

# 基于 AHP-FCE 模型的高标准农田建设项目实施后效益评价研究

王海玲<sup>1,2</sup>, 周瑜<sup>1,2</sup>, 赖奇<sup>1</sup> (1. 东华理工大学测绘工程学院, 江西南昌 330013; 2. 江西省数字国土重点实验室, 江西南昌 330013)

**摘要** 为了更完善、更科学地对高标准农田建设项目进行评价, 以高标准农田建设示范县——万年县为项目样区, 选取新增耕地率、高标准建设面积完成率等 15 项指标, 构建了高标准基本农田建设后综合效应评价指标体系, 并将层次分析法和模糊综合评判法 (FCE) 模型应用于评价。对项目区高标准农田实施前后的经济效益、社会效益、生态效益进行了评价研究。研究表明, 项目实施使得各效益均有明显提高, 但经济效益还有很大的提升空间, 主要是由于项目的投入产出比变化率一般, 影响了项目总体的经济效益。

**关键词** 高标准农田; 层次分析法; 模糊综合评价法; 效益评价

中图分类号 S28 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2019)08-0198-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2019.08.052



开放科学 (资源服务) 标识码 (OSID):

## Benefit Evaluation of High-standard Farmland Construction Project after Implementation Based on AHP-FCE Model

WANG Hai-ling<sup>1,2</sup>, ZHOU Yu<sup>1,2</sup>, LAI Qi<sup>1</sup> (1. Faculty of Geomatics, East China University of Technology, Nanchang, Jiangxi 330013; 2. Key Laboratory of Digital Land Research of Jiangxi Province, Nanchang, Jiangxi 330013)

**Abstract** In order to scientifically evaluate high-standard farmland construction projects, the high-standard farmland construction demonstration county—Wannian County was used as the project sample area, 15 indicators including new cultivated land rate and high-standard construction area completion rate were selected, a comprehensive evaluation index system for high-standard basic farmland construction was constructed. Analytic hierarchy process (AHP) and fuzzy comprehensive evaluation (FCE) models were applied in the evaluation. The economic, social and ecological benefits before and after the implementation of high-standard farmland project in the project area were evaluated. The research showed that the implementation of the project had significantly improved the benefits, but the economic benefits still could be greatly improved, mainly due to the general rate of change in the input-output ratio of the project, which affected the overall economic benefits of the project.

**Key words** High-standard farmland; Analytic hierarchy process (AHP); Fuzzy comprehensive evaluation; Benefit evaluation

在我国工业化和城镇化进程不断加速的背景下, 越来越多的土地资源被划为建设用地, 耕地与基本农田非市场价值被严重忽视, 农民对耕地的重视度也日益下降<sup>[1-3]</sup>。为实现我国耕地与基本农田数量总体稳定、质量稳步提高, 土地整治项目的施行与高标准农田建设工作需要加快速度在农村展开。我国的耕地面积近 15 年来已经减少了约 666.7 万  $\text{hm}^2$ , 而目前我国存在许多中、低产田, 中、低产田具有很大的粮食增产潜力, 通过高标准农田的建设, 可以大大提高耕地质量和农田的粮食生产水平, 从而提升耕地的经济效益, 提高农民的人均纯收入。“十二五”时期, 我国即将完成 2 666.7 万  $\text{hm}^2$  旱涝保收的高标准农田的建设, 到 2020 年我国争取使其数量达到 5 333.3 万  $\text{hm}^2$ <sup>[2-9]</sup>。建成后的高标准基本农田有效管理保护和高效利用了耕地资源, 对于农民保障粮食安全、改善农业生产条件、提高耕地综合生产力以及乡村战略的实施具有重要意义。由此可见, 对高标准农田建设项目的效益进行评价具有积极的意义, 不仅要对其经济、社会和生态 3 个方面的效益进行评价, 而且要对其进行综合效益评价。

## 1 研究区概况与数据来源

**1.1 研究区概况** 研究区位于万年县梓埠镇, 其地理坐标为 116°46'48"~117°15'10"E, 28°30'15"~28°54'5"N, 东西宽 47 km, 南北长 43 km。万年县梓埠镇多以丘陵为主, 辅以滨湖平原, 耕地质量良好, 农村劳动力资源非常丰富, 依山傍水, 植被良好, 雨量充足, 地表水、地下水资源丰富, 适合农作物的生长, 处于乐

