

引用格式: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.] DOI :10.18402/resci.2018.02.05

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

戈大专^{1,2,3}, 龙花楼^{1,3,4}, 杨 忍⁵

- (1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 中国科学院大学, 北京 100049;
3. 中国科学院精准扶贫评估研究中心, 北京 100101;
4. 中国科学院大学资源与环境学院, 北京 100049; 5. 中山大学地理科学与规划学院, 广州 510275)

摘要:土地利用转型与社会经济转型相互作用,共同推动中国城乡转型发展。耕地资源是保障粮食安全的核心要素,基于中国人多地少的“人地关系”特征,深入分析中国耕地利用转型规律,对于制定合理的耕地保护政策,推动中国农业生产现代化具有重要战略意义。本文以林地转型理论为依据,构建了人均耕地面积视角下的耕地利用转型理论模型,探讨了城镇化进程中中国乡村地区人均耕地面积由不断下降到逐步上升的趋势性转折过程。基于全国10km栅格分辨率人均耕地面积的变化,研究表明:1990—2010年中国71%的耕地覆盖区人均耕地面积由逐步下降转型为稳定上升,基本验证了本文提出的耕地利用转型理论模型。此外,利用空间计量回归模型,定量识别了自然因素、区位因素和社会经济因素驱动耕地利用转型的机制,研究发现城镇化进程中社会经济因素在推动耕地利用转型中的作用不断加强,不同因素在耕地利用转型不同阶段的驱动机制差异显著。

关键词:耕地利用转型;人均耕地面积;城乡转型发展;城镇化;空间计量回归模型

DOI :10.18402/resci.2018.02.05

1 引言

土地利用转型研究的关键环节是揭示社会经济转型过程中土地利用形态的变化趋势,进一步剖析土地利用转型过程中不同土地利用形态格局关系的演变。土地利用转型包含显性形态和隐性形态的转型^[1,2],二者都受到社会经济转型的影响。同时,通过土地资源管理制度的优化可以调控土地利用转型的进程和趋势,进而协调土地利用形态之间的冲突,维持社会经济系统和生态环境系统的良性发展^[1,3,4]。土地利用转型研究可为优化调控经济社会发展过程中出现的“人地关系”紧张格局提供理论及实践指导。因此,深入研究土地利用转型过程及其与社会经济转型的互馈效应具有重要现实意义^[1,4,6]。

林地和耕地作为土地利用两个核心地类一直是土地利用转型研究的热点。土地利用转型首先源于林地转型的研究, Grainger 和 Mather 通过研究不同国家森林面积的趋势性变化,提出了林地转型的理论构想^[6,7]。随着众多学者针对林地转型的区域差异、成因和影响因素展开研究^[6,8],土地利用转型研究进一步扩展到其他土地利用类型,耕地利用转型研究成为土地利用转型研究的重要内容^[9]。国内外学者对耕地数量的变化趋势^[10],耕地与农村宅基地转型的耦合关系^[11],耕地非农化过程^[12,13]以及耕地功能和价值的演化^[14,15]开展了较深入的研究。此外,学者们针对中国耕地数量与经济发展之间的耦合关系^[16,17],边际耕地撂荒现象^[12],耕地数量变化与

收稿日期:2017-11-06;修订日期:2018-01-09

基金项目:国家自然科学基金重点项目(41731286)。

作者简介:戈大专,男,江苏新沂人,博士生,从事土地利用转型与乡村转型发展研究。E-mail: gedazhuan@163.com

通讯作者:龙花楼, E-mail: longhl@igsnrr.ac.cn

粮食安全之间的关系^[9,18]等开展了研究。

当前,针对耕地面积变化、耕地利用方式的变化^[7,19]及耕地利用转型研究的框架等问题展开了探讨^[21],但针对耕地利用转型的理论及实证研究仍较为欠缺。人口数量是表征人类活动的重要指标,人均耕地面积的变化是耕地利用转型研究的核心内容之一^[9],既可以反映出耕地面积的变化趋势,也可以衡量社会经济发展过程中人口的流动趋势^[22],进而可以揭示区域人地关系的演化过程^[20,23]。通过分析城镇化进程中人均耕地面积变化及其影响机制与模式,可为有效保护耕地资源和保障区域粮食安全提供理论指导^[9,18]。因此,本文以林地转型理论为基础,构建了中国人均耕地面积视角下的耕地利用转型理论模型,探讨了城镇化进程中人均耕地面积的趋势性变化。为了深入剖析耕地利用转型的驱动机制,利用空间计量回归模型,探索自然因素、区位因素和社会经济因素对耕地利用转型的差异化作用机制。采用高精度耕地及人口密度栅格数据,通过GIS统计分析技术,对耕地利用转型理论模型进行验证。

2 理论构建与研究方法

2.1 耕地利用转型理论模型

城镇化进程中中国乡村人均耕地面积的变化过程符合“U”型转折趋势。为了克服传统人均耕地面积基于行政统计单元的计算误差,本文构建了基于人口和耕地在微观空间耦合分布的人均耕地利用转型理论模型。人均耕地资源数量受到耕地资源和乡村地区人口数量及其分布的双重影响。人口转型可以呈现出不同社会发展阶段人口出生率和死亡率的变化规律。农业社会环境下,人口转型初期,较高的出生率导致乡村地区人口数量持续增加^[24],城乡人口迁移趋势尚未呈现。乡村人口的分布与耕地资源的禀赋密切相关,耕地资源较多的地区人口数量也较多^[22],土地垦殖率也越高,可供持续开垦的耕地后备资源有限。乡村人口数量的增加,导致农村居民点用地需求迅速提高,乡村地区耕地被农村居民点建设占用的比率提高^[25,26],导致耕地面积不断减少。因此,这一阶段单位面积上人口数量的增加,耕地面积的下降,导致人均耕地面积不断下降(图1下降期)。

