

基于熵权的土壤养分地球化学多级模糊综合评判 ——以陕西省关中地区为例

王鹏, 刘拓, 段星星, 赵禹, 梁楠, 杨生飞

(中国地质调查局西安地质调查中心/西北地质科技创新中心, 陕西 西安 710054)

摘要: [目的] 研究陕西省关中地区的土壤养分地球化学综合等级, 为该区土地质量、生态管理以及土地资源的合理利用提供科学依据。[方法] 利用土地质量地球化学调查中的大量、中量、微量元素等 12 种指标, 构建基于熵权的多级模糊综合评判模型, 使用熵理论确定权重, 模糊评价等级, 分层次多级评判, 最大限度地区分了关中地区各评价指标的差异, 综合、客观地进行评价养分等级。[结果] 大量养分 1 和 2 等级比例占 2.0%, 中量养分 1 和 2 等级比例约占 30.31%, 微量养分 1 和 2 等级比例约占 66.42%, 土壤养分地球化学综合 1 和 2 等级土地所占比例为 33.52%; 河谷区域中的大量、中量、微量养分均较低; 渭北台塬中量、微量养分丰富, 大量养分较缺乏; 中低山区大量、中量、微量养分均丰富; 秦岭北缘微量元素丰富, 大量养分元素处于中等水平, 而中量元素较缺乏。[结论] 关中地区大量养分缺乏, 中量和微量养分充足, 综合等级以 2, 3 和 4 等级为主, 但空间变异较大, 需要整体施用富含大量养分元素肥料, 同时针对不同景观区的养分短板, 合理补充中量、微量元素肥料, 以提高关中地区的土壤生产力。

关键词: 隶属度; 养分评价; 模糊综合评判; 熵权; 土地质量地球化学

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2019)06-0136-06

中图分类号: P596, S15

文献参数: 王鹏, 刘拓, 段星星, 等. 基于熵权的土壤养分地球化学多级模糊综合评判[J]. 水土保持通报, 2019, 39(6): 136-141. DOI: 10. 13961/j. cnki. stbctb. 2019. 06. 020; Wang Peng, Liu Tuo, Duan Xingxing, et al. Multi-level fuzzy comprehensive evaluation of soil nutrient geochemistry based on entropy weight[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2019, 39(6): 136-141.

Multi-level Fuzzy Comprehensive Evaluation of Soil Nutrient Geochemistry Based on Entropy Weight

—Taking Guanzhong Region of Shaanxi Province as an Example

Wang Peng, Liu Tuo, Duan Xingxing, Zhao Yu, Liang Nan, Yang Shengfei

(Xi'an Center of China Geological Survey / Northwest China

Center for Geoscience Innovation, Xi'an, Shaanxi 710054, China)

Abstract: [Objective] The comprehensive evaluation of soil nutrient geochemistry in Guanzhong region of Shaanxi Province was studied, to provide scientific basis for land quality, ecological management and rational utilization of land resources. [Methods] Based on 12 evaluation indexes such as mass nutrients, medium nutrients, and trace nutrients in the geochemical survey of land quality, a multi-level fuzzy comprehensive evaluation model based on entropy weight was constructed. The entropy theory was used to determine the weight. The grades were vaguely evaluated by multiple levels, to divide the differences among the evaluation indicators in Guanzhong area. [Results] The proportion of first and second class of mass nutrients accounted for 2.0%. The proportion of first and second class of medium nutrients accounted for 30.31%. The proportion of first and second class of trace nutrient accounted for 66.42%. The proportion of first and second class of soil nutrient geochemistry accounted for 33.52%. The mass nutrients, medium nutrients, and trace nutrients were all

收稿日期: 2019-04-02

修回日期: 2019-06-13

资助项目: 中国地质调查局基础地质调查项目“西北五省耕地 1: 25 万土地质量地球化学调查”(DD20160319)

第一作者: 王鹏(1986—), 男(汉族), 河南省杞县人, 硕士, 工程师, 主要从事土地质量地球化学调查方面的研究。E-mail: 331559202@qq.com。

