



李贤,王浩阳,牛文浩,韩笑,邢培学,柴朝卿,张蚌蚌,靳亚亚. 黄河流域耕地利用转型时空演变及其对粮食生产的影响[J]. 中国农业大学学报,2024,29(10): 85-96.

LI Xian, WANG Haoyang, NIU Wenhao, HAN Xiao, XING Peixue, CHAI Chaoqing, ZHANG Bangbang, JIN Yaya. Spatial-temporal evolution of cultivated land use transition and its impact on grain production in the Yellow River Basin[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2024, 29(10): 85-96.

DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2024.10.07

黄河流域耕地利用转型时空演变及其对粮食生产的影响

李 贤¹ 王浩阳¹ 牛文浩² 韩 笑¹ 邢培学³ 柴朝卿¹ 张蚌蚌^{1*} 靳亚亚¹

(1. 西北农林科技大学 经济管理学院, 陕西 杨凌 712100;

2. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100;

3. 上海交通大学 环境科学与工程学院, 上海 200240)

摘 要 为探明耕地利用转型趋势及其对粮食生产的影响,采用熵权法、全局空间自相关、空间滞后模型等方法,以黄河流域9省区115个地级市为基本研究单元,构建耕地利用转型指标体系,计算耕地利用转型指数分析2000—2018年耕地利用转型时空格局演变情况,并测度耕地利用转型对粮食生产的影响。结果表明:1)黄河流域耕地利用显性转型指数的空间分布呈现平原高山区低的格局,隐性转型指数的空间分布则更多与当地经济状况相关,显性转型、隐性转型和综合转型指数均呈现先上升后下降的趋势。2)2000—2018年黄河流域3种转型指数均表现出明显的空间聚集,且空间聚集性逐渐减弱。3)耕地利用显性转型在一定程度上抑制了粮食产量,隐性转型和综合转型能够显著促进粮食产量的提高,基础设施的建设与改善、机械化水平的提高是主要原因。本研究从市域尺度出发研究了黄河流域9省区耕地利用转型过程及其对粮食生产的影响,研究结果可为区域耕地利用转型研究及保障粮食生产方面提供理论支撑和决策参考。

关键词 黄河流域; 耕地利用转型; 粮食生产; 影响分析; 空间滞后模型

中图分类号 F301.21

文章编号 1007-4333(2024)10-0085-12

文献标志码 A

Spatial-temporal evolution of cultivated land use transition and its impact on grain production in the Yellow River Basin

LI Xian¹, WANG Haoyang¹, NIU Wenhao², HAN Xiao¹, XING Peixue³,
CHAI Chaoqing¹, ZHANG Bangbang^{1*}, JIN Yaya¹

(1. College of Economics and Management, Northwest A & F University, Yangling 712100, China;

2. College of Natural Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling 712100, China;

3. College of Environmental Science and Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

Abstract In order to explore the trend of cultivated land use transition and its impact on grain production, based on 115 prefecture-level cities in 9 provinces and autonomous regions of the Yellow River Basin, the entropy weight method, global spatial autocorrelation and spatial lag model were used to construct an index system of cultivated land use transition. The spatiotemporal pattern evolution of cultivated land use transition from 2000 to 2018 was analyzed by calculating the cultivated land use transition index, and the impact of cultivated land use transition on grain production was measured. The results showed that: 1) The spatial

收稿日期: 2023-11-10

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(42171267);国家自然科学基金委员会与美国国家科学基金会合作研究项目(41961124006);教育部人文社会科学研究青年基金项目(22YJC630049)

第一作者: 李贤(ORCID:0009-0003-9781-5379),硕士研究生,E-mail:18055611527@163.com

通讯作者: 张蚌蚌(ORCID:0000-0002-5117-8824),副教授,博士生导师,主要从事耕地质量与土地评价研究,E-mail:bangbang.zhang@nwfau.edu.cn

distribution of the explicit transition index of cultivated land use in the Yellow River Basin displayed low in plain areas and high in mountainous areas pattern. The spatial distribution of the implicit transition index is more related to local economic conditions. The explicit transition index, the implicit transition index and the integrated transition index all show a trend of first increasing and then decreasing. 2) From 2000 to 2018, three types of transformation indices in the Yellow River Basin showed obvious spatial agglomeration, and the spatial agglomeration was gradually weakened. 3) The explicit transition of cultivated land use inhibited grain production to a certain extent, and the implicit transition and comprehensive transition significantly promoted the increase of grain yield. The construction and improvement of infrastructure and mechanization level were the main reasons. In conclusion, this study can provide theoretical support and decision-making reference for the study of regional cultivated land use transition and ensuring grain production in the nine provinces and regions of the Yellow River Basin from the municipal scale.

Keywords Yellow River Basin; cultivated land use transition; grain production; impact analysis; spatial lag model

耕地是粮食生产的根基,在保障国家粮食安全、生态安全以及支撑社会经济发展方面发挥着重要作用^[1]。然而,在我国快速城镇化进程中,耕地利用过程面临着生态问题频发、耕地质量退化、经济效益边际化等问题^[2-3],2023年中央一号文件提出要继续重点补上土壤改良、农田灌排设施等短板,加强农用地土壤镉等重金属污染源头防治,强化受污染耕地安全利用和风险管控^[4]。黄河流域作为我国重要的生态屏障和农产品主产区,在生态安全和社会经济发展中具有不可替代的地位^[5],但目前黄河流域整体上仍然处于工业化与城镇化的中期阶段^[6],人地矛盾、耕地非农化等问题日益凸显,耕地对黄河流域高质量发展与保障粮食安全具有重要作用。因此,在粮食安全压力背景下,深入研究黄河流域耕地利用转型过程,厘清耕地利用转型过程与粮食生产之间内在逻辑关系势在必行。

21世纪初,龙花楼等^[7]在英国地理学家Grainger^[8]研究基础上将土地利用转型理论引入我国,将其作为研究土地利用覆被变化的新途径。在此之后,已有研究将该领域拓展到耕地利用转型,从耕地面积变化^[9]、耕地边际化^[10]、耕地功能和价值^[11-13]以及耕地转型的驱动机制^[14-15]等方面开展了大量研究,这些研究可以总结为耕地显性形态转型和隐性形态转型2个方面^[16-17]。显性形态指一个区域在特定时期内由主要土地利用类型构成的结构(具有数量和空间结构双重属性),隐性形态指依附于显性形态且需分析、化验、检测和调查才能获得的土地利用形态(具有质量、产权、经营方式、投入、产出和功能等多重属性)^[18-19]。目前,耕地利用转型的基本理论体系日趋完善,区域耕地利用转型等相关研究体系也已建立,为本研究提供了诸多研究基

础。然而从研究视角上看,对耕地利用显性形态^[9, 15, 20-22]或隐性形态^[23-26]等单一视角的研究较多,较少同时从显性转型、隐性转型及综合转型出发综合分析耕地利用转型过程。随着国家粮食安全向数量与质量并重、产量与产能并重、生产与生态并重的更高层次要求跃升^[27],粮食安全和生态文明建设背景下的耕地利用转型研究受到学术界的广泛关注。现有研究主要集中在耕地利用动态变化对粮食生产的影响^[28]、耕地利用转型与粮食产量的耦合关系^[29],以及耕地利用绿色转型的测度、驱动因素及其对粮食安全的影响^[27, 30-31]等方面,这些研究中耕地利用显性形态方面的较多,隐性形态方面的较少,或是主要关注耕地利用绿色转型的单一维度,鲜有从显性转型、隐性转型及综合转型出发系统分析对粮食生产的影响。此外,以特定农区或单一省份为研究区域居多^[32-33],难以把握宏观视角下长时间尺度耕地利用转型时空格局演变规律。

