来可能进一步蔓延侵占耕地、草地及道路等地类, 影响内陆湖泊的水平衡, 对水域周边地区的农牧空间、生态系统甚至重大工程设施造成负面影响。

3.3.2 草地→耕地变化模式驱动机理

兰西城市群作为甘青两省经济发展的核心区域、中国城市化的主阵地, 耕地与建设用地呈现系统倾向性的变化特征符合中国土地利用/覆被变化国情。在此背景下, 快速城市化所造成的人口数量提升(图7g)使得区域对粮食需求增加, 受占补平衡等耕地保护制度约束, 区域需补充相应的耕地面积以弥补城市扩张行为造成的耕地损失, 中国西北部地区草地资源较为丰富, 政府优先选择开垦成本较低的荒草地补充耕地面积, 故草地向耕地的转化出现绝对倾向性的变化特征。虽然转化过程在绝对强度上呈现倾向性, 但在相对强度方面两者呈现抑制性的转化特征, 表明占补平衡政策还未显著影

2023年3月

响草地在研究区的比例结构下降。

3.3.3 建设用地→未利用地变化模式驱动机理

兰西城市群位于中国西部腹地,是中国重要的生态功能区,建设用地总量小条件优,在强度图谱中建设用地转出到各地类普遍表现为绝对抑制性。在相对强度方面,2010—2020年期间,兰西城市群建设用地→未利用地的转化呈现相对倾向性的变化特征。城市化水平的不断提高使得区域内农业人口逐渐减少(图7h),农村闲置宅基地数量也随之上升,各城市通过推进增减挂钩、田水路林村土地综合整治工程及空心村治理等措施将废弃低效的宅基地等建设用地进行集中整理,以实现盘活存量土地资源的目的。另一方面,中国西北部地区生态文明地位的日益凸显推动了兰西城市群生态重视性的提高^[48]。据不完全统计,10年时间内兰西城市群已增设近10处国家级自然保护地(图7i),新自然保护地的建立以及政策执行力度的强化促使自然保护地内建设用地的搬迁或灭失。理论上,腾退的建设用地应依照土地适宜性“宜耕则耕,宜林则林,宜草则草、宜湿则湿”,经土地整治后建设用地→林地、草地、水域呈现倾向性的转化模式,但实际上建设用地→林地、草地、水域的转化均表现为系统抑制性,腾退的建设用地多向未利用地转化。其背后原因主要为兰西城市群气候干燥少雨,年均温度较低,生态环境脆弱性较高,植被难以自主正向演替,而管理者多将土地整治项目层层移交下放导致责任主体不明确,同时政策措施缺乏长期专项资金投入,致使后期维护管理流于形式^[49,50],伴随不利气候条件影响,出现了土地退化的现象,未能达到预期的目标和效果,难以完全实现土地整治的生态价值。

4 讨论

土地利用转移矩阵可直观、全面且具体地反映研究区LUCC的数量与方向,但却无法直观判定地类之间的转移趋势及其对土地利用/覆被结构的影响。为比较不同方法间差异,将兰西城市群2010—2020年的土地利用转移矩阵结果(表2)及其所对应的桑基图(图8)与本文结果进行对比分析。由于桑基图的表达效果受地类占比及区域整体LUCC强度

表2 2010—2020年兰西城市群土地利用转移矩阵(10³ km²)

Table 2 Land transition matrix of the Lanzhou-Xining urban agglomeration, 2010-2020 (10³ km²)

	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地	总计	转出总量
耕地	17.93	0.02	0.41	0.02	0.37	0.04	18.79	0.86
林地	0.02	8.75	0.14	0.00	0.03	0.00	8.95	0.20
草地	0.35	0.15	58.31	0.04	0.35	0.10	59.29	0.99
水域	0.01	0.00	0.01	4.23	0.01	0.00	4.28	0.04
建设用地	0.07	0.00	0.02	0.00	1.54	0.01	1.64	0.10
未利用地	0.09	0.00	0.07	0.13	0.03	6.31	6.62	0.32
总计	18.47	8.93	58.96	4.42	2.34	6.46	99.58	2.51
转入总量	0.54	0.18	0.66	0.19	0.79	0.15	2.51	

