高涛, 罗黄洋, 吴韧, 等. 主客观组合权重法在食品感官评价中的应用 [J]. 食品工业科技, 2021, 42(18): 300−307. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020120230

GAO Tao, LUO Huangyang, WU Ren, et al. Application of Subjective and Objective Combination Weighting Method in Food Sensory Evaluation[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(18): 300−307. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020120230

· 分析检测 ·

主客观组合权重法在食品感官评价中的应用

高　涛[1], 罗黄洋[1], 吴　韧[1], 贺灵芝[1,2], 程　飞[1], 向　琴[1], 唐华丽[1,*]

（1.重庆三峡学院生物与食品工程学院, 重庆万州 404100;
2.重庆市万州区食品药品检验所, 重庆万州 404100）

摘　要: 为使食品感官评价中各评价指标的权重分配更加科学合理，考察了主客观组合赋权法在食品感官评价中的可行性。以酸奶的感官评价为例，以各产品间组间显著性差异个数为指标，筛选最优的主观赋权法和客观赋权方法，并以筛选出的主观赋权法与客观赋权方法为基础，考察主客观组合赋权法在食品感官评价中的可行性。结果表明，以各产品间组间显著性差异个数为指标时，主观赋权法中，环比法（20 个）优于强制决定法（16 个）；客观赋权法中，熵权法（20 个）优于主成分分析（18 个）；组合赋权法中，乘积法与线性功效系数法（18 个）优于单位化约束条件组合赋权法（16 个），综合三种方法的排序结果，认定线性功效系数法在酸奶的感官评价中更有优势。本文可为食品感官评价的权重确定提供一定参考。

关键词: 感官评价, 多指标综合评价, 主观赋权法, 客观赋权法, 主客观组合赋权法

中图分类号: TS207.3　　**文献标识码:** A　　**文章编号:** 1002−0306(2021)18−0300−08

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2020120230

本文网刊:

Application of Subjective and Objective Combination Weighting Method in Food Sensory Evaluation

GAO Tao[1], LUO Huangyang[1], WU Ren[1], HE Lingzhi[1,2], CHENG Fei[1], XIANG Qin[1], TANG Huali[1,*]

（1.College of Biology and Food Engineering, Chongqing Three Gorges University, Wanzhou 404100, China;
2.Chongqing Wanzhou Food and Drug Inspection Institute, Wanzhou 404100, China）

Abstract: To make the weight of each evaluation index in food sensory evaluation more reasonable and scientific, the feasibility of subjective-objective combination weighting method in food sensory evaluation was investigated. Taking the sensory evaluation of yogurt as an example, taking the number of significant differences among groups as the index, the optimal subjective weighting method and objective weighting method were selected. Based on the selected subjective weighting method and objective weighting method, the feasibility of subjective-objective combination weighting method in food sensory evaluation was investigated. The results showed that, when the number of significant differences among groups was taken as the index, the ring comparison method(20) was better than forced decision method(16) in the subjective weighting method; the entropy method(20) was better than principal component analysis method(18) in the objective weighting method; the product method and the linear efficacy coefficient method(18) were better than the combination weighting method of unitized constraints(16) among the combination weighting methods, but after synthesizing the ranking results of the three methods, it was concluded that the linear efficacy coefficient method had more advantages in the sensory evaluation of yogurt. It is hoped that this paper could provide a new idea for how to determine the weight of each evaluation index in food sensory evaluation.

Key words: sensory evaluation; multi-index comprehensive evaluation; subjective weighting method; objective weighting method; subjective-objective combination weighting method

收稿日期: 2020−12−28

基金项目: 重庆市基础科学与前沿研究项目（cstc2016jcyjA0522）; 重庆市教委科学技术研究项目（KJ1601008）; 重庆三峡学院博士研究基金项目（17ZZ02）; 重庆三峡学院校级重大培育项目（17ZP05）。

作者简介: 高涛（1997−）, 男, 硕士研究生, 研究方向: 食品加工与安全, E-mail: gaotao2020@126.com。

*** 通信作者:** 唐华丽（1982−）, 男, 博士, 副教授, 研究方向: 食品加工与质量控制, E-mail: hualidfood@163.com。

近年来，我国经济的快速发展促进了食品行业的高速发展，而食品的受欢迎的程度也成为了食品研发过程中一个非常重要的参考因素。消费者对于食品的喜好，极大程度受到食品感官性状的影响，如何科学而合理地对食品的感官指标进行评价成为了重中之重。食品感官评价是指食品感官评价人员通过感官对食品的感官属性做出综合评价的系统分析方法[1−4]。此外，由于食品的感官评价都是由人来进行的，主观因素便成为了食品感官评价中不得不考虑的误差来源，而如何降低人为因素的影响便成了食品感官评价中待解决的问题。目前，对于该问题的解决主要是通过模糊数学建立食品感官评价模型来提高食品感官评价的科学性[5]。其模糊感官评价已成功地应用到果蔬饮料[6]、面包[7−8]、肉制品[9]、酒类制品[10−11]、乳制品[12]等各个领域。但由于模糊感官评价所采用的各评价指标权重依旧是来自于主观评价，故模糊感官评价依旧具有一定的主观性。