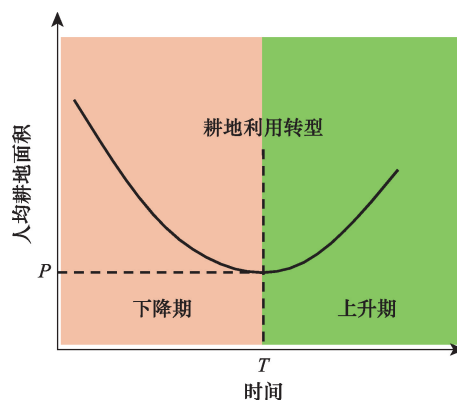


图1 耕地利用转型概念模型

Figure 1 Conceptual model of farmland transition

城镇化进程中,人口的城乡迁移导致乡村人均耕地面积由下降转变为上升。城乡二元体制模式下,城镇化进程成为人口城乡转移的重要诱因,人口的城乡空间分布模式发生了根本性变化^[24]。乡村人口转型过程中,人口出生率下降,此后人口净增长速率开始下降^[24,27]。此外,农业剩余劳动力转移过程中,人口逐渐向城镇集聚,乡村地区人口密度逐渐下降^[28,29]。同时,因人口居住空间逐渐向城镇集聚,农村建房需求下降,耕地被村庄建设用地占用的比率下降^[25]。随着城镇化过程的不断推进,城乡建设用地占用耕地的规模和耕地减少的速率由快速增加到逐渐趋缓,并最终稳定在一个均衡的水平上^[30]。此外,城镇建设占用耕地的现象主要位于城镇周边地区,且耕地被占用后,原有居民实现了城镇化,逐渐退出了农业生产。人口城乡流动过程中,加速了耕地利用方式的变化,土地流转趋势明显,农业生产的规模化和专业化趋势不断加强^[31]。乡村地区人口密度的下降,耕地被占用速率的减少,耕地利用方式的变化等多种因素共同促成了乡村人均耕地面积由下降扭转为上升(图1上升期)。因此,这种人均耕地面积的趋势性转折构成了耕地利用转型的“U”型模式。同时也应该看到,这种趋势性的转折将在一段时期内实现,且转型进度因地制宜。

2.2 数据来源与研究方法

2.2.1 数据来源

1990年、2000年和2010年100 m分辨率耕地分布数据来源于国家地球系统科学数据共享平台^[32](www2.geodata.cn)。相对应3个时期100 m分辨率

2018年2月

人口密度数据来源于全球人口计划项目组(http://www.worldpop.org.uk/data/data_sources/),该数据使用中国乡镇级人口普查数据,利用现代GIS技术在多种地表约束条件下采用随机森林算法获得,数据质量可靠,已得到广泛应用^[33]。受中国人口普查数据可获得性的限制,数据仅更新到了2010年。用到的社会经济统计数据来源于《中国县(市)社会经济统计年鉴》^[34]。中国基本地理信息数据如城市驻地、交通线等,均来源于国家基础地理信息中心(<http://ngcc.sbsm.gov.cn/>)。为深入研究中国不同区域耕地利用转型的格局特征,根据中国综合农区划方案把中国细分为11个亚区^[35,36],分别为东北区、黄淮海区、长三角区、长江中下游区、珠三角区、华南区、西南区、黄土高原区、内蒙区、甘新区和青藏区¹⁾。其中,为了突出经济活动密集区人均耕地面积的变化趋势,把长三角区和珠三角区由原区划方案的二级区单独析出。

全国10km栅格分辨率人均耕地面积的计算流程主要包括数据的计算与校对。虽然数据不包括西藏、台湾、香港和澳门,但本文研究范围涉及了全国99%以上的耕地面积和人口数量,可以反映出全国的基本情况。为保证栅格数据的质量,首先对耕地分布数据和人口密度分别进行人工目视检验和分区统计检验,数据精度均达到90%以上,可以满足研究需求。为消除两种数据在空间上的几何误差,利用ArcGIS空间聚合工具,分别生成全国1km分辨率耕地覆盖数据和人口密度数据,进而通过栅格计算工具和空间聚合工具获得10km分辨率的人均耕地面积数据。此外,并对人均耕地面积进行3倍标准差检验,如果数据无法通过检验,将利用3×3低通滤波工具进行平滑处理。

2.2.2 人均耕地面积计算

人均耕地面积($\text{hm}^2/\text{人}$)($PCFA$)代表每个栅格像元内承载的人口数量和耕地面积的比值,计算公式如下:

$$PCFA = \frac{\text{Farmarea}}{\text{Popdensity}} \quad (1)$$

式中 Farmarea 表示每个像元内的耕地面积; Popdensity 表示相应像元内的人口数量;人均耕地面积变化计算公式为:

$$PCFC = PCFA_2 - PCFA_1 \quad (2)$$

式中 $PCFC$ (*Per capita farmland change*)代表人均耕地面积变化量; $PCFA_1$ 和 $PCFA_2$ 分别代表栅格像元基期和末期人均耕地面积。

2.2.3 空间计量模型

为了揭示耕地利用转型的驱动因素,本文使用了空间计量回归模型,分析栅格尺度上人均耕地面积变化的影响因素,进一步揭示耕地利用转型的内在机制。本文用到的空间计量模型主要纳入了空间效应(空间相关和空间差异)^[37],包括空间滞后模型(Spatial Lag Model, SLM)与空间误差模型(Spatial Error Model, SEM)。SLM模型用来评估人均耕地面积变化受相邻栅格的影响程度,SLM表达式为:

$$Y = \rho W_y + X\beta + \varepsilon \quad (3)$$

式中 Y 为人均耕地面积变化; X 为自变量矩阵; β 为自变量回归系数; W 为空间权重矩阵(Contiguity Matrix); W_y 为周边因变量的加权平均,视为空间滞后因变量; ρ 为空间自回归相关系数; ε 为随机误差项向量。

另一种空间计量回归模型为空间误差模型(SEM),通过扰动误差项之中的空间依赖关系来体现自变量的相互作用。SEM的数学表达式为:

$$Y = X\beta + \varepsilon \quad (4)$$

$$\varepsilon = \lambda W_\varepsilon + \mu \quad (5)$$

式中 ε 为随机误差项向量; λ 为空间误差自相关系数; μ 为正态分布的随机误差向量; W_ε 为空间滞后扰动项。

2.2.4 空间回归变量选取

耕地利用转型是社会经济发展过程中以耕地资源分布为基础,结合人口转型规律和耕地资源不断演化的综合性过程^[9]。因此,耕地利用转型的驱动因素应该包含影响耕地和人口分布的自然要素,也要涵盖了影响耕地利用方式和人口空间流动的社会经济要素(表1)。在已有文献研究的基础上,本文选取自然因素(海拔和坡度)^[9,38]、区位因素(与主要城市的最近距离、与主要河流和主要铁路的最近距离)^[11,39]和社会经济因素(人均GDP和灌溉比率)^[40,41]作为模型的自变量。自然因素是耕地利用