安河中下游, 万年县西北部位于鄱、余、万三县交界, 全镇总面积 8 960  $\text{hm}^2$ , 其中耕地面积 3 574.74  $\text{hm}^2$ , 占土地总面积的 39.90%; 林地面积 1 881.90  $\text{hm}^2$ , 占土地总面积的 21.00%。

**1.2 数据来源** 研究所需的基础数据有项目区的总人口、土地总面积、人均收入和土地利用现状, 来自万年县 2016 年土地利用变更数据、《万年县统计年鉴》(2014 年)、《万年县土地利用总体规划 (2006—2020 年)》、万年县梓埠镇高标准农田建设项目 (二标段二期) 1:2 000 的现状图、规划图、设计报告和竣工验收图。

## 2 研究方法

### 2.1 高标准农田建设项目综合成效评价体系的建立

**2.1.1 指标选取的方法。** 高标准农田建设项目的综合指标主要通过 3 种方法选取: ①定性分析方法; ②定量分析方法; ③定性定量分析结合法。影响高标准农田项目建设的因素众多, 所以在指标的选取上首先查阅了大量文献, 得到许多土地整理项目建设绩效的各项同类指标, 进行统一规划整理; 在此基础上, 然后通过德尔菲法, 参考专家评审项目单位自评评价工作报告, 对绩效评价相关资料进行核查, 并根据类型全、易测的原则, 随机抽取单项工程实地查看其实施质量和效果后, 选取指标; 最后, 按照高标准农田项目建设特点和指标选择的科学性、系统性和可操作性原则, 选择能够更准确评估高标准农田项目绩效评估的指标, 并确定最终评估指标<sup>[9-12]</sup>。

**2.1.2 指标体系框架及内容。** 根据研究区的实际情况, 以高标准农田建设的效益评价为准则, 构建合理的效益评价指标体系。在此基础上采用层次分析法 (AHP) 和模糊综合评价法 (FCE) 进行指标评价体系的构建, 形成了指标层、准则层和目标层 3 个层次的指标体系 (表 1)。准则层是由经济效

**基金项目** 江西省数字国土重点实验室基金项目 (DLLJ201613); 江西省社会科学“十三五”规划项目 (18SH08)。

**作者简介** 王海玲 (1992—), 男, 江西吉安人, 硕士研究生, 研究方向: 土地利用规划与评价。

**收稿日期** 2018-12-11

益、社会效益和生态效益构成。其中,经济效益主要是体现项目的盈利和清偿能力以及对国民经济的贡献度,由此来衡量项目的可行程度;社会效益是项目对社会需求的满足程度和项目对其产生的影响;生态效益是通过项目构建新的生态系统不仅不会对原来的生态系统产生破坏性,反而使生态系统的功能得到增强。

指标层共选取单位面积粮食生产、项目单位面积投资、静态投资回收期、农民新增人均存收入、静态投资收益率 5

个经济效益指标,新增耕地率、土地利用增加值、新增耕地可供养人数、田间道路通达率、公众满意度、原有设施再利用率 6 个社会效益指标,土地平整率、土地垦殖率、新增灌溉和节水率、植被覆盖率 4 个指标生态效益指标,所有指标构成高标准农田建设效益评价指标体系<sup>[6,9,12-15]</sup>。根据此前内容、实地调查结果、结合项目区的实际情况,建立了高标准农田建设效益评价体系框架以及高标准农田建设效益评价体系。

