

DOI:10.13870/j.cnki.stbxb.2024.03.021

杨玉钱,彭双云,吕铭皓,等.1990—2020 年滇中城市群耕地非农化时空变化特征及驱动机制[J].水土保持学报,2024,38(3):

YANG Yuqian, PENG Shuangyun, LÜ Minghao, et al. The spatial and temporal changes and driving mechanism of cultivated land conversion in central Yunnan urban agglomeration from 1990 to 2020[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2024, 38(3):

1990—2020 年滇中城市群耕地非农化 时空变化特征及驱动机制

杨玉钱^{1,2}, 彭双云^{1,2}, 吕铭皓¹, 陈晓弟¹, 郭秀¹

(1.云南师范大学地理学部,昆明 650500;2.西部资源环境地理信息技术教育部工程研究中心,昆明 650000)

摘 要: [目的] 通过分析滇中城市群 30 年耕地非农化的演变路径、时空变化特征及驱动机制,为滇中城市群耕地资源的保护及精准管理提供理论依据。[方法] 基于滇中城市群土地利用数据和统计年鉴数据,运用重心迁移模型、变化轨迹模型、空间自相关分析、主成分分析等方法揭示 1990—2020 年滇中城市群耕地非农化过程、空间分布特征及主要驱动因素。[结果] (1) 从时间上看,滇中城市群耕地非农化面积呈波动下降趋势,2000 年前后由年均增加约 $4.55 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 转变为年均减少约 $1.33 \times 10^5 \text{ hm}^2$,受政策、经济和城市化影响导致其变化最剧烈。从空间上看,耕地非农化集中分布于滇中城市群的中部、东部、东南部和东北部地区。(2) 30 年来,滇中城市群耕地非农化在空间分布上趋于均衡,区域间耕地非农化差异变小,空间格局趋于稳定。(3) 滇中城市群耕地主要转出为林地和草地,少部分转化为建设用地,变化型耕地中有 54.60% 与草地相关,29.33% 与林地相关,4.64% 与建设用地相关,主要发生在滇中城市群的中部、北部和东南部、西北部的局部区域。(4) 滇中城市群耕地非农化存在显著的空间聚集效应,以高一高聚集和低—低聚集为主,高一高聚集主要分布在中部、北部和东南部,低—低聚集主要分布在西北部、西部和西南部。(5) 滇中城市群耕地非农化受社会经济和自然条件共同影响。社会经济中的国有农业人口、固定资产投资和城市化率是耕地非农化扩张最主要的驱动因素,影响系数分别为 -0.18, 0.11, 0.10;而自然因素年均降水量和年均气温在耕地非农化空间分布和扩张过程起着关键性的作用,影响系数分别为 0.17, -0.15。[结论] 研究结果揭示 30 年来滇中城市群耕地非农化的时空变化特征、演变路径及驱动机制。对合理利用和保护耕地资源,保障云南省粮食安全具有重要作用,在一定程度上可为滇中城市群的耕地保护和耕地布局优化提供决策参考。

关键词: 耕地非农化; 重心迁移模型; 变化轨迹分析; 空间格局; 主成分分析

中图分类号: F301.2

文献标识码: A

The Spatial and Temporal Changes and Driving Mechanism of Cultivated Land Conversion in Central Yunnan Urban Agglomeration From 1990 to 2020

YANG Yuqian^{1,2}, PENG Shuangyun^{1,2}, LV Minghao¹, CHEN Xiaodi¹, GUO Xiu¹

(1. Faculty of Geography, Yunnan Normal University, Kunming 650500, China; 2. GIS Technology Research Center of Resource and Environment in Western China of Ministry of Education, Yunnan Normal University, Kunming 650500, China)

Abstract: [Objective] By analyzing the evolution path, spatiotemporal variation characteristics, and driving mechanisms of farmland non agriculturalization in the central Yunnan urban agglomeration over the past 30 years, theoretical basis is provided for the protection and precise management of farmland resources in the central Yunnan urban agglomeration. [Methods] Based on the land use data and statistical yearbook data of the Central Yunnan urban agglomeration, the paper used methods such as gravity displacement model,

收稿日期: 2023-11-06

修回日期: 2023-12-09

录用日期: 2024-01-17

资助项目: 国家自然科学基金项目 (42261073, 41971369, 42261037, 42171392); 云南省中青年学术和技术带头人后备人才项目 (202305AC160083, 202205AC160014); 云南省基础研究专项重点项目 (202201AS070024, 202001AS070032); 云南省基础研究计划青年项目 (202101AU070037); 云南师范大学研究生科研创新基金项目 (YJSJJ23-B146)

第一作者: 杨玉钱 (2000—), 男, 云南红河人, 硕士研究生, 主要从事土地利用变化的生态环境效应研究。E-mail: 2669172543@qq.com

通信作者: 彭双云 (1978—), 男, 云南马龙人, 教授, 博士, 主要从事土地利用变化的生态环境效应、城市地理信息系统研究。E-mail: frankmei@126.com

http://stbxb.alljournal.com.cn

change trajectory model, spatial autocorrelation analysis, and principal component analysis to reveal the process and spatial distribution characteristics of farmland conversion to non-agricultural uses in the Central Yunnan urban agglomeration from 1990 to 2020, as well as the main driving factors. [Results] (1) From a temporal perspective, the non-agricultural area of cultivated land in the central Yunnan urban agglomeration showed a fluctuating downward trend, with an average annual increase of about 4.55×10^4 around 2000 hectares converted to an average annual decrease of approximately 1.33×10^5 hectares, with the most drastic changes due to policy, economic, and urbanization impacts. From a spatial perspective, the non-agricultural conversion of cultivated land was concentrated in the central, eastern, southeastern, and northeastern regions of the central Yunnan urban agglomeration. (2) Over the past 30 years, the non-agricultural transformation of cultivated land in the central Yunnan urban agglomeration has tended to be balanced in spatial distribution, with smaller regional differences in the non-agricultural transformation of cultivated land and a more stable spatial pattern. (3) The cultivated land in the central Yunnan urban agglomeration was mainly converted into forests and grasslands, with a small portion converted into construction land. Among the variable cultivated land, 54.60% was related to grasslands, 29.33% was related to forests, and 4.64% was related to construction land, mainly occurring in the central, northern, southeastern, and northwestern regions of the central Yunnan urban agglomeration. (4) There was a significant spatial clustering effect in the non-agricultural transformation of cultivated land in the central Yunnan urban agglomeration, mainly characterized by high-high clustering and low-low clustering. High-high clustering was mainly distributed in the central, northern, and southeastern regions, while low-low clustering was mainly distributed in the northwest, western, and southwestern regions. (5) The non agriculturalization of cultivated land in the central Yunnan urban agglomeration was influenced by both socio-economic and natural conditions. The state-owned agricultural population, fixed asset investment, and urbanization rate were the main driving factors for the non-agricultural expansion of cultivated land in the social economy, with influencing coefficients of -0.18 , 0.11 , and 0.10 , respectively; The annual average precipitation and annual average temperature of natural factors played a crucial role in the spatial distribution and expansion process of non-agricultural land, with impact coefficients of 0.17 and -0.15 , respectively. [Conclusion] The results have revealed the spatiotemporal change characteristics, evolution path, and driving mechanisms of farmland converted to non-agricultural land in the central Yunnan urban agglomeration over the past 30 years. It plays an important role in rational utilization and protection of arable land resources and ensuring food security in Yunnan province, and to a certain extent, it can provide a decision-making reference for the protection and optimization of arable land layout in the central Yunnan urban agglomeration.

