

# 基于GIS和模糊数学方法的多方案下农用土地多宜性评价

于婧<sup>1</sup>, 周勇<sup>1</sup>, 周清波<sup>2</sup>, 任意<sup>1</sup>

(1. 华中农业大学资源环境学院, 亚热带土壤资源与环境农业部重点实验室, 武汉 430070; 2. 中国农业科学院资源区划研究所, 北京 100081)

**摘要:** 在可持续发展理论的指导下, 以湖北省潜江市后湖农场流塘分场为研究对象, 运用地理信息系统(GIS)和模糊综合评价方法, 建立了最大生产潜力和最高经济效益两种方案下的土地评价系统。系统中针对不同方案、不同作物分别确立不同的评价指标体系及评价指标分级标准, 采用标准化函数的方法对分级标准及评价指标值进行标准化, 应用模糊综合评判法和GIS技术确定各评价单元的适宜性等级并绘制土地多宜性评价专题图。结果表明: 流塘分场的大部分地区在两种方案下多宜性均较好, 该结果符合当地实际, 客观可行。

**关键词:** 土地利用; 农用土地多宜性评价; 模糊综合评价; 地理信息系统

中图分类号: S159.2

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2005)ZK-0183-05

## 0 引言

农业土地适宜性就是对某块土地是否适宜发展农业及其适宜程度如何进行综合评定, 是土地评价最基本的工作, 也是土地利用和土地规划的主要依据<sup>[1]</sup>。

农业的可持续发展, 不仅在于现有资源的合理使用, 还要求后备资源的科学开发<sup>[2]</sup>。社会经济的发展, 人口素质的逐步提高, 使人们对人与自然的关系有了更多的思考和更深的认识。1983年12月, 中国制定了环境保护与经济建设统筹兼顾、同步发展的方针, 提出了经济建设、城乡建设和环境建设同步规划、同步实施、同步发展, 做到经济效益、社会效益、环境效益相统一的目标<sup>[3]</sup>。于是, 在近年来的资源评价、开发和利用过程中, 社会效益、环境效益也逐渐成为不同用户的目标需求。

为寻求能够满足不同目标的决策者的需求的土地评价方法, 本研究以最大生产潜力方案和最高经济效益方案为例, 在土地多宜性评价的基础上提出了多方案下的土地利用多宜性评价的方法, 即不同的评价方案选择不同的评价指标体系, 不同的作物选择不同的评价标准, 从而得出该地区在不同的目标方案下, 对不同作物的适宜程度, 为区域土地利用规划与管理提供科学依据和实践基础。

## 1 研究区概况

后湖农场位于湖北省潜江市的中部, 江汉平原腹地, 地处北纬30°20', 东经112°41'。北倚汉水, 南近长江。拥有耕地3066 hm<sup>2</sup>, 林地933 hm<sup>2</sup>, 水面1333 hm<sup>2</sup>。重点发展粮、棉、油、渔、猪、果六大类产品, 是湖北省粮棉油中高产区。该地区受亚热带季风气候影响, 光照充足, 四季分明, 雨水充沛, 热量丰富。年日照时数1884.1 h, 年

平均降水量1136.1 mm, 多年7月平均气温28.1℃, 多年1月平均温3.5℃, 无霜期254 d。本研究中选择了后湖农场流塘分场为样区, 该分场位于农场西北, 总面积800 hm<sup>2</sup>, 共有6个生产大队; 样区地形平坦, 成土母质为第四纪的河湖相沉积物与河流冲积物。地面高程在26.8~28.1 m之间, 排灌条件好, 不易发生旱、涝灾害; 耕作层较厚, 表层pH值7.4~8.0左右, 土壤肥力普遍较高。近年来, 受市场经济的影响, 该区农业产业结构调整频繁而欠科学; 农业化学投入增加而经济效益降低; 农产品数量提高而质量下降; 且土壤养分失调, 以及土壤和水体污染等环境问题日益突出。因此, 如何合理地调整和布局农业生产及科学规划和管理农用土地, 是当地农业经济可持续发展的关键。