食品感官评价的核心在于如何确立各指标的权重。现阶段在食品感官评价领域常用的权重确定方法有强制决定法[13]、0~4 评分法[14]、环比评分法及专家调查法等[15]。其中强制决定法具有较简单的操作及运算过程，在食品感官评价的权重确定过程中得到了广泛的应用[16]，已用于饮料[17]、休闲食品[18]、调味品[19]等各个食品领域。但不足的是，上述方法均为主观赋权法，在确定各指标的权重时均具有主观性。为降低权重确定的主观性，学术界提出了主客观组合赋权法，此方法目前已广泛应用于经济管理、工业制造及环境评价等领域[20−22]。但在食品感官评价领域还未见相关报道。

本文采用几种单一的主观、客观赋权法对酸奶感官评价的各项评价因素进行赋权，并以组间显著性差异个数为指标，筛选较优的主观、客观赋权法。此外，以筛选出的主观、客观赋权法的权重为基础，采用几种组合权重计算方法确定食品感官评价的主客观组合权重，计算产品的最终感官评价得分，并比较各综合权重计算方法的优劣。希望本研究可为食品感官评价中各评价指标的权重确定提供新的参考。

1　材料与方法

1.1　实验材料

由于本研究的目的主要是表明主客观组合赋权法在食品感官评价中应用的可行性，同时也为了避免利益冲突等问题。所以，直接对所选择的 6 种酸奶样品标记为 A、B、C、D、E 和 F。6 种酸奶样品均为常见的原味酸奶，购自于当地永辉超市。

1.2　实验方法

1.2.1　感官评价　参照 GB 19302-2010《食品安全国家标准：发酵乳》的有关要求及标准建立酸奶的感官评价标准[23]，选取 10 名食品专业的学生（男女比为 1∶1）按表 1 的内容对酸奶的感官性状进行评价，并记录数据。后续全程测评均由这 10 名同学参与。

1.2.2　主观赋权法　主观赋权法是根据专家主观上对各评价指标的重要程度来确定指标权重的一类方法的统筹。常用的主观赋权法有强制决定法、层次分析法及环比法等。由于强制决定法与环比法具有简单高效等特点，其在食品感官评价中得到了大量的应用。即本文将以这两种方法为考察对象筛选较优的主观赋权法。

1.2.2.1　强制决定法　根据文献所描述的方法，采用强制决定法确定产品感官指标的主观权重[24−25]。将参加评价的因素列在一张方形表的首行和首列中，并保证一一对应，由参加感官评价的 10 名同学以评价因素的重要程度为指标，让各评价因素一一对比，重要因素计 1 分，次要因素计 0 分，自身相比不计分。最后计算各因素的得分，并除以总分即可得到各因素的权重。

1.2.2.2　环比法　根据文献所示的方法计算环比法中各评价指标的权重[14]。将风味与色泽进行对比，假定色泽为 1，风味应为多少。再将滋味与风味对比，假定风味为 1，滋味应为多少。再将组织状态与滋味进行对比，假定滋味为 1，组织状态应为多少。最后，将色泽确定为 1，将上述对比结果统一，自身得分除以总分即为其权重。

1.2.3　客观赋权法　客观赋权法是根据各指标评价结果的数值间的关系来确定权重的一种方法[26]。常用的客观赋权法有主成分分析法、熵权法、离差及均方差法等[27−29]。客观赋权法现阶段在食品感官评价领域的应用还相对较少，现主要应用于食品质量及加工等方面[30−31]。本研究选取熵权法与主成分分析法为考察对象进行计算。由于产品的感官特性为产品所具有的客观属性，其不受人为喜好而改变。另外，在这个人为评价过程中，评价人员相当于“仪器”，感官评价标准相当于“检测方法”，其按照评分标准所

表 1　酸奶的感官评价指标与评分标准

Table 1　Sensory evaluation index and scoring standard of yoghurt

项目	评分标准		
	0~60 分	60~80 分	80~100 分
色泽	色泽不均匀，颜色对比大	色泽为黄色，颜色略深或略浅	色泽均匀一致，呈乳白色或微黄色
风味	奶香味较淡，发酵乳风味过浓或过淡	酸奶香气稍淡，发酵乳风味较淡	有乳酸菌发酵的清香，香味浓淡适中
滋味	过酸或者过甜，口感粗糙	偏酸或者偏甜，但口感较好	酸甜适中，口感细腻
组织状态	凝乳均匀度差，粘稠度稀，有气泡，大量乳清析出	凝乳均匀，有少量乳清析出	凝乳均匀无杂质，无气泡，稠度好

得到的结果就相当于是“客观数据”，不同评价人员感官之间的差异就相当于“系统误差”。利用 1.2.1 所得到的的感官评价数据按下列方法进行计算以得到各评价指标的权重。

