

黄土高原区耕地质量评价

——以陕西省延川县为例

陈文广^{1,2}, 孔祥斌^{1,2}, 廖宇波^{1,2}, 王 轩^{1,2}, 宋福生³, 温良友^{1,2}, 张蚌蚌⁴

(1.中国农业大学 土地科学与技术学院, 北京 100193; 2.自然资源部 农用地质量与监控重点实验室, 北京 100193; 3.延川县农业技术推广中心, 陕西 延安 717200; 4.西北农林科技大学 经济管理学院, 陕西 杨凌 712100)

摘 要:为进一步验证自然资源部《耕地质量调查监测评价(试用稿)》中评价指标体系的科学性和合理性,选择陕西省延川县作为黄土高原区指标体系应用试点,以便科学制定符合黄土高原区的耕地质量评价指标体系。采用纵横对比法,依据改进前后的指标体系进行耕地质量评价,结合区域实际情况和评价结果精确性,提出指标体系的改进意见。结果表明:(1)纵向对比指标体系改进前后的耕地质量指数,其面积加权平均值由 19.09 增加到 19.49,改进前后的耕地质量指数与国家自然等指数的最优相关系数由 0.80 增加到 0.88;(2)横向对比指标体系改进后的耕地质量指数归一化值和国家自然等指数归一化值,差距值为 $-0.38\sim 0.60$;(3)延川县耕地质量指数为 16.89~26.28。改进后的耕地质量评价指标体系能够更好地反映延川县耕地质量状况,有利于建立符合黄土高原区的耕地质量评价指标体系。

关键词:耕地质量; 指标体系; 黄土高原; 陕西省延川县

中图分类号:F323.21; F301.21

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2021)02-0375-07

Evaluation of Cultivated Land Quality in the Loess Plateau

—A Case Study of Yanchuan County, Shaanxi Province

CHEN Wenguang^{1,2}, KONG Xiangbin^{1,2}, LIAO Yubo^{1,2}, WANG Xuan^{1,2},
SONG Fusheng³, WEN Liangyou^{1,2}, ZHANG Bangbang⁴

(1.College of Land Science and Technology, China Agricultural University, Beijing 100193, China; 2.Key Laboratory for Farmland Quality, Monitoring and Control, Ministry of Natural Resources, Beijing 100193, China; 3.Yanchuan County Agricultural Technology Extension Center, Yan'an, Shannxi 717200, China; 4.College of Economics and Management, Northwest A&F University, Yangling, Shannxi 712100, China)

Abstract:To further verify the scientificity and rationality of the evaluation index system identified in the 'Cultivated Land Quality Investigation, Monitoring and Evaluation (Trial Draft)' of the Ministry of Natural Resources, Yanchuan County of Shaanxi Province was selected as the pilot for the index system of the Loess Plateau, so as to scientifically formulate the evaluation index system of cultivated land quality in the Loess Plateau. The longitudinal and horizontal contrast method were used to evaluate the quality of the cultivated land according to the index system before and after improvement, the improvement suggestions of the evaluation index system were proposed based on the characteristics of the regional cultivated land quality and the accuracy of the evaluation results. The results show that: (1) the area weighted average value of the cultivated land quality index increased from 19.09 to 19.49 through longitudinally comparing the cultivated land quality index before and after the improvement of the index system; the correlation between the cultivated land quality index before and after the improvement and the national natural index was analyzed, the optimal correlation coefficient increased from 0.80 to 0.88; (2) by contrasting the normalized value of the cultivated land quality index and the national natural grade index after the improvement of the horizontal comparison

收稿日期:2020-06-05

修回日期:2020-06-16

资助项目:国家社科基金重大项目(19ZDA096);国家自然科学基金(41771561,41801210);其他部委项目(20180405)

第一作者:陈文广(1997—),男,湖南岳阳人,硕士研究生,研究方向为土地资源可持续利用。E-mail:s20193030516@cau.edu.cn

通信作者:孔祥斌(1969—),男,河北承德人,教授,博士,主要从事土地资源评价、利用与保护研究。E-mail:kxb@cau.edu.cn

index system, the gap value was between -0.38 and 0.60 ; (3) the quality index of cultivated land in Yanchuan County was between 16.89 and 26.28 . The results show that the improved evaluation index system of cultivated land quality can better reflect the quality of cultivated land in Yanchuan County, and is conducive to establishing an evaluation index system of cultivated land quality in line with the Loess Plateau.

