

蒸制时间对牦牛肉品质影响的模型构建与分析

王可¹, 祝超智¹, 赵改名¹, 田玮¹, 张文华², 马进寿³

(1. 河南农业大学食品科学技术学院, 河南郑州 450002) (2. 中卫综合试验站, 宁夏中卫 755000)

(3. 大通综合试验站, 青海大通 810100)

摘要: 以蒸制牦牛肉为研究对象, 将初始条件一致的牦牛肉在相同温度(100℃)条件下分别蒸制40、60、80、100、120 min, 之后对不同蒸制时间下的牛肉嫩度、保水性、pH、色泽、蛋白质含量、脂肪含量、水分含量等品质指标进行测定, 同时利用主成分分析(principal component analysis, PCA)法结合感官评定构建蒸制牦牛肉的品质评价模型并结合模糊数学法对感官评分进行综合比较。结果表明: 牦牛肉色泽、嫩度、保水性受蒸制时间影响变化较显著($p < 0.05$), 蒸制60 min较适于传统牦牛肉蒸制工艺, 在此条件下的牛肉剪切力为5.33 kg, 色彩值为12.15, WHC为91.45%, 均为最佳, 其蛋白质含量为37.01%, 脂肪含量为3.71%, 水分含量为57.80%, 均较正常。运用PCA法所建模型的第一、二主成分特征根均大于1, 累计贡献率达到86.469%, 可以较好地反映蒸制牛肉品质指标构成的原始信息。该模型判断出不同蒸制时间的蒸制牛肉品质优劣顺序为: 60 min>80 min>40 min>100 min>120 min, 与模糊数学感官评分结果呈极显著正相关($p < 0.01$), 进一步证实了此模型的客观可靠性。

关键词: 牦牛肉; 蒸制时间; 品质评价模型; 主成分分析法; 模糊数学法

文章编号: 1673-9078(2020)06-181-189

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.6.1248

Modeling and Analysis of the Effect of Steaming Time on the Quality of Yak Meat

WANG Ke¹, ZHU Chao-zhi¹, ZHAO Gai-ming¹, TIAN Wei¹, ZHANG Wen-hua², MA Jin-shou³

(1. College of food science and technology, Henan agricultural university, Zhengzhou 450002, China)

(2. Zhongwei Comprehensive Experimental Station, Zhongwei 755000, China)

(3. Datong Comprehensive Test Station, Datong 810100, China)

Abstract: The yak meat with the same initial conditions was steamed for 40 min, 60 min, 80 min, 100 min and 120 min under the same temperature conditions. The tenderness, water-holding capacity (WHC), pH, color, protein content, fat content and moisture content were analyzed. The quality evaluation model of the steamed yak meat was constructed by principal component analysis combined with sensory evaluation. The sensory score was comprehensively compared with fuzzy mathematics. The results showed that the color, tenderness and WHC of yak meat were significantly affected by steaming time. Steaming for 60 min was more suitable for the traditional yak beef steaming process. The shear force of beef under this condition was 5.33 kg, with a color value of 12.15 and a WHC of 91.45%, which were all optimal. Its protein content, fat content and moisture content were 37.01%, 3.71% and 57.80%, respectively, which were all in reasonable range. The quality of the steamed beef with different steaming time was judged by PCA method: 60 min>80 min>40 min>100 min>120 min, which was significantly positively correlated with fuzzy mathematics sensory scores, further confirming the objective reliability of this model.

Key words: yak meat; steaming time; quality evaluation model; principal component analysis method; fuzzy mathematics

引文格式:

王可, 祝超智, 赵改名, 等. 蒸制时间对牦牛肉品质影响的模型构建与分析[J]. 现代食品科技, 2020, 36(6): 181-189

WANG Ke, ZHU Chao-zhi, ZHAO Gai-ming, et al. Modeling and analysis of the effect of steaming time on the quality of yak meat [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(6): 181-189

收稿日期: 2019-12-18

基金项目: 国家农业(肉牛牦牛)产业技术体系建设专项(CARS-37)

作者简介: 王可(1997-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 肉制品加工与质量安全控制

通讯作者: 赵改名(1965-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 肉制品加工与质量安全控制

