

基于地理探测器的山东省莱阳市耕地类型 时空分布及其影响因素

戴玉婷¹, 齐斐², 董明明³, 孙蕾¹, 孟琳³, 刘霞¹

(1.南京林业大学 南方现代林业协同创新中心 江苏省水土保持与生态修复重点实验室, 江苏 南京 210037; 2.江苏省水利科学研究院, 江苏 南京 210017; 3.山东省水文中心, 山东 济南 250002)

摘要: [目的] 探索不同耕地类型的空间分布、动态变化及其影响因素, 为该区域耕地保护、可持续农业发展和水土保持综合治理提供科学指导。[方法] 以山东省莱阳市为研究区, 基于 2019—2021 年高分遥感数据, 结合野外调查, 采用动态变化度、土地利用转移矩阵及地理探测器等方法, 对耕地类型进一步细分为水浇地、旱平地、旱坡地、旱梯田、撂荒地等 5 类, 并探讨其空间分布影响因素、年际时空分布格局及其易变化区域识别。[结果] ①研究区耕地占土地总面积的 54.44%, 整体呈现南多北少, 西多东少的特征; 以旱梯田为主, 所占比例为 61.19%; 其次为水浇地、旱平地 and 旱坡地, 撂荒地仅占 0.33%。②单因子探测器结果表明, 地貌类型、坡度及土壤类型是影响耕地类型分布的主导因素, 因子交互作用时, 影响因子的解释力 q 值均达 0.3 以上。③2019—2021 年耕地总体动态度为 -0.25% , 面积减少 4.73 km^2 , 主要由旱梯田、旱坡地、旱平地、水浇地转化为建设用地, 多发生在城镇周边, 且以低丘陵区坡度小于 5° 的棕壤土居多。[结论] 研究区耕地类型以旱梯田为主, 分布在低丘陵区且坡度较平缓(耕作质量较好)的耕地类型易发生变化, 从而使耕地面积持续减少。因此, 应加强对高质量耕地的保护措施。

关键词: 耕地类型; 低丘陵区; 土地利用转移矩阵; 地理探测器; 山东省莱阳市

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2023)04-0211-09

中图分类号: S127

文献参数: 戴玉婷, 齐斐, 董明明, 等. 基于地理探测器的山东省莱阳市耕地类型时空分布及其影响因素[J]. 水土保持通报, 2023, 43(4): 211-219, 275. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2023.04.026; Dai Yuting, Qi Fei, Dong Mingming, et al. Spatio-temporal distribution of cultivated land types and their influencing factors in Laiyang City of Shandong Province based on geographical detectors [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2023, 43(4): 211-219, 275.

Spatio-temporal Distribution of Cultivated Land Types and Their Influencing Factors in Laiyang City of Shandong Province Based on Geographical Detectors

Dai Yuting¹, Qi Fei², Dong Mingming³, Sun Lei¹, Meng Lin³, Liu Xia¹

(1. Collaborative Innovation Center of Southern Modern Forestry, Nanjing

Forestry University, Jiangsu Provincial Key Laboratory of Soil and Water Conservation and Ecological Restoration, Nanjing, Jiangsu 210037, China; 2. Jiangsu Institute of Hydraulic Sciences, Nanjing, Jiangsu 210017, China; 3. Shandong Hydrology Center, Jinan, Shandong 250002, China)

Abstract: [Objective] The temporal and spatial variation characteristics of cultivated land types and their influencing factors were studied in order to provide a theoretical basis for policy-making regarding cultivated land protection, sustainable agricultural development, and soil and water conservation in this region. [Methods] The study was conducted for Laiyang City in Shandong Province. High-resolution remote sensing data from 2019 to 2021 were combined with field observations in order to divide cultivated land types into five categories: irrigated land, arid flat land, arid sloping land, arid terrace land, and abandoned land. We determined the spatio-temporal distribution and variation of different types of cultivated land and their

收稿日期: 2022-11-08

修回日期: 2022-12-27

资助项目: 国家自然科学基金项目“沂蒙山区退耕坡地土壤结构与入渗动态及其分形学机理”(31070627), “坡式经济林地土壤水分运移动态及内在机理”(32071840)

第一作者: 戴玉婷(1996—), 女(汉族), 江苏省扬州市人, 硕士研究生, 研究方向为水土保持评价。Email: 1694332654@qq.com。

通讯作者: 孙蕾(1985—), 女(汉族), 山东省东营市人, 博士, 讲师, 主要从事土壤退化与水土保持研究。Email: Ls2015@njfu.edu.cn。

influencing factors, and identified the variable regions by using dynamic change degree, land use transfer matrix, and geographic detector. [Results] ① Cultivated land of Laiyang City accounted for 54.44% of the total land area, with an overall distribution pattern of more cultivated land in the southern and western areas of the city, and less in the northern and eastern areas of the city. Arid terrace land accounted for 61.19% of the total cultivated land area, which was followed by irrigated land, arid flat land, and arid sloping land. Abandoned land accounted for only 0.33% of the total cultivated land area. ② The analysis of single factor detector showed that landform type, slope, and soil type were the three main factors affecting the distribution of cultivated land type, and the (q values) were all above 0.3 when the factors interacted with each other. ③ From 2019 to 2021, the net rate of cultivated land conversion was -0.25% . The total area decreased 4.73 km^2 , mainly due to conversion of arid terrace land, arid sloping land, arid flat land, and irrigated land to construction land. This conversion mostly occurred in the urban area located in the low hilly area with a slope of less than 5° and a brown soil type. [Conclusion] The mainly cultivated land type is dry terraced field. Cultivated land distributed in low hilly area with gentle slopes (representing cultivated land with good quality) is easy to change. As the area continues to decrease, the protection measures of high-quality cultivated land should be strengthened.

