

黄土丘陵区空心村土地复垦后不同年限土壤肥力评价

程杰^{1,2,3,4}, 马增辉², 张露^{2,3}, 魏静^{2,3}, 师晨迪^{2,3}

(1.陕西地建土地工程技术研究院有限责任公司, 西安 710075; 2.陕西省土地工程建设集团有限责任公司, 西安 710075;
3.自然资源部退化及未利用土地整治工程重点实验室, 西安 710000; 4.西安理工大学 水利水电学院, 西安 710048)

摘 要:为提升空心村土地整治质量,科学指导复垦耕地培肥及管理,以陕西省渭南市澄城县空心村为研究对象,采集了不同复垦年限村庄复垦前后土壤及周边荒草地土壤样品,选取物理、化学等 8 个评价指标,采用层次分析法确定因子权重,构建评价模型并进行了土壤肥力评价。结果表明:(1)复垦前后及周边荒草地土壤肥力指标的权重分别为容重 0.028,质地 0.75,pH 值 0.016,电导率 0.041,有机质 0.303,全氮 0.159,速效磷 0.159,有效钾 0.159,CR<0.1,符合一致性检验;(2)村庄复垦前平均肥力指数为 57.67,复垦后最高肥力指数为 72.91,平均值达到 68.59,不同利用的土壤综合肥力指数表现为:空心村复垦后>荒草地>空心村复垦前;(3)空心村复垦后土壤综合肥力指数与复垦年限正相关,复垦后肥力改良指数平均值为 20.08%;(4)有机质对土壤肥力影响最大,与土壤综合肥力的指数相关系数 R^2 为 0.524 6,因子间影响大小表现为:有机质>速效钾>有效磷>全氮>电导率>pH 值。综上,复垦可提升空心村土壤肥力,在复垦过程中调控有机质含量可较快提升土壤肥力。

关键词:空心村; 层次分析法; 土壤肥力

中图分类号:S28; S158

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2021)02-0049-05

Evaluation of Soil Fertility in Different Years After Reclamation of Hollow Village in Loess Highland Area

CHENG Jie^{1,2,3,4}, MA Zenghui², ZHANG Lu^{2,3}, WEI Jing^{2,3}, SHI Chendi^{2,3}

(1.Institute of Land Engineering and Technology, Shaanxi Provincial Land Engineering Construction Group Co., Ltd., Xi'an 710075, China; 2.Shaanxi Provincial Land Engineering Construction Group Co., Ltd., Xi'an 710075, China;
3.Key Laboratory of Degraded and Unutilized Land Remediation Engineering, Ministry of Nature Resources, Xi'an 710000, China; 4.Institute of Water Resources and Hydro-Electric Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

Abstract:In order to improve the quality of land consolidation in hollow villages and scientifically guide the cultivation and management of reclaimed cultivated land, we took Chengcheng County, Weinan City, Shaanxi Province as the research site, collected soil samples of different reclaimed villages before and after reclamation, selected eight evaluation indicators such as physics and chemistry, uses analytic hierarchy process to determine the weights of factors, and constructed an evaluation model for soil fertilizer. The results showed that: (1) the weight of soil fertility indexes before and after reclamation were that bulk density was 0.028, texture was 0.75, pH value was 0.016, electrical conductivity was 0.041, organic matter was 0.303, total nitrogen was 0.159, available phosphorus was 0.159, available potassium was 0.159 and CR was less than 0.1, which accorded with the consistency test; (2) the average fertility index of villages before reclamation was 57.67, and the highest fertility index after reclamation was 72.91, the average reached 68.59, with different benefits; the soil comprehensive fertility index decreased in the order: hollow village after reclamation>barren grassland>hollow village before reclamation; (3) soil comprehensive fertility index of hollow village after reclamation was positively correlated with reclamation years, the average fertility improvement index after reclamation was 20.08%; (4) the effect of organic matter on fertility had highest, determination coefficient of correlation between organic matter and soil fertility index was 0.524 6; the effect of inter-factor decreased in the order: organic matter>quick-acting potassium>effective phosphorus>total

