

食品包装工艺评价模型研究

doi:10.3969/j.issn.1674-7100.2017.01.001

孙智慧^{1,2} 巩雪^{1,2}
谷吉海^{2,3} 董文丽^{2,3}
阿伦^{2,3}

1. 哈尔滨商业大学
食品科学与工程学院
黑龙江 哈尔滨 150028
2. 包装科学与工程技术
省高校重点实验室
黑龙江 哈尔滨 150028
3. 哈尔滨商业大学
轻工学院
黑龙江 哈尔滨 150028

摘要: 针对食品包装工艺设计的复杂性、先进性、安全性等特征,提出了食品包装工艺的设计流程和内涵,建立了食品包装工艺的评价系统。以啤酒灌装工艺为例,用关联矩阵法建立包装工艺的评价模型,先分析6种评价指标在啤酒灌装工艺中的相对重要性,得到各评价指标的权重,再依据评价主体给定的评价尺度,得到评价定量,最后计算出替代方案的综合评价结果,判断包装工艺方案的科学性和经济性,确定最佳的啤酒包装工艺方案。本评价系统为复杂食品包装工艺设计提供了理论基础,具有重要的指导意义。

关键词: 食品; 包装工艺; 评价指标

中图分类号: F760.3

文献标志码: A

文章编号: 1674-7100(2017)01-0001-06

0 引言

随着科技的发展和人们生活水平的提高,消费者对食品包装提出了更高的要求,即包装产品从原料选择、产品的制造到使用和废弃的整个生命周期,均应符合生态环境保护的要求。因此,在包装设计中,设计师们应遵循5R原则,以达到保护环境和节约资源的目的。5R原则为:1)减少包装材料的使用量(reduce);2)选择可循环再生的包装材料(recycle);3)使用可回收利用的包装材料(reuse);4)回收使用过的包装(reclaim);5)拒绝使用无环保观念的包装(refuse)^[1]。

包装工艺是根据产品的包装要求而制定的一系列明细的包装制造过程工艺,以控制产品在包装过程的实际操作生产,达到产品批量化生产的目的。包装工艺是一项较复杂的系统工程^[2]。产品的物理特性和化学特性不同,采用的包装材料和包装方法不同,都会使得包装工艺路线不尽相同。包装工艺

直接影响产品质量、生产效率、生产周期、生产成本等,是企业生产活动中最活跃的因素。因此,如何对所设计的包装工艺方案进行系统评价,并根据评价结果选择最优的工艺方案,是包装生产方案设计中亟待解决的热点问题^[1-3]。

因此,本文拟以食品包装工艺为研究对象,运用系统工程中的系统评价理论,选用合适的评价指标和评价方法,建立食品包装工艺评价模型。并以某啤酒包装工艺设计为例,分析了3种包装工艺方案的优劣,确定方案3为最佳的包装工艺方案,该方案不仅能优化生产过程、提高生产效率,还能保证包装产品质量。实例分析结果验证了所提模型的有效性,以为包装工艺评价提供一定的理论参考。

1 食品包装工艺过程

食品包装工艺过程如图1所示。1)分析食品的化学组成和物性,以及包装材料的特性。由于在运

收稿日期: 2016-11-11

作者简介: 孙智慧(1962-),男,辽宁兴城人,哈尔滨商业大学教授,博士生导师,主要从事食品包装先进技术及装备智能化方面的研究, E-mail: sunzhahui1962@163.com

通信作者: 巩雪(1981-),女,辽宁锦州人,哈尔滨商业大学讲师,博士生,主要研究方向为农产品保鲜包装技术, E-mail: gongxue@hrbcu.edu.cn

输、储藏、流通过程中要保持食品的原品质和营养价值，因此需要先对食品和包装材料进行分析。2) 确定包装材料和包装形式。不同的食品其特性不同，所需达到的保护功能也不一样，因此，选取的包装材料必须满足食品的特性及运输储藏环境的要求，同时根据食品物性和包装材料的特性，选择合适的包装形式。3) 选择包装技术。针对食品流通环境和货架期

