

冯万忠,马振朝,张丽娟,等. 河北平原冬小麦/夏玉米高产田土壤肥力质量最小数据集构建及其评价[J]. 江苏农业科学,2017,45(15):233-238. doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.15.061

河北平原冬小麦/夏玉米高产田土壤肥力质量最小数据集构建及其评价

冯万忠^{1,2}, 马振朝², 张丽娟², 马峙英², 吉艳芝²

(1. 中国地质大学长城学院,河北保定 071000; 2. 河北农业大学资源与环境科学学院,河北保定 071000)

摘要:基于河北平原区冬小麦/夏玉米 11 县高产田的 396 个土壤样点数据,利用主成分分析及相关关系法确定了该区域土壤肥力质量评价的最小数据集,并采用模糊数学隶属度函数法对该区域土壤肥力质量进行评价。结果表明,河北平原区小麦/玉米高产田土壤肥力质量评价的最小数据集(MDS)由 pH 值、土壤容重、有机质含量、速效磷含量、磷酸酶活性、阳离子交换量(CEC)、微生物量碳、微生物量氮等 8 项指标组成;微生物量氮和土壤阳离子交换量的隶属度均值较低,是该地区主要的限制性因子,有机质含量次之,土壤容重的隶属度值最高;曲周、吴桥的土壤肥力综合质量指数(IFI)处于Ⅲ级的中等水平,其他 9 县均为Ⅱ级的良水平。综合分析可知,河北平原小麦/玉米高产田土壤肥力有待于进一步提高。

关键词:最小数据集;隶属度;土壤肥力质量评价;土壤指标权重;冬小麦/夏玉米;河北平原;高产粮田;评价分级
中图分类号: S158 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)15-0233-06

土壤肥力作为土壤质量的重要组成部分,体现了土壤的本质特征。土壤肥力的高低直接影响作物生长与农业生产的结构、布局和效益等方面^[1]。因此,只有对土壤肥力质量进

行准确的评价,才能客观地了解不同土壤管理措施对土壤肥力的影响,才能为土壤的可持续利用提供理论依据。

河北省历来是我国重要的粮食产区,粮食总产量由 1990 年的 12 166.8 万 t 增加到 2012 年的 12 683.23 万 t,产量也由 8 011.8 kg/hm² 上升到 11 086.05 kg/hm²^[2],土壤肥力对小麦产量的贡献率(PSFC)为 44.3%,对玉米的贡献率为 47.3%^[3]。土壤肥力质量成为培育高产粮田的主攻目标,其评价工作成为培育高产粮田的必不可少的一部分。正确地选择参评指标,是科学地揭示土壤肥力的前提,会直接影响土壤肥力综合评价的准确程度^[4]。由于土壤利用方式的多变性、

收稿日期:2016-12-19

基金项目:“十二五”国家科技支撑计划粮食丰产科技工程河北省项目区(编号:2013BAD07B05、2012BAD04B06、2011BAD16B08)。

作者简介:冯万忠(1975—),男,河北昌黎人,硕士,主要从事土地资源有效利用研究。E-mail:837236545@qq.com。

通信作者:吉艳芝,博士,副教授,主要从事土壤环境质量研究。Tel:(0312)7528229;E-mail:jyazhi@hebau.edu.cn。

力为 0.480 9 hm²/人,与 2020 年预测结果相比增加了 0.073 7 hm²/人,表明达到了土地利用结构优化的目的。经过优化调整后,提高各类用地的生态经济效益,有利于促进研究区经济社会绿色可持续发展的实现。

5.2 讨论

本研究采用计量模型对喀斯特贫困山区贵阳市土地利用动态变化、生态可持续发展状况进行定量分析和预测,运用多目标线性规划模型对其土地利用结构进行优化,优化调整结果基本上可达到经济效益、社会效益和生态效益的有机统一。但本试验还存在有待于深入研究之处,对于生态足迹的计算,虽然参照了前人较为有权威性的研究,不同地区生态状况不同,其影响因子的界定也应当适合于该地区的情况,本研究在影响因子的确定方面由于受数据可获得性等诸多原因限制,仍然参照学者们的研究结果。因此,根据研究区实际对影响因子进行调整有待于进一步研究。

参考文献:

[1] 周涛,王云鹏,龚健周,等. 生态足迹的模型修正与方法改进[J]. 生态学报,2015,35(14):4592-4603.

[2] 魏媛,吴长勇. 基于生态足迹模型的贵州省生态可持续性动态分析[J]. 生态环境学报,2011,20(1):102-108.

