

伊洛河流域土地利用时空变化特征分析

黄宇, 李心平, 赵娜*, 牛晓丽, 尹冬雪, 秦龙

河南科技大学农业装备工程学院, 河南 洛阳 471003

摘要 土地利用/覆被变化(LUCC)问题是全球环境变化关注的热点问题之一。研究伊洛河流域的土地利用变化对黄河流域生态保护与高质量发展具有重要意义。基于长期的 LandsatTM 卫星遥感影像、R 语言弦图可视化模型以及线性模型冗余分析(RDA 分析), 对伊洛河流域 1990 年—2020 年 30 年间的土地利用时空变化特征、土地覆被的流量、流向及内在驱动因素进行了分析。结果表明: (1) 1990 年—2020 年间, 伊洛河流域的土地变化呈现林地先减小后增加、耕地先增加后减小、建设用地整体增加、水域整体减小的变化趋势; (2) 在数量上, 1990 年—2020 年每 10 年间, 耕地和林地的总变化量最大, 建设用地次之, 水域、草地和未利用土地的变化量很小; (3) 1990 年—2000 年、2000 年—2010 年、2010 年—2020 年的土地利用类型相互转换主要以耕地和林地的相互转化为主, 土地利用变化程度呈上升趋势, 在 2010 年—2020 年达到最高; (4) 1990 年—2020 年间, 林地重心整体向东北方向偏移, 耕地的重心整体向南迁移, 林地和耕地重心的变化与退耕还林政策有关。建设用地总体围绕洛阳市主城区, 这与社会经济发展和城镇发展方向有关; (5) 在驱动力方面, 经济高速发展和退耕还林政策的实施是推动伊洛河流域土地利用面积变化的主要原因, 其中, 退耕还林政策的实施是林地和耕地面积变化的主要原因。研究结果可为黄河流域生态保护和可持续发展提供科学依据。

关键词 伊洛河流域; 土地利用; 转移矩阵; 驱动力; 冗余分析

中图分类号: F301.24 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3964/j.issn.1000-0593(2022)10-3180-07

引言

土地是人类赖以生存和发展的重要资源, 土地利用/覆被变化(LUCC)一直是全球环境变化关注的热点问题之一^[1-3]。土地利用类型变化对所在区域水文过程、碳循环、生态服务功能等均有重要的影响。

国内外诸多学者对不同尺度的土地利用类型时空变化进行了研究^[4-7]。焦春萌等^[8]对 1990 年—2020 年延安市土地利用结构时空偏移及生态系统服务价值变化进行了分析; 梁明等^[9]以时空栅格为建模手段, 对淮南市土地利用变化过程的时空模式进行了分析; Alma Mendoza-Ponce 等^[10]探究了墨西哥的土地利用变化以及社会经济和气候变化对其的影响; 皮泓漪等^[11]分析了黄河流域宁夏段 1985 年—2010 年间的土地利用时空变化特征。

在研究方法上, 较多学者利用土地利用/覆被动态度模

型, 而缺乏对土地利用/覆被类型转移方向的分析; 或只关注影响因子对整体土地利用变化的分析, 缺乏对影响各个土地利用方式转变的驱动力分析^[12]。在研究区域上, 已有研究主要集中在黄河干流, 或者以行政边界为研究单元, 以黄河具体支流为研究对象开展的针对性研究较少, 探寻引发土地利用变化的驱动研究相对有限。伊洛河是黄河三门峡大坝以下的最大支流, 是黄河下游防洪体系、水资源配置以及水沙调控体系中的重要一环^[13], 该流域土地利用变化及其驱动力的研究, 有助于贯彻“生态优先、绿色发展”, “因地制宜、分类施策”的黄河流域生态保护和高质量发展指导原则, 对构建合理的流域土地利用方式、提高黄河流域生态服务功能具有重要意义。

陆地卫星数据可以为土地变化建模和监测土地规划效果提供有价值的信息^[14]。以伊洛河流域为研究区域, 基于 1990 年—2020 年的土地利用遥感数据, 使用信息学中弦图可视化模型呈现该流域土地利用类型变化轨迹, 旨在分析该

收稿日期: 2021-08-07, 修订日期: 2021-11-26

基金项目: 国家自然科学基金项目(51809086), 清华大学水沙科学与水利水电工程国家重点实验室开放基金项目(sklhse-2020-B-02), 河南省科技攻关项目(222102320144, 212102110035)资助

作者简介: 黄宇, 1997 年生, 河南科技大学农业装备工程学院硕士研究生 e-mail: huangyuplus@163.com

* 通讯作者 e-mail: zhn@haust.edu

流域近 30 年土地利用类型的时空转变特征。使用生物学里冗余分析(RDA 分析), 将不同土地利用类型视为不同物种, 以量化的方式揭示该流域土地利用类型变化的驱动因素。最终以三序图展示样方、物种及环境变量三者关系。本研究将为黄河流域生态保护和可持续发展提供科学依据。

