

基于限制因子分析的耕地质量提升潜力分区

邵雅静^{1,2} 员学锋^{1,2,3*}

(¹长安大学地球科学与资源学院, 西安 710054; ²中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; ³陕西省土地整治重点实验室, 西安 710054)

摘要 以宝鸡市为研究区,从地类图斑尺度,识别了宝鸡市耕地质量主导限制因子类型,根据限制因子提升潜力的空间分布特征,划分了耕地质量提升潜力分区,探讨了不同潜力分区耕地质量的提升措施。结果表明:宝鸡市耕地质量限制因子主要为单因子限制型,包括土层限制、有机质限制和灌溉限制,共占宝鸡市耕地总面积的 66.11%;耕地质量提升潜力处于中等水平,且呈现北高南低的分布趋势,在空间上表现出一定的集聚特点;宝鸡市 334 个行政村耕地质量提升潜力较高且呈“HH”型分布(I 级区),可加大该区域土地整治工程力度,以提高区域耕地质量整体水平;宝鸡市中部地区的耕地质量提升措施应着重考虑增加有效土层厚度、提高土壤有机质含量和改善农用地灌溉条件;北部地区还应加强对土壤侵蚀的改良,南部地区应采取有效措施减小岩石露头度和地形坡度对耕地质量的影响。

关键词 限制因子; 耕地质量; 土地整治; 空间自相关; 宝鸡市

Zoning of cultivated land quality improvement potential based on limiting factor analysis. SHAO Ya-jing^{1,2}, YUAN Xue-feng^{1,2,3*} (¹*School of Earth Science and Resources, Chang'an University, Xi'an 710054, China*; ²*Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China*; ³*Shaanxi Key Laboratory of Land Renovation, Xi'an 710054, China*).

Abstract: The aim of this study was to identify the types of dominant limiting factors of cultivated land quality in Baoji City. According to the spatial distribution of the improving potential of limiting factors, we divided the potential zoning of cultivated land quality improvement, and discussed the improvement measures of cultivated land quality in different potential zones. The results showed that the main type of limiting factors of cultivated land quality was the type of single factor, including soil layer, organic matter, and irrigation, which accounted for 66.11% of total area. The improving potential of cultivated land quality in Baoji City was at a medium level. The distribution trend was high in the north and low in the south, with certain spatial clustering characteristics. A total of 334 administrative villages in Baoji City have a high potential for improving the quality of cultivated land, which shows “HH” distribution type (Grade I District). Thus, we can increase the intensity of land consolidation projects in this region to improve the overall level of cultivated land quality. Strategies to improve the quality of cultivated land in the central part of Baoji City should focus on increasing the effective soil layer thickness, increasing the content of soil organic matter, and improving the irrigation conditions of agricultural land. In addition, the improvement of soil erosion should be strengthened in the northern region, and effective measures to reduce the impacts of rock outcrop and topographic slope on the quality of cultivated land should be taken in the southern region.

Key words: limiting factor; cultivated land quality; land consolidation; spatial autocorrelation; Baoji City.

近年来,中国农村“空心村”现象广泛存在,耕地撂荒问题严重,土地污染和农产品质量问题不断出现,耕地质量水平整体较低(隋传嘉等,2017;余慧敏等,2019)。根据2015年耕地质量等别更新调查结果,中国优高等地仅占29.4%,中低等地占比为70.6%(杨骥等,2016)。2009—2015年中国耕地面积减少了近40万hm²,当前人均耕地面积不足0.1hm²,仅为世界平均水平的40%左右(张红旗等,2018)。因此,提升耕地质量、保障粮食安全是目前亟需解决的问题之一。

耕地中存在的限制因子是阻碍耕地质量提升的关键(吴克宁等,2013;叶达等,2015)。限制因子定律最早由德国化学家李比西提出,又称最低定律和最小定律。限制因子定律被广泛地应用在了生态学研究之中(岳天祥,1991;陈露等,2015)。国内外针对耕地限制因子的研究较少,主要集中在限制因子的识别和统计分析方面,未能建立限制因子与耕地质量提升潜力之间的联系(邵雅静,2018)。已有研究中对限制因子的确定方式主要有以下两种,一是直接采用农用地分等成果中的分等因素作为限制因子(李艳华等,2014),二是考虑土地整治工程对耕地限制因子的影响程度,从土地整治工程的角度补充若干因子,对耕地质量进行评价(陈青锋等,2016;陈影等,2016)。前一种方法的研究结果能与耕地分等成果有效衔接,研究成果具有一定的可比性,后一种方法能够全面反应土地整治项目对耕地质量的影响,但在评价中对新增因子的量化过程增加了一定的人为因素(高星等,2016)。当前研究中对限制因子量化分析时,一般通过对分等因素的提升潜力进行综合排序,根据限制因子的面积来量化限制因子的影响程度(张杰等,2017),这种单纯以限制因子的面积大小确定主导限制型的方法,具有一定的局限性(叶达等,2016)。此外,已有研究对组合限制因子量化分析的较少,未能考虑两因子交互后对耕地质量的影响程度。从研究尺度来看,已有研究多以省、市、县为研究单元,缺少基于地类图斑尺度的相关研究,而地类图斑尺度的研究更能指导土地整治工程的精准实施。本文以宝鸡市为研究区,基于耕地图斑单元,通过“自然等-提等潜力”模型分析宝鸡市耕地质量主导限制因子类型及其分布特征,借助地理探测器确定限制因子对耕地质量的影响程度,应用空间自相关分析法划分耕地质量提升潜力分区,旨在为土地整治,耕地质量建设工作提供一定的参考。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