收稿日期:2019-12-10

修回日期:2020-05-12

资助项目:国家科技支撑计划(2014BAL01B03),陕西省重点科技创新团队计划项目(2016KCT-23),陕西省自然科学基金面上项目(2018JM4023)

第一作者:程杰(1986—),女,重庆人,博士,高级工程师,主要从事水文学及水资源、土地工程等相关研究工作。E-mail:568761241@qq.com

nitrogen>conductivity>pH value. In summary, reclamation can enhance the soil fertility of hollow villages, and regulate soil organic matter content in the process of reclamation, which can rapidly enhance soil fertility.

Keywords:hollow village; analytic hierarchy process; soil fertility

随着工业化、城镇化和农村产业化的深入推进,农村劳动力大量转移,废弃空心村不断涌现,造成了土地资源的大量浪费。空心村往往地理位置条件较好,地势平坦,水源丰富,整治潜力巨大,开展空心村宅基地复垦,不仅能够增加可用耕地的面积,更能够改善农业生产条件、促进乡村区域经济社会的协调发展,是推进乡村振兴的有力措施之一^[1-4]。空心村土地因人为活动频繁,土壤紧实度较高^[5],且复垦过程中存在大量的土方推垫,导致重构土体结构性不良、理化性质较差、养分等营养物质贫瘠,整体肥力水平较差^[6]。土壤肥力是土壤生产力的基础,是土壤各方面性质的综合表现^[7],直接影响着作物生长及农业生产结构和效益等。因此,探明复垦后新增耕地土壤质量变化,尤其是科学、合理地评价新增耕地土壤肥力,对于区域土地整治后新增耕地土壤质量改良,肥力提升具有一定的现实意义,同时可为指导农业生产提供一定的理论依据^[8]。

近年来,土壤肥力评价研究较多,在评价因子上,从单一的作物产量或植物生长状况指标、土壤养分指标到土壤养分、理化性状、生物特征和土壤环境条件等综合性指标研究^[8-10];在评价方法上,主要有数学方法,如因子分析法、层次分析法、神经网络法、聚类分析法等^[11-12],此外,利用 GIS 技术分析土壤肥力空间变异特征成为了一种新趋势^[13];在评价范围上,主要集中在东北黑土区、河西走廊灌溉农业区、关中平原台塬区等成熟的高质量农田^[14-16]。结合已有研究发现,在以低肥力为特点的新增耕地,尤其是以空心村土地复垦后的新增耕地肥力研究及评价较少。因此,本研究以陕西省澄城县 8 个村庄复垦前、后及周边荒草地为研究对象,采用层次分析法计算评价因子权重,构建土壤肥力评价模型,探讨复垦前后及不同复垦年限土壤肥力变化、不同土地利用类型土壤肥力,为土壤肥力恢复与改良,土地的高效利用及可持续发展提供理论依据。

1 研究区概况

澄城县位于陕西省关中平原东北部(109°46′30″—110°05′50″E,34°55′45″—35°27′05″N)。地处秦晋豫黄河金三角经济协作区腹地,东邻合阳,南接大荔,西连蒲城、白水,北靠延安市,海拔 470~1 285 m。属大陆性季风气候,四季分明,春季温暖干燥,昼夜温差较大,年均气温 12℃,年降水量 680 mm,无霜期 204 d,年日照时数 2 616 h,是陕西延安以南热能辐射量最高值中心^[17]。土壤主要为黄土,质地、结构较为均一。该区

域空心村主要为地上窑村落,因人为活动影响,土壤紧实,容重较大,作物根系难以伸展,且养分水平总体较低,难以满足作物生长所需。通过废弃庄基拆除与清理、老墙土还田、耕作层重建、土地平整工程、田块划分等工程,构建 40 cm 深的耕作层,以期增加新增耕地,达到玉米、小麦等作物生长要求。