1)关于中国综合农业区划方案和分区图,请查阅《中国综合农业区划》^[35]。

表1 耕地利用转型驱动因素空间计量回归模型变量

Table 1 Spatial econometrics regression model variables for farmland transition

列表	变量	描述/单位
因变量	<i>PCFC</i>	人均耕地面积变化率
自变量		
自然因素	<i>Elevation</i>	平均海拔/m
	<i>Slope</i>	平均坡度/°
区位因素	<i>Dis2city</i>	与地级市的最近距离/km
	<i>Dis2river</i>	与主要河流的距离/km
	<i>Dis2railway</i>	与主要铁路的最近距离/km
社会经济	<i>PGDP</i>	人均GDP/元
因素	<i>AIR</i>	灌溉面积占播种面积的比重/%
	<i>CPGDP</i>	人均GDP变化/%
	<i>CAIR</i>	灌溉比率变化/%

转型的基础因素,既影响了耕地资源和人口的空间分布特征,也对社会经济转型较敏感^[22]。区位因素是驱动社会经济转型的核心因素,区位的空间异质性是决定地理要素格局演变的关键因素^[11]。因此,本文以距离社会经济活动的核心——“城市最近距离”,距离农业生产区位条件——河流最近距离,人口跨区域流动和客货运输的重要交通工具——铁路最近距离,作为重要参考因素。而社会经济因素中,本文从区域城乡转型发展的视角,把人均GDP作为核心因素加入回归模型,重点考察经济发展水平对于耕地利用转型的影响。此外,灌溉因素是区域农业发展水平的重要标志^[18],也是驱动耕地利用转型的重要影响因素。为了有效识别不同时期耕地利用转型驱动因素的变化,本文把社会经济要素的动态变化也作为重要的考察指标(人均GDP的变化和灌溉比率的变化)^[30],用以揭示社会经济转型背景下耕地利用转型的驱动机制。

回归变量中海拔和坡度数据由90m分辨率全国DEM数据计算得到,社会经济数据由分县统计数据转成10km分辨率栅格数据,区位及交通数据分别由各项要素计算的欧氏距离确定。社会经济数据来源于1990年、2000年和2010年3期分县截面数据计算得到。为了对各驱动因素进行有效的对比,本文利用ArcGIS极值工具对各变量进行归一化处理,所有因变量的值均处于0~1之间。

3 结果及分析

3.1 人均耕地面积转型的特征

3.1.1 1990—2010年中国人均耕地面积分布时空格局

中国人均耕地面积东部少,西部多,在胡焕庸线沿线地区形成高值区。胡焕庸线作为中国地形及人口分布宏观的分界线,构成了中国人均耕地面积区域差异的重要地理界线。胡焕庸线西北部人均耕地面积是东南部人均耕地面积的4倍左右(表2)。胡焕庸线东南部人均耕地面积小于0.30hm²的区域占此区域耕地覆盖区的65.24%以上,而西北部仅占24.35%左右¹⁾。中国东部地区人口分布集中,宜耕地区开发历史悠久,耕地资源与人口分布的空间叠加作用明显,耕地资源丰富地区人口数量越多,导致人均耕地资源有限,自给自足的小农生产方式和“精耕细作”的农业文化都与人均耕地资源的分布密不可分^[22,36]。东北地区由于历史开发进程较短,近代以来人口大规模入关以后才开始有效的农业开发,且耕地资源储量巨大^[10],导致该地区人均耕地资源丰富(表2)。胡焕庸线西北部处于中国内陆地区,人口分布稀疏,宜耕地区开发历史较短,新疆大规模农业开发始于1949年以后,“移民垦边”过程中新增的大量耕地资源,直接导致该地区人均耕地资源远大于东部平原地区^[42]。

20世纪90年代以来,快速城镇化进程中中国人均耕地资源空间分布特征发生了显著的变化。1990—2000年中国大部分地区人均耕地资源普遍下降(表2),与这一时期人口的快速增加,农村宅基地大量占用耕地密不可分^[25]。1990—2000年中国总人口平均增长率为10.68%,人口总数由11.43亿快速上升到12.67亿。由于计划生育实施以前大规模出生的人口^[24],在这一阶段逐渐进入适婚年龄,农村地区占用耕地建设新房的需求迅速攀升^[26]。研究表明,农村宅基地与耕地面积变化之间的耦合关系明显^[11],是造成这一时期中国人均耕地资源整体下降的重要原因。平原农区该趋势更为明显,以黄淮海地区为例,这一时期,人均耕地资源下降了18.63%,大量优质耕地资源被无序和低效占用,造成耕地资源的浪费^[43]。

1)因篇幅所限,全国及分区人均耕地面积的图件未在文中呈现,读者如需查看本文的相关数据及图件,可来信向作者索取。

表2 1990—2010年中国分区人口比重、耕地面积比重和人均耕地面积统计

Table 2 Statistical summary of the proportions of population, farmland area and PCFA by district in China from 1990 to 2010

	人口比重/%			耕地比重/%			人均耕地面积/hm ²		
	1990年	2000年	2010年	1990年	2000年	2010年	1990年	2000年	2010年
胡焕庸线东南部	94.21	93.97	93.79	87.62	87.18	86.63	0.34	0.33	0.36
胡焕庸线西北部	5.79	6.03	6.21	12.38	12.82	13.37	1.38	1.43	1.44
东北区	10.23	9.79	9.57	16.31	17.67	17.88	0.81	0.89	0.94
黄淮海区	25.19	25.04	24.99	17.29	16.76	16.61	0.16	0.13	0.13
长三角区	9.78	9.83	10.85	5.88	5.60	5.36	0.18	0.16	0.16
长江中下游区	21.00	20.07	19.35	14.16	13.83	13.71	0.16	0.15	0.15
珠三角区	5.15	6.77	7.85	2.01	1.88	1.73	0.13	0.11	0.10
华南区	5.08	4.99	5.09	4.58	4.48	4.47	0.34	0.32	0.34
西南区	19.26	18.59	17.10	17.35	17.05	16.99	0.24	0.24	0.26
黄土高原区	7.82	7.89	7.74	8.72	8.61	8.49	0.42	0.40	0.41
内蒙区	3.80	3.69	3.68	8.32	8.63	8.63	1.14	1.20	1.34
甘新区	2.51	2.73	2.90	4.83	4.95	5.57	1.61	1.53	1.58
青藏区	0.41	0.40	0.43	0.54	0.55	0.56	1.78	1.79	1.73