本研究拟以黄河流域9省区为研究区域,从市级尺度出发,构建指标体系对耕地利用显性转型、隐性转型及综合转型进行测度并分析其时空格局演变,运用空间滞后模型分别研究显性转型、隐性转型及综合转型对粮食总产、粮食单产、复种指数的影响,以期为新时期黄河流域生态保护和高质量发展背景下调整耕地利用政策保障粮食安全提供参考。

1 理论机制

人地系统科学理论是由吴传钧^[34]于1991年首次提出,该理论的主要目标是研究人类社会和地理环境系统内各要素之间的相互作用以及整个系统的整体行为,并从空间结构、时间过程、整体效应和协同互补等方面探索人地系统的调控机理^[35]。耕

地作为粮食生产的空间载体,也是人类社会系统和地理环境系统交互作用的集中体现^[36],在人地关系系统中的变量通常是非线性、不稳定或者说是处于一种远离平衡状态的耗散结构。因此,从时间和空间的视角探究耕地利用转型的过程和效应成为人地系统研究的核心内容之一。

随着社会经济的发展,耕地利用形态格局出现了由结构矛盾引起的空间显性形态冲突和由功效不匹配产生的内部隐性形态冲突,导致人地关系的“失衡”,进而推动政策措施的实施和工程技术的发展,从而使得耕地利用形态格局得以协调^[37-38],进而促进地理环境的变化与人类社会能力相适应。

基于人地系统科学理论,耕地利用转型研究的核心在于对耕地利用显性形态、隐性形态和综合形

态在时间和空间格局上的变化进行探究。显性转型是指“地”在空间上的变化,隐性转型则是表征“人”的影响,耕地利用显性转型与隐性转型并非完全独立的个体,而是存在一定的相互影响,一方面,显性转型中“地”的特征为隐性转型中“人”的行为提供活动场域;另一方面,隐性转型中“人”的行为在某种程度上也会影响显性转型中“地”的特性。因此,显性转型与隐性转型对粮食产量除了单独影响之外,还存在复杂的调节、中介等交互影响,两者共同交互耦合形成综合转型共同影响粮食生产。在耕地利用综合转型过程中,显性转型中“地”的特征与隐性转型中“人”的行为共同改善提升,使区域“人地”关系更加协调,耕地利用综合转型不断增强,进而对粮食生产产生正向影响^[20, 31, 39]。

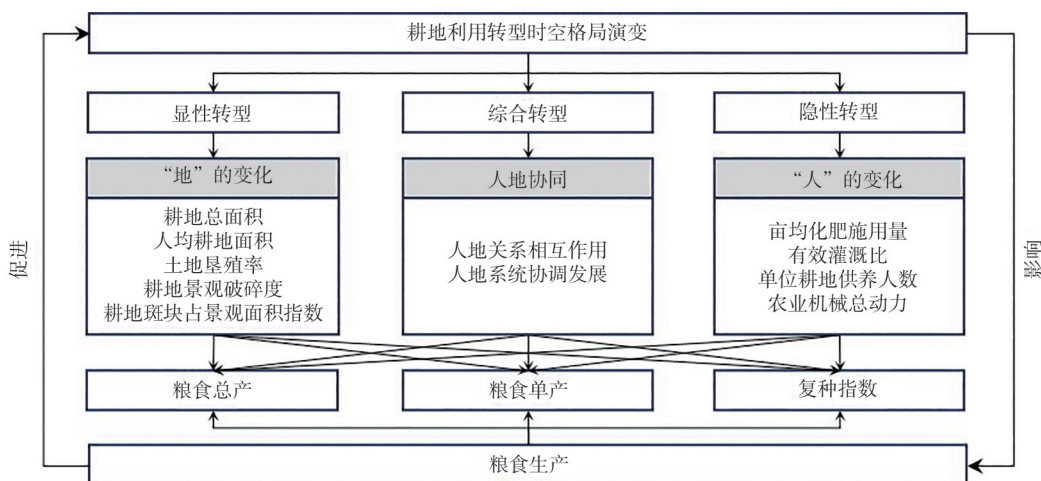


图1 基于人地系统科学理论的耕地利用转型对粮食生产的影响机制

Fig. 1 The mechanism of the impact of cultivated land use transition on grain production based on the theory of man-land system science

2 研究区概况与数据来源

2.1 研究区概况

黄河流域流经青海省、四川省、甘肃省、宁夏回族自治区、内蒙古自治区、陕西省、山西省、河南省、山东省9个省份。黄河流域的农业发展正处于从高速增长向高质量发展过渡的关键阶段。但流域内农业产业结构不合理,耕地撂荒、“非农化”、“非粮化”现象严峻,粮食生产面临严重威胁。

2.2 数据来源

本研究使用的土地利用数据来源于中国科学院资源环境数据云平台(<http://www.resdc.cn>),选

择2000、2005、2010、2015、2018年5期1 000 m栅格分辨率的黄河流域9省(自治区)遥感影像数据,从中提取出耕地利用数据。本研究使用的市域统计数据来源于黄河流域9省(自治区)统计年鉴和各地(市)统计年鉴。

2.3 研究方法

2.3.1 指标体系构建

1) 指标选取。

基于耕地利用转型内涵,参考已有研究^[14, 40],并考虑区域、数据可得性等因素,构建涵盖显性转型和隐性转型的黄河流域耕地利用转型评价指标体系(表1)。耕地利用显性转型主要反映耕地在数量和空间结构上的

变化,选取耕地景观破碎度、耕地总面积、人均耕地面积、土地垦殖率、耕地斑块占景观面积指数及耕地斑块聚集度指数6个指标进行测度。耕地利用隐性转型主要反映耕地在质量、投入、产出和功能等多重属性方面的变化,选取单位面积化肥使用量、有效灌溉比、单位耕地供养人数及农业机械总动力4个指标进行测度。

表1 耕地利用形态指标体系
Table 1 Index system of cultivated land use form

决策层 Dcision layer	目标层 Goal layer	指标层 Indicator layer	性质 Property	指标计算 Index calculation	指标释义 Index interpretation	指标权重 Index weight
耕地利用转型 Cultivated land use transition	显性转型 Explicit transition	耕地景观破碎度	—	耕地斑块数/耕地总面积	耕地空间结构	0.012 9
		耕地总面积	+		耕地数量	0.128 4
		人均耕地面积	+	耕地面积/总人口	耕地数量水平	0.175 8
		土地垦殖率	+	耕地面积/土地总面积	耕地面积变化	0.067 0
		耕地斑块占景观面积指数	—	Fragststs 计算	耕地空间结构	0.114 4
		耕地斑块聚集度指数	+	Fragststs 计算	耕地集聚程度	0.027 8
	隐性转型 Implicit transition	单位面积化肥使用量	—	农业化肥使用量/耕地总面积	耕地投入强度	0.005 4
		有效灌溉比	+	有效灌溉面积/耕地面积	耕地抗旱能力	0.089 3
		单位耕地供养人数	+	农业人口/耕地面积	耕地供养功能	0.155 5
		农业机械总动力	+		农业机械化水平	0.223 5

2)指标权重确定。
指标标准化。由于评价指标具有正向和负向2类指标,需要利用极差法将正、负向指标数据标准化,将标准化数据作为量纲1数据。正、负向指标计算式分别如下:

$$X_{i,j}=(x_{i,j}-x_{j\min})/(x_{j\max}-x_{j\min})$$
$$X_{i,j}=(x_{j\max}-x_{i,j})/(x_{j\max}-x_{j\min})$$