## 2 研究资料与方法

### 2.1 研究资料

1) 资料收集: 收集了样区第二次土壤普查资料及相关图件, 1995年1:10000地形图和1:10000黑白航摄相片。

2) 样区调查采样和理化分析: 采用航片和地形图作为工作底图开展了样区土壤详查和基层分类, 确定了土壤分类系统, 勾绘了1:10000土壤图和土地利用图, 并以基层分类单元——土系作为肥力评价单元采集土壤农化样, 室内风干处理、磨细过筛, 根据中国土壤系统分类指定的方法进行土壤理化分析。

### 2.2 研究方法——MAPGIS地理信息系统简介

MAPGIS是中国地质大学信息工程学院开发的工具型地理信息系统软件, 是一种基于Windows平台的高效全中文大型智能软件系统。MAPGIS采用矢量和栅格混合的结构, 能够方便地进行图形、图像、属性等数据的输入、整饰、校准和维护, 具有直观实用的属性动态定义编辑功能和多媒体数据、外挂数据的管理能力。它提供了较全的矢量空间分析、DTM分析、网络分析及拓扑空间分析和三维实体叠加分析能力, 并且可输出较高质量的图件和自定义报表。本研究利用其强大的功能对各种图件进行输入、编辑、修改和分析以及对属性

收稿日期: 2003-06-09 修订日期: 2004-04-05

基金项目: 国家863计划(2002AA2Z4071-12); 国家自然科学基金项目(40271056)资助

作者简介: 于婧(1982-), 女, 硕博连读研究生, 武汉华中农业大学资源环境学院, 430070

通讯作者: 周勇, Email: yzhou@mail.hzau.edu.cn

数据的动态管理和最终结果的输出。

### 3 江汉平原后湖地区农用地多宜性评价

#### 3.1 评价原则与方法

本研究遵循以下原则: 所谓最大生产潜力、最大经济效益皆立足于土地的当前生产能力, 前者在于获取最大的作物产量, 后者在于获取最大的经济效益; 在土地多宜性评价中融综合性与差异性为一体, 认为土地等级是各参评因子综合作用的结果, 但并不等于对每个因子都等量齐观; 土地评价落实到具体作物的适宜性及生产规划时, 同时考虑自然生态环境和社会经济环境。

目前的土地适宜性评价主要有限制因子法、指数法和模糊综合评判法。根据以往的研究报道<sup>[4-6]</sup>, 将模糊综合评判法评价结果、指数和法评价结果及极限条件法评价结果分别与作物产量进行回归分析, 综合评判法的相关系数要明显的高于其他两种方法。因此, 本研究采用模糊综合评判法进行土地适宜性评价。研究中引入地理信息系统技术和隶属度函数的概念, 实现了全要素的定量化表示。

#### 3.2 确定评价单元

评价单元是评价的最小单位, 是由影响土地质量诸因素构成的一个空间实体。评价单元的划分, 与土地质量评价的工作量的大小及调查的深度和成果的应用有关。本研究中采用地块为划分单元。所谓“地块”, 指以田间未级固定工程(路、渠、沟、林、坎、地等)所包围的生产环境、管理水平、生产水平相近的范围。这种划分方法和群众利用土地的习惯基本一致, 便于指导实际生产。

#### 3.3 建立评价指标体系

评价指标体系的建立包括了评价因子的选取和因子权重的确定。因子的权重代表了各因子对土地适宜性的贡献度。正确选定参评因素及确定其各自的权重是土地适宜性评价中最基本的工作, 因为它直接影响评价结果的客观性和准确度。

##### 1) 选择评价因子

评价因子就是参与土地适宜性评价的因素, 或称评价项目, 是进行土地适宜性评价的直接依据。影响土地适宜性的因子有很多, 但只有那些具有稳定性的能够反映评价区内土地适宜程度的空间差异, 与农作物密切相关的因素才能作为评价因子。