Keywords: cultivated land quality; index system; the Loess Plateau; Yanchuan County of Shaanxi Province

耕地是气候、土壤、地貌、权属、利用和基础设施等要素综合作用而形成的以种植农作物为主的土地利用类型,是最宝贵的农业资源和最重要的生产资料,是维护国家粮食安全、经济社会稳定的基础,是实施乡村振兴战略、“藏粮于地”战略的重要保障^[1-4]。改革开放以来,我国经济、社会快速发展,但也出现了耕地利用非农化、非粮化、破碎化、低效化等问题^[5-6],耕地数量不断减少,质量下降严重^[7-8]。2017 年提出的《中共中央国务院关于 加强耕地保护和改进占补平衡的意见》(中发〔2017〕4 号)强调要着力加强耕地数量、质量、生态“三位一体”保护。耕地质量作为耕地保护的重要组成部分,是保障国家粮食安全和农产品质量安全的重要基础^[9],因此,如何科学选取指标进行耕地质量评价、掌握耕地资源本底状况,进一步实现耕地资源可持续利用、国家粮食安全和国家对耕地资源管理的目标,对耕地质量评价提出了新的、更高的要求。

随着人类社会需求的多样化转变,国家对耕地质量管理需求发生了深刻变化,耕地质量的概念和内涵也在不断丰富和发展^[9-11]。当前对于耕地质量的认知存在自然属性、自然—经济双重属性以及多重属性的 3 种质量观^[12],学者主要从自然质量、环境质量、经济质量、耕作条件、生态质量和农产品质量等方面界定耕地质量内涵^[11-17],并从立地条件、土壤性状、耕作条件、生态环境、生物活性和可持续性等维度构建耕地质量评价指标体系^[18-22],极大地丰富了耕地质量的内涵与评价指标体系。原农业部颁布的《耕地地力调查与质量评价技术规程》、《耕地质量等级》、《耕地质量调查监测与评价办法》等规程,原国土资源部颁布的《农用地质量分等规程》、《农用地定级规程》、《土地质量地球化学评价规范》、《高标准农田建设评价规范》等规程和原环境保护部颁布的《土壤环境质量标准》规程分别从耕地地力和土壤环境质量^[13]、耕地生产能力^[23]、耕地环境和健康^[9]等角度进行了耕地质量评价。从现有国家规范看,各部门制定的标准只侧重耕地的某个层面,致使对耕地质量关注和管理的碎片化,无法形成监测监管的协同^[24];现有评价体系已不能满足国家对耕地精准决策管理需要,不能充分反映土地整治和高标准农田建设工作的成效。

2017 年,中共中央、国务院提出建立健全耕地

质量评价制度,完善评价指标体系和评价方法。2018 年,自然资源部在总结江西奉新县、河北黄骅市、内蒙古托克托县等 12 个县(市、区)试点工作的基础上,形成了《耕地质量调查监测评价(试用稿)》(以下简称《试用稿》),并应用到黑龙江和江苏全省的耕地质量评价以及其他各省试点县的耕地质量评价。《试用稿》综合耕地的生产力水平、健康状况、耕作效率以及可持续状况等层面,建立了一套开放包容、科学系统、与国际体系接轨和管理体制相适应的耕地质量评价指标体系,能较好地满足全球可持续发展目标、国家粮食安全战略、人类社会需求和国家对耕地质量管理的需要。但是,由于我国气候、地貌、土壤条件复杂多样,区域耕地资源禀赋差异大,迫切需要建立更加符合不同生态区耕地质量特点的评价指标体系,并验证《试用稿》中评价指标体系的科学性。本研究在对黄土高原区实地调研的基础上,以延川县耕地图斑为研究对象,结合改进前后的评价指标体系进行对比研究,以期为一套适合黄土高原区耕地质量评价的指标体系提供参考和借鉴。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