通讯作者: 刘拓(1964—), 男(汉族), 河南省唐河县人, 教授级高级工程师, 主要从事土地质量地球化学调查方面的研究。E-mail: 379937608@qq.com。

lack in the valley area. The medium nutrients and trace nutrients were rich in Weibei plateau, but the mass nutrients was lack. The mass nutrients, medium nutrients, and trace nutrients were rich in the middle and low mountains. The trace nutrients was rich in the northern edge of the Qinling Mountains, and the mass nutrients were at a moderate level, while the trace nutrients were lacking. [Conclusion] The mass nutrients is lacking, while the medium nutrients and trace nutrients are rich in Guanzhong area. The comprehensive evaluation level of soil nutrients is mainly the second, third and fourth level, but the spatial variation is large. To improve the soil productivity in Guanzhong area, it is necessary to apply the fertilizer of mass nutrients as a whole, and at the same time, to apply the medium nutrients and trace nutrients in different landscape areas.

Keywords: membership; nutrient evaluation; fuzzy comprehensive evaluation; entropy weight; land quality geochemistry

土地质量地球化学调查主要研究元素及有机污染物在不同生态系统中的分布分配特征和地球化学循环过程,调查土壤中各有益、有害元素指标含量水平,评价土壤养分地球化学综合等级,服务于土地质量与生态管理和土地资源合理利用^[1],目前已经成为国内外关注的焦点^[2-4],且形成了多种成熟的等级评价方法,如指数法、灰色聚类法、综合指数法、层次分析法、辅以 GIS 的土壤质量综合评价模型^[5-6],评价土壤中各指标对土地生产功能影响程度,并取得了良好的评价效果。但是,土壤养分是个模糊概念,具有渐变性和模糊性^[7],各等级间界限不明显,多个学者尝试用模糊数学的方法评价土壤养分等级,如模糊综合评价模型^[8]、物元模型^[9]、基于 RAGA 的 PPC/PPE 模型^[10]、人工神经网络法^[11]、灰色预测模型^[12]等,各评价方法有其优缺点,从不同角度推动了土壤养分地球化学等级评价的发展^[6],但是仍存在权重确定主观化,评价等级规定化,指标等级单一化等方面的问题,造成评价结果失真。因此,本文将信息熵与模糊综合评价法相结合,建立基于熵权的多级模糊综合评判模型,并以陕西省关中地区为例,客观地确定指标权重,模糊指标等级隶属度,准确地反映大量、中

量和微量指标评价因子共同作用下的土壤养分地球化学综合等级。

1 评价方法

1.1 建立评价指标因素集 U

关中地区的土壤养分地球化学等级评价采用两级模糊综合评判结构模型,具有两级评价指标集合(因素集 U),每 1 层次均含有互不相干的若干因素^[13]。

一级指标:大量养分、中量养分、微量养分,采用集合形式为:

$$U = \{U_1, U_2, U_3\}$$

式中: U_i ——第 i 个一级评价指标。

二级指标为一级指标的细分,大量养分(大量元素: N, P, K、有机质)、中量养分(中量元素: 钙、镁、硫)和微量养分(微量元素: 硼、锰、锌、铜、钼)。二级指标的集合形式为:

$$U_i = \{U_{i1}, U_{i2}, \dots, U_{ij}\}$$

式中: U_{ij} ——第 i 个一级指标的第 j 个二级指标。

一级和二级评价指标集合(因素集 U)如表 1 所示。

表 1 土壤质量地球化学二级指标及等级划分标准

一级指标	二级指标	1 等	2 等	3 等	4 等	5 等
		5	4	3	2	1
大量养分	N/(mg · g ⁻¹)	>2	1.5~2	1~1.5	0.75~1	<0.75
	P/(mg · g ⁻¹)	>1	0.8~1	0.6~0.8	0.4~0.6	<=0.40
	K ₂ O/%	>25	20~25	15~20	10~15	<=10
	有机质/(mg · g ⁻¹)	>40	30~40	20~30	10~20	<=10
中量养分	CaO/%	>5.54	2.68~5.54	1.16~2.68	0.42~1.16	<=0.42
	MgO/%	>2.16	1.72~2.16	1.20~1.72	0.70~1.20	<=0.70
	S/(mg · g ⁻¹)	>343	270~343	219~270	172~219	<=172
微量养分	B/(mg · g ⁻¹)	>65	55~65	45~55	30~45	<=30
	Mn/(mg · g ⁻¹)	>700	600~700	500~600	375~500	<=375
	Mo/(mg · g ⁻¹)	>0.85	0.65~0.85	0.55~0.65	0.45~0.55	<=0.45
	Cu/(mg · g ⁻¹)	>29	24~29	21~24	16~21	<=16
	Zn/(mg · g ⁻¹)	>84	71~84	62~71	50~62	<=50

