

文章编号: 1001-4829(2009)01-0202-05

# 基于 AHP 法的重庆市农业生态系统综合分析评价

涂恩强<sup>1,2</sup>, 廖晓勇<sup>\*</sup>, 陈治谏<sup>1</sup>, 王海明<sup>1</sup>

(1. 中国科学院, 水利部成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041; 2 中国科学院研究生院, 北京 100049)

**摘要:** 本文以重庆市为例, 构建了区域的农业生态系统综合评价指标体系, 运用层次分析法计算各项指标权重值, 结合归一化指标数值, 得出其生态、社会、经济子效益及综合效益分值, 在此基础上, 综合分析评价了重庆市农业生态系统, 并提出了实现当地可持续农业的建议。

**关键词:** 农业生态系统; 评价; 层次分析法; 可持续农业

中图分类号: S314 文献标识码: A

## Evaluation and Analysis of the Agro-ecosystem in the Chongqing City Based on AHP Method

TU Enqiang<sup>1,2</sup>, LIAO Xiaoyong<sup>\*</sup>, CHEN Zhizhan<sup>1</sup>, WANG Haiming<sup>1</sup>

(1. Institute of Mountain Hazards and Environment Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources Sichuan Chengdu 610041, China; 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract** In this paper, Chongqing was elected as a study case. Firstly, the comprehensive evaluation index system about the regional agro-ecosystem was built. Secondly, the analytic hierarchy process was adopted to confirm the weights of the indices. Then, combined with the value of the indicator data normalized, the score of ecological, social, economic benefits and integrated benefit was calculated. Finally, according to these results, the agro-ecosystem in Chongqing was analyzed and evaluated in this paper, and some proposal about sustainable agriculture was put forward.

**Key words** Agro-ecosystem; Evaluation; Analytic hierarchy process; Sustainable agriculture

农业生态系统是一个包括了社会生产、经济发展、资源合理利用以及生态保护的复合生态系统<sup>[1]</sup>, 其在一定空间范围内, 通过物质、能量、信息的流动与交换, 并以人的活动为中心, 将人类聚居区内的生产、生活与资源环境相互联系<sup>[2]</sup>。

目前, 对农业生态系统的评价研究主要围绕着以下内容展开: ① 从生态承载力的角度进行分析, 运用地理信息系统技术和系统动力学模型, 模拟预测生态系统的资源承载能力以及承载压力的动态变化趋势<sup>[3-4]</sup>。② 以能值分析理论方法为基础, 综合分析农业生态系统的能值流和能值演替情况, 以及定量分析生态与经济效率及其关联<sup>[5-8]</sup>。③ 以生态系

统健康的概念出发, 采用生物学、环境学、生态经济学等几个方面的指标, 对农业生态系统健康进行综合评价<sup>[9-11]</sup>。④ 以农业生态系统的功能和结构为着眼点, 采用灰色关联分析法、模糊数学统计方法、BP 人工神经网络法以及多元统计等方法, 分析农业生态系统的功能和结构的关系, 用以评价研究区域的生态系统的现状<sup>[12-13]</sup>。

本文以重庆市为例, 利用 2000~2007 年统计数据, 建立了区域农业生态系统综合评价指标体系, 采用层次分析法, 对重庆市农业生态系统的生态、社会和经济效益进行了综合分析评价, 旨在为区域农业可持续发展实践提供理论指导。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

重庆市位于中国西南部, 长江上游, 四川盆地东部边缘, 属亚热带湿润季风气候区, 年均气温 18℃,

收稿日期: 2008-12-18

基金项目: 中科院成都山地所前沿项目 (1100001007); 中科院西部行动计划项目 (KZCX<sub>2</sub>-XB2-07); 国务院三建委办公室资助项目 (SX2001-021)

