

# GIS 支持下的耕地地力等级评价

王瑞燕<sup>1</sup>, 赵庚星<sup>1</sup>, 李 涛<sup>2</sup>, 岳玉德<sup>3</sup>

(1 山东农业大学资源与环境学院, 泰安 271018; 2 山东省土肥站, 济南 251000; 3 青州市农业局, 青州 262500)

**摘 要:** 以农业部有关耕地地力等级评价在山东省的试点县青州市为例, 在借助遥感、野外采样和室内化验分析等手段获取大量耕地地力相关信息的基础上, 在 GIS 的支持下, 利用系统聚类方法、层次分析法、模糊评价等数学方法和数学模型成功地实现了耕地地力自动化、量化评价。评价获取了青州市各耕地地力等级面积及其分布信息, 经实地调查分析符合当地实际, 表明运用该技术方法对耕地地力等级评价的可行性和科学性。对耕地资源的科学管理和可持续利用有积极意义。

**关键词:** 耕地地力; GIS; 评价模型; 量化评价

中图分类号: S1; F301.5

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2004)01-0302-04

## 0 引言

第二次土壤普查已过去 20 多年, 这期间我国农村经营体制、耕作制度、作物品种、种植结构、产量水平、肥料和农药使用等多个方面均发生了很大的改变, 有必要对耕地地力进行新的和全面的调查和评价, 但国内外的耕地评价研究大多围绕耕地适宜性开展<sup>[1-4]</sup>, 耕地的地力评价却相对较少, 不利于土壤评价科学的完善和发展。第二次土壤普查工作取得了显著的成果, 但其工作基本由人工完成, 不仅花费了大量的人力、物力和时间, 精度也受到一定程度的影响, 并且对采样点的数据也没有得到充分的利用, 因此当时对土壤的评价基本为定性的; 另外计算机技术在土壤科学领域的应用和发展客观上要求对土壤构成要素的数字表达, 因此耕地地力的自动化和量化成为评价科学的发展趋势之一。鉴于此, 本文拟以农业部在山东省的试点县青州市为实验区, 在全面野外调查和室内化验分析以获取大量耕地地力相关信息的基础上, 以遥感(RS)、地理信息系统(GIS)和统计软件 SPSS 等技术方法及有关数学模型为依托, 充分利用采样点数据, 探索自动、快速、准确、定量地进行耕地地力评价的途径, 并对现在评价学中存在的一些问题进行探讨。

## 1 耕地地力概念的界定

耕地是土地的精华, 是人类物质产品的来源地, 但人口增长占地、环境恶化、人类利用不当等导致了耕地面积快速收缩, 质量退化, 耕地的总生产力徘徊不前, 人地关系日趋紧张, 粮食安全和耕地的可持续利用已成为当今世界急需解决的问题之一, 耕地地力的概念也就是近几年来随着人们对耕地重要性认识的不断提高而逐渐形成的概念, 它是指由土壤本身特性、自然背景条件和耕作管理水平等要素综合构成的耕地生产能力, 从耕

地地力的概念可以看出, 与土地适宜性评价不同, 它不针对某种利用类型, 它是一种一般目的的评价, 是根据所在地特定气候区域以及地形地貌、成土母质、土壤理化性状、农田基础设施等耕地系统的各组成要素之间的相互作用而表现出来的综合特征, 来评价耕地生物生产力的高低。耕地地力评价的任务就是通过对耕地资源的科学评价, 了解耕地资源的利用现状, 存在的问题, 从而合理利用现有的耕地资源; 治理或修复退化、沙化以及受污染的土壤; 为农业结构调整、无公害农产品生产等农业决策提供科学依据, 保障我国农业持续发展。

## 2 耕地地力评价技术方法

### 2.1 评价因素的量化处理

耕地地力评价获取的基础资料包括影响耕地地力的立地条件、物理性状等定性资料和土壤采样点的化验数据等定量资料。为下一步进行量化和自动化评价, 需对定性资料进行量化处理, 对点状分散数据进行面状化连续性处理。

