市售烤鸡翅产品的品质评价

李汴生[1]，顾苗青[1]，阮征[1]，郭伟波[2]，林光明[2]，杨焕彬[2]
（1.华南理工大学轻工与食品学院，广东广州 510640）（2.广东无穷食品有限公司，广东饶平 515726）

摘要：为对烤翅产品品质进行分析及量化评价，本文以 8 个品牌市售烤翅产品为实验材料，测定分析其品质指标、感官品质及安全性指标，并对产品的水分含量、硬度、色差等 12 个品质指标进行主成分分析，建立综合评价模型，采用与安全性指标相结合的方法，得到每种产品的综合得分。结果表明：产品各品质指标间存在不同程度的差异和变异情况，7 号产品感官评分最高，但菌落总数超过国家标准要求；各品质指标之间存在不同程度的相关性，水分活度与水分含量、硬度、咀嚼性、剪切力和总糖含量呈正相关，与 L^*值和 b^*值呈负相关；通过主成分分析提取了前 2 个主成分，累积方差贡献率达到 88.00%；综合主成分分析和安全性评价结果，8 种市售烤翅产品的综合品质从高到底的最终排列顺序为：1>5>2>3>8>6>4>7。本文所建立的综合评价方法可以用于烤翅产品质量的量化和排序，为其品质评价提供了更加科学和直观的依据。

关键词：烤翅；品质；主成分分析；综合评价

文章篇号：1673-9078(2015)2-232-239 DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.2.038

Quality Analysis of Commercial Roasted Chicken Wing Products

LI Bian-sheng[1], GU Miao-qing[1], RUAN Zheng[1], GUO Wei-bo[2], LIN Guang-ming[2], YANG Huan-bin[2]
(1.College of Light Industry and Food Sciences, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)
(2.Guangdong WuQiong Food company Limited, Raoping 515726, China)

Abstract: In order to analyze and quantitatively evaluate the quality of roasted chicken wing products, eight brands of commercial roasted chicken wing products were evaluated for their quality, sensory, and safety indexes. Principal component analysis (PCA) was used to establish a comprehensive evaluation model with 12 indexes including water content, hardness, and chromatic aberration. The final comprehensive score of each brand was obtained by PCA and safety indexes. The results showed that there were different degrees of variation in quality indexes between the brands. No. 7 obtained the highest sensory score, but its total bacterial count exceeded the national standard. There were various degrees of correlations between the different indexes. Water activity had positive correlations with water content, hardness, chewiness, shearing force, and total sugar content, and had negative correlations with the L^* and b^* value. The first two principal components, with an accumulative variance contribution of 88.00%, were extracted based on PCA. From the results of PCA and safety evaluation, among eight brands of commercial roasted chicken wings, No. 1 had the highest comprehensive score, followed by No. 5, No. 2, No. 3, No. 8, No. 6, No. 4, and No. 7. The comprehensive evaluation method set up in this paper can be used to quantify and rank the quality of roasted chicken wing products and offer a more scientific and intuitive foundation for quality evaluation.

Key words: roasted chicken wing; quality; principal component analysis; comprehensive evaluation

作为禽肉制品生产和消费大国，我国禽肉加工历史悠久、丰富多样，且赋有中国各地传统特色。鸡肉具有高蛋白、低脂肪、低胆固醇、富含维生素和矿物质等特点，是世界普遍认可的优质动物性蛋白质来源。

烤翅是鸡翅经修剪、腌制、烘烤等工艺制成的肉制品，在烤制过程中，由于鸡翅和腌制液中的水分、蛋白质、脂肪、糖等成分发生剧烈变化及相互反应，形成浓郁的烤香味及具有嚼劲的口感[1]，深受消费者喜爱。

多指标综合评价，是指利用数学方法对一个复杂系统的多个指标信息进行加工和提炼，以求得其优劣等级的一种评价方法。常用的方法有层次分析加权法、相对差距和法、主成分分析法、TOPSIS 法[2]等。主成分分析法是一种常用的多变量分析统计方法，采取数学降维的方法，根据原始数据的相关性，将多个指标转化为少数几个互不相关的综合指标而保持原指标大量信息[3]。这种综合指标命名为主成分，其方差贡献值越大，包含的信息就越全面。主成分分析作为一种产品品质的定量描述分析方法在牛肉[4]、羊肉[5]、鸡块[6]、火腿、肉糜、烟熏三文鱼[7]等肉制品中已有所应用。

收稿日期：2014-06-09
基金项目：广东省教育部产学研结合项目（2012B090600003）
作者简介：李汴生(1962-)，男，博士，教授，主要从事食品加工和保藏研究

随着人们生活节奏的加快，对食品食用方便性的要求逐渐提高，软包装即食烤翅食品引起重视。然而市面上此类产品较少，质量参差不齐，缺乏量化和评价方法。本文为对烤翅产品品质进行量化，对 8 个品牌的市售烤翅产品的 12 个品质指标进行主成分分析，建立综合评价模型，采用与安全性指标相结合的方法，得到每种产品的最终综合得分，以期为市售烤翅产品的品质评价提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与设备