Keywords: cultivated land types; low hilly area; land use transfer matrix; geographic detector; Laiyang City, Shandong Province

耕地是人类社会赖以生存的基础,是人类活动改造自然的结果,对粮食生产与安全具有重要影响^[1-2]。随着经济发展、城市化扩张、产业结构调整等^[3-4],耕地的数量减少、质量下降、空间破碎、生态环境脆弱^[5-6],导致耕地资源紧张,人地矛盾问题不断凸显^[7]。山丘区耕地的不合理开发和利用还会带来严重水土流失问题,威胁山丘区耕地资源与粮食安全。

目前,耕地时空分布、影响因素以及耕地变化带来的土壤侵蚀变化等方面已引起诸多学者关注。在耕地时空变化及其影响因素方面,学者们通过土地利用转移矩阵、核密度分析、地理探测器等方法,对耕地变化^[8]、时空分布特征^[9]、耕地驱动力及影响因素^[10]展开研究。在耕地某一类型时空变化方面,李辉丹等^[11]利用土地利用转移矩阵、局部空间自相关、地理探测器等方法对重庆市以及西南山地丘陵区坡耕地时空格局演变规律及驱动因素进行了研究;杨懿等^[12]采用空间叠加分析、数理统计等方法,分析了多因子影响下的喀斯特山区坡耕地分布特征;冯茂秋等^[13]通过 GIS 空间分析、景观格局多项指数和二元 Logistic 回归模型等方法对不同类型撂荒地耕地空间分异规律及影响因素进行了分析;此外,还有学者对耕地类型变化带来的土壤侵蚀方面进行相关研究,王祯等^[14]运用坡耕地动态度、土地利用转移矩阵、核密度分析、RUSLE 模型、地理加权回归模型等方法,研究了黄土高原坡耕地利用变化与土壤侵蚀变化的时空联系,揭示了坡耕地时空变化带来的土壤侵蚀效应。多数研究^[15]以耕地为整体,基于长时间序列的耕地状

况,分析其空间分布、动态变化、影响因素等特征。迄今为止,对于不同区域耕地的研究均较为宏观或只关注耕地中的某一类型,未考虑耕地的措施、坡度、耕作情况等因素对耕地进行细分。耕地修建与发展过程中,综合考虑耕地立地环境特征,如地形地貌、土壤、降雨及耕作便捷性等因素,开展耕地详细分类、逐年变化情况及其影响因素的研究,摸清耕地分类特征及影响耕地类型分布的主导因素,对深入了解区域耕地不同类型变化状态及空间分布状况,合理制定耕地保护规划与可持续经营举措具有重要参考价值和指导作用。

莱阳市地处胶东半岛腹地,以丘陵为主。该区属省辖县级市,是中国北方主要农耕区,属昆嵛山省级水土流失重点治理区。土地利用类型以耕地为主,是“中国花生油之乡”,主要种植花生、玉米、大豆、小麦等农作物。本文以莱阳市为研究区域,以耕地为研究对象,通过空间叠加分析、转移矩阵以及地理探测器等方法,分析 2019—2021 年耕地类型分布及其变化,探索耕地分布的主要影响因子以及因子间的交互作用,为区域耕地保护及可持续发展提供技术支撑。

1 研究区概况

莱阳市地处山东省胶东半岛腹地($120^\circ 31' 06''$ — $120^\circ 59' 12''\text{E}$, $36^\circ 34' 25''$ — $37^\circ 09' 46''\text{N}$),属胶东半岛丘陵蓄水保土区,土地面积 $1\,732 \text{ km}^2$,下辖 5 个街道,13 个镇。地貌以丘陵为主,最高海拔 374.6 m 。气候属温带大陆性半湿润季风气候,年平均气温 13.1°C ,年降雨量 551.2 mm ,年日照时数 $2\,316.3 \text{ h}$,无霜期

194 d。土壤类型主要为棕壤、粗骨土、潮土,植被属暖温带落叶阔叶林区。境内河流分属五龙河水系和大沽河水系,主要支流有清水河、墨水河、富水河、蔄河、白龙河等,水库约 74 座。土地利用结构以耕地为主,占县域面积的 1/2 以上,其次为园地、建设用地。2020 年常住人口 79.52 万人,农村人口 36.94 万人,第一产业 56.57 亿元,农业产值 50.83 亿元,谷物及其他作物产值 13.7 亿元。

2 材料与方法

2.1 数据源与处理

基于 2019—2021 年 3 期 2 m 分辨率的 GF-1,GF6 遥感影像,利用 ENVI 平台,对影像进行大气校正、辐射校正和图像色彩增强等处理;基于 Ecognition 9.0,采用面向对象的自动提取—人工干预方法,解译获取土地利用类型数据。采用 30 m 数字高程模型(DEM)

(来源于地理空间数据云),经双线性内插成 10 m 栅格数据,用于坡度、坡长以及地貌的提取。采用 1986—2015 年降雨量数据(来源于中国科学院资源环境科学数据中心),通过重采样生成 10 m 栅格数据。基于山东省 1:50 万土壤图,经 ArcGIS 裁剪获得土壤类型数据。采用欧氏距离计算耕地到水源和城镇村的距离,反映耕作的便利性。统一采用 CGCS 2000 坐标系和 Albers 投影。

2.2 耕地类型动态及侵蚀估算

基于《土地利用现状分类标准(GB/T21010-2017)》,结合研究目标,将研究区域土地利用类型划分为耕地、园地、林地、草地、建设用地、交通运输用地、水域及水利设施用地、其他土地 8 类。针对耕地类型,考虑灌溉、坡度、水土保持措施、耕作条件等因素,进一步细分为水浇地、旱平地、旱坡地、旱梯田、撂荒地 5 个二级类(表 1)。

表 1 莱阳市耕地分类
Table 1 Classification of cultivated land at Laiyang City

名称	二级分类	含义描述
耕地	水浇地	指有水源保证和灌溉设施,在一般年景能正常灌溉,种植旱生农作物的耕地
	旱平地	坡度≤2°,地面平缓,种植旱生农作物的耕地
	旱坡地	坡度>2°,地面平整度差,无梯田措施,种植旱生农作物的耕地
	旱梯田	在坡地上沿等高线修建,田面较水平,断面呈阶梯状的田地
	撂荒地	指耕地不再持续耕种,闲置后自然生长灌草的耕地

2019—2021 年,分别选取 121,156,182 个耕地抽样点,采用地面调查与无人机航摄等方式,记录耕地类型、作物种类、撂荒年限、变化方向及原因等内容。经验证,3 a 耕地解译精度平均达 92.1%,土地利用变化图斑解译精度平均达 95.3%,满足本研究要求。

(1) 采用耕地变化动态度^[16]和土地利用转移矩阵分析耕地的时空动态变化。耕地变化动态度:反映耕地变化幅度的大小,定量表达耕地数量的变化速度。表达式为:

$$K=\frac{U_b-U_a}{U_a}\cdot\frac{1}{T}\times100\%$$
 (1)

式中:K 表示研究时段内耕地动态度;U_a 表示研究期初耕地的数量;U_b 为研究期末耕地的数量;T 为研究时段长,当 T 时段长为年时;K 为研究区耕地的年变化率。

(2) 土地利用转移矩阵。表示土地利用之间的转移情况,能够较为全面且具体地分析出土地利用特征及动态变化方向,从而揭示不同土地利用方式之间面积的变化趋势。数学模型为:

$$S_{ij}=\begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & \cdots & S_{1n} \\ S_{21} & S_{22} & \cdots & S_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ S_{n1} & S_{n2} & \cdots & S_{nn} \end{bmatrix}$$
 (2)