1 实验部分

1.1 研究区域

伊洛河(33°34′—35°4′N, 111°7′—112°58′E)主要流经河南省境内, 是黄河十大支流之一, 由伊河和洛河组成, 全长约 447 km, 流域面积约 1.86 万 km²[15](图 1)。该流域地处暖温带向北亚热带的过渡区域, 年平均气温约为 14.6 °C, 年平均降水约为 600 mm。伊洛河流域海拔 57~2 655 m, 呈西高东低特征, 生态与环境过渡性明显, 其上游为丘陵山区, 以森林、草地为主, 而下游主要为黄土冲积平原, 是重要的粮食生产基地。受其地形地貌特征和人类活动影响, 伊洛河流域的生态环境复杂且脆弱。

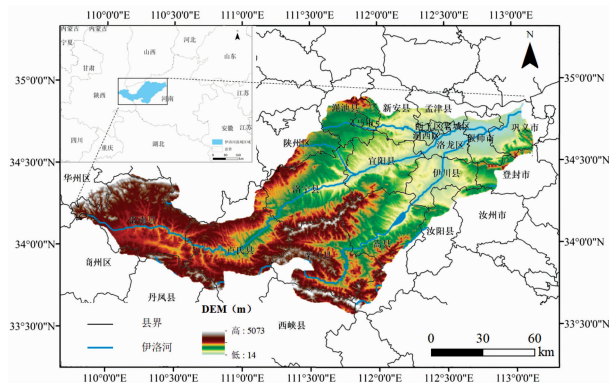


图 1 研究区域示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the study area

1.2 数据来源

研究数据主要包括遥感影像数据、基础地理数据、气象数据和社会经济数据。其中, 遥感影像数据涉及 1990 年—2020 年期间伊洛河流域的 Landsat 系列图像, 数据来源于地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn/>)。基础地理数据包括伊洛河流域边界, 数据来源于中国科学院资源环境数据中心(<https://www.resdc.cn/>)。气象数据、社会经济数据包括人口, GDP, 第一、二、三产业的产值等数据, 主要来源于伊洛河流域县区人民政府官网与历年统计年鉴。

1.3 方法

(1) 土地利用转移矩阵

土地利用转移矩阵来源于系统分析中对系统状态与状态转移的定量描述[16]。通常的土地利用转移矩阵中, 行表示 T_1 时点土地利用类型, 列表示 T_2 时点土地利用类型。 P_{MN} 表示土地利用类型 N 转化为土地利用类型 M 的面积。

$$P = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \cdots & P_{1N} \\ P_{21} & P_{22} & \cdots & P_{2N} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ P_{N1} & P_{N2} & \cdots & P_{NN} \end{bmatrix} \quad (1)$$

(2) 土地利用变化量模型

土地利用/土地覆被数量变化模型参照现有研究成果[17], 选取土地利用/土地覆被净变化量指数、土地利用/土地覆被交换变化量指数、土地利用/土地覆被总变化量指数系统分析研究区土地利用类型在数量上的动态变化。

$$D_j = |P_{+j} - P_{j+}| \quad (2)$$

$$S_j = 2\min(P_{j+} - P_{jj}, P_{+j} - P_{jj}) \quad (3)$$

$$C_j = D_j + S_j \quad (4)$$

式中, D_j 为特定时期内某区域土地利用类型净变化量百分比; P_{+j} 为特定时期内期末第 j 类土地利用类型面积百分比; P_{j+} 为特定时期内期初第 i 类土地利用类型面积百分比; S_j 为特定时期内第 j 类土地利用/土地覆被类型的交换量百分比; P_{jj} 为特定时期内第 i 类土地利用类型未发生变化的面积百分比; C_j 为特定时期内第 j 类土地利用/土地覆被类型的总变化量指数。

(3) 土地利用变化程度

选取土地利用变化面积比重 D 来评估研究区域内土地利用变化的剧烈程度, 土地利用变化面积比重 D 指各土地变化面积之和占区域总面积的比例, 见式(5)[11]

$$D = \frac{A}{S} \times 100\% \quad (5)$$

式(5)中: A 为区域内各土地变化面积之和; S 为研究区面积。

(4) 弦图可视化分析

弦图(Chord diagram)是使用圆形坐标系展现多组数据间相互关系的可视化形式[18]。为呈现研究区域内各种土地利用类型的转变过程, 利用 R 语言中的 Circlize package 将土地利用转移矩阵在弦图中可视化, 构建土地利用类型变化的轨迹模型。