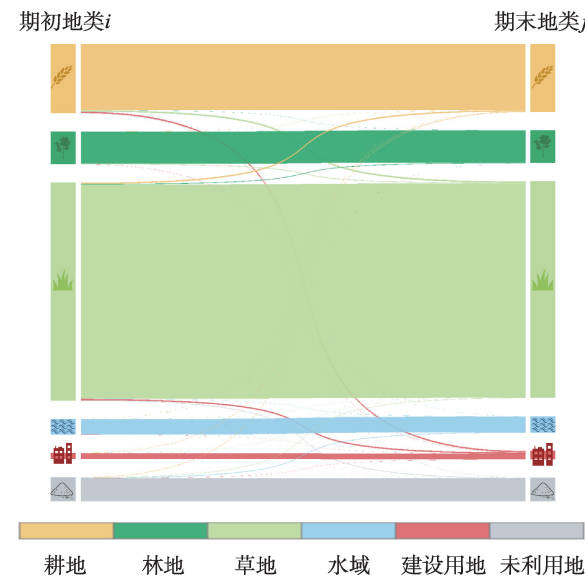


图8 2010—2020年兰西城市群土地利用转移桑基图

Figure 8 Land transition Sankey diagram of the Lanzhou-Xining urban agglomeration, 2010-2020

的影响较为强烈,地类转换情况的肉眼区分度较低。将转移矩阵与强度图谱对比分析发现,未利用地→水域的转化面积较小,其转化过程却在绝对强度和相对强度中均呈现倾向性,总体呈现系统倾向性的变化特征。草地→耕地的转化面积较大,却呈现出相对抑制性的变化特征,建设用地→未利用地的转化面积较小,却呈现出相对倾向性的变化特征。可见,绝对强度和相对强度间不存在直接的关联性,绝对数量上的倾向性转化未必会显著推动地类在区域内的占比发生变化,同理,小面积的转化同样可以对二者的土地利用/覆被结构造成相对显著影响。

5 结论与政策建议

5.1 结论

本文基于土地利用转移矩阵提出强度分析框架,从绝对和相对强度两个角度探究了2010—2020年期间兰西城市群LUCC的倾向性与抑制性,构建强度图谱以实现强度分析框架计算结果的直观可视化表达,并解析了区域关键LUCC模式的驱动机理。主要结论如下:

(1)兰西城市群各地类间的转化特征不尽相同。在耕地→建设用地的转化过程中呈现系统倾向性的变化特征,林地→未利用地、水域→林地及建设用地→林草地等呈现系统抑制性的转化特征,这些变化特征符合中国土地系统变化的一般性规律,表明业已建立的土地利用/覆被变化强度分析框架及强度图谱具有可行性。

(2)强度图谱也直观表达出兰西城市群作为西部生态脆弱区中城市化重点区所具有的区域特异性变化特征。其在未利用地→水域、草地→耕地及建设用地→未利用地的转化过程中均表现出倾向性的变化模式。受冰川积雪消融、冻土退化、降水增加、占补平衡政策及土地整治项目管护不周等因素影响,倾向性特征各不相同,分别表现为系统倾向性、绝对倾向性及相对倾向性。

(3)通过与转移矩阵及桑基图对比解析可知,本文所构建的强度分析框架及图谱受地类比例和区域整体LUCC强度的影响相对较小,更有助于判定地类之间的转换趋势及其对土地利用/覆被结构的影响。进一步地,强度分析框架中绝对数量转移趋势的倾向性未必会显著推动地类占比发生变化,同理,小面积的转化亦可能对土地利用/覆被结构造成相对显著影响,绝对强度和相对强度间不存在直接关联性。