式中:S 表示土地面积;n 表示土地利用的类型数;i 表示研究期初土地利用类型;j 表示研究期末土地利用类型。

(3) 土壤侵蚀估算采用中国土壤流失方程(CSLE),并根据土壤侵蚀分类分级标准进行土壤侵蚀强度分级:

$$A=R\times K\times L\times S\times B\times E\times T$$
 (3)

式中:A 为土壤流失量[t/(hm²·a)];R 为降雨侵蚀力因子[(MJ·mm)/(hm²·h·a)],采用冷暖季日雨量公式^[17]计算;K 为土壤可蚀性因子[(t·hm·h)/(hm²·MJ·mm)],采用 Williams 模型^[18-19]计算;L,S 为坡长和坡度因子(无量纲),基于 10 m DEM,采用符素华等^[20]的修正计算公式提取;B 为植被覆盖与生物管理措施因子(无量纲),采用 24 个半月降雨侵蚀力和林草植被覆盖度计算;E 为工程措施因子(无量纲),根据《全国水土流失动态监测技术指南》

(2021 年)中工程措施因子赋值表进行赋值,通过查询全国轮作区名称及代码,研究区属于山东丘陵水浇地二熟旱坡地花生棉花一熟区,对耕地进行 T 因子赋值 0.425。

2.3 地理探测器

地理探测器是通过探测要素空间异质性来揭示其驱动力的空间统计学方法,采用解释力(q 值)度量自变量对因变量空间分异性的影响程度^[21]。基于相关研究成果^[22-25]及区域实际,本文选取地貌类型、高程、坡度、坡长、多年平均降雨量、土壤类型、到水源的距离、到城镇村的距离为自变量,以耕地类型作为因变量,通过因子探测器、交互作用探测器对耕地的影响因素进行探索与分析。因子探测器可以探测影响因子对因变量空间分布的异质性及其解释力大小。影响因子的解释力 q 值可表达为:

$$q=1-\frac{1}{N\sigma^2}\sum_i^L N_i\sigma_i^2=1-\frac{SSW}{SST}$$
 (4)

$$SSW=\sum_{h=1}^L N_h\sigma_h^2$$
 (5)

$$SST=N\sigma^2$$
 (6)

式中: N 为区域样本总数; σ_i^2 为子区域的方差; $i=1,2\cdots i$ 表示子区域; L 表示子区域数目; q 为耕地类型空间分异的影响因子解释力, q 的值域为 $[0,1]$, q 越大,表示研究区耕地类型的空间异质性越强; SSW , SST 为层内方差之和及全区总方差。

交互作用探测器可以用来探测影响因子在影响

耕地类型空间分布上是否存在交互作用,可以探测不同影响因子之间的交互作用,也可评估两两影响因子间共同影响耕地类型空间分布作用是增强还是减弱,对于耕地类型空间分布的不同影响程度。

3 结果与分析

3.1 耕地类型及其水土流失空间分异性

3.1.1 耕地类型空间分布 2019—2021 年,莱阳市耕地面积均在 940 km² 以上,空间分布特征基本一致,均呈现南多北少、西多东少的空间分布特征。根据 2021 年分析结果,莱阳市耕地面积为 942.94 km²,占土地面积的 54.44%。图 1 和表 2 可知,不同耕地类型面积中,水浇地面积为 146.54 km²,占耕地面积的 15.54%;旱平地面积为 113.5 km²,比例 12.04%;旱坡地面积 102.76 km²,比例 10.9%;旱梯田为研究区耕地类型中面积最大,其面积达 577.03 km²,所占比例达 61.19%;撂荒地面积最小,仅有 3.11 km²,所占比例为 0.33%。总体表现为:旱梯田>水浇地>旱平地>旱坡地>撂荒地。不同乡镇耕地类型水平空间分异明显(图 2)。水浇地主要分布在中部的冯格庄街道、古柳街道及照旺庄镇的交界处、穴坊镇、高格庄镇;旱平地主要分布在团旺镇;旱坡地主要分布在谭格庄镇,其余区域与旱梯田交错分布,量少且分散;旱梯田分布最广,在各乡镇均有分布,中部区域分布明显,呈集中片状分布;撂荒地在各乡镇均有零散分布。

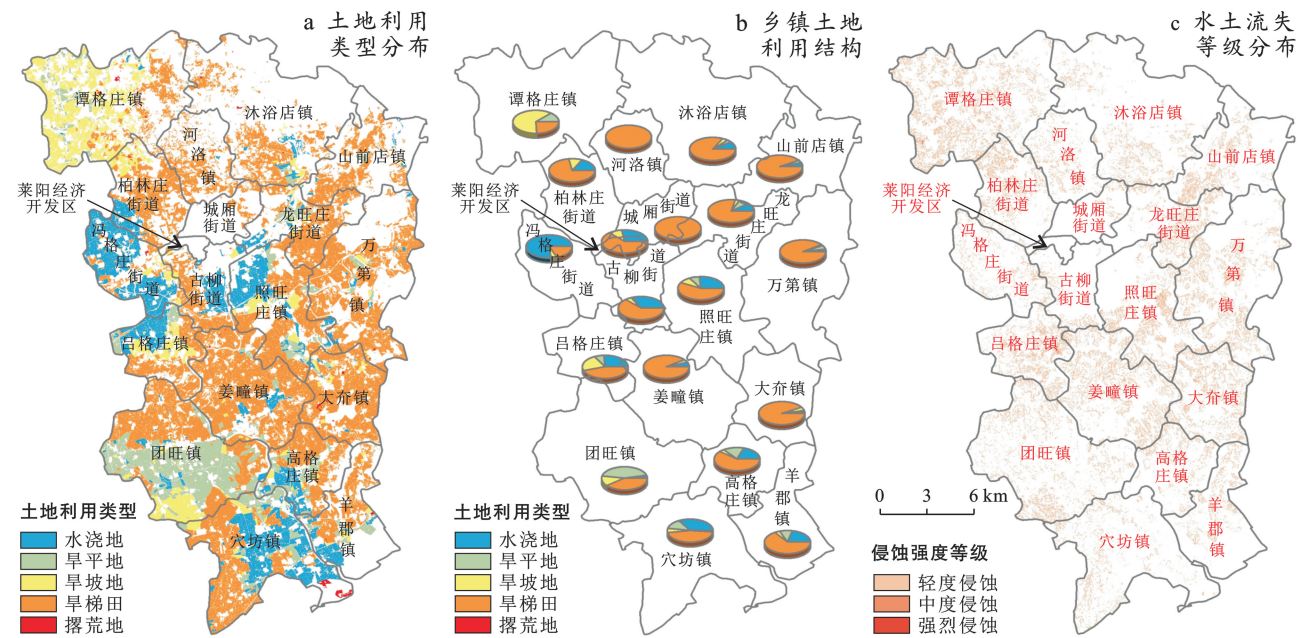


图 1 莱阳市耕地类型及水土流失空间分布

Fig.1 Cultivated land types and distribution of soil and water loss at Laiyang City