作者简介: 涂恩强 (1985-), 男, 四川成都人, 硕士研究生, 研究方向: 区域发展、流域生态环境, \* 为通讯作者。

年均降雨量为 1200 mm。重庆市是我国农村面积最广、农业比重最大和农业贫困人口最多的直辖市<sup>[14]</sup>,属于典型的山地与水域复合生态系统,具有复杂多样的生态环境和落后的农村经济社会背景<sup>[15]</sup>。重庆市农业生态系统具有以下特点:农业生产以粮猪型结构特征突出,劳动地域分工不明显;经营粗放,经济效益低下;农业生产水平的地域差异明显;农业基础设施落后,抵御自然灾害的能力较低;农村生态环境质量不高,生物多样性受到威胁;水土流失严重,农业面源污染失控,生态环境保护难度大;人地矛盾尖锐,移民和脱贫压力大。因此,协调重庆市农业生态系统中各组分间的关系,对区域农业的可持续发展具有十分重要的意义。

### 1.2 研究方法

1.2.1 用层次分析法确定各项指标的权重 分析评价区域农业生态系统,面临的是由相互关联和制约的、多因素构成的、且缺少定量数据的系统,而层次分析法(简称 AHP法)是一种定性定量分析相结合的多目标决策方法,常用于求解服从某一总目标的多个目标的权重或求解多个因素对所关联的另一因素的权重<sup>[16]</sup>。其方法步骤<sup>[17~18]</sup>如下。

(1)建立评价指标体系。合理选择评价指标及控制指标量是建立农业生态系统综合评价指标体系的关键。经过系统分析、研究重庆市农业生态系统中所包括的因素及因素间的关系,选取 20个代表性的指标因子,建立了重庆市农业生态系统的评价指标体系(图 1)。所有原始数据均来源于 2000~2007年《重庆市统计年鉴》<sup>[9]</sup>。

(2)构造判断矩阵。采用判断矩阵,比较  $n$  个因子对某因素的影响大小。对两个指标的相对重要性进行打分,采用 1~9 尺度标度方法<sup>[20]</sup>。

(3)层次单排序及一致性检验。确定各元素重要性次序的权重值,其计算方法可以归结为采用平均近似法计算<sup>[21]</sup>判断矩阵的特征值和特征向量。对结果进行一致性检验:

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

式中,  $CI$  为一致性指标,其值越大表示判断矩阵一致性越差,  $\lambda_{max}$  为判断矩阵的最大特征根,  $n$  为判断矩阵的阶数,  $CR$  为随机一致性比例,  $RI$  为平均随机一致性指标。当  $CR < 0.1$  时,判断矩阵的不一致程度在容许范围之内,可用其归一化特征向量作为权重值,否则要重新构造判断矩阵,对判断矩阵加以调整。

(4)层次总排序及一致性检验。利用同一层次中所有层次单排序的结果,就可以计算针对上一层次而言的本层次所有元素的重要性权重值,即可获得层次总排序。

1.2.2 极值法归一化评价指标 评价指标的原始数据量纲间存在不同,以及指标间的数量级存在明显差异,所以在分析研究前,有必要进一步着手研究统一量纲和缩小指标间数量级方法。本文采用极值法处理指标的可公度性<sup>[22]</sup>,不仅可以使各指标值的数据明显消除级差悬殊,且具有更明显的一致性,它使得各指标的原始数据经转换,其变化幅度压缩在  $[0, 1]$  之间。根据所选取的评价指标的属性特点,将上述 20个指标分为两类:

① 效益型指标,即针对极大型指标值的处理,归一化公式为:

$$u_i = 100 \cdot (x_i - x_{min}) / (x_{max} - x_{min}) \quad (1)$$

② 成本型指标,即针对极小型指标值的处理,归一化公式为:

$$u_i = 100 \cdot (x_{max} - x_i) / (x_{max} - x_{min}) \quad (2)$$

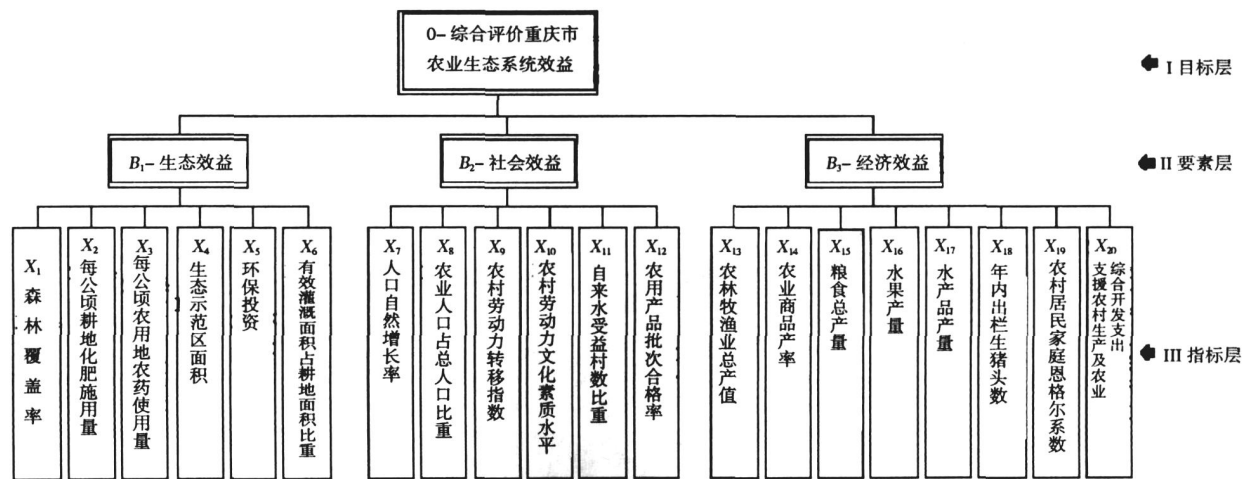


图 1 重庆市农业生态系统综合效益层次图

Fig 1 The hierarchy structure of the comprehensive benefit of the agroecosystem in Chongqing

式中:  $u_i$  为第  $i$  种指标的归一化指标值;  $x_i$  为第  $i$  种指标的实际指标值;  $x_{min}$ 、 $x_{max}$  分别为同类指标中的实际最小值和最大值。

1.2.3 综合评价指数的计算 农业生态系统中某个效益的评价指数等于各个指标分值加权之和, 即:

$$F(B_i) = \sum W_j \cdot u_j \quad (3)$$

式中,  $F(B_i)$  为生态、社会和经济效益的评价指数;  $u_j$  为归一化的指标  $j$  的数值;  $W_j$  为指标  $j$  的权重值, 即为通过层次单排序获得的数值。

农业生态系统综合评价指数的计算公式为:

$$F(O) = \sum W_k \cdot u_k \quad (4)$$

式中,  $F(O)$  为农业生态系统的综合评价指数;  $u_k$  为归一化的指标  $k$  的数值;  $W_k$  为指标  $k$  的权重值, 即为通过层次总排序获得的数值。

## 2 结果与分析

### 2.1 农业生态系统各要素及指标的权重值

运用 yaaph 层次分析软件, 根据专家咨询意见, 输入判断矩阵值, 计算各要素权重。其中求得要素层  $B$  的最大特征值为:  $w = (0.5396, 0.1634, 0.2970)$ , 综合权重的一致性检验为  $CR = 0.0088 < 0.1$ , 故可得要素层的权重系数是可以使用的, 即生态效益、社会效益、经济效益的权重系数为  $0.5396, 0.1634, 0.2970$ 。由农业生态系统子效益的权重系数可见, 重庆市地处长江上游、三峡库区, 生态战略地位十分突出, 农业生态系统中生态效益的权重较大。

从图 2 可见, 指标层中的前 3 个指标: 森林覆盖率 ( $X_1$ )、每公顷耕地化肥施用量 ( $X_2$ )、每公顷农用地农药使用量 ( $X_3$ ) 的权重较大, 说明了这 3 个指标对该地区的农业生态系统产生的效益起着举足轻重的影响。

图 3 反映了在不同子效益中各个指标的权重值。其中, 在生态效益下, 以森林覆盖率 ( $X_1$ )、每公顷耕地化肥施用量 ( $X_2$ )、每公顷农用地农药使用量

( $X_3$ ) 的权重较大; 在社会效益下, 以人口自然增长率 ( $X_7$ )、农业人口占总人口比重 ( $X_8$ )、农村劳动力转移指数 ( $X_9$ )、农村劳动力文化素质水平 ( $X_{10}$ ) 这四个指标的权重较大, 其权重之和达 85% 以上; 在经济效益下, 以农林牧渔业总产值 ( $X_{13}$ )、农业商品率 ( $X_{14}$ ) 和农村居民家庭恩格尔系数 ( $X_{19}$ ) 所占权重较大。

