

基于关联矩阵法的食品包装安全性评价研究

王宇涵^a, 巩雪^b

(哈尔滨商业大学 a.食品工程学院 b.轻工学院, 哈尔滨 150028)

摘要: **目的** 为确保食品包装的安全性, 延长货架期, 采用科学系统的方法来评价食品包装的安全性和经济性, 解决在食品包装中看重设计、轻视安全性评价的问题。**方法** 通过对食品包装要素、包装技术方法、包装工艺和流通环境等因素对食品安全影响的定性分析, 建立影响食品安全的因果关系鱼骨图。运用关联矩阵的方法对食品包装系统进行定量分析, 以牛奶包装为例, 选择3种不同的包装方法对牛奶进行包装, 并利用关联矩阵法对不同的包装体系进行定量计算。**结果** 根据系统评价结果, 得到了利乐砖牛奶、塑料瓶和巴氏杀菌百利包的包装系统评价定量分别为5.0分、3.7分和2.6分, 通过系统评价定量, 可以直观反映各食品包装系统安全性的差异。**结论** 通过因果关系和关联矩阵的定性定量结合方法对系统进行评价, 能够为食品包装安全系统的构建提供有力的数据和理论支持。

关键词: 食品包装; 包装体系; 因果关系; 系统评价

中图分类号: TS206.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2020)15-0170-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.15.025

Food Packaging Safety Evaluation Based on Correlation Matrix

WANG Yu-han^a, GONG Xue^b

(a.School of Food Engineering b.School of Light Industry, Harbin University of Commerce, Harbin 150028, China)

ABSTRACT: The work aims to evaluate the safety and economy of food packaging scientifically and systematically, and solve the problem that food packaging pays more attention to design than safety evaluation, so as to ensure the safety of food packaging and extend the shelf life. Based on the qualitative analysis of the impact of food packaging elements, packaging technique, packaging technology and circulation environment on food safety, a fishbone diagram of causal relationship affecting food safety was established. The method of correlation matrix was used for quantitative analysis of food packaging system. Taking milk packaging as an example, three different packaging methods were selected for milk packaging, and the quantitative calculation of different packaging systems was carried out by the method of correlation matrix. According to the system evaluation results, the evaluation quantitative of Tetra Pak brick milk, plastic bottle and pasteurized baler were 5.0, 3.7 and 2.6 respectively. The safety difference of each food packaging system could be directly reflected through the system evaluation quantitative. The qualitative and quantitative evaluation of the system through causality and correlation matrix can provide strong data and theoretical support for the construction of food packaging safety system.

KEY WORDS: food packaging; packaging system; causality; system evaluation

收稿日期: 2020-02-15

作者简介: 王宇涵(1998—), 女, 专业为食品质量与安全。

通信作者: 巩雪(1981—), 女, 工学博士, 哈尔滨商业大学副教授, 主要研究方向为食品包装工艺及食品安全性评价。

食品是人们赖以生存的能量来源,与人们的生活和健康息息相关。食品安全(Food Safety)指食品应无毒害,并能满足营养要求,对人体健康无任何急性或慢性的危害;食品安全也是专门探讨食品在加工、包装和流通过程中确保食品卫生性的多学科交叉研究领域^[1]。近年来,随着人们生活水平的提高和健康意识的不断增强,食品安全问题也越来越受到国家和老百姓的重视。食品包装是食品流通过程中不可或缺的重要环节,其贯穿于食品流通、销售及储存的整个过程,因此食品包装安全也是实现食品安全的重要技术关键。食品包装的要素是多方面的,既与产品本身的物理和化学性质有关,又与包装材料、包装工艺技术和流通环境等方面有着密切联系,因此食品包装安全也需要从多方面进行评价。

随着包装技术的不断发展,食品包装技术也日新月异,传统的评价模型已无法满足现代化的生产要求,因此需要综合运用多种系统评价方法,对食品包装的安全性进行定性和定量的多重分析,得出更加准确的结论。在系统工程领域,适合复杂系统的评价模型包括模糊评价法、层次分析法以及关联矩阵法。模糊评价法(Fuzzy evaluation method)是以模糊数学为理论基础,确定评价指标的取值区间,并对各指标的权重进行量化系统评价方法;层次分析法(Antalytic hierarchy process)是利用逐层比较的方法得到各评价因素的权重,并得出最优方案的评价方法;关联矩阵法(Relevance matrix method)是采用定性和定量相结合的评价方法,是利用评价指标及其权重建立的矩阵表对各指标进行综合的评价,是系统综合评价最常用的方法之一^[2-4]。