表 1 高标准农田综合效益评价指标体系

Table 1 High-standard farmland comprehensive benefit evaluation index system

目标层 Target layer	准则层 Criteria layer	指标层 Indicator layer	指标说明 Indicator's description	指标性质 Characteristics of indicators
高标准农田效益 High-standard farmland benefits(A)	经济效益(B1)	单位面积粮食产量(C1)	新增粮食产能总量/项目区总面积	正向
		项目单位面积投资(C2)	项目总投资额/项目区总面积	负向
		农民新增人均纯收入(C3)	项目工程完工后数据统计	正向
		静态投资回收期(C4)	项目总投资额/项目年净收入	负向
		投入产出变化率(C5)	整理前后耕地年投入成本/整理前后耕地年总产值	正向
	社会效益(B2)	高标准建设面积完成率(C6)	项目实施前后项目区已利用面积差值/项目建设规模	正向
		新增耕地率(C7)	新增耕地总量/项目区总面积	正向
		公众满意度(C8)	项目区调查满意人数/项目区总人数	正向
		原有设施在利用率(C9)	原有设施修复后再利用的工程量/整个项目建设工程量	正向
		新增耕地可供养人数(C10)	新增耕地面积/项目区人均所需耕地面积	正向
	生态效益(B3)	田间道路通达率(C11)	专家打分综合评价	正向
		新增灌溉和节水率(C12)	建设前后灌溉率和节水率的差值	正向
		土地平整率(C13)	土地平整面积/项目区总面积	正向
		土地垦殖率(C14)	耕地面积/项目区总面积	正向
		植被覆盖率(C15)	耕地、林地、园地、草地面积之和/项目区总面积	正向

## 2.2 评价指标权重的确定

2.2.1 评价指标权重的确定方法。采用模糊综合评价法(FCE)、德尔菲法和层次分析法(AHP)来确定指标权重。

(1) 构造层次分析模型。构建包含目标层、准则层和方案层的层次分析结构模型。

(2) 构造判断矩阵及求解指标权重。构造判断矩阵,求权重向量。为了使判断矩阵中各要素之间的相互重要性能够更准确地定量显示,采用 1~9 标度法:1 表示 2 个元素相比具有同样重要性;3 表示 2 个元素相比前者比后者稍重要;5 表示 2 个元素相比前者比后者明显重要;7 表示 2 个元素相比前者比后者极其重要;9 表示 2 个元素相比前者比后者强烈重要;2、4、6、8 表示上述相邻判断的中间值。

排列矩阵时,比较因子重要程度相同记为 1:1,非常重要记为 9:1,也可取中间数值 6:1,两两比较,填入数值,构造矩阵  $A=(f_{ij}) \times n \times n$ 。判断矩阵的一般形式如表 2 所示。

表 2 判断矩阵的一般形式

Table 2 The general form of judgment matrix

B	C1	C2	Cn
C1	C11	C12	C1n
C2	C21	C22	C2n
⋮	⋮	⋮	⋮
Cn	Cn1	Cn2	Cnn

采用和积法计算最大特征向量。先将判断矩阵每一列正规化,然后按行相加,对向量  $W=[W_1, W_2, W_3, \dots, W_n]^T$  正规化,所得到的  $W=[W_1, W_2, W_3, \dots, W_n]^T$  即为所求最大特征向量。按照以下公式计算判断矩阵最大特征根  $\lambda_{\max}$ 。

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{nW_i} \quad (1)$$

(3) 层次排序及判断矩阵的一致性检验。按照以下公式计算出相对于目标层而言各评价指标的权值:  $W=W_{ij}W_{qj}$ 。

检验判断矩阵的一致性,需计算相对一致性指标 CR。当  $CR < 0.1$  时,判断矩阵基本符合完全一致性条件;当  $CR > 0.1$  时则判断矩阵不符合完全一致性条件,需要对判断矩阵进行调整和修正,直至  $CR < 0.1$  满足一致性条件为止。

$$CR \text{ 的计算公式: } CR = \frac{CI}{RI} \quad (2)$$

CI 为判断矩阵一致性指标,计算公式:  $CI = \frac{(\lambda_{\max} - n)}{(n-1)}$ 。

当  $n$  为 1、2、3、4、5、6、7、8、9 时 CI 分别为 0、0、0.52、0.89、1.12、1.26、1.36、1.41 和 1.46。

2.2.2 评价指标权重的确定。当判断矩阵  $CR \leq 0.1$  视为通过一致性检查后,通过计算得出准则层的经济效益、社会效益和生态效益,一致性结果分别为 0.088 0、0.078 6 和 0.028 4,通过一致性检验。运用相同的方法计算指标层的相对权重和综合权重,结果如表 3 所示。

表3 高标准农田建设效益评价指标权重

Table 3 The benefit evaluation index's weight of high-standard farmland construction