要求，包装生产过程中必须使用充填技术、灌装技术、检测技术、杀菌技术等，以保护食品免受化学、物理和微生物因素的影响。4) 确定工艺参数。工艺参数有填充/灌装时间、填充/灌装精度等。5) 确定工艺方案和设备。将上述各项技术指标进行比较分析，综合评价食品包装工艺的先进性、经济性及生产能力等，以确定包装工艺方案及设备。

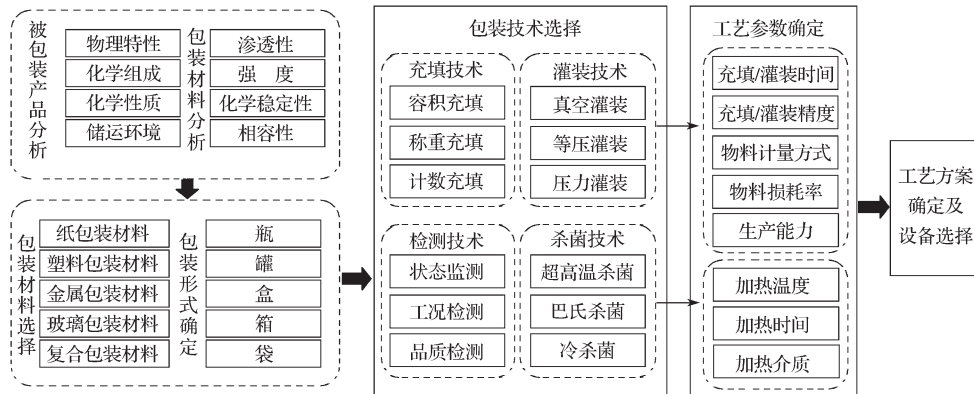


图1 食品包装工艺过程

Fig. 1 Packaging process of food

2 食品包装工艺评价系统

2.1 评价模型建立原则

食品包装工艺的评价模型是基于一定的评价标准，采用量化的评价方法，对食品包装工艺的主要环节、技术参数及经济性、安全性等进行分析比较，选出技术先进、经济合理的最佳方案^[4]。建立食品包装工艺的评价模型应遵循综合性、先进性和客观性原则，以保证评价结果的客观性、全面性。

1) 综合性

在评价过程中，不仅要考虑生产企业对包装材料、包装形式的要求，还要综合考虑包装对内装物的保护能力、工业化生产实现的难易程度、计量精度控制、生产企业的实际规模、生产能力、产品合格率、生产能耗、材料利用率、物料损耗率、环境保护及生产可靠性、安全性等多个方面。因此，可以运用多种方法和工具进行全方位的综合评价，充分发挥各种方法和手段的综合优势，通过综合评定来确定包装工艺过程的评价指标^[5]。

2) 先进性

通过了解产品包装的国内外技术发展动态，选取能体现现代包装高精度、高效率、高品质、低能耗的特点的评价指标，以保证包装工艺过程的先进性。

3) 客观性

评价是工艺方案确定的前提，评价要根据指标的“比较分析”结果，选择最优的包装工艺方案用于指导和控制包装生产。因此，评价结果的科学合理直接决定了决策的正确性。在对包装工艺进行评价时，要注意原始资料的全面性和可靠性，尽量降低评价主体的主观倾向，同时，还要注意评价主体的代表性和各个领域专家的合理比例，确保包装工艺评价结果的客观性。

2.2 评价系统流程

食品包装工艺评价是以拟评价的食品包装工艺过程为评价对象，通过对评价指标的综合计算，得出最优的包装工艺路线，以提高包装过程的效率、可靠性以及安全性。在评价过程中，首先要认清需要评价的对象、主体、目的、时间等问题，针对这些问题，收集国内外相关领域的研究进展，根据对相关信息的分析，确定评价方案、包装工艺评价指标（生产能力、生产先进性和经济性等）^[6]。针对包装工艺的特点，选择合适的评价方法，建立评价模型。根据评价模型计算评价指标，综合考虑各方面因素，确定最优的工艺路线，以保证食品包装生产高效、安全、可靠地运行。食品包装工艺评价流程见图2。

