

# 基于熵权可拓决策模型的区域粮食安全预警

雷勋平<sup>1,2</sup>, 吴杨<sup>1</sup>, 叶松<sup>1</sup>, 陈兆荣<sup>1</sup>, 王亮<sup>1</sup>

(1. 铜陵学院农村经济与文化研究所 铜陵 244000; 2. 南京航空航天大学经济与管理学院 南京 210006)

**摘要:** 定量评价区域粮食安全及客观的预警指标权重选取对于区域粮食安全至关重要。该文考虑影响粮食供给和需求等因素构建区域粮食安全预警指标体系, 结合熵权和可拓学理论, 建立基于熵权可拓决策模型的区域粮食安全预警模型, 并对安徽省近 11 a (2000—2010 年) 的粮食安全进行预警分析。研究结果表明: 安徽省粮食安全状况可以分为 3 个阶段, 分别是重警阶段 (2000—2004 年)、中警阶段 (2005—2006 年) 和安全阶段 (2007—2010 年); 粮食安全预警安全度变化与单项预警指标值波动基本一致, 综合安全度逐渐提高。该文建立的粮食安全预警模型能够提高区域粮食安全预警能力、定量评价粮食安全状态并有效预警, 为实施粮食安全过程监管提供了新思路和方法。

**关键词:** 粮食, 决策, 模型, 熵权, 可拓决策, 粮食安全预警, 安全度

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2012.06.038

中图分类号: F307.11; F252.24

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2012)-06-0233-07

雷勋平, 吴杨, 叶松, 等. 基于熵权可拓决策模型的区域粮食安全预警[J]. 农业工程学报, 2012, 28(6): 233—239.

Lei Xunping, Wu Yang, Ye Song, et al. Regional grain security pre-warning based on entropy weight extension decision model[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(6): 233—239. (in Chinese with English abstract)

## 0 引言

20 世纪 70 年代中期, “粮食安全”作为国际性概念被正式提出<sup>[1]</sup>。1996 年国务院颁布的《中国粮食问题白皮书》指出, 到 2030 年中国将新增 3 亿人口, 粮食总需求将增至 6.4 亿 t<sup>[2]</sup>。在粮食安全日趋紧张的国际背景下, 粮食安全问题已成为当前学界研究的重要领域<sup>[3]</sup>。有关粮食安全的研究主要有: 谷亚光<sup>[4]</sup>在借鉴国外粮食安全模式基础之上, 启用混合型粮食安全模式, 研究如何解决中国潜在的粮食数量安全和质量安全威胁问题。赵亮<sup>[5]</sup>等通过分析不同时期中国粮食生产和粮食自给率及其波动情况, 提出了中国粮食安全的两个依赖路径。翟虎渠<sup>[6]</sup>认为粮食安全战略必须以科技为根本手段, 以耕地保护和质量提升为可靠基础, 依靠优势区域增产提升保障能力, 以国家政策支持作为提高粮食综合生产能力、确保粮食有效供给的重要支撑。王雅鹏<sup>[7]</sup>等通过辨析中国粮食安全热点问题, 提出了几种应对粮食安全形势趋紧的对策。张永恩等<sup>[8]</sup>从严格保护耕地等 5 个方面, 提出了城镇化进程中保障中国粮食安全的对策和建议。侯胜鹏等<sup>[9]</sup>探讨了国家粮食安全与农民增收的协调性, 提出了实现国家粮食安全与农民增收双赢的对策。刘成玉等<sup>[10]</sup>认为中国的粮食安全体系建设应该遵循最大限度地保障、最适度地保障、最小成本和代价地保障、最公平地保障及最佳可持续地保障等原则。在粮食安全预警方面, 苏晓燕等<sup>[11]</sup>

利用层次分析方法确定各个属性的权重, 基于 Dempster 组合规则实现了多因素的融合, 并依据 1995—2007 年的统计数据进行实证研究。闫述乾等<sup>[12]</sup>通过因素分析、多元线性回归等方法, 合理选择警兆指标, 探讨建立区域粮食安全预警模型, 并以甘肃省为例, 对预警模型进行了解释和验证。李梦觉等<sup>[13]</sup>通过建立粮食安全预警系统和指标体系, 为衡量粮食安全状况, 提前对粮食安全信息发出预报, 并及时做出政策调整构建了系统性框架。李永贵等<sup>[14]</sup>通过构建粮食安全预警指标体系, 对新疆粮食的安全程度进行科学分析及警情预报。

从现有文献来看, 有关粮食安全战略、原则、现状等定性分析的居多, 而定量评价的较少; 在定量评价文献中, 关于预警指标构建的较多, 但又未能剔除价格因素的影响, 且针对某一区域进行预警分析的较少; 在有关粮食安全预警的研究中, 预警指标权重确定略显随意性和主观性, 较难反映粮食安全等级状态。鉴于此, 本文针对影响区域粮食安全的供给、消费和自然灾害等因素, 考虑和剔除价格因素对预警结果的影响, 选取表征粮食安全的实物指标和相对指标, 建立区域粮食安全预警指标体系, 运用熵理论和可拓学思想, 构建基于熵权可拓决策的区域粮食安全预警模型, 并结合安徽省 2000—2010 年的粮食安全数据进行实证研究, 以期对区域粮食安全预警与监管提供理论借鉴和实证依据。