5.2 政策建议

本文结果表明所构建的强度分析框架可以揭示转移矩阵的深层信息,其从绝对数量和相对比例两个层面展现各地类之间的转化特征,进而用于分析区域LUCC关键模式及规律,为调整土地利用结构及空间布局提供参考。结合兰西城市群未利用地→水域、草地→耕地及建设用地→未利用地的不同转化特征,对优化区域土地资源管理政策提出以下参考建议:①未来可将气候变化纳入土地评价体

系,建立以土地为主体的多圈层空间规划监测评估系统,提升对土地利用/覆被变化气候敏感性的科学认知,强化区域国土空间对气候变化的适应能力。②建立草地生态监测预警机制,防止绝对倾向性进一步加强出现相对倾向性的转化特征,对区域生态环境造成破坏性影响。③中国西部生态环境脆弱区域应建立较其他地区更长周期的土地整治管护主体责任体系,以实现在巩固现阶段治理成果的基础上,保障政策实施成效的可持续性。

本文以兰西城市群为例对强度分析框架及图谱进行了实证研究,直观地反映了区域LUCC模式,而不同地区发展过程中的LUCC模式既含共性又具异质性,今后的研究可将该图谱推广至多地区,结合混淆矩阵、聚类分析等数理统计方法度量地区间LUCC模式的关联性,探索发达地区土地城市化发展的共性特征,有助于欠发达地区借鉴土地管理经验,制定高效的土地资源管理政策。

参考文献(References):

- [1] Chen M X, Xian Y, Wang P L, et al. Climate change and multi-dimensional sustainable urbanization[J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2021, 31(9): 1328–1348.
- [2] Han M G, Zhu B. Changes in soil greenhouse gas fluxes by land use change from primary forest[J]. *Global Change Biology*, 2020, 26(4): 2656–2667.
- [3] Nkwasa A, Chawanda C J, Jagermeyr J, et al. Improved representation of agricultural land use and crop management for large-scale hydrological impact simulation in Africa using SWAT[J]. *Hydrology and Earth System Sciences*, 2022, 26(1): 71–89.
- [4] Li J G, Yu S Y, Liu L L. Determining the dominant factors determining the variability of terrestrial ecosystem productivity in China during the last two decades[J]. *Land Degradation & Development*, 2020, 31(15): 2131–2145.
- [5] Mariye M, Li J H, Maryo M. Land use land cover change analysis and detection of its drivers using geospatial techniques: A case of south-central Ethiopia[J]. *All Earth*, 2022, 34(1): 309–332.
- [6] Khodary Y. Women, land and rural development in Egypt: A socio-cultural perspective[J]. *Journal of Chinese Economic and Foreign Trade Studies*, 2022, 15(3): 261–278.
- [7] Chen H J, Liu L, Zhang Z Y, et al. Spatio-temporal correlation between human activity intensity and land surface temperature on the north slope of Tianshan Mountains[J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2022, 32(10): 1935–1955.
- [8] Seidl M, Saifane M. A green intensity index to better assess the multiple functions of urban vegetation with an application to Paris

