

GIS 技术在土地质量评价中的应用*

——以苏州市水田为例

石常蕴 周慧珍

(中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

摘 要 在 GIS 技术系统的支持下, 以土壤肥力因子为基础, 运用相关分析、层次分析和模糊评价等数学方法和数学模型, 对苏州地区的水田质量进行了定量化和科学性的评价。评价中充分利用了 GIS 软件处理空间数据和属性数据的强大功能, 评价结果基本符合当地的实际情况, 表明了利用该技术进行土地质量评价的可行性和科学性。

关键词 GIS, 土地评价, 层次分析, 模糊评价

中图分类号 S158

GIS 技术在资源调查、城乡规划、自然灾害动态监测与防治等领域有着非常广泛的用途。近年来 GIS 技术也逐渐应用到土地质量评价中, 由 GIS 软件对土地质量评价有关的图形和属性数据进行编辑、管理, 并在统计分析软件平台下利用数学模型和方法对属性数据进行分析。作为两个相互独立的技术系统, 交换数据要通过格式转换, 这样不仅费时, 而且在格式转换中, 容易产生属性数据和评价图中评价单元的不一致性和数据丢失现象。为了将 GIS 技术和数学方法、模型进行无缝集成, 在本次土地质量评价中, 利用 GIS 软件的二次开发语言, 通过编程, 在 GIS 软件平台下完成了土地质量评价的全部工作, 这样不仅大大加快了评价的进度, 也保证了评价结果的准确性和精确度。

1 研究区域概况^[1-3]

苏州位于长江三角洲中部, $30^{\circ}47' \sim 32^{\circ}02' N$, $119^{\circ}55' \sim 121^{\circ}20' E$, 南部和东部分别与浙江的湖州、嘉兴和上海接壤, 西傍太湖, 北依长江。全市地势低平, 平均海拔 4 m, 一般高程为海拔 3.5~5 m, 东南部地势低洼, 西南部多小山丘。全市最高点穹窿山主峰 351.7 m。苏州地处亚热带湿润季风海洋性气候, 四季分明, 气候温和, 雨量充沛, 年均温 $16^{\circ}C$ 左右, 年降水量约 1 000 mm。境内河网密布, 各级河道两万多条, 大小湖泊 300 多个, 具有典型的江南水乡特色。

得益于优越的自然条件、区位条件, 自改革开放以来, 苏州市农业和农村经济快速增长, 目前第一产业产值占 GDP 的比重已达 6.9%。但是人地之间的矛盾仍然十分突出,

* 中国科学院“九五”重点项目(KZ952-S1-22)资助

收稿日期: 2000-03-15; 收到修改稿日期: 2000-12-25

人均耕地面积不断下降, 农业的投入水平与粮食产量不能同步增长, 增产不增收的现象时有发生。因此为了缓解人口增长带来的压力, 苏州农业必须有一个健康的发展环境和良好的发展趋势。土地质量评价就是要实现对苏州地区基本农田的科学认识, 在增加耕地面积可能性不大的情况下, 找到提高现有耕地生产潜力的有效途径。