1.2.3.1 熵权法 熵权法作为客观赋权法中应用较为广泛的一种方法，其核心在于根据各指标的信息熵的大小来确定各指标权重[32]。其计算过程如下所示：

$$y_{ij}=\frac{X_{ij}-Max(X_j)}{Max(X_j)-Min(X_j)} \quad 式（1）$$

$$S_j=-\frac{1}{\ln(n)}\sum_{i=1}^{n} f_{ij}\times\ln(f_{ij}) \quad 式（2）$$

$$f_{ij}=\frac{y_{ij}}{\sum_{i=}^{n} y_{ij}} \quad 式（3）$$

$$W_j=\frac{1-S_j}{\sum_{j=1}^{m}(1-S_j)} \quad 式（4）$$

$$F_e=\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}(W_j\times X_{ij}) \quad 式（5）$$

式中：X_{ij}为第 j 个指标的第 i 组样品的原始数据；y_{ij}为第 j 个指标的第 i 组样品标准化后的值；S_j为第 j 个指标的熵值；W_j为第 j 个指标的权重；F_e为熵权法计算得出的产品感官评价结果；m 表示指标个数；n 表示原始数据组数。注：由于感官评价的各个指标的变化范围均一致，故在计算总评分时，可以直接计算，无需把原始数据进行标准化。

1.2.3.2 主成分分析法 主成分分析法也是一种常用的客观赋权法，其原理在于提取各评价指标在数值上的未知关系用于形成新的评价指标来实现数据的降维，并计算各评价指标的权重[33]。计算过程如下所示：

$$U_{aj}=\frac{u_{aj}}{\lambda_a} \quad 式（6）$$

$$w_j=\frac{\sum_{a=1}^{p} u_{aj}\times F_a}{\sum_{j=1}^{m}\sum_{a=1}^{p} u_{aj}\times F_a} \quad 式（7）$$

$$W_j=\frac{w_j}{\sum_{j=1}^{m} w_j} \quad 式（8）$$

$$F_p=\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}(W_j\times X_{ij}) \quad 式（9）$$

式中：λ_a为第 a 个主成分的特征值；U_{aj}为第 j 个指标的第 a 个主成分的得分系数；u_{aj}为第 j 个指标的第 a 个主成分的特征向量；F_a为第 a 个主成分的方差贡献率；w_j为第 j 个指标的权重系数；W_j为第 j 个指标的权重；X_{ij}为第 j 个指标的第 i 组样品的原始数据；F_e主成分分析赋权法的最终得分用表示；p表示主成分个数；m 表示指标个数；n 表示原始数据组数。

1.2.4 组合赋权法 为消除主观赋权法和客观赋权法的缺陷，第三类赋权法—组合赋权法应运而生。这类赋权法主要由乘积法与加和法组成。其中加和法组合赋权又存在很多计算方法，例如线性加权单目标最优化法、折衷系数综合权重法及博弈论法等[34−35]。组合赋权法能一定程度上减少了主观随意性影响，同时也综合考虑到了决策者对属性的偏好，做到了主观和客观的统一，但由于组合赋权法一般都具有较复杂的计算过程，所以一定程度上影响了其应用性[36]。本文共选取了三种组合赋权法计算食品感官评价中的各评价因素的权重及感官评分，如下所示。

1.2.4.1 乘积法 乘积法作为最简单且计算最简洁的组合赋权法大量应用于农业及食品等领域[37−39]，其计算过程如下所示，并将其命名为方法 A。

$$W_j=\frac{W_{1j}\times W_{2j}}{\sum_{j=1}^{m} W_{1j}\times W_{2j}} \quad 式（10）$$

$$F=\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}(W_j\times X_{ij}) \quad 式（11）$$

式中：W_{1j}与W_{2j}分别表示主观赋权法与客观赋权法的权重集合；W_j表示组合赋权法的权重；X_{ij}为第 j 个指标的第 i 组样品的原始数据；m 表示指标个数；n 表示原始数据组数；F 表示此方法所得到的感官评分。

1.2.4.2 线性功效系数法 线性功效系数法是一种基于距离函数确定组合权重的方法，其计算过程如下所示，详细推算过程如文献所示[40−41]。将此方法记为方法 B。

$$W_j=\alpha W_{1j}+\beta W_{2j} \quad 式（12）$$

$$\alpha+\beta=1 \quad 式（13）$$

$$(\alpha-\beta)^2=\frac{1}{2}\sum_{j=1}^{m}(W_{1j}-W_{2j})^2 \quad 式（14）$$

$$F=\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}(W_j\times X_{ij}) \quad 式（15）$$

式中：W_{1j}与W_{2j}分别表示主观赋权法与客观赋权法的权重集合；W_j表示组合赋权法的权重；X_{ij}为第 j 个指标的第 i 组样品的原始数据；m 表示指标个数；n 表示原始数据组数；F 表示此方法所得到的感官评分。

1.2.4.3 单位化约束条件组合赋权法 单位化约束条件组合赋权法是一种使评价对象的综合评价值最大的一种方法，其简要计算过程如下所示，详细推算过程如文献所示[42−43]。将此方法记为方法 C。

$$W_j=\alpha W_{1j}+\beta W_{2j} \quad 式（16）$$

$$\alpha=\frac{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}X_{ij}\times W_{1j}}{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}X_{ij}\times(W_{1j}+W_{2j})} \quad \text{式（17）}$$

$$\beta=\frac{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}X_{ij}\times W_{2j}}{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}X_{ij}\times(W_{1j}+W_{2j})} \quad \text{式（18）}$$

$$F=\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}(W_j\times X_{ij}) \quad \text{式（19）}$$