对土壤质地、土体构型等描述性指标一般是根据因素的级别状况, 考虑不同类型的土壤肥力特征, 以及与植物生长发育的关系, 赋予其相应的分值或数值。但在许多的研究中对地形要素的处理上由于坡度获取难度大, 或以地貌类型代之, 或人工判读坡度, 这样使得地形对地力影响的大小难以细化和准确化, 从而模糊了评价等级的界线。为解决这一问题我们在研究中利用 GIS 的 DTM 分析功能在生成评价区域地形的 DEM 基础上再生成坡度图, 这样就可以使地形因素对耕地地力的影响具体到连续的坡度上。

从采样点得到的土壤有机质、氮、磷、钾、锌、钼等养分数据, 都是些分散的点状数据, 在评价中需要得到整个评价区耕地上的每个点的值, 所以在评价中需以采样点为基准, 进行养分的面状化处理。面状化处理的方法很多, 有克里格插值法、临近数据内插法等等。但本研究区设施蔬菜地由于设施的屏蔽作用, 土壤养分空间分布主要由棚内小环境决定, 因此不能对研究区耕地进行统一插值处理, 在我们的实际操作中是运用 GIS 的空间分析功能检索出设施蔬菜地上的样点以及粮田和露天菜地上的样点, 分别进行自动插值处理生成栅格图像,

收稿日期: 2003-04-03 修订日期: 2003-11-10

基金项目: 农业部耕地地力调查与评价试点项目

作者简介: 王瑞燕(1979-), 女, 硕士生, 从事土地资源管理、地理信息系统、农业遥感等方面的研究。泰安 山东农业大学资源与环境学院, 271018。Email: wry79@163.com

通讯作者: 赵庚星, 地址同上。Email: zhaogx@sdau.edu.cn

再对应叠加设施蔬菜、粮田和露天菜地的边界, 然后进行空间叠加从而生成整个耕地区域的养分分布图。

### 2.2 参评因素的选取

在 GIS 空间分析功能的支持下用土壤图与土地利用现状图叠加自动生成评价单元后, 就要选取参评因素。

先要进行变量筛选, 找到彼此独立且有代表性的自变量, 而又不丢失大部分信息, 耕地地力评价中也需要根据参评因素选取的原则从诸多影响耕地地力的因素中选出有代表性的变量。筛选参评因素的方法分为定性和定量两类方法, 定性方法用的最多的是 DELPHI 法, 定量方法很多, 包括回归分析法、相关分析法、因子分析法等。定性和定量方法各具优点但亦有不足, 定性方法会因太多的人为因素干扰而使评价结果失去客观性, 定量方法虽逻辑性强, 但在土地的生产力产生过程没有达到能进行仿真模拟的水平, 把专家的经验 and 理性判定排斥在外是十分危险的<sup>[5]</sup>, 因此怎样在评价因素选取中达到专家知识与数学方法的完美结合就成为评价中需要解决的问题之一。

在我们收集的基础资料中, 土地利用、耕层质地、土体构型、地貌类型和障碍层状况等属于定性指标, 从这些指标中选取参评因素通过 DELPHI 法确定; 室内化验分析的耕地土壤的化学性状数据属于定量化指标, 包括有机质、全氮、速效氮、全磷、速效磷、速效钾等大量养分含量, 钙、镁、硫等中量元素含量, 有效锌、硼、钼等微量养分含量, 以及 PH 值、氯离子、土壤污染元素含量等。这些指标变量彼此之间存在着一定的相关性, 因而使得所观测的数据在一定程度上有信息的重叠, 需选出有代表性的指标。从定量指标中选取参评因素中我们运用了系统聚类方法, 系统聚类方法在选取参评因素方面优于其它数学方法的特点是它只把相关性大的变量聚为一组, 并不确定终端代表性变量, 这就可以与 DELPHI 方法结合起来。在实际操作中, 利用 SPSS 统计软件对土壤养分等化学性状指标进行系统聚类<sup>[6]</sup>, 然后由专家组从聚类结果的每一组中分别选出有代表性的参评因素。这种方法将数学的精确性和专家的经验结