Keywords: cultivated land conversion; gravity center migration model; change trajectory analysis; spatial pattern; principal component analysis

Received: 2023-11-06

Revised: 2023-12-19

Accepted: 2024-01-17

耕地是维护社会经济稳定发展的基础,承担着保障国家粮食安全、生态安全和社会安全的重任^[1]。我国一直十分重视耕地保护工作。1992年,中共中央出台《关于严禁开发区和城镇建设占用耕地撂荒的通知》^[2],严格查处乱占耕地行为;2006年,“十一五”规划首次提出18亿亩耕地红线的约束性指标;2020年9月,国务院印发的《关于坚决制止耕地“非农化”行为的通知》(国办发[2020]24号)^[3]明确提出,严禁耕地“非农化”。耕地非农化^[4]指耕地资源从农业

部门向非农业部门的转移过程,即耕地转化为城市住宅以及商业、工业、服务业、交通运输业等非农业生产用地的过程。近几十年来,工业化、城镇化和经济迅速发展,造成农业空间被占用和耕地资源大量流失,由此产生的耕地非农化严重威胁我国的耕地保护和粮食安全。因此,正确认识和解决耕地非农化问题,对有效保护稀缺的耕地资源和维护国家粮食安全有重要的意义。

当前,耕地非农化的相关研究主要集中在耕地非

农化现状、非农化驱动机制及调控策略等方面。针对耕地非农化现状,学者们采用空间自相关^[5]、重心迁移模型及标准差椭圆模型^[6]等对耕地非农化进行研究发现,经济发达的地区和人口集聚地区,耕地非农化现象严重^[7]。在探究耕地非农化的驱动因素方面,众多学者多采用主成分分析^[8]、地理加权回归^[9]、地理探测器^[10]等对耕地非农化的驱动因素进行分析发现,城镇化、经济发展、地方政府利益驱动、人口增长、农业发展水平、土地比较收益、土地制度、收入差距等是耕地非农化的主要因素^[7]。基于主要驱动因素,学者们^[11]提出,从变革土地管理制度、提升协同治理能力和推进城市“紧凑型”发展等方面来预防和控制耕地非农化。总体来看,耕地非农化时空演变特征及驱动因素的研究比较全面,但多集中在东部和中部经济发达地区,针对西部山区城市群耕地非农化研究还较为欠缺。西部山区城市群一般具有较强的资源梯度性、灾害频发性、生态脆弱性和地形地貌复杂性^[12]。随着城镇化、工业化和农业现代化的快速发展,耕地非农化的演变特征和驱动机制与平原地区存在较大差异,有必要进行针对性的深入探索。

云南是一个山区高原省份,耕地资源相对匮乏。随着人口增长和经济的发展,土地利用矛盾日益突出。其中,滇中城市群尤为突出,该区域占全省国土面积的 28.30%,集聚 47.00%的人口和 61.51%的地区生产总值,常住人口城镇化率高于全省平均水平 10%,人均 GDP 等主要经济指标均高于全省平均水平,是云南经济发展的引擎^[13]。然而,受地形和地质灾害的约束,滇中城市群农业适宜区和城镇适宜区的空间重叠较大,进一步加剧该地区耕地资源的紧缺性。因此,加强对滇中城市群的耕地非农化监测,探明耕地非农化的驱动机制,对云南省耕地保护和粮食安全有重要意义。

鉴于滇中城市群耕地非农化的现状和趋势,利用重心迁移模型、变化轨迹模型和空间自相关分析方法对其时空变化特征和迁移路径进行分析。并在已有分析基础上采用主成分分析法挖掘滇中城市群耕地非农化的驱动因素,旨在为保障滇中城市群粮食安全和助推其农业发展提供理论依据和决策参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

滇中城市群位于云南省中部(22°58′—27°00′N, 100°45′—104°50′E),由昆明市、曲靖市、玉溪市、楚雄彝族自治州及红河哈尼族彝族自治州北部的蒙自市、

个旧市、建水县、开远市、弥勒市、泸西县、石屏县 7 个县市组成。国土面积占全省 28.30%,地势相对平坦,集中全省 2/3 的平地(图 1),属温带型气候,四季如春,水利条件较好,是云南省重要的粮食基地。

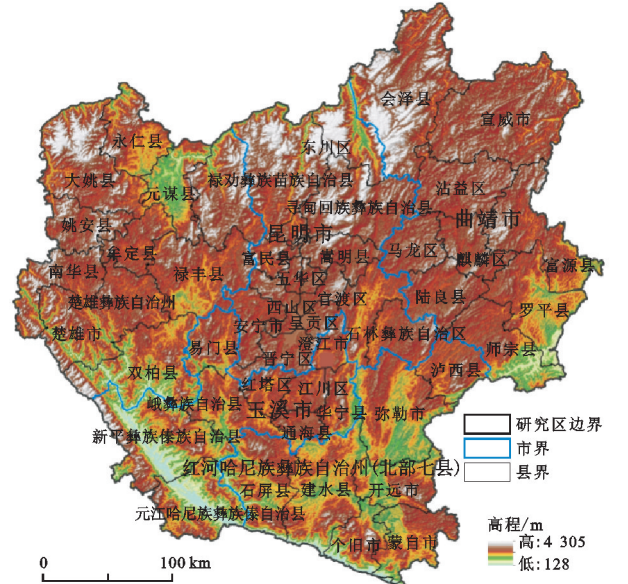


图 1 研究区概况

Fig. 1 Location map of the research area

1.2 数据来源与处理

滇中城市群 1990 年、1995 年、2000 年、2005 年、2010 年、2015 年、2020 年土地利用数据来源于武汉大学 CDCL30 米土地利用数据^[14],该数据的分类系统包括农田、森林、灌木、草地、水、雪和冰、贫瘠、不透水面和湿地 9 个主要地类。根据滇中城市群的实际情况,将土地利用类型重分类为耕地、林地、草地、水域、未利用地和建设用地 6 种类型。行政区划数据、DEM 等基础数据来源于中国科学院资源与环境科学数据中心(<http://www.resdc.cn/>)。

1.3 研究方法

1.3.1 重心迁移模型 重心迁移模型是反映对象在空间演变过程的有效方法^[15]。广泛应用于水土流失、景观格局演变等空间过程与格局的诸多研究。耕地非农化的重心变化特征能够反映耕地非农化的时空变化特征,其计算公式为:

$$X_t = \frac{\sum_{i=1}^n (M_i \times X_i)}{\sum_{i=1}^n M_i} \tag{1}$$

$$Y_t = \frac{\sum_{i=1}^n (M_i \times Y_i)}{\sum_{i=1}^n M_i} \tag{2}$$

式中:(X_t, Y_t)为研究区某一评价时点的耕地非农化重

心坐标; (X_i,Y_i) 为第 i 个评价单元的几何中心; M_i 为第 i 个评价单元某一评价时点的耕地非农化面积。

重心转移距离是指研究区 2 个评价时点耕地非农化重心的直线距离,计算公式为:

$$L=\sqrt{(X'_t-X_t)^2+(Y'_t-Y_t)^2}\tag{3}$$

式中: L 为迁移的距离(km); (X_t,Y_t) 的含义同上; (X'_t,Y'_t) 为研究区相对于 (X_t,Y_t) 后一个评价时点耕地非农化的重心坐标。

1.3.2 变化轨迹分析 变化轨迹分析方法是一种可用来分析连续时间序列内某一属性动态变化的动态刻画方法,该方法可最大程度上保障动态变化的过程完整性^[16]。基于土地利用变化轨迹分析法提取出演

中城市群的土地利用变化轨迹,计算公式为:

$$CT=G_1\ 10^{n-1}+G_2\ 10^{n-2}+\cdots+G_n\tag{4}$$

式中: CT 为研究时序内各栅格对应的变化轨迹代码,代表土地利用变化过程; G_i 为第 i 个时间节点的土地利用栅格属性, n 为研究的时间节点个数($n>1$)。

在土地利用变化轨迹的基础上进一步提取出耕地变化轨迹,再根据改进的稳定映射变化轨迹模型^[16]中的映射相似性、变化次数、多样性(similarity/turnover/diversity,STD)指标与时相数的关系式,构建耕地变化轨迹的判定原则,将耕地变化轨迹类型划分为稳定型、渐变型、非连续渐变型、循环型和波动型 5 类一级变化轨迹,具体判定原则见表 1。

表 1 耕地变化轨迹的 STD 判定原则

Table 1 The STD determination principle of farmland change trajectory

一级类别	二级类别	说明	变化次数	多样性	相似性	典型例子
稳定型耕地	持续稳定型	没有变化	0	1	7	1 111 111
	长期保持型	一类别长期保持稳定,但其中一年突变为另一类	2	2	6	1 112 111
	早期变化后期稳定	两种类型间只在前 3 个时相内发生一次变化	1	2	456	1 122 222
渐变型耕地	中期变化	两种类别间只在中期发生一次变化	1	2	34	1 111 222
	早期稳定后期变化	两种类别间只在后 6 个时相内发生一次变化	1	2	456	1 111 122
			2	2	3 456	1 122 111
非连续渐变型耕地		可能表现出一些周期性变化但趋势不明显	3	234	2 345	1 122 331
循环型耕地	A 类/B 类	周期性变化明显	6	23 456	234	1 212 121
	A 类/B 类/C 类	周期性变化明显	6	23 456	234	1 231 231
波动型耕地		更高的多样性/更多类别之间的频繁变化	3 456	23 456	2 345	1 236 547