目标层 Target layer	权重 Weight	准则层 Criteria layer	指标层 Indicator layer	指标值 Indicator value	相对权重 Relative weight	综合权重 Comprehensive weight
高标准农田效益 High-standard farmland benefits (A)	0.560 8	经济效益(B1)	单位面积粮食产量(C1) // kg/hm <sup>2</sup>	339.30	0.121 4	0.068 1
			项目单位面积投资(C2) // 万元/hm <sup>2</sup>	3.00	0.146 0	0.081 9
			农民新增人均纯收入(C3) // 万元	820.00	0.241 4	0.135 4
			静态投资回收期(C4) // a	6.08	0.345 9	0.194 0
			投入产出比变化率(C5) // %	12.20	0.145 3	0.081 5
	0.236 2	社会效益(B2)	高标建设面积完成率(C6) // %	22.40	0.150 5	0.035 5
			新增耕地率(C7) // %	11.20	0.113 0	0.026 7
			公众满意度(C8) // %	82.60	0.338 7	0.080 0
			原有设施在利用率(C9) // %	60.66	0.081 0	0.019 1
			新增耕地可供养人数(C10) // 人	32.00	0.188 2	0.044 5
	0.203 0	生态效益(B3)	田间道路通达率(C11) // %	78.62	0.128 6	0.030 4
			新增灌溉和节水率(C12) // %	30.60	0.122 6	0.024 9
			土地平整率(C13) // %	88.20	0.282 6	0.057 4
			土地垦殖率(C14) // %	76.80	0.192 6	0.039 1
			植被覆盖率(C15) // %	83.80	0.402 2	0.081 6

### 2.3 模糊综合评价

(1) 结合前面构建的指标体系,在聚类分析极差标准化处理的基础上,可得出一级评价指标  $A = \{B1, B2, B3\}$ , 分别对应经济效益评价、社会效益评价、生态效益评价,二级指标集分别为  $B1 = \{C11, C12, C13, C14, C15\}$ ,  $B2 = \{C21, C22, C23, C24, C25, C26\}$ ,  $B3 = \{C31, C32, C33, C34\}$ 。评价指标集确定后开始划分效益等级,将效益等级划分为优、良、中、差4个等级,对应评价集为  $V = \{\text{优, 良, 中, 差}\}$ 。

(2) 建立权重集。  $A = \{B1, B2, B3\} = (0.560 8, 0.236 2, 0.2030)$ ,  $B1 = \{C11, C12, C13, C14, C15\} = (0.121 4, 0.146 0,$

$0.241 4, 0.345 9, 0.145 3)$ ,  $B2 = \{C21, C22, C23, C24, C25, C26\} = (0.150 5, 0.113 0, 0.338 7, 0.081 0, 0.188 2, 0.128 6)$ ,  $B3 = \{C31, C32, C33, C34\} = (0.122 6, 0.282 6, 0.202 6, 0.402 2)$ 。

(3) 构建隶属矩阵。根据收集的项目区的基础数据,运用数学方法,对所选取指标层的15个评价指标进行定量计算,以高标准农田建设效益评价指标权重表中的指标值作为重要的参考依据,邀请相关专家,对各项实施目标的实现程度进行评判,构建高标准农田建设前后的各评价指标隶属度矩阵(表4)。