2000—2010年中国人均耕地资源分布发生了较大的变化,人均耕地资源减少的核心地区由广大乡村地区逐渐向城镇周边地区集中。城镇化进程中,人口大量流出地区人均耕地面积数量快速提升,如西南区这一时期人均耕地面积上升了11.51%(表2)。平原农区农民兼业化趋势明显,农业剩余劳动力逐渐转移^[29],农村宅基地需求开始下降,人均耕地面积由快速下降到逐渐回升。而城镇化快速发展地区,城镇建设占用耕地的比率快速提升,导致人均耕地资源快速减少^[9,44],珠江三角洲地区这一时期人均耕地面积减少了14.38%,粮食生产能力迅速下降。

3.1.2 1990—2010年中国人均耕地面积变化时空格局

城镇化进程中,中国人均耕地面积的变化趋势基本符合文章构建的耕地利用转型过程模型,即人均耕地面积经历下降后再缓慢回升。1990—2000年中国50.15%的耕地覆盖区区域人均耕地面积在减少,而2000—2010年全国53.26%的耕地覆盖区人均耕地面积在增长。以胡焕庸线为界,1990—2000年,胡焕庸线东南部50.33%的区域人均耕地面积在减少,而胡焕庸线西北地区49.10%的耕地覆盖区人均耕地面积增加。2000—2010年胡焕庸线东南部52.73%的耕地覆盖区人均耕地面积在增加,胡焕庸线西北部56.07%的耕地覆盖区人均耕地面积

在增加。从全国宏观尺度可以判断,在2000年左右,中国人均耕地面积的变化趋势发生了转型。

为了进一步验证各区域耕地利用转型的特征,分别汇总统计了11个分区1990—2000年和2000—2010年分时段人均耕地面积平均变化率,除内蒙区、东北区、珠三角区和青藏区人均耕地面积变化的整体趋势不符合理论构想外,其他7个区域人均耕地面积的转型趋势符合理论构想,即1990—2000年人均耕地面积处于减少趋势,而在2000—2010年间人均耕地面积的变化趋势发生了趋势性转折,由渐进减少到不断增加(表2)。这些区域耕地面积占全国的比重达71%以上,基本上可以验证中国耕地利用转型的理论构想(图2)。此外,东北区和内蒙区人均耕地面积平均变化率不符合理论构想,与这两个区域大量新开垦的耕地资源有关^[10,42],而珠江三角洲地区人均耕地面积的持续减少,与该地区快速城镇化进程中人口快速集聚和耕地资源占用密切相关^[45,46],成为深入分析中国耕地利用转型研究的特殊案例区。

利用人均耕地面积的趋势性变化规律,基本揭示了中国宏观背景下耕地利用转型的趋势。尤其是中国平原农区耕地利用转型趋势明显,与理论模型高度吻合。如黄淮海地区由1990—2000年人均耕地面积的整体性下降到2000—2010年间整体性

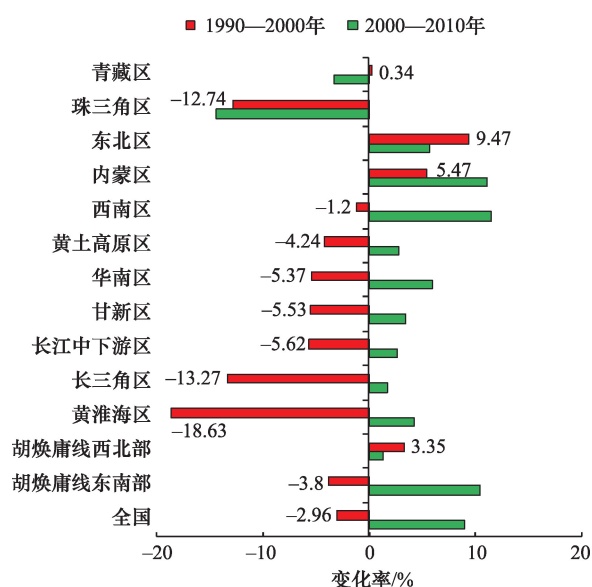


图2 1990—2010年中国分区人均耕地面积平均变化率

Figure 2 Mean change rate of PCFA by districts from 1990 to 2010

上升相对应(图3)。同时,也应该看到中国地域辽阔,不同地区发展层次差异巨大,自然本底环境也存在显著差异。因此,耕地利用转型的空间差异十分明显。这将导致在同一时期不同地区可能存在不同的耕地利用转型模式。图3描述了耕地利用转型理论模型存在的多种潜在模式,模式1正是本文论述的耕地利用转型理论模型。1990—2010年间,中国栅格尺度人均耕地面积的变化趋势整体上符合该模型的预测(人均耕地面积经历下降后回升到 P_3 位置)。但是不可否认,中国部分地区也存在模式3的转型趋势,即人均耕地面积不断下降,并未出现触底反弹的情况,如珠江三角洲地区(人均耕地面

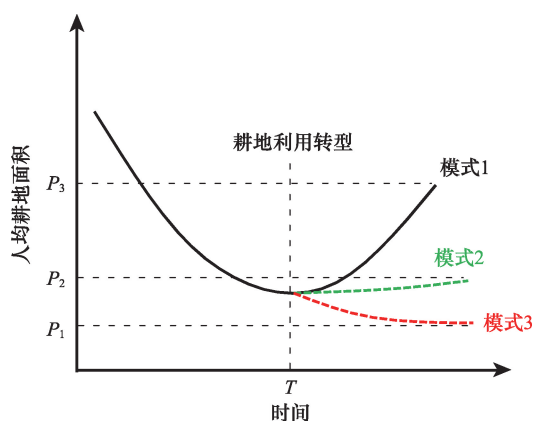


图3 耕地利用转型差异化模式

Figure 3 Differentiation modes of farmland transition

积持续下降到 P_1 位置)。此外,部分地区耕地利用转型尚处于模式2,即人均耕地面积并未出现明显的上升,如中国南方部分山区(人均耕地面积维持在 P_2 位置)。这些地区耕地利用转型受到多种因素的影响,如中国退耕还林政策实施后耕地面积的缩小^[47],农业产业调整过程中经济林木的增加^[48],还有边际耕地使用类型的变更^[49]等。因此,基于耕地利用转型理论模型,深入研究中国不同地区存在的差异化的表现模式,将有利于耕地利用转型理论研究的不断深化,进而有利于科学预测耕地利用转型的趋势变化。