## 1 基于熵权可拓决策的区域粮食安全预警模型构建

### 1.1 模型构建理论

#### 1.1.1 可拓学理论

可拓学建立了以物元、事元和关系元为基本元的形式化描述体系, 构成了描述千变万化的大千世界的基本元, 统称为基元<sup>[15]</sup>。它可以简洁地表示客观世界中的物、

收稿日期: 2011-11-26 修订日期: 2012-01-06

基金项目: 国家自然科学基金资助 (90924022); 国家社科基金资助 (11BJY116); 安徽省哲学社会科学规划基金资助 (AHSK09-10D176)。

作者简介: 雷勋平 (1979—), 男, 湖北荆州人, 讲师, 博士生, 从事管理决策与评价、供应链与物流管理等方面的研究工作。铜陵 铜陵学院农村经济与文化研究所, 244000。Email: leixunping@126.com

事和关系，帮助人们按照一定的程序推导出解决问题的策略。

定义 1<sup>[16]</sup>把物  $N$ ，特征  $c$  及  $N$  关于  $c$  的量值  $v$  构成的有序三元组  $R=(N, c, v)$  作为描述物的基本单元，称为一维物元， $N, c, v$  三者称为物元  $R$  的三要素，其中  $c$  和  $v$  构成的二元组  $M=(c, v)$  称为  $N$  的特征元。

定义 2<sup>[16]</sup>如果一物  $N$  具有  $n$  个特征，其  $n$  个特征  $c_1, c_2, \dots, c_n$  及  $N$  关于  $c_i(i=1, 2, \dots, n)$  对应的量值为  $v_i(i=1, 2, \dots, n)$ ，则称

$$R = \begin{bmatrix} N, & c_1 & v_1 \\ & c_2 & v_2 \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & v_n \end{bmatrix} = (N, c, v) \quad (1)$$

式中， $R$  为  $n$  维物元。

### 1.1.2 熵理论

粮食安全预警离不开指标权重的确定，权重确定方法的客观与否直接关系到评价结果的好坏。按照熵的思想，人们能够根据决策中获得信息的数量和质量，提高决策的精度和可靠性，熵在应用于不同决策过程中的评价或案例的效果评价时是一个很理想的尺度<sup>[17]</sup>。熵权是在给定评价对象集后，根据各种评价指标值计算得来，它是各指标在竞争意义上的相对激烈程度的系数，指标的熵越大，其熵权越小，该指标越不重要；反之，该指标越重要。因此，作为权重的熵权，能够客观确定指标的权重，反映指标的真实信息。

在信息论中，信息熵是系统无序程度的度量<sup>[18]</sup>。信息熵一般用  $H$  表示，对于某一指标值  $x_i$ ，信息熵形式可以表示为  $H(x_i)$ ，计算公式为

$$H(x_i) = -\sum_{i=1}^n y_{ii} \ln y_{ii} \quad (2)$$

式中， $0 \ln 0 \equiv 0$ ； $i (i=1, 2, \dots, n)$  表示评价指标的个数； $t (t=1, 2, \dots, T)$  表示每个评价指标对应的年数； $y_{ii}$  表示评价对象各指标原始数据经过归一化处理后的数值，计算公式为

$$y_{ii} = x_{it} / \sum_{i=1}^n x_{it}, \quad i=1, 2, \dots, n \quad (3)$$

式中， $x_{it}$  表示第  $i$  个指标在第  $t$  年的原始数据。综合评价中某项指标的指标值变异程度越大，信息熵  $H(x_i)$  越小，该指标提供的信息量越大，该指标的权系数也越大；反之，该指标的权系数也应越小。因此，可以根据各项指标值的变异程度，利用信息熵，计算出各指标的权系数——熵权。具体计算公式如下

$$w_i = G_i / \sum_{i=1}^n G_i \quad (4)$$

式中， $G_i = 1 - E_i (1 \leq i \leq n)$ ，表示指标的差异度；

$E_i = H(x_i) / \ln n$ ，称之为输出熵。

### 1.2 区域粮食安全预警指标体系的构建

影响区域粮食安全的因素很多。由文献[19]知，农民对发展粮食生产积极性的缺失、粮食消费、人口增长等

是威胁粮食安全的因素。文献[20]也指出，国际上常用的衡量国家粮食安全的指标有粮食供给量、人均粮食占有量、生产波动情况等。鉴于此，本文遵循客观性、多角度、科学性、有效性和可行性等原则，参考现有研究成果<sup>[5, 11-14]</sup>，结合《国家粮食安全中长期规划纲要》和《中华人民共和国国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要》关于国家粮食安全的目标，综合考虑粮食生产（供给）、粮食需求和自然灾害等因素，构建区域粮食安全预警指标体系（见图 1）。