合起来, 使评价指标的选取更加客观和合理。

### 2.3 权重的确定

各参评因子对耕地地力的影响程度是有差异的, 因此必须确定它们的权重。确定权重的方法很多, 比较成熟的方法有: DELPHI 法、层次分析法、回归分析法、灰色关联度法、主成份分析法等等。根据耕地地力评价指标体系我们采用层次分析法(AHP)确定其权重。层次分析法是在定性方法基础上发展起来的定量确定参评因素权重的一种系统分析方法, 这种方法可将人们的经验思维数量化, 用以检验决策者判断的一致性, 有利于实现定量化评价。AHP 法确定参评因素的步骤如下: 1) 建立层次结构: 耕地地力为目标层(G层), 影响耕地地力的立地条件、物理性状、化学性状为准则层(C层), 再把影响准则层中各元素的项目作为指标层(A层), 其结构关系如图 1; 2) 构造判别矩阵: 根据专家经验, 按 1~9 标度法<sup>[7]</sup>分别确定 C 层和 A 层中指标之间的相对重要程度, 构成 4 个判别矩阵,  $G, C_1, C_2, C_3$ ; 3) 层次单排序及一致性检验: 即求取判别矩阵的特征根和特征向量(同一层次相应指标对上一层次指标的相对重要性权值), 并进行一致性检验。利用 SPSS 等统计软件, 得到的各权数值及一致性检验的结果如表 1, 可以看出, 各判别矩阵的 CR 都小于 0.1, 具有很好的一致性, 通过一致性检验; 4) 层次总排序及一致性检验: 经层次总排序, 并进行一致性检验, 计算结果为  $CI = 0.0000093$ ,  $CR = 0.00000146$ , 具有满意的一致性, 最后计算 A 层对 G 层的组合权数值, 得到各因子的权重如表 2。

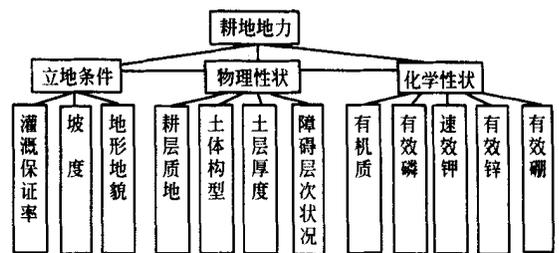


图 1 青州市耕地地力评价中参评因素的层次结构  
Fig 1 Evaluation factors hierarchy structure of the cultivated land fertility in Qingzhou City

表 1 各判别矩阵权重值及 CI、CR 值\*

Table 1 Weight, CI and CR of each judgment matrix

| 矩阵                | 特征向量   |        |        |        | CI       | CR               |
|-------------------|--------|--------|--------|--------|----------|------------------|
| 矩阵 G              | 0.4496 | 0.3002 | 0.2501 |        | 0.000015 | $2.586e-5 < 0.1$ |
| 矩阵 C <sub>1</sub> | 0.5    | 0.2785 | 0.2215 |        | 0.0003   | $0.0333 < 0.1$   |
| 矩阵 C <sub>2</sub> | 0.2632 | 0.2105 | 0.3684 | 0.1579 | 0        | $0.0001 < 0.1$   |
| 矩阵 C <sub>3</sub> | 0.3333 | 0.2778 | 0.2222 | 0.1111 | 0.0556   | $0.0005 < 0.1$   |

表 2 青州市耕地地力评价中参评因素的权重

Table 2 Weight of the cultivated land fertility evaluation factors in Qingzhou City

| 因素 | 灌溉保证率 | 坡度    | 地形地貌  | 质地    | 土体构型  | 土层厚度  | 障碍层   | 有机质   | 有效磷   | 速效钾   | 有效锌   | 有效硼   |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 权重 | 0.225 | 0.125 | 0.100 | 0.079 | 0.063 | 0.111 | 0.047 | 0.083 | 0.069 | 0.056 | 0.028 | 0.014 |

## 2.4 耕地地力评价模型的建立及耕地地力等级的确定

土地是一个灰色系统,系统内部各要素之间与耕地的生产能力之间关系十分复杂,且评价中也存在着许多不严格、模糊性的概念,因此可以采用模糊评价方法进行耕地地力等级的确定。在这次评价中我们通过观察数据的模拟分析,建立了评价模型以实现评价的量化。评价模型是各参评因子与耕地地力之间关系的定量表示,是各评价因子综合作用的结果。它包括单因子评价及综合评价两个模型。