[3] 李鑫,欧名豪,刘建生,等. 基于不确定性理论的区域土地利用结构优化[J]. 农业工程学报,2014,30(4):176-184.

[4] 余光英,员开奇. 基于碳平衡适宜性评价的城市圈土地利用结构优化[J]. 水土保持研究,2014,21(5):179-184,192.

[5] 李晓丹,刘学录. 土地利用结构的景观生态学分析——以甘肃省为例[J]. 中国沙漠,2009,29(4):723-727.

[6] 曲艺,舒帮荣,欧名豪,等. 基于生态用地约束的土地利用数量结构优化[J]. 中国人口·资源与环境,2013,23(1):157-163.

[7] 魏媛,王阳,姚晨,等. 基于 GIS 与 RS 喀斯特山地土地利用动态变化研究——以贵阳市为例[J]. 江苏农业科学,2016,44(11):435-439.

[8] 杨屹,加涛. 21 世纪以来陕西生态足迹和承载力变化[J]. 生态学报,2015,35(24):7987-7997.

[9] 刘红娇,常胜. 基于生态足迹的土地利用可持续性评价[J]. 湖北民族学院学报(自然科学版),2008,26(2):237-240.

[10] Wackernagel M, Onisto L, Bello P, et al. National natural capital accounting with the ecological footprint concept[J]. Ecological Economics,1999,29(3):375-390.

土壤性质的时空变异性,不可能获取所有因子的数据,而只能从候选参数数据集中选出能最大限度地代表所有候选参数的最小数据集(MDS)^[5]。Andrews 等采用主成分分析的方法获得了小流域尺度上评价农田的 MDS 成分,主要包括有机质、电导率、pH 值、水稳性团聚体、有效锌(Zn)和容重^[6]。Sparling 等在国家的尺度上,选取了总碳、总氮、可矿化氮、pH 值、有效磷、容重和孔隙 7 个指标作为 MDS 对新西兰不同土地利用类型的土壤进行了评价^[7]。张世文等根据县域、乡(镇)2 个空间尺度及 1980、2008 年 2 个时间尺度的特点,建立了不同时空尺度下土壤评价最小数据集^[8]。随之出现的特尔斐法^[9]、相关系数法^[10]、神经网络法^[11]、地统计学方法^[12]、灰色关联法^[13]等方法被应用到构建最小数据集中。土壤肥力质量评价方法主要包括定性、定量 2 种,定性评价应用最早的是土壤质量卡^[14],然后为半定量的土壤质量试验箱^[15],但是这 2 种方法并不能全面详细地反映土壤肥力质量的实际变化。目前,出现了许多定量的评价方法,主要有多变量综合评分法、模糊数学、聚类分析法、“3S”(即遥感技术、地理信息系统、全球定位系统)技术等^[16-18]。

高产粮田的持续发展与土壤肥力息息相关,但是到目前为止,高产田的土壤肥力质量评价指标的选取及其评价较少。因此,本研究以河北省冬小麦/夏玉米轮作的高产粮田为研究对象,通过基于主成分分析方法构建土壤肥力质量评价最小数据集和确定指标权重,采用模糊数学法、综合评分法对高产粮田进行土壤肥力质量评价,以期对高产田的评价分级、高产田的培育提供理论依据和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地选择河北平原典型冬小麦/夏玉米轮作区。河北省处于欧亚大陆东部中纬度地带,地貌形态多样,四季分明。属于温带季风气候—暖温带半湿润—半干旱大陆性季风气候,特点是冬季寒冷少雪,夏季炎热多雨;春多风沙,秋高气爽。全省年平均气温在 4~13℃之间,1 月平均气温 -4~2℃,7 月平均气温 20~27℃,各地的气温年较差、日较差都较大,全年无霜期 110~220 d。全省年平均降水量分布很不均匀,年变率也很大。年平均降水量在 400~800 mm 之间。

1.2 样品采集与测定

1.2.1 样品采集 在冬小麦种植前,采集河北省太行山山麓平原的定兴、宁晋、赵县、正定、藁城和低平原的固安、深州、景县、吴桥、曲周、辛集等 11 个高产示范县的高产攻关田土壤,采集深度为 0~30 cm。共采集 396 个土样,每个样品由 3 个样点组成。测定项目包括容重、总孔隙度、粉黏比、田间持水量、土壤 pH 值、土壤阳离子交换量(CMC)、有机质含量、土壤全氮含量、硝态氮含量、速效磷含量、速效钾含量、过氧化氢酶活性、脲酶活性、蔗糖酶活性、磷酸酶活性、微生物量碳、微生物量氮。

