

基于农户视角的粮食主产区耕地健康评价与诊断

——以湖南省湘阴县为例

文高辉¹ 张卿梅² 胡贤辉¹ 赵京³¹

(1. 湖南师范大学 资源与环境科学学院, 湖南 长沙 410081;

2. 中南大学 公共管理学院, 湖南 长沙 410083;

3. 中南林业科技大学 林学院, 湖南 长沙 410004)

【摘要】: 耕地健康关乎国家粮食安全。依据 PSR 理论模型构建耕地健康评价指标体系, 利用湖南省岳阳市湘阴县农户调查数据, 运用层次分析法、TOPSIS 法和障碍度模型评价了该县耕地健康状况并诊断其障碍因子。结果表明: 湘阴县耕地健康综合指数为 0.488, 耕地健康等级为中度亚健康; 耕地健康压力指数、状态指数和响应指数依次分别为 0.597、0.526 和 0.418; 轮作休耕、种植绿肥、单位播种面积有机肥施用量、粮食单产、耕作层厚度、单位播种面积化肥施用量、灌溉保证率是制约湘阴县耕地健康的主要障碍因子。

【关键词】: 耕地健康 障碍因子 粮食主产区 TOPSIS 法

【中图分类号】: F323.21 **【文献标志码】:** A **【文章编号】:** 1005-8141(2021)04-0399-06

近年来, 我国大力推进生态文明建设, 耕地保护逐步向耕地数量、质量、生态“三位一体”保护的目标迈进^[1]。然而, 当前我国耕地仍然面临着耕地退化、污染、重用轻养等诸多问题, 不但严重威胁着耕地健康和农业可持续发展, 而且影响到国家粮食安全和人类的健康。20 世纪 40 年代, Leopold A^[2]率先提出了“土地健康”的概念, 认为健康的土地是指被人类占用而没有使其功能受到破坏的状况。鄢文聚^[3]认为, 耕地健康是健康的耕作土壤、可持续的耕地利用和稳定的耕地资源利用生态系统, 耕地健康的本质内涵至少包括耕地本体健康、耕地母体健康、耕地受体健康和耕地系统健康等 4 个方面。

学术界通常将耕地健康与耕地保护、耕地可持续利用紧密联系在一起, 认为耕地健康是耕地保护的目标, 也是耕地可持续利用的基础^[4,5]。此外, Parlee B 和 Berkes F^[6]认为健康的土地与健康的人之间存在着必然的密切联系。Cheng Y 和 Nathanail P C^[7]基于耕地土壤污染视角探讨了人类健康风险评价。近年来, 随着我国对生态文明建设和耕地保护的重视, 关于耕地健康的研究又日渐丰富。陈志凡、李勤奋、赵焯^[8]建立了基于熵权的模糊物元模型, 评价了上海市各区县农用地土壤健康状况; 李强、赵焯、严金明^[9]在系统分析城市化驱动对城郊农用地影响的基础上, 从质量目标、产能目标、土壤环境 3 个方面构建了农用地健康评价体系, 并采用模糊评价模型评价了京津冀接壤区的城郊农用地健康状况; 李强、彭文英、王建强等^[10,11]分别以生态脆弱区、

作者简介: 文高辉(1990-), 男, 江西省萍乡人, 博士, 副教授, 硕士生导师, 研究方向为土地经济与管理。

胡贤辉(1978-), 男, 江西省上饶人, 博士, 副教授, 硕士生导师, 研究方向为国土规划与评价。

基金项目: 国家自然科学基金项目(编号:41801190); 湖南省自然科学基金项目(编号:2019JJ50390); 湖南省哲学社会科学基金项目(编号:18YBQ097); 湖南省教育厅创新平台开放基金项目(编号:19K062); 教育部人文社会科学项目(编号:17YJC630225)