宝鸡位于陕西省西部,地处106°18'E—108°03'E, 33°35'N—35°06'N,东西长156.6km,南北宽160.6km,是陕、甘、川、宁四省毗邻地区的商贸和物流中心。下辖3区9县(图1),地形地貌复杂,区域内高程差异较大,全市平均海拔618m,三面环山,山、川、塬兼备,以山地、丘陵为主,山地占比56%,丘陵占比26.5%,川塬占比17.5%,宝鸡市地貌特征从南到北主要分为秦岭山地、关山山地、黄土台塬和渭河谷地,基本包括了陕西省的主要地貌类型,并且在耕地质量分等中横跨渭北黄土旱塬区、关中渭河平原区和陕南秦巴中高山区三大耕地质量分区,研究该区域的耕地质量的提升潜力对陕西省的耕地保护工作具有一定的实际意义。

根据2015年耕地质量分等成果,宝鸡市耕地面积为361359.41hm²,占土地总面积的19.45%,耕地质量国家自然等别为7~14等,共7个等别,8等地面积最大,为85588.66hm²,占全市耕地总面积的23.69%,其次是13等地、11等地,面积分别为79024.81、57852.71hm²,占比分别为21.87%、16.01%,可以看出宝鸡市耕地质量以中低等地为主,据统计,2005—2015年宝鸡市耕地总面积由4088900hm²减少到3998200hm²,平均每年减少9100hm²,虽然近年来耕地保护力度不断增强,耕地数量减少的趋势得到了有效的控制,但占优补劣的土地利用问题仍然普遍存在,加强耕地保护至关重要。

1.2 研究方法

1.2.1 “自然等-提等潜力”模型 以耕地图斑为研究单元,应用“自然等-提等潜力”模型对研究区耕地

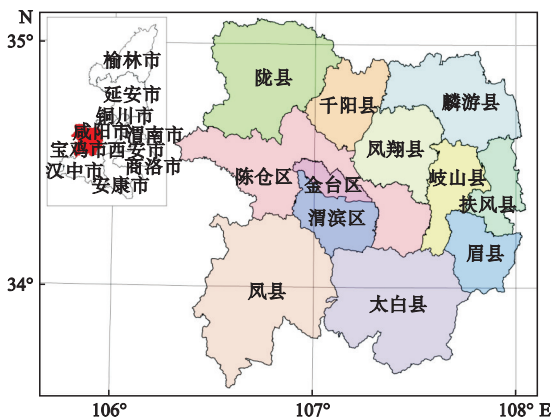


图1 宝鸡市位置以及行政区范围示意图
Fig.1 Location and administrative map of Baoji City

质量限制因子进行测算,根据各个因子的提升潜力确定研究区的主导限制因子(孙亚彬等,2013)。计算公式如下:

$$T_{ik} = \frac{(Q_{ik} - q_{ik})}{Q_{ik}} \times 100\% \tag{1}$$

$$Q_{ik} = \frac{\sum_{j=1}^j w_{ij} \cdot F_{ijk} \cdot \alpha_j \cdot \beta_j}{100} \tag{2}$$

$$q_{ik} = \frac{\sum_{j=1}^j w_{ij} \cdot f_{ijk} \cdot \alpha_j \cdot \beta_j}{100} \tag{3}$$