1.3　数据分析

数据计算选取 Microsoft Excel 2016，绘图采用 Origin 2018，显著性检验采用 SPSS 23.0。若数据符合正态分布，则进行单因素方差分析。在单因素方差分析中，若方差齐性时，组间显著性检验采用邓肯式检验，若方差不齐性时，组间显著性检验采用 Tamhane T2 检验。若数据不符合正态分布并无法转化为正态分布时，采用独立样本非参数检验，组间显著性检验采用中位数检验。

2　结果与分析

2.1　感官评价结果

按照表 1 中的评分指标和评分标准，让感官评价小组对选择的 6 种酸奶样品进行感官评价，其结果如图 1 所示。在色泽方面，样品 A 和样品 F 显著（$P<0.05$）优于其他 4 种样品，而另外四种样品间无显著性差异（$P>0.05$）；在样品的风味方面，样品 E 显著（$P<0.05$）优于其他 5 种样品，样品 A、B 和 C 显著（$P<0.05$）优于 D 和 F；在产品的滋味方面，除样品 B 显著（$P<0.05$）低于其他 5 种产品，其他产品差异不大；而在产品的组织状态方面，样品 A 和 F 均显著低于其他 4 种产品（$P<0.05$）。综上所示，各个产品间均具有自己的优势，以单一感官评价结果推断产品总体感官评价是不可靠的。

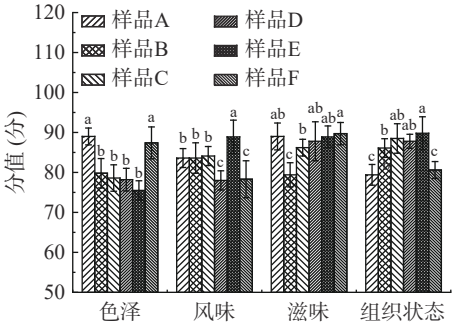

图 1　各样品的感官评价结果

Fig.1　Results of sensory evaluation of each sample

注：图中不同小写字母间表示显著性差异（$P<0.05$）；图 2、图 3 同。

2.2　主观赋权法与客观赋权法分析

不同赋权方法的权重分布与感官评价结果分析如图 2 所示，主观赋权法与客观赋权法的权重分布存在极大的不同。主观赋权法的结果表明，滋味与组织形态的权重大于色泽与风味，这表明人们在直观上更看重产品的滋味与色泽。但在客观赋权法中，风味与色泽却占据更大的比例，这表明这 6 种产品自身在风味与色泽方面存在较大的差异。主观评价与客观数据间存在着差异，这种差异会造成感官评价的准确性降低。为了消除这种差异，故采用组合权重分析法计算组合权重。此外，在熵权法分析结果中，样品 A 显著（$P<0.05$）优于样品 B、C、D 和 F，样品 E 显著（$P<0.05$）优于样品 B 和 D；在主成分分析法、环比法、强制决定法中，样品 E 均显著优于其他产品（$P<0.05$）。最后，在保证每一个都存在显著性差异的情况下，结合四种分析方法的结果可以得到各产品感官评分由高到低依次为样品 E>A>C>F>D>B。

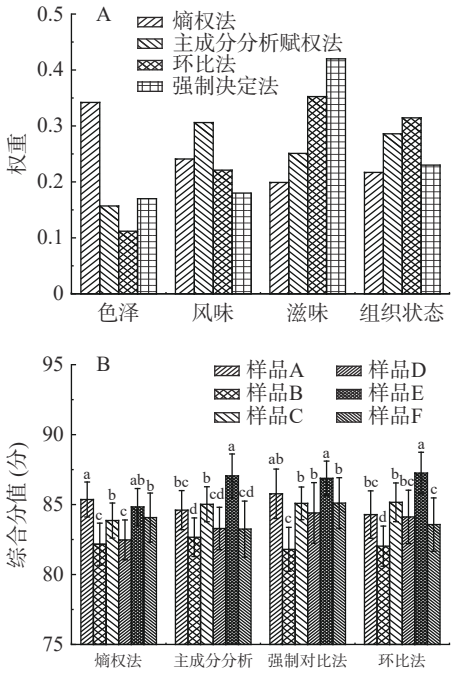

图 2　不同赋权法的权重分布（A）与感官评价结果（B）

Fig.2　Results of weight distribution(A) and sensory evaluation(B) of different weighting methods

以组间显著性差异个数为指标，比较各主观赋权法及客观赋权法发现组间显著性差异的能力，其结果如表 2 所示。在主观赋权法中，环比法优于强制决定法；客观赋权法中，熵权法优于主成分分析法。表明环比法与熵权法在寻找组间显著性差异方面的能力分别强于强制决定法及主成分分析法。

