

# 基于多因素信息融合的中国粮食安全预警系统

苏晓燕<sup>1</sup>, 张蕙杰<sup>2</sup>, 李志强<sup>2</sup>, 邓勇<sup>1,3,4</sup>\*

(1. 上海交通大学电子信息与电气工程学院, 上海 200240; 2. 中国农业信息科学研究院 农业部智能化  
农业预警技术重点实验室, 北京 100081; 3. 西南大学计算机与信息科学学院, 重庆 400715;  
4. 湘潭大学智能计算与信息处理教育部重点实验室, 湘潭 411105)

**摘要:** 中国是世界上粮食消耗最大的国家, 随着社会经济的发展, 中国的粮食安全备受全球瞩目。粮食安全的评估涉及众多因素, 既有定量数据, 又有定性信息。因此, 为了全面地对中国的粮食安全进行预警, 该文提出了一种基于信息融合的多因素粮食安全评估方法。新方法将各个信息源的定量定性信息转换为基本概率指派函数, 利用层次分析方法 (Analytic Hierarchy Process) 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。依据 1995—2007 年的统计年鉴数据, 对该文方法的有效性进行了验证。结果表明: 该文所提出的信息融合方法能够正确客观地反映出粮食安全警度。

**关键词:** 信息融合, 层次分析法, 食品供应, 粮食安全, 预警系统, DS 证据理论

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2011.05.033

中图分类号: S126, TP391

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2011)-05-0183-07

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, et al. China's grain security warning system based on multifactor information fusion [J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(5): 183-189. (in Chinese with English abstract)

## 0 引言

中国是世界上人口最多、粮食消耗量最大的国家。随着经济的发展、人口的增长以及生活水平的提高, 粮食的安全问题越来越受到学术界及政府的关注<sup>[1,2,6]</sup>。粮食安全不仅关系到一个国家的政治、经济安全, 还关系到整个社会的稳定。因此, 从整体上把握粮食的安全状况并做出正确的决策是中国农业领域主管部门的一个重要职责。在此过程中, 建立并完善具有中国特色的粮食安全预警系统必不可少。粮食安全预警就是应用预警理论和方法, 通过对能够反映粮食安全状况的相关指标进行科学分析和评估, 对粮食安全现状、风险程度及发展趋势进行准确评判, 较好地预测安全趋势的发展变化, 及时发出警报的过程<sup>[2]</sup>。预警的实质是分析、评价、预报和

应对决策。

中国粮食安全预警系统的研究始于 20 世纪 90 年代, 可分为传统预警模型和现代预警模型。其中, 传统预警模型主要有中共中央政研室的朱泽, 中国人民大学的刘明、孙凤、马九杰, 中国农科院农经所的梅方权、李志强、李玉珠、王济民, 南京农业大学的顾焕章等建立的 6 种预警模型<sup>[3]</sup>: 粮食趋势产量增长率预警模型, 粮食供求预警模型, 粮食安全系数预警模型, 粮食周期波动预警模型, 景气分析预警模型<sup>[4]</sup>, 粮食安全综合预警模型。现代预警模型主要有肖国安的动态预警模型<sup>[5]</sup>, 门可佩的基于层次分析灰色关联法 (AHP-GRA) 的粮食安全预警模型<sup>[6]</sup>以及邓勇的模糊证据预警模型<sup>[7]</sup>。

粮食安全预警系统是一个复杂系统, 涉及诸多因素, 既有定量的数据, 又有定性的数据, 并且各因素的确定及警限的划分等均没有统一的标准, 不确定性较大。这些问题导致要建立一个合理的数学评估模型比较困难。作为一种不确定推理方法, 证据理论为不确定性信息的表达和合成提供了自然而强有力的方法, 已在信息融合及决策分析中获得了广泛应用<sup>[8-11]</sup>。本文运用 DS 证据理论 (Dempster-Shafer evidence theory) 与层次分析法 (Analytic Hierarchy Process) 相结合的方法, 对所选取的粮食安全相关指标进行科学的分析和评估, 采用 1995—2007 年的统计年鉴数据, 对中国的粮食安全状况进行预警分析。

## 1 基本理论

### 1.1 DS 证据理论

经典的证据理论将概率论的基本事件空间推广为辨

收稿日期: 2010-10-17 修订日期: 2011-05-05

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (60874105); 教育部新世纪优秀人才支持计划资助项目 (NCET-08-0345); 重庆市自然科学基金 (CSCT, 2010BA2003); 航空科学基金资助项目 (20090557004); 上海交通大学“晨星学者计划”资助项目 (T241460612); 上海市教育委员会重点学科建设项目 (J50704); “农业部智能化农业预警技术重点开放实验室”开放课题 (2010-DAEW-01); “智能计算与信息处理教育部重点实验室 (湘潭大学)”开放课题 (2009ICIP03); 上海交通大学博士生“三助”专项经费和研究生助管经费资助。