### 2.2 农业生态系统综合评价

根据公式计算 2000~2006 年重庆市农业生态系统综合评价指数及子效益的评价指数。评价指数直接反映了农业生态系统的效益状况, 分值越大, 系统效益越好。

从图 4、图 5 可见, 2000 年到 2006 年重庆市农业生态系统的综合效益呈先降后升的过程。其中, 2000 年到 2002 年农业生态系统的综合效益呈逐年下降趋势, 这是由于从 2000~2002 年, 重庆市的生态效益大幅下降, 且下降的幅度明显大于其社会和经济效益增长的幅度, 再加上生态效益占整个评价分值的权重比较大。这些变化趋势也说明了这几年重庆市的农业生态环境和资源未与经济和社会的发展保持同步, 即农业可持续发展状况出现下滑的状况。2003 年到 2006 年重庆市农业生态系统的综合效益逐年提高。其中以 2003 年的综合效益提高最为明显, 这是由于农业生态效益的各子效益均有明显的增加, 主要表现在森林覆盖面积与生态示范区面积的增加、农村劳动力转移的加快、农村居民生活水平的提高。从 2004 年以后, 重庆市农业生态系统的综合效益呈稳定的平缓增长。

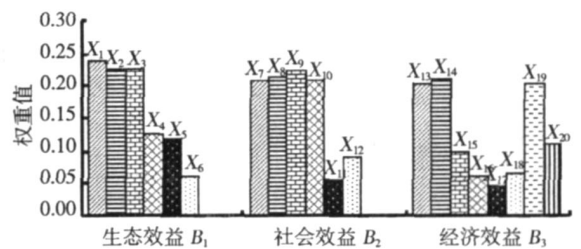


图 3 指标层  $X$  对各要素层  $B_i$  的组合权重

Fig. 3 The integrated weight of index level  $X$  related to each factor level  $B_i$

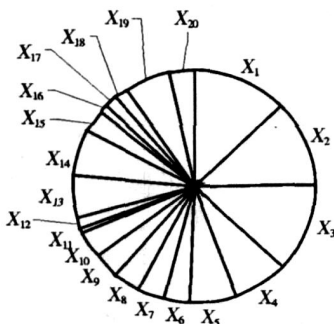


图 2 指标层  $X$  对目标层  $O$  的组合权重

Fig. 2 The integrated weight of index level  $X$  related to general goal level  $O$

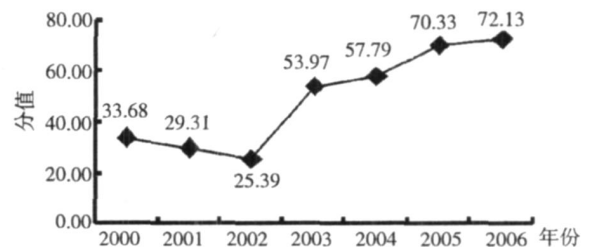


图 4 重庆市农业生态系统效益的综合得分

Fig. 4 The comprehensive scores of the agro-ecosystem benefit in Chongqing

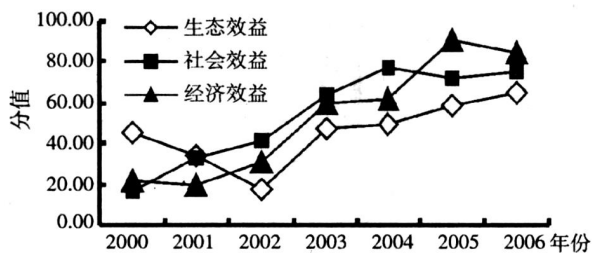


图 5 重庆市农业生态系统子效益的得分

Fig 1 The scores of the sub-indicators of the agro ecosystem benefits in Chongqing