(5) 冗余分析

冗余分析(RDA)是响应变量矩阵与解释变量之间多元多重线性回归的拟合值矩阵的 PCA 分析, 是基于对应分析发展而来的一种排序方法[17]。此分析常用于研究群落与环境因子之间关系, 本工作将不同的土地利用类型视为群落, 采用 Canoco 5 软件对土地利用类型和环境因子进行 RDA 分析, 对 RDA 分析后的数据采用土地利用类型、样本与环境因子变量的三序图呈现。

2 结果与讨论

2.1 伊洛河流域土地利用结构特征

图 2 给出了伊洛河流域 1990 年—2020 年不同土地利用类型的时空分布及各类土地利用类型占比。由图可知, 1990 年—2020 年伊洛河流域的土地利用类型主要为林地、草地、耕地、建设用地、水域和未利用土地。在空间上, 林地和草地主要分布在伊洛河上游地区和洛河中游南岸, 整体分布呈

现聚集状态。耕地主要分布在伊洛河中下游两岸地区。建设用地主要聚集在下游靠近水域的平坦地带,在中上游平坦地带也有少量聚集。水域主要为伊洛河及其支流和水库。未利用土地占比较少,主要分布在建设用地周围。

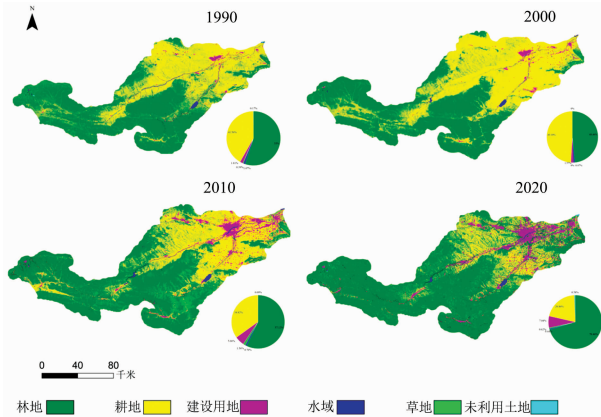


图 2 伊洛河流域 1990 年—2020 年土地利用类型变化图
Fig. 2 Changes in land use types in the Yiluo River Basin from 1990 to 2020

在数量上,林地占主导地位,占比为 48.4%~70.7%,整体呈现先减小后增加的趋势;其次为耕地,占比为 20.8%~49.1%,整体呈现先增加后减小的趋势;而建设用地所占比例较小,为 1.8%~7.0%,整体呈现快速增长的趋势;水域所占比例为 0.4%~1.1%,整体呈现减少趋势;草地和未利用土地所占比例很低,分别为 0.0%~1.6%和 0.0%~0.6%。

2.2 土地利用类型转变特征

2.2.1 土地利用变化量

图 3 给出了伊洛河流域每 10 年间各种土地利用类型的净变化量指数 D_j 、交换变化量指数 S_j 以及总变化量指数 C_j , 3 个指数从变化量的角度表现了各种土地利用类型的变化情况。1990 年—2020 年耕地、林地的总变化量最大,各贡献了该流域土地变化量的 40.45% 和 41.51% 以上,占绝对的主导地位。建设用地次之,其他类型土地变化量较少。1990 年—2020 年各时段林地和耕地总变化量不断增加,林地从 14.52% 上升到 19.72%,耕地从 14.15% 上升到 19.73%;建设用地在 1990 年—2020 年各时段变化量处于 2.03%~4.81%。

2.2.2 土地利用迁移变化

表 1 给出了 1990 年—2020 年的土地转移矩阵。由表可知,各土地利用类型面积的相互转移变化的总体表现为林地的转入转出面积最大,耕地次之,再则是建筑用地,水域、草地和未利用土地转入转出面积最小。林地 1990 年—2020 年间向其他土地利用类型转变量为 876.8 km²,由其他土地利用类型向林地转变量为 4 009.9 km²,整体面积增长较大。减少的林地主要转变为耕地,增加的林地主要来源于耕地,部分来源于草地、建设用地。耕地 1990 年—2020 年向其他土地利用类型转变量为 4 859.1 km²,由其他土地利用类型向耕地转变量为 663.3 km²,整体面积减少较多,减少的耕地主

要转化为林地和水域,还有部分转化成建设用地,耕地面积增加主要由林地、建设用地转化而来。建设用地 1990 年—2020 年向其他土地利用类型转变量为 166.0 km²,由其他土地利用类型向建设用地转变量为 1 226.9 km²,整体面积增长较大,减少的建设用地主要被耕地占用,还有部分转化为林地和水域。建设用地面积的增加来源于林地转化以及部分草地的开垦,还有一部分是来源于耕地。水域、草地和未利用土地面积较小,在此不做讨论。