作者简介: 苏晓燕 (1986—), 女, 福建厦门人, 博士生, 主要从事信息融合、风险评估研究。上海 上海交通大学电子信息与电气工程学院, 200240。Email: sukey@sjtu.edu.cn。

\*通信作者: 邓勇 (1975—), 男, 湖南人, 教授, 主要从事信息融合研究。上海 上海交通大学电子信息与电气工程学院, 200240。

Email: dengyong@sjtu.edu.cn

识框架,其定义如下<sup>[12-13]</sup>:

定义1: 设  $U$  是变量  $X$  的所有可能值的穷举集合,并且  $U$  中的元素是互斥的,称  $U$  为  $X$  的一个辨识框架。

$U$  由一完备的互不相容的陈述集合组成,  $U$  的幂集  $2^U$  构成命题集合  $2^U$ 。当  $U$  中元素的个数为  $n$  时,命题集合所代表的空间大小为  $2^n$ 。

定义2: 设  $U$  为识别框架,  $U$  的幂集  $2^U$  构成命题集合  $2^U, \forall A \subset U$ , 如果函数  $m: 2^U \rightarrow [0,1]$  满足:

$$\sum_{A \subset U} m(A) = 1 \quad (1)$$

$$m(\Phi) = 0 \quad (2)$$

则称  $m$  为框架  $U$  上的基本概率指派 (basic probability assignment, BPA)。BPA 反映了证据对识别框架中的命题  $A$  的支持程度,即  $m(A)$ 。若  $\forall A \subset U$ , 且满足  $m(A) > 0$ , 则称  $A$  为焦元。所有的焦元集合称为核。

定义3: 假定辨识框架  $U$  上,性质不同的 2 个证据,其焦元分别为  $B_i$  和  $C_j (i=1,2,\dots,n; j=1,2,\dots,q)$ , 其基本概率指派函数 (BPA) 分别为  $m_1$  和  $m_2$ , 则按照经典证据理论的 Dempster 组合规则可以将这两个 BPA 进行融合,该规则定义为

$$m(A) = \frac{\sum_{B \cap C = A} m_1(B)m_2(C)}{1-k} \quad (3)$$

其中,

$$k = \sum_{B \cap C = \Phi} m_1(B)m_2(C) \quad (4)$$

它反映了证据之间冲突的程度。

## 1.2 AHP 基本原理

AHP 法即层次分析法,是一种综合主观判断的客观方法。它是定性 with 定量分析相结合的多目标决策分析方

法,适合于多目标、多层次、多因子的复杂系统的决策。限于篇幅,本节仅介绍 AHP 评价方法的主要步骤,详细内容可参考文献[14]:

步骤1: 建立层次结构模型,该结构模型包括目标层,准则层,方案层。

步骤2: 构造判断矩阵。

步骤3: 计算单排序权向量并做一致性检验。

对每个判断矩阵计算最大特征值及其对应的特征向量,利用一致性指标、随机一致性指标和一致性比率做一致性检验。若检验通过,特征向量(归一化后)即为权向量;若不通过,需要重新构造判断矩阵。

步骤4: 计算总排序权向量并做一致性检验。

## 2 中国粮食安全预警系统

### 2.1 指标的确定及其权重

在建立预警系统指标体系时应遵循 3 个原则: 1) 代表性原则; 2) 全面性原则; 3) 可操作性原则<sup>[15]</sup>。基于上述指标选取原则及粮食安全的特性,本文采用文献[6]的指标数据进行预警系统的研究,以便对预警结果进行比较,所选取的 11 个指标如下:

$X_1$  粮食产量,  $10^4$  t;  $X_2$  粮食播种面积,  $10$  km<sup>2</sup>;  $X_3$  人均播种面积, m<sup>2</sup>;  $X_4$  农业增加值占国内生产总值的比重, %;  $X_5$  耕地有效灌溉面积,  $10$  km<sup>2</sup>;  $X_6$  粮食价格指数, %;  $X_7$  人均粮食占有量, kg;  $X_8$  农产品出口额占出口总额的比重, %;  $X_9$  农产品进口额占进口总额的比重, %;  $X_{10}$  受灾面积,  $10$  km<sup>2</sup>;  $X_{11}$  成灾面积占受灾面积的比重, %。由国家统计数据检索平台搜索得到以上各指标 1995—2007 的数据如表 1 所示。本文采用层次分析法 (AHP) 计算各指标的权重,具体的计算方法与文献[15]类似,仅给出最终总权重如表 2 所示。

