

基于GIS与模糊数学的县级耕地地力质量评价研究^①

王良杰^{1,2}, 赵玉国^{2*}, 郭敏¹, 张甘霖²

(1 南京农业大学公共管理学院, 南京 210095;

2 土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008)

摘要: 以安徽省宣城市宣州区为例, 结合开展的测土配方施肥工作, 在GIS支持下, 利用土壤图和土地利用现状图叠置法确定评价单元, 选取土壤养分含量和有效性以及立地条件3个方面共14个因子, 建立耕地地力评价体系及其模型, 运用层次分析法和模糊数学、综合指数等方法对耕地地力进行综合评价, 评价结果符合当地实际, 可以为全国测土配方施肥提供方法和技术支持。

关键词: 耕地地力评价; 模糊数学; 地理信息系统

中图分类号: S158

土壤质量是土壤特性的综合反映, 可以指示土壤条件差异及其动态变化^[1], 因而能体现自然因素及人类活动对土壤的影响。土壤质量评价监测关系到可持续性农业、环境、生态发展^[2]。耕地地力是土壤质量的重要组成部分, 其评价是对土壤供肥能力高低的评判和鉴定, 可以用于指导合理施肥、保证农业稳产高产以及控制非点源污染等方面。近几年来全国范围内正在开展县级测土配方施肥工程, 其主要工作环节包括合理布设监测样点、测土、小区实验、耕地地力评价及空间变异、不同土壤和耕地地力条件下的配方制定及其推广应用5个部分, 前3个环节农业部已经有一套比较健全的技术体系, 并组织多次相关培训; 而耕地地力及其空间变异评价和配方制定两个环节尚缺乏统一标准, 由于耕地地力概念的不统一性、内涵的不确定性、评价目的侧重的不同、以及各地自然和社会经济条件差异, 即使在省级范围内, 也难于统一评价方法和指标; 而且由于前期基层农业技术组织及其工作的不当弱化, 全国范围内基层专业技术力量差异较大, 这可能会影响到测土配方施肥工程的开展效果。本文以安徽省宣城市宣州区为例, 在GIS支持下, 利用数学方法构建评价模型, 以减少主观的不确定性, 期望能够为县级耕地地力评价及其空间变异提供一个可行的技术方案。

1 材料与方法

1.1 研究区简介

研究区位于安徽省东南部的宣城市宣州区, 为亚热带山地丘陵区与长江沿江平原的过渡地带, 地理位置为118°37'31"~118°40'15" E, 30°50'55"~30°52'30" N, 该区属于亚热带湿润季风气候类型, 成土母质主要为白垩纪风化物第四纪红土黄土以及河流冲积物, 植被类型为常绿针叶林和落叶阔叶林, 以次生林为主, 低山丘陵约占研究区的50%左右, 耕地面积为131 610 hm², 约占土地总面积的32%, 以水旱轮作为主。

1.2 基础数据来源

土壤属性数据来源于两方面, 首先为本次测土配方施肥项目中全区采集的6000个样点分析数据, 分析的项目包括: pH、有机质(OM)、有效P、有效K、Zn、B; 其次, 由于目前的测土配方施肥项目没有对土壤物理性质等指标作要求, 但这些指标对土壤供肥能力具有显著影响, 因此从第二次土壤普查数据中获得部分数据, 包括土壤质地、有效土层厚度、黏粒含量、体积质量(容重)、CEC。

空间数据包括1:5万地形图、1:5万DEM(数字化高程模型)、1:5万土壤图、1:5万土地利用现状图。

1.3 软件平台

采用的软件平台有ArcMAP9.0、SPSS11.0、县域耕地地力管理信息系统3.0。其中, ArcMAP9.0与县域耕地地力管理信息系统3.0两者在空间数据格式上具有良好的通用性, 后者难以兼顾的一些复杂空间

^①基金项目: 国家自然科学基金项目(40771092)和中国科学院创新方向性项目(KZCX2-YW-409)资助。

* 通讯作者(ygzha@issas.ac.cn)

作者简介: 王良杰(1982—), 男, 硕士研究生, 主要从事数字土壤制图与土壤信息系统研究。E-mail: ljwang@issas.ac.cn

分析计算可以在 ArcMAP9.0 中实现, 其结果可以直接调入县域耕地地力管理信息系统中进行显示和管理。

2 评价模型构建

2.1 耕地地力指标选取

耕地地力评价也要求数量化、客观化、综合化。合理的耕地地力评价指标既能反映土壤的自然养分状况, 又能显示土壤养分对植物的供应能力, 还能反映土壤所处的环境。本评价在综合以上因素基础上, 并参阅国内其他类似研究, 把耕地地力指标分为 3 个因子集: 土壤养分含量状态集, 包含常规的 OM、NPK 以及 Zn、B、CEC; 土壤养分有效性状态因子集: 主要是影响土壤附和植物吸收的 pH、黏粒含量。其中, OM、有效 P、有效 K、Zn、B、pH 从本次分析数据项目中直接获得, CEC、黏粒含量从第二次土壤普查资料《宣州土壤》中查找与本次调查采样点的对应剖面获得有关数据。尽管本次分析还有很多其他中微量元素项目, 但由于微量元素含量在整个研究区域中差异性低, 不宜于作为耕地地力评价指标。采用的 3 个立地条件评价指标为坡度、海