表 2 莱阳市耕地类型特征及水土流失状况统计

Table 2 Type structure and erosion of cultivated land at Laiyang City

耕地类型	耕地特征		水土流失状况		
	面积/km ²	占耕地面积比例/%	面积/km ²	占耕地水土流失面积比例/%	占该类型面积比例/%
水浇地	146.54	15.54	8.76	3.76	5.98
旱平地	113.5	12.04	10.44	4.48	9.2
旱坡地	102.76	10.9	51.93	22.31	50.54
旱梯田	577.03	61.19	160.79	69.07	27.87
撂荒地	3.11	0.33	0.89	0.38	28.62
合 计	942.94	100	232.81	100	24.69

3.1.2 耕地类型的水土流失特征 2019—2021 年,研究区耕地水土流失面积均在 230 km² 以上,由表 2 和图 2 可以看出,2021 年研究区耕地水土流失面积为232.81 km²,主要分布于旱梯田、旱坡地,水土流失以轻度侵蚀为主。旱坡地中 2°~10°的坡度占 98.54%,且多为顺坡种植,水土流失面积比例达 50.54%,远高于其他耕地类型,以轻度侵蚀为主,

但存在中度及强烈侵蚀,分别占 1.6%,0.12%;旱梯田多为土坎梯田,普遍存在田面平整度差、田坎缺乏植被防护等问题,梯田措施质量整体偏低(图 2),水土流失多为轻度侵蚀,存在少量中度侵蚀;其他耕地类型水土流失轻微。因此,旱梯田、旱坡地是研究区水土流失的主要土地利用类型,易造成养分流失等问题。



图 2 莱阳市旱梯田水土流失

Fig.2 Soil and wate loss of drought terraces at Laiyang City

3.2 耕地类型空间分异因子探测

3.2.1 耕地类型立地环境特征

(1) 地形地貌。研究区耕地分布总体以低丘陵为主(图 3)。其中,水浇地地貌以台地为主,占水浇地面积的 58.11%;旱平地、旱坡地、旱梯田、撂荒地均以低丘陵为主,旱坡地、旱梯田比例在 90%以上,旱平地、撂荒地比例在 60%左右。耕地坡度整体以 2°~5°为主,占 57.6%,其次为 0°~2°和 5°~10°,所占比例分别为 25.87%,14.96%。其中,水浇地以小于 2°为主,比例为 80.33%;旱平地均小于 2°;旱坡地和旱梯田均以 2°~5°为主,比例分别为 82.66%,74.99%;撂荒地以小于 15°为主,各坡度等级均有少量分布。研究区原始坡长范围在 0~496.62 m,各耕地类型主要集中在小于 100 m 的范围内。水浇地、旱平地坡长在 0—100 m 占 90%以上,旱坡地、旱梯田、撂荒地比例均达 80%以上。研究区耕地分布集中在高程150 m

范围内,比例为 98.37%。其中,水浇地主要分布在 0—50 m 高程范围,占该类型面积的 68.57%;旱平地集中在 0—50 m,比例 87.52%;旱坡地主要分布在 100—150 m,占 44.64%;旱梯田集中在 0—50 m, 50—100 m 高程,各占 43.06%,46.18%;撂荒地在 0—200 m 范围内零散分布。

(2) 土壤类型。耕地土壤类型以棕壤为主(图 3),占 42.17%,其次为粗骨土、潮土。不同耕地类型土壤类型均以棕壤为主。其中,水浇地棕壤面积占 44.42%,其次为潮土、褐土及砂姜黑土;旱平地棕壤面积占 58.24%,其次潮土和粗骨土;旱坡地主要为棕壤占 62.04%,其次为红黏土;旱梯田棕壤面积比例 35%,其次分别为粗骨土、石质土以及潮土;撂荒地在各土壤类型上均有少量分布。

(3) 降雨及耕作条件。研究区降雨量介于 661.5~712.96 mm(图 3),各耕地类型降雨量分布区间相

对不集中。其中,水浇地和旱平地分布在 671~681 mm 居多,比例分别为 36.32%,49.92%;旱坡地在 661~671 mm 范围内居多,比例为 43.58%;旱梯田主要为 681~691 mm,比例为 39.1%;撂荒地主要在 691~701 mm,比例达 53.23%。研究区水系分布南多北少,南部水源丰富,库塘密集,多汇集于五龙河。水浇地、旱平地距离水源较近的区域分布,以小于

200 m 为主,比例分别为 43.05%,39.59%;旱坡地、旱梯田以 200—400 m 距离区间为主,比例均大于 30%;撂荒地各距离范围内均有分布。研究区村庄分布较多且零散,耕地到村庄的距离以 400 m 以内为主,当超过 400 m 时,耕地的数量随到城镇村距离的增加而减少。旱坡地以 200—400 m 为主,比例为 29.75%,其余耕地类型均以小于 200 m 为主,比例均高于 30%。