乡镇企业发达区为研究区域,构建了相应的耕地健康综合评价模型;余慧敏和郭熙^[12]则基于生态视角,从土壤肥力、耕地土壤环境污染性、有益性 3 个方面构建了我国南方典型丘陵区耕地健康诊断体系,并诊断了江西省奉新县耕地健康状况。有学者进一步综合评价了我国耕地健康产能状况。如,赵瑞、吴克宁、张小丹等^[13]基于“需求—功能—维度—要素—指标”框架构建了耕地健康产能评价指标体系,并运用综合算法、“1+X”累加模型法、图层叠加法定量评价了河南省温县耕地健康产能;叶思菁、宋长青、程锋等^[14]以全国范围 65 个县(市)作为研究对象,以土壤性状等 5 类指标评价了耕地健康状况,以气候条件等 3 类指标评价了耕地产能水平。另外,有学者探讨了土地利用系统健康的评价指标体系^[15]和评价方法^[16-18]。

综上,目前学术界对耕地健康评价指标体系及方法进行了有益探讨,但指标选取无统一的标准,忽视了耕地利用主体对耕地健康状况的评价。此外,鲜有学者诊断当前耕地健康状况的主要障碍因子。农户是我国当前乃至相当长一段时间内最主要的耕地利用主体,农户耕地利用行为直接影响着耕地健康状态,同时耕地健康与否直接关系到农户的农业收入,农户对其耕地健康状况最为关注。

洞庭湖平原是我国重要的粮食主产区,但同时也是农田面源污染严重区域。基于此,本文基于农户视角,依据 PSR 模型构建了耕地健康评价指标体系,并以洞庭湖平原的粮食主产区——湖南省岳阳市湘阴县为例,采用层次分析法、TOPSIS 法和障碍度模型评价了该县耕地健康状况,诊断了制约该县耕地健康程度的障碍因子,以期改善耕地健康状况提供参考依据。

1 耕地健康评价指标体系的构建

耕地具有生产、生活和生态等多重属性,具有经济、社会和生态等多种功能和价值,耕地健康与否直接影响到耕地功能价值的实现。健康的耕地生态系统既能为人类生存和发展持续稳定地提供物质资源,又能在利用过程中维持自身正常的结构功能。耕地健康评价是对某区域耕地生态系统一定时间内的自然生态、社会经济属性特征的综合评价,并诊断出由外界干扰引起的耕地生态系统失衡,以便采取相应的措施。农户是我国当前乃至相当长一段时间内最主要的耕地利用主体,农户对其耕种的土地状况最为了解,从农户的视角出发,可较早地诊断出当前耕地健康状况。基于此,本文依据 PSR 模型构建了基于农户视角的南方粮食主产区耕地健康评价指标体系。

压力—状态—响应(Pressure-State-Response, PSR)模型最早是由经济合作与发展组织(OECD)和联合国环境规划署(UNEP)用于评价世界环境状况,现被广泛用于评价土地资源的生态安全、健康和可持续性^[16,19]。(1)压力(Pressure)反映了人类活动对耕地生态系统造成的影响和胁迫。从农户层面来看,耕地资源受到人类活动的影响和胁迫主要为化肥农药投入强度和水土污染,故选取单位播种面积化肥施用量、单位播种面积农药施用量、田块受周围田块施用农药化肥的影响程度、灌溉水源受污染程度、生活污染排放至耕地的状况等 5 个指标作为耕地健康的压力指标。(2)状态(State)反映了耕地生态系统在胁迫的作用下呈现出的状态。从农户层面来看,耕地生态系统表现出的状态主要有耕地肥力、灌溉和产出等情况,故选取土壤肥力、耕作层厚度、耕地平坦程度、灌溉保证率、粮食单产、复种指数等 6 个指标作为耕地健康的状态指标。(3)响应(Response)反映了个人和社会为控制和预防人类活动对耕地生态系统的负面影响所采取的措施。从农户层面来看,农户为保护耕地生态环境、可持续利用耕地所采取的措施主要有施用有机肥、轮作休耕、深耕等,故选取单位播种面积有机肥施用量、轮作休耕、种植绿肥、深耕整地、秸秆还田等 5 个指标作为耕地健康的响应指标。

2 研究方法

2.1 层次分析法

确定权重的方法众多,其中层次分析法较为常用。层次分析法(AHP 法)是指将与决策总是有关的元素分解成目标、准则、方案等层次,在此基础上进行定量与定向相结合的决策分析方法。该方法较适合于具有分层交错评价指标的目标系统,且目标值又难于定量描述的决策问题。13 位本领域的专家对指标体系间的相对重要性进行了评判,取其均值确定指标权重。通过计算,