3.2 耕地利用转型驱动因素结果分析

为了进一步分析中国耕地利用转型的驱动因素,本文引入基于栅格像元的空间计量回归模型。并建立以地形、区位和社会经济为特征的自变量。栅格空间回归模型有效减少了基于行政统计单元回归分析的精度问题^[50],是探究耕地利用转型驱动因素的有效手段。为了揭示人均耕地面积变化的过程,回归模型中分别添加了1990年和2000年的人均耕地面积作为1990—2000年和2000—2010年两个时期耕地利用转型的自变量,结合不同时期社会经济数据共同构成了两个时期空间回归模型的变量体系。扣除部分没有数据的栅格像元,1990—2000年回归模型包括56 651个栅格像元,2000—2010年回归模型包括58 889个栅格像元,基本包含了中国耕地覆盖区域。空间数据处理平台为GeoDa 1.8。为更好的识别因变量适合的空间回归模型,首先进行了栅格像元相关性检验(表3),发现PCFC 1990—2000和PCFC 2000—2010参数检验结果中Lagrange Multiplier (error)较Lagrange Multiplier (lag)和Robust LM (error)较Robust LM (lag)更显著^[37],因此二者均选择使用SEM模型。以上分析表明人均耕地面积的变化受到周边栅格之间误差影响,即栅格观测值的变化受到周边栅格影响明显。PCFC 1990—2000和PCFC 2000—2010回归模型的 R^2 分别为0.73和0.86说明模型的拟合优度较高。通过分析模型中各自变量的回归系数,为深入分析不同时期耕地利用转型驱动因素的差异创造条件。

不同时期的回归模型中人均耕地资源的储量

2018年2月

表3 耕地利用转型驱动因素空间计量回归模型结果

Table 3 Result of spatial econometric regression model for farmland transitional driving factors

变量	PCFC 1990-2000(SEM)	变量	PCFC 2000-2010(SEM)
常数项	-0.57*	常数项	12.07***
<i>PCFA_1990</i>	4.16***	<i>PCFA_2000</i>	1.20***
<i>Elevation</i>	-0.12	<i>Elevation</i>	5.09**
<i>Slope</i>	8.48***	<i>Slope</i>	1.13
<i>Dis2city</i>	45.41***	<i>Dis2city</i>	8.02***
<i>Dis2river</i>	17.75***	<i>Dis2river</i>	1.12
<i>Dis2railway</i>	-23.69***	<i>Dis2railway</i>	-1.48
<i>PGDP_1990</i>	-3.86	<i>PGDP_2000</i>	-14.16***
<i>AIR_1990</i>	-2.28	<i>AIR_2000</i>	-7.63***
<i>CPGDP_1990-2000</i>	-0.01	<i>CPGDP_2000-2010</i>	-2.39*
<i>CAIR_1990-2000</i>	3.64*	<i>CAIR_2000-2010</i>	-5.98**
<i>LAMBDA</i>	0.93***	<i>LAMBDA</i>	0.97***
<i>R²</i>	0.73	<i>R²</i>	0.86
<i>AIC</i>	461 342	<i>AIC</i>	441 159
<i>SC</i>	461 440	<i>SC</i>	441 258
<i>Log likelihood</i>	-230 659.78	<i>Log likelihood</i>	-220 568.71
<i>Lagrange Multiplier (lag)</i>	97 503.20***	<i>Lagrange Multiplier (lag)</i>	137 354.00 ***
<i>Robust LM (lag)</i>	18.82***	<i>Robust LM (lag)</i>	894.14***
<i>Lagrange Multiplier (error)</i>	97 868.80***	<i>Lagrange Multiplier (error)</i>	137 586.03***
<i>Robust LM (error)</i>	384.42***	<i>Robust LM (error)</i>	1 125.81***

注:***、**、*分别表示1%、5%、10%的显著性;*PCFA_1990*指1990年人均耕地面积,*PGDP_1990*指1990年人均GDP,*AIR_1990*指1990年灌溉比率,*CPGDP_1990-2000*指1990—2000年人均GDP的变化率,*CAIR_1990-2000*指1990—2000年灌溉比率的变化。

均对耕地利用转型起到正向作用,即人均耕地面积较多的地区越容易发生耕地利用转型。结合前文分析可知,中国人均耕地面积平原地区较少,而中西部及东北地区人均耕地资源较多,这些地区在城乡转型发展过程中,耕地利用方式和农民生产方式越容易发生变化。地形特征影响人口和耕地资源的分布状态,进而对耕地利用转型产生重要影响,但不同时期作用差异明显。耕地利用转型过程前期,耕地分布地区的坡度因素对耕地利用转型正向作用明显,而海拔作用不显著。这与耕地资源的开发难易程度密切相关,农户生计转型过程中,农户首先会选择放弃耕种坡度较大且耕作难度较大的耕地,因此,1990—2000年间*Slope*变量对耕地利用转型起到显著的正作用。城乡人口迁移过程中^[1,9,29],人口逐渐从高海拔地区向低海拔地区迁移,海拔因素在耕地利用转型过程中的作用不断显现,进而在2000—2010年*Elevation*变量显著为正^[9]。海拔和坡度对耕地利用转型的影响,较好地揭示了区域人地

关系变化过程中人均耕地面积的变化。

区位因素和社会经济因素通过影响耕地的耕作方式和人口的城乡流动,进而推动区域耕地利用转型。*Dis2river*和*AIR_1990*两个变量主要考察了耕地灌溉能力对耕地利用转型的影响。可以看出耕地利用转型前期距离河流越远的耕地越容易发生耕地利用转型(1990—2000年*Dis2river*变量显著为正),而耕地利用转型后期灌溉条件越差的耕地越容易发生耕地利用转型(2000—2010年*AIR*变量显著为负)。城市作为经济活动的中心,对耕地利用转型的影响主要在于对农村剩余劳动力的吸引力,通过减少乡村地区的人口数量推动耕地利用转型^[29]。*Dis2city*变量在两个时期均对耕地利用转型起到显著的正向作用,即距离城市越远的地方,耕地利用转型趋势明显。*Dis2railway*和*PGDP*主要揭示了人口迁移条件和能力对耕地利用转型的影响。1990—2000年间*Dis2railway*变量对耕地利用转型起到了显著负向作用,即距离交通线越近耕地