原料：8 个品牌市售真空包装烤翅产品，产地分别为浙江省、湖南省、广东省、江苏省、吉林省，测定时间距生产日期 2 个月内。

所用化学试剂，均为分析纯。

试验仪器与设备：DHG-9075A 电热恒温干燥箱，上海齐欣科学仪器有限公司；MJ-250BP02A 多功能食物搅拌器，广东美的生活电器制造有限公司；SHZ-D(Ⅲ)循环水式真空泵，巩义市予华仪器有限责任公司；752N 紫外分光光度计，上海精密科学仪器有限公司；TA-XT Plus 型质构仪，英国 SMS 公司；水分活度仪，Decagon Devices. Inc；CR-400 便携式色彩色差计，Konica Minolta Sensing, Inc.；DZKW-S-4 电热恒温水浴锅，北京市永光明医疗仪器厂；雷磁 PHS-3C 型 pH 计，上海精科；SPX-150B-Z 生化培养箱，上海博迅实业有限公司医疗设备厂。

1.2 试验方法

1.2.1 原料处理

所有烤翅产品均购于市场，置于常温避光通风处待测。

1.2.2 水分活度测定

样品的水分活度按照 GB/T 23490-2009 采用水分活度仪扩散法进行测定。

1.2.3 水分含量测定

样品的湿基含水量（g/100 g）按照 GB 5009.3-2010 采用直接干燥法进行测定。

1.2.4 TPA 测定

样品采用英国 SMS（Stable Micro system）公司 TA-XT Plus 型质构仪进行测定。从鸡翅根取 4 块长方体肉块（1 cm×1 cm×0.3 cm），选用 P/36R 型平底圆柱探头（P/36R Flat-ended Cylinder Probe）进行 TPA 测试。测试参数：测前速率 1.0 mm/s，测试速率 1.0 mm/s，测后速率 5.0 mm/s；压缩比 50%，探头两次测定间隔时间：5 s；触发类型：Auto-5 g。

在烤翅产品的 TPA 测试中，选择硬度、弹性和咀嚼性作为主要实验指标。

1.2.5 剪切力测定

剪切力测定参考 Christensena[8]等的方法，样品采用英国 SMS（Stable Micro system）公司 TA-XT Plus 型质构仪进行测定。从鸡翅根取 4 块长方体肉块（1 cm×1 cm×0.5 cm），用燕子尾刀片沿与肌纤维方向垂直的方向剪切，剪切曲线的峰值即是剪切力值，五组剪切力值的平均值即是每个鸡翅样品的剪切力（Shear Force, SF）。测定参数：探头 HDP/BSW 剪切刀，测前速度 1.0 mm/s，测中速度 2.0 mm/s，测后速度 5.0 mm/s，触发类型：Auto-5g。

1.2.6 色差测定

样品的色泽指标采用便携式色差仪测定，记录 CIELAB 色度空间的 L^*、a^*、b^*三个指标[9]。

1.2.7 TBA 值测定

样品的 TBA 值（mg/kg）采用改进的 TBA 值法来测定肉类食品中脂肪的氧化[10]。

1.2.8 氯化钠含量测定

样品的氯化钠含量（%）按照 GB/T 12457-2008 采用直接滴定法进行测定。

1.2.9 总糖含量测定

样品的总糖含量（g/100 g）按照 GB/T 9695.31-2008 采用直接滴定法进行测定。

1.2.10 菌落总数测定

样品的菌落总数按照 GB 4789.2-2010 进行测定。

1.2.11 亚硝酸盐含量测定

样品的亚硝酸盐含量（mg/kg）按照 GB 5009.33-2010 采用分光光度法进行测定。

1.2.12 感官评定

由 10 名有感官评定经验的食品专业人员组成感官评价小组。从外观、气味、滋味和口感 4 个方面评价烤翅根的感官品质，采用模糊数学综合评价方法确定各感官指标的权重系数，评分细则见表 1。

表 1 烤翅感官评价标准

Table 1 Sensory evaluation standards for the roasted chicken wings

项目		优：[90, 100]	良：[78, 90)	一般：[65, 78)	劣：<65
外观(10%)		表面光滑，色泽均匀光亮，无烧焦现象，外形完整	表面较光滑，色泽较均匀，亮度较好，外形允许少量破裂	色泽不均匀，表面暗淡，外形破裂较多	色泽不均匀，有明显烤焦现象，外形破裂明显，
气味(10%)		有明显的烤翅特有香味（酒香味、烤香味、香辛料）	有较好的烤翅特有香味	香味较淡，稍有焦味	焦味较重或不愉快气味
滋味(30%)		烤香浓郁，无焦味，有一定弹性，甜度和咸度适中	烤香较明显，无焦味，稍有弹性	烤香一般，焦味较轻，肉易碎无弹性	烤香寡淡，有焦味或不愉快滋味
口感(50%)	咀嚼性(20%)	肉质很干硬坚实，嚼劲很高	肉质干硬，嚼劲较高	硬度一般，嚼劲一般	肉组织松软，无嚼劲
	弹性(10%)	肉质干爽，水分均匀	肉质干爽度较好，水分较均匀	无明显干爽性，汁液较多	有明显的汁液或水分很不均匀
	干爽度(20%)	具有很好的弹性	具有较好的弹性	弹性一般	弹性较差