延川县地处黄土高原腹部,位于北纬 $36^{\circ}37'15''$ — $37^{\circ}5'55''$,东经 $109^{\circ}36'20''$ — $110^{\circ}26'44''$,属陕北黄土丘陵残塬沟壑区。东临黄河,与山西省永和县隔河相望,北接榆林市清涧县,西北毗邻子长县,西连宝塔区,南靠延长县。属温带大陆性季风气候,年平均气温 10.6°C ,夏季炎热且降雨集中,冬季寒冷干燥。海拔高度 $508.5\sim 1\,402.6\text{ m}$,地势自西向东倾斜,土壤以黑垆土和黄绵土为主,区域内土层深厚、土质疏松,植被稀疏,是黄河中上游水土流失重点县之一^[25]。长期的流水侵蚀导致延川县梁峁起伏、耕地支离破碎且田面极其不平整,土壤中有机质和养分元素含量较低,土壤贫瘠。县境降水量不足,年降水量为 $450\sim 550\text{ mm}$,且时空分布不均。清涧河是黄河在县境内的主要干流,河流总长 169.9 km ,流经本县 4 个乡镇。总土地面积 $1\,983.87\text{ km}^2$,其中耕地面积为 $30\,686.54\text{ hm}^2$,粮食产量较低,自然灾害频繁。

1.2 数据来源与处理

研究数据包括:(1) 延川县 2016 年耕地质量等别年度更新数据,获取田面坡度、有效土层厚度、耕层质地、田块状况、灌溉保证程度、土壤侵蚀程度等数据;(2) 2019 年 9 月实地调查和取样的 51 个采样点(图 1),实地获取障碍层距地表深度、土壤 pH 值、土体构型和土壤蚯蚓等数据,实验室土样化验获取有机质含量、土壤容重、土壤养分元素、土壤重金属数据;(3) 中国海拔空间分布数据,来源于中国科学院资源环境科学与数据中心(<http://www.resdc.cn>),数据类型为栅格,数据精度为 30 m×30 m,并结合实地调研确定地形部位数据;(4) 部门走访数据,获取排水条件、灌溉水环境质量数据。田间道路通达度数据利用 2016 年耕地质量等别年度更新数据库中的道路线状数据和耕地图斑数据进行缓冲区分析获取。依据陕西省延川县 2016 年耕地质量等别年度更新数据,提取 18 817 个耕地图斑作为评价单元,总面积 30 686.54 hm²,包括旱地 30 502.02 hm²、水浇地 184.52 hm²。

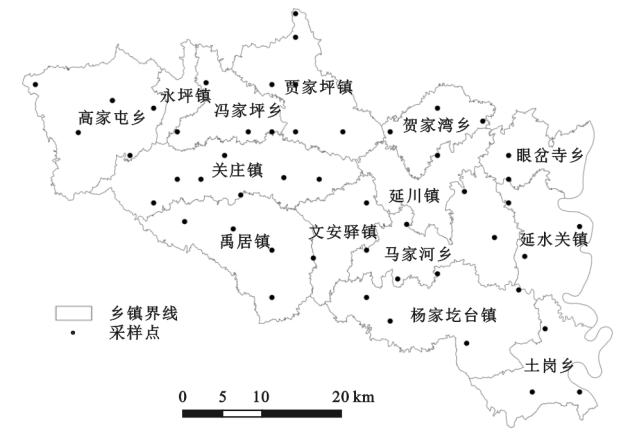


图 1 延川县采样点空间分布

2 耕地质量评价

2.1 指标体系改进

《试用稿》中确定的指标体系融合了现有农用地分等定级指标、耕地地力指标、土壤环境指标和地球化学调查指标等,具体包括耕地的地形特征、土壤性状、耕作条件、健康状况以及生物特性 5 个方面(表 1)。

表 1 改进前的黄土高原区耕地质量评价指标体系

项目	指标
地形特征	田面坡度、地形部位
土壤性状	有效土层厚度、有机质含量、耕层质地、障碍层距地表深度、土体构型、土壤容重、土壤养分元素、土壤 pH 值
耕作条件	灌溉保证程度、排水条件、田块状况、田间道路通达度、耕作距离
健康状况	土壤重金属元素、灌溉水环境质量
生物特性	土壤蚯蚓