式中: $X_{i,j}$ 为标准化后的标准值; i 代表市名, j 代表各指标; $x_{i,j}$ 为原始数据; $x_{j\max}$ 为原始数据最大值; $x_{j\min}$ 为原始数据最小值。

权重确定方法。采用信息熵法确定指标权重,可以有效减少权重确定过程中的主观干扰。根据各项指标的熵值大小计算变异程度,确定权重,主要步骤如下。

第*i*个市(州)第*j*个指标值的比重 $K_{i,j}$:

$$K_{i,j}=\frac{x_{i,j}}{\sum_{i=1}^m x_{i,j}}$$

指标信息熵 e_j :

$$e_j=\frac{1}{\ln m \sum_{i=1}^m (K_{i,j} \times \ln K_{i,j})}, 0 \leq e_j \leq 1$$

信息冗余度 d_j :

$$d_j=1-e_j$$

指标权重 w_j :

$$w_j=\frac{d_j}{\sum_{i=1}^m d_j}$$

式中, m 为区域个数。

2.3.2 耕地利用转型指数计算

本研究中耕地利用形态目标层与指标层权重均采用熵值法确定(表1)。耕地利用综合转型指数由所有显性和隐性转型指标加权求和计算得到。耕地利用转型指数计算公式如下:

$$DFV_i=\sum_{j=1}^n x_{ij}w_j$$

$$RFV_i=\sum_{j=1}^n y_{ij}w_j$$

$$CLUF_i=\sum_{j=1}^n (x_{ij}+y_{ij})w_j$$

式中: DFV_i 为由指标测算求得的*i*地区特定时期显性转型指数; RFV_i 为*i*地区特定时期隐性转型指数;

$x_{i,j}$ 与 $y_{i,j}$ 分别为 i 地区显性形态与隐性形态指标层第 j 项指标值; w_j 为熵值法求得的第 j 项指标权重值; $CLUF_i$ 为 i 地区特定时期耕地利用综合转型指数。

2.3.3 全局空间自相关

全局空间自相关可有效地分析不同空间单元与邻近区域空间差异程度及其显著水平,通常采用莫兰指数进行分析,计算公式为:

$$I = \frac{Z_p - \bar{Z}}{\sigma^2} \sum_{p=1, p \neq q}^n W_{p,q} (Z_p - \bar{Z})$$

式中: I 为莫兰指数; n 为市域数量; $\bar{Z}$ 为样本平均值; Z_p 为区域 p 的属性值; Z_q 为区域 $q(p \neq q)$ 的属性值; σ^2 为样本方差; $W_{p,q}$ 为二进制的邻近空间权重矩阵第 (p, q) 个元素。

2.3.4 空间滞后模型

本研究将采用空间滞后模型测算耕地利用转型对粮食生产的直接效应和溢出效应,模型设定如下:

$$\ln F_{u,t} = \rho \sum_{v=1}^n W_{u,v} \times \ln F_{u,t} + \beta \times Y_{u,t} + \mu_u$$

式中: $\ln F_{u,t}$ 为 u 地区 t 时期粮食生产指标中粮食总

产量、粮食单产及复种指数的对数; $Y_{u,t}$ 为自变量, $Y_{u,t} = [DFV_{u,t}, RFV_{u,t}, CLUF_{u,t}, C_{u,t}]$,其中 DFV 为耕地利用显性转型指数, RFV 为耕地利用隐性转型指数, $CLUF$ 为耕地利用综合转型指数; $C_{u,t}$ 为控制变量; $W_{u,v}$ 为空间权重矩阵,本研究采用二进制邻接矩阵表达各市域单元间的邻近关系; β 为自变量回归系数向量; ρ 为自变量空间回归系数, μ_u 为地区固定效应。

3 结果与分析

3.1 耕地利用转型时空格局演变分析

3.1.1 耕地利用转型时间演变分析

黄河流域耕地利用转型指数计算结果见图2。显性转型指数在2000—2018年呈现缓慢增长趋势,隐性转型指数和综合转型指数在2000—2015年不断增加,且增加幅度大于显性形态转型,2015—2018年缓慢降低。说明黄河流域耕地利用显性形态在2000—2018年不断优化,隐性形态和综合转型也在2000—2015年不断改善,2015年后有所下降。

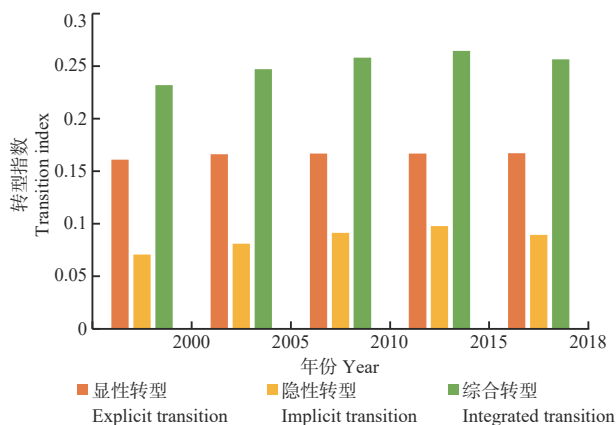


图2 2000—2018年黄河流域耕地利用转型指数变化

Fig.2 Changes in cultivated land use transition index in the Yellow River Basin from 2000 to 2018

3.1.2 耕地利用转型空间演变分析

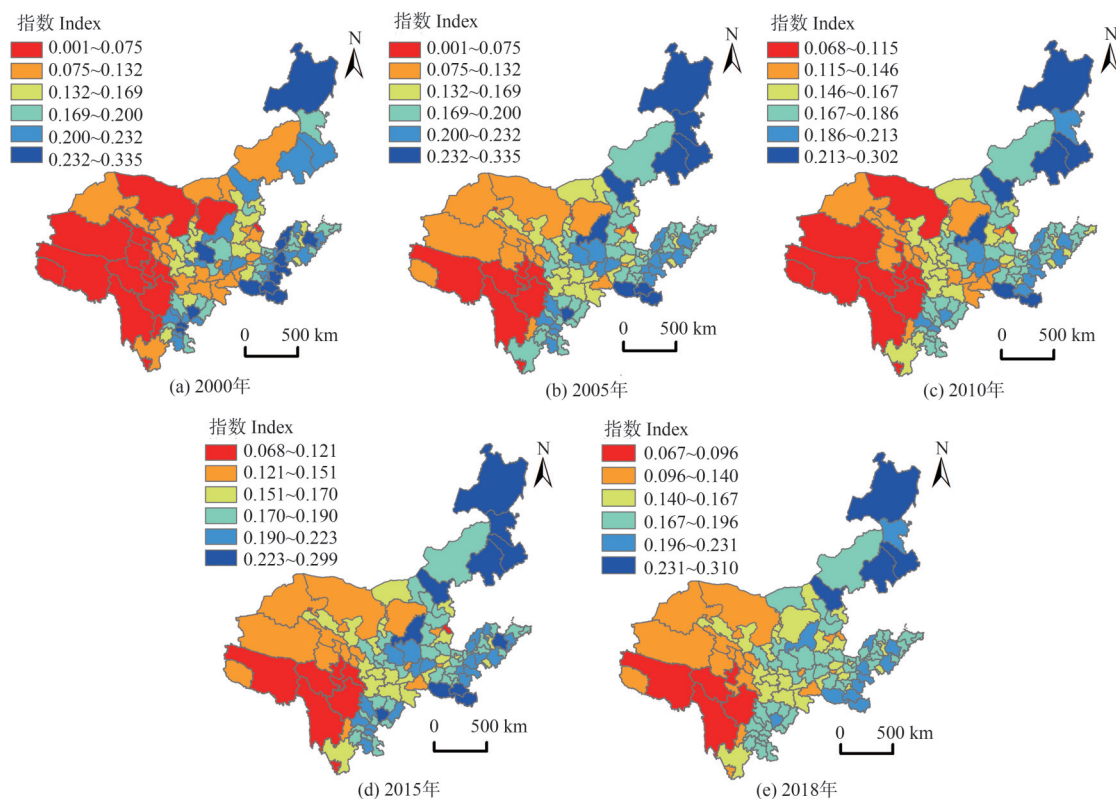
利用自然断点法将2000—2018年耕地利用显性转型、隐性转型和综合转型指数划分6个等级,黄河流域115个地级市耕地利用指数空间差异明显。

