

京津冀地区耕地利用时空分异与影响机制分析

王雨枫¹ 王娟²

(1. 中国海洋大学环境科学与工程学院, 青岛 266100; 2. 云南省城乡规划设计研究院, 昆明 650228)

摘要: 京津冀地区耕地资源的不均衡分布使得社会经济发展的地域差异性突出,厘清其耕地时空异质性对于地区协调可持续发展有着重要意义。基于京津冀地区,采用耕地动态变化模型及地理探测器等方法对 1990—2020 年间其耕地空间分布演化与影响机制进行了探讨。结果表明:北京市率先进入工业化城镇建设,天津市次之,河北省滞后,相对的耕地变化动态度高值也先后出现。耕地分布集聚特征显著,呈现“东南密西北疏”的核密度格局。土地利用结构改变特征明显,面积净增长的主要有建设用地、林地及水域,面积净减少的主要有耕地、草地及未利用地。耕地流失主要表现出环北京及环渤海为中心的聚集式特征,且东部流失的热度比西部高,南部比北部高。社会经济及政策因素对耕地利用的影响力呈上升趋势,而自然因素的影响力呈下降趋势。本研究结果可为京津冀地区耕地保护、区域协调发展提供科学依据。

关键词: 耕地分布; 土地利用转移; 时空演变; 影响机制; 京津冀地区

中图分类号: F301.21 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2022)01-0192-06

OSID:



Spatio-temporal Differentiation and Influencing Mechanism of Cultivated Land Use in Beijing – Tianjin – Hebei Region

WANG Yufeng¹ WANG Juan²

(1. College of Enviromental Science and Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266100, China

2. Urban & Rural Planning & Design Institute of Yunnan Province, Kunming 650228, China)

Abstract: Due to the unbalanced distribution of cultivated land resources in the Beijing – Tianjin – Hebei region, the regional differences of social and economic development are prominent. It is of great significance to clarify the spatial and temporal heterogeneity of cultivated land for the coordinated and sustainable development of the region. Based on the Beijing – Tianjin – Hebei region, the evolution of cultivated land spatial distribution and its influencing mechanism during the period of 1990—2020 were studied by using the dynamic change model of cultivated land and geo-detector methods. The results showed that Beijing took the lead in the construction of industrialized cities, followed by Tianjin, and Hebei lagged behind. The relatively high dynamic value of cultivated land change also appeared one after another. The distribution of cultivated land had a significant agglomeration characteristic, showing a kernel density pattern of “dense in southeast and sparse in northwest”. The characteristics of land use structure change were obvious. Construction land, woodland and water area were the main areas of net increase, while cultivated land, grassland and unused land were the main areas of net decrease. The loss of cultivated land mainly showed the aggregation characteristics around Beijing and Bohai Sea, and the heat of loss in the east was higher than that in the west, and that in the south was higher than that in the north. The influence of socio-economic and policy factors on cultivated land use showed an upward trend, while the influence of natural factors showed a downward trend. The results can provide a scientific basis for farmland protection and regional coordinated development in Beijing – Tianjin – Hebei region.

Key words: cultivated land distribution; land use transfer; spatio-temporal evolution; influence mechanism; Beijing – Tianjin – Hebei region

收稿日期: 2021 – 01 – 15 修回日期: 2021 – 04 – 16

基金项目: 国家自然科学基金项目(71603142)和山东省社会科学规划研究项目(19CXXJ05)

作者简介: 王雨枫(1989—),男,博士生,主要从事城市生态与可持续发展研究,E-mail: lyfq2018@foxmail.com

0 引言

随着工业化不断发展,区域城镇化正深刻影响着土地利用类型的变革,尤其是在经济转型过程中,不同土地利用形态格局呈现出不同的演变关系^[1]。厘清地区土地利用时空异质性,可以优化土地政策,有效调节土地利用格局及进程,缓和土地利用形态之间的冲突^[2]。

土地利用转移起源于林地转型研究,文献[3]通过研究不同国家的森林面积变化趋势,提出了林地转型理论。随后学者对林地转型的区域差异化、成因及影响机制进行了多层次探讨,土地利用转移研究也进一步扩张到多种类多要素转移^[4-5]。目前国内外关于耕地的研究主要集中在耕地时空演变与驱动机制^[6]、耕地多功能评价^[7]、耕地动态变化度^[8]、耕地粮食安全及耕地保护措施^[9]等方面。随着城市经济的影响加深,耕地与其他类型用地的转移、耕地的流失路径、耕地的多功能协调成为了学术界研究的重要内容。文献[10]以我国西南山区耕地为例,发现地形与地方政策是影响山区耕地演变的重要因素,文献[11]研究河南省洛阳市耕地演变,发现耕地空间自相关具有很强的聚集性,且海拔和工业产值对耕地保有量均有显著影响。文献[12]以英国城市为对象,分析了耕地梯田边坡的废弃程度及其对降雨诱发浅层滑坡的分布及强度的影响。文献[13]研究长江中下游粮食主产区耕地利用,建议从各邻近市完备生态农业合作机制、提升整体耕地利用生态效率。现有成果大多从特征、机制、成因等方面对耕地时空演变及其影响机制进行分析,较少从地区合作与分工、社会经济发展、多元影响机制等区域异质性视角探讨。