表4 评价因子隶属度

Table 4 The membership of evaluation factor

序号 No.	评价对象 Evaluation objects	高标准农田项目实施前 Before implementing high- standard farmland project				高标准农田项目实施后 After implementing high- standard farmland project			
		优 Excellent	良 Good	中 Average	差 Bad	优 Excellent	良 Good	中 Average	差 Bad
1	单位面积粮食生产(C1)	0	0	0.1	0.9	0.2	0.8	0	0
2	项目单位面积投资(C2)	0	0	0.2	0.8	0.1	0.7	0.2	0
3	农民新增人均纯收入(C3)	0	0	0.4	0.6	0.1	0.9	0	0
4	静态投资回收期(C4)	0	0	0.3	0.7	0	0.8	0.2	0
5	投入产出比变化率(C5)	0	0	0.2	0.8	0	0.6	0.4	0
6	高标建设面积完成率(C6)	0	0	0.4	0.6	0	0.9	0.1	0
7	新增耕地率(C7)	0	0	0.5	0.5	0	0.8	0.2	0
8	公众满意度(C8)	0	0	0.4	0.6	0.2	0.8	0	0
9	原有设施在利用率(C9)	0	0	0.1	0.9	0.8	0.2	0	0
10	新增耕地可供养人数(C10)	0	0	0.3	0.7	0	0.7	0.3	0
11	田间道路通达率(C11)	0	0	0.4	0.6	0.6	0.4	0	0
12	新增灌溉和节水率(C12)	0	0	0.3	0.7	0.1	0.6	0.3	0
13	土地平整率(C13)	0	0	0.4	0.6	0.8	0.2	0	0
14	土地垦殖率(C14)	0	0	0.7	0.3	0.2	0.5	0.3	0
15	植被覆盖率(C15)	0	0	0.6	0.4	0.6	0.4	0	0

(4) 整治前后各效益模糊综合评价。模糊综合评价的基 本模型:

$$B=A \times R = [a_1, a_2, \Lambda, a_n] \times \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \Lambda & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \Lambda & r_{2n} \\ \Lambda & \Lambda & \Lambda & M \\ r_{n1} & r_{n2} & \Lambda & r_{nn} \end{bmatrix}$$

式中,  $A$  表示各评价指标的权重;  $R$  表示各评价指标的隶属度矩阵。

高标准农田建设项目实施前后的经济效益  $B1 = [0, 0, 0.2707, 0.7292]$ ,  $B1' = [0.0630, 0.7805, 0.1565, 0]$ 。依据最大隶属度原则, 可知研究区的高标准农田建设项目实施前的经济效益为“差”, 实施后的经济效益为“良”。

社会效益  $B2 = [0, 0, 0.0368, 0.6318]$ ,  $B2' = [0.2097, 0.6962, 0.0941, 0]$ , 依据最大隶属度原则, 项目实施前的社会效益为“差”, 实施后的社会效益为“良”。

生态效益  $B3 = [0, 0, 0.0456, 0.5538]$ ,  $B3' = [0.5202, 0.3923, 0.1450, 0]$ , 依据最大隶属度原则, 项目实施前的生态效益为“差”, 实施后的生态效益为“优”。

(5) 模糊评价结果的分值测算。将分值集记作  $T = [100, 80, 60, 40]$ , 则各指标的分值计算公式为  $S = B \times T$ , 项目实施前后的经济效益分值分别为  $S = [0, 0, 0.2707, 0.7292] \times$

$$\begin{bmatrix} 100 \\ 80 \\ 60 \\ 40 \end{bmatrix} = 45.41 \text{ (分)}, S' = [0.0630, 0.7805, 0.1565, 0] \times \begin{bmatrix} 100 \\ 80 \\ 60 \\ 40 \end{bmatrix} = 78.13 \text{ (分)}。$$

同理, 可以计算出项目实施前后的社会效益分别为 47.36 和 82.31, 实施前后的生态效益分别为 49.52 和 92.10。标准农田项目实施前后各效益模糊综合评价结果见图 1。

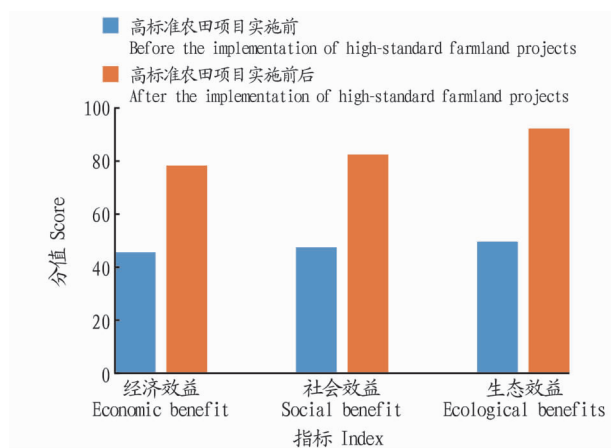


图 1 高标准农田项目实施前后各效益模糊综合评价结果

Fig.1 Fuzzy comprehensive evaluation results of various kinds of benefits before and after the implementation of high-standard farmland projects