2.3　组合赋权法结果分析

组合赋权法的权重分布与感官评价结果如图 3 所示，不同的组合分析方法中，其各指标的权重分布具有相同的变化趋势（图 3A）。组织状态与滋味的权重均大于色泽与风味，其结果更接近于主观权重分析法的结果。此外，在方法 A（乘积法）、B（线性功效系数法）和 C（单位化约束条件组合赋权法）的感官评价结果分析中。样品 E 均显著优于其他产品；但不同的方法中，产品的总评分间的差异是不同的。另外，结合三种组合赋权法的结果可以得到各产品感官评

表 2 各方法显著性差异比较结果

Table 2 Comparison results of significance differences of each method

组间对比		显著性			
		熵权法	主成分分析法	强制决定法	环比法
A	B	**	**	**	**
	C	*	0.545	0.359	0.239
	D	**	0.061	0.070	0.822
	E	0.411	**	0.141	**
	F	*	0.053	0.372	0.336
B	A	**	**	**	**
	C	*	**	**	**
	D	0.632	0.368	**	**
	E	**	**	**	**
	F	**	0.402	**	*
C	A	*	0.545	0.359	0.239
	B	*	**	**	**
	D	*	*	0.361	0.162
	E	0.132	**	*	**
	F	0.739	*	0.980	*
D	A	**	0.061	0.070	0.822
	B	0.632	0.368	**	**
	C	*	*	0.361	0.162
	E	**	**	**	**
	F	*	0.949	0.349	0.460
E	A	0.411	**	0.141	**
	B	**	**	**	**
	C	0.132	**	*	**
	D	**	**	**	**
	F	0.237	**	**	**
F	A	*	0.053	0.372	0.336
	B	**	0.402	**	*
	C	0.739	*	0.980	*
	D	*	0.949	0.349	0.460
	E	0.237	**	*	**
总计	组间显著性个数	20	18	16	20

注:*表示差异显著(P<0.05),**表示差异极显著(P<0.01);表3同。

分由高到低依次为样品 E>A≥C>F≥D>B(≥表示两种间不存在显著性差异,即 P>0.05),此结果符合 2.2 分析得到的结果。

以组间显著性差异个数为指标,对各组合赋权法发现组间显著性差异的能力进行考察,其结果如表 3 所示。方法 A(乘积法)与方法 B(线性功效系数法)优于方法 C(单位化约束条件组合赋权法)。但值得注意的是,方法 B(线性功效系数法)所得到的结果更符合上述所分析得到的各产品感官评价的排序。所以,认为方法 B 在计算食品感官评价各指标的主客观组合权重时可能具有更好的效果,但还应进行更多的研究。另外,组合权重法的组间差异数低于单一权重法的原因是,在单一赋权法中,产品的某个评价指标具有极高或极低的权重,这会造成产品的综合评价极大程度的受这个指标的影响,容易忽略其他指标的影响,从而使得各产品间更容易出现显著性差异。

3 讨论与结论

本文选取商场中常见的 6 种酸奶为样品,采用不同的主观赋权法和客观赋权法对产品的各感官指标的权重进行赋权,并采用组间显著性差异个数为指标,对这些赋权方法的优劣进行比较。结果表明,主观赋权法中,环比法优于强制决定法;客观赋权法中,熵权法优于主成分分析法。在此之后,考虑到主观赋权法与客观赋权方法都存在缺陷,即采用了 3 种组合赋权法计算各感官指标的主客观组合权重及感官评价结果,并考查了 3 种组合赋权法的优劣。其结果表明,乘积法与线性功效系数法优于单位化约束条件组合赋权法;此外,以各产品间优劣的排序为基础可得到,线性功效系数法优于乘积法。故最后选择线性功效系数法作为本次酸奶感官评价的最终赋权方法。当然,需要注意的是,得到的结果可能只适用于本次感官评价。

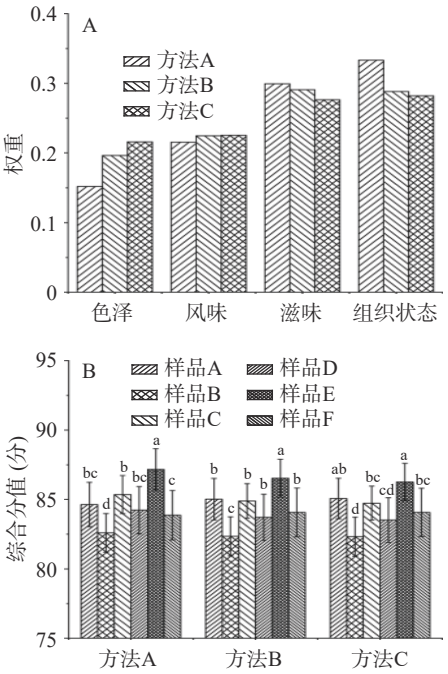

图 3 各主客观组合赋权法的权重分布(A)与感官评价结果(B)

Fig.3 Results of weight distribution(A) and sensory evaluation(B) of different subjective-objective weighting method