京津冀地区主要包括北京、天津、河北等 13 个城市 200 个区县。截至 2020 年末,京津冀已经利用的土地约占 84%,其开发强度远高于全国平均水平,后备土地资源匮乏,潜力有限^[14],因此,以京津冀地区展开耕地利用研究具有典型的代表性。本文从京津冀地区协调发展视角,构建相关模型测度其耕地利用时空分异及影响机制,以期为深入剖析其发展进程提供可视化参考。

1 数据来源与研究方法

1.1 数据来源

采用京津冀地区 1990—2020 年土地利用数据,采集于 1990、2000、2010、2020 年夏季 LandsatTM/ETM 遥感影像,并在 GEE 地理云平台上对影像的波段、地面控制点及大地基准等空间信息进行了调整和校正^[15]。参考 GB/T 21010—2017《土地利用现

状分类》标准,将土地利用类型归为耕地、林地、草地、水域、建设用地及未利用地共 6 种类型。对整理后的耕地数据与《中国城市统计年鉴》数据进行对比,其总体精度达到 90.34%~96.52%,基本符合本次研究的要求。社会经济数据来源于北京市、天津市及河北省的《统计年鉴》、《中国城市统计年鉴》及政府官网。

1.2 研究方法

1.2.1 耕地变化动态度

耕地变化动态度 K 反映研究区域内某种土地利用类型的数量变化情况,并直观表现不同研究时间段的演变趋势。其表达式为

$$K = \frac{U_b - U_a}{U_a} \frac{1}{T} \times 100\% \tag{1}$$

式中 U_a 、 U_b ——初期和末期耕地的面积
 T ——研究时间间隔,取 10 a

1.2.2 核密度估计

耕地地理分布具有空间离散、点多面广的特点,常规方法难以识别其时空整体性和地理连续性。核密度 F 估算是一种用于估算概率密度函数的非参数方法,能以光滑的曲面渐进式传输中心强度,并随着距离衰减,有效识别耕地分布的空间差异性和连续性。核密度表达式为

$$F = \frac{1}{Nh^2} \sum_{i=1}^N k\left(\frac{d_i}{h}\right) \tag{2}$$

式中 h ——距离衰减阈值
 k ——空间权重函数
 d_i ——位置 (x, y) 与第 i 个观测点的距离
 N ——观测点数量

1.2.3 土地利用转移矩阵

精确量化系统中状态与状态的转移,直观反映各土地利用方式转化流向与数量,揭示不同土地利用方式面积流转时空演化关系。其表达式为

$$S = \begin{bmatrix} S_{11} & \cdots & S_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ S_{n1} & \cdots & S_{nn} \end{bmatrix} \tag{3}$$

式中 n ——土地利用类型数

1.2.4 局部自相关分析

局部自相关分析反映某个属性或地理现象在区域和邻近区的依赖程度,直观展现耕地流失在空间的相关性及关联程度。局部莫兰指数表达式为

$$I = \frac{\sum_{j=1}^q E_{ij} Y_j}{\sum_{i=1}^p Y_i} \tag{4}$$

式中 E_{ij} ——县区 i 第 j 个指标的综合权重

1.2.5 地理探测器模型

地理探测器能结合 GIS 空间叠加技术和集合

论,识别多因子之间交互作用^[16]。它的工作原理是不同空间位置地理事物具有差异性,若两者在空间上的变化表现显著一致性,则判定该因素对地理事物空间分布具有重要意义。本文将运用其探测自然、经济及政策等多要素对研究区耕地利用分异影响机制。地理探测器的影响指数 q 的表达式为

$$q=1-\frac{1}{\sigma_G^2}\sum_{i=1}^m n_{D,i}\sigma_{D,i}^2$$

(5)