2023年3月

- metropolitan area[J]. *Environment Development and Sustainability*, 2021, 23: 15204–15224.
- [9] 邹利林, 章丽君, 梁一凡, 等. 新时代国土空间功能的科学认知与研究框架[J]. *自然资源学报*, 2022, 37(12): 3060–3072. [Zou L L, Zhang L J, Liang Y F, et al. Scientific cognition and research framework of territorial space function in the New Era[J]. *Journal of Natural Resources*, 2022, 37(12): 3060–3072.]
- [10] Wang L J, Wang J Y, Liu Z Z, et al. Evaluation of a deep-learning model for multispectral remote sensing of land use and crop classification[J]. *The Crop Journal*, 2022, 10(5): 1435–1451.
- [11] Li C X, Wu J Y. Land use transformation and eco-environmental effects based on production-living-ecological spatial synergy: Evidence from Shaanxi Province, China[J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2022, 29(27): 41492–41504.
- [12] 刘瑞, 朱道林. 基于转移矩阵的土地利用变化信息挖掘方法探讨[J]. *资源科学*, 2010, 32(8): 1544–1550. [Liu R, Zhu D L. Methods for detecting land use changes based on the land use transition matrix[J]. *Resources Science*, 2010, 32(8): 1544–1550.]
- [13] 马江浩, 陈佳, 杨新军, 等. 土地利用变化对干旱区乡村社会恢复力的影响: 以民勤绿洲为例[J]. *资源科学*, 2021, 43(8): 1615–1627. [Ma J H, Chen J, Yang X J, et al. Influence of land use change on rural social resilience in arid areas: Taking the Minqin Oasis as an example[J]. *Resources Science*, 2021, 43(8): 1615–1627.]
- [14] 张佰发, 苗长虹. 黄河流域土地利用时空格局演变及驱动力[J]. *资源科学*, 2020, 42(3): 460–473. [Zhang B F, Miao C H. Spatio-temporal changes and driving forces of land use in the Yellow River Basin[J]. *Resources Science*, 2020, 42(3): 460–473.]
- [15] Cao Y H, Liu M Y, Cao Y D, et al. Change pattern and driving mechanism of construction land in China's undertaking industrial transfer demonstration area: Taking the Wanjiang City Belt along the Yangtze River as an Example[J]. *Earth Sciences Research Journal*, 2020, 24(2): 215–223.
- [16] Peng L X, Zhang L W, Li X P, et al. Spatial expansion effects on urban ecosystem services supply-demand mismatching in Guanzhong Plain urban agglomeration of China[J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2022, 32(5): 806–828.
- [17] Zhang J, Ma S J, Song Y Y. Hydrological and water quality simulation and future runoff prediction under CMIP6 scenario in the upstream basin of Miyun Reservoir[J]. *Journal of Water and Climate Change*, 2022, 13(7): 2505–2530.
- [18] 黄晶, 薛东前, 董朝阳, 等. 干旱绿洲农业区土地利用转型生态环境效应及分异机制: 基于三生空间主导功能判别视角[J]. *地理科学进展*, 2022, 41(11): 2044–2060. [Huang J, Xue D Q, Dong C Y, et al. Eco-environmental effects and spatial differentiation mechanism of land use transition in agricultural areas of arid oasis: A perspective based on the dominant function of production-living-ecological spaces[J]. *Progress in Geography*, 2022, 41(11): 2044–2060.]
- [19] Li Y, Zhang P J, Qin Y C. Ecological service evaluation: An empirical study on the central Loess Plateau, China[J]. *Polish Journal of Environmental Studies*, 2020, 29(2): 1691–1701.
- [20] Pontius R G, Shusas E, Meechem M. Detecting important categorical land changes while accounting for persistence[J]. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 2004, 101(2): 251–268.
- [21] Aldwaik S Z, Pontius R G. Intensity analysis to unify measurements of size and stationarity of land changes by interval, category, and transition[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2012, 106(1): 103–114.
- [22] Huang J L, Pontius R G, Li Q S, et al. Use of intensity analysis to link patterns with processes of land change from 1986 to 2007 in a coastal watershed of southeast China[J]. *Applied Geography*, 2012, 34: 371–384.
- [23] 杨建新, 龚健, 高静, 等. 国家中心城市土地利用变化稳定性和系统性特征: 以武汉市为例[J]. *资源科学*, 2019, 41(4): 701–716. [Yang J X, Gong J, Gao J, et al. Stationary and systematic characteristics of land use and land cover change in the national central cities of China using intensity analysis: A case study of Wuhan City[J]. *Resources Science*, 2019, 41(4): 701–716.]
- [24] 崔秀萍, 郭永新. 近40a西部城市群土地利用结构时空动态演化分析[J]. *干旱区资源与环境*, 2022, 36(2): 16–24. [Cui X P, Guo Y X. Analysis on the spatio-temporal dynamic evolution of land use structure of western urban agglomerations in the past 40 years[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2022, 36(2): 16–24.]
- [25] Zhou X, Li C, Wu L, et al. Responses of soil water retention to climate and underlying condition changes in river source areas: A case study of the Hei River basin and Bai River basin, China[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2022, 77(6): 555–567.
- [26] 覃小华, 李星明, 时朋飞, 等. 中国西部地区旅游环境效率时空分异及影响因素[J]. *资源科学*, 2022, 44(1): 143–155. [Qin X H, Li X M, Shi P F, et al. Spatial-temporal differentiation and influencing factors of tourism environmental efficiency in Western China[J]. *Resources Science*, 2022, 44(1): 143–155.]
- [27] 罗君, 石培基, 张学斌. 黄河上游兰西城市群人口时空特征多维透视[J]. *资源科学*, 2020, 42(3): 474–485. [Luo J, Shi P J, Zhang X B. Spatiotemporal characteristics of population distribution in the upper reaches of the Yellow River: A multi-dimensional approach in the Lanzhou-Xining urban agglomeration[J]. *Resources Science*, 2020, 42(3): 474–485.]
- [28] 邹利林, 刘彦随, 王永生. 中国土地利用冲突研究进展[J]. *地理科学进展*, 2020, 39(2): 298–309. [Zou L L, Liu Y S, Wang Y S. Research progress and prospect of land-use conflicts in China[J]. *Progress in Geography*, 2020, 39(2): 298–309.]
- [29] Zhang G Q, Duan S Q. Lakes as sentinels of climate change on the Tibetan Plateau[J]. *All Earth*, 2021, 33(1): 161–165.
- [30] Zheng K, Wei J Z, Pei J Y, et al. Impacts of climate change and human activities on grassland vegetation variation in the Chinese

