

# 灰色系统理论和方法在食品科学中的应用

郭爱明 江西省樟树农业学校 331200

**摘 要** 概述了灰色系统理论的主要特征,着重论述了与食品研究课题有关的3种灰色系统方法和应用问题。

**关键词** 灰色系统 食品研究

**Abstract** This paper outlines the main characteristics of the grey system theory and discusses the application of three grey system methods in food research.

**Key words** Grey System Food Research

灰色系统理论是80年代初由华中理工大学邓聚龙教授创立<sup>[1]</sup>。近年来,该理论和方法被广泛应用于农业、环保、气象、体育等各个领域。灰色系统方法在食品领域的研究中有所尝试<sup>[2,3]</sup>,但就其方法的使用与研究内容来说仍很单一浅窄。为此,本文试就灰色系统理论的主要特征及其方法在食品领域中的应用问题进行研究,旨在探求该理论方法与食品课题的结合途径。

## 1 灰色系统理论的主要特征

现代科技揭示客观世界是由大小不同、层次不等的系统组成。传统系统理论一般是研究清晰的且信息量充足的系统,而对内部信息欠缺的系统,则只能采用“黑箱”(即内部结构和特性完全不清楚的系统)方法处理。在研究内部信息部分已知而部分未知的系统时,沿用“黑箱”方法是不尽合理的。灰色系统理论把信息完全明确的系统称“白色系统”,把信息完全不明确的系统称“黑色系统”,把信息部分明确、部分不明确的系统称“灰色系统”<sup>[1]</sup>。事实上,“灰色”是绝对的普遍的,而“白色”和“黑色”则是相对的特殊的。灰色系统理论就是以大量存在的灰色系统为研究对象的,它的主要特征概括如下:

1.1 该理论认为,系统内部信息的完备与否是相对的,具层次性。它把低层次系统的不确定量视为高层次系统的确定量,充分利用已知信息去揭示系统的变化规律。所以,灰色系统理论能在相对较高层次上去反映系统的发展变化。

1.2 由于该理论充分利用系统内部的已知信息去推测、估计未知信息,实质上就是依据内部结构功能和各种参量去研究系统。因此它有效地弥补了“黑箱”方法在处理系统时仅仅通过输入和输出信息而未能有效地利用系统内部已知信息的不足。

1.3 该理论把随机过程看作灰色过程,并通过一定的技术处理将随机性和干扰性加以弱化,以在一定范围内变化的灰色量作为描述系统不确定信息的表达形式。从而可在样本含量不大或变量不具备某种典型分布的情况下(也不要求各因素数据的函数关系、量纲、变化方向的一致),使用灰色系统方法获得合理的结果。

## 2 灰色系统理论在食品领域应用的可行性

食品科学是一门综合性学科,人们在食品生产、科研、管理中遇到的各类问题,客观上涉及的是不同层次下的系统问题,食品科学系统必然地存在信息不完全性或是信息数据的离散性。在多数场合这个系统内部的信息不会是

一无所知也不会是完全已知,因而是灰色的,表现为对系统功能原理不完全明确,因素间关系以及行为特征难以把握,还表现在“主观性”“模糊性”问题以及色香味形等概念本身,和系统中指标体系的不完备性和无规范性。对这类灰色现象要彻底弄清往往不可能也无必要,这时就可以甚或有必要采用灰色系统理论和方法,以“软”手段来研究这类食品课题,诸如食品厂效益——因素分析、产品方案选优、厂址选择、食品车间布局决策、生产要素组合、最佳工艺条件的确定,等等。

### 3 灰色系统方法与食品研究课题

灰色系统理论在10年来的发展过程中,出现了很多处理灰色现象的方法。下面简介其中的3种:

#### 3.1 灰色关联分析法

这是一种因素定量分析法,通过各因素(或各指标)变化态势(几何关系)的相似程度来判断事物(或主因素)与因素间关联的密切程度,并以动态方式分析影响事物的主次因素<sup>[5]</sup>。其基本思想是根据各因素统计数据列,计算残差值得到关联度来决定关联序。关联度越大,表示特性越接近(因素间而言)或影响越大(因素对事物而言)。灰色关联分析法克服了传统相关分析法不适于非线性模型的缺陷,是相关分析的补充和发展。

在食品科学领域,对事物之间关系的把握以及了解影响某事物的主要因素是任何一种研究课题最基本且又至关重要的一环,灰色关联分析是解决好这一环的有效手段。现以分析“某食品厂经济效益的影响因素”为例来说明其一般的分析步骤:

3.1.1 明确问题,建立事物及其因素体系(即指标灰色系统);收取数据,设计参考数据列 $X_0$ ,比较数据列 $X_i$ 。例如把该厂经济效益问题视为一个灰色系统,以经济效益指标中的年总产值或净产值作事物,并以近几年的统计数值构造参考数据列 $X_0$ ;确定专业技术人员数、各类产品产量、设备更新投资量、广告宣传费等

为因素,并以近几年各因素的统计数值作比较数据列 $X_i$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ,  $n$  为因素个数)。

记  $X_0 = \{X_0(1), X_0(2), \dots, X_0(m)\}$ ,  $X_i = \{X_i(1), X_i(2), \dots, X_i(m)\}$  ( $m$  为统计数值的年数)。

3.1.2 数据处理 常用初值化  $X_i(k) = X_i(k)/X_i(1)$ ,  $X_0(k) = X_0(k)/X_0(1)$  或均值化得  $X_i(k) = X_i(k)/\bar{X}_i$ , 式中  $k=1, 2, \dots, m$ ,  $\bar{X}_i = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m X_i(k)$  即因素  $i$  各年数值平均数。目的是无量纲化,以具可比性。

#### 3.1.3 计算关联系数 $[\xi_i(k)]$

$$\xi_i(k) = \frac{\min_i \min_k \Delta_i(k) + \rho \max_i \max_k \Delta_i(k)}{\Delta_i(k) + \rho \max_i \max_k \Delta_i(k)}$$

式中  $\xi_i(k)$  为  $X_0$  与  $X_i$  在第  $k$  年的关联系数。

$\Delta_i(k) = |X_0(k) - X_i(k)|$ ,  $\min_i \min_k \Delta_i(k)$  表示在第一级最小差的基础上再找出其中最小差;同理,  $\max_i \max_k \Delta_i(k)$  是二级最大差,  $\rho$  为分辨系数,  $\rho \in [0, 1]$  旨在弱化最大差值的失真影响,一般取  $\rho = 0.5$ 。

#### 3.1.4 计算关联度 $r_i$ 。旨在将分散信息综合

$$r_i = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m \xi_i(k) \quad (\text{等权公式})$$

$$\text{或 } r_i = \sum_{k=1}^m [W_k \xi_i(k)] \quad (\text{加权公式})$$

式中  $W_k$  为各年份对事物即经济效益的权重,一般着重于最近或最可靠的年份信息,意谓参考价值较高。

3.1.5 关联分析 依关联度大小排成的数列称关联序,由排序位次即可确定各因素对经济效益的主次地位。此外依据关联系数可分析出各年的主要影响因素、发现存在的问题。

很容易看出,这种方法与以往的在某个时间断面上以一定样本含量来分析影响某事物的主要因素的思维方式有所不同。

这种方法还可用于“食品卫生管理环节分析”从而找出卫生管理系统的薄弱环节,以有效地强化管理;用于“食品工厂定级评估”,通过设置一“标准厂”以其有关指标数据为参考数据列,参与评估的厂家的各项指标统计值组

成比较数据列；用于“食品工业经营方案的评价与筛选”时，确定参考数据列的依据可以是各方案的技术经济指标数据中选出的最佳值，最后根据关联序确定方案优劣。

### 3.2 灰色局势决策法<sup>[4]</sup>

狭义上决策是指根据某种标准从几种可能的方案中选出最佳者的过程。灰色决策是指当数据中含有灰元（信息不足或内涵难以尽述的元素）时如何作决策，或是当信息太分散不便于归纳，如何处理后转化为决策过程可利用的信息的决策。而灰色局势决策是其中的一种类型，它的基本思想是：在一定目标下，对某一或某些事件，可供选择的对策很多，不同对策的效果不同，但在这些对策中总存在一个或若干个效果最优者，通过一定处理是可以找出的。4个基本要素是：事件、对策、效果、目标。二元组合：（事件，对策）=局势；与效果对应：效果/局势=决策元；在一定目标P下对策元的矩阵形式称为局面 $M^{(P)}$ 。

如果a指事件的全体， $a_i$ 是具体事件，记为 $a_i \in a$ ，同理，记对策为 $b_j \in b$ ，则记 $a_i$ 与 $b_j$ 的二元组合为 $S_{ij}$ ，称作局势。 $S_{ij} = (a_i, b_j)$ 。