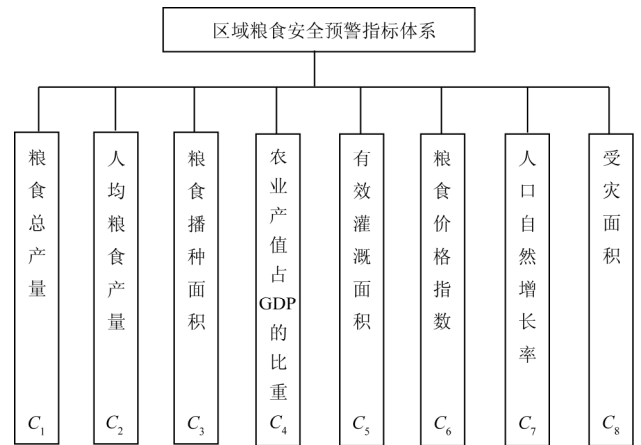


图 1 区域粮食安全预警指标体系

Fig.1 Pre-warning index system of regional grain security

### 1.3 区域粮食安全预警模型的构建

借助基元表达粮食安全信息、知识和问题，对粮食安全预警等级、评价对象进行描述，并运用熵权理论、可拓集合和关联函数计算安全关联度，确立预警等级，构建表征粮食安全预警状态的多指标属性评价模型。

#### 1.3.1 粮食安全预警经典域、节域和预警对象确定

结合可拓学理论，根据定义 1 和定义 2，建立相应物元，记为

$$R_j = (N_j, c_i, v_{ji}) = \begin{bmatrix} N_j & c_1 & v_{j1} \\ & c_2 & v_{j2} \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & v_{jn} \end{bmatrix} = \quad (5)$$

$$\begin{bmatrix} N_j, & c_1, & \langle a_{j1}, b_{j1} \rangle \\ & c_2 & \langle a_{j2}, b_{j2} \rangle \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & \langle a_{jn}, b_{jn} \rangle \end{bmatrix}$$

其中， $N_j$  表示划分的  $j$  个粮食安全预警等级 ( $j=1, 2, \dots, q$ )； $c_i$  表示粮食安全预警等级  $N_j$  的特征，即根据其大小判断粮食安全所处的等级； $v_{ji}$  表示  $N_j$  关于  $c_i$  所规定的量值范围，粮食安全预警等级关于对应特征的数值范围，称为粮食安全预警等级的经典域，即式 (5) 中的  $\langle a_{jm}, b_{jm} \rangle$ 。

一般而言，经典域对应各个粮食安全等级特征值的取值范围，全部安全等级特征值的取值范围构成节域，用  $R_p (R_p \supset R_j)$  表示。 $R_p$  记为

$$R_p = (N_p, c_i, v_{pi}) = \begin{bmatrix} N_p & c_1 & v_{p1} \\ & c_2 & v_{p2} \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & v_{pn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N_p, & c_1, & <a_{p1}, b_{p1}> \\ & c_2 & <a_{p2}, b_{p2}> \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & <a_{pn}, b_{pn}> \end{bmatrix} \quad (6)$$

式中， $N_p$  表示粮食安全预警等级的全体； $v_{pi}$  表示  $N_p$  关于  $c_i$  所取的量值范围，即节域  $<a_{pi}, b_{pi}>$ 。

此处待预警对象为粮食安全预警对象，用影响粮食安全预警等级指标的作用参数用物元表示记为

$$R_0 = (P_j, c_i, v_i) = \begin{bmatrix} P_j & c_1 & v_1 \\ & c_2 & v_2 \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & v_n \end{bmatrix} \quad (7)$$

式中， $P_j$  表示粮食安全预警等级水平； $v_i$  表示  $P_0$  关于特征  $c_i$  的量值，粮食安全评价指标原始数据。

### 1.3.2 粮食安全关联度计算方法

对粮食安全预警待评物元  $R_0$ ，如果  $v_{ji} \notin v_{pi}$ ，即预警对象特征值不属于某一经典域，则认为评价对象  $P_j$  不满足“非满足不可的条件”，不予评价；如果满足，则计算待评价对象关于各等级的关联度。

通常，第  $i$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ) 个指标数值域属于第  $j$  ( $j=1, 2, \dots, q$ ) 个安全预警等级的关联函数为

$$K_j(v_i) = \begin{cases} \frac{\rho(v_i, v_{ji})}{\rho(v_i, v_{pi}) - \rho(v_i, v_{ji})}, & \rho(v_i, v_{pi}) \neq \rho(v_i, v_{ji}) \\ -\rho(v_i, v_{ji}) / |v_{ji}|, & \rho(v_i, v_{pi}) = \rho(v_i, v_{ji}) \end{cases} \quad (8)$$

式中， $|v_{ji}| = b_{ji} - a_{ji}$ ； $\rho(v_i, <a, b>) = \left| v_i - \frac{a+b}{2} \right| - \frac{b-a}{2}$ ；

$K_j(v_i)$  表示各安全评价指标值  $v_i$  属于安全预警等级  $N_j$  的关联度； $\rho(v_i, v_{ji})$  表示  $v_i$  与有限区间  $v_{ji} = <a_{ji}, b_{ji}>$  的距； $\rho(v_i, v_{pi})$  表示点  $v_i$  与有限区间  $v_{pi} = <a_{pi}, b_{pi}>$  的距； $v_i$  表示第  $i$  个评价指标的实际数值； $v_{ji} = <a_{ji}, b_{ji}>$  为经典域； $v_{pi} = <a_{pi}, b_{pi}>$  为节域。