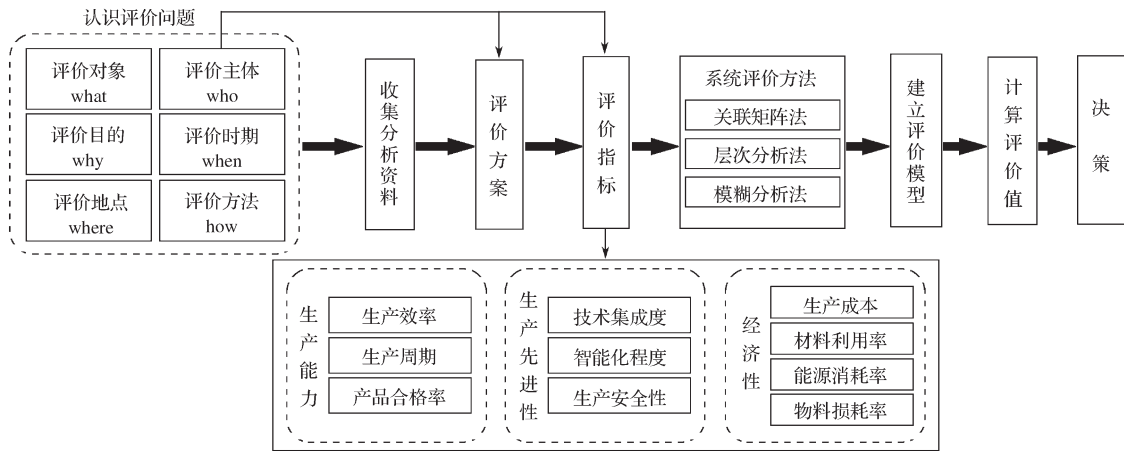


图2 食品包装工艺的评价流程

Fig. 2 Evaluation process of food packaging technology

2.3 评价方法

一般采用经验方法和综合分析方法评价包装工艺。随着现代包装技术的不断发展及复杂包装系统、智能包装系统的大量出现,传统的评价方法已不能满足要求,必须采用定性和定量相结合的方法对复杂的包装工艺进行评价。本文运用系统工程中的系统评价理论,选择符合包装工艺的评价指标和评价方法。适用于食品包装工艺的评价方法有层次分析法、模糊评价法和关联矩阵法。

2.3.1 层次分析法

层次分析法(analytic hierarchy process, AHP)是一种将定量分析和定性分析相结合的多目标决策分析方法。其主要思想是将复杂的决策系统层次化,通过逐层比较各种关联因素的重要性,建立判断矩阵,并计算该矩阵的最大特征值和对应的特征向量,得到不同方案的重要性程度权重,为选择最优方案提供依据^[6-7]。通常情况下,该评价方法适用于多目标、多判据的系统评价^[8-9]。层次分析法是解决食品包装工艺优化问题行之有效的方法。

2.3.2 模糊评价法

模糊评价法(fuzzy evaluation method)是一种基于模糊数学的综合评价方法。该方法根据模糊数学的隶属度理论把定性评价转化为定量评价,即用模糊数学对受到多种因素制约的事物或对象做出一个总体的评价^[10]。模糊评价法将食品包装工艺的便捷性、安全性、工艺路线的改造周期等指标用“好”“较好”“一般”等模糊语言表示^[11-12],并对模糊语言进行评估标度,给出其相应的取值区间,将其转换成

量化指标。用模糊语言解决模糊的、难以量化的问题具有一定的实际意义和理论价值^[13]。

$$\omega_i = \frac{1}{n(n-1)} \left(\sum_{j=1}^n p_{ij} + \frac{n}{2} - 1 \right), \quad i=1, 2, \dots$$