1.2 建立评语集 V

采用《土壤养分地球化学评价规范(DZ/T0295-2016)》规范规定的 5 等土壤养分地球化学综合评价等级,即为丰富、较丰富、中等、较缺乏、缺乏,得分分别为 5,4,3,2,1,评语集合 V 形式为:

$$V = \{V_1, V_2, V_3, V_4, V_5\}$$

$$= \{\text{丰富, 较丰富, 中等, 较缺乏, 缺乏}\}$$

式中: V_i ——第 i 个评语。

1.3 建立评判隶属矩阵 R

规范规定了不同等级的区间范围,且因指标和等级不同,其大小不同,造成处于同一等级域值两端的不同样品属于同一等级,但是差值较大;而处于边界值两侧附近的不同样品,尽管差值非常小,但分属不同等级,存在一定的矛盾,充分体现评价等级具有较强的模糊性。

由于大量、中量、微量养分评价指标为最大最优型,采用戒上型隶属度函数,来描述等级的渐变性和模糊性。各等级的隶属度函数为:

$$r_1 = \begin{cases} 1 & (b < x) \\ \frac{x-c}{b-c} & (c < x < b) \\ 0 & (x < c) \end{cases}$$

$$r_5 = \begin{cases} 0 & (x > a) \\ \frac{a-x}{a-b} & (b < x < a) \\ 1 & (x < b) \end{cases}$$

$$r_{2,3,4} = \begin{cases} \frac{a-x}{a-b} & (b < x < a) \\ \frac{x-c}{b-c} & (c < x < b) \\ 0 & (x > a \text{ 或 } x < c) \end{cases}$$

式中: r_j ——评价指标为第 j 个等级的隶属度, $j=1, 2, \dots, n$; a ——为上一等级的上限; b ——为上一等级的下限,下一等级的上限; c ——为下一等级的下限。

建立隶属度矩阵 R 为:

$$R = \begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ \vdots \\ R_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix}$$

式中: R_i ——第 i 个因素的评价结果; r_{ij} ——第 i 个评价因素对第 j 个评价等级的隶属度,反映了评价因素与评价等级之间用隶属度表示的模糊关系; n ——评语集中评级等级的数目; m ——被评价因素的数目。

1.4 熵权重确定 W

土壤养分地球化学综合评价指标分为两层,不同指标具有不同权重,常见的赋权方法有许多,而且权重的确定直接影响到评价结果是否客观合理^[14]。因

此,本研究采用基于区分度的熵理论,评价每种等级出现的概率为 p_j ($j=1, 2, \dots, n$) 时,依据 m 个样品,确定土壤养分地球化学评价中的 n 个二级指标权重的过程为:

(1) 第 j 个指标下第 i 个样品的指标值的比重 P_{ij} :

$$p_{ij} = r_{ij} / \sum_{i=1}^m r_{ij}$$

(2) 第 j 个指标的熵值 e_j :

$$e_j = -K \sum_{i=1}^m p_{ij} \times \ln p_{ij}$$

(3) 第 j 个指标的熵权 w_j :

$$w_j = (1 - e_j) / \sum_{j=1}^n (1 - e_j)$$

$$(0 \leq w_j \leq 1, \quad \sum_{j=1}^n w_j = 1,$$

$$0 < j < n, \quad 0 < i < m)$$

确定的二级指标的权重集为

$$W_i = \{W_{i1}, W_{i2}, \dots, W_{ij}\}$$

各一级指标权重为其所包含的各二级指标权重之和,其权重集为

$$W = \{W_1, W_2, W_3\}$$

式中: W_i ——第 i 个一级指标的权重; W_{ij} ——第 i 个一级指标下的第 j 个二级指标的权重。

1.5 算子确定

采用的两级模糊综合评判方法,先进行二级模糊综合评判,再进行一级模糊综合评判。其中,采用确定的指标熵权重 W_i 和评判隶属度矩阵 R_i ,运用加权平均型模糊运算法则,进行二级模糊综合评判运算,并作归一化处理,到因素 U_i 对评语集 V 的隶属度向量 S_i ,作为一级模糊综合评判矩阵的一个行向量,得到总的评价向量 S 。