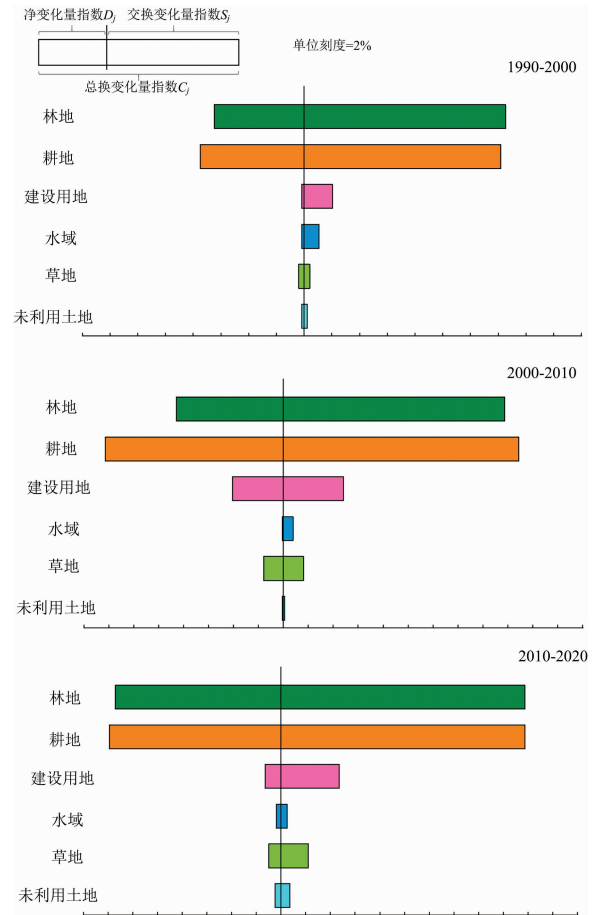


图 3 伊洛河流域每 10 年间各种土地利用类型的变化量指数
Fig. 3 The change index of various land use types in the Yiluo River Basin every 10 years

图 4 给出 1990 年—2020 年每 10 年伊洛河流域土地利用类型数量的变化轨迹。从土地利用类型转变的轨迹来看,1990 年—2000 年间土地利用类型之间的相互转化以林地的流出为主,主要流向为耕地;2000 年—2010 年以耕地的流出为主,主要流向为林地;2010 年—2020 年依然以耕地的流出为主,主要流向为林地。

1990 年—2000 年、2000 年—2010 年、2010 年—2020 年的土地利用变化面积比重分别为 7.11%、22.34% 和 23.61%,土地利用变化总面积分别为 3 467.66、4 528.35 与 4 785.76 km²。3 个 10 年的时间段里,土地利用变化的总面积在不断增加,说明土地利用变化剧烈程度随时间呈上升趋势,在研究时间段内 2010 年—2020 年达到最高。

表 1 1990 年—2020 年土地转移矩阵 (km²)
Table 1 1990—2020 land change index (km²)

| | | 1990 年 | | | | | | 总计 |
|--------|-------|----------|---------|-------|-------|------|-------|----------|
| | | 林地 | 耕地 | 建设用地 | 水域 | 草地 | 未利用土地 | |
| 2020 年 | 林地 | 10 272.6 | 3 755 | 115.7 | 56.3 | 70.2 | 12.8 | 14 282.6 |
| | 耕地 | 581.1 | 3 564.6 | 38.9 | 36.3 | 3 | 4 | 4 227.9 |
| | 建设用地 | 154.9 | 995.8 | 200.1 | 62.4 | 0.6 | 13.3 | 1 427.1 |
| | 水域 | 1.8 | 24.2 | 6.1 | 56.2 | 0 | 1.5 | 89.8 |
| | 草地 | 118.3 | 2.8 | 0 | 0 | 5.6 | 0 | 126.7 |
| | 未利用土地 | 20.7 | 81.4 | 5.4 | 5.6 | 0.2 | 3.4 | 116.7 |
| | 总计 | 1 1149.4 | 8 423.8 | 366.2 | 216.8 | 79.6 | 35 | |