1.3 分析方法

1.3.1 主成分分析

对 8 种烤翅产品的水分含量、硬度、剪切力、色差、氯化钠含量等 12 个品质指标进行研究，采用主成分分析建立综合评价模型，采用与安全性指标相结合的方法，得到每种产品的最终综合得分排名。

1.3.2 数据处理方法

数据处理及作图采用 Excel 2010；方差分析采用新复极差分析法 Duncan，取 95%置信区间；主成分分析采用 SPSS 20.0 软件。

2 结果与分析

2.1 市售烤翅产品的品质分析

2.1.1 市售烤翅产品的品质指标

表 2 市售烤翅产品的品质指标

Table 2 Quality indexes of the commercial roasted chicken wing products

指标	样品编号								变异系数 CV/%
	1	2	3	4	5	6	7	8	
水分活度	0.808±0.000^{a}	0.885±0.005^{d}	0.895±0.001^{f}	0.967±0.001^{h}	0.820±0.000^{b}	0.945±0.000^{g}	0.869±0.001^{c}	0.893±0.000^{e}	6.22
水分含量/(g/100g)	29.02±0.80^{b}	34.21±1.00^{d}	36.94±0.90^{e}	61.82±1.10^{g}	25.40±1.10^{a}	49.45±0.70^{f}	31.57±1.00^{c}	33.74±0.50^{d}	26.16
硬度/kg	29.31±1.15^{d}	22.31±1.29^{c}	22.18±0.60^{c}	1.85±0.034^{a}	24.19±1.18^{c}	8.56±0.435^{b}	22.66±0.14^{c}	22.56±0.85^{c}	47.53
弹性	0.89±0.08^{b}	0.93±0.02^{b}	0.93±0.05^{b}	0.71±0.09^{a}	0.88±0.07^{b}	0.91±0.03^{b}	0.86±0.04^{b}	0.90±0.02^{b}	7.94
咀嚼性/kg	19.30±1.9^{f}	14.22±0.4^{e}	13.50±0.4^{c}	0.50±0.008^{a}	15.82±0.28^{de}	4.26±0.212^{b}	15.41±0.45^{de}	14.37±0.09^{cd}	52.36
剪切力/kg	9.66±0.69^{d}	9.06±0.91^{d}	7.83±0.12^{c}	1.95±0.04^{a}	13.10±0.3^{f}	3.32±0.14^{b}	11.50±0.19^{e}	7.92±0.71^{c}	47.16
L*	43.17±0.34^{a}	45.49±1.47^{ab}	46.48±1.25^{b}	59.01±3.93^{c}	43.78±0.71^{ab}	57.38±0.09^{c}	45.46±1.18^{ab}	45.74±1.02^{ab}	12.85
a*	10.64±0.54^{d}	13.11±1.40^{e}	7.44±1.06^{a}	14.49±0.08^{e}	10.23±0.64^{cd}	8.05±0.72^{ab}	9.34±0.95^{bcd}	8.77±0.55^{abc}	23.90
b*	7.34±0.79^{a}	9.46±0.04^{b}	12.17±0.08^{c}	23.03±1.17^{d}	5.73±0.33^{a}	21.51±1.89^{d}	6.80±0.29^{a}	10.92±0.06^{bc}	54.70
TBA/mg/kg	0.70±0.004^{b}	0.72±0.049^{b}	0.74±0.065^{b}	0.22±0.017^{a}	0.75±0.016^{b}	1.74±0.110^{d}	0.81±0.025^{b}	1.19±0.017^{c}	78.43
NaCl/%	3.98±0.03^{g}	2.79±0.00^{d}	2.33±0.02^{b}	2.93±0.04^{e}	2.60±0.00^{c}	2.62±0.03^{c}	3.41±0.03^{f}	2.00±0.03^{a}	21.92
总糖/g/100g	6.71±0.37^{f}	5.33±0.02^{d}	6.13±0.04^{e}	1.41±0.01^{a}	6.98±0.15^{f}	2.20±0.06^{b}	5.54±0.00^{d}	4.56±0.04^{c}	42.12

注：数值表示为均值±标准偏差，相同字母表明差异不显著（P>0.05）；不同字母表明差异性显著（P<0.05）。

8 个品牌烤翅产品的品质指标测定结果如表 2 所示。

由于每种产品的原料、加工工艺各有不同，因此各品质指标均存在不同程度的差异和变异情况。由表 2 可知，市售产品的水分活度（Aw）在 0.808~0.967 范围内，8 种产品的水分活度按从小到大排序为

4>6>3>8>2>7>5>1，各品牌间水分活度的差异显著（$p<0.05$），除 1 号和 5 号为中湿产品（Aw<0.85）外，其他均为高水分食品；水分含量存在与之相类似的规律，排序为 4>6>3>2>8>7>5>1。水分含量和水分活度对食品的加工特性、口感和耐贮性有重要影响。一般来说多数细菌在 Aw 小于 0.91 时不能生长，多数霉菌在 Aw 小于 0.8 时停止生长，多数酵母在 Aw 小于 0.65 时生长被限制，由此可知烤翅产品在贮藏过程中易受到霉菌和酵母的污染导致品质劣变[11]。