1.2.2 测定方法 容重、孔隙度、土壤 pH 值、CEC、有机质含量、土壤全氮含量、速效磷含量、速效钾含量采用常规方法测定^[19]。粉黏比是通过吸管法测得土壤粉粒、黏粒含量^[20],取其比值。硝态氮含量采用 1 mol KCl 浸提,流动分析仪测定;过氧化氢酶活性采用高锰酸钾滴定法测定;脲酶活性采用比

色法测定,利用酶促作用产物氨与苯酚钠、次氯酸钠反应显色;蔗糖酶活性采用比色法测定,利用酶促作用产物葡萄糖与 3,5-二硝基水杨酸反应生成 3-氨基-5-硝基水杨酸而呈橙黄色;磷酸酶活性采用磷酸苯二钠比色法测定^[21];微生物量碳、氮的测定方法均用三氯甲烷熏蒸浸提法,浸提液通过重铬酸钾氧化法测定土壤微生物量碳,转化系数 0.38;经蒸馏、消煮后用凯氏定氮法测定土壤微生物量氮,转换系数 0.45^[22]。

1.3 数据统计与分析

采用 SPSS 19.0 进行主成分分析和相关性分析,运用主成分分析方法构建最小数据集,并确定各指标的权重,运用模糊数学方法、综合评分法对土壤肥力质量进行评价。

2 结果与分析

2.1 土壤肥力指标特征

由表 1 可见,土壤容重均值为 1.22 g/cm³,总孔隙度均值为 54.08%,粉黏比均值为 1.33,说明土壤疏松多孔,结构性良好,物理性质较好。根据河北省第二次土壤普查的养分分级标准,有机质含量均值为 21.89 g/kg,为中等水平;全氮含量 >2 g/kg,为极丰富水平;速效磷处于丰富水平,速效钾为极丰富水平。说明高产田土壤养分含量均较高,合理调控土壤养分比例是关键。阳离子交换量均值为 12.21 cmol/kg,说明土壤的保肥能力中等。微生物量碳是评价土壤微生物数量、活性及土壤肥力的重要指标,微生物量氮则控制土壤中碳、氮养分循环,二者均比农民传统的对照田高(对照田的微生物碳、氮含量分别为 72.08、32.09 mg/kg);脲酶可反映土壤供氮能力,过氧化氢酶活性反映土壤氧化能力,蔗糖酶高则说明作物营养(葡萄糖)多,磷酸酶能将有机磷酯水解为无机磷酸。由表 1 还可以看出,高产田的 4 种酶活性均高于对照田(对照田的脲酶活性为 2.21 mg/g,过氧化氢酶活性为 5.00 mg/g,蔗糖酶活性为 33.97 mg/g,磷酸酶活性为 10.8 mg/g),说明高产田的生物学性质好于对照田,但是氮肥施用量过高容易造成土壤脲酶活性增强,并且全氮含量极其丰富,因此要减少氮肥用量。

2.2 构建最小数据集

2.2.1 主成分解释的总方差 由表 2 可知,前 5 个主成分的特征根大于 1,方差贡献率之和为 80.894%,可见 5 个主成分可以解释大部分土壤属性指标的变异性。因此,把 17 个指标提取为 5 个主成分。

2.2.2 土壤肥力指标的分组与 Norm 计算 由表 3 可以看出,每个选取 PC 中荷载 ≥0.5 的土壤参数被选出来作为 1 组。若某土壤参数同时在 2 个 PC 中的荷载高于 0.5,则该参数应归并到与其他参数相关性较低的那 1 组。全氮含量在 PC₁、PC₃ 的荷载分别为 0.516、0.585,由表 4 可见,全氮含量与有机质含量的相关系数为 0.508*,因此,把全氮含量放在 PC₃ 中。同理,将磷酸酶活性放在 PC₄ 中。则 PC₁ 的指标包括粉黏比、pH 值、硝态氮含量、脲酶活性;PC₂ 的指标包括土壤容重、总孔隙度、田间持水量、过氧化氢酶活性;PC₃ 的指标包括有机质含量、全氮含量、速效磷含量、速效钾含量;PC₄ 的指标包括阳离子交换量、蔗糖酶活性、磷酸酶活性;PC₅ 的指标包括微生物量碳、微生物量氮。

