

# 金塔绿洲近 20 年来农业生态安全动态评价与对策研究<sup>①</sup>

马亚兰, 刘普幸\*, 王枫叶

(西北师范大学地理与环境科学学院, 兰州 730070)

**摘要:** 根据世界经济合作和开发组织(OECD)与联合国环境规划署(UN-EP)共同提出的环境指标 P-S-R(压力-状态-响应)概念模型, 从金塔绿洲农业生态环境压力、生态环境状态和生态环境响应 3 方面构建了一个 4 层次的绿洲农业生态安全评价指标体系。在此基础上, 利用多层次多目标决策和模糊优选理论, 建立金塔绿洲农业生态安全评价的模糊优选模型。最后, 对其 1988—2007 年农业生态安全进行动态评价。结果表明: 20 年来, 金塔绿洲农业生态安全决策优属度小, 生态安全总体水平低, 生态环境不断恶化, 生态安全形势严峻, 正变得不利于人类的生存和发展, 为此, 提出保护绿洲生态环境, 促进绿洲农业可持续发展的建议和对策。

**关键词:** 金塔绿洲; 生态安全; P-S-R 模型; 多层次多目标决策; 模糊优选模型

**中图分类号:** S181

随着全球生态环境恶化, 生态安全问题已成为 21 世纪人类面临的一个挑战<sup>[1]</sup>。在全球范围内, 生态安全形势越来越严峻, 局部地区生态安全态势甚至已经破坏了社会经济与农业生产可持续发展的基础<sup>[2]</sup>。许多学者分别从不同学科背景, 对不同区域不同专题的生态安全进行了探讨<sup>[3]</sup>。农业生态安全作为生态安全的重要组成部分, 在我国也逐渐受到关注<sup>[4]</sup>。农业生态安全是农业可持续发展的核心和基础<sup>[5]</sup>, 指某一地域农业赖以生存和发展的生态与环境处于少受或不受生态条件、状态及其变化的破坏、胁迫、损害的状态, 在这种状态下农业生态系统的资源充足、功能健全、结构完善, 整个系统能达到协调、健康及均衡的可持续发展<sup>[6]</sup>。

生态安全评价是一种复杂的多层次、多目标的评价过程, 它是协调社会经济发展与生态环境保护、促进可持续发展的重要措施之一<sup>[3]</sup>。我国生态安全研究始于 20 世纪 90 年代<sup>[7]</sup>, 对生态安全的评价方法可归结为数学模型法、生态模型法、景观模型法等<sup>[1]</sup>。高长波等<sup>[8]</sup>应用综合指数法建立生态安全评价的数学模型, 对广东省生态安全进行了定量评估; 曹新向<sup>[9]</sup>基于生态足迹法建立旅游地生态安全评价的生态模型, 分析了开封市旅游生态安全水平。任志远等<sup>[10]</sup>应用生态足迹法和生态承载力法建立生态安全评价的生态模

型, 对陕西省 3 大自然区的生态安全及空间差异进行了探讨; 郭明等<sup>[7]</sup>和李月臣<sup>[11]</sup>分别应用景观空间邻接度法和景观生态安全格局法建立生态安全评价的景观模型, 分别对酒泉绿洲和中国北方 13 省市区的生态安全状况进行了分析。近年来, 3S 技术与这些方法广泛结合, 为生态安全评价中各指标及相应综合指数的获取提供新的工具<sup>[12-13]</sup>。

数学模型法一般多采用各类综合指数法, 通过确定各个指标阈值, 求其安全/不安全指数与权重的乘积, 各指标的乘积加权求和得到生态安全/不安全指数, 进而判断区域生态安全水平。由于某一固定阈值并不能作为长时间段的标准值, 因此对长时间段生态安全评价并不可取。鉴于此, 本文采用多层次、多目标模糊优选模型, 对具有 4 层结构的农业生态安全评价指标体系求其各层决策优属度和总决策优属度, 从而得到金塔绿洲 1988—2007 年农业生态安全动态评价的满意排序, 在时间上对农业生态安全状况做出相对优劣评价, 分析农业生态安全动态变化趋势, 以期为促进区域农业生态安全动态变化研究提供理论基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