表 1 1995—2007 粮食安全指标数据

Table 1 Grain security target data in 1995—2007

年份	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$	$X_9$	$X_{10}$	$X_{11}$
1995	46 661.8	110 060	910	20.8	49 281.2	0.34	387	9.4	9.3	45 821	48.6
1996	50 453.5	112 548	920	20.4	50 381.4	0.08	412	8.4	7.1	46 989	45.2
1997	49 417.1	112 912	910	18.3	51 238.5	-0.08	402	8.2	7	53 429	56.7
1998	51 229.5	113 787	910	18	52 295.6	-0.03	411	7.5	7	50 145	50.2
1999	50 833.6	113 161	900	17.6	53 158.4	-0.04	404	6.9	5	49 981	53.5
2000	46 217.5	108 463	860	16.4	53 820.3	-0.1	366	6.3	5	54 688	62.9
2001	45 263.7	106 080	830	15.8	54 249.4	0.02	356	6	4.9	52 215	60.9
2002	45 705.8	103 891	810	15.3	54 354.8	-0.01	357	5.6	4.2	47 119	58
2003	43 069.5	99 410	770	14.6	54 014.2	0.02	334	4.9	4.6	54 506	59.8
2004	46 946.9	101 606	780	15.2	54 478.4	0.26	362	3.9	5	37 106	43.9
2005	48 402.2	104 278	800	12.5	55 029.3	0.29	371	3.6	4.3	38 818	51.4
2006	49 747.9	105 489	800	11.8	56 109.4	4.8	379	3.2	4	41 091	59.9
2007	50 150	105 530	799		57 179.4	6.6	380				

注: 数据来源为《中国统计年鉴 2007》;  $X_1$  粮食产量,  $10^4$  t;  $X_2$  粮食播种面积,  $10$  km<sup>2</sup>;  $X_3$  人均播种面积, m<sup>2</sup>;  $X_4$  农业增加值占国内生产总值的比重, %;  $X_5$  耕地有效灌溉面积,  $10$  km<sup>2</sup>;  $X_6$  粮食价格指数, %;  $X_7$  人均粮食占有量, kg;  $X_8$  农产品出口额占出口总额的比重, %;  $X_9$  农产品进口额占进口总额的比重, %;  $X_{10}$  受灾面积,  $10$  km<sup>2</sup>;  $X_{11}$  成灾面积占受灾面积的比重, %。

表 2 粮食安全指标总比重

Table 2 Comprehensive weight coefficient of grain security target

粮食安全指标	总比重	粮食安全指标	总比重
$X_1$	0.14	$X_7$	0.17
$X_2$	0.1	$X_8$	0.05
$X_3$	0.11	$X_9$	0.05
$X_4$	0.05	$X_{10}$	0.08
$X_5$	0.08	$X_{11}$	0.08
$X_6$	0.09		

2.2 警限划分

确定警限就是确定有警或无警的界限，是确定警度的基础。确定警限的方法包括 2 类：统计方法和系统方法，其中统计方法又分为多数原则、半数原则、均数原则、少数原则以及众数原则<sup>[16]</sup>。本文主要采用统计方法中的均数原则来划分警限，将警限划分成无警、轻警、中警、重警、巨警 5 个区域。具体处理过程分为以下 3 个步骤：

1) 确定指标的方向性

警限的划分涉及到指标的方向性问题。虽然任何一个指标的正、负取值超过一定限度都是不安全的表现，但在通常情况下，可以认为粮食产量、粮食播种面积等

越多越好，为正向指标，而受灾面积、成灾面积等则越少越好，为负向指标。随着经济的发展，农业比重必然有所下降，属于正常情况，但下降的结果是否会对粮食安全造成影响，目前还没有相关的研究数据报导。而对于粮食价格波动指数，并没有方向性偏好，只要其绝对值超过一定的限度就表现为不安全。因此，本文将农业比重以及粮食价格波动指数的方向性设为 0，表示无方向性。表 3 所示为 2.1 节中 11 个指标的方向性。

2) 指标数据的处理

这里主要对 (1) 中具有方向性的指标数据进行处理，分别求出其最大值 max、最小值 min、偏差 $\Delta$ 等，如表 4 所示。

表 3 粮食安全指标的方向性

Table 3 Direction of grain security target

粮食安全指标	方向	粮食安全指标	方向
$X_1$	(+)	$X_7$	(+)
$X_2$	(+)	$X_8$	(+)
$X_3$	(+)	$X_9$	(-)
$X_4$	0	$X_{10}$	(-)
$X_5$	(+)	$X_{11}$	(-)
$X_6$	0		

