

# 农地利用系统状态评价方法及应用

——以曲周县为例

刘彦琴 郝晋珉\*

(中国农业大学 资源与环境学院, 北京 100094)

**摘要** 基于农地利用系统本身的多维性、复杂性以及农地利用系统评价的模糊性特征, 以曲周县为例, 构建了一套适合于该县域农地利用系统状态评价的指标体系, 在此基础上引入多层次模糊综合评判法对其农地利用系统状态进行了定量化评价。评价结果与县域实际情况基本相符。模糊综合评判法由于抛弃了“是”与“非”的二值逻辑, 允许多个中间状态存在, 使评判结果更为精确。为农地利用系统这类复杂系统的评价提供了科学的数学框架。

**关键词** 农地利用系统; 指标体系; 模糊综合评判

**中图分类号** F301.2

## Evaluation on the State of Farm land System in Quzhou County

Liu Yanqin Hao Jinmin

(College of Natural Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100094, China)

**Abstract** In view of the complexity and multidimension of farm land system itself and the characteristics of blur existing in farm land evaluation, the study proposed a set of index system for farm land state evaluation that would be adapted to Quzhou county, Hebei. Moreover, by the use of Fuzzy synthetical evaluation method, the paper quantificationally assessed the state of Quzhou's farm land system. The conclusions reflected the county's status quo. fuzzy synthetical evaluation abandons the two-valued logic, and it enables intermediate assessment between one state and another state, so applying the method to complex system evaluation is more accurate, and the method offers a scientific mathematical framework to assess the farm land system.

**Key words** farming system; index system; fuzzy synthetical evaluation

土地利用系统评价主要研究土地单元与土地利用方式之间、土地利用系统与外界输入输出的相互作用, 是预测现有的或供选的土地利用系统性能的科学<sup>[1]</sup>。农地利用系统是农业生产的重要资源, 也是农业发展必不可少的载体。通过农地利用系统状态的综合评价, 可以系统辨识农地利用的现状水平及所存在的问题, 为区域农地系统的可持续利用提供重要依据。目前在进行农地利用系统状态评价时大多采用复合参数法。该方法由于主观性太强而直接影响到结果的科学性。本研究选择模糊综合评判法, 通过建立模糊分布函数来确定各指标的隶属度, 结合权重集进行逐层评判, 为提高评价的科学性、客观性和可行性进行探索。

收稿日期: 2002-01-11

国家“十五”科技攻关课题(2001BA 508B 01)和教育部跨世纪人才基金资助项目

\* 郝晋珉, 教授, 博士生导师, 研究方向为土地利用、土壤改良和区域发展。联系作者。北京圆明园西路2号

## 1 农地利用系统评价单元的划分

土地利用系统具有层次性。特定的土地利用系统根据不同目的,可以续分子系统,而这些子系统落实到空间位置,便构成了服务于不同目标、不同尺度的土地评价单元<sup>[2]</sup>。农地利用系统的微观评价主要是为具体农业生产实践服务,所以子系统的续分可将气候、水文、地质、土壤等自然因素和各种物质、能量投入等社会经济条件基本一致性作为确定系统边界的依据。这种划分的原则、方法、步骤在许多方面与土地适宜性评价、土地生产潜力评价等项评价单元的划分有共同之处;而农地利用系统的中观、宏观评价主要是为各级政府的农业决策服务,所以从农地利用系统评价成果应用的可操作性、实用性方面考虑,应将一定范围的行政区作为其评价单元。由于中观经济一般研究的是省级以下的区域经济,所以,一般将乡(镇)、县(市、区)等土地区域作为农地利用中观评价的评价单元。本研究属于中观评价范畴,其评价目的是为曲周县、乡级政府服务。基于以上划分原则,将曲周县 10 个乡(镇)作为系统评价的基本单元。

## 2 农地利用系统状态评价指标体系及评价方法的建立

农地利用系统是含有多种因素的复杂系统,这就要求对系统行为或状态进行监测和评价时应遵循多准则原则。同时,农地利用系统的层次性特征决定了不同层次系统的评价指标应具有差异性。本文正是根据复杂系统的这些特征,从自然、社会、经济 3 个方面建立了较为全面的评价指标体系,并选择了多层次模糊综合评价方法,力求对农地利用系统状态进行科学的评价。