土壤性状维度中,延川县 2016 年耕地质量等别

年度更新数据显示,有效土层厚度在 149~160 cm 且区域分异明显,深厚的土层造成障碍层距离地表深度普遍较深;实地调查结果表明,障碍层距地表深度普遍在 60 cm 以上,指标得分为 100 分,且《农用地分等规程》中并未考虑该指标,因此,剔除了障碍层距地表深度指标。黄土高原区水土流失较严重,延川县作为黄河中上游水土流失重点县之一^[25],长期的水土侵蚀造成土壤有机质和有益元素大量流失,因此,增加了土壤侵蚀程度指标,表示土壤侵蚀发展相对阶段或相对强度的差异,用单位面积和单位时间内土壤的流失量来表示^[26]。因此,土壤性状维度最终保留有效土层厚度、有机质含量、耕层质地、土体构型、土壤容重、土壤养分状况、土壤 pH 值、土壤侵蚀程度指标。

耕作条件维度中,田块状况指标包括田块形状指数、田块内部高差和田块规模 3 个因子,地形特征维度中的田面坡度指标对田块内部高差有较大影响,相关系数为 0.54;田块形状指数对耕作效率影响较小,且延川县田块形状较规整;地块破碎度表示耕地地块的破碎化程度,黄土高原区耕地支离破碎且延川县耕地破碎化指数(FS)为 0.13~0.53,耕地较破碎,因此,将原来的田块状况指标替换为田块规模,并增加地块破碎度指标。区域内排水设施较差,但黄土高原区降雨少,且土质疏松,自然排水能力较强,因此,将排水条件指标替换为排水能力,表示农田保证作物正常生长,及时排除地表积水,有效控制和降低地下水位的的能力。耕作条件维度最终包括灌溉保证程度、田块规模、地块破碎度、排水能力、田间道路通达度和耕作距离 6 个指标。破碎化指数(FS)计算公式如下:

$$FS=1-\frac{1}{MSI} \tag{1}$$

$$MSI=\frac{\sum_{i=1}^n \frac{0.25J_i}{\sqrt{A_i}}}{N} \tag{2}$$

式中:MSI 为地块平均形状指数; J_i 为第 i 个耕地地块的周长; A_i 为第 i 个耕地地块的面积; N 为耕地地块数量。

2.2 指标权重确定

运用层次分析法和专家打分法综合确定指标权重。根据地形特征、土壤性状和耕作条件的相对重要性构建判断矩阵,求取判断矩阵的最大特征值及该特征值所对应的特征向量,该特征向量即为这一层次的元素所对应的权重值^[27];再采用两两比较的方式确定各层次内要素相对重要性,从而构建判断矩阵确定评价指标权重;同时结合专家打分法确定的指标权重对层次分析法获得的量化结果进行修正,最终得到各指标层的权重(表 2)。

定的标准耕作制度,以指定作物的光温(气候)生产潜力为基础,通过对耕地的自然质量、利用水平、经济水平逐级订正后综合评定耕地质量差异^[10],评价结果可信度高。耕地质量等别年度更新数据是在农用地分等基础上进行的,因此,基于《试用稿》得出的评价结果能够较好地反映区域耕地质量状况。

