

因子分析与模糊数学在耕地资源可持续利用评价中的应用研究

孙小芳¹ 邢世和² 孙依斌²

(1 武汉大学遥感信息工程学院, 武汉 430069)(2 福建农林大学资源与环境学院, 福州 350002)

摘要: 由于在耕地资源可持续利用评价中存在着评价指标信息间的相互影响, 各评价指标对可持续利用的影响程度不同, 及可持续利用评价所具有的模糊性特点, 提出了利用因子分析法, 构建新的评价因子, 提高评价因子信息量, 通过建立模糊隶属函数进行可持续利用评价, 在实践中证明效果良好。

关键词: 耕地资源可持续利用; 评价; 因子分析; 模糊数学

中图分类号: S157

耕地资源可持续利用评价对制定耕地资源可持续发展战略有着重要的意义。国内外有关耕地资源可持续利用评价研究一般采用特尔菲法、回归分析模型、聚类模型、模糊隶属函数模型, 取得一定的进展, 但目前还没有公认的或统一的耕地资源可持续利用评价的方法, 耕地资源可持续利用评价的模型仍需进一步的研究确定。因此笔者提出了基于因子分析与模糊数学的耕地资源可持续利用评价方法。

1 基于因子分析与模糊数学的耕地资源可持续利用评价方法研究

1.1 耕地资源可持续利用评价指标选取及信息的提取

在选择耕地资源可持续利用评价指标时, 既要考虑周全, 知识覆盖面广, 同时选择的评价指标又要符合评价区域的实际和特点, 一般应遵循以下原则: 主导性原则、系统性原则、差异性原则、动态性原则、定量性原则、现实性原则、科学性原则。根据这些原则, 确定耕地资源可持续利用评价指标共计 16 个(如表 1)。

表 1 耕地资源可持续利用评价指标

Table 1 Cultivated land resource sustainable utilization evaluation index system

评价指标 Evaluation index	信息提取 Information drawn
气候条件	采用 10 积温, 直接从各县市区气象资料提取
农田水资源盈亏量	农田水资源盈亏量(毫米) = 年均降水量 - 年均农田蒸发量
人均耕地面积(亩/人)	统计资料直接提取
坡耕地占耕地总面积比例	采用坡度 > 15° 的总面积比例, 从土地利用现状调查资料计算提取
耕地产量变动率	耕地产量变动率 = [(99 年粮食单产 - 90 年粮食单产) / 99 年粮食单产] × 100%
支援农村生产支出(万元)	统计资料直接提取
绿肥种植面积(亩)	统计资料直接提取
旱涝保收面积(亩)	统计资料直接提取
有效灌溉面积(亩)	统计资料直接提取
化肥投入量变动指数	化肥投入量变动指数 = 99 年每亩化肥投入量 / 92 年每亩化肥投入量
农药施用量变动指数	农药施用量变动指数 = 99 年每亩农药施用量 / 92 年每亩农药施用量
农机总动力变动指数	农机总动力变动指数 = 99 年每亩农机总动力 / 92 年每亩农机总动力
复种指数	复种指数 = (农作物播种面积 / 耕地统计面积) × 100%
耕地播面亩产(千克/亩)	耕地播面亩产 = 粮食总产量 / 粮食播种面积
耕地亩产值(元/亩)	耕地亩产值 = 种植业总产值 / 耕地统计面积
农户人均收入(元)	统计资料直接提取

作者简介: 孙小芳(1973---), 女, 福建福州人, 在读博士生, 研究方向为摄影测量与遥感、土地可持续利用. E-mail: sunxf99@163.com