注：(+)为正向指标；(-)为负向指标；0 为零向指标。

表 4 指标数据的处理

Table 4 Processing of grain security target data

粮食安全指标	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$	$X_9$	$X_{10}$	$X_{11}$
最大值 max	51 229.5	113 787	920	20.8	57 179.4	6.6	412	9.4	9.3	54 688	62.9
最小值 min	43 069.5	99 410	770	11.8	49 281.2	-0.1	334	3.2	4	37 106	43.9
偏差 $\Delta$	8 160	14 377	150	9	7 898.2	6.7	78	6.2	5.3	17 582	19
$p$	2 040	3 594.25	37.5	2.25	1 974.55	1.675	19.5	1.55	1.325	4 395.5	4.75
min+p	45 109.5	103 004.3	807.5	14.05	51 255.75	1.575	353.5	4.75	5.325	41 501.5	48.65
min+2p	47 149.5	106 598.5	845	16.3	53 230.3	3.25	373	6.3	6.65	45 897	53.4
min+3p	49 189.5	110 192.8	882.5	18.55	55 204.85	4.925	392.5	7.85	7.975	50 292.5	58.15

注： $\Delta = \max - \min$ ； $p = \Delta / 4$ 。

3) 指标警限划分

根据指标方向性的不同分为 2 种警限划分方法。图 1 给出 2 种方向性指标的警限划分方法：正向性指标的警

限划分方法如图 1a 所示，负向性指标的警限划分方法如图 1b 所示。根据图 1 的方法，11 个指标数据的警限划分结果如表 5 所示。

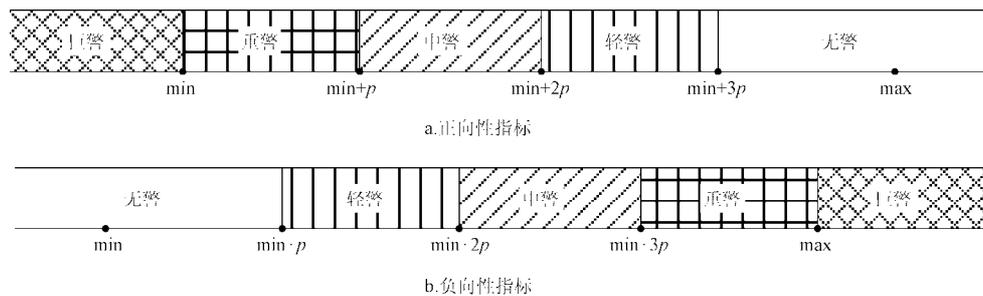


图 1 正向指标及负向指标的警限划分

Fig.1 Security line for positive indexes and negative indexes

表 5 指标数据的警限划分  
Table 5 Security line of grain security target data

粮食安全指标	无警	轻警	中警	重警	巨警
$X_1$	>49 189.5	(47 149.5, 49 189.5]	(45 109.5, 47 149.5]	(43 069.5, 45 109.5]	$\leq 43 069.5$
$X_2$	>110 192.75	(106 598.5, 110 192.7]	(103 004.25, 106 598.5]	(99 410, 103 004.25]	$\leq 99 410$
$X_3$	>882.5	(845, 882.5]	(807.5, 845]	(770, 807.5]	$\leq 770$
$X_4$	下降趋势是必然的, 无法划定警限				
$X_5$	>55 204.85	(53 230.3, 55 204.85]	(51 255.75, 53 230.3]	(49 281.2, 51 255.75]	$\leq 49 281.2$
$X_6$	<6	[6, 7.33)	[7.33, 8.66)	[8.66, 10)	$\geq 10$
$X_7$	>364	(349, 364]	(334, 349]	(319, 334]	$\leq 319$
$X_8$	>7.85	(6.3, 7.85]	(4.75, 6.3]	(3.2, 4.75]	$\leq 3.2$
$X_9$	<5	[5, 6.67)	[6.67, 8.33)	[8.33, 10)	$\geq 10$
$X_{10}$	<41 502.5	[41 502.5, 45 897)	[45 897, 50 292.5)	[50 292.5, 54 688)	$\geq 54 688$
$X_{11}$	<48.65	[48.65, 53.4)	[53.4, 58.15)	[58.15, 62.9)	$>=62.9$

其中, 农业比重随着经济的发展出现下降趋势, 这是必然的, 因此不能采用图 1 的方法划分其警限。2.3 节中 DS 证据理论的基本概率指派生成方法可以很好地解决该不确定性问题。

### 2.3 基本概率指派函数生成及其融合方法

#### 2.3.1 基本概率指派函数的生成

基本概率指派函数生成, 又称为 BPA 生成, 是应用 DS 证据理论解决实际问题的基础。结合警限划分的 5 个区域, 本文的基本概率指派函数生成方法分为以下 2 个步骤:

##### 1) 预警警限与焦元的对应

预警警度分为 5 个等级: 无警、轻警、中警、重警、巨警。为了表示 5 个预警等级, 基本概率指派函数的焦元需要由 3 个元素构成, 设 3 个元素为  $a$ 、 $b$ 、 $c$ , 则对应于无警、轻警、中警、重警、巨警的基本概率指派函数