利用转型趋势越明显。而在2000—2010年间,人口流动的交通限制逐渐降低后,乡村人口的迁移能力和迁移动力成为影响耕地利用转型的主要因素。因此,这一时期PGDP的负向作用逐渐凸显出来,即经济基础越弱的地区耕地利用转型趋势越明显,即乡村人口为了获取更好的生活条件被迫转变原来的耕作方式,选择进城务工^[49],进而推动耕地利用转型。

对比1990—2000年和2000—2010年两个回归模型可以看出,社会经济因素在耕地利用转型中的作用不断加强,而自然要素和区位因素的作用在降低。前者的回归模型中PGDP_1990、AIR_1990和CPGDP_1990-2000变量均不显著,而在后者的模型中以上3个变量均显著,说明了社会经济因素在耕地利用转型中的作用不断加强。优化与调控耕地利用转型的趋势应该从改善农户生计入手,因地制宜制定合理的“关爱农民,支撑农村”的政策,同时兼顾不同地区区位条件和自然基础条件的差异。

4 结论与讨论

4.1 结论

土地利用转型作为土地利用变化研究的重要方法,为优化区域人地关系变化背景下的土地利用方式和人类生产生活提供有效工具。本文以人均耕地面积视角为切入点,以国际上较成熟的林地转型理论为基础,构建了中国耕地利用转型理论模型,并进一步利用空间计量回归模型探讨城乡转型过程中耕地利用转型的驱动因素。研究表明:

(1)中国人口和耕地资源的空间分布特征塑造了人均耕地面积的宏观格局,人均耕地面积时空格局差异明显。人均耕地面积东部少,西部多,在胡焕庸线沿线地区形成高值区,胡焕庸线西北部人均耕地面积是东南部人均耕地面积的4倍左右,胡焕庸线东南部人均耕地面积小于0.30hm²的区域占该区域耕地覆盖区的65.24%。

(2)1990—2010年中国耕地利用转型趋势明显。1990—2010年全国71%的耕地覆盖区发生了耕地利用转型,即人均耕地面积由1990—2000年的逐步下降,转变为2000—2010年的渐进增长,人均耕地面积趋势性变化发生了转折,基本验证了本文构建的耕地利用转型理论模型。

(3)自然因素是驱动耕地利用转型的基础要

素,其中海拔和坡度在耕地利用转型不同阶段的作用机制差异明显。区位因素和社会经济因素通过影响耕地的耕作方式和人口的城乡流动,进而推动区域耕地利用转型。城镇化进程中社会经济因素在推动耕地利用转型中的作用不断加强。

4.2 讨论

耕地利用转型理论和实证研究是推动土地利用转型研究不断深化的重要内容。本文通过理论和实证研究发现中国城乡转型发展过程中,人均耕地面积变化整体上发生了趋势性转折,由不断下降到稳定上升。耕地利用转型的发生是中国现代化过程中,人口城乡迁移和耕地利用方式变化综合作用的结果。因此,耕地利用转型为揭示区域人地关系变化,尤其是乡村地区人地关系演变提供有益参考。同时也应该看到,当前针对耕地利用转型的理论研究仍处于起步阶段,针对耕地利用转型的驱动机制研究也仅是得出了一些初步的结果。耕地利用转型的理论与内涵提炼,耕地利用转型的全球对比研究,耕地利用转型理论与林地转型理论的关系研究,将是未来深化耕地利用转型理论研究的关键内容。此外,针对中国不同地区的显著差异,深入分析耕地利用转型理论的区域适宜性和应用性将是耕地利用转型理论应用于实践必须攻关的核心命题。

耕地利用转型为服务中国农业现代化提供重要战略支撑。中国人多地少,农业基础薄弱,农业生产系统弹性较低,农民生计系统脆弱等现实问题是中国迈向农业现代化必须克服的障碍和瓶颈。近年来,以新型农业经营主体和土地流转为特点的农业生产转型新趋势,为耕地利用转型研究提出了更高和更紧迫的需求。中共十九大报告中提到“实现小农户和现代农业发展有机衔接”,为中国农业现代化指明了方向。人均耕地面积视角下的耕地利用转型是人口转型和耕地利用变化的综合结果,人均耕地面积变化与农业生产合理规模的耦合研究,将为中国农户生产合理规模的确定,为土地流转驱动下的农业生产专业化和规模化提供理论支撑。大规模人口流动背景下的城乡转型发展过程,对耕地利用转型与农业生产系统转型提出了全新的挑战。耕地利用转型受到乡村转型发展的影响,

2018年2月

反过来耕地利用转型过程也在一定程度承载了乡村转型发展的历史进程。因此,把耕地利用转型过程融入整个城乡转型发展的大背景下进行考量是引导未来农业转型发展的重要依据。

参考文献(References):