1.2 基于因子分析法建立耕地资源可持续利用评价因子

由于上述耕地资源可持续利用的评价指标之间存在着相关性,信息彼此重叠或相互影响,且各指标对耕地资源可持续利用的影响程度也各不相同,如果在数据处理方面不考虑各指标间可能存在的相关性及不同权重问题,势必影响耕地资源可持续利用评价的可信度。因此,在进行耕地资源可持续利用评价时,没有必要将所有指标都等权地考虑进去,本研究将上述评价指标通过因子分析法进行处理,建立评价因子,并以评价因子作为耕地资源可持续利用评价的数据,再利用模糊数学方法进行可持续利用评价。

1.2.1 因子分析法原理

因子分析是主成分分析的进一步发展,是通过研究相关矩阵的内部联系,将多个指标综合为少数几个因子,以再现指标与因子之间的相关关系。它是利用较少个数的公共因子的线性函数和特定因子之和来表达原来观测的每个变量,以便达到合理地解释存在于原始变量间的相关性和简化变量维数的目的。

1.2.2 因子分析法分析

计算时先将指标变量 X 的每一个分量标准化,通过矩阵相关运算求出因子载荷矩阵,相应地列出 y_1 、 y_2 、…… y_n 的线性组合,选择出权重在 90%—95% 以上的公共因子。 y_1 、 y_2 、…… y_n 称为公共因子即主因子,且每个公共因子是在变量 x_1 、 x_2 、…… x_m 的表达式 $X=AY+E$ 中共同出现的因子,是相互独立的不可观测的变量。 e_1 、 e_2 、…… e_m 称为特殊因子,是向量 X 的分量 x_1 、 x_2 、…… x_m 所特有的因子,各特殊因子之间以及特殊因子与所有公共因子之间都是相互独立的。矩阵 $A=(a_{ij})_{mn}$ 称为因子载荷矩阵, a_{ij} 称为因子载荷,因子载荷的统计学意义可以表示为相关系数,如 a_{ij} 是 x_i 与 y_j 的协方差,所以可以进一步将 a_{ij} 表示成 x_i 与 y_j 的相关系数,这说明 y_1 、 y_2 、…… y_n 的系数 a_{i1} 、 a_{i2} 、…… a_{in} 是用来度量 x_i 可用 y_1 、 y_2 、…… y_n 的线性组合表示的程度,故也可将因子载荷称为权,表明 x_i 依赖 y_j 的程度。

通过因子分析法处理一方面降低了评价指标信息的重叠度,有效地压缩了评价指标的维数,减少计算量,提高计算精度;另一方面,由于在不同评价因子中起主要决定作用的评价指标不同,且每个评价指标对总信息量的贡献率也不同,通过构建评价因子可有效地提高主要评价指标的影响力,降低次要评价指标的影响力,相当于对指标进行间接权重赋值,这种间接赋权重的方法比常用的直接赋权重法(如均权法、特尔菲法、层次分析法等)增加了客观性,提高了因子的信息含量。

1.3 基于模糊数学法进行耕地资源可持续利用评价

耕地资源可持续利用评价具有模糊性,没有统一的标准。本研究在评价模式的选取上,先利用因子分析法构建评价因子,再基于模糊数学原理建立模糊隶属函数,通过模糊隶属函数计算出耕地资源可持续利用的隶属值用于衡量耕地资源可持续利用的程度,隶属值越大,则耕地资源可持续利用的程度越高。

1.3.1 模糊隶属函数原理

模糊隶属函数 $\mu_A(U)$ 的含义就是元素 U 对模糊集合 A 的隶属程度,它是 $[0, 1]$ 区间的实数值。确定隶属函数的方法通常采用模糊统计法、经验与推理法、专家评分法和二元对比排序法,前三种方法需要对评价事物进行统计调查并结合专家经验,而二元对比排序法是一种实用、有效的确定隶属函数的方法,该方法的基本思想是把众多的元素两两相比,并按一定的法则确定顺序,进而决定评价单元的隶属程度。本研究中的可持续利用程度是一个模糊概念,可通过二元对比排序法建立一种有效的模糊隶属函数来确定耕地资源可持续利用的程度。