从图 5 可以看出, 2000 年到 2006 年重庆市农业生态系统中的各子效益的发展趋势, 三大效益中以社会效益发展最佳, 一直处于平稳的发展态势。

重庆市农业生态系统的生态效益水平经历了明显的先下降后上升的过程。生态效益水平的提高主要是由于以下几方面的原因: <sup>1</sup> 森林植被的恢复。从 2000 年重庆市正式实施天然林资源保护工程, 以及荒山荒地绿化和退耕还林(草)工程, 2006 年全市森林覆盖率达到 32%, 比 2000 年增加了 38.5%, 增长十分显著。<sup>2</sup> 加大环保投资力度。重庆市对环保投资的金额每年增幅都比较大, 2006 年的环保投资金额是 2000 年的 3.4 倍。<sup>3</sup> 积极推进三峡工程生态环境建设与保护试点示范项目。2003 年生态示范区面积大幅增加, 使生态农业建设范围进一步扩大, 既提高了重庆市的生态环境质量和群众生活质量, 也提高了群众的生态意识和可持续发展理念。但是, 重庆市也存在一些制约着生态效益的因素: <sup>1</sup> 农民为追求种植效益, 大量施用氮、磷化肥, 从 2000 年开始, 重庆市化肥使用量逐年递增, 至 2006 年化肥纯养分用量平均达到了 578.01 kg/hm<sup>2</sup>, 成为水体富营养化的主要潜在威胁之一<sup>[23]</sup>。<sup>2</sup> 大量使用农药。2000 年到 2003 年, 重庆市农药使用量逐年增多, 2003 年开始, 有下降趋势, 但使用量仍然比 2000 年使用量大。这是由于重庆市大力发展果树, 其农药用量明显高于其他农作物<sup>[24]</sup>。而农药的大量使用, 致使害虫的天敌或其他益虫迅速减少, 造成追加使用农药的恶性循环, 使农药残留逐渐增加, 对区域生态环境产生恶劣影响。

重庆市的社会效益水平一直处于提高的状态, 说明重庆市农业生态系统的社会适应程度一直较好, 农业生态系统能满足社会的需要。但是, 在 2005 年有所下降, 主要是由于在社会效益中权重比较大的人口自然增长率从 2005 年开始增幅较大, 只有将人口自然增长率控制在一定范围内, 农民生活水平才能不断改善, 文化健康水平才能不断提高。2005 和 2006 年, 农用产品批次合格率都有所下降,

严重影响了农业生产。在社会效益中, 所占权重较大的农村劳动力转移指数和农村劳动力文化素质水平都有显著的提高, 2006 年比 2000 年分别提高了 45.4% 和 19%, 这些都大大促进了当地的社会效益水平的提升。

从 2001 年到 2005 年, 重庆市经济效益一直处于较好发展态势, 在 2006 年经济效益水平有所回落。这是由于 2006 年重庆市遭受了 60 年一遇的特大干旱灾害, 致使该地区的农林牧渔业总产值、粮食总产量、水果产量、水产品产量以及年内出栏生猪头数均比上年低, 尤其是干旱对水稻生长发育产生了严重的影响, 粮食总产量下降最为明显, 比上年减产 22.1%, 表明了重庆市农业生态系统的稳定性还需进一步加强。

### 3 小结

(1) 合理选择评价指标及控制指标量是建立农业生态系统综合评价指标体系的关键。各指标权重的确定直接影响评价结果, 通过 AHP 法并结合专家咨询法确定指标权重, 可较好解决确定指标权重的主观随意性的问题。

(2) 在应用层次分析法时, 强调生态效益, 同时兼顾经济和社会效益, 因此, 生态效益下的各个指标对该地区的农业生态系统的影响程度较大。

(3) 研究结果表明, 从 2002 年到 2006 年, 重庆市的农业生态系统的综合效益一直处于较好的发展中。其中, 生态效益水平经历了明显的先下降后上升的过程, 提高肥料利用率和提高农民素质, 将大大提高该地区的农业生态效益; 社会效益在三大效益中发展最佳, 一直处于较平稳的发展态势; 经济效益在 2006 年有所回落, 突显了区域水利设施对干旱天气的应急能力薄弱, 应加大农业水利的投入。