焦元分别为  $m(a)$ 、 $m(ab)$ 、 $m(b)$ 、 $m(bc)$ 、 $m(c)$ , 它们的对应关系如表 6 所示。

表 6 预警警限与基本概率指派函数焦元对应关系表  
Table 6 Relation table between security line and focal element

警限	基本概率指派函数的焦元
无警	$m(a)$
轻警	$m(ab)$
中警	$m(b)$
重警	$m(bc)$
巨警	$m(c)$

由表 1 的指标数据和表 5 的警限划分情况, 可以得出每年不同的粮食安全指标所对应的基本概率指派函数焦元。如表 7 所示, 为 1995—2007 年的 11 个粮食安全指标所对应的焦元。

表 7 1995—2007 年粮食安全指标所对应的焦元  
Table 7 Relation table between security line and focal element in 1995—2007

年份	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$	$X_9$	$X_{10}$	$X_{11}$
1995	$m(b)$	$m(ab)$	$m(a)$	$m(abc)$	$m(c)$	$m(a)$	$m(a)$	$m(a)$	$m(bc)$	$m(ab)$	$m(a)$
1996	$m(a)$	$m(a)$	$m(a)$	$m(abc)$	$m(bc)$	$m(a)$	$m(a)$	$m(a)$	$m(b)$	$m(b)$	$m(a)$
1997	$m(a)$	$m(a)$	$m(a)$	$m(abc)$	$m(bc)$	$m(a)$	$m(a)$	$m(a)$	$m(b)$	$m(bc)$	$m(b)$
1998	$m(a)$	$m(a)$	$m(a)$	$m(abc)$	$m(b)$	$m(a)$	$m(a)$	$m(ab)$	$m(b)$	$m(b)$	$m(ab)$
1999	$m(a)$	$m(a)$	$m(a)$	$m(abc)$	$m(b)$	$m(a)$	$m(a)$	$m(ab)$	$m(ab)$	$m(b)$	$m(b)$
2000	$m(b)$	$m(ab)$	$m(ab)$	$m(abc)$	$m(ab)$	$m(a)$	$m(a)$	$m(b)$	$m(ab)$	$m(c)$	$m(c)$
2001	$m(b)$	$m(b)$	$m(b)$	$m(abc)$	$m(ab)$	$m(a)$	$m(ab)$	$m(b)$	$m(a)$	$m(bc)$	$m(bc)$
2002	$m(b)$	$m(b)$	$m(b)$	$m(abc)$	$m(ab)$	$m(a)$	$m(ab)$	$m(b)$	$m(a)$	$m(b)$	$m(b)$
2003	$m(c)$	$m(c)$	$m(c)$	$m(abc)$	$m(ab)$	$m(a)$	$m(bc)$	$m(b)$	$m(a)$	$m(bc)$	$m(bc)$
2004	$m(b)$	$m(bc)$	$m(bc)$	$m(abc)$	$m(ab)$	$m(a)$	$m(ab)$	$m(bc)$	$m(ab)$	$m(a)$	$m(a)$
2005	$m(ab)$	$m(b)$	$m(bc)$	$m(abc)$	$m(ab)$	$m(a)$	$m(a)$	$m(bc)$	$m(a)$	$m(a)$	$m(ab)$
2006	$m(a)$	$m(b)$	$m(bc)$	$m(abc)$	$m(a)$	$m(a)$	$m(a)$	$m(c)$	$m(a)$	$m(a)$	$m(bc)$
2007	$m(a)$	$m(b)$	$m(bc)$	$m(abc)$	$m(a)$	$m(ab)$	$m(a)$	$m(abc)$	$m(abc)$	$m(abc)$	$m(abc)$

注: 焦元  $m(abc)$  对应所有警限等级。

其中, 焦元  $m(abc)$  对应于所有的警限等级, 表示不知如何分配焦元, 适用于 2 种情况: 部分数据的缺失; 指标的警限没有统一的标准。因此, 表 7 中的农业比重以及 2007 年缺失的部分数据对应的焦元为  $m(abc)$ 。

##### 2) 加权合成基本概率指派函数

所谓加权合成是指根据各个指标的贡献程度, 分别对其赋予不同的权重后相加。其中各个指标的总权重由

表 2 给出。下面以 1995 年的数据为例说明加权合成基本概率指派函数的方法。由表 7 计算各个焦元分配到的权重值如下

$$\begin{aligned}
 m(a) &= 0.11 + 0.09 + 0.17 + 0.05 + 0.08 = 0.5 \\
 m(b) &= 0.14 \\
 m(c) &= 0.08 \\
 m(ab) &= 0.1 + 0.08 = 0.18
 \end{aligned}$$

$$m(bc)=0.05$$

$$m(ac)=0$$

$$m(abc)=0.05$$

因此，1995 年各指标数据生成的基本概率指派函数为  $m(a)=0.5; m(b)=0.14; m(c)=0.08; m(ab)=0.18; m(bc)=0.05; m(ac)=0; m(abc)=0.05$ 。