1.3.2 二元对比排序法过程

(1) 原始数据的极差标准化

假设评价因子数值为 a_{ij} , i 为评价单元个数从 1 到 n , j 为评价因子个数从 1 到 m , 由 a_{ij} 组成评价因子数据矩阵。由于不同评价因子数据具有不同的量纲, 即使同一量纲的不同评价因子数据之间也可能具有不同的量级, 因此, 要先对评价因子数据进行极差标准化处理, 使数据变成无量纲数值。采用下式将评价因子原始数据矩阵 a_{ij} 处理变成无量纲的数值矩阵 A_{ij} 。

$$A_{ij} = (a_{ij} - a_{\min j}) / (a_{\max j} - a_{\min j}) \quad \text{公式 (1)}$$

$$a_{\min j} = \min (a_{1j}, a_{2j}, \dots, a_{nj})$$

$$a_{\max j} = \max (a_{1j}, a_{2j}, \dots, a_{nj})$$

(2) 二元相对比较矩阵 f_{ij} 建立

对极差标准化后的无量纲数值矩阵按下式进行各评价单元累计求和:

$$\sum_i = A_{i1} + A_{i2} + A_{i3} + A_{i4} \dots \dots \dots + A_{in} \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad \text{公式 (2)}$$

然后依据下式建立 $n \times n$ 二元相对比较矩阵:

$$f_{ij} = \sum_i / (\sum_i + \sum_j) \quad (j \neq i) \quad \text{公式 (3)}$$

$$f_{ij} = 1 \quad (j = i)$$

式中 $i = 1, 2, \dots, n$, 为当前确定可持续利用的程度的评价单元, $j = 1, 2, \dots, m$, 为除了当前确定可持续利用的程度评价单元以外的其它单元。

(3) 评价单元可持续度 $\mu (A_i)$ 的计算

对建立的 $n \times n$ 二元相对比较矩阵按下式计算各评价单元模糊隶属程度, 即本研究中的可持续利用的程度 $\mu (A_i)$ 。

$$\mu (A_i) = 100 * (\sum_{j=1}^n f_{ij}) / n \quad \text{公式 (4)}$$

2 实例分析-----以福建闽北十个县市为例

福建闽北十县市包括: 南平市、邵武市、武夷山市、建瓯市、建阳市、顺昌县、浦城县、光泽县、松溪县、政和县。这十个县市属于中亚热带气候, 主要地处福建省大水系的上游, 山地广阔, 农业自然资源优越, 尤其森林资源十分丰富, 由于该区耕地资源面积大, 人口密度相对较小, 农业生产是该区的主要经济来源, 在福建省综合农业分区中属于闽西北山地丘陵盆地粮林茶果区, 福建省商品粮基地县多位于该区域。地方政府和个人对耕地的保护意识较强。

表 2 评价因子特征值及所占百分率和累计百分率

Table 2 Appraise the characteristic value of the factor and percentages accounted for and added up to the percentage

评价因子 Evaluation factor	特征值 characteristic value	百分率% percentages	累计百分率% added up to the percentage
1	5.703	35.644	35.644
2	3.554	22.212	57.856
3	2.479	15.492	73.347
4	1.843	11.517	84.864
5	1.187	7.422	92.286
6	0.589	3.679	95.965
7	0.308	1.927	97.892
8	0.251	1.566	99.458
9	0.087	0.542	100.000
10	0	0	100.00

收集福建闽北十县市的有关资料，进行整理形成评价指标数据，然后应用因子分析法得到评价因子特征值及所占百分率和累计百分率（表 2），方差极大正交旋转结果即因子载荷矩阵（表 3）。

表 2 的分析结果表明，第一评价因子是耕地资源可持续利用评价的最主要因子，其重要性占总体的 35.644%，而第十个评价因子其百分率为零，说明它不含有新的信息量。从因子 1 到因子 6 的权重值累计达 95.965%，表明前 6 个因子已基本上反映了耕地可持续利用评价的主要影响因素，故选取 1 到 6 因子作为耕地资源可持续利用评价因子体系。