#### 参考文献:

- [1] 张木兰, 余伟, 蒋菊生, 等. 海南农垦农业生态系统综合评价研究 [J]. 安徽农业科学, 2007, 35(10): 3005-3006, 3008
- [2] 马世骏, 王如松. 社会-经济-自然复合生态系统 [J]. 生态学报, 1984, 4(1): 1-9.
- [3] 许联芳, 杨勋林, 王克林, 等. 西南喀斯特区域农业生态系统承载力系统动力学仿真模型 [J]. 农业系统科学与综合研究, 2007, 3
- [4] 刘凤琴, 顾培亮. 农业可持续发展系统动态评价研究 [J]. 系统工程, 1999, 17(3): 31-35
- [5] 陆宏芳, 隋春花. 农业生态系统能值分析方法研究 [J]. 韶关师专学报, 2000, 21(4): 74-78
- [6] 蓝盛芳, 钦佩. 生态系统的能值分析 [J]. 应用生态学报, 2001, 12(1): 129-131.
- [7] 张洁瑕, 郝晋珉, 段瑞娟. 现代农业生态系统能值演替分析——以河北省曲周县为例 [J]. 水土保持学报, 2005, 19(6): 141-

144

- [ 8 ]刘继展,李萍萍. 江苏农业生态系统能值分析 [ J ]. 农业系统科学与综合研究, 2005, 21( 1 ): 29- 32.
- [ 9 ]章家恩,骆世明. 农业生态系统健康的基本内涵及其评价指标 [ J ]. 应用生态学报, 2004, 15( 8 ): 1473- 1476.
- [ 10 ]武兰芳,欧阳竹,唐登银. 区域农业生态系统健康定量评价 [ J ]. 生态学报, 2004, 24( 12 ): 2740- 2748.
- [ 11 ]王 宁,陈艺阳,张光生,等. 生态系统健康与农业可持续发展 [ J ]. 生态经济, 2007( 5 ): 25.
- [ 12 ]孙自保,李 萍,冯 平. 西藏农业生态系统结构的灰色关联分析 [ J ]. 农业系统科学与综合研究, 2006, 22( 4 ): 268- 272.
- [ 13 ]秦国明,孙希昌. 综合指数法在农业生态系统效益评价中的应用 [ J ]. 广东农业科学, 2007( 12 ): 94- 95.
- [ 14 ]罗怀良,朱 波,陈国阶. 试论重庆市农业与生态环境协调发展 [ J ]. 长江流域资源与环境, 2003, 12( 4 ): 352- 357.
- [ 15 ]李秋红. 试论生态农业与三峡库区生态环境保护 [ M ]. 北京: 中国环境科学出版社, 1998.
- [ 16 ]王光宇. 区域农业综合生产力的 AHP-Fuzzy 综合评判 [ J ]. 生物数学学报, 1998, 13( 2 ): 206- 210.
- [ 17 ]曹志平. 农业生态系统功能的综合评价 [ M ]. 北京: 气象出版社, 2002.
- [ 18 ]石丽忠,陈金良,迟道才,等. 辽宁省农业水资源多维耦合评价指标体系研究 [ J ]. 中国农村水利水电, 2008( 3 ): 9- 12.
- [ 19 ]重庆市统计局. 重庆市 2000 ~ 2007 年统计年鉴 [ EB/OL ]. [ 2008- 01- 01 ]. <http://www.cqztj.gov.cn/szsq/tjnj/> )
- [ 20 ]汪应洛. 系统工程 [ M ]. 西安: 西安交通大学出版社, 1999.
- [ 21 ]卢仲达,张江山. 层次分析法在环境风险评价中的应用 [ J ]. 环境科学导刊, 2007, 26( 3 ): 79- 81.
- [ 22 ]张 健,张德智,吴玉斌,等. 论评价指标值的可公度性处理 [ J ]. 兵工学报, 2004, 25( 6 ): 746- 751.
- [ 23 ]张维理,武淑霞,冀宏杰,等. 中国农业面源污染形势估计及控制对策 [ J ]. 21 世纪初期中国农业面源污染的形势估计 [ J ]. 中国农业科学, 2004, 37( 7 ): 1008- 1017.
- [ 24 ]肖 军,赵景波. 农药污染对生态环境的影响及防治对策 [ J ]. 安徽农业科学, 2005, 33( 12 ): 2376- 2377.

(责任编辑 陈虹)