1.3.3 空间自相关 空间自相关分析是确定某一变量在空间上是否相关,其相关程度如何^[17]的分析方法。采用全局空间自相关(Global Moran's I,下文用 I_g 表示)和局部空间自相关(Local Moran's I,下文用 I_i 表示)2 种形式分析耕地非农化的空间分布特征。

全局空间自相关(Global Moran's I)计算公式为:

$$I_g=\frac{n}{\sum_{i=1}^n\sum_{j=1}^nw_{ij}}\frac{\sum_{i=1}^n\sum_{j=1}^nw_{ij}(x_i-\bar{x})(x_j-\bar{x})}{\sum_{i=1}^n(x_i-\bar{x})^2}\tag{5}$$

式中: n 为研究区域内空间单元的总数; x_i 和 x_j 分别

是空间单元 i 和 j 的观测值; $\bar{x}$ 为 n 个空间单元观测值的均值; W_{ij} 是研究范围内每 1 个空间单元 i 和 j 的空间权重矩阵; i 与 j 相邻时权重为 1,不相邻时权重为 0。

I_g 反映空间邻接或空间邻近的区域单元的属性值的相似程度,变化范围为 $(-1,1)$ 。 $I_g>0$ 表示正的空间自相关,即空间聚集; $I_g<0$ 表示负的空间自相关,即空间离散;当 I_g 趋于 0 时,表示在空间呈随机分布。空间自相关的显著性通过服从正态分布的统计量 Z 来检验。

由于全局空间自相关只反映空间要素整体分布

特征,难以衡量局部聚集及空间异质性。因此,引入局部空间自相关从局部尺度分析空间要素与周边的差异水平。将全局空间自相关和局部空间自相关结合起来对耕地非农化的空间集聚和空间聚集分异特征进行分析。局部空间自相关(Local Moran's I)计算公式为:

$$I_1 = \frac{(x_i - \bar{x})}{\sum_i \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n}} \sum_j W_{ij} (x_j - \bar{x}) \quad (6)$$

式中: W_{ij} , x_i , x_j 的含义同上。根据局部空间自相关原理,将集聚情况分为 5 种类型,分别为不显著(N—N)、低—高聚集(L—H)、低—低聚集(L—L)、高—低聚集(H—L)和高—高聚集(H—H),其中 N—N 表明滇中城市群研究单元耕地非农化不存在空间聚集,L—H 表示滇中城市群研究单元的耕地非农化水平较低,而其四周的研究单元耕地非农化水平较高,L—L 表明 1 个研究单元本身及其四周研究单元的耕地非农化水平较低,H—L 表明研究单元的耕地非农化水平较高,但其四周研究单元的耕地非农化水平较低,H—H 表明 1 个研究单元本身及其四周研究单元的耕地非农化水平较高。

1.3.4 主成分分析 主成分分析是一种降维统计方法,将选取的多个指标的变化量度转化为少数综合且具代表性的变化量,借助于 1 个正交变换将其分量相关的原随机向量转化成其分量不相关的另一随机向量,通过主成分进行选取指标初始信息的替换^[18]。

主成分分析的具体步骤为:

(1)驱动因素的选取

在借鉴丁书培等^[19]和严冬梅^[8]研究基础上,结合滇中城市群的实际情况,选取可反映区域社会经济发展状况和自然环境条件的 13 个因子,包括总人口和农业人口(反映区域经济和社会发展状态及农业和农村人口状况)、城市化率(衡量区域现代化程度)、GDP(反映区域经济发展水平)、财政支出和财政收入(体现政府财政状况和政策取向)、城乡居民储蓄(反映居民消费和储蓄习惯以及金融市场发达程度)、国有固定资产投资(反映区域投资状况和基础设施建设)、工业产值(体现区域工业发展水平和产业结构)、粮食产量和农业产值(反映区域农业发展水平和农村经济发展状况)及年均温和年降水量(反映地区自然环境状况并对农业生产和生态环境有重要影响的指标)。基于以上因子,构建因子体系(表 2),并进行主成分分析。

表 2 选取的 13 个主成分
Table 2 Selected 13 main components

类型	变量	选取的指标
社会经济因素	X1	总人口
	X2	农业人口
	X3	城市化率
	X4	GDP
	X5	财政支出
	X6	财政收入
	X7	城乡居民储蓄
	X8	国有固定资产投资
	X9	工业产值
	X10	粮食产量
	X11	农业产值
自然因素	X12	年均温
	X13	年降水量

注:以上指标的具体数据全部来源于《云南统计年鉴》^[20]。

(2)对原始数据进行标准化处理,以消除各指标量纲不同和量级差异的影响。

$$\bar{x}_{aj} = \frac{x_{aj} - x_j}{s_j} \quad (7)$$

式中: $x_j = \frac{1}{n} \sum_a x_{aj}$; $s_j^2 = \frac{1}{n} \sum_a (x_{aj} - \bar{x}_j)^2$; $a=1, 2, 3, \dots, n$; $j=1, 2, \dots, p$ 。

(3)计算相关系数矩阵

$$R_{ij} = \frac{1}{n} \sum_a \bar{x}_{aj} \bar{x}_{ai} \quad (8)$$

由相关系数矩阵可看出每个指标间的相关程度。

(4)计算特征值和特征向量

根据特征方程 $|R - \lambda I| = 0$ 计算特征值,即解 $r_n \lambda^p + r_{n-1} \lambda^{p-1} + \dots + r_1 \lambda + r_0 = 0$ 的特征多项式,求 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_p$ 并使 λ_i 按大小排列,即 $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_p \geq 0$,求出关于特征值 λ_k 的特征向量。

$$I_k = (I_{k1}, I_{k2}, \dots, I_{kp})^T \quad (9)$$

$$RI_k = \lambda I_k \quad (10)$$

(5)计算贡献率和累积贡献率

计算贡献率 λ_k / λ_i 和累计贡献率 $\sum (\lambda_j / \sum \lambda_j)$, 并确定主成分。一般选取累积贡献率达 70%~90% 的特征值 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m$ ($\lambda_m \leq p$) 对应的主成分。

(6)计算主成分载荷矩阵

$$P(z_k, x_i) = \lambda_k I_{ki} \quad (11)$$

式中: $i=1, 2, \dots, p$; $k=1, 2, \dots, m$ 。主成分因子负荷量为主成分 z_k 与变量 x_i 间的相关系数。

2 结果与分析

2.1 耕地非农化的时空变化特征

2.1.1 耕地非农化数量变化特征 由表 3 可知,

1990—2020 年,滇中城市群的耕地非农化面积发生剧烈变化。1990—1995 年,耕地非农化面积呈平稳增长趋势,平均每年增加约 $3.44 \times 10^4 \text{ hm}^2$;耕地非农化主要转化为林地和草地,两者所占比例大致相同。1995—2000 年,耕地非农化面积的增长速度加快,平均每年增加约 $4.55 \times 10^4 \text{ hm}^2$;林地和草地仍然是主要的转化方向,但与 1990—1995 年相比,转为林地的面积占比有所减少,而转为草地的面积占比有所增加。2000—2005 年,耕地非农化面积开始下降,平均每年减少约 $1.33 \times 10^5 \text{ hm}^2$;耕地的农业用途有所恢复。2005—2010 年,耕地非农化面积有所回升,平均每年增加约 $2.57 \times 10^4 \text{ hm}^2$;耕地非农化主要转为林地和草地,转为两者的面积占比大致相同。同时,该期间的耕地转为建设用地的面积占比达到研究期间的最大值。2010—2015 年,耕地非农化面积继续增长,但增长速度较上个时期有所放缓,平均每年增加约 $0.4 \times 10^4 \text{ hm}^2$;耕地主要转为林地和草地,但转为林地的面积占比较高。最后在 2015—2020 年,耕地非农化的面积开始下降,平均每年减少约 $6.59 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。反映出对于耕地的保护措施开始生效和对耕地的保护意识加强。

总体来看,滇中城市群的耕地非农化数量总体上呈减少趋势。然而,各时期的表现有所不同,整体趋势呈波动变化。2000 年前后是滇中城市群耕地非农化最剧烈的时期,导致此现象的原因可能是该时期内政策调整、经济发展和城市化进程等多种因素的影响较为显著。

