

卫新东,关嘉敏,冯小龙,等. 秦岭陕西段耕地质量时空变化特征及其驱动力[J]. 地球科学与环境学报, 2023, 45(2): 350-361.

WEI Xin-dong, GUAN Jia-min, FENG Xiao-long, et al. Spatial-temporal Change Characteristics of Cultivated Land Quality in Shaanxi Section of Qinling, China and Their Driving Forces[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2023, 45(2): 350-361.

DOI: 10.19814/j.jese.2022.05006

·《地球科学与环境学报》更名二十周年纪念专辑·

秦岭陕西段耕地质量时空变化特征及其驱动力

卫新东^{1,2,3}, 关嘉敏¹, 冯小龙⁴, 王筛妮^{1,2,3*}, 赵彦斌¹, 张宇¹, 孔德豪¹

(1. 长安大学土地工程学院, 陕西西安 710054; 2. 陕西省土地整治重点实验室, 陕西西安 710054;
3. 自然资源部退化及未利用土地整治工程重点实验室, 陕西西安 710054;
4. 陕西省国土整治中心, 陕西西安 710082)

摘要:为深入研究秦岭耕地资源环境变化规律,基于动态度模型、区位指数、重心迁移模型以及地理探测器等方法,采用陕西省2005~2019年1:10 000县级年度耕地质量等别更新评价以及统计年鉴数据,探究秦岭陕西段6个市、39个县(市、区)、353个乡镇的耕地质量时空变化格局和驱动机制。结果表明:①在时间上,秦岭陕西段在2005~2010年、2010~2015年、2015~2019年间耕地资源数量有所减少,且年平均减少率分别为0.45%、0.12%、0.20%,耕地数量变化趋于平稳,耕地质量等别平均值为10.98,相比陕西省耕地质量等别平均值(11.34)略高,相比全国耕地质量等别平均值(9.96)还处于较低的水平;②在空间上,2005~2019年秦岭陕西段耕地质量呈现出靠近关中平原的北线与西南线以及中部较高,东部、西部较低分布格局;从区位指数变化来看,自然地理条件较好的西安市和渭南市耕地质量等别较高且为高等地的聚集区,处于陕南地区的汉中市、安康市、商洛市耕地质量较差,中等地、低等地的聚集程度较高;从重心迁移角度来看,高等地重心由周至县迁移至西安市鄠邑区,中等地重心由宁陕县迁移至镇安县,低等地重心由安康市汉滨区迁移至柞水县,然后再迁移至镇安县,坐标迁移量从大到小为低等地、中等地、高等地;③秦岭陕西段耕地质量时空变化的主要驱动力是人类活动,各驱动因子交互作用后解释力增强,共同影响秦岭陕西段耕地质量的变化。

关键词:土地利用;耕地质量;时空变化;驱动力;耕地保护;秦岭;陕西

中图分类号:S158;F323.21

文献标志码:A

文章编号:1672-6561(2023)02-0350-12

Spatial-temporal Change Characteristics of Cultivated Land Quality in Shaanxi Section of Qinling, China and Their Driving Forces

WEI Xin-dong^{1,2,3}, GUAN Jia-min¹, FENG Xiao-long⁴, WANG Shai-ni^{1,2,3*},
ZHAO Yan-bin¹, ZHANG Yu¹, KONG De-hao¹

(1. School of Land Engineering, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China; 2. Shaanxi Key Laboratory of Land Reclamation Engineering, Xi'an 710054, Shaanxi, China; 3. Key Laboratory of Degradation and Unused Land Rehabilitation Engineering, Ministry of Natural Resources, Xi'an 710054, Shaanxi, China; 4. Shaanxi Provincial Land Consolidation and Rehabilitation Center, Xi'an 710082, Shaanxi, China)

Abstract: The uniqueness, complexity and sensitivity of the geographical environment in Qinling

收稿日期:2022-05-05;修回日期:2022-09-05 投稿网址: <http://jese.chd.edu.cn/>

基金项目:国家科技重大专项项目(2019QZKK0405);自然资源大调查项目(2022610001007238, 2022610001006904)

作者简介:卫新东(1978-),男,陕西咸阳人,长安大学教授,博士研究生导师,工学博士,E-mail: xindongw@chd.edu.cn.

* 通讯作者:王筛妮(1978-),女,陕西咸阳人,长安大学讲师,E-mail: shainiw@chd.edu.cn.

make it a typical area for the study of resource environmental protection and man-land coordination. Therefore, in order to study the changes of cultivated land resources and environment in Qinling, the annual update evaluation and statistical yearbook data of cultivated land quality at 1 : 10 000 county level from 2005 to 2019 in Shaanxi province were adopted based on dynamic attitude model, location index, center of gravity migration model and geographic detector. The spatial-temporal pattern and driving mechanism of cultivated land quality in 6 prefecture-level cities, 39 counties (county-level cities, districts) and 353 towns in Shaanxi section of Qinling were investigated. The results show that ① in terms of time, during 2005—2010, 2010—2015 and 2015—2019, the quantity of cultivated land resource decreases with an average annual decrease rate of 0.45%, 0.12% and 0.20%, respectively; the change of cultivated land quantity tends to be stable with an average quality of 10.98; it is slightly higher than the average of Shaanxi province (11.34) and lower than the national average (9.96); ② spatially, the Shaanxi section of Qinling shows a distribution pattern of high cultivated land quality in the north line and southwest line near Guanzhong plain, and in the central area, while low cultivated land quality in the east and west from 2005 to 2019; according to the changes of location index, Xi'an and Weinan cities with better natural geographical conditions have higher cultivated land and are the aggregation areas of high-quality cultivated land, while Hanzhong, Ankang and Shangluo cities in the southern Shaanxi have poorer cultivated land quality and a higher aggregation degree of middle- and low-quality cultivated land; according to the center of gravity migration, the center of gravity of the high-quality cultivated land transfers from Zhouzhi county to Huyi district of Xi'an city, that of the middle-quality cultivated land transfers from Ningshan county to Zhen'an county, that of the low-quality cultivated land transfers from Hanbin district of Ankang city to Zhashui county, and then to Zhen'an county; coordinate migrations of cultivated land are low-quality, middle-quality and high-quality in descending order; ③ the main driving factor of spatio-temporal change of cultivated land quality in Shaanxi section of Qinling is human activity; the interaction of each factor enhances the explanatory power, and jointly affects the change of cultivated land quality in Shaanxi section of Qinling. The research results provide scientific basis for further implementation of cultivated land resources, ecological environment protection and rural revitalization in Qinling.