$$S_i = W_i \cdot R_i = [W_{i1}, W_{i2}, \dots, W_{ij}] \cdot$$

$$\begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix}$$

式中:“ \cdot ”——为加权平均型运算; S_i ——为模糊综合评判集。

采用评价向量 S 和一级指标权重 W ,进行一级模糊综合评判,得出因素 U 对评语集 V 的综合评价行向量 A ,则最大隶属度值对应的评语为综合等级。

$$A = W \cdot S$$

2 算例

2.1 研究区域

研究区域为陕西境内的渭河中下游流域,流长 502.4 km,流域面积 $6.70 \times 10^4 \text{ km}^2$,占流域总面积

的 50%。渭河两岸为波状起伏地形,自西向东地势逐渐变缓,河谷变宽而浅,沙洲较多,水流分散,比降由 2.0‰ 逐渐变为 0.5‰。流域北部为黄土高原,南部为秦岭山区,地貌主要有黄土丘陵区、黄土塬区、土石山区、黄土阶地、河谷冲积平原区等。属于暖温带温和半湿润气候区,年平均气温 12~14℃,年降水量为 500~900 mm,降水量年际变化大,夏秋多雨,以 7—9 月份最多,4—9 月份降水量占年降水量的 77.0%。主要的土壤类型为褐土、黄绵土、黑垆土、潮土、冲积土等。主要土地利用类型为耕地,约占 50%,其次是林地和草地、园地。土壤质地为黏黄土。

2.2 数据来源

采用生态地球化学调查(多目标区域地球化学调查和土壤养分地球化学调查)取得西安、宝鸡、渭南、咸阳和铜川市等区域内的 10 214 个表层组合样点 54 项指标中的 12 种大量、中量、微量养分元素数据。采样单点密度为 1/1 km²,组合样密度为 1/4 km²,单样点按梅花法分为 3~5 个样点,遵从代表性、均匀性、合理性和多点混合的原则进行采样,采用常规采样法取 0—20 cm 土层的土样,每个样品 1 000 g 左右。同时,在采样时避开粪堆、新近堆积土等点状污染物。土壤样品去掉植物根系和岩石碎块,自然风干后,过 0.90 mm 尼龙筛。由自然资源部安徽地质测试实验室进行测试,其中 CaO, MgO, Cu, Mn, K₂O 采用等离子体光谱法(ICP-AES)分析; P, S, Zn 采用 X 荧光光谱法(XRF)分析; B 采用发射光谱法(ES)分析,但是超出检测范围用 XRF, ICP-AES, AAS 或换线测定; Mo 采用极谱法(POL)分析,超出检测范围用 ICP-MS 补充验证; Corg. 采用硫酸亚铁铵容量法(VOL)分析; N 采用凯氏丹蒸馏酸碱滴定(VOL)分析,分析质量符合《地质矿产实验室测试质量管理规范(DZ0130.1-130.13-94)》要求。

2.3 结果讨论

2.3.1 熵权分析 熵权本质为显示指标的区分度和重要性,将主观判断与客观计算相结合增加了权重的可信性,从而增强了评价的科学性和可比性^[14],确定一级和二级指标的权重(表 2)。从一级指标来看,熵

权确定的权重大小顺序为大量养分(0.390 4)、微量养分(0.323 1)、中量养分(0.286 5),与各养分元素对农作物重要程度一致^[15],大量元素养分是农作物生存的必要元素,中微量元素养分是稳产高产的保证,只有在满足农作物对大量元素氮、磷、钾等的需求的前提下,施用中微量元素肥料才能表现出明显的增产效果。从二级指标来看,中量养分中的 S, CaO 较 MgO 的性质活跃,易于淋滤迁移,变异较大,与熵权确定的 S 权重最大, CaO 的权重次之,而 MgO 的权重最小的结论一致;微量养分各指标元素性质不活跃,不易迁移,空间变异小,与熵权给出的微量元素区分度小,各指标权重均衡的结论一致。总之,熵权立足于土壤养分地球化学评价贡献度,既能体现农作物对养分依赖,又能体现指标的空间变异性,客观、合理地确定了一级和二级指标权重。

