

基于 Fuzzy 法的木垒县农业土壤肥力评价

罗国安, 沙达提·阿布来提
(木垒县农业技术推广站, 新疆 木垒 831900)

摘要: 科学评价农业土壤的肥力, 可为种植业结构调整和作物科学施肥提供科学依据。根据木垒县耕层土壤酸碱度和养分情况, 以 pH、有机质、碱解氮、有效磷、速效钾为土壤肥力指标, 采用基于 Fuzzy 法得到的 IFI 值评价了木垒县农业土壤质量。结果表明, 木垒县土壤含有有机质 14.85 g/kg、碱解氮 72.10 mg/kg、有效磷 14.94 mg/kg、速效钾 275.07 mg/kg, pH 为 8.08。总体表现为土壤偏碱性, 有机质和碱解氮缺乏, 有效磷中等水平, 速效钾极丰富。土壤肥力综合指数 (IFI) 平均值为 0.541。木垒县农业土壤肥力英格堡乡、雀仁乡为 2 级, 肥力较高、质量良好, 其他乡镇为 3 级。综上, 木垒县的农业土壤总体上属碱性, 有机质、碱解氮、有效磷为农业土壤肥力的限制因子, pH 和速效钾是主要影响因子, 建议适量补充氮磷, 增施有机肥。

关键词: 土壤; Fuzzy 法; IFI; 肥力质量评价

中图分类号: S158.5

文献标志码: A

文章编号: 2097-2172(2024)07-0666-06

doi: 10.3969/j.issn.2097-2172.2024.07.016

Agricultural Soil Fertility Evaluation in Mulei County Based on Fuzzy Method

LUO Guoan, ABLAITI Shadati

(Mulei County Agricultural Technology Promotion Station, Mulei Xinjiang 831900, China)

Abstract: Scientific evaluation of agricultural soil fertility can provide a scientific basis for the adjustment of planting structure and scientific fertilization of crops. Based on the pH and nutrient status of the cultivated soil in Mulei County, using pH, organic matter, alkali-hydrolyzable nitrogen, available phosphorus, and available potassium as soil fertility indicators, the fertility comprehensive index (IFI) value obtained based on the Fuzzy method was used to evaluate the agricultural soil quality of Mulei County. The results showed that the soil in Mulei County contained organic matter 14.85 g/kg, alkali-hydrolyzable nitrogen 72.10 mg/kg, available phosphorus 14.94 mg/kg, available potassium 275.07 mg/kg, with a pH of 8.08, indicating an alkaline nature of the soil. Organic matter and alkali-hydrolyzable nitrogen were deficient, available phosphorus was at a medium level, and available potassium was abundant. The average value of the soil IFI was 0.541. The agricultural soil fertility in Mulei County showed that Yinggebao Township and Queren Township were rated as level 2, with higher fertility and good quality, while other townships were rated as level 3. In summary, the agricultural soil in Mulei County is generally alkaline, with organic matter, alkali-hydrolyzable nitrogen, and available phosphorus as limiting factors for soil fertility, and pH and available potassium as the main influencing factors. It is recommended to appropriately supplement nitrogen and phosphorus and increase the application of organic fertilizers.

Key words: Soil; Fuzzy method; IFI; Fertility quality evaluation

木垒县是农业大县, 又是粮食生产大县, 以旱作农业为主, 耕地近 6.33 万 hm^2 。2008 年后全县农业快速发展, 不少农业技术得到推广应用, 如测土配方施肥、膜下滴灌、种子包衣、无人机飞防、生物防治等, 粮食单产稳中有升。土壤养分对农作物的生长发育至关重要, 但其受自然因

素和人为因素的影响, 处于动态变化^[1-2]。木垒县干旱缺水, 旱地靠自然降水, 水地以滴灌方式灌溉, 土壤养分流失少, 粮食作物 1 年一收, 开展农业土壤养分和耕地肥力评价意义重大。