- Loess Plateau[J]. *Science of the Total Environment*, 2019, 660: 236–244.
- [31] 李再艳, 石培基. 兰州-西宁城市群城乡建设用地开发强度空间格局变化及影响因素分析[J]. *生态与农村环境学报*, 2020, 36(4): 450–458. [Li Z Y, Shi P J. Spatial pattern changes and influencing factors of urban-rural construction land development intensity in the Lanzhou-Xining urban agglomeration[J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2020, 36(4): 450–458.]
- [32] 徐新良, 刘纪远, 张树文, 等. 中国多时期土地利用土地覆被遥感监测数据集[DB/OL]. (2021-07-02) [2022-10-15]. <https://www.resdc.cn/>. [Xu X L, Liu J Y, Zhang S W, et al. China's Multi-Period Land Use Land Cover Remote Sensing Monitoring Data Set (CNLUCC)[DB/OL]. (2021-07-02)[2022-10-15]. <https://www.resdc.cn/>.]
- [33] 国家发展改革委, 住房城乡建设部. 兰州-西宁城市群发展规划[R/OL]. (2018-03-13) [2022-08-01]. <https://www.ndrc.gov.cn/>. [National Development and Reform Commission, Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Development Planning of Lanzhou-Xining Urban Agglomeration[R/OL]. (2018-03-13) [2022-08-01]. <https://www.ndrc.gov.cn/>.]
- [34] 甘肃省统计局, 国家统计局甘肃调查总队. 甘肃发展年鉴2021[M]. 北京: 中国统计出版社, 2021. [Gansu Provincial Bureau of Statistics, Survey Office of the National Bureau of Statistics in Gansu. Gansu Development Yearbook-2021[M]. Beijing: China Statistics Press, 2021.]
- [35] 青海省统计局, 国家统计局青海调查总队. 青海统计年鉴2021[M]. 北京: 中国统计出版社, 2021. [Qinghai Provincial Bureau of Statistics, Survey Office of the National Bureau of Statistics in Qinghai. Qinghai Statistical Yearbook-2021[M]. Beijing: China Statistics Press, 2021.]
- [36] 刘纪远, 宁佳, 匡文慧, 等. 2010–2015年中国土地利用变化的时空格局与新特征[J]. *地理学报*, 2018, 73(5): 789–802. [Liu J Y, Ning J, Kuang W H, et al. Spatio-temporal patterns and characteristics of land-use change in China during 2010–2015[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(5): 789–802.]
- [37] 匡文慧, 张树文, 杜国明, 等. 2015–2020年中国土地利用变化遥感制图及时空特征分析[J]. *地理学报*, 2022, 77(5): 1056–1071. [Kuang W H, Zhang S W, Du G M, et al. Remotely sensed mapping and analysis of spatio-temporal patterns of land use change across China in 2015–2020[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2022, 77(5): 1056–1071.]
- [38] 何建华, 王春晓, 刘殿锋, 等. 大城市边缘区土地利用变化对生态环境质量的影响评价: 基于生态网络视角[J]. *长江流域资源与环境*, 2019, 28(4): 903–916. [He J H, Wang C X, Liu D F, et al. Evaluating the impact of land use change on habitat quality in metropolitan fringe areas from a perspective of ecological network[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2019, 28(4): 903–916.]
- [39] 刘丹, 李琳娜. 1995–2015年中国北方边境样带土地利用时空格局演变及驱动因素[J]. *资源科学*, 2021, 43(6): 1208–1221. [Liu D, Li L N. Spatiotemporal change and driving factors of land use in the northern border transect of China, 1995–2015[J]. *Resources Science*, 2021, 43(6): 1208–1221.]