表 2 评价指标中一级和二级指标的熵权权重

一级指标	权重	二级指标	权重
大量养分	0.390 4	N	0.51
		P	0.21
		K ₂ O	0.03
		有机质	0.25
中量养分	0.286 5	CaO	0.16
		MgO	0.07
		S	0.77
微量养分	0.323 1	B	0.28
		Mn	0.16
		Mo	0.12
		Cu	0.22
		Zn	0.23

2.3.2 隶属度分析 采用模糊隶属度法得出的土壤养分地球化学等级图与指数法得到的图(图 1)相比,发现模糊法整体等级较指数法较低,且区分度较大。选择 N, P, K₂O 指标含量处于临界值附近的 S06751 点为例,对比两种方法的评价结果(表 3),认为采用模糊隶属度方法,将处于边界两侧附近的样品分属两侧等级的不同隶属度,很好地体现评价等级模糊性,更全面、客观地反映了关中地区的综合等级。

表 3 土壤养分不同评价方法的结果

指标	含量	模糊法					指数法		
		熵权重	隶属度					权重	得分
			1 等	2 等	3 等	4 等	5 等		
N/(mg·g ⁻¹)	0.742	0.68	0	0	0	0.468	0.532	0.4	5
P/(mg·g ⁻¹)	0.791	0.28	0	0.455	0.545	0	0	0.4	4
K ₂ O/%	2.31	0.04	0.83	0.17	0	0	0	0.2	4
评价结果			0.166	0.216	0.218	0.187	0.212 8		2.4
评价等级			3 等						4 等

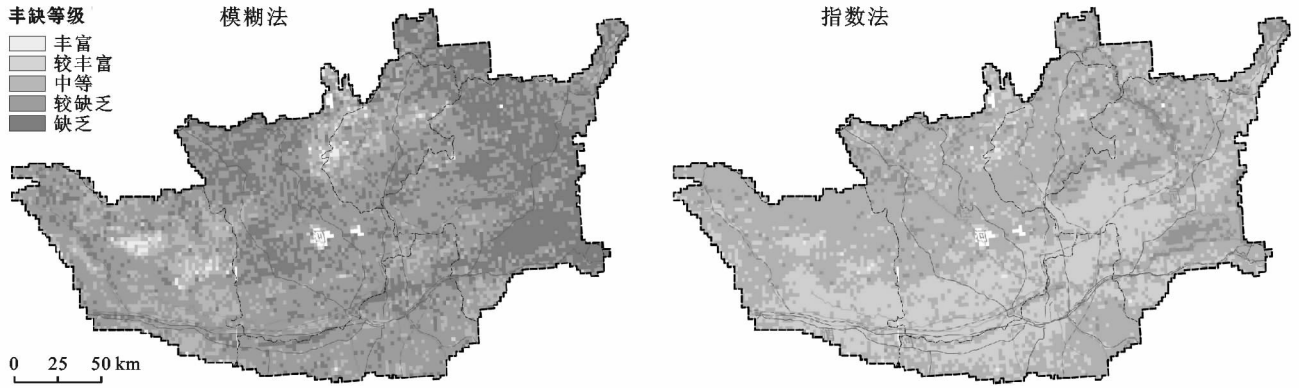


图 1 关中地区土壤大量养分地球化学模糊法评价等级

从表 3 可以看出, P 元素的含量 $0.791 \mu\text{g/g}$, 指数法确定的 P 单指标等级为 2 等, 4 分, 依次计算 N, K_2O 的得分, 指数法确定的综合分数为 2.4, 综合等级为 4 等; 而模糊隶属度确定的 P 元素二等模糊隶属度为 0.455, 3 等模糊隶属度为 0.545, 其他等级隶属度为 0。依次计算 N, K_2O 的得分, 并利用熵权, 得出 1 等、2 等、3 等、4 等、5 等综合隶属度分别为 0.166, 0.216,