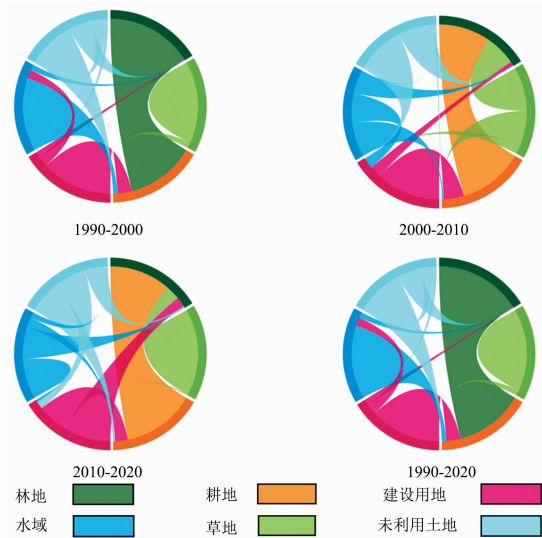


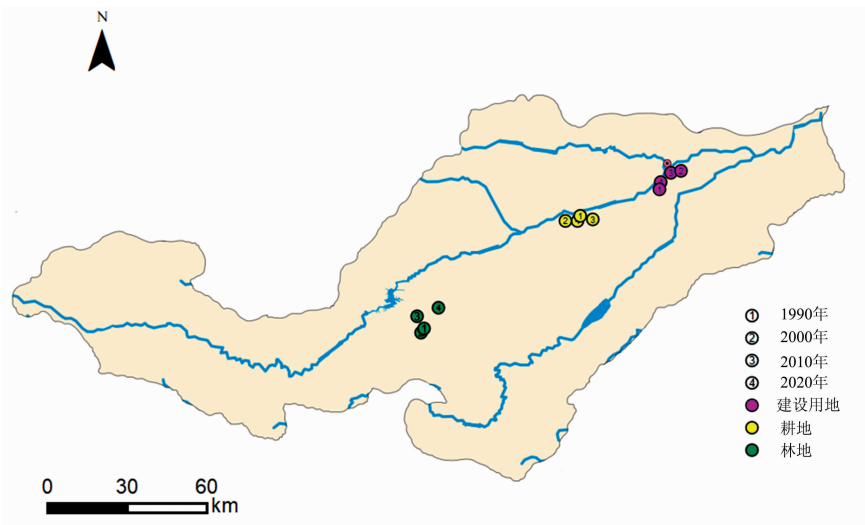
图 4 1990 年—2020 年伊洛河流域土地利用变化轨迹
Fig. 4 Land use change trajectory in Yiluo River Basin from 1990 to 2020

2.3 土地利用类型重心迁移

图 5 给出了伊洛河流域林地、耕地以及建设用地的重心变化，从不同土地利用类型重心在空间上的分布来看，林地重心始终处于伊洛河流域的上游区域，伊洛河上游为丘陵地区，人类活动较少适合树木的生长。耕地始终处于伊洛河流域的中游区域，该区域是冲积平原，海拔和坡度较低，适宜发展耕作，而建设用地的重心则始终围绕洛阳市主城区。1990 年—2020 年间林地重心整体是向东北方向偏移，结合图 2 可以看出由于洛河北岸退耕还林效果显著，林地由山区向平原扩张，并且 2010 年—2020 年间迁移幅度最大；耕地的重心总体向南迁移，由于林地的扩张导致伊洛河流域平原地带西部和东北部耕地减少。耕地重心呈“z”型迁移特征，尤其以 2000 年—2010 年的迁移幅度最大；建设用地的重心在 1990 年—2020 年间先向东北迁移，后向西南迁移，表明洛阳市的城市发展先以洛阳城区发展为主，1990 年—2000 年的迁移幅度最大，在 2000 年后，上游各城镇的社会经济发展逐渐活跃。

2.4 土地利用驱动力分析

表 2 给出伊洛河流域的社会经济和气候数据。由表 2 可知，在社会经济方面，伊洛河流域的人口在 1990 年—2020 年间整体呈增长趋势，近年来趋向稳定。而 GDP 在 30 年间发展迅速，呈现出指数式增长。1990 年—2020 年间整体看第



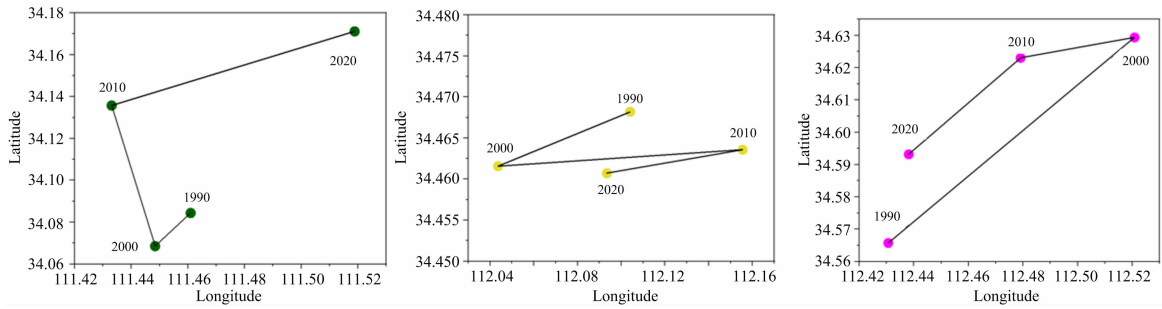


图 5 伊洛河流域土地利用类型变化轨迹图

Fig. 5 Change track map of land use types in the Yiluo River Basin

二产业产值占比最大, 其中第三产业增速最快, 2020 年已经超过第二产业产值, 表明伊洛河流域整体经济由中低收入水平向中上收入水平转化, 反映了工业化和城市化发展的程度