与前人的研究相比,不论是思想上还是算法上均有显著不同。思想上,本文在食品感官评价领域引入了主客观组合赋权法,为食品感官评价中各评价指标的权重确定提供一种新的可行思路。算法上,由于新方法的引入,使得计算过程上有极大的变化,不仅需要计算主观权重,还需计算客观权重,再采用合适的方法计算组合权重。值得注意的是,此研究在实验设计及产品的感官评价上,并不增加工作量,但却能很好的提高感官评价的准确性,此优势为其应用奠定了基础。但遗憾的是,由于感官评价标准的制定是人为进行的,所以在“方法”上依旧具有一定的主观性。由于食品种类的多样性,使得不同的赋权方法在不同的食品种类中可能有不同的表现。这使我们在食品感官评价领域寻找一种通用的赋权方法是困难的。后续,课题组可能会以组间显著性差异组数为指标,开发一款赋权方法筛选软件,以降低各研究人员的数据处理难度。

表 3　组合赋权法结果显著性差异比较

Table 3　Comparison results of significant differences of combined weighting method

组间对比		显著性		
		方法A	方法B	方法C
A	B	**	**	**
	C	0.308	0.856	0.607
	D	0.561	0.056	*
	E	**	*	0.078
	F	0.272	0.160	0.132
B	A	**	**	**
	C	**	**	**
	D	*	*	0.076
	E	**	**	**
	F	0.076	*	*
C	A	0.308	0.856	0.607
	B	**	**	**
	D	0.112	0.083	0.070
	E	*	*	*
	F	*	0.219	0.316
D	A	0.561	0.056	*
	B	*	*	0.076
	C	0.112	0.083	0.070
	E	**	**	**
	F	0.602	0.601	0.408
E	A	**	*	0.078
	B	**	**	**
	C	*	*	*
	D	**	**	**
	F	**	**	**
F	A	0.272	0.160	0.132
	B	0.076	*	*
	C	*	0.219	0.316
	D	0.602	0.601	0.408
	E	**	**	**
总计	组间显著性个数	18	18	16

参考文献

[1] Stefanowicz P. Sensory evaluation of food principles and practices[J]. Journal of Wine Research, 2013, 24(1): 80.

[2] 曾习, 曾思敏, 龙维贞. 食品感官评价技术应用研究进展[J]. 中国调味品, 2019, 44(3): 198−200. [Zeng X, Zeng S M, Long W Z. Research progress of application of food sensory evaluation technology[J]. China Condiment, 2019, 44(3): 198−200.]

[3] Galmarini M. The role of sensory science in the evaluation of food pairing[J]. Current Opinion in Food Science, 2020, 33: 149−155.

[4] Ioannou I, Mauris G, Trystram G, et al. Back-propagation of imprecision in a cheese ripening fuzzy model based on human sensory evaluations[J]. Fuzzy Sets and Systems, 2006, 157(9): 1179−1187.

[5] Perrot N, Ioannou I, Allais I, et al. Fuzzy concepts applied to food product quality control: A review[J]. Fuzzy Sets and Systems, 2006, 157(9): 1145−1154.

[6] Bhalerao P P, Mahale S A, Dhar R, et al. Optimizing the formulation for a pomegranate-amla-muskmelon based mixed fruit beverage using sensory analysis and evaluating its thermal stability[J]. LWT-Food Science and Technology, 2020, 133: 109907.

[7] Shrivastava C, Chakraborty S. Bread from wheat flour partially replaced by fermented chickpea flour: Optimizing the formulation and fuzzy analysis of sensory data[J]. LWT-Food Science and Technology, 2018, 90: 215−223.

[8] Singh K, Mishra A, Mishra H. Fuzzy analysis of sensory attributes of bread prepared from millet-based composite flours[J]. LWT-Food Science and Technology, 2012, 48(2): 276−282.

[9] Ioannou I, Perrot N, Hossenlopp J, et al. The fuzzy set theory: A helpful tool for the estimation of sensory properties of crusting sausage appearance by a single expert[J]. Food Quality & Preference, 2002, 13(7−8): 589−595.

[10] Petropoulos S, Karavas C S, Balafoutis A T, et al. Fuzzy logic tool for wine quality classification[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2017, 142: 552−562.

[11] Mathangi S, Maran J P. Sensory evaluation of apple ber using fuzzy TOPSIS[J/OL]. Materials Today: Proceedings, 2021. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.11.962.

[12] Kumar R, Ghosh P, Srinivasa R, et al. Sensory evaluation of microwave assisted ultrasound treated soymilk beverage using fuzzy logic[J/OL]. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 2021. https://doi.org/10.1016/j.jssas.2021.02.005.

[13] 高涛, 陈虹旭, 唐华丽. 模糊数学感官评价法优化三种干果复合固体饮料的配方[J]. 食品工业科技, 2020, 41(9): 175−180. [Gao T, Chen H X, Tang H L. Optimization of the formulation of three kinds of dried fruit composite solid beverage by fuzzy mathematics sensory evaluation method[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(9): 175−180.]

[14] 姬长英. 感官模糊综合评价中权重分配的正确制定[J]. 食品科学, 1991(3): 9−11. [Ji C Y. The right distribution of weight in fuzzy comprehensive sensory evaluation[J]. Food Science, 1991(3): 9−11.]