类似地，可以得到 1995—2007 年各指标数据加权合成的基本概率指派函数（如表 8 所示）。

表 8 1995—2007 粮食安全指标数据加权合成基本概率指派函数  
Table 8 Weighted averaging basic probability assignment based on grain security target data in 1995—2007

年份	加权合成基本概率指派函数						
	$m(a)$	$m(b)$	$m(c)$	$m(ab)$	$m(bc)$	$m(ac)$	$m(abc)$
1995	0.5	0.14	0.08	0.18	0.05	0	0.05
1996	0.74	0.13	0	0	0.08	0	0.05
1997	0.66	0.13	0	0	0.16	0	0.05
1998	0.61	0.21	0.13	0	0	0	0.05
1999	0.61	0.24	0	0.1	0	0	0.05
2000	0.26	0.19	0.16	0.34	0	0	0.05
2001	0.14	0.4	0	0.25	0.16	0	0.05
2002	0.14	0.56	0	0.25	0	0	0.05
2003	0.14	0.05	0.35	0.08	0.33	0	0.05
2004	0.25	0.14	0	0.3	0.26	0	0.05
2005	0.39	0.1	0	0.3	0.16	0	0.05
2006	0.61	0.1	0.05	0	0.19	0	0.05
2007	0.39	0.1	0	0.09	0.11	0	0.31

2.3.2 融合方法

该预警系统涉及到 11 个不同指标，并且每个指标对粮食安全的影响程度不尽相同，因此，采用邓勇的方法<sup>[17]</sup>对生成的基本概率指派函数进行融合。即：使用 Dempster 组合规则（公式 3）融合加权合成后的基本概率指派函数。当系统有  $n$  个指标时，将加权合成后的基本概率指派函数组合  $n-1$  次。表 9 是对生成的基本概率指派函数利用 Dempster 组合规则融合 10 次后得到的结果

表 9 加权合成的基本概率指派函数融合 10 次后得到的结果  
Table 9 Combination of basic probability assignment after 10 cycles fusion

年份	$m(a)$	$m(b)$	$m(c)$	$m(ab)$	$m(bc)$	$m(ac)$	$m(abc)$
1995	0.9977	0.0023	0	0	0	0	0
1996	1	0	0	0	0	0	0
1997	0.9997	0.0003	0	0	0	0	0
1998	1	0	0	0	0	0	0
1999	0.9994	0.0006	0	0	0	0	0
2000	0.7773	0.2199	0	0.0028	0	0	0
2001	0.0006	0.9994	0	0	0	0	0
2002	0.0006	0.9994	0	0	0	0	0
2003	0	0.0183	0.981	0	0.0007	0	0
2004	0.0789	0.9208	0	0.0002	0.0001	0	0
2005	0.8933	0.1065	0	0.0002	0	0	0
2006	0.9992	0.0007	0.0001	0	0	0	0
2007	0.945	0.0536	0	0.0005	0.0009	0	0

2.4 警度判定

通过对表 9 的数据进行分析，结合表 6 中各警限与基本概率指派函数焦元的对应关系，可以得出 1995—2007 年的警度判定结果（如表 10 中第 3 列所示）。其中，主焦元是基本概率指派函数的焦元中占有明显优势的焦元。

表 10 警度判定结果  
Table 10 Warning degrees

年份	主焦元	本方法判定的警度	门可佩判定的警度 <sup>[6]</sup>
1995	$m(a)$	无警	安全
1996	$m(a)$	无警	很安全
1997	$m(a)$	无警	安全
1998	$m(a)$	无警	很安全
1999	$m(a)$	无警	安全
2000	$m(a)$	无警	安全
2001	$m(b)$	中警	安全
2002	$m(b)$	中警	不安全
2003	$m(c)$	巨警	不安全
2004	$m(b)$	中警	安全
2005	$m(a)$	无警	安全
2006	$m(a)$	无警	安全
2007	$m(a)$	无警	

2.5 结果分析

由表 10 的第 3 列可以看出，采用本方法判定的警度为无警的年份有 1995、1996、1997、1998、1999、2000、2005、2006、2007，警度为重警的年份有 2001、2002、2004，警度为巨警的年份有 2003。第 4 列是门可佩<sup>[6]</sup>判定的结果。