Key words: land use; cultivated land quality; spatial-temporal change; driving force; cultivated land protection; Qinling; Shaanxi

0 引言

秦岭南北地形、气候、温度的差异,使其成为中国重要的生态安全屏障和南北地理分界线^[1-2],具有调节气候、保持水土、涵养水源、维护生物多样性等诸多功能^[3]。耕地是自然条件和人类活动的自然历史综合体,也是人类活动影响最深刻的土地利用类型,研究耕地数量、质量变化是研究秦岭地区生态保护和一体化修复的重要方向之一。因此,研究秦岭耕地质量时空变化特征及其驱动力,对协调人地关系、保护耕地、制定生态修复政策等具有参考价值与实际意义。

秦岭资源环境变化和土地资源保护研究是当前学术界热点,但目前对秦岭耕地资源方面的研究较少。相关专家学者对秦岭地区的研究主要集中在生态环境^[4-6]、气候变化^[7-8]等方面。例如,崔国屹等基于土地利用数据,在秦岭土地利用变化以及生态环境方面进行了研究,得出秦岭地区影响生态环境的主要因素是土地利用类型的转换^[9];张勇等通过分析秦岭生态环境保护的现状,提出了生态环境治理对策^[10];齐贵增等基于气象站点数据分析了秦岭地区春季气候时空变化特征和未來气候变化趋势,为后续秦岭耕地资源时空变化研究奠定了基础^[11]。相关学者从不同行政层面对耕地质量时空变化进行

了研究,大多基于对数据进行分析研究耕地质量理论体系构建^[12-13]、耕地数量和质量^[14-15]及功能时空演变^[16-18]等。例如,程维明等基于遥感数据,从国家层面对中国耕地质量面积和空间分布格局进行研究^[19];卫新东等基于社会经济面板数据,从省域层面分析了陕西省耕地质量多功能耦合协调关系的时空变化格局及驱动机制^[20];宋林韩利用遥感数据,分析了陕西省耕地质量时空变化特征及影响因素^[21]。综上所述,众多学者对耕地时空变化以国家、省域层面展开了广泛研究,对具体到乡镇层面的研究较少;秦岭耕地质量时空变化以及对耕地驱动力分析方面的研究也较为少见,对秦岭耕地质量管护方面研究明显不足。

基于此,本文从乡镇层面,以县级为研究单元,基于陕西省 2005~2019 年 1:10 000 县级年度耕地质量等别更新评价数据以及统计年鉴,以秦岭陕西段所在的 6 个市、39 个县(市、区)、353 个乡镇为研究区,使用动态度模型、面积加权平均、区位指数、重心迁移模型以及地理探测器等方法,分析了 2005~2010 年、2010~2015 年、2015~2019 年、2005~2019 年等 4 个时间段耕地数量、质量时空变化程度及变化率,讨论了不同等别耕地地区位指数(即空间聚集程度)、耕地质量等别重心迁移轨迹以及驱动力,并探讨了其时空变化、空间格局形成原因,综合研究了秦岭陕西段耕地质量时空变化特征,为秦岭资源环境保护提供有力依据。

1 研究区概况、数据来源与分析方法

1.1 研究区概况

秦岭陕西段西起嘉陵江,东与伏牛山相接,经度范围为 105°30'E~110°05'E,纬度范围为 32°40'N~34°35'N^[22],是暖温带和北亚热带之间的过渡区^[23],高山、丘陵、盆地均有分布,平均海拔在 1 000 m 以上,最高海拔为 3 771.2 m。秦岭陕西段研究范围东、西边界为陕西省界,南、北边界以秦岭山体坡底为界,涉及 6 个市、39 个县(市、区)[13 个县(市、区)所辖的全部行政区及 26 个县(市、区)所辖的部分行政区]、353 个乡镇,人口超过 480 万,总面积达 5.82×10^4 km²,耕地占地面积约为 7 877 km²,占总面积的 13.53%(图 1)。

1.2 数据来源

分析数据包括 4 类:①耕地质量等别数据,来源于 2005~2019 年 1:10 000 陕西省乡镇级耕地质量等别数据库(2005 年开始陕西省进行农用地分

等,且每年进行更新评价,因此,以 2005 年作为研究起始年);②矢量数据,来源于陕西省土地变更调查数据库,秦岭陕西段县级乡镇边界数据由陕西省乡镇边界 2014 年矢量数据处理得出;③栅格数据,来源于中国科学院资源环境科学与数据中心(网址为 <https://www.resdc.cn>),包括归一化植被指数(NDVI)、土地利用类型、气温、降水量等数据;④数字高程模型(DEM)数据,来源于地理空间数据云(网址为 <https://www.gscloud.cn/search>)。

1.3 分析方法

1.3.1 动态度模型

通过对耕地资源平均变化率的计算,得出研究时段内的耕地资源变化程度^[24],即耕地资源平均变化的比率。其表达式为

$$R = \frac{A_b - A_a}{A_a} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (1)$$

式中: R 为耕地资源平均变化率; A_a 为研究区初期耕地面积, A_b 为研究区末期耕地面积; T 为时间段。

1.3.2 面积加权平均法

运用面积加权平均法统计 1 等别至 15 等别总面积,通过面积加权计算耕地质量等别平均值^[25]。其表达式为

$$Q = \frac{\sum_{j=j_{\min}}^{j=j_{\max}} j \times S_j}{S_{\text{total}}} \quad (2)$$

式中: Q 为耕地质量等别平均值; j 为耕地质量等别; j_{\min} 为最低耕地质量等别; j_{\max} 为最高耕地质量等别; S_j 为第 j 等别耕地面积; S_{total} 为耕地总面积。

1.3.3 区位指数

区位指数可以展示秦岭陕西段耕地质量等别在陕西省的空间聚集程度^[26]。其表达式为

$$N_{ij} = \frac{L_{ij}/S_j}{\sum_{i=1}^s L_{ij}/\sum_{i=1}^s S_i} \quad (3)$$

式中: N_{ij} 为第 i 个地区第 j 等别耕地的区位指数; L_{ij} 为第 i 个地区第 j 等别耕地的面积; s 为地区个数; S_i 为第 i 个地区的耕地面积。

1.3.4 重心迁移模型

重心的移动反映了在社会经济发展中要素空间聚集程度以及位移规律^[27]。计算耕地各时期的重心坐标,可得出秦岭陕西段耕地质量变迁过程。其表达式为

$$Y_{(f,t)} = \frac{\sum_{x=1}^n (M_{(x,t)} \cdot Y_{(x,t)})}{\sum_{x=1}^n M_{(x,t)}} \quad (4)$$