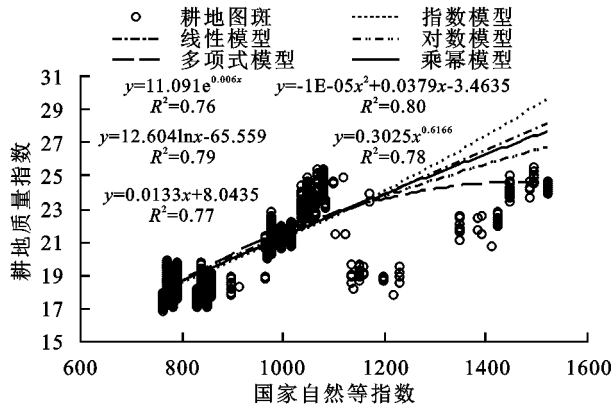


图3 指标体系改进前耕地质量指数与国家自然等指数相关关系

3.2 指标体系改进后

3.2.1 耕地质量 采用上述方法确定改进后的评价指标权重,并采用2.3节中确定的方法计算延川县耕地质量指数,结果表明(图4),延川县耕地质量指数为16.89~26.28,面积加权平均值为19.49,中等地和低等地面积分别为358.82,30 327.72 hm²,占耕地总面积的比例分别为1.17%,98.83%。整体来看,地形特征在县域范围内差异较大;耕地支离破碎、土壤有机质和养分元素含量低,土壤容重区域分异明显,有效土层较厚;灌溉保证程度低、田块规模较小,田间道路通达度指数在村尺度上差异较大,农业现代化水平低;县域范围内无土壤重金属污染和灌溉水污染,耕地健康状况好;区域内生物特性指数较低。

具体而言,中等地多分布在冯家坪乡、关庄镇、贾家坪镇、延川镇和杨家圪台镇,贺家湾乡、马家河乡也有零星分布,耕地多位于地势平坦的川地,土壤有机质含量较高,结构较好,且质地为壤土,蓄水保肥能力强;田块规模较大,灌溉保证程度相对较高,耕作条件较好,但是生物特性较差。低等地在各个乡镇均有大面积分布,耕地田面坡度较大,有机质含量低、质地较差,灌溉保证程度低、田块规模小且田间道路通达度差,生物特性较差。

3.2.2 指标体系改进前后耕地质量指数对比分析 指标体系改进后的耕地质量评价结果较改进前而言,耕地质量指数整体上呈现出上升的趋势(图5)。耕地质量指数提高的耕地面积为26 992.67 hm²,占耕

地总量的87.96%,在各个乡镇均有大面积的分布;造成耕地质量指数上升的主要原因是耕地规模较好,改进后的评价指标体系中田块规模指标分值比田块状况指标分值高,排水能力指标得分较排水条件指标得分大幅提升,近年来植树造林工程有效减缓了土壤侵蚀,土壤侵蚀程度指标分值较高。耕地质量指数降低的耕地面积为3 693.87 hm²,占耕地总量的12.04%,主要分布在冯家坪乡、关庄镇、贾家坪镇、文安驿镇、杨家圪台镇和禹居镇;造成耕地质量指数降低主要原因是新增指标中的田块规模小、地块破碎化程度高。

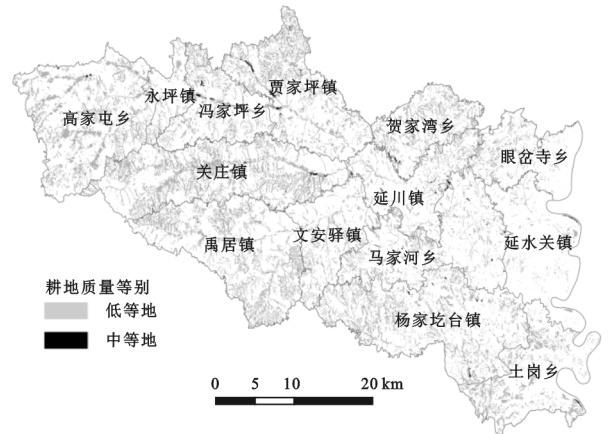


图4 指标体系改进后耕地质量等级

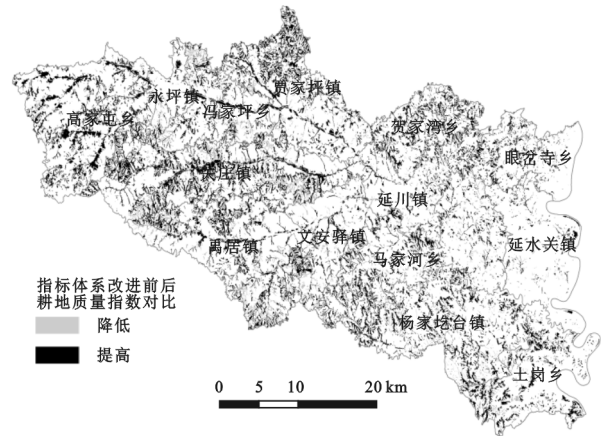


图5 指标体系改进前后耕地质量指数对比

3.2.3 耕地质量指数与国家自然等指数相关关系 将各耕地图斑的耕地质量指数与国家自然等指数进行相关性分析可知,指标体系改进后的线性、对数、指数、乘幂、多项式模型的相关系数均高于指标体系改进前(图6)。其中,多项式模型的相关系数最大,为0.88,改进后的指标体系更能真实地反映区域耕地质量状况。