硬度、咀嚼性、剪切力和弹性是表述产品质构和口感的指标，其中前三者与肉的韧性和嚼劲直接相关，反映了食品在口腔中咀嚼的困难程度。在热处理过程中，肌肉中水分含量降低，肌原纤维蛋白变性，肉质紧凑，韧性增大；当到达一定温度时胶原蛋白分解生成明胶可能造成剪切力降低[12]。硬度和咀嚼性与水分含量的排序相反，为 1>5>7>8>2>3>6>4，其中 2 号、3 号、5 号、7 号和 8 号产品在硬度方面的差异不显著；剪切力存在与二者相似的规律，大致趋势为随水分含量增大而减小，排序为 5>7>1>2>8>3>6>4，且 1 号和 2 号、3 号和 8 号之间差异不显著。2 号和 3 号产品的弹性最大，4 号最小，除 4 号外，其他产品弹性的差异不显著。

色泽对消费者选择商品十分重要，在一定程度上决定了产品的可接受性。在色泽方面，亮度 L^* 的排序与水分含量的规律类似，为 4>6>3>8>2>7>5>1；黄度 b^* 的排序也具有相似规律，为 4>6>3>8>2>1>7>5，而红度 a^* 的排序为 4>2>1>5>7>8>6>3。肌肉的表观色泽取决于其肌红蛋白总含量，热处理过程中肌红蛋白变性以及变性高铁肌红蛋白的形成导致了肌肉色泽的变化。此原料特性外，肉制品的色泽还受加工过程工艺参数的影响，包括脂肪含量、添加剂和外加水或脱水过程有关[13~14]。对于本文所调查的 8 种市售产品，造成其色泽差异性的主要因素为外加色素（红曲红、胭脂虫红、辣椒红）及发色剂（亚硝酸盐）。

TBA 值广泛应用于描述肉类脂肪氧化程度，表示脂肪二级氧化产物[15]。肉制品脂肪氧化程度不仅受脂肪酸组成、自身抗氧化成分等原料特性的影响，同时也取决于包括肉的大小、添加剂（香辛料、亚硝酸盐等）、工艺参数、预处理等加工条件[16]。就 TBA 值而言，6 号产品最大，4 号最小，排序为 6>8>7>5>3>2>1>4，且 1 号、2 号、3 号、5 号和 7 号产品的差异不显著。6 号产品除香辛料外，未添加亚硝酸盐、抗坏血酸钠等抗氧化物质，这可能是造成其脂肪氧化程度大的最主要因素[17]。Diaz-Puente[18]等人研究发现，在一定范围内热处理时间对肉 TBA 值的影响要大于干燥温度，7 号产品 TBA 值较大则可能是因为其采用慢烤工艺，处理时间较长；而 4 号产品水分含量高，脱水过程时间短，可能是造成其 TBA 值含量小的原因。

氯化钠和总糖不仅为衡量产品的滋味提供一定的依据，还可以通过对肌纤维结构的紧实作用、抑制钙蛋白酶活性及美拉德反应等生化反应影响肉制品的色泽、风味和质构特性[19]。由表 2 可知，市售烤翅产品的氯化钠含量约在 2%~4%之间，其中 1 号产品最咸，8 号产品相对最淡，从大到小排序依次为 1>7>4>2>6>5>3>8，除 5 号和 6 号外，其他产品间氯化钠含量差异均显著；8 种产品的总糖含量在 1.4~7 g/100 g 之间，5 号最甜，4 号总糖含量最小，排序为 5>1>3>7>2>8>6>4，除 2 号和 7 号外，其他产品间总糖含量差异均显著。

由表 2 可知，在 12 个指标中，TBA 值的变异系数最大，为 78.43%，此外 b^*、咀嚼性、硬度剪切力和总糖含量的变异系数均大于 40%，而水分活度在 8 个品牌间的差异最小，变异系数为 6.22%。

2.1.2 市售烤翅产品的感官评价

经感官评价小组成员评价，市售烤翅产品的感官评定结果如表 3 所示：

表 3 市售烤翅产品的感官品质比较

Table 3 Sensory qualities of the commercial roasted chicken wing products

项目		1	2	3	4	5	6	7	8
外观		61.75	79.50	53.75	67.50	69.25	68.25	80.00	66.00
气味		75.25	68.75	71.25	69.25	73.25	68.25	88.25	56.25
滋味		80.50	65.00	72.50	68.25	74.25	75.00	84.50	47.50
口感	咀嚼性	89.25	79.25	74.75	55.00	88.25	66.25	93.50	72.75
	干爽度	90.00	85.00	85.00	50.00	95.00	60.00	88.00	78.00
	弹性	77.00	74.00	70.75	73.75	73.75	75.75	83.25	68.75
总分		81.40	74.58	73.28	62.53	80.55	68.98	86.80	63.50

由表 3 可知，8 种产品的感官评分按从小到大排序为 7>1>5>2>3>6>8>4，其中除干爽度方面 1 号产品最高外，7 号产品在其余外观、气味、滋味等 5 项指标中具有最高分。