所有专家的指标评分均通过了一致性的检验。

2.2 TOPSIS 法

TOPSIS 法是一种常用的综合评价方法，它利用数据规范化矩阵，找出多个目标中的最优目标 and 最劣目标，计算各评价对象与正理想解和负理想解的距离，获得各评价对象与正理想解的贴近度，以此作为评价对象优劣的依据^[20]。该方法现已广泛应用于耕地健康^[18]、耕地生态安全^[21]等方面的评价。因此，本文采用 TOPSIS 法来评价湖南省岳阳市湘阴县耕地健康状况。

采用极值标准化法对评价指标原始数据进行规范化处理：

$$\text{正向指标: } r_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{j\min}}{x_{j\max} - x_{j\min}} \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{负向指标: } r_{ij} = \frac{x_{j\max} - x_{ij}}{x_{j\max} - x_{j\min}} \dots\dots\dots (2)$$

式中， x_{ij} 为第 i 个农户第 j 个指标实际值； $x_{j\max}$ 和 $x_{j\min}$ 分别为第 j 个指标的最大值和最小值； r_{ij} 为 x_{ij} 的标准化值。

建立关于加权规范化值的加权规范化决策矩阵：

$$v_{ij} = w_j \times r_{ij} \dots\dots\dots (3)$$

确定正理想解 V^+ 和负理想解 V^- ：

$$V^+ = \{ \max_{1 \leq i \leq m} v_{ij} | j = 1, 2, \dots, n \} = \{ v_1^+, v_2^+, \dots, v_n^+ \} \dots\dots\dots (4)$$

$$V^- = \{ \min_{1 \leq i \leq m} v_{ij} | j = 1, 2, \dots, n \} = \{ v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^- \} \dots\dots\dots (5)$$

计算距离尺度，即计算各评价对象到正理想解和负理想解的距离：

$$D^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2} \quad (i = 1, 2, \dots, m) \dots\dots\dots (6)$$

$$D^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (i = 1, 2, \dots, m) \dots\dots\dots (7)$$

式中， D^+ 表示各评价对象与最优目标的接近程度； D^- 则表示各评价对象与最劣目标的接近程度。

计算正理想解的贴近度 C_i ：

$$C_i = D_i^- / (D_i^+ + D_i^-) \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad \dots\dots (8)$$

式中, $0 \leq C_i \leq 1$ 。 C_i 值越大, 表明第 i 个农户的耕地健康程度越高。当 $C_i=0$ 时, 表明耕地健康程度最低; 当 $C_i=1$ 时, 表明耕地健康程度最高。

2.3 耕地健康等级划分

耕地健康涉及许多不易量化的因素, 健康与否是一个相对概念^[11], 没有对耕地健康评价的统一标准。本文借鉴已有的研究成果^[9, 11, 22], 采用“均分原则”, 将贴适度 C 划分为 5 等级, 对应相应的耕地健康等级(表 1)。

表 1 耕地健康等级划分

贴适度 (C)	[0, 0. 2)	[0. 2, 0. 4)	[0. 4, 0. 6)	[0. 6, 0. 8)	[0. 8, 1. 0]
耕地健康等级	不健康	重度亚健康	中度亚健康	轻度亚健康	健康

2.4 障碍度模型

本文在耕地健康评价的基础上, 采用障碍度模型诊断出制约耕地健康的障碍因子。障碍度模型主要包括因子贡献度、指标偏离度、障碍度等 3 个指标。其中, 因子贡献度(U_j)为单因子对总目标的权重(w_j), 指标偏离度(I_{ij})为单指标标准化值与耕地健康目标值(即 100%)之间的差距, 障碍度(Y_i, y_{ij})分别为分类指标和单指标对耕地健康程度的影响程度^[20]。计算公式为:

$$y_{ij} = I_{ij}w_j / (\sum_{j=1}^n I_{ij} \times w_j), Y_i = \sum y_{ij} \quad \dots\dots\dots (9)$$