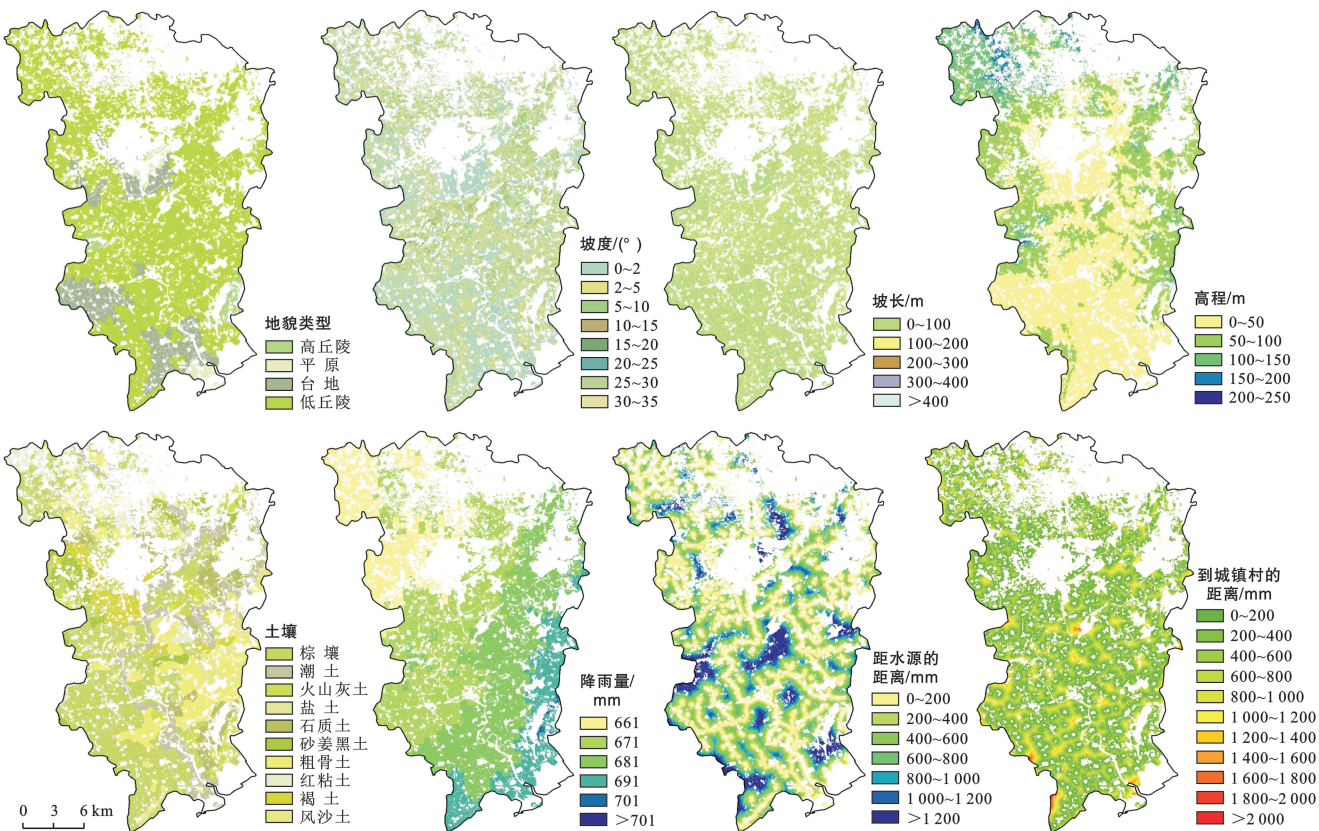


图 3 莱阳市耕地类型立地环境分布

Fig.3 Land environment distribution of cultivated land types at Laiyang City

3.2.2 因子探测分析

(1) 单因子探测分析。根据因子探测结果,莱阳市不同影响因子对耕地类型空间分布的影响程度不同,解释力 q 值差异明显(如图 4 所示)。其中,地貌类型对耕地类型空间分布的解释力最高, q 值达 0.252 7,地貌类型主要为低丘陵,在不同的地貌类型下耕地分布特征差异显著;其次为坡度和土壤类型, q 值分别为 0.166 3 和 0.097 1,坡度小于 5° 的面积比例较多并且分布较广,坡度大于 25° 分布面积较少,土壤类型主要为棕壤、粗骨土、潮土等,土壤类型较多,分布广泛,坡度和土壤类型对耕地类型空间分布起到了较高的影响力。高程、坡长、降雨量、到水源距离和到城镇村距离对耕地类型空间分布的解释力较低, q 值均在 0.065 以下,后 4 者 q 值均在 0.05 以下,最低至 0.006 4。因此,耕地类型与地貌类型、坡度和土壤类型分布规律表现出较高的一致性。

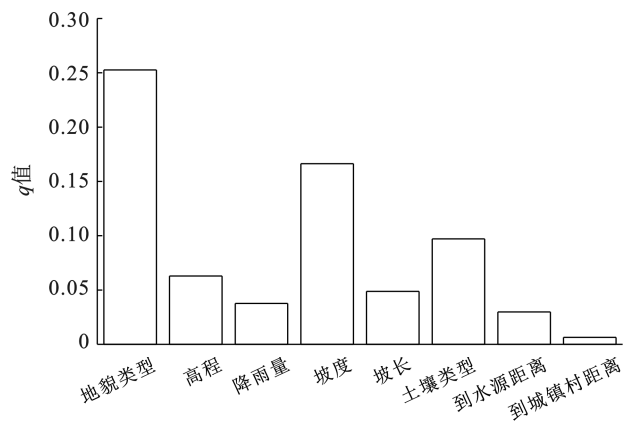


图 4 莱阳市耕地类型空间分异因子解释力特征

Fig.4 Explanatory power of spatial differentiation factors of cultivated land types at Laiyang City

(2) 因子交互作用探测分析。交互因子探测器结果(表 3)表明,研究区耕地类型影响因子之间呈现

双因子增强和非线性增强作用,不存在相互独立作用。地貌类型∩坡度、地貌类型∩土壤类型、地貌类型∩降雨量时,对研究区耕地类型分布格局的解释力达到 30% 以上,同时地貌类型与其他因子相互作用时的解释力仍在 0.25 以上;高程∩到城镇村距离、降雨量∩坡长、降雨量∩到水源的距离、降雨量∩

到城镇村的距离、坡长∩到水源距离、坡长∩到城镇村距离、到水源距离坡长∩到城镇距离,解释力均小于 10%,表明对研究区耕地类型分布格局的影响作用较小。因此,地貌类型对耕地类型分布的影响最大,其次为坡度和土壤,与单因子探测器结果相印证。

表 3 莱阳市因子交互作用探测
Tab.3 Detection factor interaction at Laiyang City

项 目	地貌类型	高 程	降雨量	坡 度	坡 长	土壤类型	到水源距离	到城镇村距离
地貌类型	0.252 7							
高 程	0.262 1	0.062 9						
降雨量	0.311 6	0.146 9	0.037 7					
坡 度	0.319 2	0.189 3	0.208 6	0.166 3				
坡 长	0.277 0	0.114 5	0.093 7	0.181 7	0.048 8			
土壤类型	0.318 1	0.180 3	0.184 4	0.247 7	0.158 6	0.097 1		
到水源距离	0.287 8	0.100 1	0.081 6	0.190 1	0.077 0	0.170 1	0.029 8	
到城镇村距离	0.267 0	0.079 3	0.063 9	0.176 3	0.065 1	0.146 0	0.073 1	0.006 4