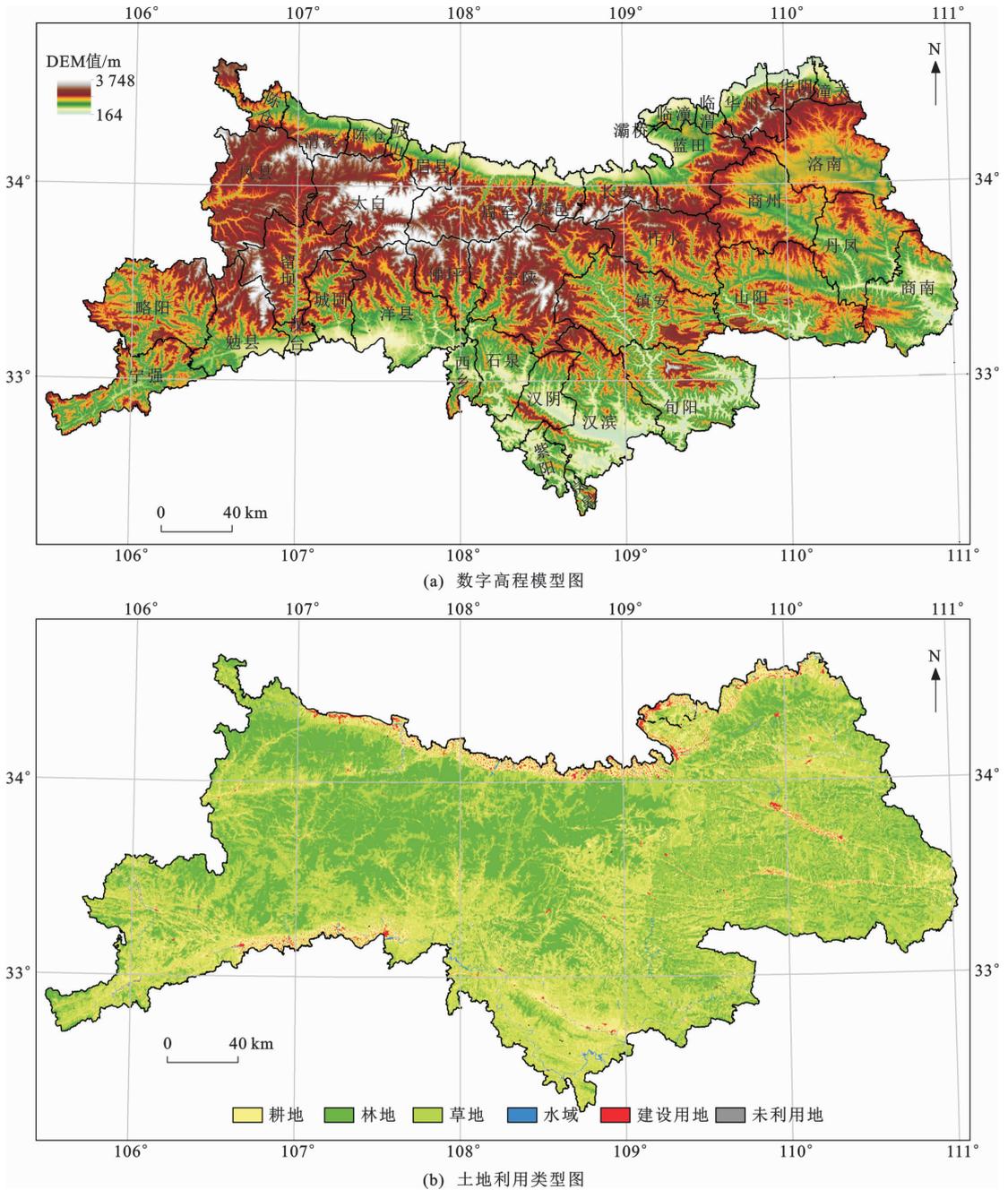


图 1 秦岭陕西段 2019 年数字高程模型图和土地利用类型图

Fig. 1 Maps of DEM and Land Use Type in Shaanxi Section of Qinling in 2019

$$Z_{(f,t)} = \frac{\sum_{x=1}^n (M_{(x,t)} \cdot Z_{(x,t)})}{\sum_{x=1}^n M_{(x,t)}} \quad (5)$$

式中: $Y_{(f,t)}$ 、 $Z_{(f,t)}$ 为 t 时间耕地类型为 f 的坐标, $Y_{(f,t)}$ 为经度, $Z_{(f,t)}$ 为纬度; n 为 t 时间耕地类型为 f 的图斑数量; $M_{(x,t)}$ 为 t 时间耕地类型为 f 的第 x 个图斑的面积; $Y_{(x,t)}$ 、 $Z_{(x,t)}$ 为 t 时间耕地类型为 f 的第 x 个图斑的坐标, $Y_{(x,t)}$ 为经度, $Z_{(x,t)}$ 为纬度。

1.3.5 地理探测器

地理探测器是一种统计学方法,用来探测地理

要素空间分异性及其驱动因子的相互影响^[28]。其主要利用因子探测器和交互探测器,从自然条件和社会条件两个方面来进行定量分析。其计算公式为

$$q = 1 - \frac{\sigma_{SSW}}{\sigma_{SST}} = 1 - \frac{\sum_{h=1}^L N_h \sigma_h^2}{N \sigma^2} \quad (6)$$

式中: q 表示影响因子解释了 $100 \times q\%$ 的因变量; σ_{SSW} 为层内方差和; σ_{SST} 为全区总方差; L 是变量 Y 或者因子 X 的分类; N_h 是第 h 层的单元数; N 是全区的单元数; σ_h^2 是第 h 层的 Y 值方差; σ^2 是全区的 Y 值方差。

q 取值范围是 $[0, 1]$, q 取值越大说明造成耕地变化 Y 的空间分异性就越明显。如果是因为因子 X 造成的, q 越大就表明因子 X 对耕地变化属性 Y 的解释力就越强, 否则越弱。

2 结果分析

2.1 耕地数量变化特征

利用动态度模型, 本文分别以地级市为单位统计各地级市纳入秦岭保护区范围的耕地面积变化率以及从时间角度统计 2005 年、2010 年、2015 年、2019 年秦岭陕西段耕地质量等别面积变化及变化率。

2.1.1 空间变化

2005 年、2010 年、2015 年、2019 年的平均耕地面积可以表达耕地资源丰富程度。通过比较得知, 纳入秦岭陕西段各地级市耕地资源丰富程度由高到低依次为安康市、商洛市、汉中市、西安市、宝鸡市、渭南市(图 2)。

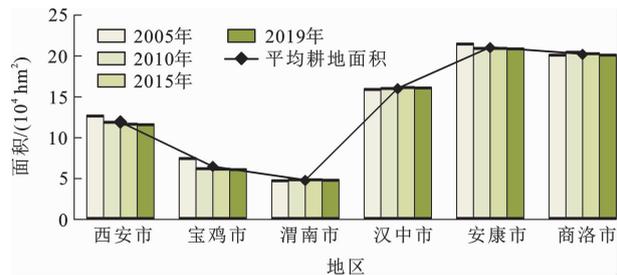


图 2 各市耕地资源丰富程度

Fig. 2 Richness of Cultivated Land Resources in Each City

从耕地资源平均变化率来看, 秦岭陕西段耕地资源数量均呈现减少态势。其中, 2005~2010 年耕地数量减少率较高, 年平均减少率为 0.45%。宝鸡市耕地下降率最高, 达 3.30%, 这是因为宝鸡市积极开展实施退耕还林还草项目; 其次是西安市, 耕地下降率为 1.26%, 这是因为随着人口的不断增加, 城市建设不断占用耕地, 使之面积减少, 其他地级市变化幅度不大。2010~2015 年, 秦岭陕西段耕地资源数量年平均减少率有所降低, 除汉中市由于耕地占补平衡、开展土地整治使耕地有所增加外, 受生态退耕的影响, 其他地级市耕地均呈现下降态势。2015~2019 年, 秦岭陕西段各地级市均呈现耕地数量减少的趋势, 生态退耕仍然是耕地减少的主要原因, 并且之前生态退耕减少面积比例大(表 1)。

2.1.2 时间变化

《中国耕地质量等级调查与评定(全国卷)》对中国耕地质量等别划分为 4 种类型 15 等别^[29]。其

表 1 各市耕地资源数量平均变化率

Table 1 Average Change Rates of Quantity of Cultivated Land Resources in Each City

地区	不同时间段耕地资源数量平均变化率			
	2005~2010年	2010~2015年	2015~2019年	2005~2019年
西安市	-1.26%	-0.34%	-0.28%	-0.67%
宝鸡市	-3.30%	-0.25%	-0.49%	-1.44%
渭南市	0.75%	-0.19%	-0.19%	0.17%
汉中市	0.18%	0.11%	-0.13%	0.08%
安康市	-0.49%	-0.02%	-0.11%	-0.22%
商洛市	0.38%	-0.21%	-0.24%	0.01%
秦岭陕西段	-0.45%	-0.12%	-0.20%	-0.26%

中, 1 等别至 4 等别是优等地, 5 等别至 8 等别是高等地, 9 等别至 12 等别是中等地, 13 等别至 15 等别是低等地。本文结合优等地、高等地、中等地、低等地资源数量对秦岭陕西段耕地质量进行综合分析。由于秦岭陕西段内不存在优等地, 所以本文不对优等地开展分析。