本研究中, 不同的评价方案满足不同的目标需求, 故而是所选取的评价因子及权重亦不尽相同。

##### 2) 设计评价方案

后湖地区的流塘样区属大比例尺范畴, 对该样区进行土地适宜性评价, 应具体到土地对作物的适宜性。本研究以最大生产潜力方案和最高经济效益方案为例, 建立了不同评价方案下该样区土地对水稻、小麦、棉花、油菜等 4 种作物的多宜性评价体系。最大生产潜力方案是指为了获取某一作物的最大潜力产量, 而评价各地块对这种作物的适宜程度。在该方案下选取了有机质

(OM)、全氮(TN)、全磷(TP)、全钾(TK)、速效磷(SP)、速效氮(SN)和速效钾(SK)等土壤肥力因素, 表土层厚(BTCH)、黏粒含量(NLHL)、阳离子交换量(CEC)和pH值等土壤理化性质因素; 此外, 灌排水便捷度(Wmark)直接影响土地质量的高低, 对作物的产量也有很大的影响; 道路通达度(Rmark)指人们到达某一地块的难易程度, 道路通达度越大, 人们对该地块的潜在投入量越小; 农民的年人均收入(RJSR)水平(包括非农业性收入)的高低决定了农民在种植作物时的经济投入能力, 也影响作物的潜在产量。

最高经济效益方案是指为了获取某一作物的最高经济效益, 而评价各地块对这种作物的适宜程度。在此方案中仍需考虑土壤肥力和土壤理化性质及灌排水便捷度、道路通达度等方面的因素, 它们直接影响作物的产量和经济效益。另外, 随着农民对某一地块投入的增加, 这一地块的产出也会以一定的方式增加, 但当投入量超过一定值时, 地块的产量不会随着投入成本的继续增加而增加, 而是趋于一个定值。因此, 在最高经济效益方案中, 必须综合考虑在某一地块上对某一指定作物的投入和产出水平。本研究中引入了产量-成本指数( $A_j$ )作为主要的参评指标, 描述单位成本所带来的产量, kg/元。

##### 3) 求取评价因子的权重

评价因子的权重是指各评价因子对土地质量限制强度的划分, 它反映参评因素对土地质量的影响程度, 其值(在0~1之间)的大小与参评因子对土地质量的影响成正比。

本研究根据不同的评价方案, 选择了不同的评价指标; 并根据实际生产情况, 对不同的作物填写相应的各因子比较矩阵, 采用专家打分法和层次分析法结合求取各指标因子的权重, 从而最终得出两种评价方案、4种评价对象下的评价指标体系, 其结果如表1所示。

表1 两种方案4种作物下的评价指标及权重

Table 1 Evaluation index and weight of different crops under two scenarios

评价指标	最大生产潜力方案				最高经济效益方案				
	水稻	小麦	棉花	油菜	水稻	小麦	棉花	油菜	
肥力因素	OM	0.136	0.149	0.140	0.134	0.132	0.145	0.137	0.131
	TN	0.034	0.037	0.035	0.034	0.032	0.036	0.034	0.033
	TP	0.017	0.019	0.017	0.017	0.016	0.018	0.017	0.016
	TK	0.017	0.019	0.017	0.017	0.016	0.018	0.017	0.016
	SP	0.102	0.112	0.070	0.134	0.099	0.109	0.068	0.131
	SN	0.136	0.149	0.140	0.134	0.132	0.145	0.137	0.131
	SK	0.102	0.075	0.093	0.090	0.099	0.073	0.090	0.089
理化性状	BTCH	0.074	0.076	0.091	0.078	0.072	0.074	0.089	0.076
	NLHL	0.051	0.051	0.046	0.039	0.048	0.051	0.044	0.038
	CEC	0.093	0.102	0.136	0.104	0.090	0.099	0.133	0.101
	pH	0.056	0.051	0.068	0.059	0.054	0.050	0.067	0.057
其他因素	Wmark	0.084	0.060	0.068	0.065	0.084	0.061	0.067	0.068
	Rmark	0.042	0.040	0.034	0.043	0.042	0.040	0.033	0.045
	RJSR	0.056	0.060	0.045	0.052	—	—	—	—
	$A_j$	—	—	—	—	0.084	0.081	0.067	0.068