式中: T_{ik} 为第 i 个耕地图斑第 k 个分等因素的提等潜力指数, Q_{ik} 、 q_{ik} 分别指第 i 个耕地图斑第 k 个分等因素提升潜力的最大值和实际值; w_{jk} 为第 j 种指定作物第 k 个分等因素的权重; F_{ijk} 和 f_{ijk} 分别为第 i 个耕地图斑第 j 种指定作物第 k 个分等因素对该耕地图斑质量影响程度的最大值和实际值, α_j 为第 j 种作物的光温(气候)生产潜力指数, β_j 为第 j 种作物的产量比系数, i 为耕地图斑的编号、 k 为分等因素编号 j 为指定作物的编号($j=1,2,3$)。根据求得的自然等提等潜力指数 T ,其值越大,可提升潜力越大。式中 α_j 、 β_j 、 w_{jk} 的取值均参考《农用地质量分等规程》(GB/T 28407-2012)。

1.2.2 地理探测器 “地理探测器”最开始应用于疾病风险的探测(Wang, 2010),地理探测器能够探测某种要素空间格局成因和机制(魏凤娟等,2014;王欢等,2018;赵小风等,2018)。文中应用“地理探测器”模型对限制因子的权重进行测算。计算公式如下:

$$q_{x,y} = 1 - \frac{1}{n\sigma_y^2} \sum_{i=1}^m n_{x,i} \sigma_{y,x,i}^2 \tag{4}$$

式中: y 为因变量, x 为自变量, $q_{x,y}$ 为 x 对 y 的解释程度, n 和 σ^2 分别为整体样本个数和方差, m 为某种因子的分类个数, $n_{x,i}$ 为 x 指标在 i 类型上的样本个数。 $q_{x,y}$ 取值范围为 $[0,1]$, $q_{x,y}=0$ 时,表明耕地质量提升潜力的空间分布不受影响因子驱动, $q_{x,y}$ 值越大,表明因素对耕地质量提升潜力的影响越大,能更大程度地解释其空间分异特征。

1.2.3 空间自相关分析 根据地理学第一定律,事物之间的距离越近,彼此之间的相关程度越高(Tobler, 1970)。空间自相关方法是分析事物空间相关关系的常用方法,是目前理论地理学研究的经典方法之一(杨建宇等,2018;曾福生等,2019)。该分析

方法主要通过空间相关指数来实现,其中最著名的是全局自相关 Moran I 指数(Moran, 1950),其表达式如下:

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j \neq i}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n \sum_{j \neq i}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})^2} \tag{5}$$

$$Z = \frac{I - E(I)}{\sqrt{VAR(I)}} \tag{6}$$

式中: n 代表研究对象的个数, w_{ij} 代表空间要素 i 和要素 j 的权重, $x_i - \bar{x}$ 和 $x_j - \bar{x}$ 分别是第 i 、 j 个空间单元上的观测值与平均值的偏差; Z 代表标准化统计量的阈值, $E(I)$ 为观测变量自相关性的期望, $VAR(I)$ 代表方差。Moran I 指数的取值范围在 $[-1,1]$ 之间, $I>0$ 则表示空间正相关,研究对象趋向于空间聚合特征; $I<0$ 则表示空间负相关,研究对象趋向于空间离散特征; $I=0$ 则表示没有通过 Moran I 显著性检验,研究对象呈现随机分布。 Z 值一般进行显著性检验,当 $Z>1.96$ 或者 $Z<-1.96$ ($\alpha=0.05$) 时,表示耕地质量提升潜力分布在空间上存在显著的空间自相关性。局部空间自相关是在全局空间自相关的基础上进一步分析某种属性呈现聚集或者离散分布的空间位置,局部空间自相关分析的输出结果有“HH”(高-高型)、“LL”(低-低型)、“HL”(高-低型)、“LH”(低-高型)、“NN”(非显著相关型)5 种不同类型。局部空间自相关计算模型如下:

$$I = \frac{\sum_{j=1, j \neq i}^n (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \tag{7}$$

1.3 数据来源

文中耕地数据来源于 2015 年度陕西省耕地质量等别年度更新评价数据库;自然、社会经济数据来源于宝鸡市 2015 年统计年鉴、国民经济与社会发展统计公报和各个县区的政府网站。

2 结果与分析

2.1 宝鸡市耕地质量限制因子识别

文中对于耕地质量的研究从耕地的本底质量出发,主要考虑耕地的自然质量,在选择耕地质量影响因子时主要参考耕地质量分等因子。宝鸡市横跨陕西省耕地质量分等中的三大指标区,不同指标区内分等因子不同,根据耕地质量分等因子最终确定的

表 1 宝鸡市耕地质量限制因子
Table 1 Limiting factors of cultivated land quality in Baoji

指标区	县区	限制因子
渭北黄土旱塬区	陇县、千阳县、麟游县	土层限制、剖面构型限制、有机质限制、坡度限制、灌溉保证率限制、侵蚀限制
关中渭河平原区	渭滨区、金台区、陈仓区、眉县、凤翔县、岐山县、扶风县	土层限制、质地限制、盐渍化限制、有机质限制、排水限制、坡度限制、灌溉保证率限制、灌溉水源限制
陕南秦巴中高山区	太白县、凤县	土层限制、质地限制、有机质限制、PH 值限制、坡度限制、裸岩限制