通过运用动态度模型, 结合高等地、中等地、低等地等 3 种类型的耕地面积, 分析其在 2005~2010 年、2010~2015 年、2015~2019 年和 2005~2019 年等 4 个时间段的分布及变化情况。结果表明: 2005~2010 年, 秦岭陕西段中等地、低等地面积基本不变, 高等地面积有明显减少, 年平均减少率为 3.43%, 这是因为高等地往往存在于区位条件较好的地区, 城镇化水平的提高会将这些耕地转为建设用地; 2010~2015 年, 高等地面积增加, 中等地及低等地面积减少, 这是由于在此期间耕地占补平衡政策以及土地整治项目等的实施; 2015~2019 年, 高等地、中等地、低等地等 3 种类型的耕地面积逐渐趋于平稳, 说明秦岭陕西段耕地数量逐渐变化平稳; 2005~2019 年, 中等地面积略有增长, 增长率为 0.34%, 高等地和低等地面积呈现不同水平的减少, 分别为 1.54%、1.23%(图 3)。

2.2 耕地质量变化特征

2.2.1 等别变化

运用面积加权平均法计算秦岭陕西段的市域、县域尺度在 2005 年、2010 年、2015 年、2019 年的耕地质量等别平均值, 以及 2005~2019 年耕地质量等别变化状况。

(1) 市域耕地质量等别变化情况(表 2)。在时间上, 2005~2019 年秦岭陕西段耕地质量等别平均值表现为先降低、后略有升高。在空间上, 耕地质量等别最高的地区为渭南市, 耕地质量等别平均值为

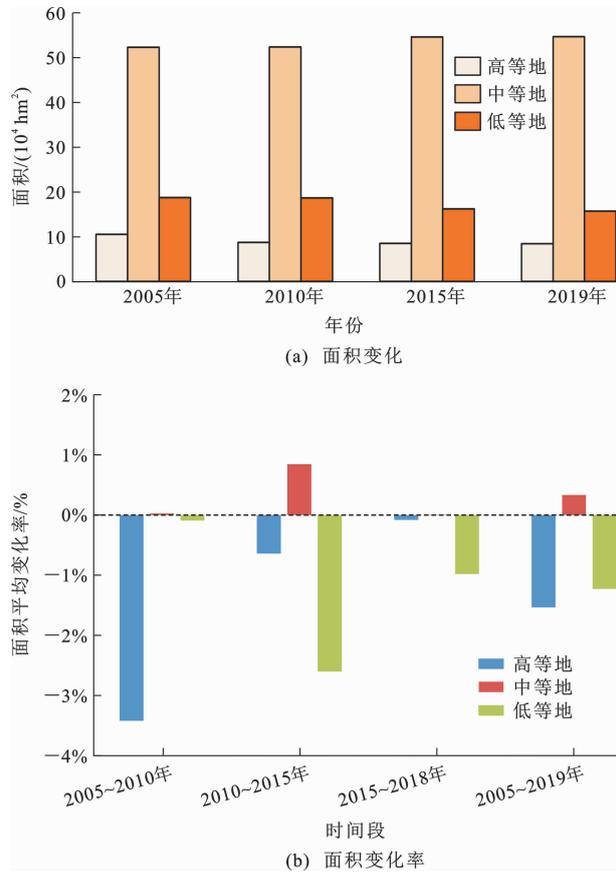


图3 耕地质量等别面积变化和变化率

Fig. 3 Changes and Rates of Cultivated Land Quality

8.90;其次为西安市,耕地质量等别平均值为9.10。这是因为西安市与渭南市处于关中平原,其自然资源条件较好,气候适宜,土壤肥沃,光照充足。宝鸡市陈仓区、渭滨区、岐山县、眉县也均属于关中平原,因此,宝鸡市平均耕地质量等别平均值也相对较好。汉中市和安康市耕地质量等别较低,耕地质量等别平均值分别为10.84、11.36,二者均处于陕南地区,区内虽然降雨量充沛,但是其地形复杂,不利于机械化作业,一定程度上影响了耕地质量等别。商洛市整体属于秦岭地区,分布在陕南秦巴中高山区与商洛山地丘陵区,地质、地形地貌结构均十分复杂,粮食生产条件差,交通不方便,耕地产量低,耕地质量等别平均值较低。同时,光温、气候生产潜力也在一定程度上影响耕地质量。在时空变化上,2005~2019年秦岭陕西段安康市、渭南市耕地质量有所提升,宝鸡市、西安市、汉中市、商洛市耕地质量降低。

(2) 县域耕地质量等别变化情况。在时间上,2005~2010年耕地质量变化较明显,2010~2015年耕地质量变化不大,2015~2019年耕地质量变化较小。这主要是因为在此期间陕西省出台了秦岭生态环境保护相关政策,开展了退耕还林还草工程,保护

了秦岭生态环境。在空间上,秦岭陕西段北线、西南线及连接二者的中部地区县域耕地质量较高,秦岭陕西段东部、西部地区县域耕地质量较低。在时空变化上,2005~2019年,秦岭陕西段有27个县耕地质量下降,12个县耕地质量提升。秦岭中部、东北部的渭南市华州区、华阴市,西南部的宁强县、汉中市汉台区耕地质量提升幅度较大。秦岭西部以及东北部的西安市灞桥区、西安市临潼区、渭南市临渭区、潼关县、洛南县耕地质量明显降低。这种分布格局主要是在降水和气温等自然条件的影响下形成的,秦岭以北自然条件较好,耕地质量较高。本文利用ArcGIS软件对2005~2019年秦岭陕西段县域耕地质量进行了可视化表达(图4)。

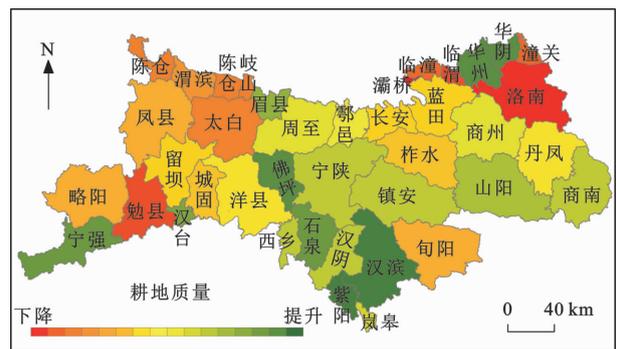


图4 2005~2019年耕地质量变化

Fig. 4 Change of Cultivated Land Quality from 2005 to 2019

表2 各市耕地质量等别变化

Table 2 Changes of Cultivated Land Quality in Each City

地区	不同年份耕地质量等别平均值				
	2005年	2010年	2015年	2019年	2005~2019年
西安市	8.80	9.19	9.20	9.21	9.10
宝鸡市	10.08	10.60	10.64	10.61	10.48
渭南市	9.00	8.86	8.87	8.87	8.90
汉中市	10.66	10.87	10.92	10.92	10.84
安康市	11.75	11.23	11.24	11.24	11.36
商洛市	12.09	12.65	12.52	12.49	12.44
秦岭陕西段	10.86	11.03	11.02	11.01	10.98

2.2.2 区位指数变化

运用区位指数分析研究秦岭陕西段在2005年、2010年、2015年、2019年的耕地质量聚集程度,计算结果见表3。西安市和渭南市主要是高等地(5、6、7等别)的聚集区;宝鸡市和汉中市高等地(7、8等别)、中等地(9、10等别)聚集程度较高;安康市和商洛市中等地(11、12等别)、低等地(13、14等别)聚集程度较高。