[15] 周英男, 侯慧, 周学飞, 等. 中国绿色增长政策评估指标体系研究[J]. 管理现代化, 2018, 38(3): 92−95. [Zhou Y N, Hou H, Zhou X F, et al. Study on the evaluation index system of China's green growth policy[J]. Modernization of Management, 2018, 38(3): 92−95.]

[16] 项惠丹, 许时婴. 杏、南瓜、胡萝卜复合果蔬汁的制备[J]. 食品与生物技术学报, 2009, 28(3): 320−324. [Xiang H D, Xu S Y. Preparation of compound beverage of apricot, carrot and pumpkin[J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2009, 28(3): 320−324.]

[17] 代文婷, 吴宏, 邢丽杰, 等. 模糊数学结合响应面法优化番茄调味酱的配方[J]. 食品工业科技, 2019, 40(11): 211−217. [Dai W T, Wu H, Xing L J, et al. The optimization of tomato sauce recipe based on fuzzy mathematics and response surface method[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(11): 211−217.]

[18] 易宇文, 范文教, 乔明锋, 等. 基于模糊数学与智能感官评价的鱼香调味汁配方优化研究[J]. 中国食品添加剂, 2017(11): 132−139. [Yi Y W, Fan W J, Qiao M F, et al. Research on the

formula optimization of Yuxiang sauce based on fuzzy mathematics and intelligence sensory evaluation[J]. China Food Additives, 2017(11): 132−139.]

[19] 徐君飞, 耿倩. 南瓜-胡萝卜-西红柿复合澄清蔬菜汁饮料的研制[J]. 食品研究与开发, 2015, 36(22): 56−60. [Xu J F, Geng Q. Development of compound clarifying vegetable drinks made from pumpkin, carrot and tomato[J]. Food Research and Development, 2015, 36(22): 56−60.]

[20] Chang Y, Liu C, Liu M, et al. Differentiation degree combination weighting method for investment decision-making risk assessment in power grid construction projects[J]. Global Energy Interconnection, 2019, 2(5): 465−477.

[21] Zhu X, Niu D, Wang X, et al. Comprehensive energy saving evaluation of circulating cooling water system based on combination weighting method[J]. Applied Thermal Engineering, 2019, 157: 113735.

[22] Peng T, Deng H. Comprehensive evaluation on water resource carrying capacity in Karst areas using cloud model with combination weighting method: A case study of Guiyang, southwest China[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2020, 27(7): 1−17.

[23] 中华人共和国卫生部. GB 19302-2010 食品安全国家标准: 发酵乳 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2010. [Ministry of Hygiene of People's Republic of China. GB 19302-2010 national food safety standard: Fermented milk[S]. Beijing: Standards Press of China, 2010.]

[24] 高丽娇, 刘佳霖, 程尚, 等. 基于模糊评判的蜂蜜感官评价及阈值分析[J]. 食品科学, 2014, 35(22): 190−193. [Gao L J, Liu J L, Cheng S, et al. Sensory evaluation and threshold determination of honey based on fuzzy comprehensive judgment[J]. Food Science, 2014, 35(22): 190−193.]

[25] 张丽红, 谢建华, 吴劼. 模糊数学在蘑菇羹感官评价中的应用[J]. 河南工业大学学报 (自然科学版), 2010, 31(3): 59−62. [Zhang L H, Xie J H, Wu J. Application of fuzzy mathematics sensory evaluation of mushroom soup[J]. Journal of Henan University of Technology(Natural Science Edition), 2010, 31(3): 59−62.]

[26] 任静. 提高多指标决策客观性的赋权方法[J]. 管理评论, 2012, 24(5): 160−169. [Ren J. Weighting approach to improving objectivity of multiple indexes decision-making[J]. Management Review, 2012, 24(5): 160−169.]

[27] 王琼, 卢聪, 李法云, 等. 基于主成分分析和熵权法的河流生境质量评价方法——以清河为例[J]. 生态科学, 2017, 36(4): 185−193. [Wang Q, Lu C, Li F Y, et al. River habitat quality assessment based on principal component analysis and entropy weight in Qinghe River[J]. Ecological Science, 2017, 36(4): 185−193.]

[28] 吴易雯, 李莹杰, 张列宇, 等. 基于主客观赋权模糊综合评价法的湖泊水生态系统健康评价[J]. 湖泊科学, 2017, 29(5): 1091−1102. [Wu Y W, Li Y J, Zhang L Y, et al. Assessment of lakes ecosystem health based on objective and subjective weighting combined with fuzzy comprehensive evaluation[J]. Journal of Lake Sciences, 2017, 29(5): 1091−1102.]

[29] 杨小林, 李义玲. 基于客观赋权法的长江流域环境风险时空动态综合评价[J]. 中国科学院大学学报, 2015, 32(3): 349−355. [Yang X L, Li Y L. Dynamic assessment of environmental risk for Yangtze River basin using objective weighting method[J]. Journal of University of Chinese Academy of Sciences, 2015, 32(3): 349−355.]