关联度的取值是整个实数域，为了便于分析和比较，采用文献[21]的方法将关联度  $K_j(v_i)$  进行归一化处理，归一化处理后的关联度用  $K'_j(v_i)$  表示，具体公式为

$$K'_j(v_i) = \frac{K_j(v_i)}{\max_{1 \leq j \leq q} |K_j(v_i)|} \quad (9)$$

### 1.3.3 粮食安全度计算与安全预警等级评定

关联函数  $K(x)$  的数值表示评价对象符合粮食安全预警等级隶属程度<sup>[22]</sup>。待预警对象  $R_0$  关于粮食安全预警等级  $j$  的关联度为

$$K_j(R_0) = \sum_{i=1}^n w_i K'_j(v_i) \quad (10)$$

其中， $w_i$  是第  $i$  个评价指标的权重系数，其数值由式(2)~(4) 计算得出。

如果

$$K_{j_0}(R_0) = \max_{j \in \{1, 2, \dots, q\}} K_j(R_0) \quad (11)$$

则评定  $R_0$  属于粮食安全预警等级  $j_0$ 。

## 2 案例分析

结合安徽省 2000—2010 年粮食安全预警指标数据(见表 1)，运用可拓决策模型进行实证研究，一方面说明熵权可拓模型的应用过程和实用价值，另一方面为其他省市有效实施粮食安全预警提供理论依据和实践经验。

表 1 安徽省粮食安全预警指标原始数据 (2000—2010)  
Table 1 Original data of pre-warning index for grain security in Anhui province

年份	$C_1$ /万 t	$C_2$ /kg	$C_3$ /10 <sup>3</sup> hm <sup>2</sup>	$C_4$ %	$C_5$ /10 <sup>3</sup> hm <sup>2</sup>	$C_6$	$C_7$ %	$C_8$ /10 <sup>3</sup> hm <sup>2</sup>
2000	2472.00	393.76	5565.60	23.3	3197.00	86.50	7.64	4058.09
2001	2500.30	395.30	5298.80	21.2	3228.70	101.10	6.61	3768.63
2002	2765.00	434.13	5456.20	20.2	3263.80	99.80	6.03	3155.00
2003	2214.80	345.52	5404.90	15.8	3285.40	106.00	5.95	4816.25
2004	2743.00	424.55	5726.80	17.7	3303.50	137.90	6.12	1403.40
2005	2605.30	399.83	5988.10	15.3	3331.00	98.00	6.20	3184.50
2006	2853.71	432.84	6168.32	14.8	3347.27	102.70	6.30	1990.20
2007	2901.40	434.60	6477.81	14.3	3420.45	106.20	6.35	1942.40
2008	3023.30	448.49	6561.20	13.5	3454.00	105.70	6.45	1595.20
2009	3069.90	451.79	6605.60	12.8	3484.00	106.80	6.47	2614.79
2010	3080.50	451.22	6616.40	12.6	3519.78	111.33	6.75	2070.95

注：表中的数据根据安徽省统计年鉴(2000—2010)整理获得。 $C_1$  为粮食总产量； $C_2$  为人均粮食产量； $C_3$  为粮食播种面积； $C_4$  为农业产值占 GDP 的比重； $C_5$  为有效灌溉面积； $C_6$  为粮食价格指数； $C_7$  为人口自然增长率； $C_8$  为受灾面积。

### 2.1 评价指标归一化处理

为消除各指标值的量纲，统一一个指标值的变化范

围，对样本评价指标进行归一化处理，处理方法为公式(12)、(13)。

对于越大越优的指标

$$v'_i = \frac{v_{it} - v_{i\min}}{v_{i\max} - v_{i\min}} \quad (12)$$

对于越小越优的指标

$$v'_i = \frac{v_{i\max} - v_{it}}{v_{i\max} - v_{i\min}} \quad (13)$$

式中,  $v_{i\max}$ 、 $v_{i\min}$  分别为第  $i$  个指标值的最大值和最小值,  $v_{it}$  为第  $i$  个评价指标的第  $t$  个指标值,  $v'_i$  为指标  $v_{it}$  归一化后的值。

### 2.2 区域粮食安全预警等级划分与阈值确定

为了对区域粮食安全进行有效预警, 结合文献 [11-14], 根据粮食安全程度的高低, 将区域粮食安全划分为 5 个等级, 按照粮食安全度由“低”到“高”分别对应于 I (重警状态)、II (中警状态)、III (轻警状态)、IV (无警状态)、V (安全状态)。将粮食安全概念集合 {重警→中警→轻警→无警→安全} 中的渐变分类关系由定性描述扩展为定量描述, 从而辨识这个概念的层次关系。将粮食安全预警等级集合用表示为:  $P = \{\text{重警} \rightarrow \text{中警} \rightarrow \text{轻警} \rightarrow \text{无警} \rightarrow \text{安全}\}$ ,  $I = \{\text{重警}\}$ ,  $II = \{\text{中警}\}$ ,  $III = \{\text{轻警}\}$ ,  $IV = \{\text{无警}\}$ ,  $V = \{\text{安全}\}$ , 且  $I, II, III, IV, V \in P$ , 对于任一预警对象  $P_j \in P$  判断属于 I, II, III, IV 或 V, 并计算关联程度。

结合专家的意见和相关文献研究 [13]和[14], 区域粮食安全预警指标经过标准化处理后, 其阈值确定如下: I, II, III, IV 和 V 的阈值为 [0,0.2)、[0.2,0.4)、[0.4,0.6)、[0.6,0.8) 和 [0.8,1]。