表3 各市耕地质量等别区位指数
Table 3 Location Indexes of Cultivated Land Quality in Each City

地区	年份	不同等别耕地区位指数									
		5等别	6等别	7等别	8等别	9等别	10等别	11等别	12等别	13等别	14等别
西安市	2005年	6.5018	5.7732	3.0307	2.4040	2.8644	1.2229	0.5449	0.1046		
	2010年	6.7850	3.7009	2.4625	2.4668	2.2881	2.1046	0.9849	0.2105	0.0203	
	2015年	6.8258	3.6202	2.8616	2.2645	2.3084	2.1108	0.9712	0.1942	0.0241	
	2019年	6.8400	3.5971	2.7609	2.2851	2.3408	2.1075	0.9468	0.1951	0.0244	
宝鸡市	2005年		1.0056	0.9794	1.4830	1.7869	1.4419	1.0468	0.9509	0.1525	
	2010年			1.0788	2.7803	2.0916	0.4826	1.1040	0.6465	0.9272	0.4639
	2015年			0.4190	3.1747	2.0913	0.4919	1.1043	0.6013	1.0862	0.3035
	2019年			0.8951	3.1134	1.9580	0.4844	1.0897	0.6582	1.0288	0.3081
渭南市	2005年			2.7485	3.0199	2.4618	1.5614	0.8243	0.0301		
	2010年		7.3437	4.4861	0.7783	2.6752	0.6953	1.0452	0.4083		
	2015年	0.0909	7.6595	4.5392	0.7900	2.6598	0.7100	1.0380	0.3712		
	2019年	0.0928	7.7319	4.3945	0.7961	2.6987	0.7006	1.0094	0.3700		
汉中市	2005年		0.1118	1.3207	1.3194	0.9085	1.5281	0.6441	0.8327	0.9805	
	2010年		0.0805	1.4002	1.1269	1.0936	1.6327	1.0623	0.7751	0.8415	1.4418
	2015年		0.0827	1.3566	1.1391	1.1066	1.6353	1.0427	0.6724	0.8806	2.8307
	2019年		0.0824	1.2960	1.1524	1.1254	1.6331	1.0203	0.6690	0.9026	2.8090
安康市	2005年			0.1364	0.2743	0.2409	0.5062	1.6540	1.4094	1.3971	0.0787
	2010年			0.0259	0.5798	0.4721	1.0159	1.7548	1.7655	0.1048	
	2015年			0.0267	0.5745	0.4634	1.0132	1.7064	1.6113	0.1247	
	2019年			0.0265	0.5761	0.4659	1.0114	1.6751	1.6031	0.1274	
商洛市	2005年					0.0877	0.6793	0.8912	1.4978	1.7601	3.9995
	2010年					0.0029	0.0780	0.1459	1.0933	2.8612	2.6499
	2015年					0.0027	0.0648	0.2125	1.3579	2.7675	1.5951
	2019年					0.0020	0.0729	0.2851	1.3491	2.7676	1.6085

从2005年、2010年、2015年、2019年等4个年份来看,西安市和渭南市是秦岭陕西段内耕地质量最高的区域,为高等地的聚集区,在2010~2019年出现了少量13、14等别耕地,这是因为随着社会经济的发展,城市建设不断占用大量耕地,而在耕地占补平衡时,往往补充的耕地质量较低,这也就造成了耕地质量的下降。宝鸡市和汉中市耕地质量等别分布在6等别至14等别。宝鸡市除凤县、太白县外,汉中市除佛坪县、留坝县、略阳县、宁强县外,其余秦岭陕西段的县(区、市)农作物熟制均为一年两熟,因此,其聚集程度有高等地、中等地。宝鸡市在2010~2019年耕地区位指数由9等别逐渐向8等别聚集,这是积极开展土地整治以及耕地保护的结果。汉中市在2010~2019年耕地质量出现14等别,而且在2015~2019年14等别耕地区位指数最高。安康市和商洛市中等地、低等地聚集程度较高。这主要是因为汉中市、安康市、商洛市均处于陕南地区,一定程度上由于地形复杂导致其机械化作业难度增加,

同时易发生自然灾害损害部分耕地。

2.2.3 重心迁移

运用重心迁移模型,结合高等地、中等地、低等地等3种类型的耕地质量等别研究2005年、2010年、2015年、2019年等4个年份不同类型耕地的重心坐标,分析秦岭陕西段耕地质量等别的心迁移轨迹(图5)。

在秦岭陕西段内,高等地2005~2010年迁移幅度最大,2005年部分高等地重心坐标位于周至县,经2010年、2015年、2019年迁移到西安市鄠邑区,其余高等地在2005年、2010年、2015年、2019年均位于西安市,位于关中平原,地理位置和气候条件适宜且社会经济发达,因此,西安市是高等地的聚集地。中等地重心坐标在2015年、2019年由宁陕县迁移至镇安县。其中,2005~2010年迁移幅度最大,中等地在2005年、2010年、2015年、2019年的重心迁移表现为由安康市向商洛市迁移,均在陕南地区,由于城市扩张以及山体滑坡等自然灾害的影响以及第

一产业结构的调整,不可避免地导致了耕地质量重心的迁移。低等地由安康市汉滨区迁移至柞水县,然后再迁移至镇安县,迁移距离同样在 2005~2010 年最大,经度向西移动 0.318° ,纬度向南移动 0.402° ,2010~2015 年迁移幅度减小,2015~2019 年有微小的迁移,这是因为自然条件的限制使耕地

质量普遍不高,低等地迁移幅度不大。总体来说,2005~2019 年耕地重心坐标处于不断迁移中,其中 2005~2010 年迁移幅度最大。高等地重心坐标均位于关中平原,中等地、低等地重心坐标位于陕南地区,并且重心坐标迁移量从大到小分别为低等地、中等地、高等地(图 5)。

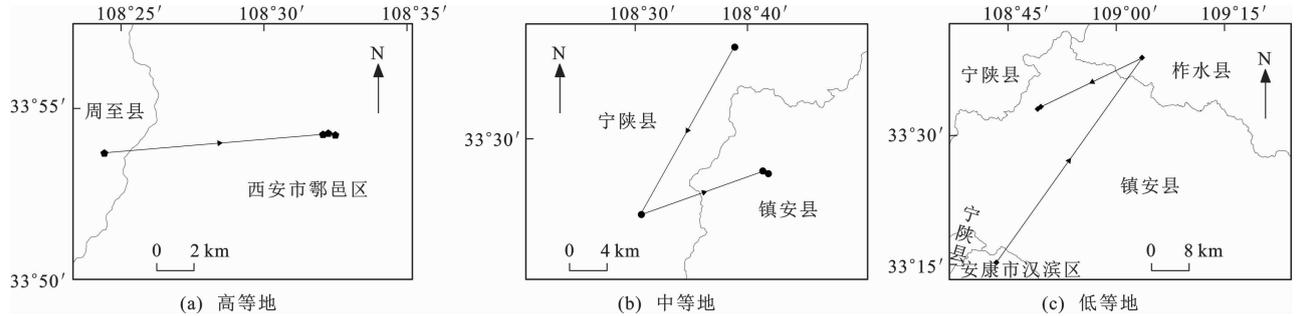


图 5 2005~2019 年耕地质量重心坐标迁移图

Fig. 5 Coordinate Migration Maps of Center of Gravity for Cultivated Land Quality from 2005 to 2019

2.3 耕地质量变化驱动因子特征

2.3.1 驱动因子探测

参考李丹等的研究成果^[30-31],本文选择将耕地质量等级别作为因变量,选取国内生产总值(X1)、人口数量(X2)、乡村人口(X3)、化肥使用量(X4)、农业机械总动力(X5)、粮食总产量(X6)、粮食播种面积(X7)、降水量(X8)、坡度(X9)等 9 个驱动因子为自变量,来探测这些驱动因子对秦岭陕西段耕地质