#### 3.4 确定评价指标分级标准

参照联合国粮农组织《土地评价纲要》中所提出的土地适宜性评价的原则和方法及有关农业资料<sup>[7-11]</sup>,

根据后湖地区流塘样区的实际情况, 分别确定出上述 4 种作物的评价指标的等级标准, 本文篇幅有限, 仅以水稻为例说明(表 2)。

表 2 水稻适宜性评价分级指标

Table 2 Classification standard of suitability assessment for paddy rice

因素	一级	二级	三级	四级
有机质/%	1.6~4.0	1.3~1.6	0.9~1.3	< 0.9
全氮/%	0.15~0.20	0.10~0.15	0.05~0.10	< 0.05
全磷/%	0.10~0.20	0.07~0.10	0.04~0.07	< 0.04
全钾/%	1.5~2.5	0.5~1.5	0.2~0.5	< 0.2
速效磷/mg·kg <sup>-1</sup>	15~22	10~15	5~10	< 5
速效氮/mg·kg <sup>-1</sup>	85~250	65~85	45~65	< 45
速效钾/mg·kg <sup>-1</sup>	100~250	75~100	50~75	< 50
表土层厚/cm	20~25	15~20	13~15	< 13
黏粒含量/%	45~60	35~45 or 60~70	25~35 or 70~80	< 25 or > 80
CEC/mol·kg <sup>-1</sup>	20~30	15~20	10~15	< 10
pH	5.5~7.0	5~5.5 or 7~7.5	4.5~5 or 7.5~8	< 4.5 or > 8
灌排水便捷度	0.46~0.58	0.35~0.46	0.21~0.35	< 0.21
道路通达度	0.23~0.29	0.18~0.23	0.10~0.18	< 0.10
人均收入/元	1750~2500	1150~1750	550~1150	< 550
产量比系数/kg·元 <sup>-1</sup>	9~12	6~9	3~6	< 3

### 3.5 数据标准化

在建立了指标体系后, 由于各个指标的量纲不统一, 没有可比性, 不适于数理逻辑运算, 直接用来进行评价是困难的。所以必须对参评的指标进行标准化处理, 将各指标值转化为 0~1 之间。为保证评价指标值间横向比较性的同时, 也能保证评价指标值与评价指标分级标准的纵向比较, 采用岭形隶属函数及线形标准化的方法将评价指标值及其分级标准同步量化。函数模型如下岭形偏大型函数

$$A(x) = \begin{cases} 0 & x < a_1 \\ \left[ \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \sin \frac{\pi}{a_2 - a_1} \cdot \left( x - \frac{a_1 + a_2}{2} \right) \right] \cdot 0.9 + 0.1 & a_1 < x < a_2 \\ 1 & x > a_2 \end{cases}$$

### 岭形中间型函数

$$A(x) = \begin{cases} 0 & x < a_1 \\ (-1) \cdot \left\{ \left[ \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \sin \frac{\pi}{a_2 - a_1} \cdot \left( x - \frac{a_1 + a_2}{2} \right) \right] \cdot 0.9 + 0.1 \right\} & a_1 < x < a_2 \\ 1 & a_2 < x < a_3 \\ \left[ \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \sin \frac{\pi}{a_4 - a_3} \cdot \left( x - \frac{a_3 + a_4}{2} \right) \right] \cdot 0.9 + 0.1 & a_3 < x < a_4 \\ 0 & x > a_4 \end{cases}$$

### 线形标准化函数

$$y = \frac{x - \min(x)}{\max(x) - \min(x)}$$

根据各评价指标值的特点, 本研究中各数据标准化模型的适用因子如下:

- 1) 岭形偏大型函数: 适用于 OM, TN, TP, TK, SP, SN, SK, CEC, 表土层厚, 人均收入, 产量比系数;