1)显性转型方面(图3)。2000年,显性转型指数高值区主要集中在河南省东南部信阳市、驻马店市及山东省北部济南市、滨州市等地区,

这些地区地势相对平坦,资源禀赋较好;低值区主要集中分布在青海省和内蒙古自治区西北部,由于大部分地区为草原牧场,可利用的耕地面积有限,加之人口稀少、农业资源禀赋差等因素造成显性转型指数较低。2005—2018年,显性指数高值区向西部地区转移,主要分布在四川省、青海省东南部和内蒙古自治区河套平原地区,分析原因可能是由于农业基础设施条件

的改善以及部分土地被开垦为耕地,耕地的规模经营得以实现;低值区则集中在陕西省安康市、河南省洛阳市、郑州市、周口市和山东省青岛市、烟台市等东部地区,这些地区由于工业化

和城镇化进程的加快,经济利润的驱使使得这些地区耕地被大量侵占为建设用地,农村适婚人口的增加使得农村建设用地需求扩张进而导致耕地被占用。



基于国家测绘地理信息局标准地图服务网站(<https://service.tianditu.gov.cn>),审图号为GS(2020)4630,图4和图5同。

Based on the standard map service website (<https://service.tianditu.gov.cn>) of the National Administration of Surveying, Mapping and Geoinformation, the plan review number is GS(2020)4630. Fig. 4 and Fig. 5 are the same.

图3 黄河流域耕地利用显性转型指数分布

Fig. 3 Distribution of cultivated land use explicit transition index in the Yellow River basin

2) 隐性转型方面(图4)。2000年,隐性转型指数低值区主要分布在甘肃省定西市、天水市和陇南市,这些地区经济欠发达,农业机械化程度不高,农业生产效率较低;而高值区主要分布在河南省和山东省,这些地区经济较为发达,地势平坦,耕地自然禀赋优越,为农业机械化的普及创造了良好条件。2005—2018年,隐性转型指数高值区开始向西部转移,甘肃省张掖市、金昌市和四川省广元市随着经济水平的发展以及国家对农业补贴政策力度的加大,农业机械化水平逐渐提高,人口的增加以及耕地数量的相对稳定在一定程度上提高了耕地供养功能;低值区则分布在陕西省大部、河南省南部以及山东省东部地

区,这些地区由于工业化和城镇化的进程加快,农村人口开始大量向城市流动导致耕地供养功能有所下降,同时为了追求经济效益大量使用化肥造成的面源污染也是原因所在。

3) 综合转型方面(图5)。2000年,综合转型指数分布呈现出东部高、西部低的特点。2005—2018年,其空间分布呈现出西部高、东部低的趋势。高低值分布区域与隐性转型指数分布区相似,这表明在耕地利用转型过程中,显性转型和隐性转型的综合作用下,隐性转型具有更大的影响程度。对于耕地的绿色高效利用,需要综合考虑显性和隐性转型因素,并针对性实施相应政策。

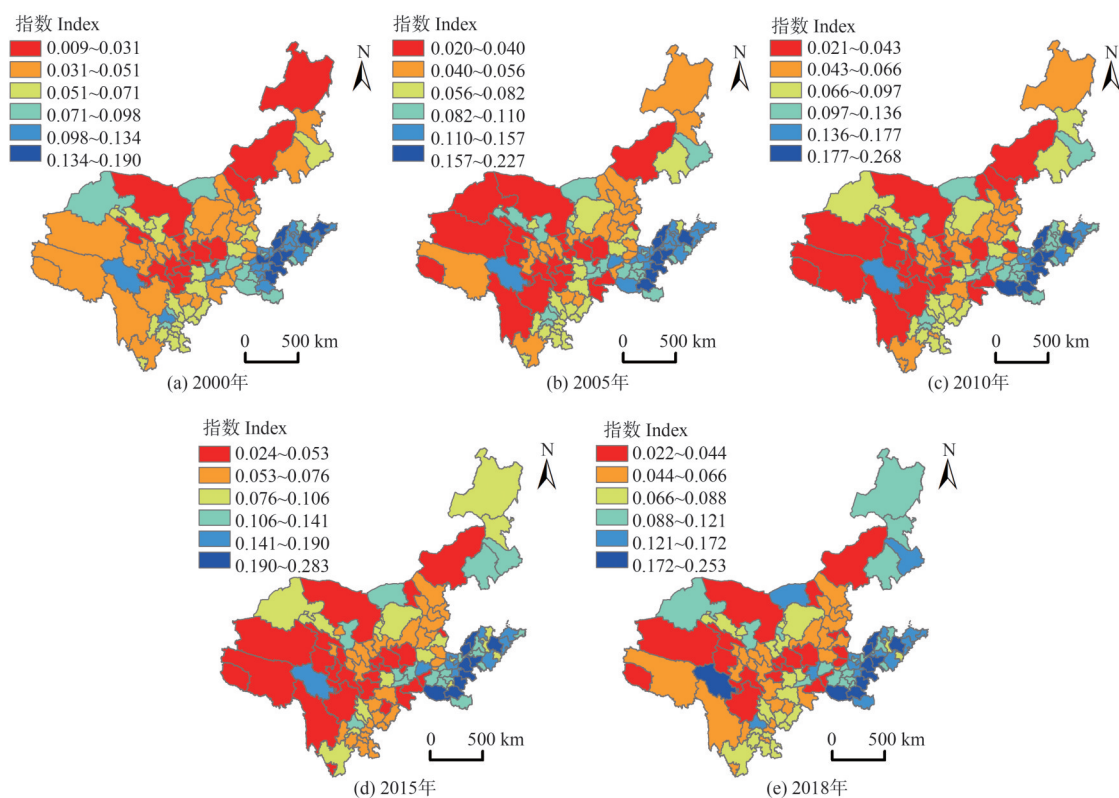


图 4 黄河流域耕地利用隐性转型指数分布

Fig. 4 Distribution of cultivated land use implicit transition index in the Yellow River basin