拔、灌溉条件, 其中坡度和海拔利用 1:5 万地形数据建立的 30 m 分辨率 DEM 获得, 灌溉条件指标则是利用 GIS 空间分析技术, 以耕地距水库、河流、灌渠、较大水塘等的空间距离为转换计算参数。

2.2 标准评分方程

标准评分方程 (standard scoring function) 是解决系统工程问题时提出的方法, 这一方法可以将数值或等级划分转变为 0~1 之间的无量纲值。评价指标标准化是一般采用 3 类标准评分方程: SSF1, 越多越好; SSF2, 最合适范围; SSF3, 越少越好^[3]。对于每个指标, 需要选择合适的评分方程, 并确定评分方程的上限 (U), 下限 (L), 基准值 (B), 斜率 (S), 最优值 (O) 等参数, 最后将各项土壤质量指标的测定数值代入标准评分方程计算得到标准得分值。在综合各方面研究资料和专家经验基础上, 最后确定了土壤质量评价指标的标准评分方程类型及其参数 (表 1)。此外土壤质地采用专家打分的方式, 中壤为 1, 重壤或者轻壤为 0.8; 黏土为 0.4。而 3 个立地条件评价指标根据公式 (1) 进行标准化处理。

$$X_{\text{标准化值}} = (X_{\text{max}} - X) / (X_{\text{max}} - X_{\text{min}}) \quad (1)$$

表 1 耕地地力评价指标标准评分方程的参数

Table 1 Quality evaluation factors of standard scoring function

指标	SSF	L	B	U	B1	O	B2
体积质量 (Mg/m ³)	3	1.0	1.5	2.0			
黏粒含量 (%)	2	25		65	40	45	50
pH	2	3.5		9.5	5.3	6.5	7.7
OM (%)	1	0.5	1.5	3.0			
有效 P (mg/kg)	2	5.0		150	15	30	100
速效 K (mg/kg)	2	30		525	85	175	450
Zn (mg/kg)	2	0.5		2.50	1	1.5	2
B (mg/kg)	2	0.5		2.5		1.5	
土层厚度 (cm)	1	20	60	100			
CEC (cmol/kg)	1	3	10	20			

2.3 因子分析方法确定模糊评分方程

权重系数的确定是耕地地力综合评价中的一个关键问题, 本次研究采取因子分析方法 (主成分分析) 对参评因子进行主成分分析^[4-7], 得到各个耕地地力因子主成分的贡献率和特征值, 计算相应的荷载矩阵, 求出各耕地地力指标的公因子方差, 方差的大小表示了该项指标

对土壤质量总体变异的贡献, 由此转变为其权重值。

利用 SPSS 分析, 通过正交旋转, 可以使各指标与提取的主成分之间的相关系数向 0~1 两极分化。使每个主成分中需要解释的原土壤质量达到最少。得到耕地地力指标间的相关关系矩阵、特征向量、特征值、贡献率和累积贡献率, 见表 2 和表 3。

表 2 可解释的总方差

Table 2 Total variance

主成分	初始特征值			旋转结果		
	特征根	方差 (%)	累积贡献率 (%)	特征根	方差 (%)	累积贡献率 (%)
1	2.83	20.24	20.24	1.99	14.23	14.23
2	1.51	10.77	31.01	1.62	11.58	25.80
3	1.35	9.61	40.62	1.20	8.61	34.41
4	1.31	9.37	49.99	1.20	8.58	42.99
5	1.20	8.60	58.59	1.20	8.55	51.54
6	0.97	6.96	65.55	1.14	8.17	59.72
7	0.91	6.50	72.05	1.11	7.93	67.64
8	0.82	5.83	77.88	1.11	7.92	75.56
9	0.72	5.17	83.05	1.05	7.49	83.05
10	0.62	4.40	87.45			
11	0.55	3.90	91.35			
12	0.50	3.56	94.91			
13	0.40	2.86	97.77			
14	0.31	2.23	100.00			