表 3 因子载荷矩阵

Table 3 The loaded matrix of the factor

评价指标 Evaluation Index	因子 1 Factor 1	因子 2 Factor 2	因子 3 Factor 3	因子 4 Factor 4	因子 5 Factor 5	因子 6 Factor 6
气候条件	-0.063	-0.105	0.057	0.018	-0.963	0.080
农田水资源盈亏量	-0.526	0.769	0.168	0.005	0.137	-0.222
人均耕地面积（亩/人）	0.051	0.688	0.129	-0.409	0.038	-0.529
坡耕地占耕地总面积比例	-0.263	0.086	-0.162	0.934	0.062	-0.079
耕地产量变动率	0.101	-0.940	0.177	-0.209	0.018	0.086
支援农村生产支出（万元）	0.232	-0.005	0.229	0.755	-0.253	0.452
绿肥种植面积（亩）	-0.122	0.171	0.914	-0.129	-0.078	-0.104
旱涝保收面积（亩）	0.751	-0.045	0.516	-0.060	-0.378	0.010
有效灌溉面积（亩）	0.685	-0.021	0.621	-0.155	-0.256	0.044
化肥投入量变动指数	0.940	-0.166	-0.059	-0.017	-0.037	0.182
农药施用量变动指数	0.958	-0.143	-0.105	-0.052	-0.038	0.090
农机总动力变动指数	0.958	0.045	-0.191	-0.050	-0.027	-0.026
复种指数	-0.103	-0.481	0.672	0.094	-0.078	0.496
耕地播面亩产（千克/亩）	0.221	0.412	-0.696	-0.373	0.025	-0.364
耕地亩产值（元/亩）	0.245	-0.275	0.075	0.043	-0.134	0.913
农户人均收入（元）	0.456	0.062	0.153	0.078	-0.841	0.100

因子载荷矩阵（表 3）可以反映出 6 个评价因子中评价指标的构成情况，取系数绝对值在 0.75 以上的评价指标对构成的评价因子具有重要的影响力，据此归纳出 6 个评价因子体系主要是由 12 个评价指所构成。评价因子 1 主要是由旱涝保收面积、化肥投入量变动指数、农药施用量变动指数、农机总动力变动指数评价指标构成；评价因子 2 主要是由农田水资源盈亏量、耕地产量变动率评价指标构成；评价因子 3 主要是由绿肥种植面积评价指标构成；评价因子 4 主要是由坡耕地占耕地总面积比例、支援农村生产支出评价指标构成；评价因子 5 主要是由气候条件、农户人均收入评价指标构成；评价因子 6 主要是由耕地亩产值评价指标构成。

综上所述，由 12 个评价指标构成的 6 个评价因子，较全面反映耕地资源可持续利用的内涵。因此，该 6 个评价因子体系可以作为耕地资源可持续利用评价的有效评价因子。然后，计算出 6 个评价因子方差极大旋转后样本因子得分（表 4），作为计算耕地资源可持续利用评价的基础数据。最后，根据二元对比排序法建立模糊隶属函数对十个县市进行耕地资源可持续利用评价，根据计算出的模糊隶属程度对十个县市进行排序（表 5）。利用二元对比排序法对耕地资源可持续利用评价结果表明，在耕地资源可持续利用评价中排名第一的为邵武市，模糊隶属程度为 63.867，可持续性最差的为武夷山市，其模糊隶属程度仅为 43.361，平均模糊隶属程度差值为 2.0506。