单因子间的数据量纲不同,只有让每一个因素都处于同一量度后才能用来衡量该因子对耕地地力的影响程度。各因子对耕地地力的影响程度是一个模糊的概念,在模糊评价中以隶属度来划分客观事物中的模糊界线,隶属度可用隶属函数来表达<sup>[8]</sup>。本次评价中建立参评因素隶属函数的具体技术方法如下:根据一组分布均匀的实测值评估出对应的一组隶属度,在计算机中绘制这两组数值的散点图,再根据散点图进行曲线模拟,寻求参评因素实际值与隶属度关系方程从而建立起隶属函数。通过模拟共得到直线型、二次抛物线型、戒上型、戒下型 4 种类型的隶属函数,然后根据隶属函数计算各参评因素的单因素评价评语。以有机质为例,根据建模原始数据  $x \sim y$  的散点分布图,结合专业知识,确定有机质的隶属函数类型为戒上型,得到拟和模型如式(1)。

$$y = \begin{cases} 0 & x \leq 0.43 \\ 1/(1 + A \cdot (x - C)^2) & 0.43 < x < C \\ 1 & C \leq x \end{cases} \quad (1)$$

式中  $y$ ——有机质隶属度值;  $x$ ——有机质实测值;  
 $A = 0.542986462$ ,  $C = 1.821973978$

对拟和效果进行检验发现,观察值数据点和拟和曲线高度吻合,拟和优度 ( $R^2 = 0.992$ ) 较大,统计检验达极显著水平 ( $P < 0.001$ )。证明该数学模型拟合有机质隶属度效果比较理想。

将参评因子的隶属度值进行加权组合得到每个评价单元的综合评价分值,以其大小表示耕地地力的优劣,耕地地力综合评价数学模型为

$$IFI = \sum F_i \cdot C_i \quad (2)$$

式中  $IFI$ ——代表耕地地力综合指数;  $F$ ——第  $i$  个因素评语;  $C_i$ ——第  $i$  个因素的组合权重。

在总评定级中,确定等级界限的方法有机械定级法、田间实验法、数轴法、剖面图法或根据当地农民的经验划分。在本次评价中我们采用绘制综合指数分布图来确定最佳的耕地地力等级数目以及划分等级界限,其原理是根据评价单元的综合指数的集聚状况来对评价单元进行归类分组,依据集聚中心确定等级界限。在 SPSS 统计分析软件中调入评价单元数据库,评价单元次序号为  $x$  轴,综合指数为  $y$  轴,绘制综合指数分布图(图 2),根据曲线斜率的突变点来确定等级的数目和划分综合指数的临界点,划分青州市耕地地力等级。

这种方法利用了评价单元的分布规律性,将等级级数确定与等级界限同步确定,简单明了,形象直观,避免了等距法确定等级的机械性。

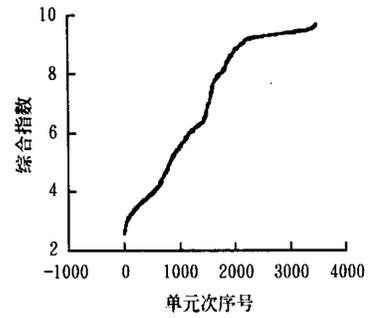


图 2 青州市耕地地力综合指数分布图

Fig 3 Distribution plot of integrated fertility index of the cultivated land in Qingzhou City

## 3 评价结果分析

农业部山东试点设在位于山东半岛中部的青州市,该市介于  $36^{\circ}20' \sim 37^{\circ}00' N$ ,  $118^{\circ}15' \sim 118^{\circ}45' E$  之间,土地面积  $1569 \text{ km}^2$ ,其中耕地总面积为  $76885.0 \text{ hm}^2$ ,占土地总面积的  $49.28\%$ 。青州市地处暖温带半干旱半湿润季风气候区,四季分明,年均温  $8^{\circ}$  左右,年降雨量约  $1000 \text{ mm}$ ,水、土、热等自然资源条件优越,是山东省重要的设施蔬菜生产基地之一。