2 材料与方法

2.1 采样与分析

经实地考察,选择地理条件相对一致、复垦年限各不相同的 8 个村庄。考虑到耕作层土壤肥力状况对农作物的生长状况最为明显,本研究仅对研究区耕作层(0—30 cm)土壤进行采样分析。为保证样点布置的科学合理性,每个样点根据地块大小和形状按 S 型布点,随机混合采样,样品在实验室风干后碾磨过 0.149,1,2 mm 筛备用。采样村庄及复垦年限见表 1。根据本文肥力评价因子,选取 8 个指标进行化验分析,测定指标及方法见表 2。

表 1 村庄复垦年限

序号	村庄	复垦年份	复垦年限/a
1	段庄村	2006	8
2	柳家垣	2007	7
3	高槐村	2007	7
4	义合村	2008	6
5	塔冢村	2008	6
6	柳泉村	2009	5
7	沟西村	2011	3
8	山头村	2012	2

表 2 土壤肥力测定指标及方法

指标名称	指标解析	测定方法
容重	土壤压实程度	环刀法
pH 值	土壤酸碱环境	酸度计法
电导率	土壤盐分浓度	电导率仪
质地	土壤颗粒组成	激光粒度分析法
速效钾	土壤中可利用钾含量	醋酸铵浸提—火焰光度法
有效磷	土壤中可利用磷含量	碳酸氢钠浸提—钼锑抗比色法
有机质	土壤主要养分	油浴加热—重铬酸钾容量法
全氮	土壤氮库水平	半微量凯氏定氮法

2.2 土壤肥力评价模型构建

合适的评价方法是保证评价结果准确、可靠、科学的关键所在,本研究通过参考已有的研究成果,实地走访、咨询相关专家意见,采用层次分析法对空心村及荒草地土壤肥力的权重进行分配,再构建评价模型计算土壤综合肥力指数,进行土壤肥力评价。

2.2.1 评价指标权重确定 (1) 指标选取与判断矩阵。根据稳定性、主导性、可操作性及独立性原则,结合研究区实际情况,选取容重、质地、pH 值、电导率、有效磷、速效钾、全氮、有机质 8 项指标作为土壤肥力评价因子。本文采用层次分析法确定各评价因子权重,因空心村废弃宅基地一般具有小而散的特点,故将每个村庄土壤综合肥力为目标层(A),土壤物理因子和养分因子为准则层(B),指标层为容重(C₁)、质地(C₂)等 8 项指标(C₁—C₈),构成评价指标体系(图 1)。采用 1—9 标度法来定义判断矩阵 $A=(a_{ij})_{n \times n}$ (表 3)^[18],判别矩阵见公式(1)。

$$A= \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1/3 & 1/3 & 1/7 & 1/7 & 1/7 & 1/7 \\ 1 & 1 & 1/3 & 1/3 & 1/5 & 1/3 & 1/3 & 1/3 \\ 3 & 3 & 1 & 1 & 1/3 & 1/3 & 1/3 & 1/3 \\ 3 & 3 & 1 & 1 & 1/3 & 1/3 & 1/3 & 1/3 \\ 7 & 5 & 3 & 3 & 1 & 3 & 3 & 3 \\ 7 & 3 & 3 & 3 & 1/3 & 1 & 1 & 1 \\ 7 & 3 & 3 & 3 & 1/3 & 1 & 1 & 1 \\ 7 & 3 & 3 & 3 & 1/3 & 1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \quad (1)$$