2 评价系统结构

本研究采用以 GIS 技术为基础的土地质量评价方法, 评价系统结构如图 1 所示。

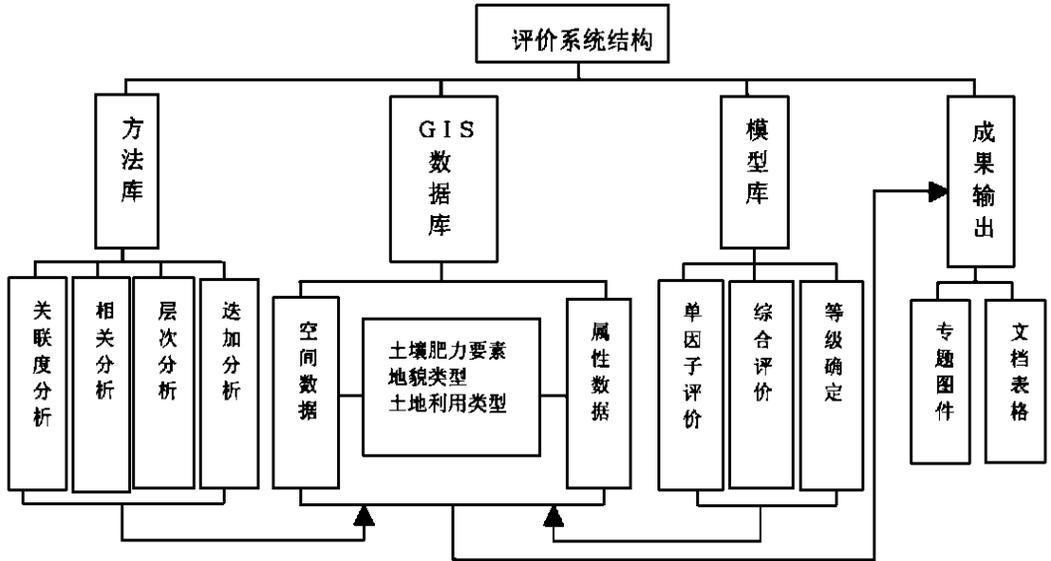


图 1 土地质量评价系统结构图

Fig. 1 The framework of the land quality evaluation system

3 评价方法及技术流程

3.1 评价因子的筛选模型^[4-6]

评价因子的筛选, 遵循以下几个原则: 主导因素原则、差异性原则、稳定性原则。也就是说在评价区内参评因子既要与土地的生产能力有较好的相关性, 也要有明显的空间差异性和时间稳定性。

利用关联度分析法, 确定评价因子之间的关联程度(r_i), 对发展趋势较为接近的因子, 选取其中一个参与评价, 关联度分析采用以下公式:

$$\zeta_i(k) = \frac{\min_i \min_k |x_0(k) - x_i(k)| - 0.5 \max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)|}{|x_0(k) - x_i(k)| + 0.5 \max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)|}$$

$$r_i = \left(\frac{1}{n} \right) \sum_{i=1}^{10} \zeta_i(k)$$

式中 $\zeta_i(k)$ 是第 k 个时刻比较曲线 x_i 与参考曲线 x_0 的相对差值, 称为 x_i 对 x_0 在 k 时刻的关联系数, r_i 为 x_i 对 x_0 的关联度。

然后利用 116 个试验点(其中部分为多个试验点平均值)16 个土种的产量数据。以产量(地力基础产量)作为因变量, 评价因子作为自变量, 进行相关性分析, 根据相关系数选出主导因子作为参评因子。采用的公式为:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_0) \cdot (y_i - y_0)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - x_0)^2 \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - y_0)^2}}$$

$$x_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad y_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$$

式中 x_i 为评价因子的观测值, y_i 为土地质量(用作物产量表示)。

选定与土壤肥力相关性较大的质地、容重、耕层厚度、pH 值、有机质含量、全氮、速效钾、速效磷, 并根据专家意见加进地貌类型和综合评定性能, 共 10 个因子作为土地质量评价最终采用的评价因子。

3.2 评价因子的权重确定方法

根据每个参评因子对土地质量的贡献程度, 赋予其不同的权数值。确定权重的方法很多, 本次评价采用层次分析法^[4~7]确定评价因子的权重, 主要包括以下几个步骤。

3.2.1 建立层次结构 将所有参评因子按不同的层次进行分类, 每一类作为一个层次, 并按照最高层、中间层、最低层的形式排列。标明上下层之间的关系, 从而形成一个多层次的结构(图 2)。

3.2.2 构造判断矩阵 根据专家经验, 确定评价因子对土地要素以及土地要素对土地质量的相对重要程度, 从而构造出四个判断矩阵。例如: 有机质、全氮、速效钾、速效磷对耕层有效养分的判断矩阵 B_2 表示为:

$$B_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 1/2 & 1 \\ 3 & 1 & 2 & 3 \\ 2 & 1/2 & 1 & 2 \\ 1 & 1/3 & 1/2 & 1 \end{bmatrix}$$