- [1] Long H, Qu Y. Land use transitions and land management: a mutual feedback perspective[J]. *Land Use Policy*, 2017, doi:10.1016/j.landusepol. 2017. 03. 021.
- [2] 龙花楼. 论土地利用转型与土地资源管理[J]. 地理研究, 2015, 34(9): 1607-1618. [Long H L. Land use transition and land management[J]. *Geographical Research*, 2015, 34(9): 1607-1618.]
- [3] Rudel T K, Coomes O T, Moran E F, et al. Forest transitions: towards a global understanding of land use change[J]. *Global Environmental Change*, 2005, 15(1): 23-31.
- [4] 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.]
- [5] Lambin E F, Meyfroidt P. Land use transitions: Socio-ecological feedback versus socio-economic change[J]. *Land Use Policy*, 2010, 27(2): 108-118.
- [6] Grainger A. Difficulties in tracking the long-term global trend in tropical forest area[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 2008, 105(2): 818-823.
- [7] Mather A S. Forest transition theory and the reforestation of Scotland [J]. *The Scottish Geographical Magazine*, 2004, 120(1-2): 83-98.
- [8] Barbier E B, Delacote P, Wolfersberger J. The economic analysis of the forest transition: a review[J]. *Journal of Forest Economics*, 2017, 27: 10-17.
- [9] Ge D, Long H, Zhang Y, et al. Farmland transition and its influences on grain production in China[J]. *Land Use Policy*, 2018, 70: 94-105.
- [10] Liu J, Zhang Z, Xu X, et al. Spatial patterns and driving forces of land use change in China in the early 21st century[J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2010, 20(4): 483-494.
- [11] 龙花楼, 李婷婷. 中国耕地和农村宅基地利用转型耦合分析[J]. 地理学报, 2012, 67(2): 201-210. [Long H L, Li T T. Analysis of the coupling of farmland and rural housing land transition in China [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2012, 67(2): 201-210.]
- [12] 李秀彬, 赵宇鸾. 森林转型、农地边际化与生态恢复[J]. 中国人口·资源与环境, 2011, 21(10): 91-95. [Li X B, Zhao Y L. Forest transition, agricultural land marginalization and ecological restoration[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2011, 21(10): 91-95.]
- [13] 邵景安, 张仕超, 李秀彬. 山区耕地边际化特征及其动因与政策含义[J]. 地理学报, 2014, 69(2): 227-242. [Shao J A, Zhang S C, Li X B. Farmland marginalization in the mountainous area: characteristics, influence factors and policy implications[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2014, 69(2): 227-242.]
- [14] 宋小青, 吴志峰, 欧阳竹. 1949年以来中国耕地功能变化[J]. 地理学报, 2014, 69(4): 435-447. [Song X Q, Wu Z F, Ouyang Z. Changes of cultivated land function in China since 1949[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2014, 69(4): 435-447.]
- [15] 王晓瑜, 胡守庚, 童陆亿. 团风县耕地资源价值及其空间分布[J]. 资源科学, 2016, 38(2): 206-216. [Wang X Y, Hu S G, Tong L Y. Evaluation and spatial distribution patterns of prefectural cultivated land resource multi-value in Tuanfeng, Hubei[J]. *Resources Science*, 2016, 38(2): 206-216.]
- [16] 杨忍, 刘彦随, 郭丽英, 等. 环渤海地区农村空心化程度与耕地利用集约度的时空变化及其耦合关系[J]. 地理科学进展, 2013, 32(2): 181-190. [Yang R, Liu Y S, Guo L Y, et al. Spatial-temporal characteristics for rural hollowing and cultivated land use intensive degree: taking the Circum-Bohai Sea region in China as an example[J]. *Progress in Geography*, 2013, 32(2): 181-190.]
- [17] 陈百明, 杜红亮. 试论耕地占用与GDP增长的脱钩研究[J]. 资源科学, 2006, 28(5): 36-42. [Chen B M, Du H L. Analyzing decoupling relationship between arable land occupation and GDP growth[J]. *Resources Science*, 2006, 28(5): 36-42.]
- [18] Li T, Long H, Zhang Y, et al. Analysis of the spatial mismatch of grain production and farmland resources in China based on the potential crop rotation system[J]. *Land Use Policy*, 2017, 60: 26-36.
- [19] 龙花楼, 李秀彬. 中国耕地转型与土地整理: 研究进展与框架[J]. 地理科学进展, 2006, 25(5): 67-76. [Long H L, Li X B. Cultivated-land transition and land consolidation and reclamation in China: research progress and frame[J]. *Progress in Geography*, 2006, 25(5): 67-76.]
- [20] 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.]
- [21] 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.]
- [22] 戈大专, 龙花楼, 张英男, 等. 中国县域粮食产量与农业劳动力变化的格局及其耦合关系[J]. 地理学报, 2017, 72(6): 1063-1077. [Ge D Z, Long H L, Zhang Y N, et al. 2017. Pattern and coupling relationship between grain yield and agricultural labor changes at county level in China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 72(6): 1063-1077.]
- [23] Long H, Tu S, Ge D, et al. The allocation and management of criti-