0.218, 0.187 和 0.212 8, 因此评价综合等级为 3 等。

2.4 评价结果

利用关中地区的 10 214 组数据, 采用 Matlab 软件构建基于熵权的多级模糊综合评判仿真模型, 模拟等级评价结果, 并进行统计分析(表 4), 并依据丰缺等级图(图 1—2), 来研究大量养分、中量养分、微量养分以及养分综合评价的空间分布变异规律。



图 2 关中地区中量、微量养分评价以及综合评价

表 4 关中地区土壤养分地球化学评价等级统计

一级指标	二级指标	1 等		2 等		3 等		4 等		5 等	
		个数/个	比例/%	个数/个	比例/%	个数/个	比例/%	个数/个	比例/%	个数/个	比例/%
大量养分	N	75	0.73	189	1.85	1 722	16.86	5 908	57.84	2 320	22.71
	P	3 211	31.44	3 496	34.23	3 221	31.54	273	2.67	13	0.13
	K_2O	4 805	47.04	5 372	52.59	37	0.36	0	0	0	0
	有机质	6	0.06	28	0.27	166	1.63	2 501	24.49	7 513	73.56
	综合评价	62	0.61	142	1.39	1 458	14.27	5 665	55.46	2 887	28.27
中量养分	CaO	6 754	66.12	2 357	23.08	888	8.69	215	2.1	0	0
	MgO	6 830	66.87	3 186	31.19	138	1.35	41	0.4	19	0.19
	S	1 037	10.15	1 995	19.53	3 503	34.3	3 138	30.72	541	5.30
	综合评价	1 156	11.32	1 960	19.19	3 462	33.89	3 106	30.41	530	5.19
微量养分	B	391	3.83	2 491	24.39	5 735	56.15	1 515	14.83	82	0.8
	Mn	3 716	36.38	5 398	52.85	950	9.30	79	0.77	71	0.7
	Mo	4 179	40.91	5 460	53.46	465	4.55	47	0.46	63	0.62
	Cu	2 195	21.49	5 282	51.71	2 391	23.41	240	2.35	106	1.04
	Zn	1 073	10.51	4 103	40.17	4 678	45.80	256	2.51	104	1.02
	综合评价	1 902	18.62	4 882	47.8	3 165	30.99	178	1.74	87	0.85
土壤质量养分综合评价		1 338	13.10	2 086	20.42	3 140	30.74	2 799	27.4	851	8.33

从等级统计情况看,P,K₂O指标的1和2等比例高,含量丰富,而N、有机质指标的4和5等比例高,含量缺乏,且权重较高,造成大量养分1和2等比例很少,占2.0%;3等占14.27%,4等比例最大,占55.46%;5等比例为28.27%。中量养分中的MgO,CaO等含量充足,1和2等占90%以上;S含量处于中等和较缺乏,多为3和4等,占65.02%;造成中量养分1和2等比例约占30.31%;3和4等土地占64.3%,5等比例为5.19%。而微量养分各评价指标多为1和2等,4和5等比例含量极少。

从空间分布来看,沟谷内的大量、中量、微量养分均较低,主要是由于农田基底差,土壤表层质地疏松,土壤中的盐离子淋溶,土壤养分含量流失严重;同时,CaO,MgO的含量高,形成难溶于水磷酸钙镁盐,降低磷的有效性;再者,经济回报率偏低,农民对地块重视度不足,物质投入也较低,进而导致该区农田土壤综合肥力低^[16]。渭北台塬的中量、微量养分丰富,大量养分较缺乏,主要是该区域为传统农耕区,土壤瘠化,粒径较小,微量养分含量充足;且由于长期的重收轻养的耕种习惯,造成大量元素养分缺失。中低山区大量、中量、微量养分均充足,为森林覆盖区,微生物活动旺盛,腐殖层较厚,有机质丰富,养分丰富。秦岭北缘微量元素丰富,主要来源于秦岭矿物质的迁移淋滤。但是由于耕种时间短和河流的冲刷,大量养分元素处于中等水平,而MgO,CaO,S等中量元素因冲刷流失,较缺乏。关中地区的土壤养分地球化学综合1和2等土地占36.25%,主要分布在渭北台塬和渭河的二、三级阶地;3和4等土地占55.88%,主要分布在黄土丘陵地区;5等土地比例较少,分布在泾河、洛河、渭河一级阶地和河漫滩以及秦岭北缘。