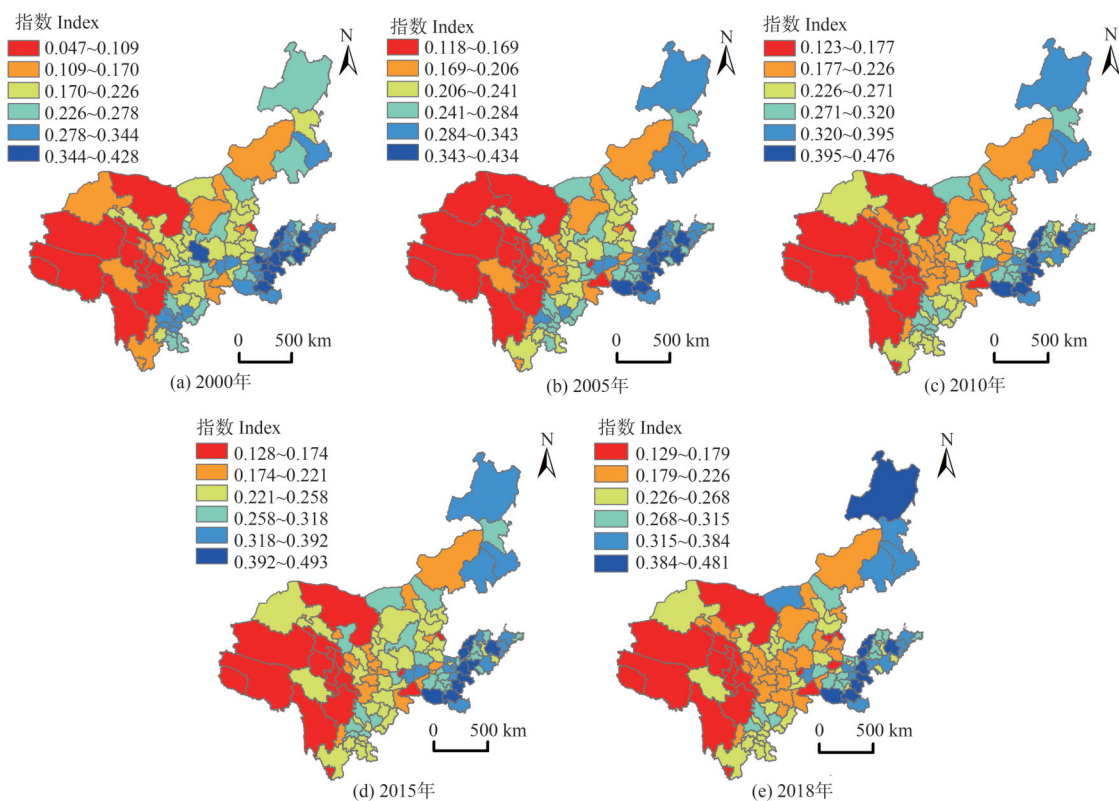


图 5 黄河流域耕地利用综合转型指数分布

Fig. 5 Distribution of cultivated land use integrated transition index in the Yellow River basin

3.2 耕地利用转型空间相关性分析

利用 ArcGIS 对显性转型指数、隐性转型指数和综合转型指数进行全局空间自相关分析,2000—2018 年 3 种转型指数均存在显著的正空间自相关性(表 2)。显性转型在 2000 年空间聚集程度最高,2005—2015 年空间聚集程度不断增加,2018 年逐渐减少。隐性转型和综合转型的空间聚集程度不断减弱。分析原因

可能是因为由于 2004 年中央一号文件要求“不断提高耕地质量”和“各级政府要切实落实最严格的耕地保护制度”^[41],2005 年黄河流域整体强化耕地整治和耕地保护,缩小了各地区耕地利用转型的差距。2005—2015 年由于各地区经济发展速度不同使得显性转型差距拉大,2015 年后由于耕地保护和粮食安全上升到国家战略,使得显性转型差距再次缩小。

表 2 耕地利用转型全局空间自相关计算结果

Table 2 Calculation results of global spatial autocorrelation of cultivated land use transition					
类型 Type	2000 年	2005 年	2010 年	2015 年	2018 年
显性转型	0.333***	0.177***	0.178***	0.187***	0.171***
Explicit transition	(10.498)	(5.757)	(5.779)	(6.043)	(5.557)
隐性转型	0.665***	0.603***	0.545***	0.527***	0.480***
Implicit transition	(20.747)	(18.919)	(18.176)	(16.611)	(15.188)
综合转型	0.525***	0.474***	0.437***	0.428***	0.378***
Integrated transition	(16.406)	(14.876)	(13.766)	(13.471)	(11.926)

注: *、**和***分别表示在 10%、5%、1% 的水平上显著,表 4 同。括号内数值表示 Z 值得分。
Note: *, ** and *** indicate the significance level of 10%, 5%, and 1%, respectively. Tables 4 is the same.
The values in parentheses indicate that Z is worth the score.

3.3 耕地利用转型对粮食生产影响实证分析

选取空间滞后模型分析耕地利用转型对粮食生产的影响。为此本研究分别从显性转型、隐性转

型及综合转型 3 个角度进行分析。在运用空间面板计量模型时需进行 Hausman 检验,以判断选择固定效应模型还是随机效应模型,检验结果见表 3。

表 3 Hausman 检验

Table 3 Hausman test				
解释变量 Explanatory variables	被解释变量 Variables being explained	统计值 Statistical values	P 值 P-value	效应选择 Effect selection
显性转型 Explicit transition	粮食总产	138.12	0.000 0	固定效应
	粮食单产	−12.27	0.000 0	随机效应
	复种指数	18.70	0.044 2	固定效应
隐性转型 Implicit transition	粮食总产	145.76	0.000 0	固定效应
	粮食单产	−10.01	—	随机效应
	复种指数	15.29	0.121 9	随机效应
综合转型 Integrated transition	粮食总产	260.71	0.000 0	固定效应
	粮食单产	6.55	0.834 5	随机效应
	复种指数	−10.93	—	随机效应

利用 Stata16.0 软件分别分析耕地利用显性转型、隐性转型、综合转型对粮食总产、单产及复种指数的影响,在此基础上利用偏微分的方法对空间滞后模型的估计系数效应分解,将解释变量对被解释变量的总效应分解为直接效应和溢出效应,分析结

果见表 4。

显性转型对粮食总产的直接效应和溢出效应分别为 −307.79 和 −75.61,对粮食单产的直接效应和溢出效应分别为 −266.33 和 −150.87,表明显性转型对本市域和相邻市域粮食总产和粮食单产

表 4 耕地利用转型对粮食生产的空间效应分解

Table 4 Spatial effect decomposition of cultivated land use transition on grain production

解释变量	被解释变量	直接效应	溢出效应	总效应
Explanatory variables	Variables being explained	Direct effects	Spillover effects	Total effects
显性转型 Explicit transition	粮食总产	−307.79 ^{**} (125.84)	−75.61 [*] (39.25)	−383.40 ^{**} (157.82)
	粮食单产	−266.33 ^{**} (112.19)	−150.87 ^{**} (73.42)	−417.20 ^{**} (181.38)
	复种指数	1.11 [*] (0.63)	0.93 [*] (0.54)	2.04 [*] (1.16)
隐性转型 Implicit transition	粮食总产	1 558.71 ^{***} (119.53)	337.72 ^{***} (107.45)	1 896.43 ^{***} (182.11)
	粮食单产	684.72 ^{***} (106.86)	315.54 ^{***} (78.64)	1 000.26 ^{***} (162.12)
	复种指数	2.22 ^{***} (0.54)	1.20 ^{***} (0.37)	3.42 ^{***} (0.86)
综合转型 Integrated transition	粮食总产	592.47 ^{***} (92.85)	139.57 ^{***} (49.36)	732.04 ^{***} (124.44)
	粮食单产	222.59 ^{***} (80.57)	113.06 ^{**} (45.74)	335.65 ^{***} (121.59)
	复种指数	1.95 ^{***} (0.40)	1.03 ^{***} (0.28)	2.98 ^{***} (0.64)

注：括号内为稳健性标准误。

Note: Robustness standard errors in parentheses.