土壤肥力评价一直倍受学者重视。杨艳生^[3]提出了 Fuzzy 法与土壤质量评价结合的预想和理

收稿日期: 2023-11-15; 修订日期: 2024-03-04

基金项目: 昌吉州高层次人才赴晋培养项目; 2018—2022 年测土配方项目。

作者简介: 罗国安(1992—), 男, 安徽宿松人, 农艺师, 硕士, 研究方向为土壤肥料。Email: 1558553656@qq.com。

通信作者: 沙达提·阿布来提(1972—), 女(维吾尔族), 新疆哈密人, 高级农艺师, 主要从事土壤肥料、农业技术推广工作。Email: 2530598872@qq.com。

论,孙波等^[4-5]于1995年建立了基于 Fuzzy 法来评价土壤综合肥力的公式。之后唐晓平等^[6]用 Fuzzy 综合评判法对四川省南充地区的紫色土土种的肥力进行评价,划分出紫色土的肥力等级;吕晓男等^[7]用 Fuzzy 综合评价法对浙江省低丘红壤的肥力进行了综合评价,认为其结果准确;梁红^[8]用 Fuzzy 综合评价方法评价了重庆植烟土壤的综合肥力。可见 Fuzzy 法在土壤肥力评价上应用较多^[9-15]。此外,还有评分法、聚类分析法、主成分分析法、特尔斐法、数值综合评价法等^[16-25]。我们以 pH、有机质、碱解氮、有效磷、速效钾为因子,用 Fuzzy 法评价了木垒县农业土壤肥力和分布特征,以期为木垒县的种植业结构调整及作物栽培的科学施肥提供依据。

1 研究区概况

木垒县位于天山北麓,准噶尔盆地东南缘(东经 89° 51' ~ 92° 19', 北纬 43° 34' ~ 45° 15'),东与巴里坤县接壤,西与奇台县毗邻,南倚天山,与蒙古交界,南北长 198 km,东西宽 138 km,总面积 22 171 km²。地处阿尔泰构造带、博格达构造带和准噶尔地块交汇处,有明显的干旱大陆性气候特征。有山地、山前丘陵、平原戈壁和沙漠等地貌类型,南部博格达山,北部北塔山和大小哈甫提克山,东部蒙罗克山和青居吕山,山势由西向东降低,中部霍景湟期辛沙漠,南北东三面高、中部低的半壁盆地。多年平均气温 5 ~ 6 °C, ≥10 °C 有效积温 2 538.5 °C,年日照时 3 037 h,无霜期 145 d,年均降水量 294.9 mm,年蒸发量 2 207.6 mm,年降雪天数 139 d,极端最高气温 36.9 °C,极端最低气温 -31.8 °C^[26]。

2 材料与方法

2.1 土样采集与分析

考虑木垒县的自然条件和种植制度,选择以 pH、有机质(OM)、碱解氮(AN)、有效磷(AP)、速效钾(AK)为评价指标。2018—2022年,昌吉州农业技术推广中心在木垒县共布设了 710 个点位,在农作物收获后或播种前采集土壤样品。样本选择以整块农田为单元,取混合样,深度为 0 ~ 30 cm。土样捏碎后捡除根茎、落叶、塑料、砖块等侵入物,采用四分法取 1 ~ 2 kg 装入布袋。采样方式为蛇形、S形、梅花形布点法。土样采集后晒干

粉碎并过筛备用。用碱解扩散法测定碱解氮,用碳酸氢钠浸提—分光光度法测定有效磷,用醋酸铵浸提—火焰光度法测定速效钾,用重铬酸钾容量法—外加热法测定有机质,用酸碱度仪测定法测定 pH^[27]。