式中, $I_{ij}=1-r_{ij}$; r_{ij} 为 X_{ij} 的标准化值。

3 研究区域与数据来源

3.1 研究区域概况

洞庭湖平原位于湖南省东北部, 主要由长江通过松滋、太平、藕池、调弦四口输入的泥沙和洞庭湖水系的湘江、资江、沅江、澧水等带来的泥沙冲积而成, 整个平原总面积 1. 878 万 km^2 。洞庭湖平原是我国重要的商品粮基地, 但同时也是农田面源污染的严重区域, 洞庭湖平原的耕地生态健康状况关系着我国粮食安全和社会稳定等重大问题。湖南省岳阳市湘阴县是洞庭湖平原重要的粮食主产区, 是四化两型、长江经济带、洞庭湖生态经济区等国家和区域经济发展战略的重要节点和支撑点, 故选择湘阴县作为研究区域具有代表性和重要的参考价值。2018 年, 湘阴县的人均地区生产总值为 4. 232 万元, 居民人均可支配收入为 2. 414 万元; 全县耕地面积 $4. 23 \times 10^4 \text{hm}^2$, 粮食播种面积 $8. 41 \times 10^4 \text{hm}^2$, 全年实现农林牧渔总产值 83. 45 亿元。

3.2 数据来源

根据湘阴县的地貌特征和各乡镇到县城的距离, 选择鹤龙湖镇、湘滨镇和南湖洲镇 3 镇作为调查区域。2019 年 3 月, 课题组对上述 3 镇农户进行了问卷调查, 每个镇根据各村到集镇的距离选择 2 个样本村, 每个样本村随机调查 30 户农户。为了确保

调查数据的可信度，调查对象均为长期从事农业生产活动的户主或家庭主要农业劳动力，他们对耕地和农业生产情况非常了解。此次问卷调查共收回有效样本 186 份，其中鹤龙湖镇 66 份、湘滨镇 61 份、南湖洲镇 59 份。

4 结果及分析

4.1 评价指标描述性分析

调查结果显示，对于耕地健康压力层，湘阴县户均单位播种面积化肥施用量为 1088.86kg/hm²，户均单位播种面积农药施用量为 750.01 元/hm²，田块受相邻田块施用农药化肥的影响程度较小，灌溉水源受污染程度较轻，很少有生活污染排放至耕地。对于耕地健康状态层，农户认为当地耕地平坦程度较高甚至很高，灌溉保证率较高，但是土壤肥力一般，耕作层厚度介于一般至较厚间，耕地的复种指数为 199.23%，粮食单产为 6042.89kg/hm²。对于耕地健康响应层，仅有 2.69%的抽样农户在水稻生产中施用过有机肥，户均单位播种面积有机肥分别为 9.27kg/hm²，鲜有农户对农田进行轮作休耕和种植绿肥，农户每年都进行深耕整地，大部分秸秆进行了还田处理。由此可见，压力、状态、响应 3 个层面均既有对耕地健康有利的因素，又有对耕地健康不利的因素。

湘阴县耕地健康评价指标的描述性统一见表 2。在负向指标中，南湖洲镇 P₁、P₄、P₅的均值最小，鹤龙湖镇 P₂、P₃的均值最小；在正向指标中，南湖洲镇 S₂、S₆、R₃、R₅的均值最大，鹤龙湖镇 S₁、S₄、S₅、R₄的均值最大，湘滨镇 S₃、R₁、R₂的均值最大。因此，无法判断哪个镇的耕地健康程度孰高孰低，需做进一步的分析。

表 2 湘阴县耕地健康评价指标的描述性统计

指标	湘阴县				鹤龙湖镇	湘滨镇	南湖洲镇
	最小值	最大值	均值	标准差	均值	均值	均值
P1	0	1075.000	1000.050	302.742	1099.211	1135.146	1029.419
P2	0	1973.604	750.010	200.040	693.000	016.095	744.630
P3	1	4	1.506	0.016	1.500	1.500	1.763
P4	1	4	1.071	0.731	2.000	1.069	1.729
P5	1	3	1.006	0.040	1.079	1.052	1.670
S1	2	5	3.200	0.733	3.394	3.164	3.271
S2	'	5	3.501	0.621	3.576	3.574	3.593
S3	'	5	4.446	0.720	4.379	4.525	4.441
S4	'	5	4.134	0.704	4.303	4.002	4.000
S5	3750.000	0406.042	6042.000	647.504	6100.019	5944.944	5990.751
S6	142.057	200.000	199.229	5.774	190.945	199.260	199.516
R1	0	600.000	9.274	59.930	9.091	9.036	0.090
R2	1	3	1.100	0.359	1.106	1.115	1.102
R3	1	3	1.102	0.337	1.091	1.090	1.119
R4	4	5	4.946	0.226	5.000	4.951	4.001
R5	2	5	4.290	0.971	4.340	4.066	4.450