牛肉具有高蛋白、低脂肪,富含矿物质、维生素、多种氨基酸和脂肪酸等诸多优点,使得其受到全世界人民的青睐^[1]。牦牛作为高原珍贵物种,生活环境高山环绕、地形封闭,草场无污染,牦牛肉也成为天然的绿色食品来源,国家农业部还将其定义为“绿色食品”,而牦牛肉具有肉质鲜美、蛋白质含量高、矿物质丰富、脂肪含量少,且肉中胡萝卜素含量较高等特点。牛肉的消耗量排在猪肉与禽肉之后,居于世界第三位,并且随着经济的发展消耗量在逐年递增^[2]。对于牛肉的加工,有煮、炸、烤、煎等多种不同的工艺,而不同的加工方式对于牛肉最终的营养品质有一定的影响^[3]。根据张兰等人的报道,发现炸、煎、烤等工艺对牛肉的品质都有显著影响,在加工过程中大量破坏了肉中的维生素,并损失部分脂肪增加了饱和脂肪酸的含量,膳食中过量的饱和脂肪酸会引起血液脂蛋白胆固醇质量分数增加,进而危害人体健康^[4]。而煮制的加工方式增加了损失率,易使肉中的维生素与钙质流失,并且长时间的煮制使牛肉口感有一定损失,其中的水溶性营养物质的流失也导致了营养价值的降低^[5]。蒸制加工效果与煮制接近,不同的是蒸制利用水沸腾产生的饱和水蒸气使牛肉熟化的过程,由于蒸制容器不易使水汽外逸,使得内部保持良好的湿度,从而较好地保持牛肉熟化后的汁液和形态,减少了营养物质的损失,极大地保持了牛肉的原有营养,使得营养价值最大化,是最健康的加工方式之一^[6]。然而,对于牛肉而言,蒸制时间对其品质有一定的影响,如果蒸制时间过短,牛肉的成熟度不够,在储存过程中也易导致微生物的滋生,对于牛肉的口感与质量安全均有较大影响;但是如果蒸制时间过长,不仅造成了能源与时间地浪费,并且对其口感和品质有较大的影响,已有研究表明,通过精准控制温度和时间,可以使得烹饪产品具备较强的可复制性^[7,8]。现有的研究多见于对加工方式的对比与对加热中心温度的控制,对于牛肉的蒸制时间的研究几无涉及,蒸制肉制品作为传统特色肉制品类型,具有极大地营养优势,但研究报道很少,相关产品也很少,需要深入探讨,目前牦牛肉加工技术落后,相关研究较少,产品单一,且具有粗硬等质地问题,采用蒸制加工可能使其具有良好的口感。故设计试验对牦牛肉的最适蒸制时间进行探究。

目前,对于牛肉品质的主要的判断手段仍旧是感官评价。但是,此方法的主观成分过重,对于评定者的专业性要求比较高,且无辅助手段进行充分验证。因此,为了减少误差性,需要采用理化指标结合感官评定或模糊数学综合评判法来进行各类产品的品质评

价^[9,10]。但是,关于牛肉的品质指标有很多,难以分清主次,而主成分分析(principal component analysis, PCA)法可将原来的评价指标重新组合,以较少的综合指标反映原始指标的主要信息,目前已广泛应用于食品质量评价领域^[11-13]。因此需要利用主成分分析法结合感官评定构建蒸制牦牛肉的品质评价模型,得到最适宜的蒸制时间,并对照模糊数学综合感官评分结果验证模型的可靠性,以期后续研究者对牛肉蒸制工艺及评价方法的研究与利用提供技术参考与理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

原料肉由宁夏夏华食品有限公司提供,为屠宰年龄2岁的青海高原型母牦牛(父本青海高原型公牦牛×母本青海高原型母牦牛)新鲜霖肉(Knuckle)5 kg,除去表面脂肪及结缔组织,在-40℃冰箱中冷冻备用。

1.2 试验仪器

主要仪器设备:PHS-3C型pH计,上海雷磁仪器厂;HD-3A型水分活度仪,上海精密仪器仪表有限公司;3000型号沃-布剪切仪,宁波瑞克伟业有限公司;HH-WO型恒温水浴锅,郑州予创仪器设备公司;BC/BD-317HEF电冰箱,青岛海尔电冰柜有限公司;AL104电子天平,上海梅特勒-托利多仪器有限公司;HR-250型锯骨机,上海哈瑞斯公司;KDN-1半自动凯氏定氮仪,上海平轩科学仪器有限公司;STSXT型索氏抽提装置,上海秉月电子仪器有限公司;CR-5型色彩色差计,日本KONICA公司;ALLEGRA-64A型冷冻离心机,北京格瑞德曼仪器设备有限公司;leicaCM1860UV型冷冻切片机,leica Biosystems Nussloch GmbH公司;Nikon eclipse 80i型显微镜,Nikon公司。