- 2) 岭形中间型函数: 适用于黏粒含量及 pH;
- 3) 线形标准化函数: 适用于灌排水便捷度、道路通达度。

### 3.6 评价结果获取及讨论

在将测定值标准化后, 即可利用模糊数学的方法, 确定出各项指标值在 4 个土地适宜性级别中的隶属度, 组成模糊关系矩阵 R 之后, 就可按下述模型进行模糊变换, 得出综合评判结果 B

$$B = (b_1, b_2, b_3, b_4)$$

$$= (a_1, a_2, \dots, a_{14}) \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & r_{14} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & r_{24} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{m1} & r_{m2} & r_{m3} & r_{m4} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \end{bmatrix}$$

式中  $a_i$ ——权重系数, 考察综合评判向量 B, 取  $b_j$  的最大值  $\max_{j=1}^4 b_j$  所处的级别 j 为该评价单元最后的适宜性级别。依次评价各单元, 并将评价结果与地块图匹配, 通过 MAPGIS 的专题图制作功能, 可以得出最后的两种评价方案 4 种作物下的土地适宜性等级图(以两种方案下的水稻适宜性评价为例, 见图 1、2)。

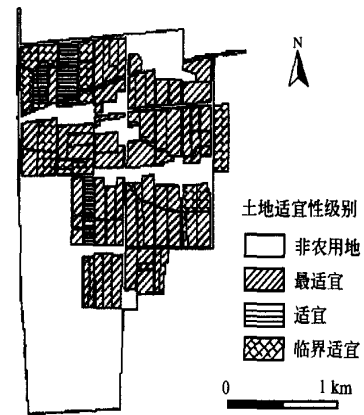


图 1 最大生产潜力下的水稻适宜性评价  
Fig. 1 Suitability assessment for paddy rice under the largest productive potentiality scenario

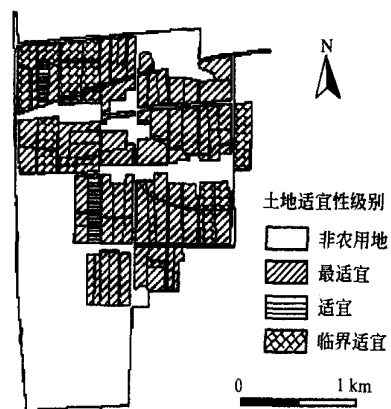


图 2 最大经济效益方案下的水稻适宜性评价  
Fig. 2 Suitability assessment for paddy rice under the highest economic benefit scenario

在各作物的适宜性评价分级中, 根据实际情况, 将土地的适宜性级别采用 4 级划分的方法, 将其分为最适

宜、适宜、比较适宜和临界适宜, 对应于以上评价指标分级标准中的 1- 4 级。

表 3 不同评价方案下各种作物的适宜等级面积及百分比

Table 3 Suitable areas and ratios of different crops at different levels under two scenarios

hm<sup>2</sup>

评价方案	作物	最适宜		适宜		临界适宜		不适宜	
		面积	比例/%	面积	比例/%	面积	比例/%	面积	比例/%
最大生产 潜力方案	水稻	396.18	73.92	43.93	8.20	95.84	17.88	—	—
	小麦	355.07	66.25	35.04	6.54	145.84	27.21	—	—
	棉花	341.94	63.8	95.49	17.82	98.52	18.38	—	—
	油菜	297.03	55.43	176.93	33.01	45.58	8.5	16.41	3.06
最高经济 效益方案	水稻	387.46	72.29	19.62	3.66	128.86	24.04	—	—
	小麦	263.56	49.18	68.63	12.8	203.77	38.02	—	—
	棉花	341.94	63.8	95.49	17.82	98.52	18.38	—	—
	油菜	285.88	53.34	204.49	38.15	45.58	8.51	—	—

分析表 3 及土地适宜性等级图可以得出: 该样区对作物的适宜性面积在最大生产潜力方案下普遍高于最大经济效益方案, 即虽然具有较大的生产潜力, 但要达到最大的生产量, 需要较多的投入, 不能取得最高的经济效益, 建议加强该区域土地质量的管理, 科学的施肥和灌溉, 改善土壤结构, 提高土地质量; 另外, 可知最大生产潜力方案下, 廖家垵、新建队、高家台、以及姜家嘴的北部、王家垵的中北部多宜性较好, 适宜种植水稻、小麦、棉花、油菜 4 种作物, 王家垵南部适宜种植水稻、棉花和油菜, 姜家嘴南部适宜种植水稻、棉花, 流塘口适宜种植棉花和油菜; 最大经济效益方案下, 廖家垵和姜家嘴的北部适宜种植以上 4 种作物, 高家台、新建队、王家垵适宜种植水稻、棉花和油菜, 流塘口对棉花和油菜的适宜性较好, 姜家嘴的南部可种植小麦。