2.2 肥力评价

2.2.1 单因子评价 依据第二次全国土壤普查相关文献,确定木垒县农业土壤酸碱度和养分分级标准^[26-29],见表 1。

表 1 土壤酸碱度和养分分级标准

pH		养分				
分级	标准	分级	有机质 /(g/kg)	碱解氮 /(mg/kg)	有效磷 /(mg/kg)	速效钾 /(mg/kg)
极强酸性	<4.5	1级	>40	>150	>40	>200
强酸	4.5~5.5	2级	30~40	120~150	20~40	150~200
酸性	5.5~6.5	3级	20~30	90~120	10~20	100~150
中性	6.5~7.5	4级	10~20	60~90	5~10	50~100
碱性	7.5~8.5	5级	5~10	30~60	3~5	30~50
强碱性	8.5~9.5	6级	<5	<30	<3	<30

2.2.2 土壤综合肥力质量评价 指标权重的确定:用相关系数法确定各评价指标的权重 W_i ^[5]。

$$W_i = \frac{R_{i均}}{\sum R_{i均}}$$

式中, $R_{i均}$ 为评价指标 i 与其他各指标间相关系数的均值。

隶属度计算:根据隶属度函数,计算隶属度值,表示各指标的状态^[5,30]。

抛物线形隶属度函数:包括 pH、物理性粘粒含量和粉、粘比,函数如下。

$$f(x) = \begin{cases} 0.9(x_4-x)/(x_4-x_3)+0.1 & x_3 < x \leq x_1 \\ 1.0 & x_2 \leq x \leq x_3 \\ 0.9(x-x_1)/(x_2-x_1)+0.1 & x_1 < x < x_2 \\ 0.1 & x_4 \leq x \text{ 或 } x \leq x_1 \end{cases}$$

S型隶属度函数:属于本类型的土壤肥力因素包括有机质、碱解氮、有效磷、速效钾,函数如下。

$$f(x) = \begin{cases} 1.0 & x \geq x_2 \\ 0.9(x-x_1)/(x_2-x_1)+0.1 & x_1 \leq x < x_2 \\ 0.1 & x < x_1 \end{cases}$$

抛物线和 S 型函数曲线如图 1 所示。根据相关资料^[27-29],确定抛物型曲线和 S 型曲线中转折点的取值,见表 2。

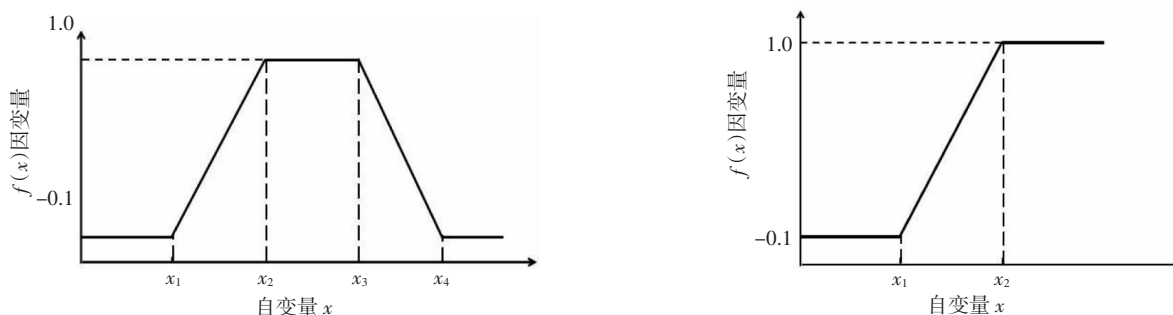


图 1 抛物线和 S 型函数曲线

表 2 隶属函数曲线转折点取值

转折点	pH	有机质 /(g/kg)	碱解氮 /(mg/kg)	有效磷 /(mg/kg)	速效钾 /(mg/kg)
x_1	4.5	5	30	3	30
x_2	6.5	40	150	40	200
x_3	8.0				
x_4	8.5				