记 $b_j$ 对 $a_i$ （即局势 $S_{ij}$ ）的效果为 $u_{ij}$ ，转化成效果测度为 $r_{ij}$ ，对于第P个目标的效果测度为 $r_{ij}^{(P)}$ ，当 $P > 1$ 时称作多目标局势决策。

设有n个事件，m个对策，有K个目标，那么相应地，局面 $M^{(P)} = [r_{ij}^{(P)}]_{n \times m}$ ，综合局面 $M^{(2)} = [r_{ij}^{(2)}]_{n \times m}$ ，其中

$$r_{ij}^{(2)} = \frac{1}{K} \sum_{p=1}^K r_{ij}^{(p)} \quad (\text{等权公式})$$

$$\text{或 } r_{ij}^{(2)} = \sum_{p=1}^K W_p r_{ij}^{(p)} \quad (\text{加权公式, } \sum_{p=1}^K W_p = 1)$$

决策准则（以\*表示最优）为：行决策 $r_{i*} = \max_j r_{ij}$ ，这是对付事件 $a_i$ 在所有对策中取效果测度最大者为最佳对策；列决策 $r_{*,j} = \max_i r_{ij}$ ，这是限于同一对策 $b_j$ 找最适事件；最优局势决策 $r_{*}^* = \max_i r_{i*} \cap \max_j r_{*,j}$ ，这是取行列决策皆优者作为最佳组合。有时我们得到的是一最优局势群，这有利于根据实际情况灵活调整择优。

现以“食品组合加工及其效应的优化决

策”为例进一步说明应用步骤：

一是明确问题，调查研究，资料整理。选择不同特点的食物组配，以提高营养、风味及色泽，同时考虑经济性现实性。

二是确定目标，选定事件与对策。例如目标为：营养、风味、色泽、成本、供销性；事件选定：大米、玉米、小麦；对策：鱼粉、牛肉、大豆。

三是依照上述设计取得效果数据。取得数据的途径有资料调查法、专家咨询法、实验测定法等。排列各局势的效果样本得到局面，如对营养目标而言，得到

$$M^{(1)} = \begin{bmatrix} \frac{u_{11}}{S_{11}} & \frac{u_{12}}{S_{12}} & \frac{u_{13}}{S_{13}} \\ \frac{u_{21}}{S_{21}} & \frac{u_{22}}{S_{22}} & \frac{u_{23}}{S_{23}} \\ \frac{u_{31}}{S_{31}} & \frac{u_{32}}{S_{32}} & \frac{u_{33}}{S_{33}} \end{bmatrix} \begin{matrix} \text{大米} \\ \text{玉米} \\ \text{小麦} \end{matrix}$$

鱼粉 牛肉 大豆

四是效果测度的计算。根据上述方法得到的 $M^{(1)}$ 、 $M^{(2)}$ 、…… $M^{(K)}$ ，除可用隶属度来表示效果测度外，这里介绍效益性指标（愈大愈好）、成本性指标（愈小愈好）和中间型指标（不大不小好）分别对应的计算式：

$$\text{上限效果测度 } r_{ij}^{(P)} = \frac{u_{ij}^{(P)}}{\max_i \max_j u_{ij}^{(P)}}$$

$$\text{下限效果测度 } r_{ij}^{(P)} = \frac{\min_i \min_j u_{ij}^{(P)}}{u_{ij}^{(P)}}$$

$$\text{适中效果测度 } r_{ij}^{(P)} = \frac{\min (u_{ij}^{(P)}, u_0)}{\max (u_{ij}^{(P)}, u_0)}, \text{ 其}$$

中 $u_0 = \frac{1}{n \times m} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m u_{ij}^{(P)}$  或是规定值。

在计算综合效果测度 $r_{ij}^{(2)}$ 时，设计各目标权重为 $W = (\text{营养} 0.3, \text{风味} 0.2, \text{色泽} 0.1, \text{成本} 0.2, \text{供销性} 0.2)$ 。

五是选择最优局势及决策结果分析。根据 $M^{(2)}$ 行决策可找出各谷物类食物（事件）搭配的最适对象——动物类与豆类食物（对策），列决策反之。进一步可筛选出最优组合用于生产，并根据研究需要找出组合规律。