利用 2002 年 4 月 14 日的 LANDSAT E-TM 影像解译更新土地利用现状图,土壤图、土体构型图等均扫描输入,采样点化验数据在数据库处理软件 FOX-PRO 支持下建立样点养分数据库。在地理信息系统软件 ARCGIS 的空间分析模块中对样点养分数据插值生成各养分分布图,建立评价区 DEM 并生成坡度图,其他图件矢量化后建成专题图空间数据库,用评价单元图与各参评因素图相叠加获取评价因子的值,然后计算每个评价单元的 IFI 值,根据综合指数分布图将青州市耕地地力划分为 I 等 ( $> 0.92$ )、II 等 ( $0.92 \sim 0.86$ )、III 等 ( $0.86 \sim 0.75$ )、IV 等 ( $0.75 \sim 0.63$ )、V 等 ( $0.63 \sim 0.48$ )、VI 等 ( $< 0.48$ ) 共 6 个等级,得到青州市耕地地力等级分布图(图 3)。

结合图 3 并应用 GIS 的空间分析功能对评价结果进行分析发现:一等耕地  $319913.22 \text{ hm}^2$ ,占耕地总面积的  $25.9\%$ ;二等耕地  $17399.08 \text{ hm}^2$ ,占耕地总面积的  $22.63\%$ ;三等耕地  $13193.47 \text{ hm}^2$ ,占耕地总面积的  $17.16\%$ ;四等耕地  $9149.315 \text{ hm}^2$ ,占耕地总面积的  $11.9\%$ ;五等耕地面积为  $11917.18 \text{ hm}^2$ ,占耕地总面积  $15.5\%$ ;六等耕地为  $5320.442 \text{ hm}^2$ ,占耕地总面积的  $6.92\%$ 。各等级的地域分布呈现如下特点:以东西横贯青州市中央的铁路为界,一二等耕地集中分布在铁路以北的平原区,主要的土壤类型为中壤表均壤质洪积冲积褐土、中壤表均壤质洪积冲积潮褐土和潮棕壤。其中,一等耕地分布区地形平缓,土层深厚,壤质质地,无障碍层次,灌排条件良好,土壤肥沃,为高产和稳产农田和设施蔬菜生产基地,投入水平高,地力潜力发挥较高。在利用中应切实加强对该等土地的保护,严格控制建设用地占用,做到用地养地,持续利用;二等耕地相比一等耕地土

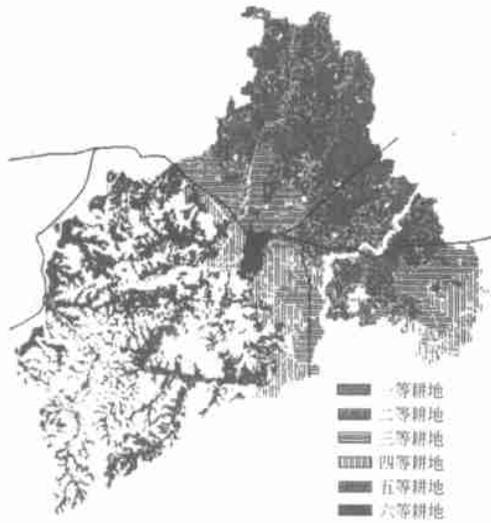


图3 青州市耕地地力等级分布图

Fig 3 Distribution map of cultivated land fertility grades in Qingzhou City

壤质地偏砂、粘或含砂姜层,剖面构型欠佳等,个别灌排条件欠完善,基本为优质农田。该等耕地利用时应注意增施有机肥料,培肥地力,采取深耕等措施,改良土壤质地及构型。地力一般的三、四等耕地分布于青州市中部地区,土壤类型为褐土化潮土、砂姜黑土、河潮土。其中,三等耕地虽然土层深厚,但质地偏粘或偏砂,耕性差,物理形状不好。应注意土壤改良,对偏粘的耕地可通过掺砂等措施来改良,偏砂耕地要注意增施有机肥或施绿肥来达到质地改良和提高地力;四等耕地限制因素主要是坡度较大,土层欠深厚或有不良层次,部分灌排条件有一定限制,提高该等耕地的地力时应重点加强农田基本建设,平整土地,完善灌排设施。五、六等等级低的耕地主要分布于铁路以南的山区,土壤类型为褐土性土、棕壤性土、石渣土和砾质土,土层瘠薄,水源没有保证,坡度大,耕作比较困难,耕地类型为旱地和望天田,投入水平低,耕地潜力水平发挥不足。利用时要加强水利和水土保持设施的建设,并视具体情况退耕还园还林还草。