1.3 试验方法

1.3.1 牛肉蒸制方法

将新鲜牛肉解冻后洗净并除去结缔组织与筋膜,分割成5 cm×5 cm×1.5 cm的方块状,使用肉重的3%的食盐进行腌制12 h,在相同温度条件下(水温维持在100℃)放入蒸锅中分别蒸制40 min、60 min、80 min、100 min、120 min,之后在室温下冷却,进行后续指标测定,每个蒸制时间重复三组作为平行。

1.3.2 色差值的测定

将便携式色差仪经白板校准(初始色值L*=0、

$a^*=0$ 、 $b^*=0$ 、 $C=0$), 测定蒸制后的牛肉样品的 L^* 值 (亮度)、 a^* 值 (红度)、 b^* 值 (黄度)、 C 值 (色彩强度)。将色差仪镜头垂直放置于蒸制且均匀切割后的牛肉表面测量, 镜口紧贴肉面 (不能漏光), 每个样品选取不同的截面测定 6 次, 测量时将色差仪测定位置均匀分布牛肉肌肉表面, 避开可见脂肪与筋腱, 记录 L^* 、 a^* 、 b^* 及 C 值 $(a^{*2}+b^{*2})^{0.5}$, 测量取其平均值, 重复进行三次试验。

1.3.3 嫩度测定

将蒸制后的肉样切成 $1\text{ cm}\times 1\text{ cm}\times 3\text{ cm}$ 的长条状, 取样后立即使用沃-布剪切力仪沿着垂直于肌纤维方向切割, 测定其剪切力, 单位为 kg , 每种肉样取样 6 个, 重复测定。

1.3.4 不同蒸制时间牦牛肉保水性 (water holding capacity, WHC) 的测定

参照 Zhou 等人^[14]的离心方法, 略作修改。取 10.0 g 的蒸制后的牦牛肉样品切碎 (粒径 1 mm^3) 放入离心管中, 记为 W_a , 置于转速为 7000 r/min 的冷冻离心机中离心 20 min , 离心结束后将肉样取出并用滤纸吸干样品表面水分并称重, 记为 W_b 。按下式计算牛肉的持水力:

$$\text{WHC}(\%) = \frac{W_b}{W_a} \times 100\%$$

1.3.5 pH 的测定

参照 GB/T 9695.5-2008 肉与肉制品 pH 测定采用 pH 仪测定, 测定样品数量不少于 3 个, 取平均值。

1.3.6 蛋白质、脂肪与水分含量的测定

参照 GB 5009.5-2016 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定, 采用凯式定氮法进行牛肉中蛋白质含量的测定; 参照 GB 5009.6-2016 食品安全国家标准 食品中脂肪的测定, 采用酸水解法进行牛肉中粗脂肪含量的测定; 参照 GB 5009.3-2016 《食品安全国家标准 食品中水分的测定》, 采用直接干燥法进行牛肉中水分含量的测定。

1.3.7 不同蒸制时间对牦牛肉肌纤维微观结构影响

将蒸制后的牛肉顺肌纤维方向切成 1 cm^3 大小的小块, 在 $-40\text{ }^\circ\text{C}$ 中冷冻, 后在冷冻切片机上垂直肌纤维切成 $20\text{ }\mu\text{m}$ 厚的薄片, 使用 200 倍显微镜观察其肌纤维垂直截面。

1.3.8 感官评定方法

在温度 $25\text{ }^\circ\text{C}$ 左右, 湿度适中的感官评定环境中, 使用隔间式感官评定区域, 以免人员与外部环境的干扰。感官评定小组人员由男女各 5 人的比例组成, 均受过专业性训练与筛选。评定标准如下表 1 所示。