式中 $n_{D,i}$ ——层 i 上的个数
 $\sigma_G^2、\sigma_{D,i}^2$ ——观测区域和层 i 的城镇用地扩张强度的方差

2 耕地时空演变测度

2.1 耕地变化动态度分析

根据京津冀地区 200 个区县的耕地面积,利用式(1)得到 1990—2020 年 3 个时段耕地变化动态度(图 1)。从时空演化特征分析,1990—2000 年间大部分区县耕地的 K 为正值,而北京、天津市大部分区县的 K 为负值。此阶段 K 的均值为 -0.70% ,全域耕地面积增加明显,主要源于改革开放以来,农民收入水平不断提高,耕地意愿和能力得到不断提升。而北京、天津市大部分区县为负值,表明北京、天津市已经率先进入工业化城市建设中。2000—2010 年间大部区县耕地的 K 为弱负值($K>-0.73\%$),而北京、天津市以及河北省保定、石家庄、邢台及邯郸市大部分区县的 K 为强负值($K<-0.72\%$)。此阶段 K 的均值为 -1.12% ,大部分区县集中在 $-2.18\%\sim0.39\%$ 之间,全域耕地面积呈缓慢减少趋势。主要源于 21 世纪初,河北省步入工业化发展阶段,全域城镇建设速度提高,导致耕地面积转变成城市和工业用地。北京、天津市仍然是本地区的城镇化、工业化先导,河北省的保定、石家庄市主要源于区位优势度,城镇化进程较快,而邯郸市主要因为

矿产资源开发,导致耕地快速减少。2010—2020 年间大部分区县耕地的 K 为强负值($K<-0.70\%$),而北京市的 K 减弱。此阶段的均值 K 为 -0.39% ,大部分区县集中在 $-3.27\%\sim1.21\%$ 之间,全域耕地面积呈快速减少趋势。主要源于河北省的工业化进程处于加速阶段,全域城镇化建设速度保持高速增长,导致大量的耕地快速转变成城市和工业用地。其中石家庄、唐山及保定市耕地流失较快,石家庄市具有省会的资源优势度,近年来大力建设城镇基础设施,唐山市靠近北京、天津市,承接了其转移的部分工业产业,保定市拥有国家级雄安新区,近年来建设较快。此阶段,北京、天津市的城镇化处于后期,城市建设已经较为完善,耕地流失速度减弱。

从地理区位特征分析,北京是京津冀的核心城市,改革开放后,其率先进入工业化城镇建设,30 年间,其 K 分别为 $-1.61\%、-2.27\%$ 及 -0.16% ,其绝对值先上升后下降,表明其已经完成了城镇化进程,城市建设已经较为完善。天津是京津冀的第二核心城市,其工业化进程慢于北京,但是快于河北。30 年间,其 K 分别为 $-0.29\%、-0.15\%$ 及 -1.45% ,其绝对值先下降后上升,表明其还未完成城镇化进程,城市建设仍在快速扩张。河北是京津冀的资源大后方,仍然以农业为主,近年来开始进入工业化城镇建设。30 年间,其 K 分别为 $-0.18\%、-0.42\%$ 及 -0.33% 。其绝对值一直处于较低水平,表明其正在进行城镇化建设^[17]。

2.2 耕地核密度测度

采用式(2)对京津冀地区耕地分布密度进行计算,运用自然断点法将耕地 F 划分为 5 级:低密度区、较低密度区、中密度区、较高密度区和高密度区(图 2)。京津冀地区 F 分布空间差异较为明显,各年份变化范围在 $0\sim10.77\text{ hm}^2/\text{km}^2$ 之间波动变化,变化幅度较大。