式中: ω_i 为评价指标的权重;

n 为评价指标的数量;

p_{ij} 为评价指标隶属度矩阵的元素。

对食品包装工艺方案的评价指标的参数值进行确定,计算出各指标的权重,根据权重进行排序并选择最优方案^[14]。

2.3.3 关联矩阵法

关联矩阵法(relevance matrix method)是以多指标的评价和定量与定性分析相结合的系统评价方法,常用于对系统的综合评价。它主要是用矩阵形式来表示各替代方案有关评价指标及其重要度与方案关于具体指标的价值评定量之间的关系^[15]。表1为关联矩阵表^[16]。表中, $A_j(j=1, 2, \dots, m)$ 为第 j 个替代方案; $x_i(i=1, 2, \dots, n)$ 为评价替代方案的第 i 个评价指标或评价项目; ω_i 为第 i 个评价指标的权重, $0 \leq \omega_i < 1$, $\sum \omega_i = 1$; v_{ji} 为替代方案 A_j 关于 x_i 指标的评价定量; v_j 为第 j 个替代方案的综合评价结果。

由表1可知,应用关联矩阵法对包装工艺进行评价的关键是,确定各评价指标的权重 ω_i 以及由评价主体给定的评价指标的评价尺度。因此,评价主体应从多个角度对包装工艺的不同层面进行分析,给定评定指标的权重和评价标准,以保证包装工艺评价的客观性。

表 1 关联矩阵表

Table 1 Relevance matrix table

方案	x_1	x_2	...	x_i	...	x_n	v_j
	ω_1	ω_2	...	ω_i	...	ω_n	
A_1	v_{11}	v_{12}	...	v_{1i}	...	v_{1n}	$v_1 = \sum_{i=1}^n \omega_i v_{1i}$
A_2	v_{21}	v_{22}	...	v_{2i}	...	v_{2n}	$v_2 = \sum_{i=1}^n \omega_i v_{2i}$
...
A_m	v_{m1}	v_{m2}	...	v_{mi}	...	v_{mn}	$v_m = \sum_{i=1}^n \omega_i v_{mi}$

3 实例分析

某啤酒生产企业需要将灌装工艺进行技术改造,提出了3种方案。本文以此为例,用上述食品包装工艺评价模型对3种方案进行评价。针对啤酒灌装生产及灌装过程主要指标要求多样性的特点,采用定性和定量方法对啤酒工艺过程进行评价,因此,本文采用关联矩阵法的逐对比较法。逐对比较法的原理是对各替代方案的评价指标进行逐对比较,对相对重要的指标给予较高分,据此得到各评价指标的权重 ω_i ,根据评价主体给定的评价尺度,在不同评价指标下将各替代方案进行评价,得到相应的评价值,通过加权求和得到啤酒灌装工艺的综合评价,从而确定最优的方案,以指导灌装生产线的技术改造。

某啤酒生产企业为提高产品的质量和生产能力制定了3个灌装生产方案。

A_1 : 自行设计1条新的灌装生产线。

A_2 : 从国外引进1条自动化程度较高的灌装生产线。

A_3 : 在原有的设备基础上改装1条灌装生产线。

3.1 确定评价指标

对啤酒灌装工艺进行评价时,首先要确定评价指标和评价尺度。根据啤酒产品在国内的生产现状和国外的技术发展程度,本文确定了灌装精度、设备成本、生产能力、产品合格率、生产安全性和改造周期等6个评价指标。3种方案的评价指标值见表2。

表 2 3种方案的评价指标值

Table 2 Evaluation index value of three schemes

评价指标	A_1	A_2	A_3
灌装精度/mL	± 5	± 1	± 10
设备成本/万元	200	300	120
生产能力/(瓶·h ⁻¹)	48 000	80 000	30 000
产品合格率/%	99	97	95
生产安全性	较安全	安全	较安全
改造周期	长	短	较长

3.2 确定评价指标权重

对3种方案进行比较,得出评价指标的权重 ω_i ,如表3所示。由表3可知,灌装精度、设备成本、生产能力、产品合格率、生产安全性和改造周期6个评价指标的权重分别为0.33, 0.13, 0.27, 0.20, 0.07, 0,相比较而言,灌装精度和生产能力2个评价指标的权重较大。