### 2.3 确定经典域、节域和待预警对象

#### 2.3.1 经典域

根据 2.1 中的粮食安全预警指标阈值, 得到区域粮食安全经典域  $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5$  分别为

$$R_1 = (I, c_i, v_{1i}) = \begin{bmatrix} \text{重警, 粮食总产量,} < 0, 0.2 > \\ \text{人均粮食产量,} < 0, 0.2 > \\ \vdots & \vdots \\ \text{受灾面积,} < 0, 0.2 > \end{bmatrix}$$

$$R_2 = (II, c_i, v_{2i}) = \begin{bmatrix} \text{中警, 粮食总产量,} < 0.2, 0.4 > \\ \text{人均粮食产量,} < 0.2, 0.4 > \\ \vdots & \vdots \\ \text{受灾面积,} < 0.2, 0.4 > \end{bmatrix}$$

$$R_3 = (III, c_i, v_{3i}) = \begin{bmatrix} \text{轻警, 粮食总产量,} < 0.4, 0.6 > \\ \text{人均粮食产量,} < 0.4, 0.6 > \\ \vdots & \vdots \\ \text{受灾面积,} < 0.4, 0.6 > \end{bmatrix}$$

$$R_4 = (IV, c_i, v_{4i}) = \begin{bmatrix} \text{无警, 粮食总产量,} < 0.6, 0.8 > \\ \text{人均粮食产量,} < 0.6, 0.8 > \\ \vdots & \vdots \\ \text{受灾面积,} < 0.6, 0.8 > \end{bmatrix}$$

$$R_5 = (V, c_i, v_{5i}) = \begin{bmatrix} \text{安全, 粮食安全总产量,} < 0.8, 1 > \\ \text{人均粮食产量,} < 0.8, 1 > \\ \vdots & \vdots \\ \text{受灾面积,} < 0.8, 1 > \end{bmatrix}$$

#### 2.3.2 节域

由粮食安全评价指标的预警等级阈值, 得到粮食安全节域为

$$R_p = (N_p, c_i, v_{pi}) = \begin{bmatrix} I:V, \text{ 粮食总产量,} < 0, 1 > \\ \text{人均粮食产量,} < 0, 1 > \\ \vdots & \vdots \\ \text{受灾面积,} < 0, 1 > \end{bmatrix}$$

#### 2.3.3 待预警对象

结合安徽省 2000—2010 年的粮食安全预警指标数据, 定量评价安徽省 11 a 间粮食安全状况, 验证区域粮食安全预警模型的有效性, 并利用评价结果进行分析。根据式 (7), 待预警对象用物元模型表示为

$$R_0 = (P_j, c_i, v_i) = \begin{bmatrix} P_j, \text{ 粮食总产量,} & v_1 \\ \text{人均粮食产量,} & v_2 \\ \vdots & \vdots \\ \text{受灾面积,} & v_8 \end{bmatrix}$$

### 2.4 权系数和安全预警值计算

根据公式 (2) ~ (4), 计算区域粮食安全预警指标熵权系数  $w_j$ , 用以衡量各指标对粮食安全影响程度的大小, 具体数值见表 2。

表 2 区域粮食安全预警指标熵权系数  
Table 2 Entropy weight of pre-warning index for regional food security

预警指标	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	$C_6$	$C_7$	$C_8$
熵权系数	0.0976	0.0782	0.1862	0.2446	0.1558	0.0653	0.0662	0.1058

### 2.5 粮食安全度与预警等级评定

利用公式 (8)、(9)、(10) 和表 3 的权系数计算安徽省 2000—2010 年的粮食安全预警值。以 2010 年为例, 计算结果见表 3。

表 3 安徽省 2010 年粮食安全预警值  
Table 3 Pre-warning value of grain security in Anhui province in 2010

预警指标	$K'_1(v_i)$	$K'_2(v_i)$	$K'_3(v_i)$	$K'_4(v_i)$	$K'_5(v_i)$
$C_1$	-1.00000	-1.00000	-1.00000	-1.00000	0.00001
$C_2$	-0.99330	-0.99107	-0.98660	-0.97320	0.02680
$C_3$	-1.00000	-1.00000	-1.00000	-1.00000	0.00001
$C_4$	0.00000	-1.00000	-1.00000	-1.00000	-1.00000
$C_5$	-1.00000	-1.00000	-1.00000	-1.00000	0.00001
$C_6$	-0.36948	-0.14673	0.20768	-0.19488	-0.39616
$C_7$	-0.36608	-0.13420	0.18343	-0.21105	-0.40829
$C_8$	0.02301	-0.02200	-0.51100	-0.67400	-0.75550
$K_j(R_0)$	-0.56341	-0.78270	-0.78989	-0.85853	-0.37540

注:  $K'_j(v_i)$  表示粮食安全单指标预警值  $K_j(v_i)$  经 (9) 式归一化后的值;  $K_j(R_0)$  表示待预警对象  $R_0$  关于粮食安全预警等级  $j$  的综合预警值。

结合表 3，根据公式 (11) 可以判断安徽省 2010 粮食安全预警等级为 V，即安全等级。

同理，得到安徽省 2000—2009 年粮食安全关联度及预警等级 (见表 4)。

表 4 安徽省 2000—2009 年粮食安全关联度及预警值等级  
Table 4 Grain security correlative degree and pre-warning value degree in Anhui province (2000—2009)