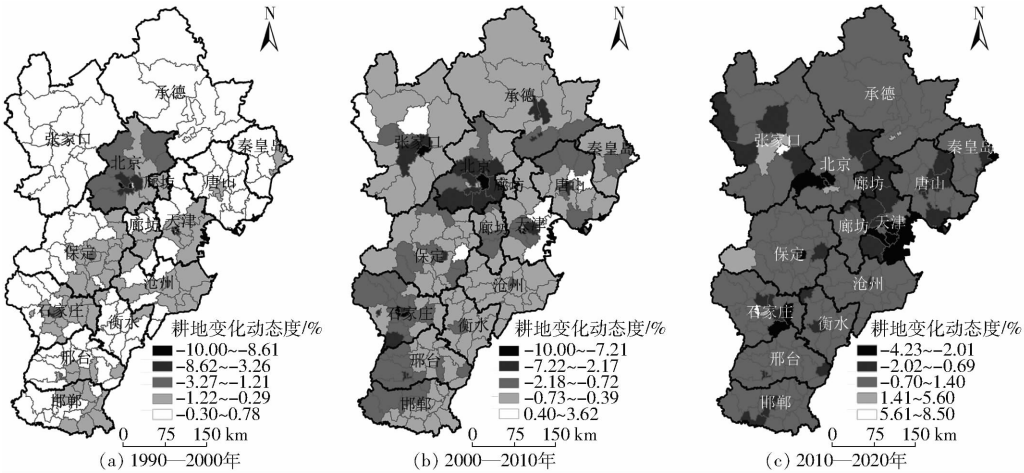


图 1 耕地变化动态度格局

Fig. 1 Dynamic attitude patterns of cultivated land change

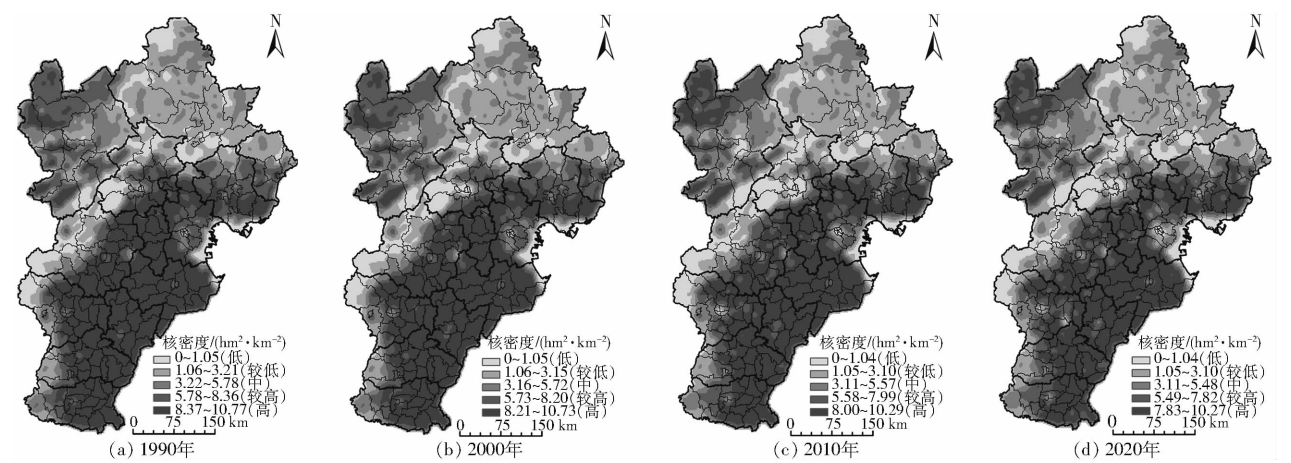


图 2 耕地核密度空间分布

Fig. 2 Spatial distributions of cultivated land kernel density

具体而言,1990 年耕地 F 高值和较高值主要位于京津冀南部、中部及东部的河北省衡水、沧州、石家庄(辛集、晋州市等)、邯郸(陶馆、大名县等)、邢台(清河、临西县等)、保定(安国市、高阳县等)、廊坊(大城、文安县等)市以及天津市(武清、宝坻区)、河北省唐山市(丰南区、滦南县等)。2000 年耕地 F 高值和较高值地区开始收缩,天津、石家庄及唐山市最明显。其中天津市东南部静海及滨海新区大面积的耕地转变成城市及工业用地,石家庄市西南部的桥西、井陉等地区,唐山市西北部的丰润、滦州等地区的耕地也转变成城市用地。2010 年耕地 F 高值和较高值快速收缩,同时部分地区耕地缓慢恢复,北京、邯郸、石家庄及张家口市最明显。其中北京市东南部的大兴、通州区等,邯郸市西部的武安市、永年区等,石家庄市西部的平山、井陉矿区等地区的耕地转变成城市及工业用地。与大部分城市耕地收缩相反的是张家口市西部地区的尚义、张北等区县的耕地正缓慢恢复。2020 年耕地 F 高值和较高值地区进一步收缩,保定及天津市最明显。其中保定市主要是雄安新区的大规模建设,使大量耕地快速转变成城市用地,天津市则是因为滨海新区的进一步开发引起了耕地的减少。

参考 2019 年《河北经济年鉴》、北京及天津《统计年鉴》的农耕面积数据,其中京津冀东南地区(保定、石家庄、廊坊、沧州、衡水、邢台及邯郸市)的农耕面积为 566.53 万 hm^2 , 占其总面积的 62.73%。西北地区(北京、天津、唐山、秦皇岛、承德及张家口市)为 236.11 万 hm^2 , 占其总面积的 18.74%。通过统计数据与本文 Landsat 监测数据对比,可知 4 个监测时点京津冀耕地 F 分异明显,集聚分布特征显著,整体核密度呈现“东南密西北疏”的空间分布格局。主要来源于境内西北部及西部太行山脉海拔骤然增高,坡度超出了耕地的适宜度,而南部、中部及