1995—2007 年中国粮食的安全状况现实如下<sup>[18-19]</sup>：从 1995 年开始中国粮食连续 4 a 丰收，再加上 1995 年至 1998 年粮食净进口 250 亿 kg，导致粮食年总供量大于消费量，出现过剩。2000 年以后粮食总产量出现连续 4 a 减产，粮食产量处于较低水平，2002 年略有恢复，也只达到 45 706 万 t，较 1998 年减少 5 524 万 t，减幅达 10.78%，到 2003 年又降到 43 069 万 t，比上一年减产 5%，人均占有量只有 334 kg，达到 20 a 来的最低点。这一状况直接导致了 2003 年 10 月份开始的粮油价格大幅度地持续上升的局势。2003 年后，在国家一系列支农措施引导下，粮食安全状况有所好转。从表 10 中可以看出，本方法判定的警度与实际情况基本一致：20 世纪 90 年代后期，中国的粮食安全总体状况良好，预警警度为“无警”。从 2000 年后开始，粮食安全总体状况逐渐恶化，到 2003 年达到最恶劣，为“巨警”警度。2003 年后，粮食安全状况有所好转，在 2004 年警度转为“中警”。而后至 2007 年，警度均为“无警”。

门可佩的判定结果与实际情况相差不大，但在门可佩的结论中，2002 年的警度为“不安全”，与 2003 年相同，这并不符合实际情况。2003 年是粮食安全状况十分恶劣的一年，它的警度应该比 2002 年有所加重。2003 年粮食产量下降，人均占有量达到 20 a 来最低点，并且 2003 年属于自然灾害偏重发生年份，加之非典的影响，粮油

价格波动较为剧烈,各个方面均表明2003年是粮食安全状况较为恶劣的一年。采用本文方法得到的2003年的警度为“巨警”,2002年的警度为“中警”,比较符合实际情况。

分析其原因有以下3点:首先,在门可佩的方法中,假设所有的指标数据均服从正态分布,这并不合理。例如农业比重这一指标,随着经济的发展必然呈现下滑的趋势,并不服从正态分布。其次,门可佩在指标处理的过程中,没有考虑到指标的方向性问题,这也是造成判断结果与实际情况有偏差的原因之一。最后,针对指标中存在的 uncertainty 问题,证据理论提供了强有力的表达和合成方法,使结果更符合实际情况。

### 3 结论

本文基于信息融合的思想建立粮食安全预警系统。该系统所涉及的不确定信息的表示、各种参数数据的综合以及不确定环境下的决策方法均是决策科学和信息融合的共性关键技术。将其应用于农业预警模型的建立,在某种程度上丰富了我国农业风险分析方法以及农业风险决策理论,表现出较强的理论创新。该系统运用DS证据理论与层次分析法相结合的方法,首先,确定影响粮食安全的指标及其权重,而后对各指标数据进行分析,划定警限;其次,根据指标数据及对应的警限加权生成基本概率指派函数;最后,对生成的基本概率指派函数进行融合,得出预警警度。采用1995—2007年的统计年鉴数据对中国的粮食安全状况进行预警分析及警度评定,评估结果与实际情况基本一致,表明了该预警系统的有效性。