限制因子见表 1。

剔除图斑个数少于 50 或者面积占比小于 0.01%的限制因子,并将灌溉水源和灌溉保障率限制合并为灌溉限制,最终得到宝鸡市的限制因子类型以及限制因子的分布状况,见表 2 和图 2。

从图 2 可以看出,宝鸡市的耕地质量限制因子共有 12 种,主要包括土层限制、有机质限制、灌溉限制等 8 种单项限制因子和土层-灌溉限制、土层-侵蚀限制、剖面构型-灌溉限制、有机质-坡度限制 4 种组合限制因子。宝鸡市耕地质量限制因子以单因子限制为主,单因子限制型占全市耕地总面积的 94.65%,组合因子限制型占比为 5.35%。从限制因子的面积占比来看,单项限制因子以土层限制为主,受到土层限制的耕地面积达到 110163.91 hm²,占全市耕地总面积的 30.49%,即全市近 1/3 的耕地质量受到了土层限制,组合限制因子以土层-侵蚀限制为主导限制因子,受到土层-侵蚀限制的耕地面积达到 8236.01 hm²,占比达到 2.28%,因此,宝鸡市耕地质量提升主要受限于有效土层厚度、土壤有机质含量

表 2 宝鸡市耕地质量限制因子统计
Table 2 Statistics on limiting factors of cultivated land quality in Baoji

序号	主导限制型	图斑		耕地	
		数量 (个)	占比 (%)	面积 (km ²)	占比 (%)
1	土层限制	51502	26.63	110163.91	30.49
2	质地限制	2842	1.47	3487.71	0.97
3	有机质限制	40235	20.80	58303.29	16.13
4	坡度限制	43919	22.71	52195.02	14.44
5	灌溉限制	31653	16.37	70430.38	19.49
6	侵蚀限制	7538	3.90	26068.08	7.21
7	剖面构型限制	4982	2.58	16829.51	4.66
8	裸岩限制	5360	2.77	4531.83	1.25
9	土层-灌溉限制	1288	0.67	3615.90	1.00
10	土层-侵蚀限制	2184	1.13	8236.01	2.28
11	剖面构型-灌溉限制	1742	0.90	7121.43	1.97
12	有机质-坡度限制	171	0.09	376.34	0.10
合计	/	193416	/	361359.41	100.00

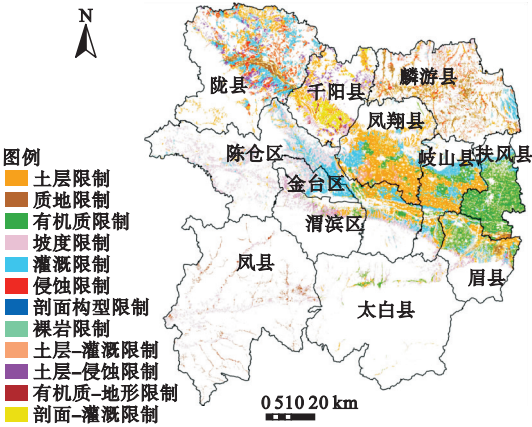


图 2 宝鸡市耕地质量限制因子分布
Fig.2 Distribution of limiting factors of cultivated land quality in Baoji City

和农田水利灌溉条件,在实际的土地整治工作中应该因地制宜地采取相应的技术手段消减这些限制因子对耕地质量的影响,以达到保护耕地,提高耕地质量的目的。

2.2 宝鸡市耕地质量提升潜力分析

在确定限制因子的权重的基础上,利用面积加权法计算得到研究区耕地质量提升的综合潜力,并且借助 ArcGIS 的自然断点法,对宝鸡市耕地质量限制因子提升潜力进行等级划分,结果见图 3。

从图 3 可以看出,宝鸡市耕地质量提升潜力在空间上表现出一定的聚集性,耕地质量提升潜力整体处于中等水平,且呈现北高南低的分布趋势。耕地质量提升潜力一般和较低的耕地主要分布在关中渭河平原地区,提升潜力较高的耕地主要分布在渭北黄土旱塬区。其中,提升潜力较低的耕地呈团状