表 1 感官评分标准

Table 1 Sensory scoring criteria

等级	一级 (80~100 分)	二级 (60~80 分)	三级 (40~60 分)	四级 (20~40 分)	五级 (20 分以下)
色泽	颜色稍暗, 富有光泽	颜色粉红, 较有光泽	颜色深红, 稍有光泽	颜色暗红, 无光泽	色泽灰淡, 无光泽
风味	有浓郁肉香味	有肉香味	肉香味稍淡	无明显肉香味	无香气
嫩度	富有弹性, 口感好	口感较好, 弹性一般	较硬或较软, 口感一般	过硬或过软, 无弹性	过硬或过软, 口感较差
多汁性	滋味纯正, 回味好	滋味正常, 回味较好	滋味较好, 回味一般	滋味一般, 回味稍差	有异味

1.3.9 模糊数学综合评价

(1) 因素集的建立

品评者分别对牛肉样品的色泽 (u_1)、风味 (u_2)、多汁性 (u_3)、嫩度 (u_4) 这四个感官特性进行评分, 得到样品的因素集为 $U = \{U_1, U_2, U_3, U_4\}$ 。

(2) 评语集的建立

经过评定小组讨论, 确定牛肉的评价等级为一级 (v_1)、二级 (v_2)、三级 (v_3)、四级 (v_4)、五级 (v_5), 得到评语集 $V = \{v_1, v_2, v_3, v_4, v_5\}$ 。以 100 分为标准, 各指标大于 80 分为一级, 得分 $60\sim 80$ 分为二级, 得分 $40\sim 60$ 分为三级, 得分 $20\sim 40$ 分为四级, 得分小于 20 分为五级。

(3) 权重集的确

影响蒸制牛肉感官品质的指标主要包括色泽、风味、多汁性、嫩度, 本试验采用频数统计法来确定每

个因素的权重, 对参加评价因素的重要程度以 1 对 1 进行比较, 重要的得 1 分, 次要的得 0 分, 自身比较得 1 分, 具体权重结果见表 2。

经计算, 在综合评判中各因素所占比重分别是 0.21 、 0.22 、 0.31 、 0.26 。因此, 权重系数 $X = \{0.21, 0.22, 0.31, 0.26\}$ 。

表 2 感官指标权重的确定

Table 2 Determination of the weight of sensory indicators

评价指标	得分				合计	权重
	色泽	风味	嫩度	多汁性		
色泽	10	4	4	3	21	0.21
风味	5	10	4	3	22	0.22
嫩度	7	7	10	7	31	0.31
多汁性	5	5	6	10	26	0.26

(4) 模糊矩阵的确立

同时请 10 位感官评定员根据评语集 V 对各个样品做出评判, 统计各因素指标所得评语次数, 并绘制成表, 再将表中各数除以 k 值 ($k=10$), 以获得 4 个因素对 5 项评语的隶属度 R , 按因素为行排列即得隶属度矩阵。依据模糊变换原理, 得到模糊关系评价集 $Y=XR$ 。最后引进综合评分矩阵 T 处理模糊关系评价 Y , 根据感官评价的特殊性, 设评价等级集 $K=\{k_1, k_2, k_3, k_4, k_5\}$, 得到蒸制牛肉样品的模糊综合评价总分 $T=Y \times K$ 。

1.4 数据处理

所有试验数据, 均为三次重复试验后结果, 试验所得数据以平均值 \pm 标准差表示, 采用 SPSS 16.0 统计分析软件中的 One-way ANOVA 进行方差分析和显著性检验, $p<0.05$ 表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 蒸制牛肉的品质指标分析

不同蒸制时间处理后的牛肉品质变化如上表 3 所示。色泽是消费者选择牛肉的重要判断标准^[15], 随着蒸制时间的延长, 牛肉的亮度呈现出先增后降的趋势, 其中蒸制 60 min 的牛肉亮度显著大于其他蒸制时间下的样品 ($p<0.05$), 红度值虽也呈下降趋势, 不过变化幅度较小, 而黄度值的变化趋势与亮度大致相同。根据研究表明, 肉色主要是肌红蛋白所呈现, 而其变化主要与肌红蛋白含量有关, 在加热 60 min 到 80 min 时, 是由于肌纤维蛋白发生变性作用, 亮度、红度、黄度均呈现增大趋势, 而随着蒸制时间的进一步延长肌红蛋白遭到破坏, 逐渐呈现下降趋势, 表面肉色变暗加深, 向褐色转变^[16], 随着蒸制时间延长, 样品所呈现的褐色越来越深, 即表现为亮度和黄度值的降低,