表 3 1990—2020 年耕地非农化面积
Table 3 Farmland converted to non-agricultural land area from 1990 to 2020 hm^2

年份	耕地非农化面积	较上一时期变化值
1990—1995 年	366 982.67	
1995—2000 年	401 402.49	34 419.82
2000—2005 年	268 166.86	-133 235.63
2005—2010 年	293 919.25	25 752.39
2010—2015 年	339 403.86	45 484.61
2015—2020 年	273 448.84	-65 955.02

2.1.2 耕地非农化空间分布变化特征 由图 2 可知,1990—1995 年,耕地非农化主要集中在滇中城市群的中部和东北部。1995—2000 年,耕地非农化主要分布在研究区中部、南部、东北部和西北部。2000—2005 年,耕地非农化除在研究区中部和东南部有一定的聚集外,在其他地区零星分布。2005—2010 年,耕地非农化主要聚集于研究区中部、西部、东部和东南部。2010—2015 年,耕地非农化主要分布在研究区中部、北部和东南部。2015—2020 年,耕地非农化主要分布在研究区东部、东南部和西北部。

从耕地非农化的空间分布看,滇中城市群不同时期的耕地非农化的空间分布有着明显的重叠现象,重叠较多的区域主要分布在滇中城市群的中部、东部、东南部、东北部,即耕地非农化集中分布在这些区域,此区域耕地非农化严重。

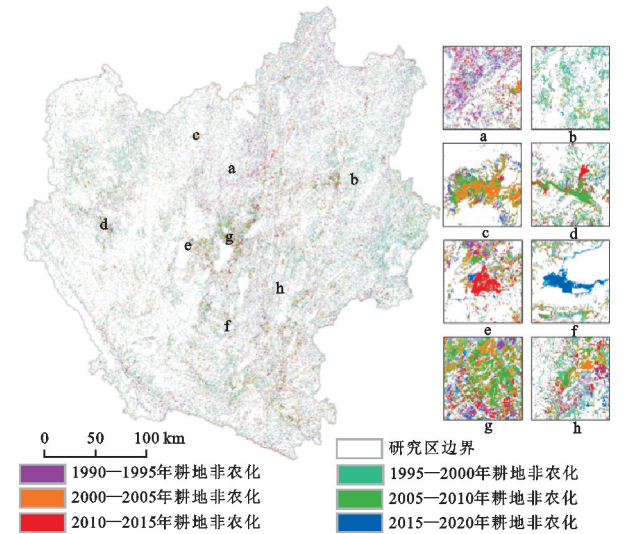


图 2 1990—2020 年 6 个时间段滇中城市群耕地非农化空间分布格局

Fig. 2 Spatial distribution pattern of farmland conversion to non-agricultural land in the central Yunnan urban agglomeration during six time periods from 1990 to 2020

2.2 耕地非农化的迁移路径

据表 4 计算出的滇中城市群耕地非农化的重心和迁移距离,并结合耕地非农化重心迁移路径(图 3)可以看出,在重心位置上,1990—1995 年、1995—2000 年、2010—2015 年、2015—2020 年的耕地非农化重心位于官渡区,2000—2005 年,耕地非农化重心位于盘龙区,2005—2010 年,耕地非农化重心位于宜良县,总的来说,6 个时期的耕地非农化重心大致上是位于滇中城市群的中心区域附近。

在重心迁移距离上(表 4),6 个时间段呈先增加后减少趋势,在 2005—2010 年达到最大,说明 1990—2005 年,滇中城市群耕地非农化的空间不均衡不断增强,2005—2010 年,是滇中城市群耕地非农化空间分布最不均衡的时期。2005—2020 年,耕地非农化的重心迁移距离逐渐减少,2020 年达到最小,说明在 2005 年之后,滇中城市群的耕地非农化空间分布趋于均衡,2020 年相比较与前面的时期耕地非农化是最均衡的,即区域间耕地非农化的差异最小。

在移动方向上(表 4),滇中城市群耕地非农化的扩散方向由官渡区向西南方向迁移,迁移到盘龙区后再由盘龙区向东南方向迁移,迁移至宜良县后再向西北方向迁移回官渡区并逐渐稳定在官渡区,在图形上呈一个回

旋状,表明耕地非农化的格局由最初的东北部向东南部再向中心区域迁移,并逐渐稳定在中心区域。

综上,滇中城市群在 1990—2020 年的耕地非农化活动主要集中在中心区域附近,其重心迁移距离呈先增加后减少趋势,并且耕地非农化的扩散方向呈一个回旋状。表明随着时间的推移,滇中城市群的耕地非农化活动在空间上的分布逐渐趋于均衡。

表 4 1990—2020 年滇中城市群耕地非农化的空间演变路径
Table 4 Spatial evolution path of farmland conversion to non-agricultural land in the central Yunnan urban agglomeration from 1990 to 2020

年份/年	重心坐标	迁移 距离/km	迁移方向	重心变化
1990—1995	103°00′46″E, 25°09′43″N			官渡区
1995—2000	102°55′29″E, 25°07′48″N	9.56	西南	官渡区
2000—2005	102°49′11″E, 25°04′42″N	12.03	西南	盘龙区
2005—2010	103°00′39″E, 24°57′08″N	23.83	东南	宜良县
2010—2015	102°57′21″E, 25°01′44″N	10.15	西北	官渡区
2015—2020	102°57′43″E, 25°04′57″N	5.60	东北	官渡区

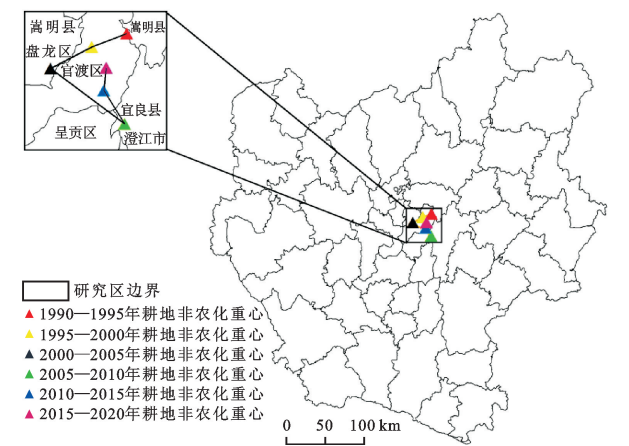


图 3 1990—2020 年耕地非农化重心及迁移路径

Fig. 3 Centroid migration path of farmland conversion to non-agricultural land from 1990 to 2020

2.3 耕地非农化变化轨迹的特征分析

7 期土地利用变化轨迹理论上存在 6^7 种,涉及耕地变化轨迹达 4 250 种。依据改进稳定映射的变化轨迹对占耕地总面积的 0.002% 以上的变化轨迹进行分析,将变化轨迹分为稳定型耕地、渐变型耕地、非连续渐变型耕地、循环型耕地和波动型耕地 5 类(表 5)。对 30 年滇中城市群的耕地变化轨迹进行分析,其稳定型耕地面积为 $2.38 \times 10^6 \text{ hm}^2$,占耕地变化总面积的 64.99%,集中分布于滇中城市群的东北部、东部、东南部和西北部(图 4a)。表明随着城市化的进程和经济发展的需要,滇中城市群的耕地发生剧烈的变化,但其作为云南省重要的粮食基地,稳定型耕地面积在耕地变化中仍占主导地位。

渐变型耕地面积为 $7.28 \times 10^5 \text{ hm}^2$,占耕地变化

总面积的 19.92%,除昆明主城区和曲靖城区较为集中外,其余均零星分布于滇中城市群各处(图 4b)。渐变型耕地主要转变为林地和草地,少部分转化为建设用地;具体来说,有 $4.70 \times 10^5 \text{ hm}^2$ 的耕地转为林地, $2.10 \times 10^5 \text{ hm}^2$ 的耕地转为草地, $3.94 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 的耕地转为建设用地。

非连续渐变型耕地面积为 $4.09 \times 10^5 \text{ hm}^2$,占研究区耕地变化总面积 11.20%,除在昆明主城区分布较为集中外,其余分散分布在滇中城市群的东南部、东北部和西北部(图 4c)。此类型主要是耕地与林地、草地之间的渐变,少部分为耕地渐变为草地再渐变为建设用地。具体来说,有 $1.58 \times 10^5 \text{ hm}^2$ 耕地逐渐演变为草地, $9.61 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 耕地逐渐演变为林地, $1.27 \times 10^5 \text{ hm}^2$ 耕地与林地、草地间也发生逐步的演变,还有 $2.0 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 的耕地先变为草地再变为建设用地。