较高。伊洛河流域的气温在过去 30 年间缓慢上升, 由年平均 14.0 °C 上升到 15.4 °C, 年平均降水量变动较大, 但均值处在 500~800 mm 左右, 没有明显的增加或减少趋势。

表 2 伊洛河流域社会经济及气候参数

Table 2 Socio-economic and climatic parameters of the Yiluo River Basin

| 年份 | GDP /亿元 | 人口 /万人 | 第一产业 /亿元 | 第二产业 /亿元 | 第三产业 /亿元 | 降水 /mm | 气温 /°C | 退耕还林政策实施情况 |
|------|---------|--------|----------|----------|----------|--------|--------|------------|
| 1990 | 73.0 | 563.6 | 12.6 | 39.7 | 20.7 | 754.4 | 14.0 | 未实施 |
| 1995 | 245.1 | 596.4 | 22.6 | 143.4 | 79.1 | 609.6 | 14.5 | 未实施 |
| 2000 | 422.8 | 626.0 | 39.3 | 230.8 | 152.6 | 794.0 | 14.0 | 未实施 |
| 2005 | 1 112.4 | 653.4 | 110.5 | 648.4 | 353.5 | 531.7 | 14.2 | 已实施 |
| 2010 | 2 320.3 | 703.5 | 187.7 | 1 396.3 | 736.5 | 527.3 | 14.4 | 已实施 |
| 2015 | 3 508.8 | 728.5 | 236.4 | 1740.7 | 1 531.7 | 652.7 | 14.8 | 已实施 |
| 2020 | 5 128.4 | 720.0 | 254.1 | 2 312.2 | 2 562.1 | 606.9 | 15.4 | 已实施 |

通过 RDA 分析绘制了样方、土地利用类型和环境变量关系的 RDA 三序图, 如图 6 所示。图 6 中轴 1、轴 2 的特征值分别为 0.951 和 0.048。人口、第一、二、三产业生产总值和建设用地呈现显著正相关; 退耕还林政策与林地呈现显著正相关, 与耕地呈现显著负相关, 表明社会经济发展与退耕还林政策实施对土地利用类型的转变有显著影响。

由 RDA 三序图还可看出, 降水与土地利用类型变化相关性很低, 而气温与林地变化则呈正相关。伊洛河流域气温在过去 30 年间呈现缓慢上升的趋势, 有研究^[3, 10]表示气温对植被覆盖有重要影响, 这些影响可能会引起土地利用类型的变化, 主要体现在植被面积的变化。所以, 气温对林地变化起到了一定影响。

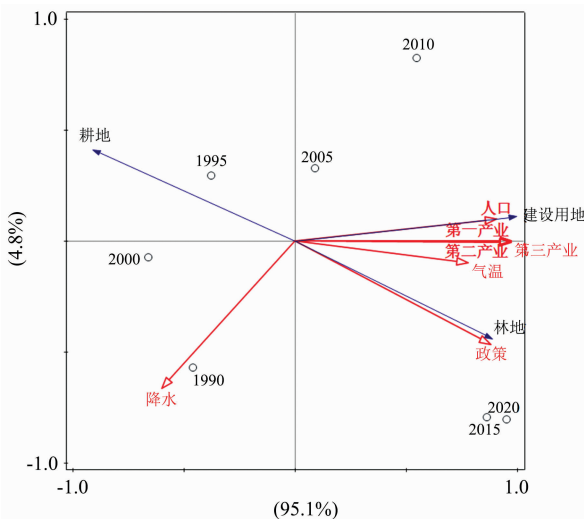


图 6 RDA 三序图

Fig. 6 RDA three sequence diagram

自中国改革开放以来, 人口规模扩张和社会经济发展迅速。几乎所有城市都呈现出极快的扩张趋势, 建设用地面积越来越多^[19]。姜朋辉^[20]等研究表明社会经济因素是导致黑河中游地区土地利用变化的根本原因。麦丽开·艾麦提^[21]等研究表明人口增长是叶尔羌河中下游流域耕地、建设用地面积增加的直接原因。同时, 城市的发展也对生活用水和生产用水产生了更高的需求, 导致水域面积减少^[20]。伊洛河流域人口增长和经济发展直接导致了建设用地需求日益增长, 使得建设用地的面积持续扩大, 并且向上中游平坦区域扩张。