量时空变化的影响(表 4)。

总体来说,秦岭陕西段耕地质量时空变化主要是由人为因素决定。2005 年和 2010 年耕地质量变化驱动因子具有较强解释力的分别是国内生产总值和化肥使用量;而 2015 年和 2019 年具有较强解释力的是同一个驱动因子,为人口数量。随着时间的变化,人口数量和化肥施用量的 q 值均有所变化,这二者对耕地质量变化均有显著影响。

表 4 耕地质量时空变化单因子探测结果

Table 4 Results of Unifactorial Detection of Spatial-temporal Changes of Cultivated Land Quality

年份	耕地质量时空变化不同驱动因子的 q 值								
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9
2005	0.259 6*	0.162 8*	0.171 2*	0.258 5*	0.135 2	0.156 7	0.082 3	0.099 2	0.211 9*
2010	0.080 9	0.210 2*	0.186 7*	0.301 1*	0.162 1*	0.198 7*	0.076 5	0.075 8	0.079 1
2015	0.034 3	0.211 4*	0.156 8*	0.197 7*	0.189 3*	0.200 1*	0.087 3	0.007 6	0.087 1
2019	0.031 5	0.207 5*	0.169 1*	0.176 9*	0.001 0	0.200 5*	0.021 5	0.028 8	0.085 7

注:*表示通过显著性检验。

2.3.2 驱动因子交互作用探测

耕地质量时空变化是多种因子共同作用的结果。国内生产总值、人口数量、乡村人口、化肥使用量、农业机械总动力、粮食总产量、粮食播种面积、降水量、坡度等 9 个驱动因子对耕地质量时空变化的交互作用表现为两种类型,分别是双因子增强关系和非线性增强关系(图 6)。从图 6 可知:2005 年,国内生产总值、化肥使用量与其他驱动因子交互作用之后解释力增强,随着时间流逝其解释力有所减弱;2010 年和 2015 年,化肥使用量与其他驱动因子交互作用后 q 值均有不同程度的增加,其中 2010 年坡度与化肥使用量的交互作用解释力最强,即 q 值最

大,为 0.451;2019 年,粮食总产量、人口数量与其他驱动因子呈现出较强的交互作用,随着时间流逝其呈现增加趋势。农业技术水平的逐步提高,在一定程度上影响着耕地质量的变化。人口数量的增加导致对粮食需求的增长,因此,对耕地质量和面积的要求也进一步提高以满足生存的需要。单因子中解释力较低的驱动因子在与其他驱动因子交互作用后 q 值明显增大,各驱动因子之间并非独立影响,而是存在着一定联系。交互作用结果进一步验证了人为因素是秦岭陕西段耕地质量时空变化的主要驱动因素,在此基础上与其他因素相互作用共同影响秦岭陕西段耕地质量时空变化。

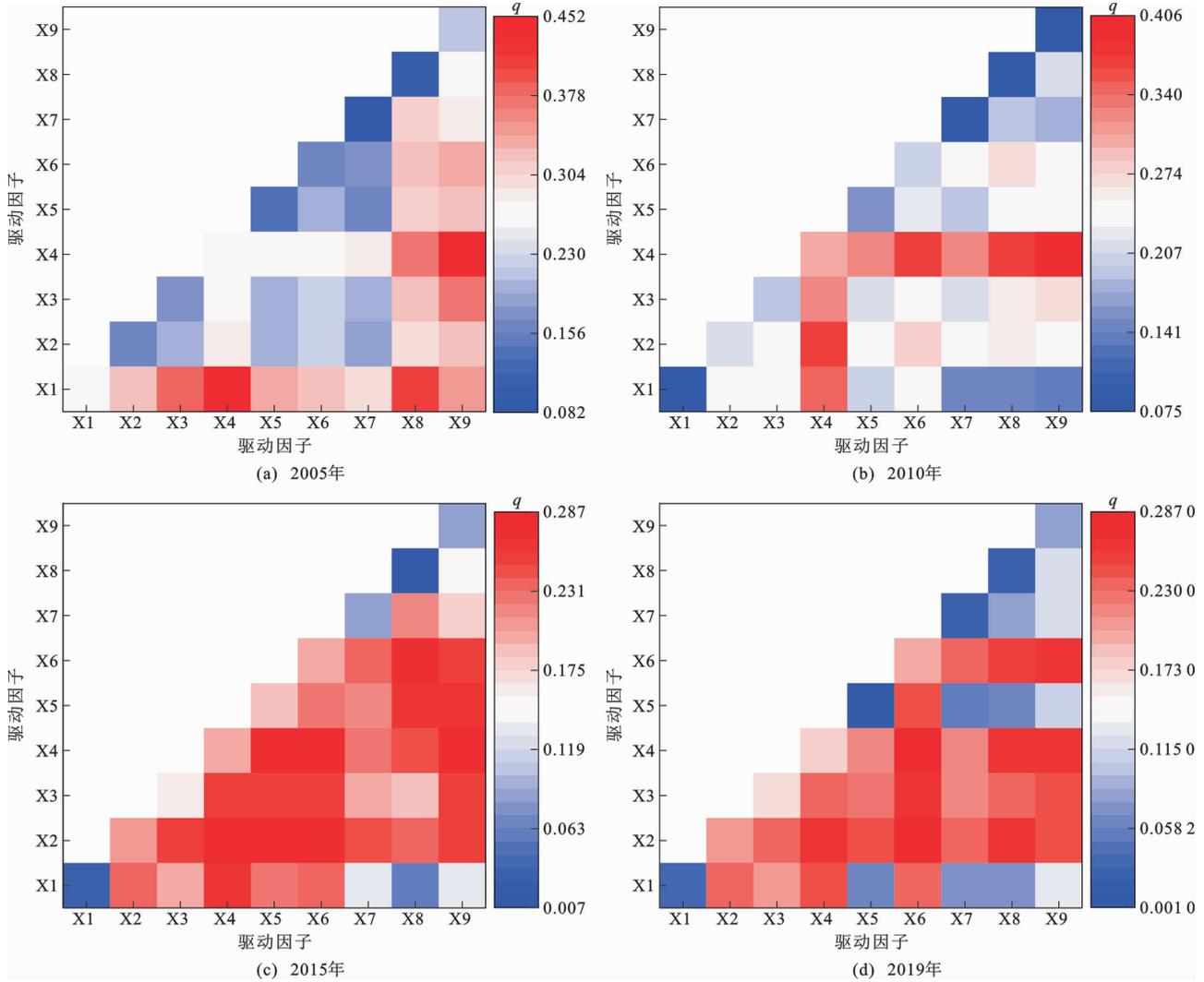


图 6 耕地质量时空变化双因子交互探测结果

Fig. 6 Results of Bifactor Interaction Detection of Spatial-temporal Change of Cultivated Land Quality

3 结论与建议

3.1 结论

(1)在时间变化上,2005~2019年秦岭陕西段耕地资源丰富程度有所降低,年平均降低0.26%,耕地质量等别变化相对比较平稳。从数量方面来说,2005~2010年、2010~2015年、2015~2019年均表现为持续减少的态势,年平均减少率分别为0.45%、0.12%、0.20%,这主要是因为陕西省出台相关政策,实施退耕还林还草工程,以及建设用地不可避免地占用了部分耕地;从质量方面来说,国家近年来一直重视秦岭地区自然生态环境的保护,耕地质量等别变化不大,2005年、2010年、2015年、2019年耕地质量等别平均值分别为10.86、11.03、11.02、11.01。总的来说,秦岭陕西段耕地质量等别相比全国耕地质量等别平均值(9.96)^[29]处于较低水平,耕