2.1.3 市售烤翅产品的安全性指标

市售烤翅产品的菌落总数和亚硝酸盐含量如表 4 所示。

根据 GB 2726-2005 熟肉制品卫生标准的要求，烧烤肉类菌落总数应≤50000 cfu/g，由表 4 可知，除 7 号样品菌落总数超标，其他 7 个品牌均符合卫生标准。在 8 个品牌中，7 号产品的保质期最短，为 3 个月，其菌落总数超标可能是产品未经杀菌造成的。

表 4 市售烤翅产品的安全性指标

Table 4 Safety indexes of the commercial roasted chicken wing products

项目	1	2	3	4	5	6	7	8
菌落总数/(cfu/g)	14	75	<10	500	25	<10	94500	20
亚硝酸盐/(mg/kg)	9.88	13.44	7.69	10.05	9.79	9.42	12.22	10.17

亚硝酸盐是肉制品中常用的食品添加剂，具有发色、抑菌、抗氧化和形成特殊风味等作用，但具有化学毒性和潜在致癌性[20~21]，因此严格控制其用量。根据 GB 2760-2011 食品添加剂使用标准的要求，熏、烧、烤肉类食品中亚硝酸盐残留量应≤30 mg/kg，本文所调查的 8 个品牌亚硝酸盐含量均在限量范围内。

2.2 基于主成分分析的市售烤翅产品的综合评价

利用 SPSS 20.0 软件，对表 2 中的各品质指标进行主成分分析[22]。

2.2.1 数据同趋势化及标准化

在所考察的 12 个品质指标中，水分活度、水分含量和 TBA 值是逆指标，为了避免影响主成分分析结果，需对其进行正向化处理。

同趋势化处理的方法为将逆指标取其倒数代替原指标，完成正向化[23]：

$$x_i^* = \frac{1}{x_i}$$

经同趋势化的数据仍具有不同的量纲和数量级，为除去量纲，统一数量级，需对数据进行标准化处理，将各指标数据转化成均值为 0、标准差为 1 的无量纲数据。

标准化处理方法为每一变量值与其平均值之差除以该变量的标准差[24]：

$$z_{xi} = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma}$$

数据经同趋势化和标准化后的结果如表 5 所示。

表 5 各品质指标处理结果

Table 5 Processed data of quality indexes

指标	1	2	3	4	5	6	7	8
ZX_1 水分活度	1.4810	-0.0373	-0.2359	-1.4136	1.2256	-1.0730	0.2465	-0.1933
ZX_2 水分含量	0.8067	0.0956	-0.1862	-1.6485	1.4641	-1.1119	0.4310	0.1493
ZX_3 硬度	1.1074	0.3401	0.3262	-1.9009	0.5465	-1.1664	0.3794	0.3676
ZX_4 弹性	0.2298	0.7180	0.8042	-2.3407	0.0574	0.4308	-0.1867	0.2872
ZX_5 咀嚼性	1.1185	0.3210	0.2080	-1.8320	0.5729	-1.2414	0.5082	0.3449
ZX_6 剪切力	0.4265	0.2686	-0.0572	-1.6060	1.3338	-1.2454	0.9123	-0.0327
ZX_7L^*	-0.8287	-0.4549	-0.2954	1.7231	-0.7304	1.4606	-0.4597	-0.4146
ZX_8a^*	0.1555	1.1631	-1.1499	1.7261	-0.0117	-0.9010	-0.3748	-0.6073
ZX_9b^*	-0.7210	-0.4012	0.0075	1.6455	-0.9638	1.4163	-0.8024	-0.1810
ZX_{10}TBA 值	-0.1370	-0.1690	-0.1866	2.4007	-0.2041	-0.8168	-0.2825	-0.6048
ZX_{11} 氯化钠含量	1.8455	-0.0646	-0.8152	0.1528	-0.3787	-0.3368	0.9307	-1.3338
X_{12} 总糖含量	0.9071	0.2299	0.6220	-1.6842	1.0376	-1.3004	0.3341	-0.1461

2.2.2 主成分分析

利用 SPSS 20.0 软件通过主成分分析得到各品质指标间的相关矩阵，求出各主成分的特征值、方差贡献率和相应的特征向量，结果如表 6 至表 8 和图 1 所示。

由表 6 可知，各指标之间存在不同程度的相关性，说明其反应的信息有一定重叠。其中水分活度与水分含量、硬度、咀嚼性、剪切力和总糖含量有很强的正相关，与 L^*值和 b^*值呈负相关；弹性与 TBA 值呈现很强的负相关关系。

主成分特征值越大，其变量包含的信息就越多。根据表 7，选择特征值 λ>1 的前 2 个主成分，其累积方差贡献率为 88.001%（>85%），说明前 2 个主成分能够代表原来 12 个品质指标中的绝大部分（88.001%）的信息。因此，可将烤翅产品的 12 个品质指标综合成 2 个主成分。

根据表 8，构建各主成分得分与烤翅产品各品质指标之间的线性关系式，如式：

第一主成分得分 $F_1=0.313ZX_1+0.328ZX_2+0.338ZX_3+0.236ZX_4+0.338ZX_5+0.332ZX_6-0.335ZX_7-0.131ZX_8-0.333ZX_9-0.226ZX_{10}+0.068ZX_{11}+0.333ZX_{12}$