这与 Kong 等人的研究结果一致^[17], 而色彩值 C 代表了整个色彩变化的趋势, 进一步证实了这一现象。嫩度也是牛肉食用品质的重要判断依据, 一般都用剪切力值的大小来进行说明比对^[18]。伴随着蒸制时间的延长, 牛肉的剪切力呈现一个先增后降的趋势, 40 min 与 60 min 牛肉嫩度大致相同, 在达到 80 min 时剪切力值最大达到了 6.94 kg 显著高于其他蒸制时间 ($p<0.05$), 再继续蒸制剪切力值又继续下降, 嫩度回升, 主要原因是由于肌肉结缔组织和肌原纤维蛋白的热变性和热收缩共同作用^[19], 在加热条件下可引起肌肉蛋白质的变性, 从而发生凝固、凝聚和短缩现象, 会影响结缔组织胶原蛋白的溶解程度^[20], 最后导致在加热 80 min 时牛肉嫩度下降, 而其溶解度随温度的增加而增加, 在继续加热后, 牛肉嫩度回升, 然而由于加热时间过长使得嫩度过大, 对于其口感的感官评定产生了较大的影响, 并且也增加了能源的损耗。保水性主要影响的是牛肉的多汁性, 保水性的变化趋势是先提高后降低, 其中加热 60 min 时的保水性显著高于其他蒸制时间 ($p<0.05$), 在之后保水性下降严重, 主要由于熟肉制品中蛋白质在熟制过程中变性, 再经高压或热处理, 可能会破坏这一网络结构, 导致持水力下降^[21]。牛肉的 pH 值随着蒸制时间的增加而呈现上升趋势, 原因是蛋白质中的游离酸性基团因加热变性而逐渐丢失, 导致其 pH 值逐渐上升^[22], 在 80~100 min 的蒸制时间内, 蛋白质分子中的酸基, 特别是羧基减少, 形成酯结合的侧链, 致使牛肉 pH 显著上升 ($p<0.05$); 之后 pH 上升趋势不再明显甚至呈现下降趋势, 说明结构已基本形成, 蛋白质分子中的酸基含量减少^[23]。随着蒸制时间的延长, 热能的传递诱导蛋白质变性, 肌纤维蛋白的收缩和胶原蛋白溶解性增大, 使肉品的水分含量下降, 肉品硬度增大蛋白质结合水被释放, 导致水分含量逐渐降低, 脂肪的相对含量稍有所增加^[24]。

表 3 不同蒸制时间牛肉品质指标测定结果

Table 3 Results of determination of beef quality index in different steaming time

蒸制时间/min	L*	a*	b*	C	剪切力/kg	WHC/%	pH	蛋白质含量/%	脂肪含量/%	水分含量/%
40	47.53 \pm 0.40 ^b	2.90 \pm 0.07 ^c	11.74 \pm 0.30 ^a	12.10 \pm 0.28 ^a	5.22 \pm 0.06 ^b	88.03 \pm 0.86 ^c	5.90 \pm 0.01 ^e	37.34 \pm 0.32 ^b	3.65 \pm 0.11 ^c	57.13 \pm 0.13 ^b
60	50.50 \pm 0.75 ^a	3.54 \pm 0.06 ^b	11.62 \pm 0.47 ^a	12.15 \pm 0.44 ^a	5.33 \pm 0.12 ^b	91.45 \pm 1.03 ^b	5.93 \pm 0.01 ^d	37.01 \pm 0.06 ^a	3.71 \pm 0.02 ^c	57.80 \pm 0.18 ^a
80	42.89 \pm 0.41 ^c	3.11 \pm 0.05 ^c	11.66 \pm 0.44 ^a	12.07 \pm 0.42 ^a	6.94 \pm 0.25 ^a	89.48 \pm 2.03 ^c	5.97 \pm 0.02 ^b	36.47 \pm 0.12 ^b	4.66 \pm 0.36 ^b	55.35 \pm 0.19 ^c
100	34.87 \pm 0.43 ^d	2.74 \pm 0.08 ^a	9.70 \pm 0.32 ^b	10.14 \pm 0.31 ^b	5.03 \pm 0.21 ^c	85.42 \pm 0.48 ^a	6.07 \pm 0.01 ^a	35.72 \pm 0.31 ^c	4.76 \pm 0.41 ^b	55.01 \pm 0.05 ^a
120	31.49 \pm 0.42 ^e	2.75 \pm 0.16 ^a	8.80 \pm 0.38 ^c	9.22 \pm 0.39 ^c	5.01 \pm 0.15 ^c	81.76 \pm 0.34 ^a	5.95 \pm 0.02 ^c	35.03 \pm 0.20 ^c	5.68 \pm 0.24 ^a	54.67 \pm 0.25 ^c