年份	$K_1(R_0)$	$K_2(R_0)$	$K_3(R_0)$	$K_4(R_0)$	$K_5(R_0)$	预警等级
2000	-0.44166	-0.55732	-0.68567	-0.71209	-0.46514	I
2001	-0.44166	-0.55732	-0.68567	-0.71209	-0.46514	I
2002	0.03449	-0.16542	-0.18664	-0.12487	-0.23580	I
2003	-0.14578	-0.27665	-0.61089	-0.74060	-0.69963	I
2004	0.06203	-0.00260	-0.00317	-0.00484	-0.00606	I
2005	-0.24865	-0.03509	-0.06864	-0.35764	-0.52248	II
2006	-0.29568	-0.19147	-0.30441	-0.28400	-0.48087	II
2007	-0.03263	-0.04458	-0.05553	-0.03875	0.14463	V
2008	-0.36174	-0.61832	-0.70255	-0.64022	-0.31331	V
2009	-0.13169	-0.16108	-0.17749	-0.18324	0.06873	V

注： $K_j(R_0)$ 表示待预警对象  $R_0$  关于粮食安全预警等级  $j$  的综合预警值，( $j=1,2,3,4,5$ )。

## 2.6 安徽省粮食安全预警及结果分析

### 2.6.1 单指标安全预警分析

以  $C_1$  (粮食总产量) 和  $C_8$  (受灾面积) 为例，如图 2 和图 3 所示。

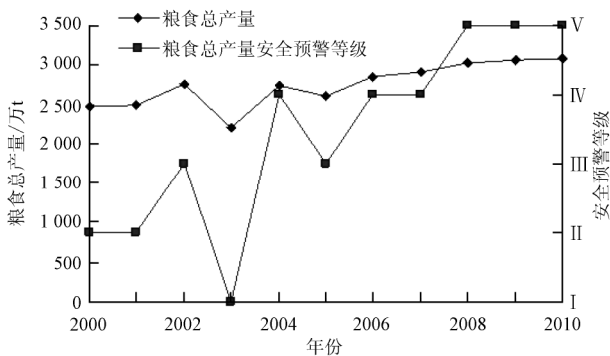


图 2 安徽省粮食总产量及其安全预警等级变化 (2000—2010)  
Fig.2 Changes of grain total output and its security pre-warning degree in Anhui province (2000—2010)

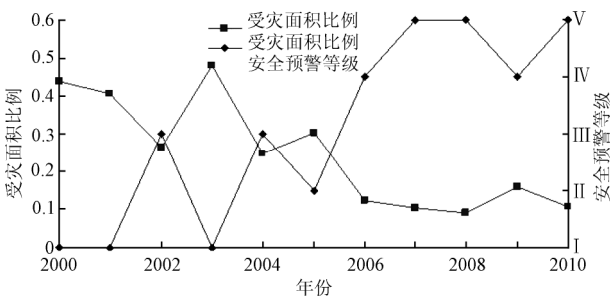


图 3 安徽省粮食受灾面积比例及其安全预警值变化 (2000—2010)  
Fig.3 Changes of grain disaster area and its security pre-warning value in Anhui province (2000—2010)

从图 2 可以看出，粮食总产量  $C_1$  近 10 a 间基本保持增长态势，其安全度数值也随之发生变化，与粮食总产

量变化趋势基本相似，近 11 a 来，安徽省粮食总产量逐年上升，其安全等级也基本逐年提高，从 2000 年的 II 级提高到 2010 年的 V 级，说明粮食总产量的变化对预警等级有一定的影响，除 2003 年和 2005 年外，粮食总产量安全预警等级依然呈现由低到高的趋势，即安全预警等级基本逐渐提高，从 2000 年到 2010 年粮食总产量  $C_1$  安全预警等级分别为 II、II、III、I、IV、III、IV、IV、V、V、V。同样，由图 3 知，2000—2010 年间，安徽省粮食受灾面积  $C_8$  安全度与受灾面积比例两者基本呈反向波动趋势，主要在于受灾面积  $C_8$  为负指标 (越小越优的指标)，与粮食总产量  $C_1$  不同的是，受灾面积比重大小对其安全度有较大影响，随着受灾面积比例由 2000 年的 43.91%，降低到 2010 年的 10.76%，其安全等级也由 2000 年的 II 级提高到 2010 年的 V 级，可以判断，受灾面积比重大小对受灾面积  $C_8$  的预警等级有一定影响，近 11 a 来，其安全等级依次为：I、I、III、I、III、II、IV、V、V、IV、V。总体来看，2000—2010 年间，上述两项指标的安全状态均逐渐转好。同理，可以根据评价结果依次对其余 6 项指标展开分析，结果发现，其余 6 项指标安全预警等级基本呈逐渐提高的趋势。

### 2.6.2 综合安全预警分析

从表 4 可以看出，安徽省 2000—2010 年粮食安全状况可以分为 3 个阶段：1) 2000—2004 年，粮食安全预警重警阶段。2) 2005—2006 年，粮食安全预警中警阶段。3) 2007—2010 年，粮食安全预警安全阶段。2000—2010 年间，安徽省粮食安全总体呈现好的发展势头，原因在于：一方面得益于中央和地方各级政府的宏观调控。通过安徽近几年的实践可以发现，有效的粮食需求是促进粮食供给增长的重要动力和源泉，但同时也发现，市场需求的约束比资源的约束更重要。在各级政府的大力宏观调控下，粮价呈现稳中有升的态势，但也未出现大幅波动，这些使粮农有好的预期和利好，增强了粮农的信心，粮食播种面积和粮食产量逐年增加，最终确保安徽省粮食安全度逐渐提高；另一方面，农业机械化有了很快的发展，提高了粮食生产的效率，粮食总产和单产均大幅提高。