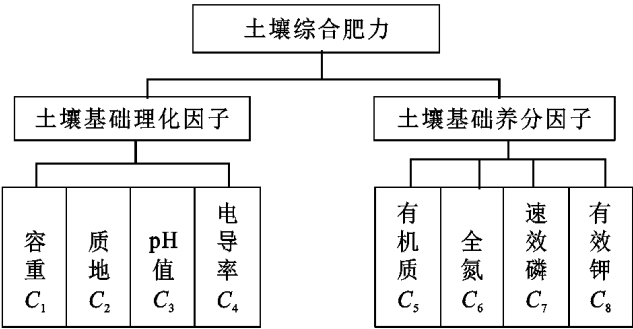


图 1 土壤综合肥力评价体系

表 4 层次分析法的平均随机一致性指标值

<i>n</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51

3 结果与分析

3.1 空心村土地复垦后肥力改良效果

根据上述评价模型,计算出各土地利用类型下土壤肥力指数 *A* 值。空心村土地复垦前后土壤综合肥力改良效果见表 5。复垦前 *A* 值介于 50.57~69.32,复垦后 *A* 值介于 61.63~72.91,空心村土地复垦后,改良指数表现为段庄村>山头村>沟西村>柳家垣>义合村>高槐村>塔冢村>柳泉村,基本表现为复垦年限越长,改良指数越高,而塔冢村、柳泉村因复垦前土壤肥力指数较高,所以复垦后改良指数提升较小,各村庄平均改良指数 20.08%,2006 年复垦的段庄村改良指数达到 32.76%,改良效果明显,与刘畅等

表 3 判断矩阵标度及含义

标度	含义
1	表示因素 C_i 与 C_j 相比,两者相同重要性
3	表示因素 C_i 与 C_j 相比, C_i 比 C_j 稍微重要
5	表示因素 C_i 与 C_j 相比, C_i 比 C_j 明显重要
7	表示因素 C_i 与 C_j 相比, C_i 比 C_j 强烈重要
9	表示因素 C_i 与 C_j 相比, C_i 比 C_j 极端重要
2,4,6,8	表示上述相邻判断的中间值
倒数	表示因素 C_i 与 C_j 的重要性之比为 C_{ij} ,则因素 C_j 与 C_i 的重要性之比为 $C_{ji}=1/C_{ij}$

(2) 权重向量计算与一致性检验。首先采用算术平均值计算权重向量(公式 2),然后进行一致性检验 $CR=CI/RI$ 。RI 值见表 4。当 $CR<0.1$ 时,表明判断矩阵一致性较好。

$$w=\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{a_{ij}}{\sum_{k=1}^n a_{kj}} \quad (i=1,2,3,\cdots,n) \quad (2)$$

式中: w 为权重向量; a_{ij} 为因素 i 与因素 j 的重要性之比; a_{kj} 为因素 k 与因素 j 的重要性之比; n 为因素个数。

$$CI=\frac{\lambda_{\max}-n}{n-1} \quad (3)$$

式中:CI 为一致性指标; λ_{\max} 为判断矩阵最大特征值。

通过上述步骤计算,指标层 C 对目标层 A 的排序权重向量分别为 0.028,0.75,0.076,0.041,0.303,0.159,0.159,0.159。 $CR<0.1$,符合一致性检验。

2.2.2 模型构建 根据评价因子各级别分值(F_i)与权重值(C_i)建立评价模型^[19]:

$$A=\sum_{i=1}^n F_i H_i \quad (i=1,2,3,\cdots,8) \quad (4)$$

式中: F_i 为评价因子各级别分值,参照全国第二次土壤普查分级标准进行取值, F_i 值为 1~6; H_i 为评价因子权重。*A* 为各项目土壤肥力综合指数,将 *A* 值换算到 0~100。

人在山西省泽州县西部邵村空心村复垦后改良指数为 27.32%相似^[20]。澄县空心村主要为地上窑,地上窑的老墙土具有较高肥力,复垦时通常将老墙土推碎后回填至耕作层中,改善了土壤的结构与组分,增加了有机肥,因而空心村土地复垦后土壤综合肥力较好,改良效果较好。此外,2011 年与 2012 年复垦的沟西村和山头村改良指数均高于 25%,其他空心村改良效果与复垦年限呈正相关,表现出随复垦年限的增加,肥力指数、改良指数越高,这可能因为 2010 年后空心村复垦工艺的提高从而改善了改良效果。