表 4 评价因子的样本因子得分

Table 4 The sample factor scores of evaluation factor

地名	因子 1	因子 2	因子 3	因子 4	因子 5	因子 6
The name of the place	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5	Factor 6
南平市	0.470	-1.221	-2.609	3.039	0.041	0.922
邵武市	0.146	0.922	0.217	0.527	0.213	1.827
武夷山市	-0.390	0.419	-0.194	-0.339	-1.631	-1.827
建瓯市	0.182	1.145	6.551	-1.554	-2.605	-1.053
建阳市	1.662	-0.265	-3.807	-0.115	1.494	0.975
顺昌县	-0.502	-1.077	-2.513	-0.947	-0.782	1.231
浦城县	0.324	-0.655	1.641	-0.103	0.190	-0.918
光泽县	-0.866	2.558	0.785	0.001	0.330	-0.845
松溪县	-0.966	-0.591	1.093	-0.965	0.890	0.554
政和县	-0.060	-1.236	-1.163	0.455	1.859	-0.867

表 5 耕地资源可持续利用评价排名及模糊隶属程度

Table 5 Cultivated land resource sustainable utilization evaluation rank and the degree of fuzzy jurisdiction

名次	地名	模糊隶属程度
The rank	The name of the place	The degree of fuzzy jurisdiction
1	邵武市	63.867
2	建阳市	62.365
3	南平市	60.485
4	光泽县	58.236
5	浦城县	54.520
6	政和县	53.880
7	建瓯市	53.623
8	松溪县	52.851
9	顺昌县	46.814
10	武夷山市	43.361

3 结论

- 1、用因子分析与模糊数学方法评价耕地资源可持续利用是可行的。
- 2、利用因子分析与模糊数学方法评价耕地资源是科学的。因为，一方面充分考虑了评价指标间信息的相互影响及各评价指标对耕地资源可持续利用的影响程度不同，另一方面充分地考虑到了耕地资源可持续利用评价中所存在的模糊性特点。
- 3、利用因子分析法可以确定影响耕地资源可持续利用的重要因素，利用模糊数学建立模糊隶属函数---二元对比排序法对实例进行分析，获得了满意的结果，具有实用性。

参 考 文 献

1. 胡月明, 万洪富, 吴志峰, 等. 基于 GIS 的土壤质量模糊变权评价. 土壤学报, 2001 (3): 266 - 274. Hu Yue-ming, Wan Hong-fu, Wu Zhi-feng et al. GIS-based soil quality evaluation with fuzzy variable weight. Acta Pedologica Sinica, 2001 (3): 266 - 274.

- 2 . 王建国 , 杨林章 , 单艳红 . 模糊数学在土壤质量评价中的应用研究 . 土壤学报 , 2001 (2) : 176 - 183 . Wang Jian-guo , Yang Lin-zhang , Shan Yan-hong . Application of fuzzy mathematics to soil quality evaluation . Acta pedologica sinica , 2001 (2) : 176 - 183 .
- 3 . 周宝焜 . 农业中的模糊数学应用及程序 . 厦门 : 厦门大学出版社 , 1992 : 39 - 60 . Zhou Bao-kun . Fuzzy mathematics used and procedure in agriculture . Xiamen: Xiamen university press , 1992 : 39 - 60 .

APPLICATION OF FACTOR ANALYSIS AND FUZZY MATHEMATICS TO CULTIVATED LAND RESOURCE SUSTAINABLE UTILIZATION EVALUATION

Sun Xiao-fang¹ Xing Shi-he² Sun yi-bin²

(1 College of Remote Sensing and Information Engineering , Wuhan University , Wuhan 430069
China) (2 Resource and Environment College , Fujian Agriculture and Forestry University ,
Fuzhou 350002 China)

Abstract : In Cultivated land resource sustainable utilization evaluation , because evaluation index system influencing each other , every evaluation index is different to the influence degree of sustainable utilization , and the fuzzy characteristics had in sustainable utilization , then propose utilizing factor analysis , structure the new evaluation factor , improve the amount of information of evaluation factor , through setting up fuzzy jurisdiction function to evaluate sustainable utilization , prove in practice that the result is good.

Key words : Cultivated land resource sustainable utilization、 Evaluation、 Factor analysis、 Fuzzy mathematics