4.2 耕地健康评价

湘阴县耕地健康评价结果见表 3。从表 3 中的耕地健康压力指数来看, 湘阴县全县耕地健康压力指数为 0.597, 其耕地健康等级为中度亚健康。其中, 南湖洲镇的耕地健康压力指数最高, 为 0.619, 耕地健康等级为轻度亚健康; 鹤龙湖镇和湘滨镇的耕地健康压力指数分别为 0.588、0.585, 耕地健康等级均为中度亚健康。从耕地健康状态指数来看, 湘阴县全县的耕地健康状态指数为 0.526, 其耕地健康等级为中度亚健康。其中, 鹤龙湖镇、湘滨镇和南湖洲镇的耕地健康状态指数依次为 0.551、0.513、0.512, 耕地健康等级均为中度亚健康。从耕地健康响应指数来看, 湘阴县全县的耕地健康响应指数为 0.418, 耕地健康等级为中度亚健康。其中, 鹤龙湖镇、湘滨镇和南湖洲镇的耕地健康响应指数依次为 0.432、0.413、0.406, 耕地健康等级均为中度亚健康。从耕地健康综合指数来看, 湘阴县全县耕地健康综合指数为 0.488, 耕地健康等级为中度亚健康。其中, 鹤龙湖镇、湘滨镇和南湖洲镇的耕地健康状态指数依次为 0.498、0.481、0.484, 耕地健康等级均为中度亚健康。由此可见, 湘阴县耕地健康状况不容乐观。

表 3 湘阴县耕地健康评价结果

地区	耕地健康压力指数		耕地健康状态指数		耕地健康响应指数		耕地健康综合指数	
	贴适度	健康等级	贴适度	健康等级	贴适度	健康等级	贴适度	健康等级
鹤龙湖镇	0.588	中度亚健康	0.551	中度亚健康	0.432	中度亚健康	0.498	中度亚健康
湘滨镇	0.585	中度亚健康	0.513	中度亚健康	0.413	中度亚健康	0.481	中度亚健康
南湖洲镇	0.619	轻度亚健康	0.512	中度亚健康	0.406	中度亚健康	0.484	中度亚健康
湘阴县	0.597	中度亚健康	0.526	中度亚健康	0.418	中度亚健康	0.488	中度亚健康

4.3 耕地健康障碍因子诊断

本文利用障碍度模型计算得到湘阴县耕地健康程度的主要障碍因子及其障碍度。

准则层障碍因子: 从表 4 可见, 影响湘阴县 3 个抽查镇耕地健康的首要因素是农户响应(R), 其次是耕地利用状态(S), 最后是耕地压力(P)。由此可见, 农户响应是影响湘阴县耕地健康的重要因素。因此, 要改善湘阴县耕地健康状况, 首先应鼓励和引导农户积极采取一些对耕地生态系统有益的响应举措, 改善耕地自然质量条件, 同时减轻人类活动对耕地生态系统的胁迫, 以提升耕地综合产能和健康程度。

表 4 湘阴县耕地健康准则层障碍度(%)

地区	压力	状态	响应
鹤龙湖镇	20.838	32.345	46.817
湘滨镇	19.927	34.298	45.775
南湖洲镇	18.272	34.812	46.916