3.2 不同土地利用类型土壤肥力指数分布特征

参照综合评分 5 级分类法, $A \geq 80$ 为 1 级,土壤综合肥力质量好; $80>A \geq 60$ 为 2 级,较好; $60>A \geq$

50 为 3 级,中等;50>A≥40 为 4 级,较差;<40 为 5 级,土壤综合肥力质量差^[21]。由图 2 可知,空心村土地复垦后土壤综合肥力质量较好,A 值均≥60,为 2 级,且复垦年限越长肥力指数越高。而空心村土地复垦前,仅塔冢村、柳泉村土壤综合肥力指数较高为 2 级,其他均为中等水平。村庄附近的荒草地土壤综合肥力水平平均≥50,平均值为 64.7,表明肥力水平较好,适宜进行土地整治。从不同土地利用类型来看,土壤综合肥力表现为空心村土地复垦后>荒草地>复垦前。空心村土地复垦前由于人类活动频繁,土壤紧实,土层中微生物含量低,土壤有机物少,因而各村庄复垦前肥力水平相对较差;荒草地累积了多年杂草,提高了土壤有机物含量,因而肥力水平平均值达到 2 级水平。

表 5 空心村土地复垦后土壤肥力改良评价结果

村庄	复垦年份	复垦前土壤肥力指数	复垦后土壤肥力指数	改良指数/%
段庄村	2006	54.92	72.91	32.76
柳家垣	2007	57.28	72.91	27.30
高槐村	2007	54.92	62.57	13.93
义合村	2008	50.57	61.63	21.87
塔冢村	2008	69.32	71.50	3.14
柳泉村	2009	68.85	70.26	2.05
沟西村	2011	52.27	66.68	27.55
山头村	2012	53.21	70.26	32.04
平均值		57.67	68.59	20.08

3.3 影响土壤肥力的主要因子分析

一般常以 N,P,K 和有机质等养分含量来衡量土壤肥力高低,由于肥力因素众多,很难全面清楚地看出土壤肥力真正的水平高低^[22]。图 3 分析了 pH 值、电导率、

有机质、全氮、有效磷、速效钾与土壤综合肥力指数的相关性,每组 24 个样本。土壤 pH 值是土壤主要化学性质之一,反映土层中的酸碱环境,影响微生物活性。由图 3 可知,土壤 pH 值与土壤综合肥力指数相关性 $R^2=0.0144$,这是由于本研究土壤 pH 值在 6.74~7.69 范围内,酸碱环境适中,因而对肥力高低影响较小。电导率与土壤综合肥力指数相关性 $R^2=0.0271$,对肥力影响也较小。全氮、有效磷、速效钾与土壤综合肥力指数的相关性 R^2 分别为 0.081 9,0.211 2,0.456 1。氮元素是构成土壤肥力的重要物质基础,由于人类居住产生的生活污水及生活垃圾增加了土壤氮的富集,村庄附近全氮含量较高,含量为 0.67~1.77 mg/g,因而 R^2 较低。磷、钾元素也是作物生长必不可少的元素之一,提高土壤中磷、钾的含量可显著提高土壤肥力水平^[5]。有机质是土壤肥力评价的重要指标,其相关性 $R^2=0.5246$,对肥力的影响最大,有机质的积累与转化是土壤内物质能量循环的核心环节,其分解产生的有机酸还能促进土壤矿物质的分解,提高土壤肥力,并可改善土壤结构与水热环境。