### 3 评价结果

**3.1 经济效益** 该地区在高标准农田建设项目实施后, 经济

效益由“差”升至“良”, 模糊评价的分值也由 45.51 分提高到 78.13 分, 提高了 71.68%, 说明实施该项目后农业生产结构得以调整, 农业基础设施完善化, 农业产业化规模化。农民的人均纯收入也显著提高, 农业生产也愈发便利, 农用地的经济效益也显著提高, 项目区的经济发展效益也有一定程度提升。

**3.2 社会效益** 该地区在高标准农田建设项目实施后, 社会效益由“差”升至“良”, 模糊评价的分值也由 47.36 分提高到 82.31 分, 提高了 73.80%, 说明项目建设后耕地质量和生产能力得到提高。通过问卷调查反映的结果可知, 居民满意程度达到 76.60 分以上。

**3.3 生态效益** 该地区在高标准农田建设项目实施后, 社会效益由“差”升至“优”, 模糊评价的分值也由 49.52 分提高到 92.10 分, 提高了 86.00%, 项目实施后项目区绿化程度得到提高, 水土保持能力增强。经过土地培肥, 项目区的耕地质量明显提高, 土壤微生物的数量显著增加。

### 4 结论

综合运用层次分析法与模糊综合评价法建立的 AHP-PCE 模型对万年县梓埠镇的高标准农田建设项目进行效益评价研究, 得出了以下结论:

(1) 项目区项目实施后的评价分值表明, 研究样本项目区高标准农田建设项目效果明显, 耕地质量和农田单位面积产量显著提升。项目区的“稻鱼”和“稻虾”项目更是最大化地利用了耕地资源, 也在一定程度上增加了农民的收入, 但耕作层的剥离以及土方的回填工程也会破坏项目区的生态平衡。

(2) 项目区通过高标准农田建设, 取得了良好的社会效益和社会影响。但在项目区实际调查的过程中发现村民的参与度不高, 部分规划设计与当地实际情况不符, 村民反映的意见和问题没有得到响应和重视。项目的实施过程中也因为邻村之间的矛盾导致了一些地区的道路通达率达不到建设要求, 土地平整过程中, 大量土方的开挖也在一定程度上造成了项目区的水土流失, 对农民生产极为不利。

(3) 评价结果表明, 高标准农田建设项目的各项效益都有不同程度提高。项目实施后, 不仅改善了项目区的生态环境, 而且很大程度上提高了农业生产条件以及农民的收入水平。

### 参考文献

- [1] 陈天才, 廖和平, 李涛, 等. 高标准基本农田建设空间布局和时序安排研究: 以重庆市渝北区统景镇为例[J]. 中国农学通报, 2015, 31(1): 191-196.
- [2] 姜雨辰. 高标准基本农田建设效益评价[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2015.
- [3] 李岩, 欧名豪, 赵庚星. 土地整理的区域生态环境影响评价研究[J]. 生态环境学报, 2010, 19(2): 398-403.
- [4] 蒋贵国. 土地整理项目影响后评价研究: 以射洪县为例[J]. 西南农业学报, 2011, 24(3): 1029-1033.
- [5] 罗文斌, 吴次芳. 农村土地整理项目绩效评价及影响因素定量分析[J]. 农业工程学报, 2014, 30(22): 273-281.
- [6] 赵俊锐, 朱道林. 基于能值分析的土地开发整理后效益评价[J]. 农业工程学报, 2010, 26(10): 337-344.
- [7] 杨庆媛, 张占录, 杨华均. 土地开发整理项目社会影响评价方法探讨[J]. 中国土地科学, 2006, 20(3): 44-49.