循环型耕地面积为 $7.27 \times 10^4 \text{ hm}^2$,占耕地变化总面积的 1.99%,除在中部地区有一定的聚集现象外,在滇中城市群其他区域零散分布(图 4d)。循环型耕地主要是耕地与林地、草地间的循环变化,具体表现为 $3.45 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 耕地与林地间的循环变化, $3.58 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 耕地与草地间的循环变化。

波动型耕地面积为 $6.96 \times 10^4 \text{ hm}^2$,占研究区总面积的 1.90%。耕地类型在研究区范围内零星分布(图 4e)。在轨迹变化过程中,图谱单元多样性为 3 的轨迹面积占该类总面积的 88.06%。在多样性为 3 的波动型的轨迹变化过程中,主要是耕地、林地、草地间的频繁转化,表明波动型的轨迹变化中,耕地与林地、草地间的变化是较为活跃的。

耕地变化类型中,稳定型耕地的占比达到 64.99%,变化型耕地占比达到 35.01%,说明滇中城市群的耕地非农化现象比较严重。在耕地非农化的过程中,根据各个变化轨迹类型转出面积,可得到渐变型耕地中有 64.56% 转为草地, 28.85% 转为林地, 5.41% 转为建设用地;非连续渐变型耕地中有 38.63% 转为草地, 23.47% 转为林地, 4.89% 转为建设用地;循环型耕地有 49.24% 转为草地, 47.75% 转为林地;波动型耕地是耕地、林地、草地间的频繁转化。同时,结合各个变化轨迹类型在全部变化轨迹中的占比可得,在变化型耕地中,有 54.60% 耕地非农化与草地相关,有 29.33% 耕地非农化与林地相关,有 4.64% 耕地非农化与建设用地相关。综上说明,耕地主要流向林地和草地,少部分转化为建设用地,同时结合图 4 可知,耕地非农化主要分布在滇中城市群的中部、东北部、东南部和西北部局部区域。

表 5 变化轨迹类型数量结构

Table 5 Quantity structure of change trajectory types

变化轨迹类型	面积/hm ²	占比/%
稳定型耕地	2 376 307.53	64.99%
渐变型耕地	728 594.98	19.92%
非连续渐变型耕地	409 422.38	11.20%
循环型耕地	72 768.14	1.99%
波动型耕地	69 552.27	1.90%

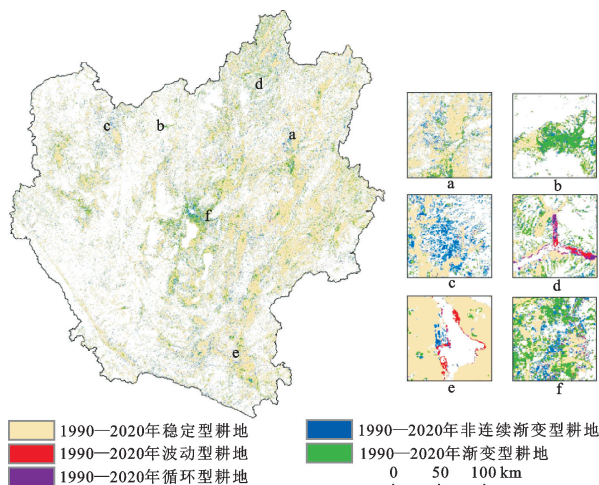


图 4 耕地变化轨迹空间分布格局

Fig. 4 Various farmland change trajectories based on stable mapping

2.4 滇中城市群耕地非农化的空间分布

从全局自相关分析来看,滇中城市群耕地非农化全局自相关的 p 值为 0, z 得分为 77.40, I_g 指数为 0.62。说明滇中城市群耕地非农化存在显著的空间关系,在空间分布上表现出较明显的空间聚集状态。

由图 5 可知,滇中城市群的耕地非农化有较明显高一高聚集和低一低聚集现象。高一高聚集主要分布在滇中城市群的中部和北部及东南部和西北部局部地区,具体为昆明城区和会泽县、罗平县、建水县、姚安县等;低一低聚集主要分布在西北部、西部、西南部,具体分布在大姚县、禄丰县、楚雄市、易门县、新平县、石屏县等;低一高聚集在滇中城市群的中部和东南部零星分布,具体分布在呈贡区、五华区、官渡区、罗平县、通海县;高一低聚集在滇中城市群西北部 and 西南部零星分布,具体分布在新平县和禄劝县。

2.5 滇中城市群耕地非农化的驱动力分析

2.5.1 驱动因子定量分析 运用 SPSS 26 软件对选取的因子进行主成分分析后,根据特征值的大小和累积方差贡献率的大小确定主成分个数。分析结果显示,特征值 >1 且贡献率累计值高于 94.76% 的成分有 2 个(表 6),说明第 1 第 2 主成分的累计贡献率达到 94.76%,可基本反映全部指标的信息。因此,使用

2 个新变量来代替原来的 13 个变量,进行后续的分析。

根据主成分载荷矩阵载荷因子数值的大小可分析出构成滇中城市群耕地非农化驱动力 2 个主成分因子的实际意义。由表 7 可知,主成分 1 中 X_1 、 X_3 、 X_4 、 X_5 、 X_6 、 X_7 、 X_8 、 X_9 、 X_{10} 、 X_{11} 的荷载系数 >0.89 的因素,均与社会水平和经济发展高度相关,因此,可将其归纳为社会经济因素。主成分 2 (Z 中 X_{12} 、 X_{13} 的荷载系数 >0.84 的因素,均是与自然高度相关,因此,将其归自然因素。

根据主成分特征值和主成分载荷值(表 7),计算得到第 1 主成分与第 2 主成分的得分表达式为:

$$F1 = 0.28X_1 + -0.21X_2 + \dots + 0.15X_{12} + -0.07X_{13}$$

$$F2 = 0.23X_1 + 0.47X_2 + \dots + 0.58X_{12} + -0.59X_{13}$$

然后将耕地非农化面积标准化处理后与主成分得分表达式进行线性回归分析,构建线性回归方程^[21]为:

$$F = 0.78F1 + 0.17F2$$

$$Y = -0.02X_1 - 0.18X_2 + 0.10X_3 + 0.07X_4 + 0.07X_5 + 0.06X_6 + 0.07X_7 + 0.11X_8 + 0.04X_9 + 0.06X_{10} + 0.06X_{11} - 0.15X_{12} + 0.17X_{13}$$

2.5.2 驱动机制分析 通过上述回归方程,可获取各变量的系数值和正负性。系数的大小可反映与自变量间的相关程度,正负性代表因变量与自变量间是呈正相关还是负相关。结合 X 所代表的含义、 X 值的大小及正负性,可对耕地非农化的影响效果进行分析。

由表 8 可知,农业人口、国有固定资产投资和城市化率是影响耕地非农化的 3 个主要因素,其系数绝对值 ≥ 0.10 。其中,国有固定资产、城市化率与耕地非农化的关系也呈正相关,即随着国有固定资产和城市化率的增加,耕地非农化现象加剧。农业人口与耕地非农化为负相关,即农业人口减少,耕地非农化面积也减少。系数绝对值 >0.05 但 <0.10 的影响因子,包括城乡居民储蓄、GDP、财政支出、财政收入、农业产值、粮食产量等,此因素是影响耕地非农化的次要因素,并且其与耕地非农化都表现正相关,即以上影响因子数量上的增加加剧耕地非农化。系数绝对值 <0.05 的影响因子,包括工业产值和总人口,说明此因素对耕地非农化的影响程度较小。其中,工业产值与耕地非农化表现出正相关,即工业产值增加促进耕地非农化的扩张;总人口与耕地非农化则呈负相关,即总人口增加在一定程度上抑制耕地非农化的发展。