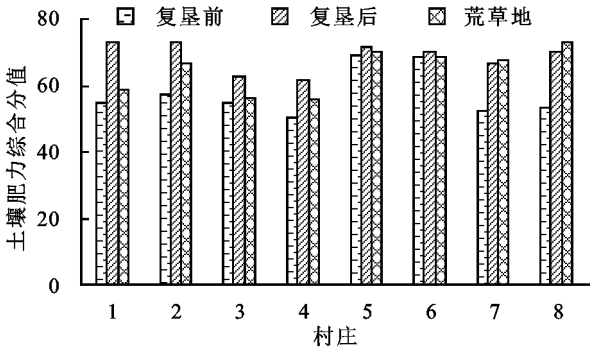


图 2 不同土地利用类型下土壤肥力指数

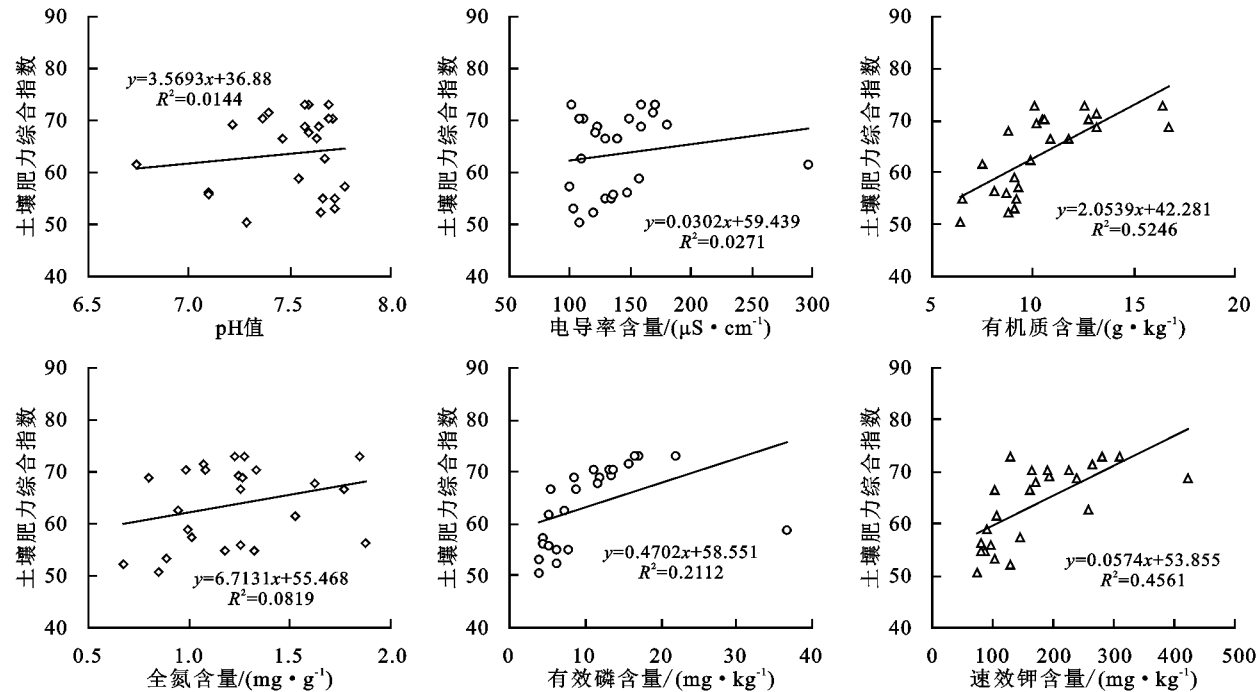


图 3 评价因子与土壤综合肥力指数的相关性

4 结 论

(1) 空心村土地复垦后,土壤肥力得到明显提升,土壤肥力指数表现为空心村复垦后>荒草地>空心村复垦前,空心村复垦后的土壤肥力改良指数显著高于复垦前及荒草地;(2) 空心村土地复垦后土壤肥力与复垦年限呈正相关,随着复垦年限的增加,肥力指数、改良指数越高;(3) 从有机质、电导率等 6 个评价因子与土壤综合肥力指数的相关性来看,有机质与土壤综合肥力相关性最高,在后期的空心村整治中可通过提高土壤有机质含量快速提高土壤肥力;(4) 由于时间和精力有限,本研究评价因子未涉及生物指标,后续可优化评价因子体系,分层研究土壤肥力等。

参考文献:

[1] 姜绍静,罗泮.空心村问题研究进展与成果综述[J].中国人口·资源与环境,2014,24(6):51-58.