通过计算 Norm 值,并选择在其 10% 范围内的所有参数,

表 1 土壤属性描述性统计量

类别	土壤容重 (g/cm ³)	总孔隙度 (%)	田间持水量 (%)	粉黏比	CEC (cmol/kg)	pH 值	有机质含量 (g/kg)	全氮含量 (g/kg)	硝态氮含量 (mg/kg)
极小值	0.95	43.19	15.38	0.44	1.8	7.38	8.80	0.65	4.19
极大值	1.51	63.99	44.11	2.32	40.19	8.89	36.60	5.01	142.02
均值	1.22	54.08	28.61	1.33	12.21	8.06	21.89	2.78	30.64
标准差	0.11	4.19	5.70	0.43	9.75	0.44	6.52	1.04	26.16
变异系数	9.13%	7.75%	19.92%	31.99%	79.84%	5.43%	29.77%	37.54%	85.39%

类别	速效磷含量 (mg/kg)	速效钾含量 (mg/kg)	微生物量碳 (mg/kg)	微生物量氮 (mg/kg)	过氧化氢酶活性 (mg/g)	蔗糖酶活性 (mg/g)	脲酶活性 (mg/g)	磷酸酶活性 (mg/kg)
极小值	1.65	139.29	69.21	11.83	5.00	21.54	1.91	3.62
极大值	110.24	340.69	195.05	79.83	6.13	44.05	2.78	17.46
均值	29.26	206.73	130.30	35.11	5.62	35.10	2.35	11.26
标准差	19.62	60.47	33.69	16.87	0.32	5.94	0.25	3.49
变异系数	67.03%	29.25%	25.86%	48.06%	5.69%	16.93%	10.80%	30.97%

表 2 采用主成分分析提取方法解释的总方差

成分	初始特征值			提取平方和载入		
	合计	方差贡献率(%)	累积方差(%)	合计	方差贡献率(%)	累积方差(%)
1	3.626	25.147	25.147	3.626	25.147	25.147
2	3.216	19.868	45.015	3.216	19.868	45.015
3	2.028	14.264	59.279	2.028	14.264	59.279
4	1.854	11.298	70.577	1.854	11.298	70.577
5	1.497	10.317	80.894	1.497	10.317	80.894

表 3 主成分分组及 Norm 值

指标	分组	PC 载荷					Norm 值
		1	2	3	4	5	
粉黏比	1	-0.622	-0.194	0.053	0.039	0.047	1.196
pH 值	1	-0.822	-0.176	-0.002	0.125	0.185	1.566
硝态氮含量	1	0.687	-0.070	0.049	-0.138	0.078	1.285
脲酶活性	1	0.739	0.142	-0.204	-0.077	0.208	1.437
土壤容重	2	-0.088	-0.933	0.113	-0.050	0.082	1.663
总孔隙度	2	0.088	0.933	-0.113	0.050	-0.082	1.663
田间持水量	2	-0.384	0.713	-0.037	0.134	-0.020	1.452
过氧化氢酶活性	2	0.433	0.507	-0.257	0.473	0.186	1.423
有机质含量	3	0.310	0.439	0.551	-0.002	0.188	1.261
全氮含量	3	0.516	-0.237	0.585	-0.068	0.292	1.381
速效磷含量	3	-0.049	0.200	0.738	-0.185	-0.267	1.187
速效钾含量	3	-0.225	0.282	0.624	-0.230	0.229	1.177
磷酸酶活性	4	0.530	-0.260	0.026	0.537	0.113	1.304
CEC	4	0.010	-0.233	0.112	0.694	0.461	1.188
蔗糖酶活性	4	0.137	0.015	-0.480	-0.586	0.126	1.086
微生物量碳	5	0.210	-0.282	-0.048	0.321	-0.558	1.042
微生物量氮	5	0.124	-0.110	-0.231	-0.466	0.585	1.068

从而剔除那些信息量相对较少的参数。因此,PC₁ 中保留的指标为 pH 值、脲酶活性;PC₂ 中保留的指标为土壤容重、总孔隙度;PC₃ 中保留的指标为有机质含量、全氮含量、速效磷含量;PC₄ 中保留的指标为阳离子交换量、磷酸酶活性;PC₅ 中保留的指标为微生物量碳、微生物量氮。

2.2.3 MSD 的组成 对每组内选出的参数进行相关分析,检查是否有明显的冗余数据问题存在。如果高度相关(相关系数≥0.5),则选取综合得分最高的参数进入最终的 MDS;

对于不相关的参数,则全部进入 MDS。综合表 4 数据可以看出,最终进入主成分的指标是 pH 值、土壤容重、有机质含量、速效磷含量、磷酸酶活性、阳离子交换量、微生物量碳、微生物量氮。