文中拟利用关联矩阵法,以牛奶包装为实例,确定合适的评价指标和系统评价模型,对牛奶包装的安全性进行综合评价,解决目前食品包装领域重设计、轻评价的现状,使食品安全评价由单一的定性分析向定性定量综合分析转变。

1 食品包装系统的组成

关联矩阵法主要利用评价指标及其权重对系统进行综合评价,因此评价指标的选取对于系统评价的准确性有着比较重要的意义,从食品包装安全来说,想要准确地进行系统评价,就需要了解食品包装系统的组成部分及各个组成部分对包装安全的影响。

食品包装(Food packaging)是食品工业的重要组成部分,可以避免食品在储存、流通和销售过程中受到物理、化学、生物及环境等方面带来的影响和损害,保持食品原有的外观和营养价值。食品包装也是一个多学科交叉的产物,主要包含食品内在因素和流通环境、包装材料、包装技术方法等外在因素,内因和外因的相互作用会对食品的安全性产生影响,而这些影响极少是相对独立的,他们之间会产生相互的关

联,从而构成食品包装系统。

1.1 食品性能

1.1.1 物理性能

食品物性(Physical properties of foods)指具有影响食品原料的物理性质及工程特性,包括力学、流变学、质构、光热电等方面的特性,这些特性对食品的口感、质构及质量稳定性有密切的关系,目前已经成为食品科学研究领域的热门课题。一般情况下,评价食品质量包括视觉感应、化学感应和食品质构特性等方面的感官评价指标及营养价值评价指标。

1.1.2 化学性能

食品的化学性能(Chemical properties of food)是以化学理论为基础,在分子水平上研究食品的成分、结构、营养价值和安全性在生产、加工、流通及销售过程中的变化及对食品品质及安全性产生影响的性质。食品内部各组成成分之间或者食品的成分与外界环境之间一旦发生反应,很可能会引起许多重要的变质。酶是一种具有催化作用的特殊蛋白质,存在于很多食品之中,在条件适当的时候会引起一系列的生物和化学反应,引起食品主要成分的变化,从而改变食品的品质及营养价值。

1.2 食品包装的流通环境

食品在经过加工和包装后就会进入流通环节,在流通过程中,食品包装会经受环境因素的各种考验,从而改变食品包装的内环境,引起食品的品质变化。

1.2.1 流通环境引起食品的物理损伤

物理损伤主要是指由环境因素引起食品发生的物理变化及物理化学变化,是影响食品品质的关键因素之一。例如,流通环境的湿度变化会破坏包装内环境的相对湿度平衡状态,引起食品本身含水量的变化;环境因素的变化还会引起具有挥发性的食品成分的逸散而引起变质。食品的物理损伤很多时候并不是由于某一因素的作用而引起的,经常是由于很多因素共同作用而引发,如环境温湿度及氧气浓度的变化会改变包装环境内微生物的生命活性和代谢作用,导致脂肪、蛋白质等营养成分在微生物的作用下分解,环境因素的变化还可能引起蛋白质变性、淀粉老化乳化等生物化学变化,这些都会对食品的食用品质 and 安全性产生影响。

1.2.2 流通环境引起食品的化学损伤

在流通过程中,当环境因素变化时,如果食品包装保护不当,食品会发生一系列的化学及生物化学变化,从而影响食品的品质及安全性。食品中的脂肪、酶等化学成分会与空气和包装内环境中的氧气发生反应,影响到食品的色泽、风味、营养价值以及生鲜食品的呼吸速率,甚至还会造成食品物理性能发生改

变,并产生有害的物质。例如不饱和脂肪含量高的食品,特别容易氧化酸败,番茄红素也会在氧化作用的影响下由橙色变成褐色;在很多时候,食品的化学损伤是多方面因素造成的,当流通环境的温度、光照强度变化时,氧化反应速度也会发生变化,从而影响食品的营养价值及食用安全性。