均存在负向相关性,并与本市域粮食生产的负相关性更大,对复种指数的直接效应和溢出效应分别为 1.11 和 0.93,表明显性转型对本市域和相邻市域复种指数存在正向影响。2000 年以来,黄河流域耕地利用显性转型指数总体呈现上升趋势,而对粮食总产和单产却呈现负向影响,说明显性转型的改善导致了粮食产量的下降。分析原因可能是:显性转型对粮食生产发挥正向影响的前提是隐性转型功能的充分发挥,只有当隐性转型中“人”的土地利用行为合理的情况下,显性转型中“地”的特征改善才能实现粮食产量的增长,研究期内黄河流域耕地利用隐性转型可能滞后于显性转型,导致显性转型并未发挥其粮食增产的正向促进作用。

隐性转型对粮食总产和粮食单产的直接效应分别到达 1 558.71 和 684.72,表明隐性转型对促进本市域粮食产量提升具有显著影响,农田水利交通等基础设施的建设与改善、农业劳动力数量的增加及机械化水平的提高,能够显著提高粮食单产和总产量。隐性转型对粮食总产和粮食单产的溢出效应分别为 337.72 和 315.54,表明隐性转型对促进相邻市域的粮食产量提升具有正向影响,原因可能是由于相邻市域绩效竞争会促使相邻市域政府加强农业基础设施建设、提高农业机械化水平。直接效应显著高于溢出效应,表明隐性转型对本市域粮食产量的影响要大于对相邻市域的影响。隐性转型对复种指数的直接效应和溢出效应分别为 2.22 和 1.20,表明隐性转型可以显著促进本市和相邻市域

耕地利用程度的提高。原因可能在于机械化水平的提高可显著提高农户生产效率,灌溉水平的提高可以在一定程度上克服“靠天吃饭”困境,降低种植风险提高种植积极性。同时由于农业机械通过跨区域作业的方式能在相邻市域内发挥作用,因此隐性转型也能对相邻市域粮食产量产生积极影响。

综合转型对粮食总产、粮食单产和粮食复种指数的直接效应和溢出效应均显著为正,表明综合转型能够显著促进本市域和相邻市域粮食产量的提高。此外,与显性转型和隐性转型相似,综合转型对粮食复种指数的直接效应和溢出效应较小,表明黄河流域粮食复种指数可能与气温、降水等自然因素的联系更为紧密。

4 讨论与结论

4.1 讨论

本研究使用黄河流域 9 个省区的土地利用数据和统计年鉴数据,测度了 2000—2018 年黄河流域市域层面的耕地利用转型指数,分析了其时空格局的演变以及对粮食生产的影响。这为在市域尺度下研究耕地利用转型与粮食生产的关系提供了案例支持。研究结果一方面对黄河流域耕地利用转型过程有了一定的认识,另一方面初步揭示了耕地利用转型对粮食生产的潜在影响,为区域耕地利用转型研究和粮食生产保障提供了新思路。

考虑到黄河流域耕地利用转型在时空上仍存在明显的差异,特别是陕西省南部、河南省南部和

山东省东部地区的耕地转型指数较低,需要进一步改善这些地区的生态环境,提高农业抗风险能力。此外,还应提高耕地利用效率,激发农户种粮积极性。可以制定相关政策来防止耕地“非粮化”行为,并解决季节性撂荒等问题。再者,还应发挥区域辐射和带动效应,促进地区农业的协同发展。要打破地域限制,加快农业生产要素的流动,包括人力资本、技术资源和物质资源,从而实现区域农业的共同发展。同时,在实现耕地利用显性转型提升基础上,注重隐性转型的同步协调提高,实现耕地特征改善后的合理有效利用,充分发挥耕地利用显性转型对粮食增产的正向效应。

今后须从以下几方面进行更加深入的研究:首先,由于数据获取的限制,本研究以市域作为基本单元进行了耕地利用转型指数的测度,并确定了其对粮食生产的影响,今后可以将耕地利用转型与耕地产权、经营方式等相关研究结合起来,并构建理论模型,从多个层面和多个视角对耕地利用转型进行解释;其次,粮食作物一般包括水稻、玉米和小麦等作物,本研究仅从粮食总产量和粮食单产来研究存在一定的局限性;最后,耕地利用显性转型与隐性转型对粮食产量的影响并不是单一影响,而可能存在相互影响以及多阶段非线性影响,应进一步加深对该方面的关注。

4.2 结论

1)黄河流域耕地利用表现出明显的转型特征。显性转型指数的空间分布总体上呈现平原高山区低的格局,其高值区多分布在资源禀赋优越的地区;隐性转型指数的空间分布则更多与当地经济状况相关,其高值区大多分布在经济条件好、农业现代化程度较高的地区;综合转型指数分布与隐性转型类似,总体上黄河流域耕地利用转型指数随时间呈现先上升后下降的趋势,表明黄河流域地区耕地空间在收缩,但其利用在向更加集约的方向转型。

2)显性转型、隐性转型及综合转型在2000—2018年表现出明显的空间聚集,耕地显性转型在2000年空间聚集程度最高,在2005—2015年空间聚集程度不断增加,再到2018年逐渐减少;隐性转型和综合转型的空间聚集程度不断减弱。

3)耕地利用转型对粮食生产有显著影响。显性转型在一定程度上抑制了粮食总产和单产,但能促进粮食复种指数提高,原因可能是研究期内黄河

流域的耕地利用隐性转型可能滞后于显性转型,从而导致显性转型并未发挥其粮食增产的正向促进作用;隐性转型和综合转型则能够显著促进粮食生产水平的提高,这表明基础设施的建设与改善、机械化水平的提高能够显著提高粮食产量。在未来,随着耕地利用转型指数的提高,粮食生产水平仍有上升空间。

参考文献 References

- [1] Deng X Z, Huang J K, Rozelle S, Zhang J P, Li Z H. Impact of urbanization on cultivated land changes in China[J]. *Land Use Policy*, 2015(45): 1-7
- [2] 姜梭峰, 龙花楼, 唐郁婷. 土地整治与乡村振兴: 土地利用多功能性视角[J]. *地理科学进展*, 2021, 40(3): 487-497
Jiang Y F, Long H L, Tang Y T. Land consolidation and rural vitalization: A perspective of land use multifunctionality[J]. *Progress in Geography*, 2021, 40(3): 487-497 (in Chinese)
- [3] 杜国明, 柴璐佳, 李玉恒. 耕地利用系统的理论解析与研究框架[J]. *地理科学进展*, 2022, 41(7): 1288-1299
Du G M, Chai L J, Li Y H. Theoretical explanation and research framework of cultivated land use system[J]. *Progress in Geography*, 2022, 41(7): 1288-1299 (in Chinese)
- [4] 中共中央 国务院. 中共中央 国务院关于做好2023年全面推进乡村振兴重点工作的意见[EB/OL]. (2023-11-08). https://www.gov.cn/zhengce/2023-02/13/content_5741370.htm
Central Committee of the Communist Party of China, State Council. Opinions of the central committee of the communist party of China and the state council on comprehensively promoting the key work of rural revitalization in 2023 [EB/OL]. (2023-11-08). https://www.gov.cn/zhengce/2023-02/13/content_5741370.htm (in Chinese)
- [5] 陈明华, 岳海璐, 郝云飞, 刘文斐. 黄河流域生态效率的空间差异、动态演进及驱动因素[J]. *数量经济技术经济研究*, 2021, 38(9): 25-44
Chen M H, Yue H J, Hao Y F, Liu W F. The spatial disparity, dynamic evolution and driving factors of ecological efficiency in the Yellow River Basin[J]. *Journal of Quantitative & Technological Economics*, 2021, 38(9): 25-44 (in Chinese)
- [6] 封永刚, 彭珏, 邓宗兵, 王炬. 面源污染、碳排放双重视角下中国耕地利用效率的时空分异[J]. *中国人口·资源与环境*, 2015, 25(8): 18-25
Feng Y G, Peng J, Deng Z B, Wang J. Spatial-temporal variation of cultivated land's utilization efficiency in China based on the dual perspective of non-point source pollution and carbon emission[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2015, 25(8): 18-25 (in Chinese)
- [7] 龙花楼, 李秀彬. 区域土地利用转型分析: 以长江沿线样带为例[J]. *自然资源学报*, 2002, 17(2): 144-149
Long H L, Li X B. Analysis on regional land use transition: A case study in transect of the Yangtze River[J]. *Journal of Natural Resources*, 2002, 17(2): 144-149 (in Chinese)
- [8] Grainger A. National land use morphology: Patterns and possibilities[J]. *Geography*, 1995, 80(3): 235-245
- [9] 李全峰, 胡守庚, 瞿诗进. 1990—2015年长江中游地区耕地利用转型时空特征[J]. *地理研究*, 2017, 36(8): 1489-1502
Li Q F, Hu S G, Zhai S J. Spatiotemporal characteristics of cultivated