- [40] 何建华, 王宵君, 杜超, 等. 武汉城市圈土地利用变化系统仿真模拟与驱动力分析[J]. *长江流域资源与环境*, 2015, 24(8): 1270–1278. [He J H, Wang X J, Du C, et al. Simulation of land use change and analysis of driving forces in Wuhan urban agglomeration based on a system dynamic model[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2015, 24(8): 1270–1278.]
- [41] 陈琼, 张懿铨, 刘峰贵, 等. 黄河流域河源区土地利用变化及其影响研究综述[J]. *资源科学*, 2020, 42(3): 446–459. [Chen Q, Zhang Y L, Liu F G, et al. A review of land use change and its influence in the source region of Yellow River[J]. *Resources Science*, 2020, 42(3): 446–459.]
- [42] Fan X W, Lin Z J, Gao Z Y, et al. Cryostrutures and ground ice content in ice-rich permafrost area of the Qinghai-Tibet Plateau with computed tomography scanning[J]. *Journal of Mountain Science*, 2021, 18(5): 1208–1221.
- [43] 刘宗香, 苏珍, 姚檀栋, 等. 青藏高原冰川资源及其分布特征[J]. *资源科学*, 2000, (5): 49–52. [Liu Z X, Su Z, Yao T D, et al. Resources and distribution of glaciers on the Tibetan Plateau[J]. *Resources Science*, 2000, (5): 49–52.]
- [44] Guo W Q, Liu S Y, Xu J L, et al. The second Chinese glacier inventory: Data, methods and results[J]. *Journal of Glaciology*, 2015, 61(226): 357–372.
- [45] 赵华秋, 王欣, 赵轩茹, 等. 2008–2018年中国冰川变化分析[J]. *冰川冻土*, 2021, 43(4): 976–986. [Zhao H Q, Wang X, Zhao X R, et al. Analysis of glacier changes in China from 2008 to 2018[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2021, 43(4): 976–986.]
- [46] Albayrak D, Sen O L, Yucel I. Spatiotemporal trends in daily and subdaily rainfall extremes and return levels in Turkey[J]. *International Journal of Climatology*, 2022, 42(16): 10337–10352.
- [47] Lei Y B, Yang K, Wang B, et al. Response of inland lake dynamics over the Tibetan Plateau to climate change[J]. *Climatic Change*, 2014, 125(2): 281–290.
- [48] 邹利林, 章丽君, 刘彦随. 生态文明背景下国土空间功能研究: 过去、现在与未来[J]. *地理科学进展*, 2022, 41(7): 1312–1324. [Zou L L, Zhang L J, Liu Y S. Territorial space function research in the context of ecological civilization: From the past into the future[J]. *Progress in Geography*, 2022, 41(7): 1312–1324.]
- [49] 唐秀美, 潘瑜春, 刘玉, 等. 基于全过程的土地整治项目实施问题、成因及对策研究[J]. *中国土地科学*, 2018, 32(3): 35–42. [Tang X M, Pan Y C, Liu Y, et al. Study on the problems, causes and countermeasures of land consolidation projects based on the whole process[J]. *China Land Science*, 2018, 32(3): 35–42.]
- [50] 邹利林, 王占岐, 王建英. 农村土地综合整治产业化发展盈利模式的构建[J]. *经济地理*, 2011, 31(8): 1370–1374. [Zou L L, Wang Z Q, Wang J Y. Construction of profit model for rural land integrated controlling industrialization[J]. *Economic Geography*, 2011, 31(8): 1370–1374.]