<sup>①</sup>基金项目: 甘肃省科技计划基金项目(0803RJZA094)、甘肃省教育厅导师项目(0801-11)和甘肃省级重点学科自然地理学项目资助。

\* 通讯作者(fmlpx@nwnu.edu.cn)

作者简介: 马亚兰(1983—), 女, 陕西宝鸡人, 硕士研究生, 主要从事干旱区域环境与绿洲建设方向研究。E-mail: mylxinfeng@163.com

金塔县位于酒泉市东北部,河西走廊中段北侧,巴丹吉林沙漠边缘,全县总面积1.88万km<sup>2</sup>,其中绿洲面积约0.17万km<sup>2</sup>,占总面积的9.0%。金塔绿洲是北大河下游的冲、洪积三角洲,北宽南窄,呈典型的倒三角形分布,其水源主要来自北大河下游的鸳鸯池水库。属温带大陆性气候,年均温8℃,年均降水约59.5 mm,年均蒸发量为2538.6 mm,风向以西北风为主。绿洲内地势平坦,海拔高差仅84 m,土壤以灌淤土、潮土(草甸土)、风沙土等土壤类型为主,盛产小麦、玉米、棉花、豆类和瓜果,是典型的农业绿洲。2007年全县总人口14.47万,其中农业人口10.89万,占总人口的75.30%。

## 1.2 金塔绿洲农业生态安全评价指标体系的构建

1.2.1 评价指标体系的构建原则 绿洲农业生态安全评价指标体系的建立应该充分体现绿洲农业生态安全现状与水平,指标应该能够衡量人类活动导致的农业生态环境变化的程度,表明产生农业生态环境问题的原因,显示人类社会克服农业生态安全危机与保障农业生态安全的能力。基于上述考虑,确定指标体系建立遵循的原则<sup>[14-15]</sup>: ①农业生态环境的安全性

可持续性原则; ②农业生态系统的完整性与可识别性原则; ③综合性与主导性原则; ④因子和标准选取的敏感性原则; ⑤可行性和可操作性原则。

1.2.2 评价指标体系及其指标构成 20世纪80年代末,世界经济合作和开发组织(OECD)与联合国环境规划署(UN-EP)共同提出环境指标的P-S-R概念模型,即压力-状态-响应模型<sup>[16]</sup>。在P-S-R框架内,某一类环境问题由3个不同但又相互联系的指标类型来表达: 压力指标反映人类活动给环境造成的负荷; 状态指标表征环境质量、自然资源与生态系统的状况; 响应指标表征人类面临环境问题所采取的对策与措施<sup>[17]</sup>。P-S-R概念模型从社会经济与生态环境有机统一的观点出发,表明了人与自然这个生态系统中各因素间的因果关系,更精确地反映了生态安全系统中自然、经济、社会及法制等因素之间的关系,为生态安全指标体系的构建提供了一种逻辑基础<sup>[6]</sup>。本文根据P-S-R概念模型,参考现有生态安全评价的方法,考虑到社会和经济活动对农业生态系统的深刻影响,构建了包含目标层-项目层-因素层-指标层的4层次的金塔绿洲农业生态安全评价指标体系(表1)。

表1 金塔绿洲农业生态安全评价指标体系及其权重

Table 1 Index system and weight of agro-ecosystem security assessment

目标层	项目层	因素层	指标层
农业生态安全评价指标体系	生态环境压力 (0.466 0)	人口压力 (0.103 2)	人口密度 (0.500 6)
			第一产业劳动力比重 (0.254 2)
		每个农村劳动力负担人数 (0.245 2)	
		资源压力 (0.107 6)	人均耕地面积 (0.576 3)
			耕地复种指数 (0.315 9)
			人均水资源量 (0.107 8)
		环境压力 (0.789 2)	化肥使用量 (0.071 3)
			农膜使用量 (0.757 0)
			农药使用量 (0.171 7)
			降水变率 (0.259 0)
	干燥度 (0.307 8)		
	生态环境状态 (0.171 6)	资源状态 (0.511 7)	单位耕地面积粮食产量 (0.433 2)
			自然灾害成灾率 (0.914 0)
		环境状态 (0.488 3)	农业生态体系统抗灾能力 (0.086 0)
			高中以上文化程度的从业人员比率 (0.192 8)
		生态环境响应 (0.362 4)	社会响应 (0.245 6)
植树造林面积(0.662 9)			
经济响应 (0.754 4)	农民人均收入(0.278 5)		
	单位耕地农业产值(0.344 8)		
		农业增加值(0.376 7)	