注: 同列字母不同者差异显著 ($p<0.05$)。

2.2 不同蒸制时间牛肉肌纤维微观结构

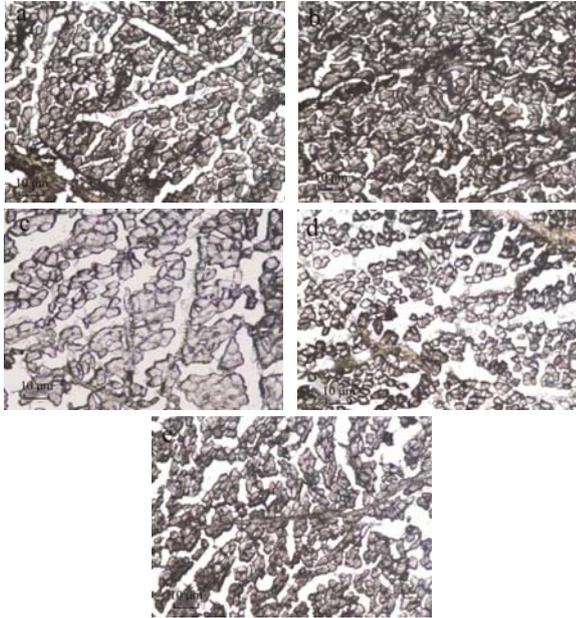


图1 不同蒸制时间牦牛肉肌纤维微观结构

Fig.1 Microstructure of yak meat muscle fiber in different steaming time

注: 图 a~e 分别是蒸制 40 min、60 min、80 min、100 min、120 min 的牦牛肉肌纤维垂直界面微观结构。

牛肉的嫩度是由肌纤维与结缔组织共同影响的结果, 根据表 3 中牛肉剪切力值的对比发现, 在图 1a~e 的变化来看, 蒸制 80 min 时嫩度下降原因是随着加热温度的升高, 牛肉中由胶原纤维组成的肌膜与结缔组织进一步发生热收缩, 原来卷曲包绕在肌纤维四周的肌内膜和肌束膜与肌纤维发生分离, 肌纤维逐渐沿横、纵向伸长膨胀, 肌纤维直径显著增大, 肌束膜紧密包裹肌纤维, 肌肉组织变得更加紧致。由组图可以看出, 随着蒸制时间的延长, 肌纤维由开始的紧凑团簇状慢

慢的变得散乱开来, 最后到 120 min 时基本呈现无规则的散乱分布, 主要是由于加热使得熟肉的肌原纤维和肌束膜、肌内膜的结构完整性受到较大影响, 嫩度也因此而发生改变, 这与 I.Girard 等研究结果一致^[25]。

2.3 蒸制牛肉品质评价模型的构建

利用主成分分析法提取变量的共同度, 结果见表 4。由表 4 可知, 所有变量的共同度均较高, 信息损失较少, 进一步显示了本试验提取的几个公因子对各变量的解释是较强的。

表 4 主成分分析提取变量的共同度

Table 4 Principal component analysis extracts the commonality of variables

指标	初始	提取
L*	1.000	0.987
a*	1.000	0.721
b*	1.000	0.905
C	1.000	0.926
剪切力	1.000	0.727
水分含量	1.000	0.785
蛋白质含量	1.000	0.941
脂肪含量	1.000	0.840
pH	1.000	0.831
WHC	1.000	0.984

利用主成分分析计算出的蒸制牛肉的主成分因子特征值和方差贡献率, 结果见表 5。一般多选取特征根>1 的成分与累积贡献率≥85%的主成分作为研究对象。表 5 中, 第一主成分与第二主成分的特征根均大于 1, 累积贡献率分别为 75.581%和 86.469%, 能较好地反映出蒸制牛肉品质指标构成的原始信息。蒸制牛肉主成分的载荷矩阵与特征向量如表 6 所示。