其中, c_{ij} (矩阵中第 i 行, 第 j 列的元素) 表示对 B_2 而言, C_i 对 C_j 相对重要性的数值表现。

3.2.3 层次单排序及其一致性验证 层次单排序可以归结为判断矩阵的特征值和特征向量的求解问题。在满足条件 $B_i \times W = \lambda_{\max} \times W$ 时, 求出 W 和 λ_{\max} , 其中 λ_{\max} 表示矩阵 B_i 的最大特征根, W 表示矩阵 B_i 对应于 λ_{\max} 的特征向量。通过最大特征根计算其一致性指标 CI 和一致比 CR , 公式为:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}, \quad CR = \frac{CI}{RI}$$

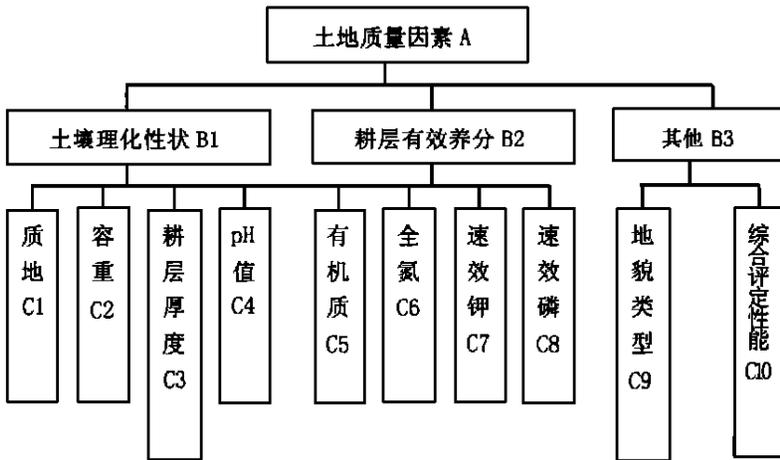


图 2 评价要素层次结构图

Fig. 2 The hierarchy of evaluation factors

式中 RI 为平均一致性指标。从表 1 中可以看到, 一致性检验的结果都小于 0.1, 具有很好的 consistency。

表 1 判断矩阵的特征值、特征向量及一致性检验结果

Table 1 The eigenvalues, eigenvectors and the results of consistency test

| 矩阵 Matrix | 最大特征值 Maximal eigenvalue | 特征向量 Eigenvector | CI Consistency index | CR Consistency ratio |
|--------------|-----------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 矩阵 A | 3.019 4 | 0.364, 0.460, 0.176 | 0.009 7 | 0.016 7 |
| 矩阵 B1 | 4.054 4 | 0.301, 0.218, 0.271, 0.210 | 0.018 1 | 0.020 1 |
| 矩阵 B2 | 4.234 5 | 0.211, 0.304, 0.248, 0.237 | 0.078 2 | 0.086 8 |
| 矩阵 B3 | 2 | 0.55, 0.45 | 0 | 0 |

3.2.4 层次总排序及其一致性检验 通过层次总排序, 计算最低层对最高层的权数值, 并通过一致性检验验证其合理性, 检验结果 $CR = 0.020 3 < 0.1$, 有较满意的一致性。对层次总排序的结果进行归一化处理, 并按从大到小的顺序排列。得到各参评因子的权重如表 2 所示。

表 2 评价因子权重表

Table 2 The weights of evaluation factors

| 评价因子 Evaluation factor | 权重 Weight | 评价因子 Evaluation factor | 权重 Weight |
|---------------------------|--------------|---------------------------|--------------|
| 质地 | 0.11 | 全氮 | 0.14 |
| 容重 | 0.079 | 速效钾 | 0.114 |
| 耕层厚度 | 0.099 | 速效磷 | 0.109 |
| pH 值 | 0.076 | 地貌类型 | 0.097 |
| 有机质含量 | 0.097 | 综合评定性能 | 0.079 |