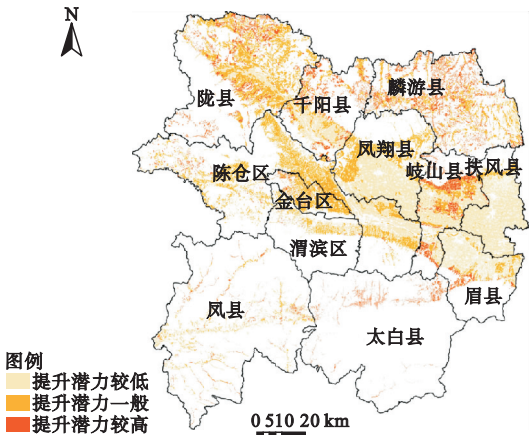


图 3 宝鸡市耕地质量提升潜力分布图
Fig.3 Distribution of cultivated land quality improvement potential in Baoji City

分布,主要集中在凤翔县、陈仓区的东部以及扶风县、眉县的北部地区,这些地区均属于关中渭河平原地区,水热条件好,气候温和湿润,是陕西省的主要粮食生产区,耕地质量相对较好,该地区主要以有机质和土层限制为主,灌溉条件相对较好,耕地质量的提升潜力相对较低;提升潜力一般的耕地呈条状分布在提升潜力较低的耕地周围,属于潜力过渡带,分布的区域包括陇县、金台区、渭滨区的北部;提升潜力较高的耕地主要分布在陇县、千阳县、麟游县、以及陈仓区西部的部分地区,其中陇县、千阳县、麟游县的耕地质量限制因子主要为侵蚀限制和土层限制,在该区域有针对性地开展土地整治工程项目,可以有效地提升耕地质量。

2.3 宝鸡市耕地质量提升潜力分区

文中利用全局自相关指数对宝鸡市耕地质量提升潜力的空间分布特征进行整体描述。宝鸡市 9 县 3 区 Moran *I* 指数分布在 0.37~0.87,平均值为 0.5。Moran *I* 值最大的是凤翔县,最小的是金台区。进一步分析各个县区耕地质量提升潜力的空间聚集程度(表 3)。

从表 3 可以看出,宝鸡市 1719 个行政村中,呈“HH”型分布的行政村共有 334 个,占比为 19.43%,呈“HL”型分布的行政村共有 42 个,占比为 2.44%,呈“LH”型分布的行政村共有 55 个,占比为 3.20%,呈“LL”型分布的行政村共有 359 个,占比为 20.88%,呈“NN”型分布的行政村共有 929 个,占比为 54.04%。从空间分布特征来看,“HH”型主要分布在麟游县、凤翔县、太白县;“LL”型主要分布在陈仓区、凤翔县、扶风县;“HL”型分布较少,主要在凤

翔县、扶风县、麟游县,“LH”型主要分布在陇县、凤翔县和眉县。

根据耕地质量提升潜力的空间分布特征,借鉴耕地质量保护分区划分的方法,将宝鸡市耕地质量按其提升潜力的空间分布状况进行划分,结果表明,呈正相关分布的“HH”型和“LL”型组团出现,其中“HH”型表示耕地质量提升潜力高值与高值聚集,“LL”型是耕地质量提升潜力低值与低值聚集,负相关“HL”指耕地质量提升潜力高值区被低值区包围,类似于“凸地”。“LH”型指耕地质量提升潜力低值区被高值区包围,类似于“凹地”。正相关分布表明,耕地质量提升潜力在临近图斑之间表现出了一种相似性,负相关分布表明耕地质量提升潜力在临近图斑之间变化剧烈,差异较大。因此,根据潜力分布特征将宝鸡市耕地划分为耕地质量提升 I 级区(HH 型),耕地质量提升 II 级区(HL 型、LH 型),耕地质量提升 III 级(LL 型),耕地质量提升 IV 级区(NN 型)(图 4)。

从图 4 可以看出,耕地质量提升 I 级区,耕地质量提升潜力分布呈“HH”型,即耕地质量提升潜力较高的耕地集中分布,该区域耕地可以优先划入土地整治的重点区域。属于耕地质量提升 I 级区的行政村共有 334 个,“HH”型在各个县区均有分布。主要包括陈仓区的太安村、通关河村、鸭下岭村等 65 个村,陇县的金山寺村、固关街村、殿咀村等 32 个村、以及扶风县的鲁马村、农林村、阎马村、刘家村等 28 个村。

耕地质量提升 II 级区,耕地质量提升潜力呈“HL”和“LH”型分布,II 级区的行政村共有 97 个,

表 3 宝鸡市耕地质量提升潜力局部自相关分析
Table 3 Results of local autocorrelation analysis of cultivated land quality improving potential in Baoji