1.2.3 流通过程中的微生物

当流通环境中的氧气浓度、水分含量及光线等因素在适宜的条件下,食品中的微生物会加速生长繁殖和代谢作用,在代谢过程中,微生物要消耗食品中的营养成分,使食品中的大分子在微生物的作用下分解成小分子物质,并代谢产生各种气体或酸的副产品,还可能向外释放淀粉酶、脂肪酶及蛋白酶等成分,从而影响食品的感官评价指标及食用安全性。

1.3 食品包装材料

包装材料是实现包装基本保护作用的关键组成部分,食品包装材料的选择可以根据食品性能和流通环境的综合分析得到防护要求。食品包装材料的选择还应考虑食品与包装材料的相容性,因此,内层包装材料应具有较高的安全性和化学稳定性,即在食品包装流通的过程中,不产生有害物质和有害气体,更不与内装物发生任何化学反应,以保证食品包装在流通过程中的安全性。近年来,功能性包装材料的出现为食品包装安全提供了新的途径^[5-7],美国农业部的 Hongda Chen 指出,纳米技术能够起到很好的抗菌作用、提高食品及包装内环境水分的稳定性,可以很好地保证食品包装安全,并指出包装是纳米技术实现工业化的重要平台;特别是以纳米银和纳米二氧化钛为代表的纳米颗粒技术,作为光催化剂^[8-10],能够提高乙烯的氧化速度,抑制食品的氧化反应,防止了食品营养成分的流失和维生素的损失^[11]。

1.4 食品包装技术

包装技术是食品包装的关键之一,与包装材料的选用密切相关,是保证食品包装安全的重要手段。随着工业 4.0 时代的到来,人们对食品包装安全也越来越重视,随之产生的智能包装技术也逐渐发展起来,智能包装的出现为解决食品包装安全及食品包装质量监测提供了有力的支持,智能包装技术不仅保留了气调包装、防潮包装、无菌包装等传统包装技术的优势,还可以通过射频识别技术及信息显示技术实现食品包装的追踪及食品包装质量检测^[12-14],例如,将气体、湿度等指示剂制成标签贴在包装内部,就可以随时检测食品包装内环境中气体和水分的变化,为食品包装安全提供了重要的依据;将生物传感器融入食品包装,可以对食品特定成分的腐败程度进行检验;时间-温度指示剂可以对食品包装在流通中的重要参数进行监控;控制湿度及气体成分变化的活性包装技

术也能够使食品包装内部氧气和水分在流通过程中处于稳定的状态,从而实现食品包装的安全性^[15]。

综上所述,食品包装安全系统是一个多因素相互影响和相互制约的复杂系统,食品本身的物理和化学性能、在流通环境过程中环境因素及微生物生物化学作用等因素对食品性能的影响决定了包装材料和食品包装技术方法的选择,而食品包装材料和食品包装技术同样会对食品包装安全的内在和外在因素起到保护作用,因此,要构建食品包装安全系统的评价体系,就要清晰食品包装安全系统各组成部分之间的因果关系,使构建的评价体系能够更好地评价食品包装安全定量。

2 食品包装安全的因果关系

食品包装安全是保障食品价值的关键技术之一,食品包装系统的各组成部分之间相互作用,相互协调才能保证食品包装的安全,食品包装系统各组成要素之间的因果关系见图 1。

根据食品包装安全性评价因果关系鱼骨图可以看出,评价体系中的各因素之间的关系错综复杂,相互影响又相互制约,而食品包装的最终目的是如何通过包装技术延长食品的货架期,通过对食品包装系统的组成并结合鱼骨图进行分析发现,延长食品的货架期主要是保持内装物稳定的物理化学性质,包装材料的阻隔性、包装技术、包装流通环境等因素都会对内装物的性质产生比较大的影响,从而影响食品的货架期。

3 基于关联矩阵法的食品包装安全性评价实例

关联矩阵法(RMA)是系统工程体系中经常使用的系统综合评价方法,主要是利用矩阵来表示各评价指标之间的定量关系,这样的方式可以使人们对复杂抽象的系统问题具象化,从而简化评价过程,明确各评价指标在系统中的权重。