随着人类对地球陆地表面的改造不断加剧,对于土地利用/覆被变化所引起的水资源变化也受到学者的重视<sup>[27]</sup>。土地利用变化很大程度上改变了辐射、云、地表反射率等,进而影响陆-气之间的能量、水分交换和水循环过程,是水资源变化的重要影响因素<sup>[28]</sup>。该研究仅对不同气候因子对低云量的影响进行了分析,而缺少对人类活动影响的分析,在今后的研究中,应当从自然因素和人为因素的共同作用下分析区域云量的变化。

#### 4 结论

该研究通过对近 54 年博州地区低云量的变化趋势分析,以及其他气候因子对该区域低云量的影响分析,得出以下结论:

(1) 近 54 年博州地区低云量呈明显上升趋势,上升幅度约为 1.2%/10 a,多年平均值为 22.57%,且序列的正持续性较强;夏季的低云量最低(20.47%),春季最高(24.17%),4 个季节均为正的持续性,春季的正持续性较弱,冬季的正持续性最强。

(2) 全年低云量 20 世纪 60—70 年代有一个小的减小趋势,但 80 年代开始转为上升趋势,在 2001 年发生突变性增加;春季和夏季低云量均值不存在突变性增加,秋季和冬季低云量分别于 1999 和 1989 年发生突变性增加。

(3) 低云量演变过程中存在着 8~9 年和 25~26 年尺度的周期变化规律;8 年的时间尺度是低云量变化的第 1 主周期,14 年的时间尺度为低云量变化的第 2 周期。

(4) 相对湿度对低云量具有最高的相对贡献率,达 51.3%,其次为辐射量,达 28.0%,而降水量对低云量的相对贡献率最小,仅为 6.1%;低云量对于相对湿度最为敏感,敏感系数为-8.15,而对风速最不敏感,敏感系数仅为-0.46;降水量与低云量的相关性最高,相关系数达 0.67 ( $P < 0.01$ ),平均气温的相关系数最低,仅为 0.29 ( $P < 0.05$ )。

#### 参考文献

[1] RAMANATHAN V, CESS R D, HARRISON E F, et al. Cloud-radiative forcing and climate: Results from the earth radiation budget experiment [J]. *Science*, 1989, 243(4887): 57-63.  
 [2] SUN B, GROISMAN P Y. Cloudiness variations over the former Soviet Union [J]. *International journal of climatology*, 2000, 20: 1097-1111.  
 [3] 丁守国, 赵春生, 石广玉, 等. 近 20 年全球总云量变化趋势分析 [J]. *应用气象学报*, 2005, 16(5): 670-676.