2.3 土壤肥力质量综合评价

2.3.1 评价指标隶属度函数模型的选取 土壤 pH 值反映土壤的酸碱性,pH 值在 6.5~7.5 之间最适宜作物生长,过酸或过碱的土壤均对作物的生长影响很大,并且影响土壤养分

表 4 部分土壤指标间相关系数

指标	容重	总孔隙度	CEC	pH 值	有机质含量	全氮含量	速效磷含量	微生物量碳	微生物量氮	脲酶活性	磷酸酶活性
容重	1.000										
总孔隙度	-1.000 **	1.000									
CEC	0.188	-0.188	1.000								
pH 值	0.181	-0.181	0.227	1.000							
有机质含量	-0.332	0.332	0.027	-0.316	1.000 **						
全氮含量	0.205	-0.205	0.177	-0.227	0.508 **	1.000					
速效磷含量	-0.080	0.080	-0.185	0.045	0.302	0.279	1.000				
微生物量碳	0.116	-0.116	0.125	-0.241	-0.216	0.017	-0.065	1.000			
微生物量氮	0.082	-0.082	-0.021	0.039	-0.097	0.183	-0.184	-0.212	1.000		
脲酶活性	-0.183	0.183	0.041	-0.663 **	0.196	0.252	-0.207	0.030	0.152	1.000	
磷酸酶活性	0.189	-0.189	0.407 **	-0.301	0.090	0.301	-0.109	0.165	-0.123	0.221	1.000

的有效性,因此,土壤 pH 值不能应用“S”形函数(图 1)进行计算,需要采用抛物线形(梯形)隶属函数(图 2),隶属度函数见式(1):

$$f(x) = \begin{cases} 0 & (x \leq 4 \text{ 或 } \geq 10) \\ 1 - 1/3 |x - 7| & (4 < x < 10) \end{cases} \quad (1)$$

土壤容重反映土壤的紧实度,土壤过松或紧实对土壤的通气性、保水保肥等都不太理想,其隶属度不能应用“S”形函数进行计算,应根据土壤容重的分级标准(表 5),提出土壤容重的隶属度函数,详见式(2)。

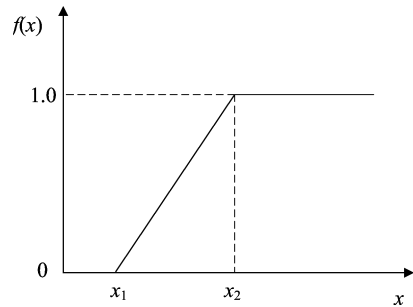


图1 “S”形隶属函数

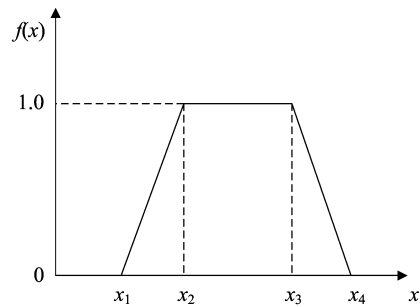


图2 抛物线形(梯形)隶属函数

表 5 土壤容重分级标准

分级标准	容重 (g/cm ³)
过松	< 1.00
适宜	[1.00, 1.25]
偏紧	(1.25, 1.35]
紧实	(1.35, 1.45]
过紧实	(1.45, 1.55]
坚实	> 1.55

$$f(x) = \begin{cases} 0.9x + 0.1 & 0 < x < 1.00 \\ 1.0 & 1.00 \leq x \leq 1.25 \\ 0.9(1.55 - x)/(1.55 - 1.25) + 0.1 & 1.25 < x \leq 1.55 \\ 0.1 & x > 1.55 \end{cases} \quad (2)$$

土壤阳离子交换量代表土壤可能保持的养分数量,即保肥性的高低,阳离子交换量可作为评价土壤保肥能力的指标,它与土壤养分、微生物、酶活性的作用效应曲线均呈“S”形,所以可以采用“S”形隶属度函数。其中土壤养分可以根据全国第二次土壤普查分级标准(表 6),确定曲线中的转折点。土壤阳离子交换量、微生物量碳、微生物量氮和酶活性根据本试验土壤样品的测定结果确定转折点(表 7),根据式(3)计算隶属度。