3.3 确定评价单元

将苏州市的土壤图、土地利用图、农业地貌图利用 ARC/INFO 的 union 命令进行叠加,最后得到图层的图斑作为本次水田质量评价的最小评价单元,采用的图件及评价底图比例尺为 1:20 万。叠加以后在评价底图的属性数据表中包括了所有评价因子的相关数据。

3.4 模糊综合评价模型^[8~13]

模糊评价模型在土地质量评价过程中很好地解决了模糊界线和定性因子的存在,模糊综合评价的过程主要分为三步。

3.4.1 确定评价标准及评价因子隶属度 对于定性描述的评价因子(例如质地),以特定的值表示其优劣的程度,即以特征函数作为其隶属函数。定量因子与土地质量的关系比较复杂,本次评价中采用的因子多数与土地质量表现为戒上型曲线,像有机质含量、速效钾等;极少数因子属于另外两种曲线关系,例如容重表现为戒下形曲线,pH 值表现为峰值曲线。

利用隶属函数(表 3),求出每个评价单元的单因子评语。

表 3 评价标准和评价因子隶属函数表

Table 3 The evaluation standard and functions of the evaluation factors

| 评价因子 Evaluation factor | 评价标准 Standard of evaluation | | | | | |
|-----------------------------------|-----------------------------|---------------------------|-----------------------|-----------------------------|--------------------|-----------------------------|
| | 一级地 Grade one | 隶属函数 Function | 二级地 Grade two | 隶属函数 Function | 三级地 Grade three | 隶属函数 Function |
| 质地 | 中壤 | 1 | 重壤或轻壤 | 0.6 | 轻粘土 | 0.2 |
| 容重(g cm ⁻³) | 1.1~1.2 | $1 - 2x - 2.2 $ | 1.2~1.3 | $1 - 2x - 2.2 $ | > 1.3 or < 1.1 | $1 - 2x - 2.2 $ |
| 耕层厚度(cm) | > 15 | 1 | 15~11 | $0.1x - 0.5$ | < 11 | $0.1x - 0.5$ |
| 毛管孔隙度(%) | > 48 | 1 | 48~44 | $1/(1 + 0.025(x - 47.5)^2)$ | < 44 | $1/(1 + 0.025(x - 47.5)^2)$ |
| pH 值(H ₂ O) | 6.5~7.5 | $1/(1 + 1.0734(x - 7)^2)$ | 5.5~6.5 or 7.5~8.0 | $1/(1 + 1.0734(x - 7)^2)$ | < 5.5 or > 8.0 | $1/(1 + 1.0734(x - 7)^2)$ |
| 阳离子代换量(cmol(+) kg ⁻¹) | > 20 | 1 | 20~14 | $0.077x - 0.592$ | < 14 | $0.077x - 0.592$ |
| 有机质含量(g kg ⁻¹) | > 25 | 1 | 25~20 | $1/(1 + 0.0735(x - 25)^2)$ | < 20 | $1/(1 + 0.0735(x - 25)^2)$ |
| 全氮(g kg ⁻¹) | > 1.5 | 1 | 1.5~1.25 | $1.2x - 0.8$ | < 1.25 | $1.2x - 0.8$ |
| 速效钾(mg kg ⁻¹) | > 100 | 1 | 100~60 | $0.011x - 0.11$ | < 60 | $0.011x - 0.11$ |
| 速效磷(mg kg ⁻¹) | > 12 | 1 | 12~8 | $0.1x - 0.2$ | < 8 | $0.1x - 0.2$ |
| 地貌类型 | 1 | 1 | 2 | 0.6 | 3 | 0.2 |
| 综合评定性能 | 1 | 1 | 2 | 0.6 | 3 | 0.2 |

3.4.2 模糊综合评价 利用累加模型 $S = \sum_{i=1}^{10} w_i \times u_i$ 计算出对应于每个图斑的综合评语,式中 S 表示对应图斑的综合评语, w_i 表示第 i 个因子的权重, u_i 表示第 i 个评价因子的评语或分值。对应于每个评价单元的综合评语通过编程计算后直接写入图斑对应的属性数据表中。