- cal resources in rural China under restructuring: problems and prospects[J]. *Journal of Rural Studies*, 2016, 47: 392–412.
- [24] Hussain A. Demographic transition in China and its implications [J]. *World Development*, 2002, 30(10): 1823–1834.
- [25] Long H, Li Y, Liu Y, *et al.* Accelerated restructuring in rural China fueled by ‘increasing vs. decreasing balance’ land-use policy for dealing with hollowed villages[J]. *Land Use Policy*, 2012, 29 (1): 11–22.
- [26] Liu Y, Yang R, Long H, *et al.* Implications of land-use change in rural China: a case study of Yucheng, Shandong Province[J]. *Land Use Policy*, 2014, 40: 111–118.
- [27] Kirk D. Demographic transition theory[J]. *Population Studies*, 1996, 50(3): 361–387.
- [28] Liu G, Wang H, Cheng Y, *et al.* The impact of rural out-migration on arable land use intensity: evidence from mountain areas in Guangdong, China[J]. *Land Use Policy*, 2016, 59: 569–579.
- [29] Cai F. Demographic transition, demographic dividend, and Lewis turning point in China[J]. *China Economic Journal*, 2010, 3(2): 107–119.
- [30] 蔡运龙, 汪勇, 李玉平. 中国耕地供需变化规律研究[J]. 中国土地科学, 2009, 23(3): 11–18. [Cai Y L, Wang Y, Li Y P. Study on changing relationship of demand and supply of cultivated land in China[J]. *China Land Science*, 2009, 23(3): 11–18.]
- [31] Wang X, Huang J, Rozelle S. Off-farm employment and agricultural specialization in China[J]. *China Economic Review*, 2017, 42: 155–165.
- [32] 国家地球系统数据共享平台-中国科学院寒区旱区环境与工程研究所. 中国地区土地利用/土地覆盖数据集[EB/OL]. (2016–08–16)[2017–8–05]. <http://www.geodata.cn/data/datadetails.html?dataguid=7997731293180&docid=13016>. [Earth System National Sharing Data Platform–Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences. Land Use / Land Cover Data Set of China [EB/OL]. (2016–08–16)[2017–8–05]. <http://www.geodata.cn/data/datadetails.html?dataguid=7997731293180&docid=13016>.]
- [33] Gaughan A E, Stevens F R, Huang Z, *et al.* Spatiotemporal patterns of population in mainland China, 1990 to 2010[J]. *Scientific Data*, 2016, doi: 10. 1038/sdata. 2016. 5.
- [34] 国家统计局农村社会经济调查司. 中国县(市)社会经济统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2011. [Department of rural social and economic investigation of the National Bureau of Statistics. China County Statistical Yearbook[M]. Beijing: China Statistics Press, 2011]
- [35] 周立三, 孙颖, 沈煜清, 等. 中国综合农业区划[M]. 北京: 农业出版社, 1981. [Zhou L S, Sun H, Shen Y Q, *et al.* China’s Comprehensive Agricultural Division[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1981.]
- [36] 吴传钧, 郭焕成. 中国土地利用[M]. 北京: 科学出版社, 1994. [Wu C J, Guo H C. Land Use of China[M]. Beijing: Press of Science, 1994.]
- [37] Anselin L. Under the hood issues in the specification and interpretation of spatial regression models[J]. *Agricultural Economics*, 2002, 27(3): 247–267.
- [38] 龚胜生, 林月辉, 戈大专. 三峡地区城市与河流关系的时空演化研究[J]. 地理学报, 2013, 68(12): 1619–1631. [Gong S S, Lin Y H, Ge D Z. A research on the spatial-temporal process of relationship between cities and rivers of the Three Gorges Area[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2013, 68(12): 1619–1631.]
- [39] 朱会义, 李秀彬, 辛良杰. 现阶段我国耕地利用集约度变化及其政策启示[J]. 自然资源学报, 2007, 22(6): 907–915. [Zhu H Y, Li X B, Xin L J. Intensity change in cultivated land use in China and its policy implications[J]. *Journal of Natural Resources*, 2007, 22 (6): 907–915.]
- [40] 许丽丽, 李宝林, 袁焯城, 等. 2000–2010年中国耕地变化与耕地占补平衡政策效果分析[J]. 资源科学, 2015, 37(8): 1543–1551. [Xu L L, Li B L, Yuan Y C, *et al.* Changes in China’s cultivated land and the evaluation of land requisition compensation balance policy from 2000 to 2010[J]. *Resources Science*, 2015, 37(8): 1543–1551.]
- [41] 张立新, 朱道林, 谢保鹏, 等. 中国粮食主产区耕地利用效率时空格局演变及影响因素-基于180个地级市的实证研究[J]. 资源科学, 2017, 39(4): 608–619. [Zhang L X, Zhu D L, Xie B P, *et al.* Spatiotemporal pattern evolution and driving factors of cultivated land utilization efficiency of the major grain producing area in China[J]. *Resources Science*, 2017, 39(4): 608–619.]
- [42] He C, Li J, Wang Y, *et al.* Understanding cultivated land dynamics and its driving forces in northern China during 1983–2001[J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2005, 15(4): 387–395.
- [43] Shi W, Tao F, Liu J. Changes in quantity and quality of cropland and the implications for grain production in the Huang-Huai-Hai Plain of China[J]. *Food Security*, 2013, 5(1): 69–82.
- [44] Cartier C. ‘Zone fever’, the arable land debate, and real estate speculation: China’s evolving land use regime and its geographical contradictions[J]. *Journal of Contemporary China*, 2001, 10(28): 445–469.
- [45] 顾行发, 李闽榕, 徐东华. 中国可持续发展遥感监测报告[M]. 北京: 社会科学文献出版社, 2017. [Gu X F, Li M R, Xu D H. Report on Remote Sensing Monitoring of China Sustainable Development[M]. Beijing: Social Scientific Academic Press, 2017.]
- [46] Wei Y D. Zone fever, project fever: development policy, economic transition, and urban expansion in China[J]. *Geographical Review*, 2015, 105(2): 156–177.
- [47] Xu Z, Xu J, Deng X, *et al.* Grain for green versus grain: Conflict between food security and conservation set-aside in China[J]. *World De-*

- velopment, 2006, 34(1): 130–148.
- [48] Su S, Sun Y, Lei C, *et al.* Reorienting paradoxical land use policies towards coherence: a self-adaptive ensemble learning geosimulation of tea expansion under different scenarios in subtropical China[J]. *Land Use Policy*, 2017, 67: 415–425.
- [49] 李升发, 李秀彬. 耕地撂荒研究进展与展望[J]. 地理学报, 2016, 71(3): 370–389. [Li S F, Li X B. Progress and prospect on farmland abandonment[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2016, 71(3): 370–389.]
- [50] Li T, Long H, Liu Y, *et al.* Multi-scale analysis of rural housing land transition under China's rapid urbanization: the case of Bohai Rim[J]. *Habitat International*, 2015, 48: 227–238.

The pattern and mechanism of farmland transition in China from the perspective of per capita farmland area

GE Dazhuan^{1,2,3}, LONG Hualou^{1,3,4}, YANG Ren⁵

(1. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

3. Center for Assessment and Research on Targeted Poverty Alleviation, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;

4. College of Resources and Environment, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

5. School of Geography and Planning, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: Land use transitions and socioeconomic transitions jointly drive urban-rural transformation development in China. Given the man-land relationship defined by large populations with relatively little farmland in China, farmland resources are a core element contributing to food security. Therefore, it is of great strategic significance to develop a reasonable policy of farmland protection and promote the modernization of agricultural production via analysis of the law of farmland transition in China. Based on the theory of forest transition, we constructed a theoretical model for farmland transition from the perspective of per capita farmland area (PCFA) change and discussed the changing process of PCFA from continuous decline to gradual increase in the process of urbanization. Based on transitions measured at a 10 km gridded resolution of PCFA across the country, this study found that China's PCFA transitioned from a gradual decline to a steady rise during 1990–2010. It contains 71% of the farmland coverage area, which basically validates the theoretical model of farmland transition. In addition, we used the spatial econometric regression model to quantitatively identify the driving mechanisms of natural factors, location factors and socioeconomic factors for farmland transition. We found that the role of socioeconomic factors in promoting the farmland transition has been strengthened during the process of urbanization, and there were obvious differences in the driving mechanism for farmland transition in different stages. Theoretical and practical research on farmland transition is the frontier exploration of land use transition. In addition, further study of farmland transition in rural areas provides theoretical guidance for the transformation of agricultural production.

Keywords: farmland transition; per capita farmland area; urban-rural transformation development; urbanization; spatial econometric regression model