### 2.1 划分因子集

将整个评价因素集  $X$  划分为农地经济效益指标集( $X_1$ )、农地质量水平指标集( $X_2$ )、农地数量变化指标集( $X_3$ )、农地生态环境指标集( $X_4$ )、农地社会效益指标集( $X_5$ ) 5 个因子集,即  $X = \{X_1, X_2, X_3, X_4, X_5\}$ 。而每个子集又被划分为更细的因素集(表 1):

$X_1 = \{x_1, x_2\}$ ,  $X_2 = \{x_3, x_4, x_5, x_6, x_7\}$ ,  $X_3 = \{x_8, x_9, x_{10}\}$ ,  $X_4 = \{x_{11}, x_{12}, x_{13}\}$ ,  $X_5 = \{x_{14}, x_{15}, x_{16}\}$

### 2.2 确定权数集

应用多目标决策中的“成对比较排序法”,确定各因子的权重。首先,对  $n$  个因子中任意 2 个因子之间的重要性进行两两比较,给出比值,得到判断矩阵:

$$C_{ij} = \begin{pmatrix} C_{11} & \dots & C_{1n} \\ C_{21} & \dots & C_{2n} \\ \vdots & & \vdots \\ C_{n1} & \dots & C_{nn} \end{pmatrix}$$

式中  $C_{ij}$  表示第  $i$  个因子与第  $j$  个因子重要性的比值( $i, j = 1, 2, \dots, n$ ),取专家赋值的均值。然后对矩阵  $C$  每一行元素求其几何平均值,得一向量:  $\beta = (\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n)^T$ 。其中,  $\beta_i =$

$$\left( \prod_{j=1}^n C_{ij} \right)^{1/n}, \text{作归一化处理,即令 } a_i = \frac{\beta_i}{\sum_{k=1}^n \beta_k}, \text{得另一向量 } A = (a_1, a_2, \dots, a_n), \text{并满足 } \sum_{k=1}^n a_k = 1.$$

经检验判断矩阵具有满意的一致性时,向量  $A$  即可作为权数集。

### 2.3 建立隶属函数, 确定各评价指标的隶属度

求取各评价指标的隶属度是模糊综合评判法实现过程中的关键一环, 本项采用升(降)半梯形模糊分布函数来确定各指标的隶属度<sup>[5]</sup>。

评价指标可分为正向指标(指标值越大越好, 如人均纯收入、播面单产等)和负向指标(指标值越小越好, 如耕层含盐量、盐碱化系数等), 根据2种指标特征的差异性, 它们的隶属度计算公式有所不同。对于正向指标, 计算公式如下:

$$\mu_1 = \begin{cases} 0 & x \leq b_i \\ (x - b_i)/(a_i - b_i) & b_i < x < a_i \\ 1 & a_i \leq x \end{cases} \quad (i = 1, 2, \dots, m)$$

对于负向指标, 采用下式计算:

$$\mu_2 = \begin{cases} 1 & x \leq b_i \\ (a_i - x)/(a_i - b_i) & b_i < x < a_i \\ 0 & a_i \leq x \end{cases} \quad (i = 1, 2, \dots, m)$$

式中,  $x$  为各乡镇农地利用系统指标实际值,  $a_i, b_i$  为依据各乡镇指标值及其区域背景所确定的极值常数, 即指标类别界限。本项的指标类别界限计算采用相对界定法, 即根据区域性、时间性、指标数据本身的分布情况, 来确定相对界限值。 $a_i, b_i$  参照指标数据的平均值和标准差来确定, 对每一个指标, 求出各乡镇的平均值及标准差, 2项之和为  $a_i$ , 平均值减标准差为  $b_i$ 。

由此可确定单项评价指标的隶属度, 构成模糊关系矩阵  $R$ 。

### 2.4 一级综合评判

设指标集  $X_i$  上各评价指标的权重向量为  $A_i$ , 各指标的隶属度构成模糊关系矩阵为  $R_i$ , 即得  $X_i$  上的一级综合评判结果:

$$B_i = R_i \cdot A_i \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

依此,  $n$  个因子集上的一级综合评判结果构成矩阵:  $R = \begin{pmatrix} B_1 \\ B_2 \\ \vdots \\ B_n \end{pmatrix}$

### 2.5 二级综合评判

对第一步划分中得到的  $n$  个因子集  $X_i$ , 按它们的相对重要程度赋权重值, 得到向量  $A$ ,  $A = (A_1, A_2, \dots, A_n)$ , 最终的综合评判结果为:  $B = R \cdot A$