第二主成分得分 $F_2=0.213ZX_1+0.104ZX_2+$

$0.013ZX_3-0.426ZX_4+0.052ZX_5+0.112ZX_6-0.060ZX_7+0.541ZX_8-0.122ZX_9+0.458ZX_{10}+0.470ZX_{11}+0.070ZX_{12}$

第一主成分方差贡献率为 70.195%，包含的信息量较大，是一个综合指标，其中 ZX_1、ZX_2、ZX_3、ZX_5、ZX_6、ZX_7、ZX_9 和 ZX_{12} 的系数绝对值较大，说明其主要提取了包括水分活度、硬度、剪切力、亮度、黄度等在内的涉及烤翅产品口感和色泽的指标；第二主成分方差贡献率为 17.806%，其中 ZX_4、ZX_8、ZX_{10} 和 ZX_{11} 的系数绝对值较大，说明其主要提取了表示弹性、红度、脂肪氧化和氯化钠含量的指标。

表 6 各品质指标的相关矩阵

Table 6 Correlation matrix of quality indexes

指标	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}
X_2	0.947**										
X_3	0.883**	0.902**									
X_4	0.420	0.504	0.682								
X_5	0.897**	0.915**	0.997**	0.635							
X_6	0.873**	0.965**	0.873**	0.481	0.894**						
X_7	-0.867**	-0.922**	-0.982**	-0.605	-0.986**	-0.918**					
X_8	-0.143	-0.237	-0.344	-0.655	-0.306	-0.220	0.253				
X_9	-0.892**	-0.956**	-0.944**	-0.521	-0.961**	-0.976**	0.976**	0.200			
X_{10}	-0.410	-0.522	-0.617	-0.915**	-0.586	-0.492	0.531	0.765*	0.499		
X_{11}	0.442	0.201	0.216	-0.194	0.258	0.197	-0.155	0.312	-0.240	0.168	
X_{12}	0.907**	0.929**	0.949**	0.602	0.947**	0.919**	-0.956**	-0.299	-0.942	-0.497	0.207

注：**表示相关性极显著(P<0.01)，*表示相关性显著（P<0.05）。

表 7 各主成分的特征值及方差贡献率

Table 7 Eigen values and variance contribution rates of each principal component

成分	初始特征值			主成分特征值		
	合计	方差贡献率/%	累积方差贡献率/%	特征值	方差贡献率/%	累积方差贡献率/%
1	8.423	70.195	70.195	8.423	70.195	70.195
2	2.137	17.806	88.001	2.137	17.806	88.001
3	0.699	5.829	93.830			
4	0.332	2.764	96.594			
5	0.202	1.685	98.278			
6	0.124	1.031	99.310			
7	0.083	0.690	100.000			

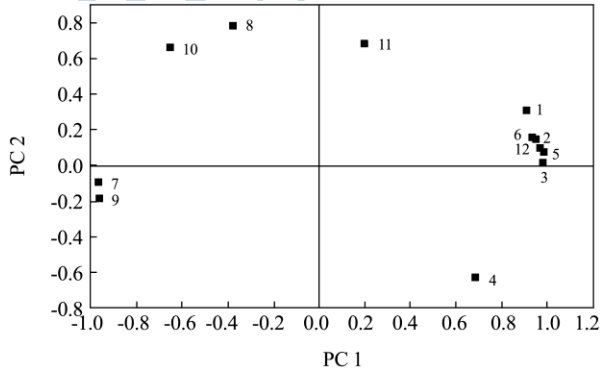


图 1 12 项品质指标的主成分散点图

Fig.1 Scatter plot of the 12 quality indexes

注：1-水分活度；2-水分含量；3-硬度；4-弹性；5-咀嚼性；6-剪切力；7-L*；8-a*；9-b*；10-TBA 值；11-NaCl 含量；12-总糖含量；PC1：第一主成分载荷矩阵；PC2：第二主成分载荷矩阵。

表 8 各主成分的载荷矩阵和特征向量

Table 8 Loading matrix and eigenvectors of the principal components

指标	主成分载荷矩阵		主成分特征向量	
	F1	F2	F1	F2
ZX_1 水分活度	0.908	0.312	0.313	0.213
ZX_2 水分含量	0.953	0.152	0.328	0.104
ZX_3 硬度	0.981	0.019	0.338	0.013
ZX_4 弹性	0.685	-0.623	0.236	-0.426
ZX_5 咀嚼性	0.982	0.076	0.338	0.052
ZX_6 剪切力	0.935	0.163	0.322	0.112
ZX_7L*	-0.971	-0.088	-0.335	-0.060
ZX_8a*	-0.380	0.791	-0.131	0.541
ZX_9b*	-0.966	-0.179	-0.333	-0.122
ZX_{10}TBA 值	-0.656	0.669	-0.226	0.458
ZX_{11}氯化钠含量	0.197	0.687	0.068	0.470
ZX_{12}总糖含量	0.965	0.102	0.333	0.070

图 1 更加直观地显示了各主成分主要提取的信息和各指标之间的相关性，不同变量在散点图中的分布位置取决于其在各主成分中的载荷系数。每一个主成分都代表一个独立的综合变量，在每个主成分中位置相近的指标正相关，呈 180°分布的指标呈现负相关，