东部基本上是平原丘陵,地形及气候适合耕种。参考已有研究^[18],北京、天津市快速发展,大量耕地转变成城市及工业用地,而河北省主要以农耕为主。

2.3 土地利用转移矩阵分析

基于 1990、2020 年京津冀地区土地利用空间信息,在 GIS 中进行空间叠置,得到其土地利用转移矩阵,并分析其土地利用空间变化的规律(图 3、表 1)。从图 3、表 1 可以看出,京津冀地区土地利用结构以耕地、林地、草地与建设用地为主,分别约占总面积的 46.35%、21.29%、15.78% 及 12.62%,水域及未利用地的面积较小,约占总面积的 3.96%。1990—2020 年间 S 变化明显,从各类土地利用类型转换来看,面积净增长的主要有建设用地、林地、水域,面积净减少的主要有耕地、草地及未利用地。建设用地的面积大幅度增加 12 593.50 km^2 , 其中主要由耕地流向建设用地,转移面积 13 307.55 km^2 , 耕地的面积剧烈缩减了 12 355.86 km^2 。部分耕地转移为草地,水体主要流向耕地和建设用地,转移面积百分比分别为 5.35% 和 22.55%。部分林地草地转

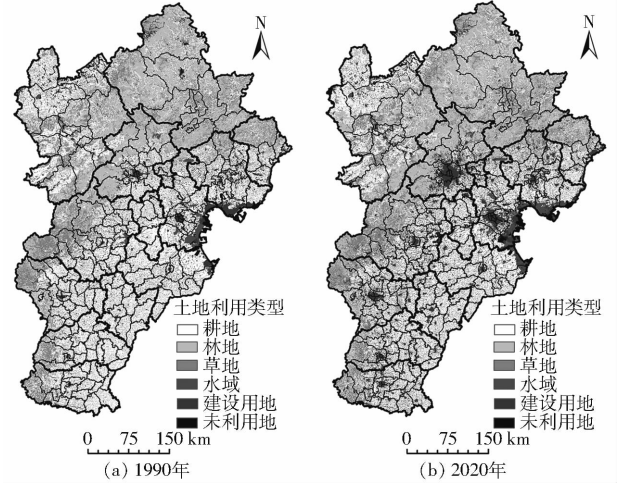


图 3 土地利用时空演变

Fig. 3 Spatio-temporal evolution of land use

表 1 土地利用转移矩阵
Tab.1 Land use transfer matrix

1990 年 土地类型	2020 年土地类型						合计	面积净变化量
	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地		
耕地	93 670.66	1 816.74	1 824.61	1 549.50	13 307.55	135.55	112 304.63	-12 355.86
林地	942.41	41 302.00	1 640.37	69.52	603.19	14.69	44 572.18	1 351.55
草地	1 763.53	2 525.04	29 824.17	343.84	1 063.34	186.92	35 706.83	-1 665.28
水域	927.13	149.89	303.01	3 816.63	587.08	463.50	6 247.23	622.92
建设用地	1 967.80	69.69	131.75	893.98	11 498.85	55.02	14 617.10	12 593.50
未利用地	677.23	60.37	317.64	196.68	150.58	807.93	2 210.45	-546.83
合计	99 948.76	45 923.73	34 041.55	6870.15	27 210.59	1 663.61	215 658.42	0

移为耕地,转移的面积百分比分别是 0.94% 和 1.76%,林地主要流向耕地、草地、建设用地,转移的面积为 942.41、1 640.37、603.19 km²。

2.4 耕地流失空间自相关测度

在 ArcGIS 平台上以 200 个区县为基础单位,计算 4 个周期的 I,使用自然断裂点法对计算结果分类,完成京津冀地区耕地流失空间分布图(图 4)。

1990—2000 年间,耕地流失的热点区形成一南一北的两个区域。其中以北京市为中心,形成了耕地流失的热点核心区域,周边的河北省保定、廊坊市及天津市等形成了耕地流失的热点拓展区域。同时在东部的河北省沧州市形成了耕地流失次热点区域,而北部的河北省张家口、承德、秦皇岛及唐山市都处于耕地流失的冷点区。