表 3 评价指标的权重

Table 3 Weights of evaluation index

评价指标	比较次数															累计得分	权重 ω_i
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
灌装精度	1	1	1	1	1											5	0.33
设备成本	0					0	0	1	1							2	0.13
生产能力		0				1				1	1	1				4	0.27
产品合格率			0				1		0				1	1		3	0.20
生产安全性				0				0		0		0		1		1	0.07
改造周期					0				0			0	0	0	0	0	0

3.3 确定评价定量

首先,评价主体根据啤酒灌装生产情况以及国内外发展动态,给出评价指标的评价尺度;其次,依据评价尺度给定的范围,对评价指标进行评分;然后,基于各评价指标的权重,按照关联矩阵表,计算3种方案的评价定量。

啤酒灌装工艺的关联矩阵如表4所示。

表 4 啤酒灌装工艺关联矩阵表

Table 4 Relevance matrix table of beer filling process

方案	灌装精度	设备成本	生产能力	产品合格率	生产安全性	改造周期	v_j
	0.33	0.13	0.27	0.20	0.07	0	
A_1	3	3	3	3	3	2	3.00
A_2	4	1	4	4	4	4	3.61
A_3	2	4	2	1	3	3	2.13

由表 4 可知, 3 种方案的评价定量 v_j 的排序为 $A_2 > A_1 > A_3$ 。因此, 方案 2 在生产效率和灌装精度等方面比另外 2 种方案更优越, 方案 2 为最优方案。

4 结语

本文基于食品包装工艺系统的复杂性、安全性、先进性、经济性要求, 提出了食品包装工艺系统设计的流程和基本内容, 给出了包装工艺系统综合评价的原则, 介绍了常用的评价方法及应用范围, 并以啤酒灌装工艺系统为例进行了方案的评价分析, 对食品包装工艺设计具有重要的应用价值和实际意义。随着我国食品包装行业的迅速发展, 复杂包装系统工艺方案的设计必须提高科学性和经济性, 因此必须用先进的系统评价方法完成包装方案的选择, 以保证食品包装生产的质量和效率。

参考文献:

- [1] 潘松年. 包装工艺学[M]. 4版. 北京: 印刷工业出版社, 2011: 1-10.
PAN Songnian. Packaging Technology[M]. 4th ed. Beijing: Printing Industry Press, 2011: 1-10.
- [2] 于江, 沙乃兵, 张立明. 产品包装评价体系模型及其应用[J]. 包装工程, 2008, 29(3): 100-102.
YU Jiang, SHA Naibing, ZHANG Liming. Product Packaging Evaluation System Model and Its Application[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(3): 100-102.
- [3] 蔡惠平, 陈黎敏. 包装工艺选择分析[J]. 包装工程, 2002, 23(5): 1-2.
CAI Huiping, CHEN Limin. Selecting Analysis of Packaging Technology[J]. Packaging Engineering, 2002, 23(5): 1-2.
- [4] 佟春生. 系统工程的理论与方法概论[M]. 北京: 国防工业出版社, 2005: 308-330.
TONG Chunsheng. Introduction to the Theory and Method of System Engineering[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2005: 308-330.
- [5] 宋洪震, 刘乘. 基于价值工程的过度包装评价体系[J]. 包装工程, 2008, 29(7): 96-98.
SONG Hongzhen, LIU Cheng. Evaluation System of Excessive Packaging Based on Value Engineering[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(7): 96-98.
- [6] 郭金玉, 张忠彬, 孙庆云. 层次分析法的研究与应用[J]. 中国安全科学学报, 2008, 18(5): 148-153.
GUO Jinyu, ZHANG Zhongbin, SUN Qingyun. Study and Applications of Analytic Hierarchy Process[J]. China Safety Science Journal, 2008, 18(5): 148-153.
- [7] 常建娥, 蒋太立. 层次分析法确定权重的研究[J]. 武汉理工大学学报(信息与管理工程版), 2007, 29(1): 153-156.
CHANG Jian'e, JIANG Taili. Research on the Weight of Coefficient Through Analytic Hierarchy Process[J]. Journal of Wuhan University of Technology (Information & Management Engineering), 2007, 29(1): 153-156.
- [8] 巩桂芬, 兰明, 殷科. 包装总成本综合评价 AHP 模型研究[J]. 包装工程, 2013, 34(3): 100-103.
GONG Guifen, LAN Ming, YIN Ke. Research on Comprehensive Evaluation AHP Model of Total Packaging Cost[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(3): 100-103.
- [9] 巩桂芬, 兰明, 殷科. 基于属性层次分析法的包装总成本综合评价[J]. 包装与食品机械, 2012, 30(6): 63-66.
GONG Guifen, LAN Ming, YIN Ke. Research on Attribute Hierarchical Model of Comprehensive Evaluation of Total Packaging Cost[J]. Packaging and Food Machinery, 2012, 30(6): 63-66.
- [10] 薛磊, 窦德强. 基于模糊综合评价法的绿色包装评价体系研究[J]. 中国包装工业, 2015(11): 189-190.
XUE Lei, DOU Deqiang. Study on Green Packaging Evaluation System Based on Fuzzy Comprehensive Evaluation[J]. China Packaging Industry, 2015(11): 189-190.
- [11] 徐泽水, 达庆利. 基于模糊语言评估的多属性决策方法[J]. 东南大学学报(自然科学版), 2002, 32(4): 656-658.
XU Zeshui, DA Qingli. Multi-Attribute Decision Making Based on Fuzzy Linguistic Assessments[J]. Journal of Southeast University (Natural Science Edition), 2002, 32(4): 656-658.
- [12] 徐泽水. 模糊互补判断矩阵排序的一种算法[J]. 系统工程学报, 2001, 16(4): 311-314.
XU Zeshui. Algorithm for Priority of Fuzzy Complementary Judgement Matrix[J]. Journal of Systems Engineering, 2001, 16(4): 311-314.
- [13] 梁昌勇, 刘益敏, 陆文星. 基于模糊语言决策的云管理信息系统评价研究[J]. 计算机技术与发展, 2017, 27(2): 29-32.
LIANG Changyong, LIU Yimin, LU Wenxing.