## 4 结 论

1) 地理信息系统强大的空间数据处理和分析功能,不仅可以成功地支持整个耕地地力评价过程,可视化土壤养分的空间分布,还可以获得评价区的深层次的信息。经本文的研究和实地调查表明,利用GIS可以快速有效地对耕地地力进行科学评价,比传统的评价方法可以节约大量的人力、财力和物力。

2) 数理统计科学与专家知识相结合选取参评因素的方法,不仅避免了单纯采用数学方法的机械性,也减少了单纯靠专家经验知识所带来的主观性。

3) 评价指标在量化处理时可以采取分级赋值法,但这样得到的数值是离散的,指标值的变化对评价对象的影响得不到充分体现,容易使评价结果出现误差。将数学模型与GIS相结合运用于耕地地力评价,成功地实现了全部参评因子量化中的连续性,为快速准确地进行耕地地力评价提供了一个有效途径。

### [参 考 文 献]

- [1] 李 勇, 苏文贵, 肖笃宁. 地理信息系统在典型区土地利用适宜性评价中的应用——以大洼县小三角洲为例[J]. 土壤, 1996, (1): 14~ 20
- [2] 尹 君, 许 噪, 林 培, 等. 地理信息系统在土地多宜性评价中的应用[J]. 河北农业大学学报, 1998, 21(1): 83~ 89
- [3] 张炳宁, 张月平, 张秀美, 等. 基本农田信息系统的建立及其应用 I [J]. 耕地地力等级体系研究. 土壤学报, 1999, 36(4): 510~ 521.
- [4] 邱炳文, 周 勇, 李学垣. 地理信息系统支持下的区域土地资源适宜性动态评价[J]. 土壤学报, 2002, 39(3): 301~ 307.
- [5] 王铁成, 周生路, 彭补拙, 等. 基于GIS的农用地质量综合评价方法研究——以无锡市马山区为例[J]. 干旱区地理, 2001, (6): 118~ 122.
- [6] 卢纹岱, 朱一力. SPSS for windows[M]. 北京: 电子工业出版社, 1997, 6: 129~ 132
- [7] 王蓬芬, 许树柏. 层次分析法引论[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 1990, 5~ 24
- [8] Lowen R. Mathematics and Fuzziness (Part II) [A]. Fuzzy Set and Systems[M]. 1998: 111.

## GIS supported quantitative evaluation of cultivated land fertility

Wang Ruiyan<sup>1</sup>, Zhao Gengxing<sup>1</sup>, Li Tao<sup>2</sup>, Yue Yude<sup>3</sup>

(1. College of Resources and Environment, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China; 2 Soil & Fertilizer Working Station of Shandong Province, Jinan 251000, China; 3 Qingzhou Agricultural Bureau, Qingzhou 262500, China)

**Abstract** Taking Qingzhou City as our study area, which is an experimental unit of Ministry of Agriculture, this paper intends to research for quantitative methods for cultivated land fertility evaluation. Based on the plentiful information that obtained by remote sensing technique, field-survey and lab analysis, the automatic and quantitative evaluation procedure was realized by adopting various mathematical models and methods such as system-cluster, Analytical Hierarchy Program, fuzzy math, etc and supported by GIS techniques. The area and spatial distribution information of cultivated land fertility were acquired, and the results were consistent with local conditions according to field survey and analysis. The approach was feasible and effective in cultivated land fertility assessment. This research contributes significantly to scientific management and sustainable use of cultivated land resources.

**Key words:** cultivated land fertility; GIS; evaluation model; quantitative evaluation