县	HH		HL		LH		LL		NN	
	数量(个)	比例(%)	数量(个)	比例(%)	数量(个)	比例(%)	数量(个)	比例(%)	数量(个)	比例(%)
陇县	32	21.19	0	0.00	8	5.30	28	18.54	83	54.97
千阳县	17	17.35	0	0.00	5	5.10	16	16.33	60	61.22
眉县	17	17.35	0	0.00	5	5.10	16	16.33	60	61.22
扶风县	28	16.47	9	5.29	0	0.00	62	36.47	71	41.76
岐山县	22	15.28	6	4.17	5	3.47	31	21.53	80	55.56
凤翔县	51	23.29	9	4.11	7	3.20	57	26.03	95	43.38
陈仓区	65	19.76	7	2.13	6	1.82	59	17.93	192	58.36
太白县	16	24.24	0	0.00	2	3.03	12	18.18	36	54.55
金台区	25	19.08	4	3.05	6	4.58	19	14.50	77	58.78
凤县	12	11.11	0	0.00	6	5.56	17	15.74	73	67.59
渭滨区	23	22.12	0	0.00	0	0.00	22	21.15	59	56.73
麟游县	26	25.74	7	6.93	5	4.95	20	19.80	43	42.57
合计	334	19.43	42	2.44	55	3.20	359	20.88	929	54.04

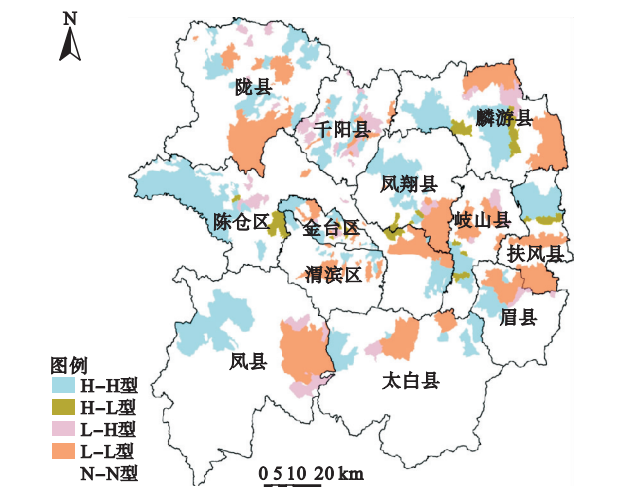


图 4 宝鸡市村级耕地质量提升潜力 LISA 图
Fig.4 LISA map of village level cultivated land quality improving potential in Baoji City

占比为 5.64%,其中有 42 个“HL”型村和 55 个“LH”型村。包括凤翔县的小旗务村、丁家河村、导子村等 16 个行政村,陈仓区的西冯村、有礼村、王家村等 13 个行政村,麟游县的桑树塬村、对落沟村、招贤村等 12 个行政村,也有部分的“HL”型村和“LH”型村分布在陇县、千阳县和眉县等县域,“HL”型村和“LH”型的行政村分布较为分散。

耕地质量提升Ⅲ级区,该区域耕地质量提升潜力分布呈“LL”型,共有行政村 359 个,占比为 20.88%。“LL”型在宝鸡市各个县域均有分布,主要在岐山县、凤翔县和陈仓区,包括虢王村、江湖村、四家村等凤翔县的 57 个行政村,陈仓区的南堡村、西秦村、土桥村等 59 个行政村,以及岐山县的益合村、益平村、八角庙村等 31 个行政村。

耕地质量提升Ⅳ级区,该区域耕地质量提升潜力呈“NN”型分布,即耕地质量提升潜力的空间相关程度不显著,共有行政村 929 个,占比为 54.04%。主要分布在陈仓区、凤翔县、渭滨区和陇县。其中陈仓区包括了亚子村、五联村、墓子头村等 192 个村,渭滨区包括了张家岭村、庙沟村、柘沟村等 22 个村,凤翔县包括了李家堡村、大塬村、河北村等 95 个行政村。

3 结 论

本文以宝鸡市为研究区,选取了宝鸡市 2015 年度耕地质量分等数据作为基础数据,采用“自然等提等潜力”模型、地理探测器模型、空间自相关分析方法从耕地图斑尺度识别了宝鸡市耕地限制因子种

类及其分布特征,进而划分了耕地质量提升潜力分区。主要结论如下:

(1)研究区耕地质量的提升主要受限于区域有效土层厚度、土壤有机质含量和农田灌溉条件,宝鸡市近 30%的耕地受到土层厚度的限制,以关中地区的地市为主,该地区是宝鸡市主要的粮食种植区,地势平坦,便于大型机械的耕作,对于土层限制可以采用物理技术进行改良,通过机械对土层进行深层翻耕,将深层土壤翻上来,浅层土壤翻下去,改变土层的物理构成,长期采用这样的物理措施,土壤中的养分会发生转移,并且有效土层的厚度也会增加。从限制因子的分布特征来看,整个研究区耕地限制因子分布的区域特征明显,建议宝鸡市中部地区以土层限制改良、灌溉限制改良和有机质改良为主,宝鸡市北部地区以侵蚀限制改良为主,宝鸡市南部地区以裸岩限制和地形限制改良为主。

(2)研究区耕地质量提升潜力整体处于中等水平,且呈现北高南低的分布趋势,耕地质量限制因子分布及其提升潜力水平与区域自然条件、自然资源禀赋密切相关。宝鸡市中部的陈仓区、金台区、扶风县等 4 县 3 区属于平原半湿润区,降雨量适中,土壤肥沃,灌溉条件良好,是宝鸡市高等地的主要分布区域,是农业部确定的全国优质小麦种植区,也是夏玉米优生区和主产区,耕地本底质量较好,可提升潜力有限;宝鸡市北部的陇县、千阳县、麟游县属于黄土高原半干旱区,干旱少雨,是优质专用小麦生产基地和春玉米的高产区,耕地限制因子主要为侵蚀限制和土层限制,耕地以中低等地为主,耕地质量的提升潜力相对较高;宝鸡市南部的太白县和凤县属于山地湿润区,降雨量充沛,水热资源和植物资源丰富,工业污染较少,但是区域地貌较为复杂,地形坡度较大,不利用农业基础设施的建设。从限制因子的分布情况来看,地形限制是该区的主导限制因子,是影响耕地生产力的主要因素,耕地质量的提升潜力相对较低。

(3)研究区 1719 个行政村可以划分为 4 大潜力分区,不同分区耕地质量提升潜力的空间分布特征不同,耕地质量限制因子各异。宝鸡市 334 个行政村的耕地可以优先划入土地整治的重点区域,该区域的耕地质量提升潜力大,耕地质量提升潜力呈高集聚状态分布,限制因子以土层限制、坡度限制、质地限制、有机质限制和灌溉限制为主,建议加大土地整治力度,以提升研究区耕地质量整体水平;

97 个村子耕地质量提升潜力呈“HL”和“LH”型分布,主要表现为高潜力耕地被低潜力耕地包围或者低潜力耕地被高潜力耕地包围,区域内耕地质量分布的内部差异性较大,一般很难进行连片的开发,村与村之间的耕地提升潜力差异明显,耕地质量均质性差。在实际的土地整治工程中,“LH”型(55 个村子)由于低潜力耕地易被其周围的高潜力耕地影响,对其采用一定的土地整治措施,耕地质量的改善效果较为显著,所以该区域可作为实施土地整治工程的优先考虑区域。针对“HL”型(42 个村子),必须保护高质量的耕地,对周围的低质量耕地采用长期的整治措施,以提升耕地质量水平;359 个村子耕地质量提升潜力呈“LL”型分布,该区域是高质量耕地的聚集区,区域内限制因子分布较少,区域自然条件较好,耕地集中连片分布,区域内优质耕地占比高,为耕地利用提供了良好的基础,可以将该区域的耕地划入重点保护区,尽量避免经济建设对耕地质量的影响;929 个村子的耕地质量提升潜力的空间分布表现出了随机性分布特征。为了提高宝鸡市耕地质量的整体水平,该区域可以发展具有区域特色的“一村一业”和“一村一品”经济从而提升区域农产品质量,改善耕地生产力水平。

4 讨 论

宝鸡市位于陕西省关中平原西部,是陕西省优质耕地的集中分布区。本文从耕地图斑尺度揭示了影响区域耕地质量的限制因子,并且在村级尺度上划分了 4 类耕地质量提升潜力分区,不仅拓宽了耕地质量研究的内容,而且为土地整治工程的精准实施提供了参考。在限制因子的识别过程中,限制因子的量化分析是关键。宝鸡市耕地质量限制因子包括单项限制型和组合限制型,文中引入“地理探测器”模型进一步揭示了两种限制因子交互后对耕地质量提升的影响程度,量化了单因子和组合因子对耕地质量的影响,地理探测器在分析两个因子叠加以后对某一要素的影响程度方面具有一定的优势,因此基于“地理探测器”模型的限制因子分析更为可靠。此外,在村级尺度上依据限制因子的分布特征划分耕地质量提升潜力分区可以为村级发展、村集体经济建设以及乡村振兴战略提供了参考和依据。

为了使研究成果与耕地质量分等成果相互衔接,文中在选择限制因子时主要考虑耕地质量分等

中的因子,未考虑影响耕地质量的其他因素,但是随着城市化进程的不断推进和耕地保护工作的大力开展,耕地质量的影响机制也会发生很大的变化,因此在进一步研究中需要对影响耕地质量的限制因子进行动态监测和综合分析,深入研究限制因子对耕地质量的影响过程。

参考文献

陈 露,戴 明,肖雅元,等. 2015. 南沙群岛海域夏季营养盐对浮游植物生长的限制. 生态学杂志, **34**(5): 1342–1350.