关联矩阵系统评价方法的关键在于使用逐对比较法确定各评价指标的权重 α_j 及评价尺度,最终通过加权求得最终的系统评价价值。现在以 250 mL 的牛奶包装为例,利用关联矩阵法对食品包装安全系统进行评价。

3.1 系统评价指标的确定

根据食品包装系统组成及鱼骨图的分析结果,拟对牛奶包装安全进行系统评价,选取市面上常见的巴氏杀菌利乐包、利乐砖和塑料瓶等 3 个方案,确定包装材料阻隔性、包装技术方法、流通环境要求、流通过程中内装物性能、牛奶货架期等 5 个指标进行评价,各评价指标的取值见表 1。

3.2 系统评价指标权重的确定

利用逐对比较法对系统评价指标进行比较,得到各指标在评价系统中的权重,比较结果见表 2。根据表 2 所示的结果,可以看出包装材料阻隔性、包装技术、流通环境要求、流通过程中内装物性能和货架期等 5 个指标的权重分别为 0.3, 0.2, 0, 0.1 和 0.4,

由所得权重可知,牛奶包装材料的阻隔性和牛奶包装的货架期在系统评价中所占的比重较大,属于较为重要的评价指标。

3.3 系统评价定量的计算

根据确定的系统评价指标的权重,结合评价主体对各评价指标的评价尺度及给定的评分结果,利用关

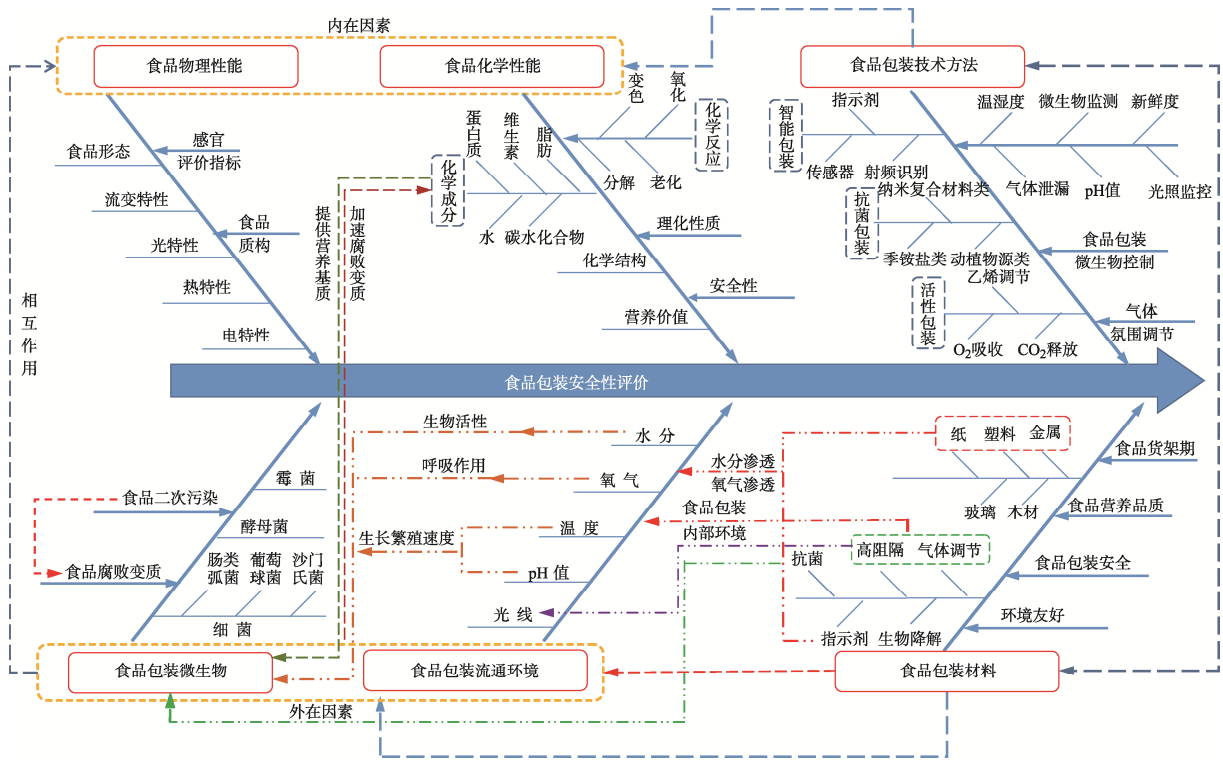


图 1 食品包装安全性评价因果关系鱼骨图
Fig.1 Fishbone diagram of causality in food packaging safety evaluation