除了社会经济因素外, 政策因素往往在短期内就能引起土地利用格局重大调整^[22-23]。大量研究表明, 农业土地利用政策的实施能够很大程度上影响区域农业生产方式和发展路径, 进而影响土地利用格局的变化^[24]。随着社会生产力的提高, 政府对生态建设更加重视, 2002 年 1 月 10 日, 国务院确定全面启动退耕还林工程。退耕还林政策的实施, 直接导致了林地面积的增长以及耕地面积的减少。政策和经济发展的

综合作用,使得经济效益较差的耕地逐渐转为林地,在伊洛河流域的直接体现是中部的广大耕地转为林地。

黄河流域发展要求统筹推进山水林田湖草沙综合治理、系统治理、源头治理,着力保障黄河长治久安,着力改善黄河流域生态环境,着力优化水资源配置,着力促进全流域高质量发展。伊洛河流域 30 年来生态向好,林地增加是生态环境改善的重要指标,但是由于生活需水和生产需水增加,伊洛河流域水域面积在减少,未来要研究城镇化/经济发展对水资源的影响,未来土地利用规划要充分考虑到水资源保护和调配。

3 结 论

(1)1990 年—2020 年间,伊洛河流域的土地利用类型变化呈现林地先减小后增加、耕地先增加后减小、建设用地整体增加、水域整体减小的变化趋势。

(2)在数量上,1990 年—2020 年年间,耕地和林地的总变化量最大,建设用地次之,水域、草地和未利用土地的变化量很小。

(3)1990 年—2000 年、2000 年—2010 年、2010 年—2020 年的土地利用类型相互转换主要以耕地和林地的相互转化为主,土地利用变化程度呈上升趋势,在 2010 年—2020 年达到最高。

(4)1990 年—2020 年间,林地重心整体向东北方向偏移,耕地的重心整体向南迁移,林地和耕地重心的变化与退耕还林政策有关,建设用地总体围绕洛阳市主城区,这与社会经济发展和城镇发展方向有关。

(5)在驱动力方面,经济高速发展和退耕还林政策的实施与伊洛河流域土地利用面积变化显著相关,其中,经济高速发展是建设用地面积变化的主要原因。退耕还林政策的实施是林地和耕地面积变化的主要原因。

References

- [1] ZHANG Biao, LIU Wan-bo, ZHANG Jun-hua(张 彪, 刘万波, 张俊华). *Territory & Natural Resources Study(国土与自然资源研究)*, 2021, (2): 53.
- [2] FAN Ju-liu, WU Yan, JIAO Li(范聚柳, 吴 焱, 焦 黎). *Transactions of Oceanology and Limnology(海洋湖沼通报)*, 2021, (1): 48.
- [3] Matias B, Bazán R, Germán A, et al. *Journal of South American Earth Sciences*, 2021, 108(3): 103243.
- [4] Yonaba R, Biaou A C, Koita M, et al. *Science of the Total Environment*, 2021, 757: 143792.
- [5] Hashim A M, Elkesh A, Alhathloul H A, et al. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.*, 2020, 27(34): 42881.
- [6] DENG Xin-cui, CHEN Yang-bo(邓信翠, 陈洋波). *Bulletin of Soil and Water Conservation(水土保持通报)*, 2020, 40(6): 236.
- [7] WU Li, HOU Xi-yong, XU Xin-liang, et al(吴 莉, 侯西勇, 徐新良, 等). *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering(农业工程学报)*, 2013, 29(5): 11.
- [8] JIAO Chun-meng, XIE Ming-yang, JIAO Feng, et al(焦春萌, 谢明阳, 焦 峰, 等). *Bulletin of Soil and Water Conservation(水土保持通报)*, 2021, 41(6): 274.
- [9] LIANG Ming, NIE Pin, LU Yin-hao, et al(梁 明, 聂 拼, 陆胤昊, 等). *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering(农业工程学报)*, 2019, 35(22): 99.
- [10] Mendoza-Ponce A, Corona-Núñez R O, Galicia L, et al. *Ambio*, 2019, 48(4): 336.
- [11] PI Hong-yi, ZHANG Meng-xue, XIA Jian-xin(皮泓漪, 张萌雪, 夏建新). *Journal of Basic Science and Engineering(应用基础与工程科学学报)*, 2020, 28(3): 522.
- [12] XIAO Dong-yang, NIU Hai-peng, YAN Hong-xuan, et al(肖东洋, 牛海鹏, 闫弘轩, 等). *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering(农业工程学报)*, 2020, 36(15): 271.
- [13] LI Shuai, GU Yan-wen, CHEN Jin-ping, et al(李 帅, 顾艳文, 陈锦平, 等). *Journal of Southwest University · Natural Science Edition(西南大学学报·自然科学版)*, 2016, 38(4): 42.
- [14] Li X C, Gong P, Liang L, et al. *Remote Sensing of Environment*, 2015, 166(9): 78.
- [15] HE Ming-yue, MA Song-zeng(何明月, 马松增). *Henan Water Resources & South-to-North Water Diversion(河南水利与南水北调)*, 2016, (9): 8.
- [16] ZHU Hui-yi, LI Xiu-bin(朱会义, 李秀彬). *Acta Geographica Sinica(地理学报)*, 2003, (5): 643.
- [17] XUE Yuan-yuan, LUAN Zhao-qing, SHI Dan, et al(薛媛媛, 栾兆擎, 史 丹, 等). *Journal of Nanjing Forestry University · Natural Sciences Edition(南京林业大学学报·自然科学版)*, 2020, 44(6): 39.
- [18] FAN Zi-wei, JIANG Ri-jin, LI Zhe, et al(樊紫薇, 蒋日进, 李 哲, 等). *Acta Ecologica Sinica(生态学报)*, 2020, 40(13): 12.
- [19] LANG Wen-jing, LI Xiao-shun, BIAN Zheng-fu, et al(郎文婧, 李效顺, 卞正富, 等). *Journal of Ecology and Rural Environment(生态与农村环境学报)*, 2017, 33(7): 592.
- [20] YAN Deng-ming, WENG Bai-sha, YU Zhi-lei, et al(严登明, 翁白莎, 于志磊, 等). *China Rural Water and Hydropower(中国农村水利水电)*, 2016, (11): 52.
- [21] JIANG Peng-hui, ZHAO Rui-feng, ZHAO Hai-li, et al(姜朋辉, 赵锐锋, 赵海莉, 等). *Journal of Ecology and Rural Environment(生态与农村环境学报)*, 2012, 28(5): 473.