#### 4 结 语

本研究提出了基于 GIS 的多方案下的土地多宜性评价, 不仅满足了不同目标用户的需求, 还提供了多种利用方式的资源信息, 提高了土地评价和土地规划的价值; 选用地块为评价单元, 使得评价过程与生产实际结合紧密; 选用了评价指标分级标准与指标测定值同步标准化的方法, 使得评价标准与测定值间更具可比性。但由于不同方案不同作物采用的评价标准体系不同, 因此不能将不同方案下的各种作物的土地适宜性评价结果做简单的横向比较。故而在土地适宜性的评价过程中, 只能客观的评价出土地的多宜性, 而不能直接决定土地的最优利用类型。如何综合各评价指标体系, 并根据不同的评价方案, 智能化的选择最适宜的作物, 将是

今后土地适宜性评价研究的目标和方向。

#### [参 考 文 献]

- [1] 邱炳文, 周 勇, 李学垣. 地理信息系统支持下的区域土壤资源适宜性动态评价[J]. 土壤学报, 2002, 39(3): 301-307.
- [2] 周 勇, 汪善勤, 张海涛, 等. 土壤资源与生态环境数据库的建立及其应用[J]. 土壤学报, 2002, 39(5): 653-663.
- [3] 金瑞林. 环境与资源保护法学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1999, (9): 58-59.
- [4] Tang Huajun, Debaveye J, Ruan De, et al. Land suitability classification based on fuzzy set theory[J]. Pedologic, 1991, XL 1(3): 277-290.
- [5] Wang Shanqin, Zhou Yong, Dong Yuanhua, et al. Design and applications of land resources and ecological environment information system——A case study of Zigui County in the Three Gorges Area of China [J]. Pedosphere, 2002, 12(4).
- [6] 唐晓平, 等. Fuzzy 综合评判法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] 李庆逵. 中国水稻土[M]. 北京: 科学出版社, 1992, 6, 129.
- [8] 沈善敏. 中国土壤肥力[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998, 12, 162.
- [9] 金善宝. 中国小麦学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1990, 528-529.
- [10] 马克浓. 棉花的产量形成及其诊断[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1982, 6, 21-22.
- [11] 英 M. R. J. 霍尔马斯著. 沈惠聪译. 油菜的营养与施肥[M]. 北京: 农业出版社, 1984, 5, 17.

## Land suitability evaluation under different scenarios based on GIS and fuzzy mathematic methods

Yu Jing<sup>1</sup>, Zhou Yong<sup>1</sup>, Zhou Qingbo<sup>2</sup>, Ren Yi<sup>1</sup>

(1. College of Resources and Environment, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;

2. Institute of Resources and District Planning, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100081, China)

**Abstract:** Under the guidance of the theory of sustainable development for Chinese agriculture, taking Houhu Fam in Jiangnan plain as the example, the means of the land multi-suitability evaluation was explored using Geographical Information System (GIS) and fuzzy synthetic evaluation methods under different scenarios, i.e., the largest productive potentiality scenario and the highest economic benefit scenario. First the assessment index system and assessment index classification standard were established according to different scenarios and crops. Then the assessment index values and index classification standard were digitized and standardized by standardization function. Finally the suitability classes of different assessment units were obtained with subject maps and datasets using GIS and fuzzy synthetic evaluation methods. The research proves that the multi-suitability of land use is good in most parts of the study areas Houhu Fam under the largest productive potentiality and highest economic benefit scenarios, which reveals the practical conditions and is feasible.

**Key words:** land use; land multi-suitability evaluation; fuzzy synthetic evaluation; GIS