表 6 全国第二次土壤普查养分分级

等级	有机质含量 (g/kg)	速效磷含量 (mg/kg)
一	≥40	≥40
二	[30, 40)	[20, 40)
三	[20, 30)	[10, 20)
四	[10, 20)	[5, 10)
五	[6, 10)	[3, 5)
六	<6	<3

$$f(x) = \begin{cases} 1.0 & x \geq x_2 \\ 0.9(x - x_1)/(x_2 - x_1) + 0.1 & x_1 < x \leq x_2 \\ 0.1 & x < x_1 \end{cases} \quad (3)$$

2.3.2 评价指标隶属度 从表 8 看出,2 个类型区的总体隶属度平均值有所差异,在山麓平原区,微生物量氮、CEC 的均值较低,分别为 0.46、0.50,说明二者为该地区土壤肥力质量的主要限制性因子;其次,有机质隶属度平均值为 0.57,成为又一个限制性因子;土壤容重的隶属度均值较高。在低平原区也表现出与山麓平原区一致的趋势,且比山麓平原区受限制性要强烈,其他土壤因子的隶属度均值也低于山麓平原区。由此说明,高产田要进一步提高有机质含量,并保证土壤具有较高的保肥能力。

2.3.3 评价指标权重的确定 采用多元统计分析中因子分析法确定评价指标的权重。由因子载荷矩阵求得土壤肥力质量指标的公因子方差,方差表示该项指标对土壤质量总体变异的贡献情况,再由公因子方差计算评价指标的权重。由表

表 7 隶属度函数曲线转折点的取值

转折点	有机质含量 (g/kg)	速效磷含量 (mg/kg)	CEC (cmol/kg)	微生物量碳 (mg/kg)	微生物量氮 (mg/kg)	磷酸酶活性 (mg/g)
x_1	6	3	5	60	15	5
x_2	40	40	20	180	75	15

表 8 土壤属性隶属度均值

类型区	县域	隶属度均值							
		容重	CEC	pH 值	有机质含量	速效磷含量	微生物量碳	微生物量氮	磷酸酶活性
山麓平原	定兴	1.00	0.47	0.56	0.66	0.58	0.53	0.64	0.79
	宁晋	1.00	0.62	0.56	0.62	0.51	0.45	0.56	0.41
	赵县	0.79	0.67	0.83	0.41	0.59	0.92	0.54	0.91
	正定	0.90	0.41	0.83	0.61	0.72	0.77	0.36	0.84
	藁城	1.00	0.34	0.72	0.56	0.97	0.74	0.19	0.82
	平均	0.94	0.50	0.70	0.57	0.68	0.68	0.46	0.76
低平原	固安	1.00	0.54	0.75	0.57	0.41	0.58	0.27	0.66
	深州	0.99	0.55	0.72	0.51	0.70	0.47	0.37	0.46
	景县	0.74	1.00	0.43	0.44	0.61	0.70	0.33	0.89
	吴桥	0.98	0.10	0.43	0.36	0.67	0.59	0.45	0.20
	曲周	0.77	0.10	0.56	0.31	0.51	0.56	0.30	0.70
	辛集	0.98	0.14	0.72	0.67	0.95	0.54	0.41	0.42
	平均	0.89	0.38	0.57	0.46	0.69	0.57	0.37	0.53

9 可见,有机质含量权重最高,为 0.229,其次是土壤容重、阳离子交换量,pH 值的贡献最低,为 0.041。

表 9 土壤指标权重

指标	公因子方差	权重
pH 值	0.098	0.041
容重	0.079	0.201
CEC	0.110	0.145
有机质含量	0.131	0.229
速效磷含量	0.123	0.108
磷酸酶活性	0.084	0.085
微生物量碳	0.062	0.077
微生物量氮	0.113	0.074

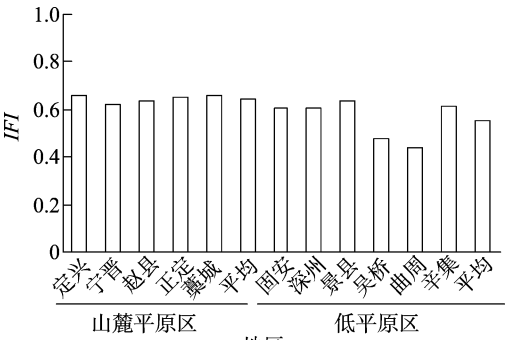


图3 山麓平原、地平原区的 IFI 平均值

2.3.4 土壤肥力质量评价 土壤肥力质量评价采用土壤肥力综合质量指数 IFI 表达,其数学公式如下:

$$IFI = \sum a_i w_i (i = 1, 2, 3, \cdots, 8).$$
 (4)