表 3 旋转主成分矩阵

Table 3 Rotate principal component matrix

指标	变量	主成分								
		F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6	F_7	F_8	F_9
X_1	OM	0.03	0.029	0.02	-0.003	-0.01	0.10	0.00	0.95	0.00
X_2	有效 P	0.10	0.036	-0.09	0.497	-0.54	0.10	0.00	0.36	0.00
X_3	pH	-0.07	-0.052	0.01	-0.103	0.07	-0.09	0.00	0.00	0.96
X_4	有效 K	0.08	0.087	0.04	0.910	0.03	0.05	0.00	0.00	0.00
X_5	Zn	0.00	0.004	-0.06	0.050	0.91	0.05	0.00	0.00	0.00
X_6	CEC	0.54	0.076	0.39	0.247	0.18	0.23	0.15	0.15	-0.27
X_7	黏粒	-0.42	-0.049	0.52	0.157	-0.02	-0.040	-0.38	0.15	0.00
X_8	B	0.04	0.132	0.06	0.095	0.03	0.93	0.00	0.00	0.00
X_9	质地	-0.85	-0.152	-0.17	0.015	-0.08	0.05	0.00	0.00	0.00
X_{10}	厚度	-0.06	-0.002	0.13	0.083	0.03	-0.05	0.93	0.00	0.00
X_{11}	体积质量	0.82	0.038	-0.09	0.073	-0.17	0.02	-0.15	0.00	0.00
X_{12}	坡度	0.02	0.916	0.00	0.058	-0.04	0.04	0.00	0.00	0.00
X_{13}	高程	0.24	0.830	0.18	0.041	0.04	0.10	0.00	0.00	0.00
X_{14}	灌溉	0.19	0.172	0.83	-0.028	-0.06	0.08	0.17	0.00	0.00
	贡献率	14.23	11.58	8.61	8.58	8.55	8.17	7.90	7.90	7.50

由表 2 可以看出, 前 9 个主成分从 14 个变量中提取的信息量, 已达到全部信息量的 83%, 取前 9 个主成分已足以说明问题。利用主成分分析的结果来计算对应样品前 9 个主成分的总得分, 根据主成分计算公

式得到 9 个主成分与其主因子的线性组合如下:

主成分的总分值:

$$IFI = 0.142 \times F_1 + 0.116 \times F_2 + 0.086 \times F_3 + 0.086 \times F_4 + 0.085 \times F_5 + 0.082 \times F_6 + 0.079 \times F_7 + 0.079 \times F_8$$

$$+ 0.075 \times F_9$$

(2)

其中:

$$F_1 = 0.54X_6 - 0.42X_7 - 0.85X_9 + 0.82X_{11} + 0.24X_{13} + 0.19X_{14} \quad (3)$$

$$F_2 = -0.15X_9 + 0.92X_{12} + 0.83X_{13} + 0.17X_{14} \quad (4)$$

$$F_3 = 0.39X_6 + 0.52X_7 - 0.17X_9 + 0.18X_{13} + 0.83X_{14} \quad (5)$$

$$F_4 = 0.5X_2 + 0.91X_4 + 0.25X_6 + 0.16X_7 \quad (6)$$

$$F_5 = -0.54X_2 + 0.91X_5 + 0.18X_6 - 0.17X_{11} \quad (7)$$

$$F_6 = -0.40X_7 + 0.93X_8 \quad (8)$$

$$F_7 = 0.15X_6 - 0.38X_7 + 0.93X_{10} - 0.15X_{11} + 0.17X_{14} \quad (9)$$

$$F_8 = 0.95X_1 + 0.36X_2 + 0.15X_6 + 0.15X_7 \quad (10)$$

$$F_9 = 0.96X_3 - 0.27X_6 \quad (11)$$

3 评价结果

各参评指标的权重的标准化指数确定后,通过一定方法的计算得到综合指数^[8-10],也就是耕地地力指数。本研究采用加和方法计算土壤质量综合指数:将各评价指标的指数与其权重的积相加得到综合指数,总值越高,土壤质量越好。计算公式如下:

$$IFI = \sum_{i=1}^n F_i \times W_i \quad (12)$$

式中, IFI 为土壤质量综合评价指数, F_i 为 i 评价指标的标准指数, W_i 为 i 指标的权重系数, n 为参评指标数目。

地力评价采取栅格数据模式,便于统一将空间连续分布的坡度、海拔、水灌条件等参数以离散方式参与评价,而不是点-面扩展方式。参与评价的所有 14 个指标全部以 30 m 分辨率栅格图层进行计算,得到各个栅格的综合得分后,结合实际需要,将综合指数按顺序划分为不同的区段,分别表示不同的地力质量等级,进行硬化分级,转换为矢量图层,与原来的其他数据图层结合后,再返回县域耕地地力管理信息系统界面进行数据的管理和显示。