土壤肥力综合质量指数^[29]:

$$IFI = \sum_{i=1}^n N_i W_i$$

式中, W_i 表示各评价指标的权重, N_i 表示各评价指标的隶属度。IFI 为土壤肥力综合质量指数, 取值范围 (0, 1], 值越高, 土壤质量越好。采用等间距法划分等级: 1 级 ($IFI > 0.8$), 土壤肥力高、质量好; 2 级 ($0.6 < IFI \leq 0.8$), 土壤肥力较高、质

量良好; 3 级 ($0.4 < IFI \leq 0.6$), 土壤肥力一般、质量中等; 4 级 ($0.2 < IFI \leq 0.4$), 土壤肥力较低、质量较差; 5 级 ($IFI \leq 0.2$), 土壤肥力低、质量很差。

2.3 数据处理

采用 WPS 表格制表制图, 运用 SAS8.0 进行数据分析。

3 结果与分析

3.1 pH 和养分变化分析

3.1.1 pH 和有机质 从表 3 可以看出, 木垒县农业土壤的 pH 为 7.10 ~ 9.00, 均值为 8.08。变异系数为 3.71%, 变异较小。其中博斯坦乡最高, 西吉尔镇、新户镇最低。从频率分布上看, 中性、碱性、强碱性土壤分别占 1.83%、90.56%、7.61%。有机质含量为 3.80 ~ 58.50 g/kg, 均值为 14.85

表 3 各乡(镇)的土壤肥力指标的统计

乡(镇)	pH	有机质 /(g/kg)	碱解氮 /(mg/kg)	有效磷 /(mg/kg)	速效钾 /(mg/kg)
白杨河乡	8.25±0.3	16.37±4.0	96.50±10	10.95±6.0	272.00±60
博斯坦乡	8.40±0.2	13.20±2.0	86.40±12	5.80±1.2	275.00±13
大南沟乌孜别克族乡	8.20±0.1	11.90±0.5	67.60±17	9.90±3.0	261.67±16
大石头乡	8.25±0.4	12.10±3.0	84.55±18	7.60±5.0	264.00±88
东城镇	8.14±0.3	14.45±5.0	68.19±29	13.10±10.0	260.34±111
雀仁乡	8.14±0.4	15.49±11.0	82.82±41	21.04±13.0	479.59±351
西吉尔镇	8.04±0.3	14.98±6.0	70.96±30	15.97±17.0	262.27±85
新户镇	8.04±0.3	14.28±4.0	62.74±19	15.36±10.0	247.26±46
英格堡乡	8.17±0.3	18.80±8.0	100.03±61	14.68±7.0	330.44±223
照壁山乡	8.08±0.4	14.85±7.0	86.77±66	10.70±9.0	282.33±146
全县范围	7.10~9.00	3.80~58.50	5.60~304.40	2.50~167.00	100.00~1 880.00
全县均值	8.08	14.85	72.10	14.94	275.07
标准差	0.30	6.01	35.67	13.02	137.22
变异系数/%	3.71	40.47	49.47	87.15	49.89

g/kg, 属 4 级水平; 变异系数为 40.47%, 中等程度变异。其中英格堡乡最高, 大南沟乌孜别克族乡最低。有机质含量集中分布于缺乏水平, 中等、缺乏、很缺乏的土壤分别占 12.68%、69.86%、14.51%(图 2)。表明木垒县农业土壤总体呈碱性, 各乡镇差异小; 有机质缺乏, 且各乡镇有一定差异。