而距离远且呈 90°分布的指标不相关。主成分是各指标的线性组合，但距离象限分界线较远的指标对主成分的贡献更大[25]。由图 1 可知，第一主成分所提取的指标主要位于图 1 的左侧和右侧，距离垂直象限分界线较远，同时水分活度、水分含量、硬度、咀嚼性、剪切力和总糖含量，以及 L^*和 b^*距离较近，而这两组指标呈 180°分布，说明组内指标呈正相关，而组间指标呈负相关关系。同理，第二主成分主要提取了弹性、a^*、TBA 值和 NaCl 含量，这四项指标距水平象限分界线较远，位于图 1 的顶部和底部。本文所选取的两个主成分有效地提取了市售烤翅产品的原 12 个指标。

2.2.3 市售烤翅产品的综合评价

综合评价函数中各主成分的系数为其对应的方差贡献率，由此，建立烤翅产品品质的综合评价模型：$Z=0.702\ F_1+0.178\ F_2$。由上式计算得到的 8 个品种烤翅产品的综合评分及排序如表 9 所示。

表 9 市售烤翅产品品质评价结果及排序

Table 9 Quality evaluation results and ranking of the commercial roasted chicken wing products

样品	综合评分	排序
1	2.114	1
2	0.586	4
3	0.207	5
4	-3.703	8
5	1.932	2
6	-2.432	7
7	1.137	3
8	0.159	6

由表 9 可知，由主成分分析所得的 8 种产品的综合品质从高到低的排序依次为：1>5>7>2>3>8>6>4。

根据表 9，绘制 8 种市售烤翅产品综合得分的散点图，如图 2 所示。

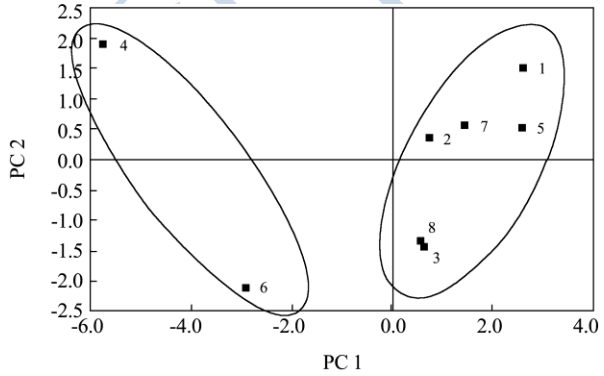


图 2 8 种市售烤翅产品的主成分散点图

Fig.2 Scatter plot of the principal components of the eight commercial roasted chicken wing products

由图 2 可知，8 种市售烤翅产品被分为 2 个区域。4 号和 6 号位于图 2 的左半部，同处一个区域，结合表 2 和图 1 可知，主要是色泽因素将其与其他产品有效区分开来；除二者外的其他 6 个品牌位于图 2 的右半部，同处一个区域，因水分含量不同所导致的口感差异以及滋味因素使这类产品具有不同于 4 号和 6 号的特点。

由于主成分分析方法显示的是客观评价结果，应结合安全性指标综合评价。由 2.1.3 可知，7 号产品的菌落总数超出国家标准，属于不合格品，因此排名应列于最后。综合主成分分析和安全性评价结果，8 种市售烤翅产品的综合品质从高到底的最终排列顺序为：1>5>2>3>8>6>4>7。除 7 号外，此序列与感官评分排序基本一致，说明本文所建立的综合评价体系和人们对于产品的主观评价存在一定程度的一致性。

3 结论

本文测定分析了 8 种市售烤翅产品的品质指标、感官品质和安全性指标，并对产品的水分含量、硬度、剪切力、色差、氯化钠含量等 12 个指标进行主成分分析，建立综合评价模型，采用与安全性指标相结合的方法，得到每种产品的最终综合得分。结果如下：

3.1 由于每种产品的原料、加工工艺各有不同，各品质指标均存在不同程度的差异和变异情况，7 号产品感官评分最高，但菌落总数超过国家标准要求；

3.2 各品质指标之间存在不同程度的相关性，水分活度与水分含量、硬度、咀嚼性、剪切力和总糖含量有很强的正相关，与 L^*值和 b^*值呈负相关，弹性与 TBA 值呈现很强的负相关关系；

3.3 通过主成分分析提取了前 2 个主成分，累积方差贡献率达到 88.001%，能够代表原来 12 个品质指标中的绝大部分（88.001%）的信息；

3.4 主成分分析的客观结果结合安全性指标得到 8 种市售烤翅产品的综合品质从高到底的最终排列顺序为：1>5>2>3>8>6>4>7。除 7 号外，主成分分析结果与感官评分排序基本一致，说明本文所建立的综合评价体系和人们对于产品的主观评价存在一定程度的一致性。

参考文献

[1] Domínguez R, Gómez M, Fonseca S, et al. Effect of different cooking methods on lipid oxidation and formation of volatile compounds in foal meat [J]. Meat Science, 2014, 97(2): 223-230

[2] 王晖,陈丽,陈垦,等.多指标综合评价方法及权重系数的选择[J].广东药学院学报,2007,23(5):583-589

WANG Hui, CHEN Li, CHEN Ken, et al. Multi-index evaluation methods and choose of weighting coefficients [J]. Journal of Guangdong Pharmaceutical University, 2007, 23(5): 583-589