陈 影,杨 扬,陈青锋,等. 2016. 燕山山地丘陵区耕地质量提升时序研究——以陕西省卢龙县为例. 水土保持研究, **23**(4): 167–173.

陈青锋,于化龙,张 杰,等. 2016. 耕地质量提升重点区域划定及可提升潜力研究——以河北省卢龙县为例. 农业现代化研究, **37**(2): 221–229.

高 星,吴克宁,陈学砧,等. 2016. 土地整治项目提升耕地质量可实现潜力测算. 农业工程学报, **32**(16): 233–240.

李艳华,许月卿,郭洪峰. 2014. 西部生态脆弱区农用地质量等别限制因素及提升策略研究. 中国农业资源与区划, **35**(1): 67–74.

隋传嘉,潘剑君,余 泓,等. 2017. 苏南村镇耕地景观格局对土壤重金属污染的影响. 生态学杂志, **36**(8): 2302–2311.

邵雅静. 2018. 基于限制因子分析的耕地质量提升潜力研究(硕士学位论文). 西安: 长安大学.

孙亚彬,吴克宁,胡晓涛,等. 2013. 基于潜力指数组合的耕地质量等级监测布点方法. 农业工程学报, **29**(4): 245–254, 302.

王 欢,高江波,侯文娟. 2018. 基于地理探测器的喀斯特不同地貌形态类型区土壤侵蚀定量归因. 地理学报, **73**(9): 1674–1686.

魏凤娟,李江风,刘艳中. 2014. 湖北县域土地整治新增耕地的时空特征及其影响因素分析. 农业工程学报, **30**(14): 267–276+340.

吴克宁,赵 执,赵华甫. 2013. 耕地等级质量提升的途径. 中国土地, (8): 48–49.

杨 骥,裴久渤,汪景宽. 2016. 耕地质量下降与保护研究——基于土地法学的视角. 中国土地, (9): 28–29.

杨建宇,张 欣,徐 凡,等. 2018. 基于 TOPSIS 和局部空间自相关的永久基本农田划定方法. 农业机械学报, **49**(4): 172–180.

叶 达,吴克宁,赵华甫,等. 2015. 基于土壤限制因子改良的耕地质量等别提升研究. 湖北农业科学, **54**(15): 3651–3655.

叶 达,吴克宁,赵华甫,等. 2016. 不同限制因子组合区土壤改良对耕地质量等级的影响. 江苏农业科学, **44**(4): 427–430.

余慧敏,杨小平,郭 熙. 2019. 南方丘陵区新增耕地质量空间特征研究——以江西省宜春市为例. 中国农业资源

与区划, **40**(1): 110-117.

岳天祥. 1991. 限制因子原理在植物生产量预测中的应用. 生态学杂志, **10**(4): 67-69.

曾福生, 刘俊辉. 2019. 区域异质性下中国农业生态效率评价与空间差异实证——基于组合 DEA 与空间自相关分析. 生态经济, **35**(3): 107-114.

张 杰, 赵瑞东, 田 超, 等. 2017. 基于限制程度排序的卢龙县耕地质量提升重点区域划定研究. 中国生态农业学报, **25**(3): 429-440.

张红旗, 谈明洪, 孔祥斌, 等. 2018. 中国耕地质量的提升战略研究. 中国工程科学, **20**(5): 16-22.

赵小凤, 李娅娅, 赵雲泰, 等. 2018. 基于地理探测器的土地开发度时空差异及其驱动因素. 长江流域资源与环境, **27**(11): 2425-2433.

Moran PAP. 1950. Notes on continuous stochastic phenomena. *Biometrika*, **37**: 17-23.

Tobler WR. 1970. A computer movie simulating urban growth in the Detroit region. *Economic Geography*, **46**: 234-240.

Wang JF, Li XH, Christakos G, *et al.* 2010. Geographical detectors-based health risk assessment and its application in the neural tube defects study of the Heshun Region, China. *International Journal of Geographical Information Science*, **24**: 107-127.

作者简介 邵雅静,女,1990 年生,博士研究生,主要从事土地整治以及乡村振兴方面的研究。E-mail: ynllsyj@163.com

责任编辑 李凤芹