3.1.2 氮、磷、钾 木垒县农业土壤的碱解氮含量为 5.60 ~ 304.40 mg/kg, 均值为 72.10 mg/kg, 属 4 级水平。变异系数为 49.47%, 变异中等。其中英格堡乡最高, 新户镇最低。碱解氮含量集中分布于缺乏、很缺乏水平, 中等、缺乏、很缺乏的土壤分别占 10.99%、42.82%、34.65%。有效磷含量为 2.50 ~ 167.00 mg/kg, 均值为 14.94 mg/kg, 属 3 级中等水平; 变异系数为 87.15%, 变异较大。其中雀仁乡最高, 博斯坦乡最低。有效磷含量集中分布于丰富中等缺乏水平, 丰富、中等、缺乏的土壤分别占 15.21%、40.00%、34.93%。速效钾含量为 100.00 ~ 1 880.00 mg/kg, 均值为 275.07 mg/kg, 属 1 级极丰富水平, 变异系数为 49.89%, 变异中等。雀仁乡最高, 新户镇最低。速效钾集中分布于极丰富水平, 极丰富、丰富的土壤分别占 78.31%、17.89%(表 3, 图2)。以上结果表明, 木垒县农业土壤碱解氮缺乏, 各乡镇有一定差异; 有效磷中等水平, 各乡镇差异较大; 速效钾极丰富, 各乡镇有一定差异。

3.2 土壤肥力综合质量评价

3.2.1 隶属度和权重 评价指标隶属度范围是 [0, 1], 其值越高, 表明单项肥力越高。速效钾的隶属度值为 1, pH 的隶属度为 0.700, 碱解氮的

隶属度为 0.480, 有机质和有效磷的隶属度分别为 0.348、0.331 (图 3)。表明有效磷、有机质、碱解氮含量是木垒县种植业生产的限制因子。

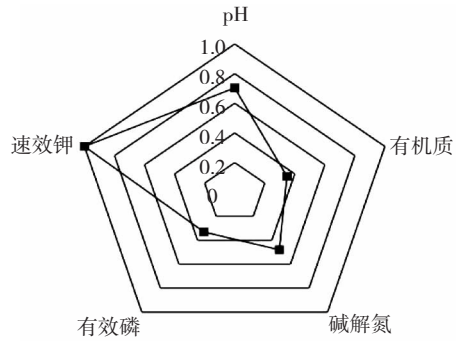


图 3 土壤肥力指标隶属度雷达图

分析肥力指标间相关性可以看出(表 4、表 5), pH 与有效磷呈负强相关, 有效磷与速效钾呈正强相关; pH 与碱解氮、有机质与碱解氮、有机质与有效磷均呈中等程度相关; 其他指标间相关性弱。pH、有机质、碱解氮、有效磷、速效钾的权重分别为 0.18、0.21、0.19、0.25、0.17(表 4、表 5)。

表 4 土壤肥力指标间的相关性

	pH	有机质	碱解氮	有效磷	速效钾
pH	1				
有机质	-0.253	1			
碱解氮	0.462	0.575	1		
有效磷	-0.690	0.519	-0.178	1	
速效钾	-0.041	0.373	0.309	0.653	1
IFI	-0.797	0.726	0.050	0.885	0.470

表 5 各肥力指标权重

指标	pH	有机质	碱解氮	有效磷	速效钾
相关系数平均值	0.362	0.430	0.381	0.510	0.344
权重	0.18	0.21	0.19	0.25	0.17

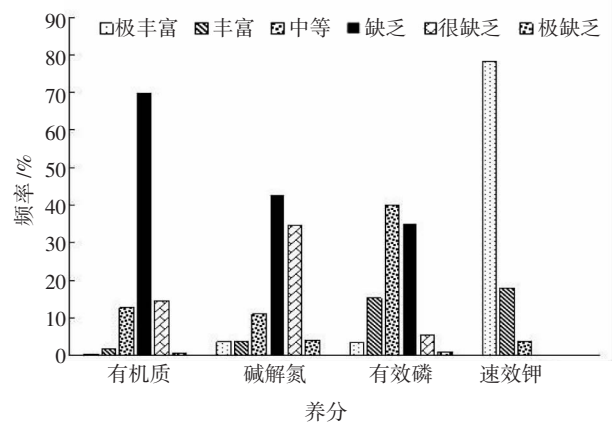
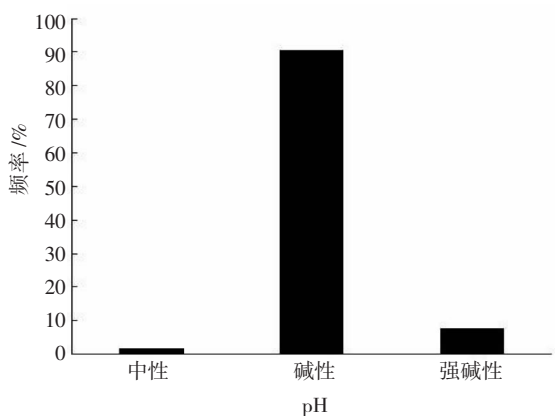