[3] Ghosh D, Chattopadhyay P. Application of principal component analysis (PCA) as a sensory assessment tool for fermented food products [J]. Journal of Food Science and Technology, 2012, 49(3): 328-334

[4] Destefanis G, Barge M T, Brugiapaglia A, et al. The use of principal component analysis (PCA) to characterize beef [J]. Meat Science, 2000, 56(3): 255-259

[5] Cañeque V, Pérez C, Velasco S, et al. Carcass and meat quality of light lambs using principal component analysis [J]. Meat Science, 2004, 67(4): 595-605

[6] Vainionp ääJ, Smolander M, Alakomi H L, et al. Comparison of different analytical methods in the monitoring of the quality of modified atmosphere packaged broiler chicken cuts using principal component analysis [J]. Journal of Food Engineering, 2004, 65(2): 273-280

[7] Guillén-Casla V, Rosales-Conrado N, León-González M E, et al. Principal component analysis (PCA) and multiple linear regression (MLR) statistical tools to evaluate the effect of e-beam irradiation on ready-to-eat food [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2011, 24(3): 456-464

[8] Christensen M, Purslow P P, Larsen L M. The effect of cooking temperature on mechanical properties of whole meat, single muscle fibres and perimysial connective tissue [J]. Meat Science, 2000, 55: 301-307

[9] Alcalde M J, Negueruela A I. The influence of final conditions on meat colour in ligh lamb carcasses [J]. Meat Science, 2001, 57(2): 117-123

[10] 瞿执谦.用改进的 α-硫代巴比妥酸(TBA)值法来测定肉类食品中脂肪的氧化[J].肉类工业,1995,4:24-25
QU Zhi-qian. Measurement of meat oxidation by a modified method of α-TBA value [J]. Meat Industry, 1995, 4: 24-25

[11] 曾庆孝,芮汉明,李汴生.食品加工与保藏原理(第二版)[M].北京:化学工业出版社,2007:204-207
ZENG Qing-xiao, RUI Han-ming, LI Bian-sheng. Food processing and preservation principal (second edition) [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2007: 204-207

[12] Nikmaram P, Yarmand M S, Emamjomeh Z, et al. The effect of cooking methods on textural and microstructure properties of veal muscle (longissimus dorsi) [J]. Global Veterinaria, 2011, 6(2): 201-207

[13] Trespalacios P, Pla R. Simultaneous application of transglutaminase and high pressure to improve functional properties of chicken meat gels [J]. Food Chemistry, 2007, 100(1): 264-272

[14] Zhang L, Wang S. Effects of cooking on thermal-induced changes of qingyuan partridge chicken breast [J]. Food Science and Biotechnology, 2012, 21(6): 1525-1531

[15] Ganhão R, Estévez M, Morcuende D. Suitability of the tba method for assessing lipid oxidation in a meat system with added phenolic-rich materials [J]. Food Chemistry, 2011, 126(2): 772-778

[16] Zanardi E, Battaglia A, Ghidini S, et al. Lipid oxidation of irradiated pork products [J]. LWT-Food Science and Technology, 2009, 42(7): 1301-1307

[17] Andrée S, Jira W, Schwind K H, et al. Chemical safety of meat and meat products [J]. Meat Science, 2010, 86(1): 38-48

[18] Diaz-Puente L, Lemus-Mondaca R, Vega-Gálvez A, et al. Influence of air-drying temperature on drying kinetics, colour, firmness and biochemical characteristics of atlantic salmon (salmo salar l.) fillets [J]. Food Chemistry, 2013, 139: 162-169

[19] Ruiz-Ramírez J, Arnau J, Serra X, et al. Relationship between water content, nacl content, ph and texture parameters in dry-cured muscles [J]. Meat Science, 2005, 70(4): 579-587

[20] Duranton F, Guillou S, Simonin H, et al. Combined use of high pressure and salt or sodium nitrite to control the growth of endogenous microflora in raw pork meat [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2012, 16: 373-380

[21] Sebranek J G, Bacus J N. Cured meat products without direct addition of nitrate or nitrite: what are the issues?[J]. Meat Science, 2007, 77(1): 136-147

[22] 王春枝.SPSS 软件中主成分分析的计算技术解析[J].现代计算机:下半月版,2011,14:6-8
WANG Chun-zhi. Analysis of computing technology on principal components method in SPSS [J]. Modern Computer: second semimonthly, 2011, 14: 6-8

[23] 陈军才.主成分与因子分析中指标同趋势化方法探讨[J].统计与信息论坛,2005,20(2):19-23
CHEN Jun-cai. Communalities of of principal component and factor analysis [J]. Statistics & Information Forum, 2005, 20(2): 19-23

[24] 白沙沙,毕金峰,王沛,等.基于主成分分析的苹果品质综合评价研究[J].食品科技,2012,1:54-57
BAI Sha-sha, BI Jin-feng, WANG Pei, et al. Comprehensive evaluation of apple quality based on principal component analysis [J]. Food Science and Technology, 2012, 1: 54-57

Hernández P, Pla M, Oliver M A, et al. Relationships between meat quality measurements in rabbits fed with three diets of different fat type and content [J]. Meat Science, 2000, 55(4): 379-384

现代食品科技