3.2.4 耕地质量指数与国家自然等指数归一化值差距分析 延川县2016年耕地质量等别年度更新工作选取了有效土层厚度、表层土壤质地、土壤有机质含量、地形坡度、灌溉保证率和土壤侵蚀程度6个评价

指标。全县耕地国家自然等指数为 761~1 519,分为 12 等、13 等、14 等 3 个等别,其中 12 等地面积为 161.82 hm²,占耕地总面积的 0.53%,零星分布在延川镇;13 等地面积为 8 212.64 hm²,占耕地总面积的 26.76%,大部分分布在西部的高家屯乡、冯家坪乡、贾家坪镇和关庄镇;14 等地面积为 22 312.08 hm²,占耕地总面积的 72.71%,集中分布在西部的高家屯乡、冯家坪乡、贾家坪镇、关庄镇和中部的贺家湾乡、马家河乡、杨家圪台镇和禹居镇。

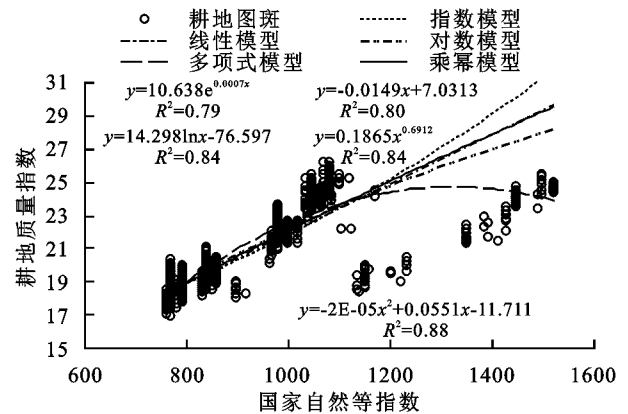


图 6 指标体系改进后耕地质量指数与国家自然等指数相关关系

各成果选取的指标和计算方法不同,导致结果不能直接进行定量比较。因此在与相关成果定量对比前,需要对各成果数据进行无量纲化处理,即进行数据的归一化。首先采用 min-max Normalization 进行数据归一化,通过对原始数据进行线性变换,使结果值映射到[0,1]^[28]。其次,用耕地图斑的耕地质量指数归一化值减去国家自然等指数归一化值,取得差距值。再次,利用自然断点法,将[0,1]划分为 5 个区间;其中[-0.2,0.2]为极小差距,(0.2,0.4]和[-0.4,-0.2]为小差距,(0.4,0.6]和[-0.6,-0.4]为中差距,(0.6,0.8]和[-0.8,-0.6]为大差距,(0.8,1.0]和[-1.0,-0.8]为极大差距。

根据表 3 可知耕地质量指数和国家自然等指数归一化值的差距中,主要为极小差距和小差距,分别占耕地总面积的 56.67%,38.87%;而中差距仅占耕地总面积的 4.46%。极小差距、小差距和中差距在县域内均有分布,其中,中差距主要分布在冯家坪乡、关庄镇、贾家坪镇、马家河乡和杨家圪台镇。研究发现,耕地质量评价结果与 2016 年延川县耕地质量等别年度更新成果的差距除了指标权重、分级标准不同外,最主要的原因是本研究增加的地形部位、土壤养分元素、田间道路通达度、田块规模和地块破碎度等指标空间分异较大,且考虑了耕地健康和生物特性状况。