### 1.3 评价方法和步骤

**1.3.1 确定权重—熵值法** 在多指标综合评价中, 确定权重的方法主要有主观赋权法和客观赋权法。主观赋权法根据评价者主观上对各指标的重视程度来确定权重, 主要包括 Delphi 法、层次分析法等, 其优点是: 不需要具备样本数据, 专家仅凭对评价指标内涵与外延的理解即可作出判断, 因此, 使用范围广, 特别对一些定性的模糊指标, 仍可作出判断, 且在判断过程中可以吸纳更多的信息。缺点是: 在一定程度上存在主观性, 如果专家选择不当则降低可信度。客观赋权法所依赖的赋权原始信息来源于客观环境, 根据各指标的联系程度或所提供的信息量来决定指标的权重, 避免了人为因素带来的偏差, 主要有熵值法、模糊聚类分析法、复相关系数法等。熵值法的优点在于它最大程度地利用了评价方案的目标值或属性来计算各目标的权系数, 深刻地反映了指标信息熵的效用价值, 更能在方案比较中显示出指标的差异<sup>[18]</sup>。因此, 本文采用熵值法来确定指标体系的权重。

设有  $n$  个待评方案,  $m$  项评价指标, 形成原始指标矩阵  $X = (X_{ij})_{m \times n}$  ( $i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$ ), 对于某项指标  $X_i$ , 指标值  $X_{ij}$  的差距越大, 则该指标在综合评价中所起的作用就越大; 如果某项指标的指标值全相等, 则该指标在综合评价中不起作用。在信息论中信息熵表示系统的有序程度, 一个系统的有序程度越高, 则信息熵越大, 反之, 则信息熵越小。所以, 可以根据各项指标值的变异程度, 利用信息熵这个工具, 计算出各指标的权重, 为多指标综合评价提供依据。

用熵值法计算权值的步骤为: (1) 数据归一化, 计算第  $i$  项指标下第  $j$  个方案指标值的比重  $P_{ij}$ 。

$$P_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sum_{j=1}^n X_{ij}} \quad (1)$$

(2) 计算第  $i$  项指标的熵值  $E_i$ 。

$$E_i = -k \sum_{j=1}^n P_{ij} \ln P_{ij} \quad (2)$$

其中,  $k > 0$ ,  $\ln$  为自然对数,  $E_i \geq 0$ 。如果  $X_{ij}$  对于给定的  $i$  全部相等, 那么  $P_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sum_{j=1}^n X_{ij}} = \frac{1}{n}$ , 此时,  $E_i$  取最大

值, 即  $E_{\max} = -k \sum_{j=1}^n P_{ij} \ln P_{ij} = k \ln n$ 。若设  $k = \frac{1}{\ln n}$ , 于是有  $0 \leq E_i \leq 1$ 。

(3) 计算第  $i$  项指标的差异性系数  $G_i$ 。

$$G_i = 1 - E_i \quad (3)$$

对于给定的  $i$ ,  $X_{ij}$  的差异性越小, 则  $E_i$  越大; 当  $E_i$  全部相等时,  $E_i = E_{\max} = 1$ , 此时对于方案的比较, 指标  $X_{ij}$  毫无作用; 当各个方案的指标值相差越大时,  $E_i$  越小, 该项指标对于方案的比较, 作用越大。