无论是粮食安全预警单指标分析还是综合预警分析，其结果与历年《安徽省粮食问题调查报告》及《安徽省粮食安全报告》所反映的安徽省粮食安全状况基本一致，由此表明熵权可拓决策模型在区域粮食安全预警发面具有一定的参考价值和指导意义。

## 3 结 论

1) 从粮食生产 (或供给)、粮食消费和自然灾害等方面构建区域粮食安全预警指标体系，有效克服了传统粮食安全预警过程中针对某一环节的预警行为的弊端，强调系统的思想对所有可能影响粮食安全的流程和因素进行综合考虑，增强了粮食安全预警的全面性。

2) 该模型结合熵理论，能够根据预警指标数据信息确定权重，增强了权重的客观性，克服以往研究中权重确定的主观性和随意性。同时，利用可拓集合的概念可

以摆脱经典数学的二值限制,符合现象“既是又非”的临界概念,提高了模型的可扩充性和灵活性。运用可拓决策理论,既能针对粮食安全的单个影响因素进行安全预警分析,又可以进行多指标评价,为粮食安全有效预警提供依据。

3) 针对安徽省 2000—2010 年粮食安全预警指标数据实证研究,并从单指标安全预警和综合指标安全预警两方面进行分析。预警结果与安徽省近 11 a 粮食安全实际状况基本一致,由此表明该模型在区域粮食安全预警中具有较好的实践价值。可见,根据该模型的预警结果,粮食安全监管部门可以动态预测粮食安全状态发展和变化趋势,并以此构建粮食安全预警和监管体系,有效实施区域粮食安全预警与监管。

#### 【参 考 文 献】

- [1] 李昕. 我国粮食安全与农业结构调整取向: 观照国际经验[J]. 改革, 2011, (8): 69—76.  
Li Xin. China's food security and agricultural re-structuring: based on international experience[J]. Reform, 2011, (8): 69—76. (in Chinese with English abstract)
- [2] 宋戈, 李国风, 龙冬冬. 基于粮食安全的黑龙江省垦区耕地集约利用定量分析: 以宝泉岭垦区为例[J]. 农业现代化研究, 2011, 32(5): 573—576.  
Song Ge, Li Guofeng, Long Dongdong. Quantitative analysis of cultivated land intensive use in heilongjiang reclamation area based on food security: Taking bao quan ling reclamation area as an example[J]. Research of Agricultural Modernization, 2011, 32(5): 573—576. (in Chinese with English abstract)
- [3] 洪业应, 安和平. 基于粮食安全与化肥投入的协调发展研究: 以毕节地区为例[J]. 农业现代化研究, 2011, 32(5): 577—580.  
Hong Yeying, An Heping. Study on harmonious development of grain security and fertilizer input: A case study of Bijie district[J]. Research of Agricultural Modernization, 2011, 32(5): 577—580. (in Chinese with English abstract)
- [4] 谷亚光. 我国大粮食安全战略的现实选择[J]. 中国流通经济, 2011, (10): 64—68.  
Gu Yaguang. The realistic choice of China's strategy on grain security[J]. China Business and Market, 2011, (10): 64—68. (in Chinese with English abstract)
- [5] 赵亮, 穆月英. 我国粮食安全的路径依赖分析[J]. 农业技术经济, 2011, (10): 31—39.  
Zhao Liang, Mu Yueying. Method depends analysis about China's grain security[J]. Journal of Agrotechnical Economics, 2011, (10): 31—39. (in Chinese with English abstract)
- [6] 翟虎渠. 关于中国粮食安全战略的思考[J]. 农业经济问题, 2011, (9): 4—8.  
Qu Huqu. The thought on China's food security strategy[J]. Issues in Agricultural Economy, 2011, (9): 4—8. (in Chinese with English abstract)
- [7] 王雅鹏, 王薇薇, 吴娟. 我国粮食安全的热点问题辨析[J]. 农业现代化研究, 2011, 32(1): 6—10.  
Wang Yapeng, Wang Weiwei, Wu Juan. Hot issues analysis of food security in China[J]. Research of Agricultural Modernization, 2011, 32(1): 6—10. (in Chinese with English abstract)
- [8] 张永恩, 褚庆全, 王宏广. 城镇化进程中的中国粮食安全形势和对策[J]. 农业现代化研究, 2009, 30(3): 270—274.  
Zhang Yong'en, Zhu Qingquan, Wang Hongguang. Trends and strategies of food security during process of urbanization in China[J]. Research of Agricultural Modernization, 2009, 30(3): 270—274. (in Chinese with English abstract)
- [9] 侯胜鹏, 曾福生. 浅论国家粮食安全与农民增收的协调发展[J]. 农业现代化研究, 2009, 30(4): 427—430.  
Hou Shengpeng, Ceng Fusheng. Discuss on coordinated development of country's food security and peasantry's income increase[J]. Research of Agricultural Modernization, 2009, 30(4): 427—430. (in Chinese with English abstract)
- [10] 刘成玉, 葛党桥. 中国粮食安全的保障原则与政策启示[J]. 农村经济, 2011, (7): 6—10.  
Liu Chengyu, Ge Dangqiao. Safeguard principle and policy enlightenment of China's grain security[J]. Rural Economy, 2011, (7): 6—10. (in Chinese with English abstract)
- [11] 苏晓燕, 张蕙杰, 李志强, 等. 基于多因素信息融合的中国粮食安全预警系统[J]. 农业工程学报, 2011, 27(5): 183—189.  
Su Xiaoyan, Zhang Huijie, Li Zhiqiang. China's grain security warning based on multifactor information fusion[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2011, 27(5): 183—189. (in Chinese with English abstract)
- [12] 闫述乾, 王海强. 产销基本平衡区粮食安全预警模型的构建: 以甘肃省为例[J]. 华中农业大学学报: 社会科学版, 2010, 86(2): 50—54.  
Yan Shuqian, Wang Haiqiang. The construction of food security early warning model for regions which keep a basic balance between food production and sales: A case study of Gansu province[J]. Journal of Huazhong Agricultural University: Social Sciences Edition, 2010, 86(2): 50—54. (in Chinese with English abstract)
- [13] 李梦觉, 洪小峰. 粮食安全预警系统和指标体系的构建[J]. 经济问题, 2009, (8): 83—85.  
Li Mengjue, Hong Xiaofeng. The building about grain security system and index system[J]. On Economic Problems, 2009, (8): 83—85. (in Chinese with English abstract)
- [14] 李永贵, 白瑞甫. 新疆粮食安全预警分析[J]. 科技与产业, 2010, 10(6): 10—14.  
Li Yonggui, Bai Ruifu. Grain security pre-warning analysis in Xinjiang[J]. Sci-Tech and Industry, 2010, 10(6): 10—14. (in Chinese with English abstract)
- [15] 蔡文. 物元模型及其应用[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 1994: 8—9.
- [16] 蔡文, 杨春燕, 何斌. 可拓逻辑初步[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 20—21.
- [17] 邱苑华. 管理决策熵学及其应用[M]. 北京: 中国电力出版社, 2010: 168—169.