指标层障碍因子: 按照障碍度大小, 列出障碍度排序前 8 位(前 50%)的因子。影响湘阴县耕地健康程度排序前三位的障碍因子依次为轮作休耕(R_6)、种植绿肥(R_5)、单位播种面积有机肥施用量(R_1)。调查显示, 几乎所有受访农户都是种植两季水稻, 鲜有农户采取轮作休耕方式, 也鲜有农户在农田中种植绿肥和施用有机肥, 而种植绿肥和施用有机肥恰恰是提高土壤肥力的重要手段。障碍度第四位的因子是粮食单产(S_5)。受访农户粮食单产在 3750.00—8486.84kg/hm² 之间, 全县户均粮食单产仅为 6042.88kg/hm², 表明湘阴县粮食单产还有较大提升空间。粮食单产与土壤肥力显著相关, 因此可通过提高土壤肥力来提升粮食产量。障碍度第五位的因子是耕作层厚度(S_2)。受访农户虽然表示当地农田耕作层厚度介于一般至较厚间, 但是当地农户有着良

好的深耕整地习惯,应继续保持,有利于保护农田耕作层的肥力。障碍度第六位的因子是单位播种面积化肥施用量(P_1)。受访农户单位播种面积化肥投入量在 $0-1875.00\text{kg}/\text{hm}^2$ 之间,户均单位播种面积化肥投入量高达 $1088.86\text{kg}/\text{hm}^2$,说明当地农户在农业生产中比较依赖增加化肥投入以提高粮食单产产量,未来应逐步减施化肥、增施有机肥来提高土壤肥力,以改善耕地健康状况。障碍度第七位的因子是灌溉保证率(S_4),仅有32.26%的受访农户表示随时有水灌溉,67.74%的受访农户表示有时或偶尔无水灌溉。

5 结论、建议与讨论

5.1 结论

本文基于农户视角,利用洞庭湖平原粮食主产区——湖南省岳阳市湘阴县农户调查数据,采用层次分析法、TOPSIS法和障碍度模型对耕地健康评价及其障碍因子诊断进行了实证研究,得到以下主要结论:(1)农户是耕地的直接利用者,农户对耕地状况非常了解,其耕地利用行为直接关系到耕地的健康状况。基于农户视角来评价耕地健康状况,能够快速诊断出当地耕地健康状况及其障碍因子,可较真实地反映当地耕地的实际健康状况。(2)湘阴县耕地生态系统处于中度亚健康状态。研究表明,湘阴县耕地健康综合指数为0.488,耕地健康等级为中度亚健康。从准则层来看,湘阴县的耕地健康压力指数为0.597,耕地健康等级为中度亚健康;耕地健康状态指数为0.526,耕地健康等级为中度亚健康;耕地健康响应指数为0.418,耕地健康等级为中度亚健康。(3)从准则层因素障碍度来看,影响湘阴县耕地健康的首要障碍因素是农户响应,其次是耕地利用状态和耕地压力。从指标层因子障碍度来看,影响湘阴县耕地健康排序前7位的障碍因子依次为轮作休耕、种植绿肥、单位播种面积有机肥施用量、粮食单产、耕作层厚度、单位播种面积化肥施用量、灌溉保证率。

5.2 建议

基于以上研究结论,为改善湖南省岳阳市湘阴县的耕地健康状况,本文提出以下对策建议:(1)全面实施测土配方施肥技术,减量施用化肥与农药,防治农田面源污染,采取经济、行政、技术等手段统筹保护耕地,建立农田面源污染防治长效机制。如对农户减量施用化肥与农药给予适当的经济补偿,构建耕地保护经济补偿长效机制。(2)加大耕地保护宣传力度,鼓励农户采用生态环境友好型技术进行耕地经营活动,如深耕征地、种植绿肥、施用生物有机肥、严控焚烧秸秆、秸秆还田、发展循环生态农业。(3)对于地力较差的耕地,实施生态型农地整治项目,改善农田水利设施条件,适当实施轮作休耕制度,提高土壤肥力。

5.3 讨论

农户是当前乃至未来很长时间内我国耕地主要的利用主体,本文尝试从农户视角出发,依据PSR模型构建了耕地健康评价指标体系。本文与现有文献最大的不同之处在于,耕地健康评价指标体系更加关注农户为保护耕地生态环境、可持续利用耕地所采取的积极响应措施,这是因为农户的耕地利用行为直接影响到耕地健康状态的未趋势。但本文也存在着一些不足之处,如耕地健康状况农户评价结果具有一定的模糊性,对耕作层厚度、土壤肥力等指标的衡量没有采用专业的技术手段进行测量。为了尽可能确保数据的可信度,本课题组选择的受访对象为长期从事农业生产活动的户主或家庭主要农业劳动力,农户通过他们丰富的耕地经营经验进行判断。

参考文献:

[1]高涵,陈伟强,郟文聚.耕地健康及其管理问题探讨[J].中国土地,2018,(12):23-25.