## 3 曲周县农地利用系统状态综合评价

曲周县位于河北省南端, 属华北暖温带半湿润大陆性季风气候区, 多年平均降雨量为 534.7 mm。由于气温、降水等气候条件的波动性以及曲周大面积浅层咸水的存在, 历史上的曲周县是一个土地盐渍化严重的地区。自 20 世纪 70 年代以来逐步探明了季风气候下盐渍土水盐运动规律, 以治水为先导、培肥为中心, 实行综合治理, 使盐渍土面积大大减少, 作物产量成倍增长, 生态环境日益改善。

### 3.1 指标体系的建立

根据曲周县区域发展特点, 提取了《曲周县土壤调查报告》《曲周县国民经济统计年鉴》等资料中反映农地利用系统状态的数据, 同时结合前人的研究成果, 从农地经济效益、质量水平、

数量变化、生态环境及社会效益 5 个方面设置了农地利用系统状态评价指标体系(表 1)。

表 1 曲周县农地利用系统状态评价指标体系

$X_1$ 经济效益指标	$X_4$ 生态环境指标
$x_1$ 播面单产 ( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )	$x_{10}$ 非农建设占地面积指数
$x_2$ 单位农地面积总产值 ( $\text{元} \cdot \text{hm}^{-2}$ )	$x_{11}$ 林地覆盖率 (%)
$X_2$ 质量水平指标	$x_{12}$ 耕层含盐量 (%)
$x_3$ 单位耕地面积化肥施用量 ( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )	$x_{13}$ 盐碱化系数 (%)
$x_4$ 水利化指数	$X_5$ 社会效益指标
$x_5$ 单位面积农机总动力 ( $\text{kW} \cdot \text{hm}^{-2}$ )	$x_{14}$ 人均粮食产量 ( $\text{kg}/\text{人}$ )
$x_6$ 机井密度 ( $\text{眼} \cdot \text{hm}^{-2}$ )	$x_{15}$ 人均纯收入 ( $\text{元}/\text{人}$ )
$x_7$ 土壤有机质含量 (%)	$x_{16}$ 农业产值人均占有量 ( $\text{元}/\text{人}$ )
$X_3$ 数量变化指标	
$x_8$ 人均耕地面积 ( $\text{hm}^2/\text{人}$ )	
$x_9$ 劳均负耕 ( $\text{hm}^2/\text{人}$ )	

### 3.2 农地利用系统综合评价

根据已建立的隶属函数计算曲周县农地利用系统各评价指标的隶属度(表 2), 并构成模糊关系矩阵  $R$ :

$$R = \begin{pmatrix} r_{11} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & \dots & r_{2m} \\ \vdots & & \vdots \\ r_{n1} & \dots & r_{nm} \end{pmatrix}$$

其中,  $n=10$ (曲周县 10 个乡镇, 其顺序为曲周镇、槐桥乡、白寨乡、安寨镇、大河道乡、侯村镇、依庄乡、河南疃镇、四疃乡、里岳乡),  $m=16$ (评价指标数),  $r_{ij}$  为各指标的模糊隶属度。

首先, 从  $R$  中提取农地经济效益指标集  $X_1$  上各指标的隶属度, 构成单因子评价矩阵:

$$R_1 = \begin{pmatrix} 1.0, 0, 0, 0.290, 0.167, 0.508, 0.741, 0.126, 1.0, 0, 0.713, 0.098 \\ 1.0, 0, 0.085, 0.215, 0.419, 0.119, 0.599, 0.251, 0.654, 0.616, 0.249 \end{pmatrix}$$

结合  $X_1$  上各指标的权重向量  $A_1$ , 进行一级综合评判, 求得 10 个乡镇农地经济效益综合评判结果:

$$B_1 = A_1 \cdot R_1 = (0.514, 0.486) \cdot \begin{pmatrix} 1.0, 0, 0, 0.29, 0.167, 0.508, 0.741, 0.126, 1.0, 0, 0.713, 0.098 \\ 1.0, 0, 0.085, 0.215, 0.419, 0.119, 0.599, 0.251, 0.654, 0.616, 0.249 \end{pmatrix} \\ = (1.0, 0, 0.041, 0.253, 0.289, 0.319, 0.672, 0.187, 0.832, 0.666, 0.171)$$