表 1 牛奶包装系统评价指标
Tab.1 Evaluation index of milk packaging system

评价方案	包装材料阻隔性	包装技术	流通环境要求	流通过程中内装物性能	货架期/d
巴氏杀菌百利包	一般	一般	冷链运输	不稳定	7
利乐砖	好	先进	常温	稳定	180
塑料瓶	较好	较先进	常温	稳定	45

表 2 系统中各评价指标所占权重
Tab.2 Weight of evaluation index in the system

指标	逐对比较										得分	权重 a_j
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
包装材料阻隔性	1	1	1	0							3	0.3
包装技术	0				1	1	0				2	0.2
流通环境要求		0			0			0	0		0	0
流通过程中内装物性能			0			0		1		0	1	0.1
货架期/d				1			1		1	1	4	0.4

关联矩阵的计算方法, 得到不同方案系统评价的定量, 关联矩阵的计算方法如下:

$$v_i = \sum_{j=1}^n \sum_{j=1}^m \alpha_j \cdot v_{ij}$$

式中: v_i 为系统评价的定量; n 为系统模型中的评价方案数量; α_j 为系统评价各指标的权重; m 为系统评价指标的数量

根据所建立的系统评价体系, 计算中的 $n=3$, $m=5$, 并构建关联矩阵见表 3。

表 3 系统评价关联矩阵
Tab.3 Correlation matrix of system evaluation

评价方案	包装材料 阻隔性	包装 技术	流通环 境要求	流通过程 中内装物 性能	货架 期/d	v_i
	0.3	0.2	0	0.1	0.4	
巴氏杀菌 百利包	3	3	3	3	2	2.6
利乐砖	5	5	5	5	5	5.0
塑料瓶	4	4	5	5	3	3.7

根据表 3 所示, 利用关联矩阵法计算得到的各系统评价定量结果可以看出, 选择利乐砖这种包装方法可以使食品包装安全性最优, 其次为塑料瓶, 巴氏杀菌百利包则综合性能较差, 在流通过程中对食品包装要求和流通环节的要求比较高。

4 结语

基于食品包装系统中安全性的要求, 结合食品包装对生产效率、经济性等要求, 提出了食品包装安全评价体系的基本内容, 构建出食品包装安全评价体系各组成部分的因果关系鱼骨图, 以牛奶包装为例, 利用关联矩阵法对 3 种不同的方案进行了系统评价, 根据计算结果可知, 选择利乐砖进行牛奶包装可以获得较高的食品安全包装体系, 为食品包装安全系统评价提供了理论基础和数据支持。随着我国食品加工和包装产业的发展, 食品包装安全所涵盖的领域越来越宽泛, 对食品包装安全的要求也越来越严格, 清晰食品包装安全体系各组成部分的制约关系, 能够为构建较高安全性的食品包装提供有力的支持, 同时, 利用系统评价理论对食品包装体系进行评价, 能够提高食品包装的安全性, 满足人们对食品包装安全的要求。

参考文献:

- [1] 胡长鹰, 余稳稳. “食品包装安全”在食品安全课程中的设计与实践[J]. 包装工程, 2019, 40(S1): 58—60.
HU Chang-ying, YU Wen-wen. Design and Practice of