3 结论与建议

(1) 采用基于熵权的多级模糊综合评判方法,熵权能较好地地区分指标的差异,隶属度能客观地反映等级的模糊性,多级评判能分层次综合利用大量、中量、微量和环境等12个指标进行评价,最大限度地区分了关中地区各评价指标的差异,综合、客观地评价土壤养分地球化学综合等级。

(2) 整体来看,关中地区大量养分缺乏,中量和微量养分充足,养分综合等级以2,3和4等为主。从空间分布来看,河谷区域中的大量、中量、微量养分均较低;渭北台塬中量、微量养分丰富,大量养分较缺乏;中低山区大量、中量、微量养分均丰富;秦岭北缘微量元素丰富,大量养分元素处于中等水平,而中量元素较缺乏。

(3) 依据关中地区大量、中量、微量养分含量的空间变异,认为关中地区需要增加秸秆还田,增加有机质,整体施用富含大量养分元素肥料的同时,秦岭北缘和黄土丘陵地区注重保持水土流失,减少Ca,Mg,S的中量养分流失,施用配施中量元素肥料;在泾河、洛河、渭河河谷需要关注土壤养分的消耗,积极采取秸秆还田等农艺措施,改善土壤理化性质,以提高农田肥力质量^[16],需要注意全氮、有机质以及微量元素肥料的配合施用,以提高关中地区的土壤生产力。

[参 考 文 献]

- [1] 刘希瑶. 土地质量地球化学评估在土地规划和管理中的作用[J]. 地质与资源, 2012, 21(6): 557-562.
- [2] 杨品芸, 余涛, 李敏, 等. DZ/T0295-2016 土地质量地球化学评价规范[S]. 北京: 国土资源部, 2016.
- [3] 成杭新, 李括, 李敏, 等. 中国城市土壤化学元素的背景值与基准值[J]. 地学前缘, 2014, 21(3): 265-306.
- [4] 奚小环, 陈国光, 张德存, 等. DZ/T 0258-2014 多目标区域地球化学调查规范(1:250000)[S]. 北京: 中国标准出版社, 2015.
- [5] 王纪杰, 陈昌仁, 俞元春, 等. 不同模型在土壤质量评价中的应用研究进展[J]. 贵州农业科学, 2011, 39(7): 000115-122.
- [6] 杜艳, 常江, 徐笠. 土壤环境质量评价方法研究进展[J]. 土壤通报, 2010, 41(3): 749-756.
- [7] 杨光丽. 模糊综合评价法在土壤环境质量评价中的应用实例[J]. 气象与环境学报, 2008, 24(3): 63-66.
- [8] 王建国, 杨林章, 单艳红. 模糊数学在土壤质量评价中的应用研究[J]. 土壤学报, 2001, 38(2): 176-183.
- [9] 肖玖金, 马红星, 王莉, 等. 基于物元模型的川东北丘陵区土壤养分综合评价[J]. 江西农业大学学报, 2011, 33(2): 381-387.
- [10] 武伟, 唐明华, 刘洪斌. 土壤养分的模糊综合评价[J]. 西南大学学报: 自然科学版, 2000, 22(3): 270-272.
- [11] 韩磊, 李锐, 朱会利, 等. 基于BP神经网络的土壤养分综合评价模型[J]. 农业机械学报, 2011, 42(7): 109-115.
- [12] 欧阳纯烈, 何云晓. 基于模糊综合评判法的四川绵阳土壤肥力质量评价[J]. 贵州农业科学, 2013, 41(9): 101-103.
- [13] 俞丹萍, 覃亚, 潘洪明, 等. 基于模糊综合评判法的温室黄瓜种植最优施肥模式评判[J]. 农业环境科学学报, 2012(11): 2200-2206.
- [14] 杨惠敏, 付萍. 基于熵权的多级模糊综合评价的应用[J]. 华北电力大学学报: 自然科学版, 2005, 32(5): 104-107.
- [15] 王日照, 陈海生, 吴玉勇, 等. 浙东红壤丘陵区农田土壤中量微量元素含量研究[J]. 江西农业学报, 2012, 24(5): 104-107.
- [16] 李志鹏, 常庆瑞, 赵业婷, 等. 关中盆地县域农田土壤肥力特征与评价研究[J]. 土壤通报, 2013, 44(4): 814-819.