3.3 耕地时空动态及易变化区域识别

3.3.1 耕地时空动态分析 由图 5 可知,2019—2021 年耕地总体变化动态度为-0.25%,耕地转出面积均大于转入面积,耕地总面积减少 4.73 km²。其中,转出面积 5.05 km²,多由旱梯田、旱坡地、旱平地、水浇地转化为建设用地,其次为旱平地转为河湖库塘,旱坡地和水浇地转为交通运输用地,主要是因为社会经济、城镇化以及工业化的发展,建设用地需求扩大,耕地被占用情况明显,此外,转为河湖库塘是由于当地修建塘坝、蓄水池以及拓宽河道;转入面积 0.32 km²,多由建设用地、林地转化而来,主要是受耕地保护政策影响以及村镇合并导致的土地复垦和杨树用材林砍伐复耕。根据水土流失状况统计,由水浇地、旱平地转出的水土流失面积相对较小,分别占转出面积的 2.97%,1.15%;旱坡地、旱梯田转出的水土流失面积比例分别为 17.62%,9.31%;各耕地类型转出的水土流失面积比例远低于各类型的总体水平,且转出耕地类型水土流失强度均为轻度,说明转出区域水土流失状况相对较轻。通过 2019—2021 年耕地逐年变化来看:耕地面积逐年减少,面积分别减少 2.37 km²,2.36 km²,动态度-0.24%,-0.25%,均以旱梯田、水浇地、旱平地转为建设用地为主。在 2019—2020 年,耕地转出面积 2.52 km²,主要转化为建设用地面积,占转出面积的 96.43%(图 5),主要在中部冯格庄街道、古柳街道以及姜疃镇等区域(图 6);耕地转入面积 0.16 km²,多分布于北部的高格庄镇以及姜疃镇,

主要由林地转旱平地,占转入面积的 43.75%,其次为建设用地转为旱平地,占 18.75%。2020—2021 年,耕地转出 2.53 km²,主要转化为建设用地占转出面积的 92.89%,集中分布在古柳街道、照旺庄镇以及团旺镇;耕地转入面积 0.16 km²,主要为建设用地转旱平地,占转入面积的 43.75%,其次为林地转旱平地,占 18.75%,多分布在吕格庄镇以及团旺镇。

3.3.2 耕地易发生变化区域热点格局分析 根据地理探测器结果,地貌类型、坡度、土壤类型是影响耕地类型分布的重要自然因素,将耕地变化区域与主导因子结合,进一步对耕地易发生变化区域进行热点格局分析。

通过分析 2019—2020,2020—2021 年耕地年际变化与主导因子的耦合关系(图 7)发现,耕地变化所处地貌类型均以低丘陵为主,低丘陵区的旱平地、旱坡地和旱梯田易变化,主要是因为人类建设活动易发生在海拔相对较低的区域;耕地变化所处坡度以 0°~2°和 2°~5°为主,其中坡度小于 2°的旱平地最易发生变化,其次为 2°~5°的旱坡地、旱梯田,5°~10°的旱坡地和旱梯田变化较小,这与城镇化与工业化发展易占用的坡度较小的耕地有关;耕地变化所处土壤类型以棕壤最易发生变化,以旱坡地为主,其次为旱平地 and 旱梯田。由于耕地变化易发生在低丘陵区、坡度小于 5°的棕壤区域,该区域耕地坡度较缓,土壤相对肥沃,水土流失较轻,相对耕作条件较好,需加强耕地保护,尤其是对易耕作耕地的保护。

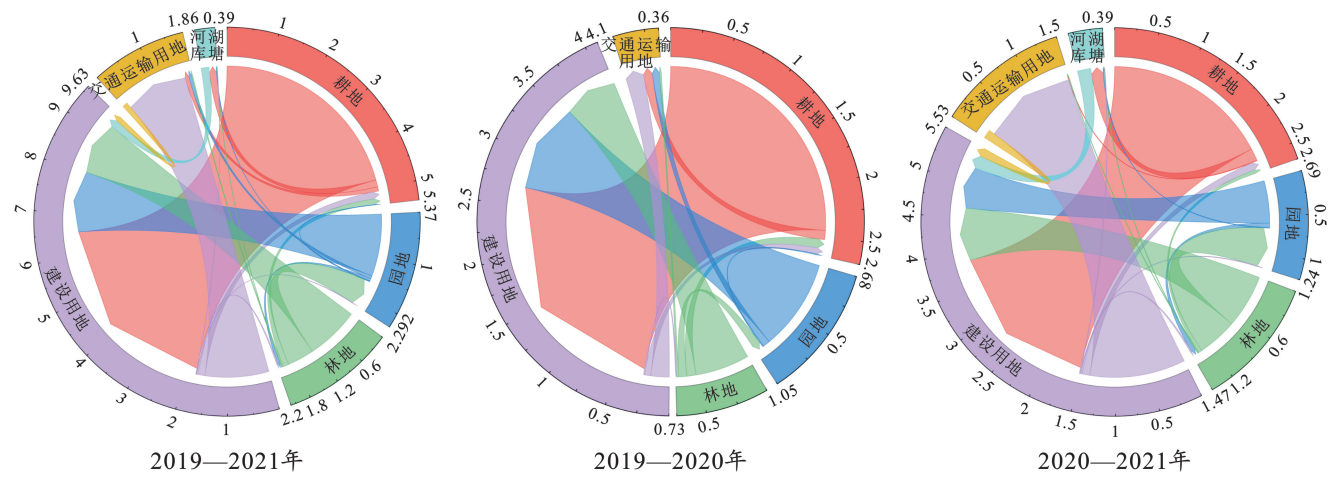


图 5 莱阳市土地利用转移矩阵弦图(单位为 km^2)

Fig.5 Chord diagram of land use transfer matrix at Laiyang City (measuring unit: km^2)