结果表明:宣州区耕地地力综合指数分布在 0.4~0.9 之间。耕地地力等级可分为 6 级:一等地 ($IFI >$

0.9) 面积为 3 954 hm^2 , 二等地 ($0.9 > IFI > 0.8$) 面积为 13 346 hm^2 , 分别占耕地总面积的 3%、10%, 集中分布在北部与中部平原地区, 该区土层深厚, 地势平坦, 水灌条件良好, 成土母质主要为沉积物和冲积物, 土壤有机质、速效 K 和有效 P 等主要养分含量高。三四等地 ($0.8 > IFI > 0.7$) 面积为 65 900 hm^2 , 占耕地总面积的 50%, 主要分布于东部与中部地区, 成土母质以残积物和沉积物为主, 质地以重壤与中壤为主, 有少量低产田, 土壤利用受到一定限制。五等地 ($0.7 > IFI > 0.6$) 面积为 26 230 hm^2 , 占耕地总面积的 20%, 主要分布在南部丘陵地带, 对农业生产有较大限制, 对农作物选择性强, 土壤质量差, 部分为低产田, 存在障碍层次。六等地 ($IFI < 0.6$) 面积为 22 240 hm^2 , 占耕地总面积的 16.87%, 集中分布于南部高山地区, 土壤较瘠薄、水源没有保证, 利用类型以旱地为主, 土壤质量差, 土壤物理性差, 通透性不好。因此, 总体上看, 宣州区耕地资源以中低产田为主, 面积合计为 114 500 hm^2 , 合计约占耕地总面积的 87%, 亟待通过相应的措施提高地力已实现增产增收。

4 结论

(1) 本次研究利用模糊数学的评价方法,可在一定程度上减少评价者主观因素的影响,更能准确地反映土壤质量的差异,提高评价结果的精度。该评价模型第一次运行所获结果与农业技术人员掌握的实际产量情况具有很好的吻合度。

(2) 评价单元的划分采用土壤图与土地利用现状图的叠置划分法,既可以反映单元之间的空间差异性,又使土地利用类型有了土壤属性的均一性。

参考文献:

- [1] 赵其国, 孙波, 张桃林. 土壤质量与持续环境 II. 土壤质量的定义及评价方法. 土壤, 1997, 29(3): 113-120
- [2] United States Department of Agriculture Natural Resources Conservation Service. American's Private Land—A Geography of Hope. Washington D.C., U.S; Government Office, 1997: 162-171
- [3] Karlen DL, Stott DE. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality // Doran JW, Dalsgaard K Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. Madison, Wisconsin, USA: Soil Science Society of American Publication No.35. Inc, 1994: 53-72
- [4] 贺仲雄. 模糊数学及其应用. 天津: 天津科学技术出版社,

- 1985: 52-72
- [5] 张兴昌. 土壤肥力的数学评价初探. 陕西农业科学, 1993(4): 8-11
- [6] 沈汉. 土壤评价中参评因素的选定与分级指标的划分. 华北农学报, 1990, 5(3): 63-69
- [7] 曹承绵, 严长生, 张志明, 周礼恺. 关于土壤肥力数值化综合评价的探讨. 土壤通报, 1983(4): 13-15
- [8] 李华, 毕福田, 乔显亮. 基于 GIS 技术的耕地土壤环境质量综合评价研究——以山西省永济市为例. 土壤, 2007, 39(4): 647-651
- [9] 郭宗祥, 左其东, 李梅, 闵蕴秋, 许金凤, 沈文忠, 顾红亚. 江苏省太仓市耕地地力调查与质量评价. 土壤, 2007, 39(2): 318-321
- [10] 王瑞燕, 赵庚星, 李涛. 山东省青州市耕地地力等级评价研究. 土壤, 2004, 36(1): 76-80

Evaluation of Farmland Productivity Based on GIS and Fuzzy Mathematics Theory at County Level

WANG Liang-jie^{1,2}, ZHAO Yu-guo², GUO Min¹, ZHANG Gan-lin²

(1 College of Public Administration, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China;

2 State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture (Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences), Nanjing 210008, China)

Abstract: Taking Xuancheng City of Anhui Province as a study case, this paper, supported by the technique of GIS, decided the evaluation unit by overlapping the soil map and land use type map, selected fourteen influential factors from three aspects, i.e., soil nutrient content, soil nutrient availability and site condition, established the evaluation system and model of farmland productivity, adopted the methods of Analytical Hierarch program(AHP), Fuzzy Mathematics Theory(FMT) and Integrated Index to synthetically evaluate the farmland productivity. The results were well in line with the local situation, thus the method adopted here can provide a technical support for the similar work in China.

Key words: Farmland productivity evaluation, Fuzzy Mathematics, GIS