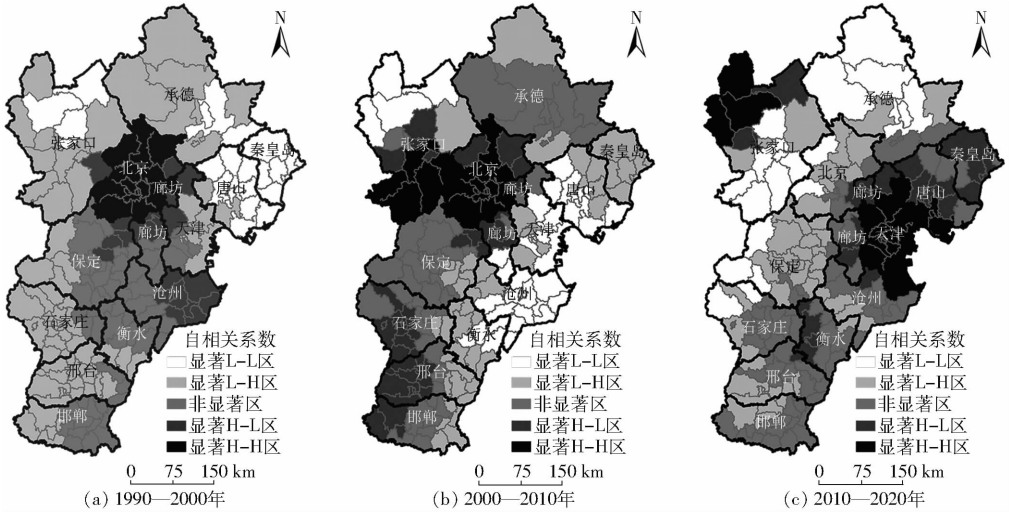


图 4 耕地流失空间自相关分析

Fig.4 Spatial autocorrelation of cultivated land loss

2000—2010 年间,耕地流失的热点区域面积持续上升,而冷点区域面积持续下降。其中环北京-张家口为中心的耕地流失热点区域保持快速扩张,而东部的次热点区转移到石家庄、邢台及邯郸市,且耕地流失的高值区域比重变大。耕地流失的冷点区面积持续下降,其中冷点的低值区面积百分比由 18.23% 下降到 17.14%,主要分布在唐山、天津、沧州等市。2010—2020 年,耕地流失的热点区域面积开始下降,而冷点区域面积逐步上升。其中环北京为中心的耕地流失热点区域面积开始收缩,北京市已经全部转冷,热点转移到天津市,高值区面积百分比由 18.16% 下降到 16.43%。耕地流失的冷点区面积上升,主要是承德市、张家口市南部、北京市及保定市等城市及其拓展区耕地流失减弱,部分地区转为冷点区。

耕地的流失与城市经济发展和城市建设密切相关,其中耕地的流失主要转变为城市及工业用地,参考 1990、2019 年京津冀《统计年鉴》数据,其中京津冀东部地区(北京、天津、唐山及沧州市)的市辖区建成区面积增加了 1 877 km²,西部地区(石家庄、保定及廊坊市)增加了 420 km²,南部地区(邢台、邯郸及衡水市)增加了 257 km²,北部地区(张家口、承德及秦皇岛市)增加了 165 km²。通过统计数据与本文 Landsat 监测数据对比,可知 30 年来京津冀地区耕地流失热点区表现出环北京及环渤海地区为中心的聚集式特征,其东部耕地流失的热度比西部高,南部比北部高。

2.5 耕地利用影响机制分析

耕地利用时空分异主要受到自然、社会经济及

政策等多因素的综合影响。本文选取平均坡度 (X_1)、与主要河道距离 (X_2)、路网密度 (X_3)、年降水量 (X_4)、农业技术人员数量 (X_5)、农业贷款率 (X_6)、人均 GDP (X_7)、城镇化率 (X_8) 等 8 个影响因子分析耕地利用的时空分异影响机制。自然因素中的平均坡度越大,耕地的可开发度越低,年降水量越充沛的地区,耕地的肥力越高,与主要河道的距离决定了耕地的灌溉能力,而路网密度则影响了耕地的机械化管理能力。社会经济及政治因素中农业技术人员的技术指导对于耕地的播种及产量具有指导性,农业贷款率提高了农民的经济承受力,人均 GDP 及城镇化率对于农业现代化的提高具有重要影响^[19]。首先在 ArcGIS 平台上对 8 个影响因子进行自然断裂点划分,再依据地理探测器的工作原理,测算出每个影响因子的决定力 q 值, q 越大代表因子对耕地利用的决定力越强。

通过式(5)分析的结果可知,1990—2020 年间不同时期影响京津冀地区耕地利用时空分异的指标因素决定力变化相对较显著,且主要因素未发生较大变化。总体上看,平均坡度 (X_1)、与主要河道距离 (X_2)、路网密度 (X_3)、年降水量 (X_4) 等自然因子的 q 从 1990 年到 2020 年分别从 0.26 下降到 0.21, 0.27 下降到 0.19, 0.18 上升到 0.23, 0.25 下降到 0.20。其中 1990 年以来平均坡度、与主要河道距离、年降水量的决定力减弱,而路网密度的决定力小幅增强。农业技术人员数量 (X_5)、农业贷款率 (X_6)、人均 GDP (X_7)、城镇化率 (X_8) 等社会经济及政策因子的 q 从 1990 年到 2020 年分别从 0.51 上升到 0.57, 0.32 下降到 0.29, 0.41 上升到 0.52,

0.50 上升到 0.58。其中 1990 年以来农业技术人员数量、人均 GDP、城镇化率的决定力小幅增强,而农业贷款率的决定力小幅下降。基于上述 8 个影响因子的定量分析,参考已有研究成果^[20],表明研究期间社会经济、政策因素对其耕地利用的影响力呈现出上升趋势,自然因素的影响力呈现下降趋势。