(4) 定义权重  $\lambda_i$ 。

$$\lambda_i = \frac{G_i}{\sum_{i=1}^m G_i} \quad (4)$$

对于多层次的评价系统, 按照层次结构分析理论, 按比例确定对应于上层结构的权重<sup>[19]</sup>。在熵值法前面步骤中, 已经计算了各个指标的差异性系数  $G_i$ , 对下层结构各个指标的差异性系数求和, 得到各类指标的差异性系数之和, 记作  $G_k$ , 进而得到全部指标差异性系数的总和, 记作  $G = \sum G_k$ , 则相应类的权重为:  $W_k = G_k / G$ 。

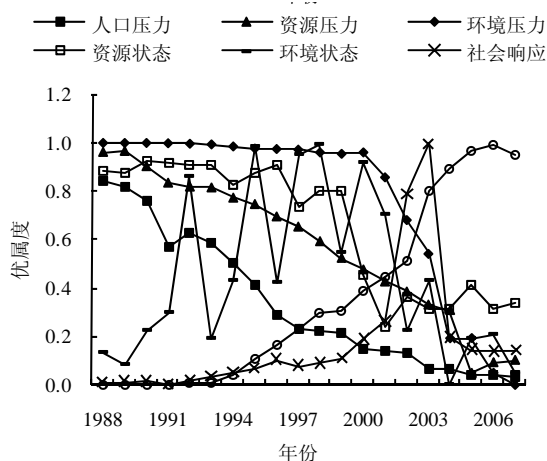
**1.3.2 多目标模糊优选模型** 多目标决策方法是从 20 世纪 70 年代中期发展起来的分析方法, 它从有限个待优选方案集中, 经过综合权衡各目标或属性, 对方案进行排序并选出最满意的方案。由于各目标间的不可公度性, 先将各目标特征量转化为隶属度, 之后赋予各目标权重, 最后作出综合评价<sup>[20]</sup>, 所得结果按方案优属度从大到小可以选择多层次系统的满意决策与决策的满意排序, 详细计算过程可参阅文献[21]。

本文将不同年份看作农业生态安全评价的不同方案, 采用多层次、多目标模糊优选模型对金塔绿洲 1988—2007 年农业生态安全进行定量评价和比较分析, 寻求 20 年来金塔绿洲农业生态安全的大体趋势。计算过程从指标层开始算起, 先利用熵值法计算指标层各评价指标的权重 (表 1), 再利用各指标权重结合多层次多目标模糊优选模型计算因素层的决策优属度, 依此类推, 得出各个层次的决策优属度。某一层次的决策优属度代表 20 年间该层次农业生态安全状况隶属于优的程度, 决策优属度越大, 表明农业生态安全状况越优。

## 2 结果与讨论

### 2.1 评价结果分析

根据决策优属度计算结果得出 1988—2007 年金塔绿洲农业生态安全各个层次决策优属度变化情况 (图 1)。可以看出, 自 1988 年以来, 金塔绿洲农业生态安全的总体状况: 20 年来农业生态安全总体水平都很低, 决策优属度小, 并且呈下降趋势, 说明农业生态环境正逐步恶化, 越来越不利于人类的生存和发展。



错误！链接无效。

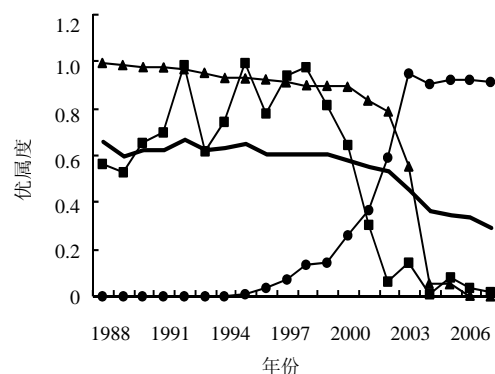


图 1 金塔绿洲农业生态安全各层次决策优属度动态变化

Fig. 1 Dynamic changes of decision-making membership degrees at all levels

从生态环境压力来看，21 世纪以来决策优属度迅速下降，农业生态环境面临的压力在迅速增大，这样必使原本脆弱的生态环境在遇到突发事件时变得很不安全。具体看来：20 年来，人口压力决策优属度在迅速减少，随着绿洲人口的不断增加，农业生态系统面临的压力不断加大。资源压力决策优属度也处于迅速下降趋势，随着绿洲农业的不断发展，其农业资源不断消耗，正变得不利于农业的可持续发展。环境压力优属度进入 21 世纪以后迅速下降，主要是由于农膜、农药的大量使用造成的，农业化学的发展给环境带来了严重威胁。