式中: a_i 、 w_i 分别是第 i 个因子的隶属度、权重。

根据隶属度函数曲线中转折点的相应取值,可将土壤肥力质量分为 5 个等级,即:优Ⅰ, $FI \in (0.8, 1]$;良Ⅱ, $FI \in (0.6, 0.8]$;中等Ⅲ, $FI \in (0.4, 0.6]$;差Ⅳ, $FI \in (0.2, 0.4]$;很差Ⅴ, $FI \in (0, 0.2]$ 。如图 3 所示,太行山山麓平原各县的土壤肥力质量均为 $0.6 < IFI < 0.8$,为Ⅱ级,良;低平原区的 IFI 的平均值为 0.554,属于Ⅲ级的中等水平,其中曲周、吴桥的 IFI 分别为 0.442、0.480,均为Ⅲ级的中等水平。由此说明,2 个类型区的高产田土壤肥力质量有待于进一步提升,并能达到可持续性。

3 讨论

土壤肥力质量评价是指对土壤肥力高低的评判和鉴定。土壤肥力对产量的贡献率也被许多研究者认可^[23-24],对于中低产田进行土壤肥力质量的评价,可以从中获取更多的信息,并探寻提高粮食产量的途径。一般认为,高产田的土壤肥力

应该高,土壤各指标均应较高,而关于对其评价是否有必要,以及以提升土壤肥力为目标建设的高产粮田,是一个需要长期坚持的工作,而短期内依靠施肥、栽培等技术获得的高产是不可持续的。要使土壤长期保持肥力,保证农作物持续稳产、高产,必需动态监测土壤肥力。本研究初步评价了河北平原小麦/玉米高产田的土壤肥力质量,发现高产田中的微生物量氮、CEC 是主要限制性因子,其次为有机质含量。目前,高产田的土壤肥力综合质量指数 (IFI) 在 0.442~0.661 之间,处于中等-良好的偏下水平,有待于进一步提升土壤肥力,且增施有机肥或促进秸秆腐熟措施至关重要。

土壤肥力并不是评价土壤肥力质量的单一指标,后者是通过土壤中的各项指标的综合进行评价的,选取的指标越全面,评价的结果越接近土壤的真实肥力水平。因此,在进行土壤肥力质量评价时,应综合土壤的物理性质、化学性质和生物学性质,它们反映了土壤中养分的贮存、释放及土壤环境条件等方面^[17]。但是土壤指标较多,不能一一列举出来,并且这些指标对土壤肥力的贡献也不均等,此外指标间具有极好的相关性,可以替代。而最小数据集法可通过一定的方法,选择有代表性的评价指标对土壤肥力质量进行评价。主成分分析

方法客观性较强,避免了人为的主观影响,以数据为基础,最大程度地反映各指标对土壤肥力的贡献,从而确定了各指标的权重。

土壤肥力质量评价的方法也有多种,每种方法都有其优点、缺点^[25-27],如有些方法可以借助于计算机技术、地统计学等手段,但是土壤是一个复杂而多相的物质系统,各项指标的变异性也较大,而模糊数学中的隶属度也较好地弥补了这一特点,且较为简单,准确性较强。因此,土壤肥力质量采用此方法评价具有较强优越性、实用性^[18,28-29]。

4 结论

采用主成分分析方法,结合 Norm 值、相关系数,筛选出 pH 值、土壤容重、有机质含量、速效磷含量、磷酸酶活性、阳离子交换量、微生物量碳、微生物量氮等 8 项指标,建立了河北省平原区小麦/玉米高产田土壤肥力质量评价的最小数据集。

利用模糊数学法建立各评价指标的隶属函数,微生物量氮、CEC 均值较低,是该地区主要的限制性因子;有机质含量次之;土壤容重的隶属度值最高。说明该地区土壤的保肥能力较差,有机质含量有待进一步提高。

利用主成分分析法客观确定了土壤各因子的权重,有机质含量最高,为 0.229,土壤容重、阳离子交换量次之,pH 值最低,为 0.041;综合评价各县土壤肥力综合质量指数(*IFI*),其中曲周、吴桥的 *IFI* 处于Ⅲ级的中等水平,其他 9 个县均为Ⅱ级的良水平,河北平原小麦/玉米高产田土壤肥力有待于进一步提高。