3 结论

(1)北京市率先进入工业化城镇建设,天津市次之,河北省仍然以农业为主,北京市的 K 绝对值呈现下降趋势,天津市先下降后上升,河北省则保持较低水平的稳定状态。

(2)耕地核密度空间分异明显,集聚分布特征显著,从地区来看, F 整体呈现“东南密西北疏”的空间分布格局。

(3)土地利用结构改变较为明显,面积净增长的主要有建设用地、林地及水域,面积净减少的主要有耕地、草地及未利用地。

(4)耕地流失主要表现出环北京及环渤海为中心的聚集式特征,且东部流失的热度比西部高,南部比北部高。

(5)社会经济、政策因素对耕地利用的影响力呈现出上升趋势,而自然因素的影响力呈下降趋势。

(6)建议北京市减缓城镇扩张的速度,注重耕地保护和环境品质的提升,天津市加快城市产业结构调整,合理安排各土地利用类型的比例,加强对耕地和生态环境的保护,而河北省则应该加强城镇化建设,承接北京、天津市转移的产业链,积极融入京津冀一体化发展进程。

参 考 文 献

[1] 周丁扬,李抒函,文雯,等. 基于供需视角的河南省耕地多功能评价与优化[J]. 农业机械学报, 2020,51(11): 272–281.
ZHOU Dingyang, LI Shuhan, WEN Wen, et al. Multi-function evaluation and optimization of cultivated land in Henan Province from the perspective of supply and demand[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2020,51(11): 272–281. (in Chinese)

[2] USTAOGU E, WILLIAMS B. Determinants of urban expansion and agricultural land conversion in 25 EU countries[J]. Environmental Management, 2017,60(4): 717–746.

[3] GRAINGER A. Difficulties in tracking the long-term global trend in tropical forest area[J]. PNAS, 2008,105(2): 818–823.

[4] 徐羽,李秀彬,辛良杰. 中国耕地规模化流转租金的分异特征及其影响因素[J]. 地理学报, 2021,76(3): 753–763.
XU Yu, LI Xiubin, XIN Liangjie. The differentiation characteristics and influencing factors of farmland transfer rent in China [J]. Acta Geographica Sinica, 2021,76(3): 753–763. (in Chinese)

[5] 王雨枫,高洪波. 高校校园的山地生态适应性规划理念及其应用研究[J]. 信阳师范学院学报(自然科学版), 2020, 33(1): 167–172.
WANG Yufeng, GAO Hongbo. Study on the concept and application of mountain ecological adaptive planning on university campuses[J]. Journal of Xinyang Normal University(Natural Science Edition), 2020,33(1): 167–172. (in Chinese)

[6] YANG Y, LIAO L, YAN L, et al. The big data analysis of land use evolution and its ecological security responses in Silver Beach of China by the clustering of spatial patterns[J]. Cluster Computing, 2016,19(4): 1907–1924.

[7] QIAN F, CHI Y, LAL R. Spatiotemporal characteristics analysis of multifunctional cultivated land: a case-study in Shenyang, Northeast China[J]. Land Degradation & Development, 2020,31(14): 1812–1822.

(6): 142 – 146.

YANG Qinke, GUO Lanqin, WANG Chunmei. Extracting and analyzing slope and slope length based on ASTER GDEM and SRTM elevation datasets[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2012, 32(6): 142 – 146. (in Chinese)

[32] 温伯清, 杨勤科, 朱梦阳, 等. 一弧秒分辨率 DEM 对侵蚀地形表达能力的分析[J]. 测绘科学, 2019, 44(7): 156 – 163,170.

WEN Boqing, YANG Qinke, ZHU Mengyang, et al. Analysis of the expression ability to loess erosion terrain using 1"SRTM [J]. Science of Surveying and Mapping, 2019, 44(7): 156 – 163,170. (in Chinese)

[33] 郭明航, 杨勤科, 王春梅. 中国主要水蚀典型区侵蚀地形特征分析[J]. 农业工程学报, 2013, 29(13): 81 – 89.

GUO Minghang, YANG Qinke, WANG Chunmei. Analysis on erosional terrain characteristics of typical samples in main water erosion region of China[J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(13):81 – 89. (in Chinese)

[34] O'CALLAGHAN J F, MARK D M. The extraction of drainage networks from digital elevation data[J]. Computer Vision Graphics & Image Processing, 1984, 27(3): 323 – 344.

[35] 张宏鸣, 杨勤科, 刘晴蕊, 等. 基于 GIS 的区域坡度坡长因子提取算法[J]. 计算机工程, 2010, 36(9): 246 – 248.