[2]Leopold A. Wilderness as a Land Laboratory[J]. Living Wilderness, 1941, 6(2): 3.

-
- [3] 郇文聚. 粮食安全的生命线在于耕地健康[J]. 中国科学报, 2019-04-23(005).
- [4] 陈美球, 赵小敏. 土地健康与土地保护[J]. 中国土地科学, 1998, 12(4): 19-21, 33.
- [5] 陈美球, 刘桃菊. 土地健康与土地资源可持续利用[J]. 中国人口·资源与环境, 2003, 13(4): 67-70.
- [6] Parlee B, Berkes F. Health of the Land, Health of the People: A Case Study on Gwich' in Berry Harvesting in Northern Canada[J]. Ecohealth, 2005, 2(2): 127-137.
- [7] Cheng Y, Nathanail P C. Generic Assessment Criteria for Human Health Risk Assessment of Potentially Contaminated Land in China[J]. Science of the Total Environment, 2009, 408(2): 324-339.
- [8] 陈志凡, 李勤奋, 赵焯. 基于熵权的模糊物元模型在农用地土壤健康评价中的应用[J]. 中国土地科学, 2008, 22(11): 31-37.
- [9] 李强, 赵焯, 严金明. 城市化驱动机制下的农用地健康评价[J]. 农业工程学报, 2010, 26(9): 301-307.
- [10] 李强, 彭文英. 生态脆弱区耕地健康诊断体系构建及评价实践[J]. 干旱区资源与环境, 2014, 28(7): 67-72.
- [11] 李强, 彭文英, 王建强, 等. 乡镇企业发达区耕地健康评价与驱动机理研究[J]. 自然资源学报, 2015, 30(9): 1499-1510.
- [12] 余慧敏, 郭熙. 生态视角下南方典型丘陵区耕地健康诊断——以江西省奉新县为例[J]. 中国土地科学, 2019, 33(5): 78-85.
- [13] 赵瑞, 吴克宁, 张小丹, 等. 粮食主产区耕地健康产能评价——以河南省温县为例[J]. 中国土地科学, 2019, 33(2): 67-75.
- [14] 叶思菁, 宋长青, 程锋, 等. 中国耕地健康产能综合评价与试点评估研究[J]. 农业工程学报, 2019, 35(22): 66-78.
- [15] 蔡为民, 唐华俊, 陈佑启, 等. 土地利用系统健康评价的框架与指标选择[J]. 中国人口·资源与环境, 2004, 14(1): 31-35.
- [16] 洪惠坤, 廖和平, 魏朝富, 等. 基于改进 TOPSIS 方法的三峡库区生态敏感区土地利用系统健康评价[J]. 生态学报, 2015, 35(24): 8016-8027.
- [17] 刘宝涛, 王冬艳, 刘惠清. 吉林省经济发展与土地健康利用耦合协调演化分析[J]. 资源开发与市场, 2016, 32(12): 1420-1426.
- [18] 马文娟, 蒲春玲, 陈前利, 等. 基于熵权—集对分析法的乌鲁木齐市土地利用系统健康评价[J]. 中国农业资源与区划, 2018, 39(2): 28-33, 75.
- [19] 赵宏波, 马延吉. 东北粮食主产区耕地生态安全的时空格局及障碍因子——以吉林省为例[J]. 应用生态学报, 2014, 25(2): 515-524.

[20]文高辉, 杨钢桥, 李文静, 等. 基于农民视角的农地整理项目绩效评价及其障碍因子诊断——以湖北省毛嘴等三个项目为例[J]. 资源科学, 2014, 36(1): 26-34.

[21]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.

[22]温良友, 张青璞, 孔祥斌, 等. 基于产能与健康综合评价的北京大兴区耕地整治分区[J]. 农业工程学报, 2019, 35(22): 79-89.