应补充一点是，当需更多类食物组合时，可在此基础上选定较优二元组合 $S_{ij}$ 、 $S_{kl}$ 分别为事

件与对策, 然后重复上述步骤, 这时的局势(即组合)表示为  $S_{ijk} = [(a_i, b_j), (a_k, b_i)]$ 。

以上所述是灰色局势决策法的基本步骤。此外, 用于“投入产出的最优组合模式研究”时, 以不同投入视为事件、不同生产方式为对策, 以产量产值水平作目标, 通过决策分析达到优化组合。还可用于“最佳工艺参数的确定”。

这种方法概念体系通俗易懂, 便于人们建立立体空间系统模型, 实用性强, 值得推广。

### 3.3 灰靶决策法

作为灰色决策法之一, 该方法擅长于信息数据离散情况下的转化处理, 从而有效决策。

实质上是灰色局势决策的发展补充。灰靶决策是通过设置灰靶, 求算靶心距以确定各效果向量的优劣, 进而确定最优方案。

设  $U = \{u_{ij}\}$  为方案(或局势  $S_{ij}$ )的效果向量,  $u_0 = (u_0^{(1)}, u_0^{(2)}, u_0^{(3)}, \dots, u_0^{(k)})$  为靶心, 则靶心距为:

$$R_{ij} = \sqrt{\sum_{p=1}^k (u_{ij}^{(p)} - u_0^{(p)})^2},$$

式中  $p=1, 2, \dots, K$ ,  $K$  为目标(或指标)数。

通过  $R_{ij}$  大小比较, 即可判断各方案(或对策)的优劣, 找出事件与对策的最优组合。 $R_{ij}$  越小, 表明组合的综合效果距靶心越近, 对策越优。

现以“某饮料配方的设计”为例略作说明。拟定风味、杀口感、色泽为评价指标, 选择某配料的用量水平为事件, 另外某些配料用量为对策, 列表, 再以感官评定或理化测定数据作为方案效果, 某标准样品的各指标值为靶心。通过计算得出决策依据。

当各指标性质不同而可比性差时, 应将效果数据标准化处理。这里介绍其中一种方法——区间相对值化处理:

$$\text{对效益性指标: } u_{ij}^{(p)} = \frac{u_{ij}^{(p)} - \min u_{ij}^{(p)}}{\max u_{ij}^{(p)} - \min u_{ij}^{(p)}}$$

$$\text{对成本性指标: } u_{ij}^{(p)} = \frac{\max u_{ij}^{(p)} - u_{ij}^{(p)}}{\max u_{ij}^{(p)} - \min u_{ij}^{(p)}}$$

对中间型指标:

$$u_{ij}^{(p)} = 1 - \frac{|u_{ij}^{(p)} - u_0^{(p)}|}{\max u_{ij}^{(p)} - \min u_{ij}^{(p)}}$$

这种灰色系统方法用于食品的课题还有诸如“产品方案分析”“食品车间生产管理水平达标评估”等。很显然该方法无论设计手段还是计算方法均较简易, 原理形象便于理解应用。

作为灰色系统方法还有灰色层次决策法、灰色预测法、灰色控制法等, 在此不赘述。

## 4 结束语

在食品科学领域, 由于人类本身的局限性, 食品工作者不可避免会面临越来越多的灰色课题, 食品科学发展给我们无论广度还是深度提出了新的要求新的领域。在整个现代科技飞速发展、新颖的研究方法不断涌现、原有方法不断充实新的内容的今天, 我们有责任宣传推广并应用这类“软科学”方法。寻求理论方法与食品课题有机结合的途径是有意义的。只要我们努力探求, 灰色系统理论和方法将会事半功倍地解决很多食品科学的实际问题。

## 参考文献

- 1 邓聚龙. 灰色系统理论. 软科学的研究方法. 北京: 地震出版社, 1988, 8.
- 2 张培正等. 猕猴桃果实的耐藏性构成因素的灰色关联度分析. 食品科学, 1991, (2): 10~12.
- 3 吴惠荣. 江苏省农副产品收购量影响食品工业产值的灰色关联度分析. 食品工业科技, 1991, (3): 35~38.
- 4 佟欣宇等. 灰色局势决策在农作物区域布局中的应用. 农业系统科学与综合研究, 1993, 9 (2): 121~123.
- 5 邓聚龙. 灰色系统基本方法. 武汉: 华中理工大学出版社, 1988, 5.
- 6 蔡根女. 食品工业经济与管理. 北京农业大学出版社, 1988.