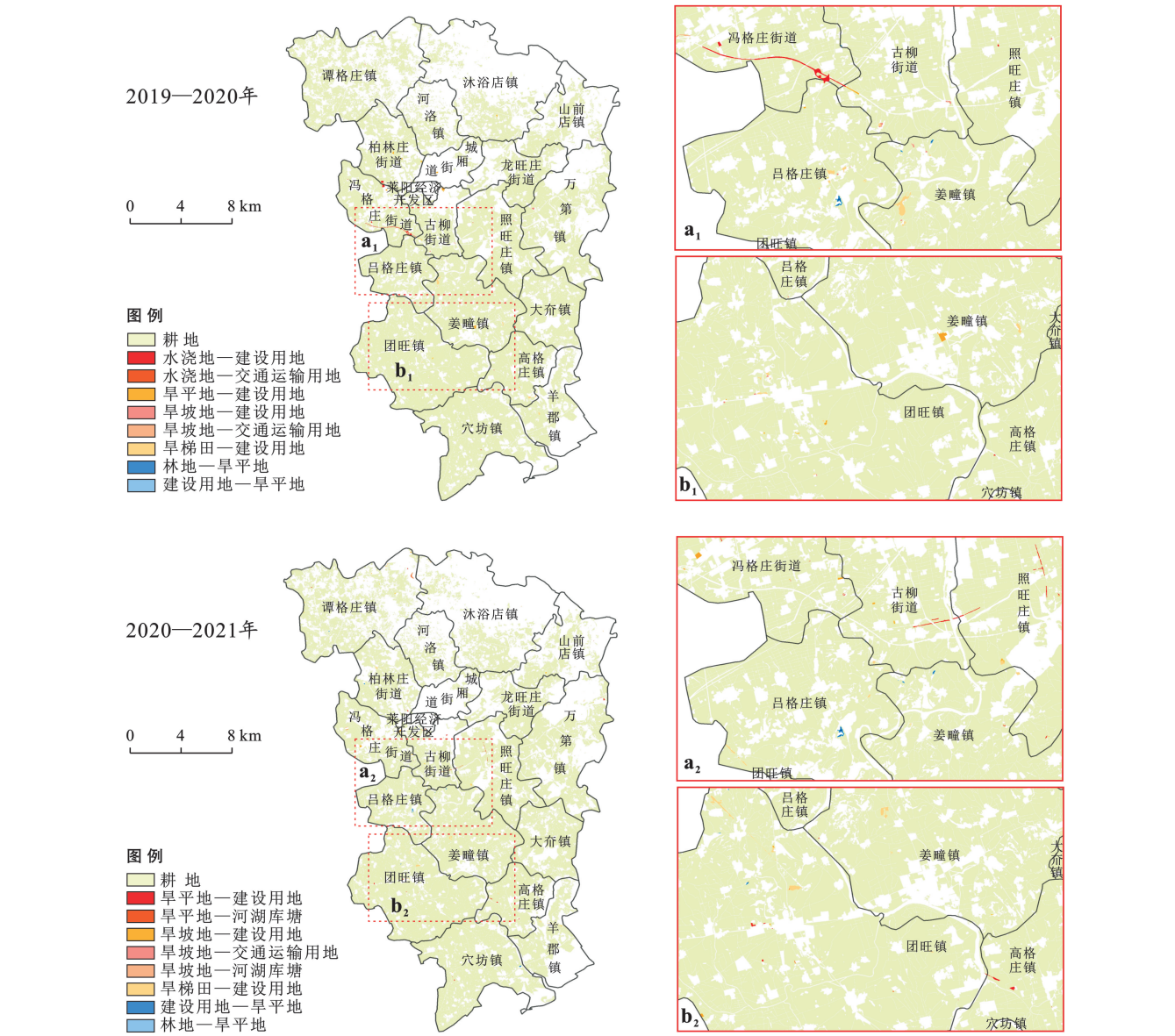


图 6 莱阳市耕地动态变化空间分布

Fig.6 Spatial distribution of cultivated land dynamic change at Laiyang City

4 讨论与结论

4.1 讨论

研究区耕地以旱梯田和旱坡地为主,是需要重点关注其水土流失状况的耕地类型。旱坡地缺少水土保持措施,易发生水土流失;旱梯田埂坎以土质为主,田面平整度差,质量较低,水土流失面积比例达到 27.87%。因此,在耕地管理过程中仍需要注重对旱坡地和低标准土坎梯田等进行土地整治,防治水土流失,助力农业生产。

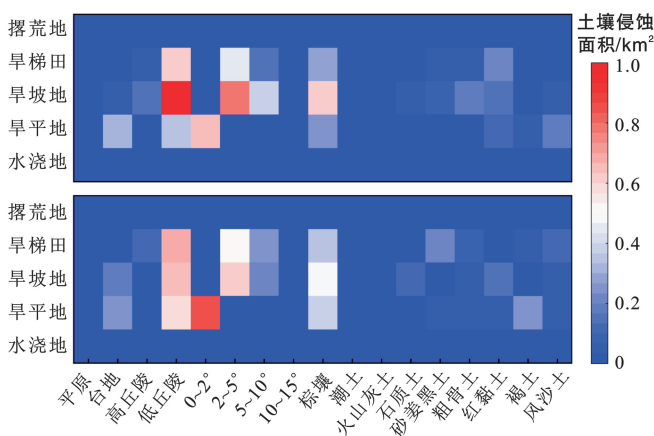


图 7 莱阳市不同影响因子下的耕地类型动态变化热图
Fig.7 Dynamic change heat map of cultivated land type under different influence factors at Laiyang City

在城市化与工业化发展进程中,农业劳动力减少,不免存在耕地撂荒现象。此外,不合理的耕地经营方式加剧耕地的水土流失,水土流失较严重的区域会被弃耕。从近 3 a 耕地转入情况来看是由建设用地和林地转为耕地,为响应当地耕地保护政策,将村镇合并进行土地复耕、将杨树林地砍伐后复耕。为保证耕地的可持续发展,应将易耕作撂荒地进行复耕,减少撂荒面积,进一步扩大耕地面积,提高粮食产量。

4.2 结论

(1) 研究区耕地空间分布总体上呈现南多北少、东多西低特征。耕地各类型面积比例大小关系为:旱梯田>水浇地>旱平地>旱坡地>撂荒地,其中旱坡地、旱梯田易发生水土流失。

(2) 地理探测器结果表明,耕地类型与地貌类型、坡度和土壤类型分布规律表现出较高的一致性,地貌形态类型与坡度、土壤类型产生交互时,其协同作用最明显。

(3) 2019—2021 年,研究区耕地面积持续减少,共减少了 4.73 km²。从转出情况看,主要是多由旱梯田、旱坡地、旱平地、水浇地转化为建设用地,其次为

旱平地转为河湖库塘,旱坡地和水浇地转为交通运输用地,转出区域主要在城镇周边,与当地城市化建设密不可分。转出的耕地类型水土流失面积比例相对较小,且水土流失强度均为轻度,从转入情况看,主要是建设用地、林地转化为旱平地,转入区域离城镇相对较远,与响应耕地保护政策有关。耕地变化易发生在低丘陵,坡度 2°~5°,土壤为棕壤的区域,转出的多为质量较好的耕地。

[参 考 文 献]

[1] 王文旭,曹银贵,苏锐清,等.我国耕地变化驱动力研究进展:驱动因子与驱动机理[J].中国农业资源与区划,2020,41(7):21-30.

[2] 卫新东,林良国,罗平平,等.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.

[3] Li Huan, Wu Yuzhe, Huang Xianjin, et al. Spatial-temporal evolution and classification of marginalization of cultivated land in the process of urbanization [J]. Habitat International, 2017,61:1-8.

[4] 代仁丽,钟九生,江丽,等.基于地理探测器的铜仁市耕地分布特征及驱动因子探究[J].科学技术与工程,2021,21(28):12072-12079.

[5] 王媛玲,刘文鹏,纪广韦,等.山东低山丘陵土地整治区耕地生态价值评价[J].农业工程学报,2013,29(S1):244-250.

[6] 侯青青,陈英,裴婷婷,等.近 25 年来甘肃省耕地资源时空变化及其影响因子[J].干旱区研究,2022,39(3):955-967.