3.4.3 确定土地等级 首先必须确定对应于高、中、低产田的三个参考向量,然后利用累加模型计算出参考向量的综合评语,以此评语作为划分土地等级的参考量值。参考向量的综合评语结果一等地为 0.918 409,二等地为 0.816 179,三等地为 0.713 649。

按照公式 $\pi_i(0) = 1 - | \mu - P_i |$ 确定每个评价地块的等级,式中 $\pi_i(0)$ 为相容度, μ 为评价单元的综合分值, P_i 为参考向量综合评语。求出每一评价单元对各参考向量分值的相容度,最大相容度所对应的参考向量代表的等级即为该评价单元的土地质量等级。最后的评价结果:一级地 72 849 hm^2 ,二级地 168 629 hm^2 ,三级地 55 283 hm^2 。

4 结果与讨论

1. 本次评价实现了数学方法和专家经验的结合。在评价因子的保留和删减,因子权重的确定,农田质量的综合评价过程中,广泛征求土壤学、土地利用规划等方面有经验的专家和长期在该区进行土壤科学研究的工作人员的意见,力求使所选的评价因子既能够反应苏州地区的土地质量,又避免一些贡献不大的因子参与评价,从而既节省了工作量,又增加了评价结果的准确性。

2. 整个评价过程都是在 GIS 技术支撑下完成的,其中地图的数字化、属性数据输入、成果图输出等工作利用 Mapinfo 实现,空间数据拓扑关系的建立、矢量数据的修改编辑、图层叠加等利用 Arc/Info 来完成。单因子评语、综合评语及相容度的计算,是利用 Mapbasic 语言,通过编程,对 Mapinfo 格式的属性数据表中的相应记录的每个字段直接进行计算处理,并将计算的结果直接写入表中,从而避免了以往将数据表转成其他格式,再利用其他软件处理的弊端,既节省了时间,也避免了数据格式转换中可能出现的数据丢失现象。GIS 软件平台下的方法和技术系统的无缝集成使土地评价的定量化、科学性和速效性得到了很好的体现,评价结果的科学性、客观性、严密性、预测性和实践性大大增强。

3. 从各等级土地面积统计数据,并根据专家的经验得出,评价结果基本符合当地的实际情况。但由于在评价区,存在以下问题,以致于利用数学模型并不能反映部分地块的实际土地质量:(1)部分土壤类型评价数据不完整,造成部分因子的质量分值缺失,进而影响总质量指数值,土壤等级的划分也就不能代表该图斑的真正土地质量。部分缺失数据的土壤有:岗黄土、粉沙白土、白蚰土、水耕灰潮土、粗骨土、黄砂土、棕黄土、黄刚土、棕色石灰土。(2)有些土壤氮、磷、钾养分失调,理化性状指标低。由于某一因子的值特高,在利用隶属函数计算时也将得到一很大的质量分值,这对质量总指数值有很大的影响,评价结果也是不准确的。典型的像草渣土,根据评价综合分值其被归为一级地,而实际上该类土壤质量状况较差。所以在利用数学模型评价后,还应针对当地的实际情况对部分地块进行人为调整。

4. 本次评价也存在一些问题。由于土地质量的概念要比土壤质量和土壤肥力的概念广的多,土地质量评价不仅仅涉及到土地的自然属性(例如土壤质量),还涉及到了土地的社会经济属性。因此土地质量评级不仅仅要考虑土壤的物理化学性状、水文、地貌、地形、植被、光照,还要考虑具体地块的区位条件、环境条件、污染程度等一系列的社会经济因素。本次评价由于部分因子缺乏数据或没有面数据而只有点数据,在评价工作中不能