- "Food Packaging Safety" in Food Safety Curriculum[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(S1): 58—60.
- [2] 孙智慧, 巩雪, 谷吉海, 等. 食品包装工艺评价模型研究[J]. 包装学报, 2017, 9(1): 1—6.
SUN Zhi-hui, GONG Xue, GU Ji-hai, et al. Study on Evaluation Model of Food Packaging Process[J]. Journal of Packaging, 2017, 9(1): 1—6.
- [3] 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 De-qiang. Study on Green Packaging Evaluation Ssystem Based on Fuzzy Comprehensive Evaluation Method[J]. China Packaging Industry, 2015(11): 189—190.
- [4] 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 Lin-lin, CHEN Bao-jiang. Research on the Practical Teaching of Engineering Majors Based on the Relevance Matrix Method[J]. Laboratory Research and Exploration, 2013, 32(8): 365—367.
- [5] SALIU F, DELLA PER GOLA R. Carbon Dioxide Colorimetric Indicators for Food Packaging Application: Applicability of Anthocyanin and Poly-lysine Mixtures[J]. Sensors and Actuators B: Chemical, 2018, 258(4): 1117—1124.
- [6] KOSKELA J, SARFRAZ J, IHALAINEN P, et al. Monitoring the Quality of Raw Poultry by Detecting Hydrogen Sulfide with Printed Sensors[J]. Sensors and Actuators B: Chemical, 2015, 218: 89—96.
- [7] 曹国洲, 刘在美, 钟莺莺, 等. 食品包装复合膜中纳米二氧化钛食品安全风险评估[J]. 食品科技, 2018, 43(12): 345—348.
CAO Guo-zhou, LIU Zai-mei, ZHONG Ying-ying, et al. Food Safety Risk Assessment of Nano Titanium Dioxide in Food Packaging Composite Film[J]. Food Science and Technology, 2018, 43(12): 345—348.
- [8] 王梦军, 年琳玉, 曹崇江. 功能性食品包装材料的研究进展及发展趋势[J]. 包装工程, 2020, 41(7): 65—76.
WANG Meng-jun, NIAN Lin-yu, CAO Chong-jiang. Research Progress and Development Trend of Functional Food Packaging Materials[J]. Packaging Engineering, 2020, 41(7): 65—76.
- [9] 肖玮, 孙智慧, 刘佳, 等. 生物降解食品包装材料的研究进展[J]. 食品工业, 2018, 39(1): 216—218.
XIAO Wei, SUN Zhi-hui, LIU Jia, et al. Review of Biodegradable Food Packaging Materials[J]. Food Industry, 2018, 39(1): 216—218.
- [10] 李喜泉, 杨巍巍. 纳米材料在食品包装中的应用及安全性评价[J]. 包装与食品机械, 2019, 37(5): 57—62.

- LI Xi-quan, YANG Wei-wei. Application and Safety Evaluation of Nanomaterials in Food Packaging[J]. Packaging and Food Machinery, 2019, 37(5): 57—62.
- [11] 叶伟杰, 陈楷航, 蔡少龄, 等. 纳米银的合成及其抗菌应用研究进展[J]. 材料工程, 2017, 45(9): 22—30.
YE Wei-jie, CHEN Kai-hang, CAI Shao-ling, et al. Progress in Synthesis and Antibacterial Application of Nano Silver[J]. Materials Engineering, 2017, 45(9): 22—30.
- [12] 廖雨瑶, 陈丹青, 李伟, 等. 智能包装研究及应用进展[J]. 绿色包装, 2016(2): 39—46.
LIAO Yu-yao, CHEN Dan-qing, LI Wei, et al. Research and Application Progress of Intelligent Packaging[J]. Green Packaging, 2016(2): 39—46.
- [13] 李洪军, 王俊鹏, 贺稚非, 等. 智能包装在动物源性食品质量与安全监控中应用的研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(21): 272—279.
- LI Hong-jun, WANG Jun-peng, HE Zhi-fei, et al. Research Progress on the Application of Intelligent Packaging in Quality and Safety Monitoring of Animal Derived Food[J]. Food and Fermentation Industry, 2019, 45(21): 272—279.
- [14] 李墨琳, 罗欣, 刘国星, 等. 活性包装对肉制品品质及货架期的影响研究进展[J]. 食品科学, 2019, 40(11): 313—320.
LI Mo-lin, LUO Xin, LIU Guo-xing, et al. Research Progress on the Effect of Active Packaging on the Quality and Shelf Life of Meat Products[J]. Food Science, 2019, 40(11): 313—320.
- [15] PATHAK N, CALEB O J, GEYER M, et al. Photocatalytic and Photochemical Oxidation of Ethylene: Potential for Storage of Fresh Produce-a Review[J]. Food and Bioprocess Technology, 2017, 10(6): 982—1001.