表 5 蒸制牛肉的主成分因子特征值及方差贡献率

Table 5 Characteristic values of principal component factors and variance contribution rate of steamed beef

成分	初始特征根			提取因子载荷平方和		
	合计	方差贡献率/%	累计贡献率/%	合计	方差贡献率/%	累计贡献率/%
1	7.558	75.581	75.581	7.558	75.581	75.581
2	1.089	10.887	86.469	1.089	10.887	86.469
3	0.784	7.843	94.312			
4	0.407	4.065	98.377			
5	0.073	0.730	99.107			
6	0.054	0.537	99.644			
7	0.028	0.279	99.923			
8	0.006	0.063	99.986			
9	0.001	0.014	100.000			
10	1.796E ⁻⁶	1.796E ⁻⁵	100.000			

表 6 蒸制牛肉的主成分载荷矩阵与特征向量

Table 6 Principal component load matrix and eigenvectors of steamed beef

指标	第一主成分 (PC ₁)		第二主成分 (PC ₂)	
	载荷	特征向量	载荷	特征向量
L*	0.992	0.361	-0.041	-0.039
a*	0.716	0.260	0.457	0.438
b*	0.947	0.344	0.089	0.085
C	0.956	0.348	0.110	0.105
剪切力	0.814	0.296	0.254	0.243
水分含量	0.868	0.316	-0.175	-0.168
蛋白质含量	0.908	0.330	-0.341	-0.327
脂肪含量	-0.906	-0.330	0.143	0.137
pH	-0.563	-0.205	0.717	0.687
WHC	0.934	0.340	0.334	0.320

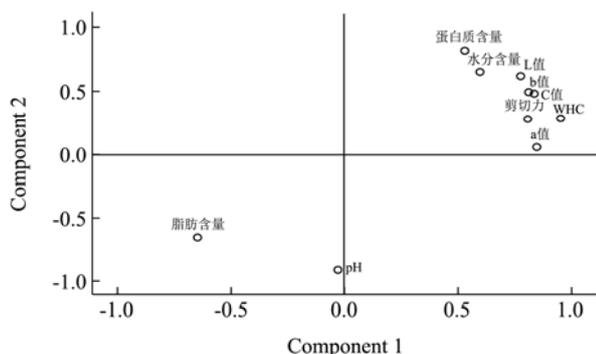


图 2 蒸制牛肉因子载荷图

Fig.2 Steamed beef factor load map

根据第一、第二的特征根，结合载荷矩阵计算出特征向量，结果见表 6。分别将 L*、a*、b*、C、剪切力、水分含量、蛋白质含量、脂肪含量、嫩度、pH、WHC 等标准化后的数据记作 X₁~X₁₀，可得主成分的表达式：

$$F_1 = 0.361X_1 + 0.260X_2 + 0.344X_3 + 0.348X_4 + 0.296X_5 + 0.316X_6 + 0.330X_7 - 0.330X_8 - 0.205X_9 + 0.340X_{10}$$

$$F_2 = -0.039X_1 + 0.438X_2 + 0.085X_3 + 0.105X_4 + 0.243X_5 - 0.168X_6 - 0.327X_7 + 0.137X_8 + 0.687X_9 + 0.320X_{10}$$

式中系数为各品质指标的特征向量，F₁、F₂ 为各主成分评分。以第一、第二主成分初始特征根的方差贡献率 β_i (i=1,2,3) 为加权系数，可得蒸制牛肉的品质评价模型：

$$F = (0.75581F_1 + 0.10887F_2) / 0.86468$$

式中系数为各主成分的方差贡献率，通过计算可得蒸制牛肉品质的综合评分，如表 6 所示。载荷绝对值越大，对主成分的贡献越大，由表 6 可知，第一公因子在 X₁、X₃、X₄、X₇、X₈、X₁₀ 有较大载荷，主要