被直接采用,所以除了耕层有效养分和土壤理化性状中的影响因子外,加进了两个因子:一个是地貌类型,一个是综合地下水位、农田基本建设、作物产量等给出的综合性能评语。

5. 从最后的评价结果来看,高产田仅占水田总面积的 24.5%,而中低产田占的比重大达 75.5%。根据苏州市 1995 年统计数字,当年人口 572.91 万人,粮食产量 265.67 万吨,平均每人 463.7kg,低于国际公认的每人每年 500kg 的标准^[14]。根据 Verhulst 人口预测模型¹⁾,利用 1986~1995 年苏州市人口统计数字,预测苏州市人口高峰年将出现在 2050 年左右,高峰年人口为 581.9 万人,最低粮食需求量为 290.95 万吨。假如亩产 600 kg 以下的中产田改良后变成亩产 620 kg 的高产田,亩产 500 kg 以下的低产田改良后变成亩产 530 kg 的中产田,其至少增加粮食产量 58 099.2 吨,在人口高峰年,平均每人每年粮食供应量可达 542.9 kg。可见苏州市粮食增产的潜力是十分巨大的。这对解决 21 世纪苏州市人口增长和有限土地资源之间的矛盾来说是一个十分有利的途径^[15]。

总之,本次工作是利用 GIS 和模型集成技术对水田质量进行评价的一个比较成功的尝试。不仅对该地区现阶段的中低产田的改造、吨粮田的建设提供科学的依据,也为以后综合社会经济因素、区位因素、环境因素等进行一个更为全面的土地质量评价做了一个良好的前期工作。

参 考 文 献

1. 苏州市土壤普查办公室,江苏省土壤普查办公室. 江苏省苏州市土壤志. 1985
2. 江苏省土壤普查办公室编著. 江苏土壤. 北京:中国农业出版社,1995
3. 苏州市统计局. 苏州市统计年鉴(1995). 北京:中国统计出版社,1996
4. 刘卫东. 土地资源学. 上海:百家出版社,1994. 201~208
5. 徐棋,杨林章,董元华. 中国稻田生态系统. 北京:中国农业出版社,1998
6. 傅伯杰. 土地评价的理论与实践. 北京:中国科学技术出版社,1991. 166~171
7. 高亮之. 农业系统学基础. 南京:江苏科学技术出版社,1993. 248~251
8. 倪绍祥. 土地类型与土地评价. 北京:高等教育出版社,1992. 177~189
9. 唐晓平. 四川紫色土肥力 FUZZY 综合评价. 土壤通报,1997,28(3):107~109
10. S. de Buin, Stein A. Soil Landscape modelling using fuzzy e-means clustering of attribute data derived from a Digital Elevation Model (DEM). Geoderma, 1998, 83:18~32
11. Emmanuel Habaruream, Kurt G. Steiner. Soil suitability classification by farmer in southern Rwanda. Geoderma, 1997, 75:75~86
12. Zhou H Z. Soil information system. Progress in Soil Science (in Chinese), 1993, 22(7):9~14
13. 李勇,苏文贵,肖笃宁. GIS 在典型区土地利用适应性评价中的应用. 土壤,1996,1:14~29
14. 江苏省科学技术协会等单位. 江苏省农业综合开发利用研究. 上海:上海科学技术出版社,1993
15. 石玉林. 中国土地资源的人口承载能力研究. 北京:中国科学技术出版社,1992

1) 曹子荣. 长江三角洲典型区基本农田保护与动态监测研究. 中科院南京土壤研究所硕士学位论文. 1996

EVALUATION OF LAND QUALITY BASED ON GIS ——A CASE STUDY ON PADDY FIELD IN SUZHOU

Shi Chang-yun Zhou Hu-zhen

(Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008)

Summary

The evaluation of land quality plays an important role in land use planning. In this paper, a quantitative and scientific evaluation of land quality based on GIS was made. Mathematical models, such as correlation analysis, hierarchical analysis, fuzzy evaluation, were applied in this study. The evaluation results accorded with the actual state of Suzhou, which indicated that this technique was feasible and scientific in land evaluation.

Key words GIS, Land evaluation, Hierarchical analysis, Fuzzy evaluation