Characteristics of LUCC patterns of the Lanzhou–Xining urban agglomeration: Based on an intensity analysis framework

LI Shuaicheng¹, GONG Jian^{1,2}, YANG Jianxin^{1,2}, CHEN Guang¹,
ZHANG Zhong¹, ZHANG Muqian¹

(1. School of Public Administration, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China; 2. Key Laboratory for Rule of Law Research, Ministry of Natural Resources, Wuhan 430074, China)

Abstract: [Objective] Based on the land use transition matrix, a criterion of land use types conversion trend in absolute quantity was established, and a land use/cover change (LUCC) intensity analysis framework was proposed to analyze the tendency and inhibition of the conversion trend between land use types and its impact on the land use/cover structure from the perspectives of absolute and relative intensity. [Methods] The LUCC intensity map was constructed to visually display the key LUCC modes. Taking the Lanzhou–Xining urban agglomeration as an example, this study carried out an empirical analysis. [Results] During 2010–2020, the conversion characteristics of different land use types are not completely the same in the Lanzhou–Xining urban agglomeration. The LUCC intensity map integrated absolute and relative intensity information, which could reflect the regional general patterns of LUCC, such as the tendency of the transition from cropland to construction land and the low intensity of the transition from water to forest. It can also reveal the specific change patterns of the Lanzhou–Xining urban agglomeration that is a key area of urbanization in the ecologically fragile western region of China. It showed a tendency of land transition from unused land to water, grassland to cropland, and construction land to unused land. However, under the influence of the melting of glaciers and snow, permafrost degradation, precipitation enhancement, the acquisition-compensation balancing policy, and the poor management and protection of land consolidation projects, the characteristics of systematic tendency, absolute tendency, and relative tendency can be observed respectively in the changes. Further comparison with the land use transition matrix and land use transition Sankey diagram shows that there is no direct correlation between absolute intensity and relative intensity, and the constructed intensity analysis framework and map are less affected by the proportion of land use types and the overall LUCC intensity of the region, which is more helpful to determine the conversion trend between land use types and its impact on the land use/cover structure. [Conclusion] The framework of intensity analysis proposed in this study is feasible and can provide a scientific support for identifying and analyzing the key patterns and modes of regional LUCC and optimizing land resource management policies.

Key words: land use/cover change (LUCC); intensity analysis; intensity map; driving mechanism; Lanzhou–Xining urban agglomeration