图 2 土壤 pH 和养分分布频率

3.2.2 肥力质量综合评价 木垒县农业土壤的 *IFI* 为 0.43~0.61, 平均 0.54, 属 3 级。各乡镇的 *IFI* 依次为英格堡乡、雀仁乡(0.61)>西吉尔镇(0.59)>新户镇、照壁山乡(0.57)>东城镇、白杨河乡(0.54)>大南沟乌孜别克族乡、大石头乡(0.48)>博斯坦乡(0.43)。英格堡乡、雀仁乡属 2 级, 其他乡镇属 3 级。从样点分布看, 2 级、3 级、4 级占比达 99.58%, 分别为 26.48%、62.68%、10.42%。总的来看, 木垒县农业土壤综合肥力中偏高, 土壤质量中等偏良好水平, 各乡镇差异较小(表 6、图 4)。

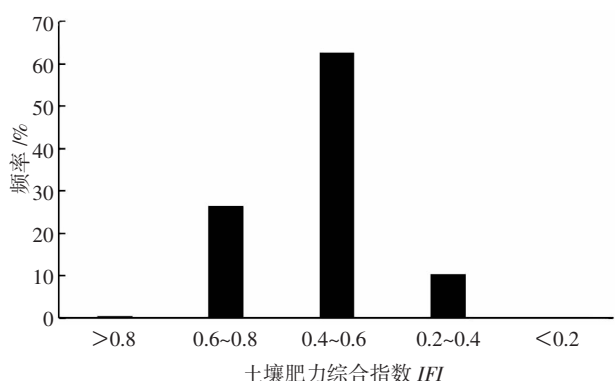


图 4 木垒县土壤综合指数频率分布

4 讨论与结论

pH 是农业土壤化学和肥力的重要指标, 对土壤环境以及植物生长发育具有重要作用^[27, 31]。一般认为, pH 的增加抑制有效磷含量, 有效磷与速效钾有协同作用。适宜农作物生长的土壤为中性 6.5~7.5, 过酸过碱均不适宜农作物生长^[27]。木垒县的碱性农业土壤占到 98.17%, 需采取相应措施

防止土壤继续碱化。木垒县耕地的有机质含量普遍较低, 主要原因是农户对旱地投入少和气候影响。碱解氮反映土壤短期供应氮的能力, 木垒县耕地碱解氮含量缺乏原因为旱地每年补充的二胺或尿素过少。全县仅英格堡乡、白杨河乡的耕地碱解氮不缺乏, 其他乡镇都需要补充氮肥和有机肥。磷肥在土壤中移动性较差, 固定率可达 70% 以上^[32]。当土壤有效磷含量高于 20 mg/kg 时, 磷补给充足, 过量的磷会造成环境污染^[33-34]。全县耕地有效磷含量集中分布于丰富中等缺乏水平, 处于缺乏水平的土壤占 34.93%, 雀仁乡最丰富。有效磷含量与 pH 呈强负相关, 这表示 pH 升高会降低耕地有效磷含量。雀仁乡有效磷补给充足, 应当控制其使用。速效钾可被植物直接吸收利用。木垒县耕地的速效钾含量为 1 级, 属极丰富水平。