从生态环境状态来看，1992—1998 年决策优属度波动较大，主要是由于降水变率、干燥度、尤其是自然灾害成灾率都发生很大波动，说明干旱区绿洲农业的发展本身受制于其恶劣的自然条件，降水、气温等自然条件的变化对农业发展产生重大影响。

从生态环境响应来看，决策优属度呈上升趋势，一方面随着绿洲经济发展、人民生活水平提高，人们不断重视对教育和农业发展的投入；另一方面，随着农业资源不断开发利用，农业经济发展的同时，相继出现一系列生态环境恶化现象，人们逐渐认识到保护生态环境的重要性，并采取有效措施防止绿洲生态环境继续恶化，突出表现在植树造林面积不断增加。

总体看来，21 世纪初是金塔绿洲农业生态环境各层次变化的转折期，人口压力、资源压力、环境压力、资源状态和环境状态决策优属度从 21 世纪初都迅速下降，与此同时，社会响应、经济响应决策优属度迅速增加，反映了人们保护生态环境的被动性，只是在

出现了一系列问题之后才开始重视保护，使生态环境难免继续恶化，表现在尽管生态环境响应优属度在迅速增高，而绿洲农业生态安全总体决策优属度仍然在降低。

## 2.2 保护金塔绿洲农业生态环境的对策和建议

农业生态安全评价的根本目的是为农业可持续发展的资源保护、生态环境建设提供决策参考。根据上述评价结果，结合金塔绿洲实际，提出以下生态安全建设途径和对策：

(1) 尊重自然规律，推广农业污染减控技术，改善农业生态环境。金塔绿洲气候干旱，水资源短缺，农业发展受制于其恶劣的自然条件。因此，种植农作物要因地制宜，在发展农业的同时要加强农田基本建设，保护耕地，积极控制和降低农药、化肥、农膜使用量，有效防止和治理农业污染，并且大力推广“秸秆还田工程”、推广农业废弃物资源化技术，改善农业生态环境。

(2) 提高水资源利用效率，缓解水资源供需矛盾。干旱区水环境的变化直接影响绿洲内其他自然因素发生变化。因此，加强水利建设和水资源管理、发展节水灌溉农业，减少水资源浪费，提高水资源利用效率对绿洲农业的可持续发展具有重要意义，同时也要合理配置生态用水，确保绿洲生态安全。

(3) 加大科技投入，推进科技进步与创新。实现可持续发展、保障生态安全，需要强有力的科技支撑，因此要抓好农业种植科技示范区建设，促进农牧业技术推广应用。

(4) 严格控制人口增长，努力提高人口素质，提

高环境保护意识。绿洲人口增长过快、数量过多,就会加重人口与绿洲水土资源、生态环境以及社会经济之间的矛盾。因此,在生态原本十分脆弱的绿洲区,必须严格控制人口数量,同时采取多种措施提高区域人口素质,加强生态环境宣传教育、生态警示教育,树立国民的可持续发展观,提高其环境保护意识。

### 3 结论

(1) 1988—2007 年 20 年来,金塔绿洲农业生态安全总体水平都很低,决策优属度小,农业生态安全问题严重,农业生态环境正在不断恶化,严重威胁着绿洲农业的可持续发展。

(2) 自然环境恶劣、干旱少雨、自然灾害频繁和人口迅速增长是导致金塔绿洲生态环境恶化的主要原因。必须尽快采取积极有效对策以缓解和防止这一趋势,逐步改善金塔绿洲生态环境。