ZHANG Hongming, YANG Qinke, LIU Qingrui, et al. Research on the estimation of slope length in distributed watershed erosion[J]. Computer Engineering, 2010, 36(9): 246 – 248. (in Chinese)

[36] LIU B, XIE Y, LI Z, et al. The assessment of soil loss by water erosion in China[J]. International Soil and Water Conservation Research, 2020, 8(4): 430 – 439.

[37] 曹龙熹, 符素华. 基于 DEM 的坡长计算方法比较分析[J]. 水土保持通报, 2007, 27(5): 58 – 62.

CAO Longxi, FU Suhua. A comparison of methods for computing slope length based on DEM[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2007, 27(5): 58 – 62. (in Chinese)

[38] ZHU S, TANG G, XIONG L, et al. Uncertainty of slope length derived from digital elevation models of the Loess Plateau, China[J]. Journal of Mountain Science, 2014, 11(5): 1169 – 1181.

[39] 刘学军, 晋蓓, 胡加佩, 等. 格网 DEM 上径流长度计算误差的定量分析[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2012, 37(7): 757 – 761,779.

LIU Xuejun, JIN Bei, HU Jiapei, et al. Quantitative analysis of error in extracting flow length from grid-based digital elevation model[J]. Journal of Wuhan University (Information Science Edition), 2012, 37(7): 757 – 761,779. (in Chinese)

(上接第 197 页)

[8] 张森, 吴炳方, 于名召, 等. 未种植耕地动态变化遥感识别:以阿根廷为例[J]. 遥感学报, 2015,19(4): 550 – 559.

ZHANG Miao, WU Bingfang, YU Mingzhao, et al. Remote sensing identification of dynamic change of unplanted cultivated land: a case study of Argentina[J]. Journal of Remote Sensing, 2015,19(4): 550 – 559. (in Chinese)

[9] ABDELAAL H S A, THILMANY D. Grains production prospects and long run food security in Egypt[J]. Sustainability, 2019, 11(16): 4457.

[10] LIANG X, JIN X, YANG X, et al. Exploring cultivated land evolution in mountainous areas of Southwest China, an empirical study of developments since the 1980s[J]. Land Degradation & Development, 2021,32(2): 546 – 558.

[11] HUA W. Spatial characteristics and driving forces of cultivated land changes by coupling spatial autocorrelation model and spatial-temporal big data[J]. KSII Transactions on Internet and Information Systems, 2021,15(2):767 – 785.

[12] PEPE G, MANDARINO A, RASO E, et al. Investigation on farmland abandonment of terraced slopes using multitemporal data sources comparison and its implication on hydro-geomorphological processes[J]. Water, 2019,11(8): 1552.

[13] 刘蒙罢, 张安录, 文高辉. 长江中下游粮食主产区耕地利用生态效率时空格局与演变趋势[J]. 中国土地科学, 2021, 35(2): 50 – 60.

LIU Mengba, ZHANG Anlu, WEN Gaohui. Spatio-temporal pattern and evolution trend of cultivated land use ecological efficiency in main grain producing areas in the middle and lower reaches of the Yangtze River[J]. China Land Science, 2021, 35(2): 50 – 60. (in Chinese)

[14] YANG Z, YANG H, WANG H. Evaluating urban sustainability under different development pathways: a case study of the Beijing – Tianjin – Hebei region[J]. Sustainable Cities and Society, 2020,61: 102226.

[15] LU L, GUO H, CORBANE C, et al. Urban sprawl in provincial capital cities in China: evidence from multi-temporal urban land products using Landsat data[J]. Science Bulletin, 2019,64(14): 955 – 957.

[16] 王劲峰, 徐成东. 地理探测器:原理与展望[J]. 地理学报, 2017,72(1): 116 – 134.

WANG Jinfeng, XU Chengdong. Geographical detector: principle and prospect[J]. Acta Geographica Sinica, 2017,72(1): 116 – 134. (in Chinese)

[17] WANG C, ZHAN J, ZHANG F, et al. Analysis of urban carbon balance based on land use dynamics in the Beijing – Tianjin – Hebei region, China[J]. Journal of Cleaner Production, 2021,281: 125138.

[18] SONG M, WANG S. Effects of outward migration of factory for the Beijing – Tianjin – Hebei city circle[J]. International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 2018,31(6): 513 – 522.

[19] YUAN X, SHAO Y, WEI X, et al. Study on the potential of cultivated land quality improvement based on a geological detector [J]. Geological Journal, 2018,53(Special Issue): 387 – 397.

[20] LI C, WU K, WU J. Urban land use change and its socio-economic driving forces in China: a case study in Beijing, Tianjin and Hebei region[J]. Environment, Development and Sustainability, 2018,20(3): 1405 – 1419.