地质量等别相比陕西省耕地质量等别平均值(11.34)^[29]略高。

(2)在空间上,2005~2019年秦岭陕西段耕地质量呈现明显不同的分布格局。关中平原自然气候等条件较好,呈现出靠近关中平原的秦岭陕西段北线、西南线以及中部耕地质量较高,东部、西部耕地质量较低的格局。从区位指数变化来说,位于关中平原的西安市和宝鸡市耕地质量等别较高,是高等地聚集区,由于受地形条件和自然灾害等的影响,安康市和商洛市主要为中等地、低等地聚集区;从重心迁移角度来说,随着社会经济的发展,高等地重心由周至县迁向鄠邑区,中等地重心由宁陕县向镇安县迁移,低等地重心由安康市汉滨区向柞水县迁移,再迁向镇安县,坐标迁移量从大到小为低等地、中等地、高等地。

(3)秦岭陕西段耕地质量时空变化是多种驱动

因子共同作用的结果,但主要是受国内生产总值、人口数量以及化肥使用量等3个指标的影响,三者的 q 值均处于前列。随着社会经济的发展,人口逐渐增多,这也就使得粮食的需求逐步增加,从而对耕地的要求也就随之增加。但各个驱动因子之间并非独立影响耕地质量,而是存在联系,相互作用,共同影响。

3.2 建议

(1)不断加大秦岭耕地环境保护力度。进一步实施查处违建问题整治活动,积极开展水土保持、旱改水、农田建设等工程,不断强化秦岭地区保护属地责任,推动秦岭耕地质量提升。

(2)提高人民群众保护秦岭耕地的自觉性和积极性。针对秦岭耕地,通过宣传活动提高人民群众的保护意识。

(3)严格把控18亿亩耕地红线,制定秦岭耕地保护制度并落实,防止秦岭耕地的损毁,提高土地利用效率。

(4)耕地作为秦岭地区人地耦合关系的重要资源环境要素之一,应以新时代生态文明建设的核心理念为指导,研究在人类活动影响下秦岭地区耕地的演变机制,进一步探讨耕地“三位一体”管护的相关措施。同时,本文的驱动因子指标数据搜集到县域尺度,下一步有必要细化驱动力因子到乡镇尺度,更深入探索秦岭陕西段耕地数量、质量的变化原因,使秦岭地区资源环境治理水平不断提升,为生态环境保护和可持续发展提供支撑。

祝贺《地球科学与环境学报》更名二十周年!更名二十年来,贵刊一直秉持着兼容并蓄的学术风格,为广大科研人员提供发表学术论文、参与学术讨论的优秀平台。作为学术交流的重要平台,贵刊积极谋求发展,密切关注理论思潮的热点和应用实践的难点,刊发了一批又一批高水平的学术论文,为培育新人和繁荣学术交流做出了突出贡献!愿贵刊继续驰步学坛,再创新的辉煌!

参考文献:

References:

[1] 苏凯,白红英,张扬,等.基于树轮-气候资料的160多年来秦岭太白山降水变化特征重建[J].生态学杂志,2018,37(5):1467-1475.
SU Kai, BAI Hong-ying, ZHANG Yang, et al. Reconstruction of Precipitation History in Taibai Mountain of Qinling Mountains Based on Tree-ring Width and Meteorological Data in Recent 160 Years[J]. Chinese

Journal of Ecology, 2018, 37(5): 1467-1475.
[2] 李君轶,傅伯杰,孙九林,等.新时期秦岭生态文明建设:存在问题与发展路径[J].自然资源学报,2021,36(10):2449-2463.
LI Jun-yi, FU Bo-jie, SUN Jiu-lin, et al. Ecological Civilization Construction at Qinling Mountains in the New Era[J]. Journal of Natural Resources, 2021, 36(10): 2449-2463.
[3] 宁亚洲,张福平,冯起,等.秦岭水源涵养功能时空变化及其影响因素[J].生态学杂志,2020,39(9):3080-3091.
NING Ya-zhou, ZHANG Fu-ping, FENG Qi, et al. Temporal and Spatial Variation of Water Conservation Function in Qinling Mountain and Its Influencing Factors[J]. Chinese Journal of Ecology, 2020, 39(9): 3080-3091.
[4] 黄建军.秦岭构造带对陕西气候和生态环境的控制作用[J].地球科学与环境学报,2015,37(3):81-86.
HUANG Jian-jun. Control of Qinling Tectonic Zone on Climate and Eco-environment in Shaanxi[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2015, 37(3): 81-86.
[5] 王晓峰,符鑫鑫,楚冰洋,等.秦岭生态屏障产水服务时空演变特征及驱动要素[J].自然资源学报,2021,36(10):2507-2521.
WANG Xiao-feng, FU Xin-xin, CHU Bing-yang, et al. Spatio-temporal Variation of Water Yield and Its Driving Factors in Qinling Mountains Barrier Region[J]. Journal of Natural Resources, 2021, 36(10): 2507-2521.
[6] 张玉凤,李双双,延军平.秦岭—淮南北城市生态安全变化特征及其影响因素[J].长江流域资源与环境,2021,30(11):2736-2745.
ZHANG Yu-feng, LI Shuang-shuang, YAN Jun-ping. Spatiotemporal Variation of Urban Ecological Security and Its Influencing Factors in North and South of Qinling-Huaihe Region, China[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2021, 30(11): 2736-2745.
[7] 刘荷,邓晨晖,邵景安,等.1964~2017年秦岭山地降水时空变化特征及其南北差异[J].水土保持研究,2021,28(2):210-216,223.
LIU He, DENG Chen-hui, SHAO Jing-an, et al. Spatio-temporal Variations of Precipitation and the North-south Differences in the Qinling Mountains from 1964 to 2017[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2021, 28(2): 210-216, 223.
[8] 孟清,白红英,赵婷,等.秦岭山地气候变化的地