参考文献:

- [1] 颜 雄,张杨珠,刘 晶. 土壤肥力质量评价的研究进展[J]. 湖南农业科学,2008(5):82-85.
- [2] 国家统计局. 中国统计年鉴 2012[M]. 北京:中国统计出版社,2012.
- [3] 汤勇华,黄 耀. 中国大陆主要粮食作物地力贡献率及其影响因素的统计分析[J]. 农业环境科学学报,2008,27(4):1283-1289.
- [4] 吕 新,寇金梅,李宏伟. 模糊评判方法在土壤肥力综合评价中的应用研究[J]. 干旱地区农业研究,2004,22(3):56-59.
- [5] Larson W E, Pierce F J. Conservation and enhancement of soil quality [C]//Sustainable Land Management in the Developing World. Bangkok, Thailand, 1991:175-203.
- [6] 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.
- [7] Sparling G P, Schipper L A. Soil quality monitoring in New Zealand: trends and issues arising from a broad-scale survey [J]. Agriculture, Ecosystems Environment, 2005, 104(3): 545-552.
- [8] 张世文,叶回春,胡友彪,等. 多时空尺度的土壤质量评价最小数

- 据集的建立[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(17): 7487-7492.
- [9] 陈海生, 刘国顺, 刘大双, 等. GIS 支持下的河南省烟草生态适宜性综合评价[J]. 中国农业科学, 2009, 42(7): 2425-2433.
- [10] 崔潇潇, 高 原, 吕贻忠. 北京市大兴区土壤肥力的空间变异[J]. 农业工程学报, 2010, 26(9): 327-333.
- [11] 刘东海, 梁国庆, 周 卫, 等. 基于神经网络的土壤肥力综合评价[J]. 中国土壤与肥料, 2011(5): 12-19.
- [12] 廖桂堂, 李廷轩, 王永东, 等. 基于 GIS 和地统计学的低山茶园土壤肥力质量评价[J]. 生态学报, 2007, 27(5): 1978-1986.
- [13] Gau H S, Hsieh C Y, Liu C W. Application of grey correlation method to evaluate potential groundwater recharge sites [J]. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 2006, 20(6): 407-421.
- [14] 赵其国, 孙 波, 张桃林. 土壤质量与持续环境 I. 土壤质量的定义及评价方法[J]. 土壤, 1997(3): 113-120.
- [15] Govaerts P. Geostatistics in soil science: state-of-the-art and perspectives[J]. Geoderma, 1999, 89(1/2): 1-45.
- [16] 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, 26(3): 901-913.
- [17] 刘金山, 胡承孝, 孙学成, 等. 基于最小数据集和模糊数学法的水旱轮作区土壤肥力质量评价[J]. 土壤通报, 2012, 43(5): 1145-1150.
- [18] Rezaei S A, Gilkes R J, Andrews S S. A minimum data set for assessing soil quality in rangelands[J]. Geoderma, 2006, 136(1/2): 229-234.
- [19] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000: 25-114.
- [20] 中国科学院土壤研究所物理室. 土壤物理性质测定法[M]. 北京: 科学出版社, 1978: 90-96.
- [21] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1986: 1-131.
- [22] 吴金水, 林启美, 黄巧云, 等. 土壤微生物生物量测定方法及其应用[M]. 北京: 气象出版社, 2006: 54-83.
- [23] 韩 霜. 土壤、施肥及气候因素对作物产量贡献的研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2012.
- [24] 崔玉婷, 韩纯儒, 温金祥. 土壤肥力在集约高产过程中的作用[J]. 北京农业大学学报, 1994, 20(1): 21-24.
- [25] 李文红, 丁永辉, 张朝显, 等. 沛县土壤肥力现状及改良对策[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(7): 506-508.
- [26] 李学平, 刘 萍. 深旋耕秸秆还田对内陆盐碱地土壤肥力和作物产量的效应[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(1): 133-135.
- [27] 侯秀丽, 吴晓妮, 王定康. 滇中不同群落的土壤侵蚀及土壤肥力对比研究[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(12): 331-335.
- [28] Yemefack M, Jetten V G, Rossiter D G. Developing a minimum data set for characterizing soil dynamics in shifting cultivation systems [J]. Soil & Tillage Research, 2006, 86(1): 84-98.
- [29] Govaerts B, Sayre K D, Deckers J. A minimum data set for soil quality assessment of wheat and maize cropping in the highlands of Mexico[J]. Soil & Tillage Research, 2006, 87(2): 163-174.