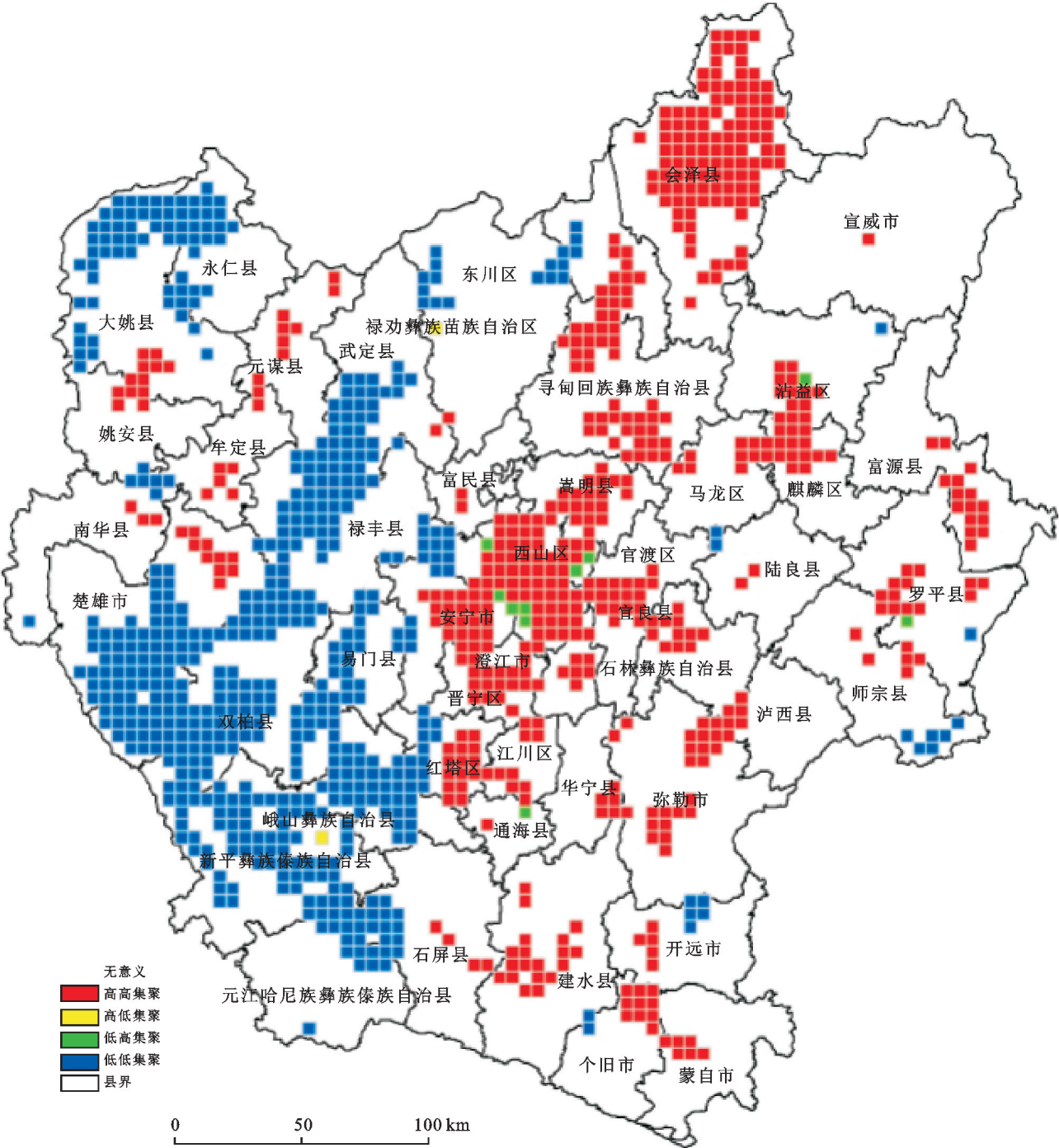


图 5 1990—2020 年滇中城市群耕地非农化的 LISA 聚集图

Fig. 5 Local cluster map of farmland conversion to non-agricultural land in the central Yunnan urban agglomeration from 1990 to 2020

国有固定资产投资、城乡居民储蓄、GDP、财政支出、农业产值、财政收入、粮食产量、工业产值代表区域经济发展水平。根据统计年鉴(表 9),1990—2020 年滇中城市群的国有固定资产投资增加 1.17×10^4 亿元,城乡居民储蓄增加 1.07×10^4 亿元,GDP 增长 1.46×10^4 亿元,财政支出增加 2.21×10^3 亿元,农业产值增加 2.54×10^3 亿元,财政收入增加 1.07×10^3 亿元,粮食产量增加 265.35 万吨,工业产值增加 1.04×10^4 亿元。同时期,滇中城市群建设用地不断增加。由此

可见,滇中城市群经济迅速发展,导致建设用地不断扩张,而建设用地扩张主要是占用耕地,在很大程度上促进滇中城市群的耕地非农化。总人口、农业人口、城市化率反映区域的社会发展水平。据统计年鉴 1990 年到 2020 年滇中城市群的农业人口减少 358.17 万人,城市化率由 1990 年的 17.71% 上升到 2020 年的 59.81%,总人口增加 658.92 万人。同时期,滇中城市群耕地面积呈先减少后增加趋势,但耕地面积总体上变化不大。

由此可见,农业人口减少,城市化率增加极大的政府政策等因素的影响下,滇中城市群的耕地面积促进滇中城市群耕地非农化。但在总人口粮食需求,30 年变化不大。

表 6 主成分特征与贡献率表

Table 6 Table of main component features and contribution rates

主成分	初始特征值			提取的主成分		
	特征值	贡献率/%	累积贡献率/%	特征值	贡献率/%	累积贡献率/%
1	10.173	78.256	78.256	10.173	78.256	75.829
2	2.146	16.507	94.763	2.146	16.507	94.763
3	0.492	3.785	98.547			
4	0.107	0.820	99.368			
5	0.081	0.626	99.994			
6	0.001	0.006	100.000			
7	1.286E-15	9.894E-15	100.000			
8	4.360E-16	3.354E-15	100.000			
9	2.097E-16	1.613E-15	100.000			
10	9.603E-17	7.387E-16	100.000			
11	-2.778E-17	-2.137E-16	100.000			
12	-2.945E-16	-2.265E-15	100.000			
13	-6.279E-16	-4.830E-15	100.000			

表 7 主成分载荷矩阵

Table 7 Main component load matrix

变量	主成分 1	主成分 2
X1	0.893	0.335
X2	-0.671	0.676
X3	0.959	-0.176
X4	0.992	-0.032
X5	0.998	-0.024
X6	0.997	0
X7	0.982	-0.074
X8	0.970	-0.231
X9	0.994	0.108
X10	0.939	-0.005
X11	0.997	-0.010
X12	0.467	0.848
X13	-0.214	-0.868

表 8 影响因子系数排序表

Table 8 Sorted by impact factor coefficient

类别	影响因子	系数	系数绝对值
社会经济因素	总人口	-0.02	0.02
	农业人口	-0.18	0.18
	城市化率	0.10	0.10
	GDP	0.07	0.07
	财政支出	0.07	0.07
	财政收入	0.06	0.06
	城乡居民储蓄	0.08	0.08
	国有固定资产投资	0.11	0.11
	工业产值	0.04	0.04
	粮食产量	0.06	0.06
自然因素	农业产值	0.06	0.06
	年均温	-0.15	0.15
	年均降水量	0.17	0.17

表 9 社会经济因素统计

Table 9 Socioeconomic factors statistics table

年份	人口/ 万人	农业人口/ 万人	城市化 率/%	GDP/ 亿元	财政支出/ 亿元	财政收入/ 亿元	城乡居民 储蓄/元	国有固定资 产投资/亿元	工业产值/ 亿元	粮食产量/ 万吨	农业产值/ 亿元
1990 年	1 536.80	1 264.70	17.71%	495.63	44.29	54.74	66.79	32.37	301.92	472.65	82.20
1995 年	1 597.10	1 283.57	19.63%	696.15	90.78	65.55	305.68	170.15	507.05	484.92	106.57
2000 年	1 738.80	1 360.00	21.80%	1 095.93	153.46	109.16	770.35	224.57	1 331.20	425.31	155.62
2005 年	1 947.60	1 511.30	22.39%	2 326.20	273.88	273.88	1 680.71	386.26	2 661.40	534.61	470.04
2010 年	2 026.60	1 553.30	23.36%	4 740.35	841.14	459.47	3 851.38	1 232.02	5 150.15	594.61	896.52
2015 年	2 136.30	1 163.86	38.41%	8 631.36	1 625.73	892.50	10 002.03	7 440.72	7 360.91	762.68	1 616.12
2020 年	2 195.72	906.53	59.81%	15 073.95	2 257.86	1 126.27	10 810.28	11 771.61	10 702.85	735.00	2 624.89