- [22] Ma L, Feng S, Reidsma P, et al. *Land Use Policy*, 2014, 37: 52.
- [23] Van Ittersum M K, Ewert F, Heckelei T, et al. *Agricultural Systems*, 2008, 96(1): 150.
- [24] Uthes S, Fricke K, Koenig H, et al. *Ecological Modelling*, 2010, 221(18): 2136.

Analysis on Characteristics of Temporal and Spatial Changes of Land Use in the Yiluo River Basin

HUANG Yu, LI Xin-ping, ZHAO Na*, NIU Xiao-li, YIN Dong-xue, QIN Long

College of Agricultural Equipment Engineering, Henan University of Science and Technology, Luoyang 471003, China

Abstract Land use/cover change (LUCC) is one of global environmental change hot issues. The study of land-use changes in the Yiluo River Basin is significant to ecological protection and high-quality development of the Yellow River Basin. Based on long-term Landsat TM satellite remote sensing images, R language string diagram visualization model and linear model redundancy analysis (RDA analysis), this paper analyzed the temporal and spatial change characteristics of land use, land cover flow rate, direction and internal driving factors in the Yiluo River Basin from 1990 to 2020. The results showed: (1) From 1990 to 2020, the land change in the Yiluo River Basin showed a trend of change in forest land firstly decreasing and then increasing, arable land first increasing and then decreasing, construction land increasing as a whole, and water area decreasing as a whole. (2) In terms of quantity Every 10 years from 1990 to 2020, the total amount of change in cultivated land and forest land is the largest, followed by construction land, and the amount of change in water, grassland and unused land are very small. (3) 1990—2000, 2000—2010, 2010—2020 The mutual conversion activity of land use types and the degree of land-use change showed an upward trend, reaching the highest in 2010—2020. (4) From 1990 to 2020, the center of gravity of forest land shifts to the northeast as a whole, and the center of gravity of cultivated land migrates to the south. The change in the center of gravity of forest land and cultivated land is related to the policy of returning farmland to the forest. The construction land is generally centered around the main urban area of Luoyang City, which is related to the direction of social and economic development and urban development; (5) In terms of the driving force, rapid economic development is the main driving force for the change of land use area in the Yiluo River Basin. The promulgation and implementation of the policy of returning farmland to forest is the main reason for the change of forest land and cultivated land area. The results of this study can provide a scientific basis for the ecological protection and sustainable development of the Yellow River Basin.

Keywords Yiluo River Basin; Land-use; Transfer matrix; Driving force; Redundancy analysis

(Received Aug. 7, 2021; accepted Nov. 26, 2021)

* Corresponding author