[7] 刘涛,史秋洁,王雨,等.中国城乡建设占用耕地的时空格局及形成机制[J].地理研究,2018,37(8):1609-1623.

[8] 袁承程,张定祥,刘黎明,等.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.

[9] 罗芳,潘安,陈忠升,等.四川省宜宾市耕地时空格局变化及驱动力分析[J].水土保持通报,2021,41(6):336-344.

[10] 张扬,周忠发,黄登红,等.喀斯特山区耕地时空演变与影响因子分析[J].农业工程学报,2020,36(22):266-275.

[11] 李辉丹,史东梅,夏蕊,等.基于地理探测器的重庆坡耕地时空格局演变特征及驱动机制[J].农业工程学报,2022,38(12):280-290.

[12] 杨懿,高华端,王群,等.多因素影响下的喀斯特山区坡耕地分布特征:以贵阳市花溪区为例[J].水土保持研究,2022,29(1):361-367.

[13] 冯茂秋,潘洪义,朱芳,等.不同撂荒耕地类型空间格局及影响因素研究:以德阳市中江县为例[J].西南农业学报,2018,31(6):1260-1266.

[14] 王祯,吴金华,白帅,等.延安市坡耕地资源时空变化及其土壤侵蚀效应[J].水土保持研究,2022,29(3):1-11.

- [22] 王学,李秀彬.土地细碎化和种植制度对华北平原农户粮食生产及其效率的影响:基于河北省沧县的案例分析[J]. 资源与生态学报,2020,11(6):580-588.
- [23] 王媛媛,刘颖,蒯昊,等.土地细碎化、耕地地力对粮食生产效率的影响:基于江汉平原 354 个水稻种植户的研究[J].资源科学,2017,39(8):1488-1496.
- [24] 信桂新,程相友,杨朝现,等.成渝经济区农地适度规模经营方式及其环境效应差异比较[J].西南大学学报(自然科学版),2020,42(2):86-98.
- [25] 张倩,吕开宇,张怀志.农地流转会导致土壤肥力下降吗:基于四省种粮大户测土结果的实证研究[J].中国农业资源与区划,2019,40(2):31-39.
- [26] 罗必良,仇童伟.中国农业种植结构调整:“非粮化”抑或“趋粮化”[J].农业经济问题,2018(2):39-51.
- [27] 匡远配,唐文婷.中国农业资本深化问题研究[J].农业经济问题,2015,36(10):60-68,111-112.
- [28] 李德山,苟晨阳.环境规制对西部地区水资源利用效率的影响研究:基于产业部门和资源依赖度异质性视角[J].地理科学,2021,41(12):2203-2212.
- [29] 张峰,宋晓娜,薛惠锋.环境规制、技术进步与工业用水强度的脱钩关系与动态响应[J].中国人口·资源与环境,2017,27(11):193-201.
- [30] 刘应元,冯中朝,李鹏.中国生态农业绩效评价与区域差异[J].经济地理,2014,34(3):24-29.
- [31] 南纪琴,王景雷,陶国通,等.西北旱区农业水土资源匹配格局研究[J].灌溉排水学报,2015,34(5):41-45.
- [32] 樊慧丽,付文阁.水足迹视角下我国农业水土资源匹配及农业经济增长:以长江经济带为例[J].中国农业资源与区划,2020,41(10):193-203.
- [33] 吴昊旻,胡宜挺.完善我国农村土地流转制度:SICP 范式、路径及其内涵[J].西北农林科技大学学报(社会科学版),2014,14(5):14-20.
- [34] 冯浩源,石培基,周文霞.水资源管理“三条红线”约束下的城镇化水平阈值分析:以张掖市为例[J].自然资源学报,2018,33(2):287-301.
- [35] 李江,毛瑞男.农村劳动人口转移对农业生产效率与经营效率的影响:基于省级面板数据的 DEA-Tobit 两阶段法的分析[J].人口学刊,2021,43(3):100-112.
- [36] 郭萍,赵敏,张妍,等.基于水足迹的河套灌区多目标种植结构优化调整与评价[J].农业机械学报,2021,52(12):346-357.
- [37] 莫亚琳,苏城艺,覃焕,等.农地流转如何提升农业全要素生产率:基于我国省级面板数据的实证检验[J].广西社会科学,2021,No.315(9):80-88.
- [38] 陈菁,孔祥智.土地经营规模对粮食生产的影响:基于中国 13 个粮食主产区农户调查数据分析[J].河北学刊,2016,36(3):122-128.
- [39] 陈雨生,陈志敏,江一帆.农业科技进步和土地改良对我国耕地质量的影响[J].农业经济问题,2021(9):132-144.
- [40] 郭阳,徐志刚.耕地流转市场发育、资源禀赋与农地规模经营发展[J].中国农村经济,2021(6):60-75.
- [41] 钱龙,冯永辉,钱文荣.农地确权、调整经历与农户耕地质量保护行为:来自广西的经验证据[J].农业技术经济,2021(1):61-76.
- [42] 彭立,邓伟,谭静.横断山区水土资源利用与经济增长的匹配关系[J].地理学报,2020,75(9):1996-2008.
- [43] 邹伟,崔益邻,周佳宁.农地流转的化肥减量效应:基于地权流动性与稳定性的分析[J].中国土地科学,2020,34(9):11-13.

(上接第 219 页)

- [15] 王秀兰,包玉海.[J].地理科学进展,1999,18(1):83-89.
- [16] Yu B, Rosewell C. A robust estimator of the R-factor for the universal soil loss equation [J]. Transactions of the Asae, 1996,39(2):559-561.
- [17] Keli Zhang, Li Lian, Zhuodong Zhang. Reliability of soil erodibility estimation in areas outside the US: a comparison of erodibility for main agricultural soils in the US and China [J]. Environmental Earth Sciences, 2016,75(3):252.
- [18] 张科利,彭文英,杨红丽.中国土壤可蚀性值及其估算[J].土壤学报,2007,44(1):7-13.
- [19] 符素华,刘宝元,周贵云,等.坡长坡度因子计算工具[J].中国水土保持科学,2015,13(5):105-110.
- [20] 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.
- [21] 梁鑫源,李阳兵.三峡库区规模农地时空变化特征及其驱动机制[J].地理学报,2018,73(9):1630-1646.
- [22] 常玉畅,张天柱,张凤荣,等.赣东山地丘陵区耕地细碎化时空变异与驱动因子探析:以江西省万年县为例[J].水土保持研究,2021,28(3):264-271.
- [23] 曹银贵,袁春,周伟,等.中国耕地变化的驱动因子及其省域差异分析[J].中国土地科学,2008(2):17-22.
- [24] Wang Hua, Zhu Yuxin, Wang Mengyu et al. 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(Tiis), 2021,15(2):767-785.