同样可以分别提取农地质量水平  $X_2$ 、农地数量变化  $X_3$ 、农地生态环境  $X_4$ 、农地社会效益  $X_5$  共 4 个指标集上的单因子评价矩阵  $R_2, R_3, R_4, R_5$ , 结合权重向量  $A_2, A_3, A_4, A_5$ , 进行一级综合评判, 结果如下:

$$B_2 = (0.879, 0.407, 0.772, 0.520, 0.510, 0.398, 0.315, 0.531, 0.562, 0.136),$$

$$B_3 = (0.053, 0.787, 0.250, 0.611, 0.434, 0.635, 0.436, 0.812, 0.687, 0.794),$$

$$B_4 = (0.547, 0.502, 0.639, 0.593, 0.644, 0.583, 0.546, 0.755, 0.250, 0.326),$$

$$B_5 = (0.727, 0.442, 0.119, 0.720, 0.380, 0.469, 0.266, 0.622, 0.743, 0.763).$$

根据最大隶属原则,  $B_i$  上的数值越大, 表示其对应乡镇的农地利用状况在某一方面越好。如, 根据  $B_1$  上的数值大小, 可以断定 10 个乡镇的农地利用经济效益水平的高低: 曲周镇(1.0)为最高, 而槐桥乡(0.041)最低, 其他乡镇居中。

最后, 进行二级综合评判。其中,  $A = (0.185, 0.306, 0.186, 0.195, 0.128)$ ,

$$B = A \cdot R = A \cdot \begin{pmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \end{pmatrix}^T$$

$$= (0.664, 0.442, 0.471, 0.555, 0.470, 0.538, 0.358, 0.562, 0.586, 0.376)。$$

#### 4 结果分析

从  $B$  上数值的大小可以断定, 曲周镇农地利用水平总体最高(0.664), 依庄乡则最差(0.358), 其他各乡镇居中。结合  $B_1 \sim B_5$  上数值的大小和单因素评价结果(表2)作进一步的分析:

表2 曲周县各乡镇农地系统评价指标模糊关系矩阵

指标	曲周镇	槐桥	白寨乡	安寨镇	大河道乡	侯村镇	依庄乡	河南疃镇	四疃乡	里岳乡
$x_1$	1.000	0	0.290	0.167	0.508	0.741	0.126	1.0	0.713	0.098
$x_2$	1.0	0.085	0.215	0.419	0.119	0.599	0.251	0.654	0.616	0.249
$x_3$	1.0	0	0.921	0.751	0.465	0.019	0.515	0.178	0.852	0
$x_4$	1.0	0.241	0.618	1.0	0.856	0.544	0.917	0	0.150	0.150
$x_5$	1.0	0.823	0.794	0.013	0.182	0.218	0.497	0.079	0.785	0.030
$x_6$	0.622	0.644	1.0	0.755	0.888	0.799	0.145	0	0.101	0.323
$x_7$	0.642	0.325	0.446	0.407	0.070	0.528	0.003	0.522	1.0	0.254
$x_8$	0	1.0	0.325	0.497	0.448	0.677	0.300	0.906	1.0	0.710
$x_9$	0.177	0.682	0.112	0.575	0.271	0.815	0.164	1.0	0.676	1.0
$x_{10}$	0	0.704	0.629	0.724	0.546	0.467	0.695	0.724	0.711	0.701
$x_{11}$	0.287	0.448	0.307	0.347	0.307	0.327	0.307	1.0	0.367	0.387
$x_{12}$	0.638	0.412	0.865	0.815	0.865	0.638	0.865	0.110	0	0.538
$x_{13}$	0.721	0.768	0.768	0.644	0.783	0.783	0.195	0.783	0.350	0
$x_{14}$	0	0.734	0	0.634	1.0	0.573	0	0.610	0.804	0.814
$x_{15}$	1.0	0	0.447	0.662	0	0.036	1.0	0.689	0.230	0.860
$x_{16}$	0.986	0.526	0	0.802	0.243	0.857	0	0.591	1.0	0.679

曲周镇的农地质量水平居 10 个乡镇之首(0.879), 主要表现在农地有机质含量以及农地利用的水利化、集约化等方面, 反映了本镇物质、技术投入结构较为科学、合理; 里岳乡则由于土地投入水平低下, 农地质量整体最弱(0.136), 其他乡镇的农地质量水平居中。