- Research on Assessment of Cloud Management Information System Based on Fuzzy Decision[J]. Computer Technology and Development, 2017, 27(2): 29-32.
- [14] TAN C, LIU K, SUN L, et al. A Design of Evaluation Method for SaaS in Cloud Computing[J]. Journal of Industrial Engineering and Management, 2013, 6(1): 50-72.
- [15] 赵林琳, 陈宝江. 基于关联矩阵法的工科专业实习教学问题研究[J]. 实验室研究与探索, 2013, 32(8): 365-367.
- ZHAO Linlin, CHEN Baojiang. On the Engineering Practice Teaching Based on Relational Matrix Analysis[J]. Research and Exploration in Laboratory, 2013, 32(8): 365-367.
- [16] 谭跃进, 陈英武, 罗鹏程, 等. 系统工程[M]. 北京: 科学出版社, 2017: 268-283.
- TAN Yuejin, CHEN Yingwu, LUO Pengcheng, et al. Systems Engineering[M]. Beijing: Science Press, 2017: 268-283.

Study on Food Packaging Process Evaluation Model

SUN Zhihui^{1,2}, GONG Xue^{1,2}, GU Jihai^{2,3}, DONG Wenli^{2,3}, A Lun^{2,3}

(1. Food Science and Engineering College, Harbin University of Commerce, Harbin 150028, China;

2. Key Laboratory of Packaging Science and Technology of Higher Education, Harbin 150028, China;

3. Light Industry College, Harbin University of Commerce, Harbin 150028, China)

Abstract: According to the characteristics of food packaging process system design, such as complexity, advancement, safety and so on, the design flow and connotation of food packaging process system were put forward, with the basic method of complex packaging process system evaluation introduced. By taking the example of beer filling process, an evaluation model of packaging process system was established by using relevance matrix method. The evaluation index weights were calculated based on the relative importance of six evaluation indexes in the packaging process system. The optimal design plan of the beer packaging process was determined by judging the scientific and economic performance of the packaging process according to the evaluation scale given by the evaluation subject. The research of evaluation method provided a new theoretical basis for the design of complex food packaging process system.

Keywords: food; packaging process; evaluation index