[4] 徐兴奎. 中国区域总云量和低云量分布变化 [J]. *气象*, 2012, 38(1): 90-95.  
 [5] 丁生祥, 郭连云. 近 50 年三江源地区低云量变化特征及与其他气候因子的关系 [J]. *中国农学通报*, 2016, 32(13): 141-146.  
 [6] 封彩云, 王式功, 尚可政, 等. 中国北方水汽与云和降水的关系 [J]. *兰州大学学报(自然科学版)*, 2009, 45(4): 30-36.  
 [7] 张亚洲. 南海及周边地区云量分布及低云量与南海海温的关系 [J]. *气象科学*, 2012, 32(3): 260-268.  
 [8] 敖泽建, 王殿国, 王成福. 甘南高原低云量的变化趋势分析 [J]. *甘肃科技*, 2015, 31(5): 22-24.  
 [9] 牛晓瑞, 王淑瑜. 华北地区低云量的变化特征及其影响因子分析 [J]. *高原气象*, 2012, 31(5): 1340-1347.  
 [10] 阿丽亚·拜都热拉, 玉米提·哈力克, 陈勇航, 等. 基于低层云的新疆城市区域人工增水潜力分析 [J]. *水土保持研究*, 2013, 20(3): 278-282.  
 [11] 秦鹏, 刘强. 艾比河流域潜在蒸散量时空变化特征 [J]. *中国农村水利水电*, 2017(6): 111-117.  
 [12] 亢庆, 张增祥, 王长有, 等. 艾比湖绿洲农业区土地利用动态与盐碱化影响的遥感应用研究 [J]. *农业工程学报*, 2006, 22(2): 73-78.  
 [13] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术 [M]. 北京: 气象出版社, 2007.  
 [14] 雷江群, 刘登峰, 黄强. 渭河流域气候变化及干湿状况时空分布分析 [J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2015, 43(3): 175-181.  
 [15] 李颖, 孜比布拉·司马义, 董煜, 等. 艾比湖绿洲地区降水变化规律及突变分析 [J]. *节水灌溉*, 2017(10): 41-45.  
 [16] 成鹏. 乌鲁木齐地区近 50 a 降水特征分析 [J]. *干旱区地理*, 2010, 33(4): 580-587.  
 [17] 薛小杰, 蒋晓辉, 黄强, 等. 小波分析在水文序列趋势分析中的应用 [J]. *应用科学学报*, 2002, 20(4): 426-428.  
 [18] YIN Y H, WU S H, GANG C, et al. Attribution analyses of potential evapotranspiration changes in China since the 1960s [J]. *Theoretical & applied climatology*, 2010, 101(1/2): 19-28.  
 [19] 郑红星, 刘静. 东北地区近 40 年干燥指数变化趋势及其气候敏感性 [J]. *地理研究*, 2011, 30(10): 1765-1774.  
 [20] 陈素景, 李丽娟, 李九一, 等. 基于干燥指数的洮儿河上游地区水分适宜性的时间变化特征分析 [J]. *干旱区资源与环境*, 2016, 30(9): 149-154.  
 [21] 宁婷婷, 刘文兆, 韩晓阳, 等. 东胜矿区近 50 年地表干湿状况时程变化分析 [J]. *中国水土保持科学*, 2015, 13(2): 99-105.  
 [22] 施雅风, 沈永平, 李栋梁, 等. 中国西北气候由暖干向暖湿转型的特征和趋势探讨 [J]. *第四纪研究*, 2003, 23(2): 152-164.  
 [23] 热孜宛古丽·麦麦提依明, 杨建军, 刘巍. 艾比湖流域 1957—2013 年潜在蒸散、气温、降水变化特征分析 [J]. *冰川冻土*, 2016, 38(1): 69-76.  
 [24] KOREN I, KAUFMAN Y J, REMER L A, et al. Measurement of the effect of Amazon smoke on inhibition of cloud formation [J]. *Science*, 2004, 303(5662): 1342-1345.  
 [25] 张结, 丁建丽, 王瑾杰, 等. 艾比湖盐尘气溶胶光学特性卫星和地基遥感观测 [J]. *遥感学报*, 2017, 21(5): 665-678.  
 [26] 吴鹤轩. 青藏高原的低云 [M]. 北京: 气象出版社, 1985.  
 [27] KUANG W H, LIU J Y, ZHANG Z X, et al. Spatiotemporal dynamics of impervious surface areas across China during the early 21st century [J]. *Chines science bulletin*, 2013, 58(14): 1691-1701.  
 [28] 陈海山, 李兴, 华文剑. 近 20 年中国土地利用变化影响区域气候的数值模拟 [J]. *大气科学*, 2015, 39(2): 357-369.

(上接第 201 页)

[8] 于新, 李双异, 陆璐, 等. 基于 AHP-SWOT 模型的高标准基本农田建设发展策略研究: 以沈阳市为例 [J]. *中国农业资源与区划*, 2016, 37(8): 84-88, 109.  
 [9] 杨伟, 谢德体, 廖和平, 等. 基于高标准基本农田建设模式的农用地整治潜力分析 [J]. *农业工程学报*, 2013, 29(7): 219-229, 298.  
 [10] 郭贝贝, 金晓斌, 杨绪红, 等. 基于农业自然风险综合评价的高标准基本农田建设区划定方法研究 [J]. *自然资源学报*, 2014, 29(3): 377-386.  
 [11] 胡娟, 刘新平, 张琳. 基于模糊综合评价法的土地整治效益评价: 以新

疆沙湾县金沟河镇宋圣宫村为例 [J]. *新疆农垦经济*, 2016(11): 48-54, 84.

[12] 郭阳. 葫芦岛市高标准基本农田建设项目综合成效评价 [D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2017.  
 [13] 赵建军, 张洪岩, 王野乔, 等. 基于 AHP 和 GIS 的省级耕地质量评价研究: 以吉林省为例 [J]. *土壤通报*, 2012, 43(1): 70-75.  
 [14] 信桂新, 杨朝现, 杨庆媛, 等. 用熵权法和改进 TOPSIS 模型评价高标准基本农田建设后效应 [J]. *农业工程学报*, 2017, 33(1): 238-249.  
 [15] 潘延立. 高标准基本农田建设项目效益评价研究: 以滕州市羊庄镇为例 [D]. 泰安: 山东农业大学, 2015.