- 形效应[J]. 山地学报, 2020, 38(2): 180-189.
- MENG Qing, BAI Hong-ying, ZHAO Ting, et al. Topographic Characteristic of Climate Change in the Qinling Mountains, China [J]. Mountain Research, 2020, 38(2): 180-189.
- [9] 崔国屹, 张艳, 晁阳, 等. 秦岭地区近40年土地利用变化及其生态环境效应[J]. 水土保持研究, 2023, 30(1): 319-326.
- CUI Guo-yi, ZHANG Yan, CHAO Yang, et al. Land Use Change and Eco-environmental Effects in Qinling Mountains in Recent 40 Years [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2023, 30(1): 319-326.
- [10] 张勇, 张龙宇. 陕西秦岭水生态环境存在的问题及治理对策[J]. 陕西水利, 2021(11): 107-108.
- ZHANG Yong, ZHANG Long-yu. Problems and Countermeasures of Water Ecological Environment in Qinling, Shaanxi Province [J]. Shaanxi Water Resources, 2021(11): 107-108.
- [11] 齐贵增, 白红英, 孟清, 等. 1959~2018年秦岭南北春季气候时空变化特征[J]. 干旱区研究, 2019, 36(5): 1079-1091.
- QI Gui-zeng, BAI Hong-ying, MENG Qing, et al. Climate Change in the Qinling Mountains in Spring During 1959-2018 [J]. Arid Zone Research, 2019, 36(5): 1079-1091.
- [12] 孔祥斌, 张蚌蚌, 温良友, 等. 基于要素-过程-功能的耕地质量理论认识及其研究趋势[J]. 中国土地科学, 2018, 32(9): 14-20.
- KONG Xiang-bin, ZHANG Bang-bang, WEN Liang-you, et al. Theoretical Framework and Research Trends of Cultivated Land Quality Based on Elements-process-function [J]. China Land Science, 2018, 32(9): 14-20.
- [13] 钟晓勇, 李洪义, 郭冬艳. 基于产能理论的耕地资源资产经济价值核算路径探讨: 以江西省为例[J]. 中国土地科学, 2022, 36(1): 88-96.
- ZHONG Xiao-yong, LI Hong-yi, GUO Dong-yan. Study on the Accounting Path of Economic Value of Cultivated Land Resource Assets Based on Capacity Theory: A Case Study of Jiangxi Province [J]. China Land Science, 2022, 36(1): 88-96.
- [14] 卫新东, 宋林韩, 王筛妮, 等. 黄河西岸陕西各县市耕地质量时空变化特征及其分异规律[J]. 水土保持研究, 2021, 28(2): 326-334.
- WEI Xin-dong, SONG Lin-han, WANG Shai-ni, et al. Spatial and Temporal Changes and Its Variation of Cultivated Land Quality of Counties and Cities in Shaanxi on the West Bank of the Yellow River [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2021, 28(2): 326-334.
- [15] 欧阳玲, 王宗明, 贾明明, 等. 基于遥感的吉林省中西部耕地数量和质量空间格局变化分析[J]. 农业工程学报, 2016, 32(13): 234-242.
- OUYANG Ling, WANG Zong-ming, JIA Ming-ming, et al. Spatial Pattern Analysis on Quantity and Quality of Cultivated Land in Mid-west Jilin Province Based on Remote Sensing [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2016, 32(13): 234-242.
- [16] 姜艳, 杨淳棉, 聂艳, 等. 湖北省县域耕地多功能时空演变及耦合协调分析[J]. 山地学报, 2021, 39(6): 891-900.
- JIANG Yan, YANG Chun-mian, NIE Yan, et al. Spatio-temporal Evolution of Multi-functions of Farmland on a County Scale in Hubei Province, China and Their Coupling Coordination Analysis [J]. Mountain Research, 2021, 39(6): 891-900.
- [17] 张英男, 龙花楼, 戈大专, 等. 黄淮海平原耕地功能演变的时空特征及其驱动机制[J]. 地理学报, 2018, 73(3): 518-534.
- ZHANG Ying-nan, LONG Hua-lou, GE Da-zhuan, et al. Spatio-temporal Characteristics and Dynamic Mechanism of Farmland Functions Evolution in the Huanghuaihai Plain [J]. Acta Geographica Sinica, 2018, 73(3): 518-534.
- [18] 姚东恒, 裴久渤, 汪景宽. 东北典型黑土区耕地质量时空变化研究[J]. 中国生态农业学报, 2020, 28(1): 104-114.
- YAO Dong-heng, PEI Jiu-bo, WANG Jing-kuan. Temporal-spatial Changes in Cultivated Land Quality in a Black Soil Region of Northeast China [J]. Chinese Journal of Eco-agriculture, 2020, 28(1): 104-114.
- [19] 程维明, 高晓雨, 马廷, 等. 基于地貌分区的1990~2015年中国耕地时空特征变化分析[J]. 地理学报, 2018, 73(9): 1613-1629.
- CHENG Wei-ming, GAO Xiao-yu, MA Ting, et al. Spatial-temporal Distribution of Cropland in China Based on Geomorphologic Regionalization During 1990-2015 [J]. Acta Geographica Sinica, 2018, 73(9): 1613-1629.
- [20] 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.
- WEI Xin-dong, LIN Liang-guo, LUO Ping-ping, et al. 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.
- [21] 宋林韩. 陕西省耕地质量时空变化及影响因素研究[D]. 西安:长安大学, 2021.
SONG Lin-han. Spatial and Temporal Variation of Cultivated Land Quality and Its Influencing Factors in Shaanxi Province [D]. Xi'an: Chang'an University, 2021.
- [22] 马新萍, 白红英, 贺映娜, 等. 基于 NDVI 的秦岭山地植被遥感物候及其与气温的响应关系: 以陕西境内为例[J]. 地理科学, 2015, 35(12): 1616-1621.
MA Xin-ping, BAI Hong-ying, HE Ying-na, et al. The Vegetation Remote Sensing Phenology of Qinling Mountains Based on NDVI and It's Response to Temperature: Taking Within the Territory of Shaanxi as an Example[J]. Scientia Geographica Sinica, 2015, 35(12): 1616-1621.
- [23] 蒋冲, 王飞, 刘焱序, 等. 秦岭南北风速时空变化及突变特征分析[J]. 地理科学, 2013, 33(2): 244-250.
JIANG Chong, WANG Fei, LIU Yan-xu, et al. Spatial-temporal Variation and Mutation of Wind Speed in the Northern and Southern Regions of the Qinling Mountains[J]. Scientia Geographica Sinica, 2013, 33(2): 244-250.
- [24] GUO L Y, DI L P, TIAN Q. Detecting Spatio-temporal Changes of Arable Land and Construction Land in the Beijing-Tianjin Corridor During 2000-2015[J]. Journal of Geographical Sciences, 2019, 29(5): 702-718.
- [25] 张青璞, 孔祥斌, 郟文聚, 等. 重庆市国家级农用地分等汇总前后等别分布规律[J]. 农业工程学报, 2010, 26(10): 297-303.
ZHANG Qing-pu, KONG Xiang-bin, YUN Wen-ju, et al. National Agricultural Land Grading Distribution Law Based on Conversion from Provincial Level to National Level in Chongqing[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2010, 26(10): 297-303.
- [26] 朱传民, 郝晋珉, 陈丽, 等. 基于耕地综合质量的高标准基本农田建设[J]. 农业工程学报, 2015, 31(8): 233-242.
ZHU Chuan-min, HAO Jin-min, CHEN Li, et al. Well-facilitated Capital Farmland Construction Based on Cultivated Land Comprehensive Quality [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2015, 31(8): 233-242.
- [27] 刘彦随, 王介勇, 郭丽英. 中国粮食生产与耕地变化的时空动态[J]. 中国农业科学, 2009, 42(12): 4269-4274.
LIU Yan-sui, WANG Jie-yong, GUO Li-ying. The Spatial-temporal Changes of Grain Production and Arable Land in China[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2009, 42(12): 4269-4274.
- [28] 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 Jin-feng, XU Cheng-dong. Geodetector: Principle and Prospective[J]. Acta Geographica Sinica, 2017, 72(1): 116-134.
- [29] 胡存智. 中国耕地质量等级调查与评定(全国卷)[M]. 北京: 中国大地出版社, 2010.
HU Cun-zhi. Study on Investigation and Assessment of Cultivated Land Quality Grade in China[M]. Beijing: China Land Press, 2010.
- [30] 李丹, 周嘉, 战大庆. 黑龙江省耕地时空变化及驱动因素分析[J]. 地理科学, 2021, 41(7): 1266-1275.
LI Dan, ZHOU Jia, ZHAN Da-qing. Spatial and Temporal Changes and Driving Factors of Cultivated Land in Heilongjiang Province[J]. Scientia Geographica Sinica, 2021, 41(7): 1266-1275.
- [31] 张红, 马丽. 1972~2018年策勒绿洲耕地时空演变及驱动力分析[J]. 河北环境工程学院学报, 2021, 31(6): 37-41.
ZHANG Hong, MA Li. Analysis of Temporal and Spatial Evolution and Driving Forces of Cultivated Land in Cele Oasis from 1972 to 2018[J]. Journal of Hebei University of Environmental Engineering, 2021, 31(6): 37-41.