由表 8 可知,年均降水量、年均气温 2 个因素的系数绝对值均>0.10,表明其是影响耕地非农化的主要因素。其中,年均降水量和耕地非农化是正相关,即年均降水量处于研究期的较高水平,耕地非农化面积也处在较高水平;而年均气温和耕地非农化是负相关,即年均气温处于研究期的较低水平,耕地非农化面积处在较高水平。据表 2 和统计年鉴(表 10),其中 1995 年、2000 年、2015 年降水量较多,且 3 年的耕

地非农化面积在研究期间都处于较高的水平,分别为 3.67×10^5 , 4.01×10^5 , 3.39×10^5 hm^2 。而 1995 年、2000 年 2 年的年均温度较低,2 年的耕地非农化面积在研究期间属于较高水平的,为 3.67×10^5 , 4.01×10^5 hm^2 。从年均降水量、年均气温和耕地非农化的相关性来看,他们间并不是绝对相关性,而是表现出一定的同步性。耕地非农化面积最高的年份,降水量和气温都不是研究期间的极大值和极小值。因此,尽管自然因素不是决定性因素,但在耕地非农化的过程中起着关键性作用,是耕地非农化的主要因素。

表 10 自然因素统计

Table 10 Natural factors statistics table

年份/年	年均温/℃	年降水量/mm
1990	16.29	946.34
1995	16.18	935.00
2000	16.88	932.41
2005	16.93	814.35
2010	18.51	807.39
2015	17.10	1 024.72
2020	17.32	781.01

3 讨论

本研究发现,近 30 年来,滇中城市群耕地非农化主要转化为林地、草地、少部分转为建设用地,但转为建设用地的面积呈增长趋势,与黄天能等^[22]研究结论相符。结合滇中城市群的实际情况,分析造成此现象有以下原因。首先,近年来,在生态文明建设排头兵、两山理念的指引下,滇中城市群积极实施退耕还林还草等政策,促使耕地转变为林地和草地。其次,随着滇中城市群经济的快速发展和城市化水平的提高,建设用地不断侵占耕地,导致耕地逐步向建设转变。最后,随着滇中城市化进程的加快,大量的农业人口转为非农业人口,导致大量的耕地撂荒、闲置,耕地转为草地。

根据对滇中城市群耕地非农化影响因素的回归分析结果,影响因素系数绝对值 ≥ 0.10 的为国有固定资产投资、农业人口、城市化率和自然因素中的年均温、年降水量,说明以上因素是耕地非农化的主要影响因素。国有固定资产投资的系数为 0.11,是经济因素中影响力最强的。具体来说,随着国有固定资产投资急剧增加,用于房产、建筑物、企业基本建设、更新改造等的费用也随之增加,导致大量的耕地被转为建设用地,与张光宏等^[23]研究结论相符,即经济因素是耕地非农化的主要驱动因素,其中,国有固定资产投资对中、西部地区的影响更大。此外,社会经济因

素中,农业人口和城市化率的系数分别为-0.18 和 0.10,分别代表社会因素中的负向影响和正向影响,是耕地非农化的主要社会因素。农业人口的减少导致部分耕地撂荒、闲置。同时,大量的农业人口转为非农业人口,城市人口增加,促进城市向外扩张,加快城市化的进程,加剧滇中城市群的耕地非农化,与冉凤维等^[24]研究结论“城市人口的增加造成土地利用类型的不同需求,如建设用地需求增加、耕地减少”相符。

在自然因素中,年均降水量和年均温是影响耕地非农化的主要影响因素,其系数分别为 0.17, -0.15。当年均降水量处在研究期间的较高水平时,增加土壤的湿度,有利于退耕还林还草和耕地闲置撂荒后植被的存活和生长,促进耕地转为林地和草地。较多的降水量导致平坦地区或地势较低地区的耕地遭受洪涝灾害,农户暂时放弃种植,造成耕地撂荒。在地势较陡或地质条件较差的区域,较多的降水导致水土侵蚀加剧,水土流失现象加重,造成耕地的撂荒和流失;另一方面,当年均气温处于研究期间较低水平时,使得一些农作物无法生长或者生长缓慢,导致农业产出减少。促使一些农民选择将土地转为非农用途,如用于建设房屋或者开发工业用地等。另外,在气温较低的情况下,部分农民可能选择外出务工,导致农村土地闲置和撂荒。闲置和撂荒的土地可能逐渐被转为非农用途,综合影响导致研究区存在较为严重的耕地非农化问题。据统计年鉴和图 2,在研究区内,年降水量处于较高水平,气温处于较低水平的地区,耕地非农化现象比较严重,如曲靖市的师宗县、罗平县、会泽县等,与朱闯^[25]的研究结论“自然因子是决定耕地空间分布格局的关键”有一定的共同之处,反映自然因素对耕地非农化有很大的影响,是耕地非农化过程中的关键因素。

加强滇中城市群的耕地非农化监测及探明耕地非农化的驱动机制是精准调控非农化的前提。对过去 30 年滇中城市群耕地非农化的时空变化特征和驱动因子进行分析,揭示滇中城市群的时空变化特征和驱动机制,为滇中城市群的耕地保护提供一定的参考价值。然而,由于滇中城市群作为云南省的经济、政治、文化发展的核心区域,使得其耕地非农化的过程更加复杂。该研究仅选取社会经济因素和自然因素对耕地非农化进行驱动因素分析,而对耕地非农化内部更详细的驱动机制的研究还有所欠缺;此外,对未来气候变化和人类活动影响下非农化的可能发展情景也缺乏进一步的探索。因此,构建更完善的驱动因子指标

体系,探究耕地非农化的内在作用机制并进行多情景下的耕地非农化模拟是下一步需要完善之处。

4 结论

(1)从时间上看,滇中城市群的耕地非农化面积总体上呈波动下降趋势,但在 2000 年前后的 2 个研究时期变化最剧烈,耕地非农化面积变化速度由平均每年增加约 $4.55 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 变为平均每年减少约 $1.33 \times 10^5 \text{ hm}^2$;从空间上看,6 个时间段的耕地非农化空间分布各有其特点,6 期耕地非农化重叠较多的区域主要集中在分布在滇中城市群的中部、东部、东北部、东南部。

(2)耕地非农化重心迁移路径表征,1990 年以来的滇中城市群耕地非农化空间扩散态势。重心迁移的路径特征明显,表现为先增加后减少,由最初的 9.56 km,增至 23.83 km,然后再减至 5.6 km。扩散方向表现为从东北部向西南部移动,并逐渐稳定在滇中城市群中心区域的变化趋势。区域间的耕地非农化水平差异减少,空间格局趋于稳定。

(3)滇中城市群的耕地非农化现象严重,主要是耕地转出为林地和草地,少部分转化为建设用地。耕地非农化主要分布在研究区的中部、北部、东南部和西北部的局部区域。

(4)滇中城市群的耕地非农化存在显著的空间自相关关系,表现出明显的空间聚集状态。高一高聚集主要分布在滇中城市群的中部、北部以及东南部和西北部局部地区,低—低聚集主要分布在西北部、西部、西南部。低—高聚集在滇中城市群的中部和东南部零星分布,高一低聚集在滇中城市群西北部和西南部零星分布。

(5)滇中城市群的耕地非农化受到社会经济因素和自然因素的共同影响。在驱动滇中城市群耕地非农化扩张方面,社会经济因素起着主要作用,其中,国有固定资产投资、农业人口和城市化率是最主要的社会经济因素。而自然因素中的年降水量和年平均气温在耕地非农化的空间分布及其演化过程起着关键性的作用。

参考文献:

- [1] 陈美招,张雅琪,郑荣宝,等.经济快速发展地区耕地非农化演变路径及异质性研究:以广州市黄埔区为例[J].资源开发与市场,2017,33(8):942-947,1000.
CHEN M Z, ZHANG Y Q, ZHENG R B, et al. Research on evolution path and heterogeneity of cultivated land conversion in the rapid economic development area—a case study of Huangpu district, Guangzhou city[J].

Resource Development and Market, 2017, 33(8): 942-947, 1000.

- [2] 国务院办公厅关于严禁开发区和城镇建设占用耕地撂荒的通知[J].中华人民共和国国务院公报,1992(32): 1429-1430.