[30] 吴泽河, 熊双丽. 响应面-主成分分析法优化低糖菊芋饼干配方[J]. 核农学报, 2018, 32(3): 539−547. [Wu Z H, Xion S L. Optimization of low sugar *Jerusalem artichoke* biscuit formula by response surface methodology and principal component analysis[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2018, 32(3): 539−547.]

[31] 赵婷婷, 王欣, 卢海燕, 等. 低场核磁共振结合主成分分析法在食用油脂品质分析中的应用[J]. 现代食品科技, 2014, 30(9): 179−185. [Zhao T T, Wang X, Lu H Y, et al. The quality assessment of edible oils and fats by LF-NMR coupled with PCA[J]. Modern Food Science and Technology, 2014, 30(9): 179−185.]

[32] 崔曰新, 张景珍, 王思雨, 等. 基于熵权法和灰色关联度法的羌活饮片质量评价研究[J]. 中草药, 2019, 50(23): 5724−5730. [Cui Y X, Zhang J Z, Wang S Y, et al. Quality evaluation of *Notopterygii rhizoma* et radix slices by entropy weight and gray relative analysis method[J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2019, 50(23): 5724−5730.]

[33] 李红峥, 曹红霞, 郭莉杰, 等. 沟灌方式和灌水量对温室番茄综合品质与产量的影响[J]. 中国农业科学, 2016, 49(21): 4179−4191. [Li H Z, Cao H X, Guo L J, et al. Effect of furrow irrigation pattern and irrigation amount on comprehensive quality and yield of greenhouse tomato[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2016, 49(21): 4179−4191.]

[34] 崔杰, 党耀国, 刘思峰. 基于灰色关联度求解指标权重的改进方法[J]. 中国管理科学, 2008(5): 141−145. [Cui J, Dang Y G, Liu S F. An improved approach for determining weights of attributes in decision making based on grey incidence[J]. Chinese Journal of Management Science, 2008(5): 141−145.]

[35] 王中兴, 徐玲. 多属性决策中一种属性权重的确定方法[J]. 统计与决策, 2007(10): 140−141. [Wang Z X, Xu L. A method of determining attribute weight in multiple attribute decision making[J]. Statistics & Decision, 2007(10): 140−141.]

[36] 郭昱. 权重确定方法综述[J]. 农村经济与科技, 2018, 29(8): 252−253. [Guo Y. Summary of weight determination methods[J]. Rural Economy and Science-Technology, 2018, 29(8): 252−253.]

[37] 田彦芳, 万海同, 朱紫烨, 等. 基于熵权法的多目标筛选甘草黄酮类成分纯化工艺[J]. 中草药, 2016, 47(7): 1118−1125. [Tian T F, Wan H T, Zhu Z Y, et al. Multi-objective optimization of purification technology for licorice flavonoids based on entropy-weight method[J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2016, 47(7): 1118−1125.]

[38] 曲彤, 袁培培, 张琳, 等. 基于 AHP-熵权法结合 D-最优设

计响应面法优化玄参蒸制工艺[J]. 中草药，2019，50(10)：2325−2331. ［Qu T, Yuan P P, Zhang L, et al. Optimization of steaming technology for decoction pieces of *Scrophularia ningpoensis* by D-optimal response surface methodology based on AHP-entropy weight method[J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2019, 50(10): 2325−2331.］

［39］易丽娟，邹苏兰，柳兰，等. 基于G1-熵权法和响应面设计优化益气活血方醇提工艺[J]. 中国中医药信息杂志，2019，26(7)：73−78. ［Yi L J, Zou S L, Liu L, et al. Optimization of ethanol extraction process of Yiqi Huoxue prescription based on G1-entropy method and response surface design[J]. Chinese Journal of Information on Traditional Chinese Medicine, 2019, 26(7): 73−78.］

［40］王欣，赵其华，张朝俊，等. 基于组合权重的金阳县生态地质环境承载力评价[J]. 水利与建筑工程学报，2019，17(6)：29−35. ［Wang X, Zhao Q H, Zhang C J, et al. Ecological geological rnvironment carrying capacity evaluation of Jinyang county based on combined weight method[J]. Journal of Water Resources and Architectural Engineering, 2019, 17(6): 29−35.］

［41］邓庆. 松坪沟景区地震地质灾害风险评价及其应用研究[D]. 成都：成都理工大学，2018. ［Deng Q. Study on the risk evaluation of earthquake geological hazards in Songpinggou scenic area and its application[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2018.］

［42］王书吉. 大型灌区节水改造项目综合后评价指标权重确定及评价方法研究 [D]. 西安：西安理工大学，2009. ［Wang S J. Study on indexes weights' determination and comprehensive evaluation method of water-saving and improvement project 's post-evaluation in large-scale irrigation districts[D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2009.］

［43］王书吉，费良军，雷雁斌，等. 综合集成赋权法在灌区节水改造效益评价中的应用[J]. 农业工程学报，2008，24(12)：48−51. ［Wang S J, Fei L J, Lei Y B, et al. Application of combination weighting method on benefit evaluation of water saving improvement in irrigation districts[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2008, 24(12): 48−51.］