#### [参 考 文 献]

- [1] 刘亚彬, 刘黎明, 许迪, 等. 基于信息扩散理论的中国粮食主产区水旱灾害风险评估[J]. 农业工程学报, 2010, 26(8): 1—7.  
Liu Yabin, Liu Liming, Xu Di, et al. Risk assessment of flood and drought in major grain-producing areas based on information diffusion theory[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(8): 1—7. (in Chinese with English abstract)
- [2] 许世卫, 李志强, 李哲敏, 等. 农产品质量安全及预警类别分析[J]. 中国科技论坛, 2009, (1): 102—106.
- [3] 游建章. 粮食安全预警与评价[J]. 农业技术经济, 2002, (2): 11—14.
- [4] 李志强, 赵忠萍, 吴玉华. 中国粮食安全预警分析[J]. 中国农村经济, 1998, (1): 27—32.
- [5] 肖国安, 王文涛. 粮食安全预警研究综述及一种新的预警模型[J]. 湘潭大学学报: 哲学社会科学版, 2006, 30(1): 129—133.  
Xiao Guoan, Wang Wentao. Synthetic survey of grain safety early warning research and a new type of early warning model[J]. Journal of Xiangtan University: Philosophy and Social Sciences, 2006, 30(1): 129—133. (in Chinese with English abstract)
- [6] Men Kepei, Wei Beijun, Tang Sasa, et al. China's grain security warning based on the integration of AHP-GRA[C]//2009 IEEE International Conference on Grey Systems and Intelligent Services. Nanjing: GSIS, 2009: 655—659.
- [7] Deng Yong, Xu Jianling. Fuzzy evidential warning of grain security[C]//2010 IEEE International Conference on Advanced Management Science (ICAMS). Chengdu: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2010: 703—706.
- [8] 杨玉建, 杨劲. 基于D-S证据理论的土壤潜在盐渍化研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(4): 30—33.  
Yang Yujian, Yang Jinsong. Potential soil salinization using Dempster-Shafer evidence theory[J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(4): 30—33. (in Chinese with English abstract)
- [9] 黄玉祥, 郭康权, 朱瑞祥, 等. 基于证据理论的农业机械选型风险因素评价方法[J]. 农业工程学报, 2008, 24(4): 135—141.  
Huang Yuxiang, Guo Kangquan, Zhu Ruixiang, et al. Method for evaluating the risk of selecting types of agricultural machinery based on evidence theory[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(4): 135—141. (in Chinese with English abstract)
- [10] Gutierrez-Estrada J C, De-Sanz E, Loez-Luque R, et al. SEDPA, an expert system for disease diagnosis in eel rearing systems[J]. Aquacultural Engineering, 2005, 33(2): 110—125.
- [11] Guo H, Shi W, Deng Y. Evaluating sensor reliability in classification problems based on Evidence Theory[J]. IEEE Transactions on System Man Cybernetics, 2006, 36(5): 970—981.
- [12] 李宏坤, 马孝江, 王珍, 等. 基于多征兆信息融合理论的柴油机故障诊断[J]. 农业机械学报, 2004, 35(1): 121—124.  
Li Hongkun, Ma Xiaojiang, Wang Zhen, et al. Diesel engine fault diagnosis based on multi-symptom information fusion[J]. Transactions of the CSAM, 2004, 35(1): 121—124. (in Chinese with English abstract)
- [13] Deng Yong, Su Xiaoyan, Jiang Wen. A fuzzy Dempster Shafer method and its application in plant location selection[J]. Advanced Materials Research, 2010(102/104): 831—835.
- [14] Bascetin A. A decision support system using analytical hierarchy process (AHP) for the optimal environmental reclamation of an open-pit mine[J]. Environmental Geology, 2007, 52(4): 663—672.
- [15] 周丽. 基于AHP和灰关联分析方法的粮食安全预警系统研究[D]. 南京信息工程大学, 2008.  
Zhou Li. Study on Grain Security Warning System by Grey-relation and Layer Analysis Method[D]. Nanjing: College of Applied Mathematics, Nanjing Information Engineering University, 2008. (in Chinese with English abstract)
- [16] 梅方权, 张象枢, 黄季焜, 等. 粮食与食物安全早期预警系统研究[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2006, 79—88.
- [17] 邓勇, 施文康, 朱振福. 一种有效处理冲突证据的组合方法[J]. 红外与毫米波学报, 2004, 23(1): 27—32.  
Deng Yong, Shi Wenkang, Zhu Zhenfu. Efficient combination

- approach of conflict evidence[J]. *Journal Infrared Millimeter and Waves*, 2004, 23(1): 27–32. (in Chinese with English abstract)
- [18] 彭珂珊. 我国粮食安全、粮食生产状况和未来形势分析——兼论 2003 年粮食价格波动[J]. *科技导报*, 2004, (1): 13–16.
- [19] 曹历娟, 洪伟. 世界粮食危机背景下我国的粮食安全问题[J]. *南京农业大学学报: 社会科学版*, 2009, (2): 32–37. Cao Lijuan, Hong Wei. China's food security under the background of the world's food crisis[J]. *Journal of Nanjing Agricultural University: Social Sciences Edition*, 2009, (2): 32–37. (in Chinese with English abstract)

## China's grain security warning based on multifactor information fusion

Su Xiaoyan<sup>1</sup>, Zhang Huijie<sup>2</sup>, Li Zhiqiang<sup>2</sup>, Deng Yong<sup>1,3,4\*</sup>

(1. *School of Electronics and Information Technology, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China*; 2. *Key Laboratory of Digital Agricultural Early-warning Technology, Ministry of Agriculture of China, Beijing 100081, China*; 3. *College of Computer and Information Sciences, Southwest University, Chongqing 400715, China*; 4. *Key Laboratory of Intelligent Computing and Information Processing of Ministry of Education, Xiangtan University, Xiangtan 411105, China*)

**Abstract:** China is the largest food consumption country in the world. With the social and economic development, China's food security has become a global attention. Grain security research involves many uncertain factors: as well as quantitative and qualitative information. In order to get the grain security status comprehensively, we proposed a method to evaluate risk in grain security based on multifactor information fusion. In the method, the quantitative and qualitative information were used to construct the basic probability assignment, and the attribute weights was got based on the Analytic Hierarchy Process method. After that, the multifactor fusion results were got based on the Dempster combination rule. The effectiveness of the method was verified with a numeric example that the data comes from the yearbook of China in 2007. The Results show that the method is effective and can correctly reflect the grain safety warning degrees.

**Key words:** information fusion, analytic hierarchy process, food supply, grain security, warning system, DS evidence theory