- land use transition in the Middle Yangtze River from 1990 to 2015[J]. *Geographical Research*, 2017, 36(8): 1489-1502 (in Chinese)
- [10] 李升发, 李秀彬. 中国山区耕地利用边际化表现及其机理[J]. 地理学报, 2018, 73(5): 803-817
- Li S F, Li X B. Economic characteristics and the mechanism of farmland marginalization in mountainous areas of China [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(5): 803-817 (in Chinese)
- [11] 杜国明, 郭凯, 于凤荣. 黑龙江省垦区耕地利用功能转型与调控建议[J]. 农业现代化研究, 2021, 42(4): 589-599
- Du G M, Guo K, Yu F R. Suggestions on the transition and regulation of farmland utilization function in Heilongjiang Province [J]. *Research of Agricultural Modernization*, 2021, 42(4): 589-599 (in Chinese)
- [12] 杨雪, 谈明洪. 北京市耕地功能空间差异及其演变[J]. 地理研究, 2014, 33(6): 1106-1118
- Yang X, Tan M H. Spatial differences and evolution of arable land functions in Beijing [J]. *Geographical Research*, 2014, 33(6): 1106-1118 (in Chinese)
- [13] 刘利花, 杨彬如. 中国省域耕地生态补偿研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2019, 29(2): 52-62
- Liu L H, Yang B R. Research on ecological compensation of provincial cultivated land in China [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2019, 29(2): 52-62 (in Chinese)
- [14] 付慧, 刘艳军, 孙宏日, 周国磊. 京津冀地区耕地利用转型时空分异及驱动机制[J]. 地理科学进展, 2020, 39(12): 1985-1998
- Fu H, Liu Y J, Sun H R, Zhou G L. Spatiotemporal characteristics and dynamic mechanism of cultivated land use transition in the Beijing-Tianjin-Hebei region [J]. *Progress in Geography*, 2020, 39(12): 1985-1998 (in Chinese)
- [15] 戈大专, 龙花楼, 杨忍. 中国耕地利用转型格局及驱动因素研究: 基于人均耕地面积视角[J]. 资源科学, 2018, 40(2): 273-283
- Ge D Z, Long H L, Yang R. The pattern and mechanism of farmland transition in China from the perspective of per capita farmland area [J]. *Resources Science*, 2018, 40(2): 273-283 (in Chinese)
- [16] 向敬伟, 李江凤, 曾杰. 鄂西贫困县耕地利用转型空间分异及其影响因素[J]. 农业工程学报, 2016, 32(1): 272-279
- Xiang J W, Li J F, Zeng J. Spatial difference and its influence factors of cultivated land transition of poverty counties in west of Hubei [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2016, 32(1): 272-279 (in Chinese)
- [17] 宋小青, 吴志峰, 欧阳竹. 耕地转型的研究路径探讨[J]. 地理研究, 2014, 33(3): 403-413
- Song X Q, Wu Z F, Ouyang Z. Route of cultivated land transition research [J]. *Geographical Research*, 2014, 33(3): 403-413 (in Chinese)
- [18] 龙花楼. 论土地利用转型与乡村转型发展[J]. 地理科学进展, 2012, 31(2): 131-138
- Long H L. Land use transition and rural transition development [J]. *Progress in Geography*, 2012, 31(2): 131-138 (in Chinese)
- [19] 龙花楼, 屠爽爽. 土地利用转型与乡村振兴[J]. 中国土地科学, 2018, 32(7): 1-6
- Long H L, Tu S S. Land use transition and rural vitalization [J]. *China Land Science*, 2018, 32(7): 1-6 (in Chinese)
- [20] 孙英敏. 陕西省耕地利用转型与粮食产量耦合关系研究[J]. 中国农业资源与区划, 2018, 39(7): 14-20
- Sun Y M. The coupling relationship between the transition of cultivated land utilization and grain yield in Shaanxi [J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2018, 39(7): 14-20 (in Chinese)
- [21] 刘祥鑫, 蒲春玲, 闫志明, 胡赛, 黄晓东, 苏丽丽, 穆飞翔. 乌鲁木齐市耕地面积变化态势及驱动机制分析[J]. 中国农业资源与区划, 2017, 38(3): 47-51, 72
- Liu X X, Pu C L, Yan Z M, Hu S, Huang X D, Su L L, Mu F X. The Change trend of cultivated land area in Urumqi and the driving mechanism [J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2017, 38(3): 47-51, 72 (in Chinese)
- [22] 袁承程, 张定祥, 刘黎明, 叶津炜. 近 10 年中国耕地变化的区域特征及演变态势[J]. 农业工程学报, 2021, 37(1): 267-278
- Yuan C C, Zhang D X, Liu L M, Ye J W. Regional characteristics and spatial-temporal distribution of cultivated land change in China during 2009-2018 [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2021, 37(1): 267-278 (in Chinese)
- [23] 孔祥斌. 休养生息制度背景下的中国耕地保护转型目标框架与路径[J]. 湖南师范大学社会科学学报, 2021, 50(3): 1-12
- Kong X B. Transition objectives, contents and ways of cultivated land protection in China under the background of rehabilitation system [J]. *Journal of Social Science of Hunan Normal University*, 2021, 50(3): 1-12 (in Chinese)
- [24] 杜国明, 薛濡壕, 于凤荣. 耕地集约利用转型的理论解析[J]. 资源科学, 2022, 44(3): 425-435
- Du G M, Xue R H, Yu F R. Theoretical analysis of farmland intensive use transition [J]. *Resources Science*, 2022, 44(3): 425-435 (in Chinese)
- [25] 卫新东, 林良国, 罗平平, 王锦妮, 杨洁, 关嘉敏. 耕地多功能耦合协调发展时空格局与驱动力分析[J]. 农业工程学报, 2022, 38(4): 260-269
- Wei X D, Lin L G, Luo P P, Wang S N, Yang J, Guan J M. Spatiotemporal pattern and driving force analysis of multi-functional coupling coordinated development of cultivated land [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2022, 38(4): 260-269 (in Chinese)
- [26] 宋恒飞, 辛良杰. 中国耕地利用强度分化特征及影响因素研究[J]. 农业工程学报, 2021, 37(16): 212-222, 303
- Song H F, Xin L J. Differentiation characteristics and influencing factors of cultivated land use intensity in China [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2021, 37(16): 212-222, 303 (in Chinese)
- [27] 高佳, 杨宇. 东北粮食主产区耕地利用绿色转型的时空格局及驱动因素[J]. 中国土地科学, 2023, 37(10): 114-123, 134
- Gao J, Yang Y. Spatial-temporal patterns and driving factors of green transition for cultivated land use of major grain-producing areas in northeastern China [J]. *China Land Science*, 2023, 37(10): 114-123, 134 (in Chinese)
- [28] 潘佩佩, 杨桂山, 王晓萌, 王丽艳, 王雪然, 葛京凤. 太湖流域粮食生产对耕地利用变化动态响应分析及预测[J]. 长江流域资源与环境, 2019, 28(10): 2364-2375
- Pan P P, Yang G S, Wang X M, Wang L Y, Wang X R, Ge J F. Analysis and forecast on dynamic response of grain production to cropland use changes in Taihu Lake Basin [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2019, 28(10): 2364-2375 (in Chinese)
- [29] 艾麦提, 满苏尔·沙比提, 张雪琪. 叶尔羌河平原绿洲耕地利用转型与粮食产量耦合关系研究[J]. 中国农业资源与区划, 2020, 41(10): 63-68
- Malika A, Mansur S, Zhang X Q. The coupling relationship between the transition of cultivated land utilization and grain yield in Yarkant River Plain Oasis [J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2020, 41(10): 63-68 (in Chinese)
- [30] 吕添贵, 付舒斐, 胡晗, 汪立, 耿灿. 农业绿色转型约束下耕地绿色利用效率动态演进及其收敛特征研究: 以长江中游粮食主产区为例[J]. 中国