### 参考文献:

- [1] 刘红,王慧,张兴卫.生态安全评价研究述评.生态学杂志,2006,25(1):74-78
- [2] 左伟,周惠珍,王桥,李硕,张桂兰.区域生态安全综合评价与制图—以重庆市忠县为例.土壤学报,2004,41(2):203-209
- [3] 彭立,苏春江,徐云,满正闯.模糊模式识别模型在流域生态安全评价中的应用.四川林业科技,2007,28(5):1-5
- [4] 赵爱华.黑龙江省农业生态安全评价研究(硕士学位论文).哈尔滨:东北农业大学,2007:9-10
- [5] 许联芳,王克林,刘新平,李晓青,周上游.洞庭湖区农业生态安全评价.水土保持学报,2006,20(2):183-187
- [6] 肖薇薇,谢永生,王继军.黄土丘陵区农业生态安全评价指标体系的建立.水土保持通报,2007,27(2):146-149
- [7] 郭明,肖笃宁,李新.黑河流域酒泉绿洲景观生态安全格局分析.生态学报,2006,26(2):458-466
- [8] 高长波,陈新庚,韦朝海,彭晓春.广东省生态安全状态及趋势定量评价.生态学报,2006,26(7):2191-2197
- [9] 曹新向.基于生态足迹分析的旅游地生态安全评价研究—以开封市为例.中国人口资源与环境,2006,16(2):70-75
- [10] 任志远,黄青,李晶.陕西省生态安全及空间差异定量分析.地理学报,2005,60(4):597-606
- [11] 李月臣.中国北方 13 省市区生态安全动态变化分析.地理研究,2008,27(5):1150-1161
- [12] 孙翔,朱晓东,李杨帆.港湾快速城市化地区景观生态安全评价—以厦门市为例.生态学报,2008,28(8):3563-3673
- [13] 刘明华,董贵华.RS 和 GIS 支持下的秦皇岛地区生态系统健康评价.地理研究,2006,25(5):930-938
- [14] 杜巧玲,许学工,刘文政.黑河中下游绿洲生态安全评价.生态学报,2004,24(9):1916-1922
- [15] 王洪翠,吴承祯,洪伟,何进东,林琴琴,王萍兰,陈灿.P-S-R 指标体系模型在武夷山风景区生态安全评价中的应用.安全与环境学报,2003,6(3):123-126
- [16] TONG C. Review on environmental indicator research. Research On Environmental Science, 2000, 13(4): 53-55
- [17] 左伟,周惠珍,王桥.区域生态安全评价指标体系选取的概念框架研究.土壤,2003,35(1):2-7
- [18] 张惠峨.河套灌区五原绿洲农业系统可持续发展的定量评估(硕士学位论文).兰州:西北师范大学,2004:33-35
- [19] 罗永革,蒲春玲.基于改进熵值法对城市土地集约利用的评价.现代商贸工业,2008(7):105-106
- [20] 崔媪.金华市水安全评价(硕士学位论文).浙江金华:浙江师范大学,2005:54-57
- [21] 韩宇平,阮本清,解建仓.多层次多目标模糊优选模型在水安全评价中的应用.资源科学,2003,25(4):37-42

## **Dynamic Evaluation of Agricultural Eco-Environmental Security in Jinta Oasis During 1988-2007 and Countermeasures of Its Eco-Environment Protection**

MA Ya-lan, LIU Pu-xing, WANG Feng-ye

*(Geography and Environment Science College of Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China)*

**Abstract:** The article aims to introduce the application of the P-S-R model and Multi-objective and multilevel fuzzy optimization model to evaluate the eco-environmental security of Jinta Oasis agriculture. Based on ecological security theory and P-S-R indicator system model, a 4-level indicator system for Jinta Oasis agriculture was established, which includes the pressure of eco-environmental, the state of eco-environmental and the response of eco-environmental. On this basis, the fuzzy optimization model for evaluation of Jinta Oasis agriculture eco-environmental security was established upon the multi-objective and multilevel fuzzy optimization theory, then, its agriculture eco-environmental security from 1988-2007 was evaluated, the results showed that the general level of eco-environmental security is poor, eco-environmental deteriorates continuously, the serious situation of eco-environmental security is becoming more unfavorable for the existence and development of human being.

**Key words:** Jinta Oasis, Eco-environmental security, P-S-R model, Multi-objective and multilevel, Fuzzy optimization model