Notice of the general office of the state council on strictly prohibiting the occupation of farmland and abandonment in development zones and urban construction[J]. State Council Communique of the People's Republic of China, 1992(32): 1429-1430.

- [3] 国务院办公厅关于坚决制止耕地“非农化”行为的通知[J].中华人民共和国国务院公报,2020(27):36-37.

Notice of the general office of the state council on resolutely stopping the non agriculturalization of farmland [J]. State Council Communique of the People's Republic of China, 2020(27): 36-37.

- [4] 黄祖辉,李懿芸,毛晓红.我国耕地“非农化”“非粮化”的现状与对策[J].江淮论坛,2022(4):13-21.

HUANG Z H, LI Y Y, MAO X H. The situation, drivers and countermeasures of “non-agricultural” and “non-grain” transformation of cultivated land in China [J]. Jiang-huai Tribune, 2022(4): 13-21.

- [5] 张孝宇,张安录.武汉市耕地非农化的空间自相关分析[J].长江流域资源与环境,2015,24(5):781-788.

ZHANG X Y, ZHANG A L. Small-scale spatial patterns of farmland conversion based on autocorrelation analysis in Wuhan city[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2015, 24(5): 781-788.

- [6] 左妍,周勇,李晴,等.鄂西南地区土地利用格局时空变化及轨迹特征分析[J].水土保持学报,2022,36(1):161-169.

ZUOQ, ZHOU Y, LI Q, et al. Analysis of spatial and temporal changes and trajectory characteristics of land use pattern in the southwest Hubei[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2022, 36(1): 161-169.

- [7] 袁晓妮,鲁春阳,吕开云,等.我国耕地非农化研究进展及展望[J].中国农业资源与区划,2019,40(1):128-133.

YUAN X N, LU C Y, LYU K Y, et al. Research progress and prospect of non-agriculturalization of arable land in China[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2019, 40(1): 128-133.

- [8] 严冬梅.武汉市郊区耕地保护与耕地非农化驱动因素分析[D].武汉:华中农业大学,2006.

YAN D M. Cultivated Land Protection and Analysis of the Driving Forces of Land Non-agriculture in Wuhan suburb[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2006.

- [9] 李泳君,陈青长,方贺,等.基于多尺度地理加权回归的

- 长江流域植被时空演化及其影响因素的空间异质性研究[J/OL].中国环境科学,1-13[2024-02-20]. <https://doi.org/10.19674/j.cnki.issn1000-6923.20230911.001>.
- LI Y J, CHEN Q C, FANG H, etc. Spatial heterogeneity of vegetation evolution and its influencing factors in the Yangtze river basin based on multi-scale geographical weighted regression[J].Chinese Environmental Science: 1-13[2024-02-20]. <https://doi.org/10.19674/j.cnki.issn1000-6923.20230911.001>.
- [10] 李宏鹏,田达睿,谭静斌.延安市 2000—2020 年耕地非农化时空格局演变及其影响因素[J].水土保持通报,2022,42(4):330-337,372.
- LI H P, TIAN D R, TAN J B. Spatio-temporal pattern evolution and influencing factors of cultivated land non-agriculturalization in Yan'an city[J].Bulletin of Soil and Water Conservation,2022,42(4):330-337,372.
- [11] 刘少坤,王嘉佳,林树高,等.广西边境地区耕地非农化的空间特征与迁移路径[J].中国农业资源与区划,2022,43(10):162-173.
- LIU S K, WANG J J, LIN S G, et al. The spatial features and migration path of cultivated land non-agriculturalization in the border areas of Guangxi Zhuang autonomous region[J].Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2022,43(10):162-173.
- [12] 林伊琳,赵俊三,张萌,等.滇中城市群国土空间格局识别与时空演化特征分析[J].农业机械学报,2019,50(8):176-191.
- LIN Y L, ZHAO J S, ZHANG M, et al. Identification of territory space pattern and spatio-temporal evolution analysis of urban agglomeration in central Yunnan[J].Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2019,50(8):176-191.
- [13] 潘悦,王锦,李婧熹,等.滇中城市群绿色空间生态系统服务价值时空演变及驱动分析[J].水土保持研究,2023,30(2):352-360.
- PAN Y, WANG J, LI J X, et al. Spatial and temporal evolution and driving analysis of green space ecosystem service value of urban agglomeration in central Yunnan [J].Research of Soil and Water Conservation,2023,30(2):352-360.
- [14] YANG J, HUANG X. The 30 m annual land cover dataset and its dynamics in China from 1990 to 2019[J].Earth System Science Data,2021,13(8):3907-3925.
- [15] 王治,薛忠财,王瑞丰,等.1990—2017 年承德市水源涵养功能时空变化格局与影响因素研究[J].生态与农村环境学报,2022,38(9):1138-1146.
- WANG Y, XUE Z C, WANG R F, et al. Spatial and temporal patterns of water retention and its influencing factors in Chengde city from 1990 to 2017[J].Journal of Ecology and Rural Environment, 2022, 38(9): 1138-1146.
- [16] 李晖,冯莉,聂芹,等.基于稳定映射变化轨迹分析的厦门土地利用时空演化[J].生态学报,2016,35(8):2132-2143.
- LI H, FENG L, NIE Q, et al. Spatio-temporal pattern analysis of land use change trajectories based on stability mapping in Xiamen [J].Chinese Journal of Ecology, 2016,35(8):2132-2143.
- [17] 燕玲玲,巩杰,徐彩仙,等.子午岭地区土壤保持服务时空变化及其影响因素[J].水土保持学报,2021,35(1):188-197.
- YAN L L, GONG J, XU C X, et al. Spatiotemporal variations and influencing factors of soil conservation service in Zi wuling area [J].Journal of Soil and Water Conservation,2021,35(1):188-197.
- [18] 汪东川,张威,王志恒,等.拉西瓦水电站建设对区域景观格局与生境质量的影响[J].水土保持学报,2021,35(3):200-205.
- WANG D C, ZHANG W, WANG Z H, et al. Impact of laxiwa hydropower station construction on the regional landscape pattern and habitat quality[J].Journal of Soil and Water Conservation,2021,35(3):200-205.
- [19] 丁书培,李蒙蒙,汪小钦,等.基于时序遥感数据的福州市耕地非农化特征及驱动因子分析[J].遥感技术与应用,2022,37(3):550-563.
- DING S P, LI M M, WANG X Q, et al. The use of time series remote sensing data to analyze the characteristics of non-agriculture farmland and their driving factors in Fuzhou [J].Remote Sensing Technology and Application,2022,37(3):550-563.
- [20] 云南省统计局.云南统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2020.
- Yunnan Provincial Bureau of Statistics. Yunnan statistical yearbook [M]. Beijing: China Statistical Publishing House,2020.
- [21] 许健玮.吉林省耕地非农化驱动因素研究[D].长春:吉林大学,2020.
- XU J W. Study on the driving factors of farmland non farming in Jilin province [D]. Changchun:Jilin University, 2020.
- [22] 黄天能,许进龙.近 40 年来广西耕地非农化的时空演变特征、成因与对策[J].中国农业资源与区划,2023,44(10):40-51.
- HUANG T N, XU J L. The characteristics, causes and countermeasures of spstial-temporal evolution of Guan-

- gxi cultivated land deagriculturalization in the past 40 years [J]. Chinese Agricultural Resources and Regionalization, 2023, 44(10): 40-51.
- [23] 张光宏, 崔许锋. 耕地资源非农化驱动机制及其区域差异性[J]. 中国农业科学, 2015, 48(8): 1632-1640.
- ZHANG G H, CUI X F. Driving mechanism and regional differentiation of cultivated land non-agricultural-transformation[J]. Chinese Agricultural Science, 2015, 48(8): 1632-1640.
- [24] 冉凤维, 罗志军, 章磊. 2000—2015 年南昌市土地利用变化及驱动力分析[J]. 江西农业大学学报, 2017, 39(4): 834-842.
- RAN FW, LUO Z J, ZHANG L. An analysis of the changes in land use and their driving forces in Nanchang city from 2000 to 2015[J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 2017, 39(4): 834-842.
- [25] 朱闯. 2001—2017 年中国耕地时空变化特征及其驱动因素研究[D]. 天津: 天津工业大学, 2020.
- ZHU C. Research on the spatiotemporal variation characteristics and driving factors of cultivated land in China from 2001 to 2017 [D]. Tianjin : Tianjin University of Technology, 2020.