- 土地科学, 2023, 37(4): 107-118
- Lv T G, Fu S F, Hu H, Wang L, Geng C. Dynamic evolution and convergence characteristics of cultivated land green use efficiency based on the constraint of agricultural green transition: Taking the main grain producing areas in the middle reaches of the Yangtze River as an example [J]. *China Land Science*, 2023, 37(4): 107-118 (in Chinese)
- [31] 卢新海, 崔海莹, 柯善淦, 匡兵. 湖北省耕地利用绿色转型与粮食全要素生产率的耦合协调及其驱动机制研究[J]. 中国土地科学, 2022, 36(8): 75-84
- Lu X H, Cui H Y, Ke S G, Kuang B. Coupling coordination and driving mechanism of green transition of farmland use and total factor productivity of grain in Hubei Province[J]. *China Land Science*, 2022, 36(8): 75-84 (in Chinese)
- [32] 杜国明, 马敬盼, 春香. 现代化农区耕地利用形态转型研究[J]. 中国农业资源与区划, 2018, 39(3): 185-192
- Du G M, Ma J P, Chun X. Study on the transition of cultivated land use in modern agricultural region [J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2018, 39(3): 185-192 (in Chinese)
- [33] 吴思, 胡守庚, 熊婷, 邹谢华, 朱繁. 长江中游经济带主体功能区土地利用转型模式研究[J]. 资源科学, 2018, 40(11): 2213-2224
- Wu S, Hu S G, Xiong T, Zou X H, Zhu F. The pattern of land use transition in different major function zones in the Middle Reaches of Yangtze River Economic Belt [J]. *Resources Science*, 2018, 40(11): 2213-2224 (in Chinese)
- [34] 吴传钧. 论地理学的研究核心: 人地关系地域系统[J]. 经济地理, 1991(3): 1-6
- Wu C J. On the core of the study of geography the regional system of human: land relations [J]. *Economic Geography*, 1991(3): 1-6 (in Chinese)
- [35] 刘彦随. 现代入地关系与入地系统科学[J]. 地理科学, 2020, 40(8): 1221-1234
- Liu Y S. Modern human-earth relationship and human-earth system science [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2020, 40(8): 1221-1234 (in Chinese)
- [36] 陈秧分, 王介勇, 张凤荣, 刘彦随, 成升魁, 朱晶, 司伟, 樊胜根, 顾善松, 胡冰川, 李先德, 于晓华. 全球化与粮食安全新格局[J]. 自然资源学报, 2021, 36(6): 1362-1380
- Chen Y F, Wang J Y, Zhang F R, Liu Y S, Cheng S K, Zhu J, Si W, Fan S G, Gu S S, Hu B C, Li X D, Yu X H. New patterns of globalization and food security [J]. *Journal of Natural Resources*, 2021, 36(6): 1362-1380 (in Chinese)
- [37] 龙花楼. 土地利用转型的解释[J]. 中国土地科学, 2022, 36(4): 1-7
- Long H L. Explanation of land use transitions [J]. *China Land Science*, 2022, 36(4): 1-7 (in Chinese)
- [38] 宋小青. 论土地利用转型的研究框架[J]. 地理学报, 2017, 72(3): 471-487
- Song X Q. Discussion on land use transition research framework [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(3): 471-487 (in Chinese)
- [39] 戈大专, 龙花楼, 屠爽爽, 张英男. 黄淮海地区土地利用转型与粮食产量耦合关系研究[J]. 农业资源与环境学报, 2017, 34(4): 319-327
- Ge D Z, Long H L, Tu S S, Zhang Y N. Coupling relationship between land use transitions and grain yield in Huang-Huai-Hai Plain, China [J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2017, 34(4): 319-327 (in Chinese)
- [40] 卢新海, 王慧, 唐一峰, 姜旭. 湖北省耕地利用转型对农民增收的空间溢出效应研究[J]. 长江流域资源与环境, 2021, 30(7): 1757-1767
- Lu X H, Wang H, Tang Y F, Jiang X. Study on the spatial spillover effect of the transition of farmland utilization on farmers' income in Hubei Province [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2021, 30(7): 1757-1767 (in Chinese)
- [41] 中共中央 国务院. 中共中央 国务院关于促进农民增收收入若干政策的意见 [EB/OL]. (2023-11-08). https://www.gov.cn/gongbao/content/2004/content_63144.htm
- Central Committee of the Communist Party of China, State Council. Opinions of the central committee of the communist party of china and the state council on several policies to promote the increase of farmers' income [EB/OL]. (2023-11-08). https://www.gov.cn/gongbao/content/2004/content_63144.htm (in Chinese)

责任编辑: 刘迎春



第一作者简介: 李贤, 硕士研究生, 本科毕业于西北农林科技大学经济管理学院土地资源管理专业, 曾获得专业一等奖学金, 现就读于西北农林科技大学经济管理学院农业管理专业, 主要从事耕地利用转型与粮食安全研究, 以第二作者在 *Land Use Policy* 发表论文 1 篇。曾获得中国国际大学生创新大赛(2023)全国总决赛银奖、第七届中国国际“互联网+”大学生创新创业大赛全国总决赛铜奖、西北农林科技大学创新创业先进个人等荣誉称号。



通讯作者简介: 张蚌蚌, 西北农林科技大学青年拔尖人才, 博士, 副教授, 博士生导师。中国土地学会会员, 土地经济分会委员, 中国国土经济学会青年工作委员会委员, 陕西省农业经济学会理事。围绕耕地细碎化治理/整治持续开展深入探索和研究, 主持国家自然科学基金青年项目、面上项目、中国博士后基金特别资助项目、陕西省哲学社会科学重点项目等 16 项; 近年来, 累计发表学术论文 60 篇, 其中以第一作者/通讯作者发表论文近 40 篇, 出版学术专著 2 部, 荣获省部级等科技奖励和学术荣誉 5 项。