农地经济效益的高低取决于诸方面因素, 土地本身的禀赋、人类对土地资源投入水平的高低、土地利用结构的合理与否等都直接影响到土地经济效益的发挥。对 10 个乡镇的农地利用经济效益水平进行分析: 曲周镇的农地经济效益水平指数最高(1.0), 槐桥乡则最低(0.041)。可见, 曲周镇的农地产出性能远远好于槐桥乡。从单因素评价结果可以发现, 虽然槐桥乡的耕地资源相对占有量明显高于曲周镇, 但由于农地投入水平低, 致使土地质量差为农地经济效益整体最差。因此槐桥乡应不断加大农地投入水平, 以改善土地质量, 才能提高农地经济效益。

人均耕地和劳均负耕从一个侧面反映了人地关系的数量特征和协调状况,一级综合评判(B<sub>3</sub>)结果表明:曲周镇作为全县经济发展的龙头,其大规模的非农建设对耕地的大量蚕食以及城市化引发的人口膨胀,导致了人地关系的日趋紧张。控制非农建设用地,保护耕地,就成为曲周镇农地利用的优化途径之一;河南疃镇的人地关系协调状况则是 10 个乡镇中最好的。分析农地生态效益子系统,尽管四疃乡的盐碱地综合治理已是卓有成效,但该乡的农地生态质量水平仍较低下,土地盐碱化的深度和广度均比其他乡镇严重。值得注意的是,虽然近年来四疃乡的盐碱地面积大量减少,但区域土体的盐分,只是进行了时空的再分配,所以防治土壤盐渍化及其潜在威胁仍是一项长期的艰巨任务。还应看到,随着城镇化进程的不断加大,曲周镇森林覆盖面积的下降已成为农地生态效益实现的制约因素。因此,曲周镇的城镇化过程必须按照土地利用规划和城镇规划的用地要求,在保证城镇各项功能正常运行的前提下进行,重视农地经济效益实现的同时,不断提高农地的生态和环境代谢能力。

农地社会效益的高低主要从人均粮食产量、人均纯收入以农产值人均占有量 3 方面来衡量。里岳乡 3 项指标的隶属度分别为 0.814, 0.860, 0.679, 一级综合评判指数最高,表明该乡具有相对良好的农地社会效益;白寨乡各项指标的隶属度均较低下,农地社会效益总体上最差。

总之,综合评判的最终结果与曲周县的实际情况基本符合。农地利用系统功能的发挥取决于系统结构的协调性。如里岳乡的耕地资源相对丰富,农地社会效益较高,但由于农地质量低下、农地生态环境差,导致该乡农地利用整体水平不高。这说明,任何一个子系统的结构弱化都会导致整个系统功能的降低。因此,各乡镇应根据自身的优势与不足,采取相应措施,优化农地利用系统结构,使之协调发展,以发挥农地利用系统的最佳功能,最终实现整个县域农业的可持续发展。

## 5 结 论

作为对农地利用系统状态评价方法的探索,引入模糊综合评判法,并将其应用于实证分析,据此可以得到如下结论:

作为对评价方法的探索,根据农地利用的系统特征,引用了多层次模糊综合评判法,结果表明:由于该方法抛弃了绝对的“是”与“非”的二值逻辑,允许多个中间状态的存在,建立了相对归属的新概念,使得其既具有科学性,又具有灵活性。实证分析结果的科学性表明了将模糊综合评判法应用于农地利用系统状态评价是适宜的、可行的。运用模糊综合评判法时,无需事先对原始指标值进行标准化处理,在确定各项指标的隶属度时,这一过程同时完成。从前面对该方法的介绍中,不难看出:凡是可以量化的指标,不论是正向的,还是负向的,只要确定了指标的类别界限(可以采用相对值,也可以采取绝对值),都可以应用模糊综合评判法进行单因素或系统状态的综合评价。

## 参 考 文 献

- 1 程力 区域性农用地持续性评价: [学位论文] 北京: 中国农业大学, 1996
- 2 许学工 黄河三角洲土地质量模糊综合评价. 自然资源学报, 1992, 7(1): 43~ 54
- 3 唐守正 多元统计分析方法 北京: 林业出版社, 1984
- 4 傅伯杰, 陈利顶, 马诚 土地可持续利用指标体系与方法 自然资源学报, 1997, 12(2): 112~ 118