- [18] Yasuno Yoshiaki. Wave front-flatness evaluation by wave front correlation information entropy method and its application for adaptive confocal microscope[J]. *Optics Communications*, 2004, 232(6): 91—97.
- [19] 庆启宸, 石克链, 王丹, 等. 关于中国粮食安全的调查与思考: 来自安徽农村的报告[J]. *江淮论坛*, 2009, (2): 165—172.  
Qing Qihuan, Shi Kelian, Wang Dan, et al. The investigation and think about grain security in China: Anhui rural report[J]. *Jianghuai Tribune*, 2009, (2): 165—172.
- [20] 张全红. 我国粮食总量安全现状分析与政策启示[J]. *农村经济*, 2011, (8): 14—16.  
Zhang Quanhong. Situation analysis and policy enlightenment of China's grain gross security[J]. *Rural Economy*, 2011, (8): 14—16. (in Chinese with English abstract)
- [21] 孟颖, 张强, 杨玉中, 等. 煤业集团供应商选择的可拓方法[J]. *运筹与管理*, 2006, 15(6): 145—150.  
Meng Ying, Zhang Qiang, Yang Yuzhong, et al. Extensive method of supplier selection in coal group[J]. *Operations Research and Management Science*, 2006, 15(6): 145—150. (in Chinese with English abstract)
- [22] 何沙, 吉安民, 姬荣斌, 等. 基于 AHP-最小判别的逐级判别模型的石油企业安全应急能力评价[J]. *中国安全科学学报*, 2011, 21(2): 41—47.  
He Sha, Ji Anmin, Ji Rongbin, et al. Safety emergency response capability evaluation for petroleum enterprises based on AHP and MDGDM[J]. *China Safety Science Journal*, 2011, 21(2): 41—47. (in Chinese with English abstract)

## Regional grain security pre-warning based on entropy weight extension decision model

Lei Xunping<sup>1,2</sup>, Wu Yang<sup>1</sup>, Ye Song<sup>1</sup>, Chen Zhaorong<sup>1</sup>, Wang Liang<sup>1</sup>

(1. *Institute of Rural Economy and Culture, Tongling University, Tongling 244000, China;* 2. *School of Economics and Management, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China*)

**Abstract:** Evaluating grain security state quantitatively and determining the index weight objectively are important for regional grain security. Considering the factors about grain supply and demand, an index system of grain security pre-warning was established, and a regional grain security pre-warning model based on entropy weight and extensional theory was built. The model was applied to the grain security pre-warning analysis of Anhui province in recent 11 years (2000—2010). The results showed that the grain security situation could be divided into three states: heavy warning (2000—2004), moderate warning (2000—2004) and security state (2007—2010). The change of grain security degree of pre-warning was consistent with the fluctuation of single pre-warning index, and comprehensive security degree gradually increased. The model proposed improves the capacity of grain security pre-warning, quantitative evaluating grain security state and gives a new way for implementing grain security supervision.

**Key words:** grain, decision making, models, grain security pre-warning, entropy weight, extension decision, security degree