Fuzzy 法评价耕地质量, 其效果已经得到了很多学者的验证, 是一种科学有效的评价方法。评价结果表明, 木垒县土壤含有机质 14.85 g/kg、碱解氮 72.10 mg/kg、有效磷 14.94 mg/kg、速效钾 275.07 mg/kg, pH 为 8.08, 偏碱性, 有机质和碱解氮缺乏, 有效磷中等水平, 速效钾极丰富, 碱解氮、有机质、有效磷是肥力限制因子。土壤肥力综合指数(*IFI*)平均值为 0.541。木垒县农业土壤肥力一般, 质量中等, 木垒县农业土壤总体属 3 级, 其中英格堡乡、雀仁乡属 2 级土壤肥力较高、质量良好水平, 其他各乡镇属于 3 级。木垒县土壤肥力的限制因子是有机质、碱解氮、速效磷, 速效钾和 pH 对肥力的影响大。建议在作物生产中适

表 6 土壤肥力综合质量指数(*IFI*)、评价等级及排名

乡(镇)	平均值	标准差	变异系数	最大值	最小值	肥力等级	排名
白杨河乡	0.54	0.11	20.07	1	0.71	3	4
博斯坦乡	0.43	0.021	4.92	0.84	0.84	3	6
大南沟乌孜别克族乡	0.48	0.09	19.26	1	0.84	3	5
大石头乡	0.48	0.10	20.96	0.80	0.66	3	5
东城镇	0.54	0.09	17.38	1	0.62	3	4
雀仁乡	0.61	0.09	13.95	1	0.75	2	1
西吉尔镇	0.59	0.08	12.88	1	0.71	3	2
新户镇	0.57	0.08	13.91	1	0.69	3	3
英格堡乡	0.61	0.09	15.30	1	0.69	2	1
照壁山乡	0.57	0.08	14.28	1	0.68	3	3
全县	0.54	0.08	15.38	1	0.62	3	

量补充氮磷肥, 增施农家肥。

参考文献:

- [1] DU MAN J, PIERI C. Land quality indicators: research plan[J]. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 2000, 81(2): 93-102.
- [2] 黄安, 杨联安, 杜挺, 等. 基于主成分分析的土壤养分综合评价[J]. *干旱区研究*, 2014(5): 819-825.
- [3] 杨艳生. 模糊数学与土壤研究[J]. *土壤*, 1985, 17(2): 36-42.
- [4] 孙波, 张桃林, 赵其国. 我国东南丘陵山区土壤肥力的综合评价[J]. *土壤学报*, 1995, 32(4): 362-369.
- [5] 孙波, 张桃林, 赵其国. 南方红壤丘陵区土壤养分贫瘠化的综合评价[J]. *土壤*, 1995, 3(2): 119-128.
- [6] 唐晓平, 陈健飞. Fuzzy 综合评判法在紫色土肥力评价中的应用[J]. *福建师范大学学报(自然科学版)*, 1996, 12(2): 107-113.
- [7] 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(4): 38-42.
- [8] 梁红. 重庆植烟土壤肥力特征及评价[D]. 重庆: 西南大学, 2014.
- [9] 李自林, 陆亚春, 赵磊峰, 等. 广西隆林县植烟土壤肥力评价[J]. *土壤通报*, 2020, 51(5): 1042-1048.
- [10] 赵蛟, 徐梦洁, 庄舜尧, 等. 基于模糊综合评价法的建瓯市毛竹林地土壤肥力评价[J]. *土壤通报*, 2018, 49(6): 1428-1435.
- [11] 徐露, 张丹, 蒋豪, 等. 四川省四大植烟区土壤肥力评价[J]. *湖北农业科学*, 2017, 56(18): 3433-3437.
- [12] 刘挺, 何昆, 万辉, 等. 四川凉山烟区土壤肥力综合评价[J]. *江西农业学报*, 2011, 23(6): 101-104.
- [13] 王建庆, 冯秀丽, 项璐. 基于模糊数学法的滩涂围垦区土壤肥力特征评价[J]. *宁波大学学报(理工版)*, 2013(4): 101-106.
- [14] 马强, 宇万太, 赵少华, 等. 黑土农田土壤肥力质量综合评价[J]. *应用生态学报*, 2004, 15(10): 1916-1920.
- [15] 李双异, 刘慧屿, 张旭东, 等. 东北黑土地地区主要土壤肥力质量指标的空间变异性[J]. *土壤通报*, 2006(2): 220-225.
- [16] 何同康. 土壤(土地)资源评价的主要方法及其特点比较[J]. *土壤学进展*, 1983(6): 1-12.
- [17] 唐晓平. 四川紫色土壤肥力的 Fuzzy 的综合评判[J]. *土壤通报*, 1997, 28(3): 107-109.
- [18] 王效举, 龚子同. 红壤丘陵小区域水平上不同时段土壤质量变化的评价和分析[J]. *地理科学*, 1997(2): 46-54.
- [19] 刘崇洪. 几种土壤质量评价方法的比较[J]. *干旱环境监测*, 1996(1): 26-29; 63.
- [20] 胡曰利, 吴晓芙. 土壤微生物生物量作为土壤质量生物指标的研究[J]. *中南林学院学报*, 2002(3): 51-53.
- [21] 吴玉红, 田霄鸿, 南熊熊, 等. 基于因子和聚类分析的保护性耕作土壤质量评价研究[J]. *中国生态农业学报*, 2010, 18(2): 223-228.
- [22] 谭万能, 李志安, 邹碧, 等. 地统计学方法在土壤学中的应用[J]. *热带地理*, 2005(4): 307-311.
- [23] 刘占锋, 傅伯杰, 刘国华, 等. 土壤质量与土壤质量指标及其评价[J]. *生态学报*, 2006(3): 901-913.
- [24] 金继运, 何萍, 涂仕华. 我国农田土壤微量元素供应能力现状分析[J]. *中国农资*, 2006(3): 70-71.
- [25] 曹承绵, 严长生, 张志明, 等. 土壤肥力数值综合评价[J]. *土壤通报*, 1983(4): 13-15.
- [26] 韦品扬, 杨柳青, 赖海云, 等. 昌吉州土壤[M]. 乌鲁木齐: 新疆科技卫生出版社, 1993.
- [27] 李学垣. 土壤化学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001.
- [28] 王妙星, 冶军, 孙建亭. 哈密第十三师农田土壤养分变化分析与肥力评价[J]. *新疆农业科学*, 2017, 54(3): 528-537.
- [29] 吴志勇. 新疆生产建设兵团耕地土壤养分现状及演变规律[J]. *新疆农业大学学报*, 2012(1): 60-64.
- [30] 王杰, 张春燕, 卢加文, 等. 广安柑橘土壤养分状况及综合肥力评价[J]. *土壤通报*, 2021, 52(6): 1360-1367.
- [31] 许自成, 王林, 肖汉乾. 湖南烟区土壤 pH 分布特点及其与土壤养分的关系[J]. *中国生态农业学报*, 2008(4): 830-834.
- [32] 李寿田, 周健民, 王火焰, 等. 不同土壤磷的固定特征及磷释放量和释放率的研究[J]. *土壤学报*, 2003, 40(6): 908-914.
- [33] LI Z G, ZHANG Y H, XIA S J, et al. Interactions between N, P and K fertilizers affect the environment and the yield and quality of satsumas[J]. *Global Ecology and Conservation*, 2019(19): e00663.
- [34] 牛君仿, 冯俊霞, 张喜英. 不同磷源对设施菜田土壤速效磷及其淋溶阈值的影响[J]. *中国生态农业学报(中英文)*, 2019, 27(5): 686-693.