表 3 各乡镇耕地质量指数归一化值和国家自然等指数归一化值差距类型及面积 hm²

乡镇名称	面积			
	极小差距	小差距	中差距	总计
冯家坪乡	980.50	403.92	211.72	1596.14
高家屯乡	2673.32	993.90	79.86	3747.08
关庄镇	2602.31	2410.48	151.75	5164.54
贺家湾乡	924.36	614.55	64.20	1603.11
贾家坪镇	1300.71	1702.47	232.20	3235.38
马家河乡	797.58	1161.24	121.98	2080.80
土岗乡	1486.04	277.65	21.47	1785.16
文安驿镇	714.06	388.92	51.16	1154.14
延川镇	401.36	638.47	86.64	1126.47
延水关镇	317.72	143.52	22.70	483.94
眼岔寺乡	683.76	164.03	5.79	853.58
杨家圪台镇	2067.28	1327.07	193.43	3587.78
永坪镇	131.85	281.60	42.73	456.18
禹居镇	2308.80	1419.12	84.32	3812.24

4 讨论与结论

4.1 讨论

本研究结合黄土高原区实际状况,对《试用稿》中确定的耕地质量评价指标体系进行了改进,指标体系改进后的耕地质量评价结果显示,仍然有 12.04%的耕地质量指数出现下降,主要原因是新增指标中的地块破碎化程度较高,田块规模较小,通过纵横对比论证了改进后的评价指标体系能够更加准确地反映区域耕地资源本底状况。这套指标体系从耕地支撑作物生产的保障能力评价了耕地质量,包括地形、土壤、耕作条件、健康和生物 5 个维度,建立的评价指标体系比较全面,为区域土地资源管理、土地综合整治等提供了基础研究。但是,本研究采用的耕地质量评价方法仍较为综合,无法体现耕地质量单要素特点,未来应该采用更加合理的耕地质量评价方法,能够反映区域耕地质量的要素特征。同时,加强对黄土高原区耕地质量长期定点监测,掌握耕地质量时间变化趋势并精准识别耕地质量限制因子的类型及强度,更好地服务于分区分时序的土地整治工作,实现黄土高原区耕地质量提升、粮食安全和黄河流域高质量发展。

4.2 结论

结合黄土高原区土层深厚、梁峁起伏、耕地支离破碎、降雨少且土质疏松、水土流失严重等特点,改进了《试用稿》中的耕地质量评价指标体系:增加了地块破碎度和土壤侵蚀程度指标,删去了障碍层距地表深度指标,将田块状况和排水条件指标替换为田块规模

和排水能力。改进后的评价指标体系更加符合黄土高原区典型特征以及研究区实际情况。

纵向对比指标体系改进前后的耕地质量指数及其与国家自然等指数的相关系数可知,耕地质量指数面积加权平均值由 19.09 增加到 19.49,最优相关系数由 0.80 增加到 0.88;横向对比指标体系改进后的耕地质量指数归一化值和国家自然等指数归一化值的差距,差距主要为极小差距、小差距和中差距,占耕地总面积的比例分别为 56.67%,38.87%,4.46%。通过纵横对比分析可知,采用改进后的指标体系测算的耕地质量指数能够更好地反映区域耕地质量状况。

延川县耕地质量指数为 16.89~26.28,耕地质量较差。延川县包括中、低 2 个等别,中等地和低等地的面积分别为 358.82,30 327.72 hm^2 ,占总面积的比例分别为 1.17%,98.83%。中等地主要分布在地势低平的川地,田面坡度较小,有机质含量高且土壤结构好,农田基础设施较完善、田块规模较大,但生物特性较差;低等地分布于整个县域,田面坡度较大,土壤贫瘠,灌溉保证程度较差且田间道路通达度低,田块较破碎,不利于农业生产。田面坡度、地形部位、有机质含量、灌溉保证程度、田块规模和生物特性是延川县耕地质量的主要限制因子。未来,应实施土地整治工程来修复耕地质量障碍因子,提升耕地质量。

参考文献:

- [1] 徐明岗,卢昌艾,张文菊,等.我国耕地质量状况与提升对策[J].中国农业资源与区划,2016,37(7):8-14.
- [2] 孙晓兵,孔祥斌,温良友.基于耕地要素的耕地质量评价指标体系研究及其发展趋势[J].土壤通报,2019,50(3):739-747.
- [3] 匡丽花,叶英聪,赵小敏,等.基于改进 TOPSIS 方法的耕地系统安全评价及障碍因子诊断[J].自然资源学报,2018,33(9):1627-1641.
- [4] 叶云,赵小娟,胡月明.基于 GA—BP 神经网络的珠三角耕地质量评价[J].生态环境学报,2018,27(5):964-973.
- [5] 刘彦随,乔陆印.中国新型城镇化背景下耕地保护制度与政策创新[J].经济地理,2014,34(4):1-6.
- [6] 龙花楼.论土地整治与乡村空间重构[J].地理学报,2013,68(8):1019-1028.
- [7] 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.
- [8] 张红宇.农业供给侧结构性改革背景下的新农人发展调查[J].中国农村经济,2016(4):2-11.
- [9] 付国珍,摆万奇.耕地质量评价研究进展及发展趋势[J].资源科学,2015,37(2):226-236.
- [10] 沈仁芳,陈美军,孔祥斌,等.耕地质量的概念和评价与管理对策[J].土壤学报,2012,49(6):1210-1217.
- [11] 陈印军,肖碧林,方琳娜,等.中国耕地质量状况分析[J].中国农业科学,2011,44(17):3557-3564.
- [12] 杜国明,刘彦随,于凤荣,等.耕地质量观的演变与再认识[J].农业工程学报,2016,32(14):243-249.
- [13] 温良友,孔祥斌,张蚌蚌,等.基于可持续发展需求的耕地质量评价体系构建与应用[J].农业工程学报,2019,35(10):234-242.
- [14] 刘友兆,马欣,徐茂.耕地质量预警[J].中国土地科学,2003,17(6):9-12.
- [15] 吴群,郭贯成,刘向南,等.中国耕地保护的体制与政策研究[M].北京:科学出版社,2011.
- [16] 孔祥斌,李翠珍,赵晶,等.乡镇尺度耕地生产能力实现程度分析与实证[J].农业工程学报,2010,26(12):345-351.
- [17] 王淇韬,孔祥斌,辛芸娜,等.基于利用效率限制的县域耕地质量定级方法研究:以河北省平山县为例[J].北京师范大学学报:自然科学版,2018,54(3):292-299.
- [18] 陈诚.农产品质量安全导向的耕地质量评价及在城市开发边界划定中的应用:以南通市为例[J].地理研究,2016,35(12):2273-2282.
- [19] 辛芸娜,范树印,孔祥斌,等.四重质量维度下的县域耕地质量评价方法研究[J].资源科学,2018,40(4):737-747.
- [20] 赵瑞,吴克宁,陈甜倩.面向土地整治的耕地质量评价优化[J].生态学杂志,2019,38(8):2433-2441.
- [21] 赵小娟,叶云,周晋皓,等.珠三角丘陵区耕地质量综合评价及指标权重敏感性分析[J].农业工程学报,2017,33(8):226-235.
- [22] 奉婷,张凤荣,李灿,等.基于耕地质量综合评价的县域基本农田空间布局[J].农业工程学报,2014,30(1):200-210.
- [23] 张蚌蚌,孔祥斌,郎文聚,等.我国耕地质量与监控研究综述[J].中国农业大学学报,2015,20(2):216-222.
- [24] 欧阳真.沅江市耕地质量和耕地产能评价研究[D].武汉:华中师范大学,2018.
- [25] 袁瀛,郝惠莉,马宁,等.陕西省水土流失重点防治区的划分方法及指标体系[J].水土保持通报,2017,37(5):333-337.
- [26] 东野光亮,王霖琳,刘洪义,等.泥石流危险度区划与土地利用规划[J].农业工程学报,2005,21(7):56-60.
- [27] Luo X, He H, Ke X. Evaluation of urban land intensive use based on analytic hierarchy process: A case of Zhongxiang City, Hubei Province, China[J]. Asian Journal of Agricultural Research, 2009,37(36):18114-18116.
- [28] 付秀梅,姜琴,王东亚,等.青岛海域海洋生物多样性现状与安全度评估研究[J].海洋环境科学,2018,37(1):21-27.