[2] 艾希.农村宅基地闲置原因及对策研究[J]中国人口·资源与环境,2015,25(S1):74-77.

[3] 刘彦随.陕西农村宅基地综合整治模式的价值与启示[J].中国土地,2011(7):20-22.

[4] 陈玉福,孙虎,刘彦随.中国典型农区空心村综合整治模式[J].地理学报,2010,65(6):727-735.

[5] 张美荣.复垦村庄土壤肥力评价研究[D].北京:中国地质大学,2015.

[6] 刘彦随,刘玉,翟荣新.中国农村空心化的地理学研究 with 整治实践[J].地理学报,2009,64(10):1193-1202.

[7] 张汪寿,李晓秀,黄文江,等.不同土地利用条件下土壤质量综合评价方法[J].农业工程学报,2010,26(12):311-318.

[8] 骆东奇,白洁,谢德体.论土壤肥力评价指标和方法[J].土壤与环境,2002,11(2):202-205.

[9] Nortcliff S. Standardisation of soil quality attributes[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2002,88(2):161-168.

[10] Andrews S S, Karlen D L, Mitchell J P. A comparison

of soil quality indexing methods for vegetable production systems in Northern California[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2002,90(1):25-45.

[11] 吴玉红,田霄鸿,同延安,等.基于主成分分析的土壤肥力综合指数评价[J].生态学杂志,2010,29(1):173-180.

[12] 吴海燕,金荣德,范作伟,等.基于主成分和聚类分析的黑土肥力质量评价[J].植物营养与肥料学报,2018,24(2):325-334.

[13] 王璐,王海燕,何丽鸿,等.基于 GIS 的土壤肥力质量综合评价:以天然云冷杉针阔混交林为例[J].土壤通报,2016,47(5):1223-1230.

[14] 侯伟,张树文,李晓燕,等.黑土区耕地地力综合评价研究[J].农业系统科学与综合研究,2005,21(1):43-46.

[15] 崔增团,郭世乾.基于 GIS 的河西走廊灌溉农业区耕地地力评价研究:以甘肃省肃州区耕地地力评价为例[J].中国农业资源与区划,2012,33(1):56-61.

[16] 方睿红,常庆瑞.关中平原台塬区土壤肥力模糊综合评价:以西安市长安区为例[J].干旱地区农业研究,2012,30(1):25-29,42.

[17] 张露,韩霁昌,马增辉,等.山地丘陵区不同复垦年限空心村整治后土壤特性[J].水土保持学报,2015,29(5):176-180.

[18] 邓雪,李家铭,曾浩健,等.层次分析法权重计算方法分析及其应用研究[J].数学的实践与认识,2012,42(7):93-100.

[19] 师晨迪,韩霁昌,马增辉,等.渭北台塬区新增耕地土壤肥力评价:以陕西澄城县为例[J].中国土壤与肥料,2016(4):39-43.

[20] 刘畅,师学义,张美荣.黄土高原区复垦村庄土壤肥力评价:以山西省泽州县西部村为例[J].水土保持研究,2017,24(1):155-160.

[21] 吕晓男,陆允甫,王人潮.土壤肥力综合评价初步研究[J].浙江大学学报:农业与生命科学版,1999,25(4):378-382.

[22] 刘世平,陈后庆,聂新涛,等.稻麦两熟制不同耕作方式与秸秆还田土壤肥力的综合评价[J].农业工程学报,2008,24(5):51-56.