从 L*、b*、C、蛋白质含量、脂肪含量、WHC 等指标反映蒸制牛肉的品质。第二公因子在 X₂、X₉、X₁₀ 有较大载荷，主要从 a*、pH、WHC 等指标反映蒸制牛肉的品质。因子载荷图已经广泛应用于样品和品质指标之间的关系研究中，能够较明显地显示指标在各成分中的作用^[26,27]。因此，为进一步明晰各类品质指标在主成分中所起的作用，根据主成分载荷矩阵制作因子载荷图，结果见图 2。由图 2 可知，脂肪含量与 pH 均在 PC₁ 和 PC₂ 的负向端分布，其余指标均在 PC₁ 和 PC₂ 正向端分布，显著表明了各指标的影响程度。PC₁ 中的六种品质指标聚为四簇，脂肪含量单独一簇，蛋白质含量为一簇，L*、b*、C 为一簇，WHC 为一簇，PC₂ 中 pH 单独为一簇。综合看来，PCA 将对蒸制牛肉品质产生影响的指标分为 7 种，即脂肪含量，蛋白质含量，L*、b*、C、WHC，pH 等指标的共同作用构成了蒸制牛肉的主要品质。

表 7 蒸制牛肉品质评价的综合得分

Table 7 Comprehensive scores for quality evaluation of low-temperature cooked beef

时间/min	F ₁ (PC ₁ 评分)	F ₂ (PC ₂ 评分)	F (综合评分)	排序
40	2.249	-1.366	0.883	3
60	3.164	0.302	3.466	1
80	0.676	0.970	1.646	2
100	-2.674	1.164	-1.510	4
120	-3.294	-0.776	-4.070	5

由表 7 可知，依据此品质评价模型，显示 60 min 加热条件下的牛肉综合评分最高，80 min 次之，120 min 的牛肉综合评分最低。从该模型得出蒸制牛肉的综合评分与品质排序，显示综合评分与排序越高，牛肉的品质越好。因此，蒸制牛肉的品质优劣顺序为：蒸制 60 min>蒸制 80 min>蒸制 40 min>蒸制 100 min>蒸制 120 min。本研究通过比较加热 (40~120 min) 处理牛肉的综合得分，发现当牛肉蒸制时间低于 60 min 时由于成熟度的不够，综合评分较低，而在蒸制时间高于 60 min 后综合评分又逐渐下降，并且随着蒸制时间的延长有评分有继续下降的趋势。因此，蒸制时间对牛肉品质有极大地影响。

2.4 模糊数学感官评价结果

通过 10 名感官评价员在专门试验条件下对 5 组蒸制牛肉样品进行的 4 项指标的评价，将评价结果收集汇总并进行统计分析，得出感官评价结果，见表 8。

表 8 不同蒸制时间牛肉的感官评价结果

Table 8 Sensory evaluation results of beef in different steaming time

时间/min	色泽					风味					嫩度					多汁性				
	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄	V ₅	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄	V ₅	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄	V ₅	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄	V ₅
40	7	3	0	0	0	6	2	2	0	0	7	3	0	0	0	7	3	0	0	0
60	9	1	0	0	0	9	1	0	0	0	8	2	0	0	0	9	1	0	0	0
80	8	2	0	0	0	7	3	0	0	0	6	3	1	0	0	8	2	0	0	0
100	5	3	2	0	0	6	1	3	0	0	6	3	1	0	0	6	2	2	0	0
120	4	2	4	0	0	6	1	3	0	0	5	2	3	0	0	5	2	2	1	0

由表 8 可知，以 40 min 蒸制牛肉的色泽为例，7 人评 80~100 分，3 人评 60~80 分，无人评 60 分以下，则得到 $U_1 = \{0.7, 0.3, 0, 0, 0\}$ ，同理可得 $U_2 = \{0.6, 0.2, 0.2, 0, 0\}$ ， $U_3 = \{0.7, 0.3, 0, 0, 0\}$ ， $U_4 = \{0.7, 0.3, 0, 0, 0\}$ ，从而得到 4 个单因素对 5 项评语的隶属度矩阵，即：

$$R_1 = \begin{vmatrix} 0.7 & 0.3 & 0.0 & 0.0 & 0.0 \\ 0.6 & 0.2 & 0.2 & 0.0 & 0.0 \\ 0.7 & 0.3 & 0.0 & 0.0 & 0.0 \\ 0.7 & 0.3 & 0.0 & 0.0 & 0.0 \end{vmatrix}$$

同理可得：

$$R_2 = \begin{vmatrix} 0.9 & 0.1 & 0.0 & 0.0 & 0.0 \\ 0.9 & 0.1 & 0.0 & 0.0 & 0.0 \\ 0.8 & 0.2 & 0.0 & 0.0 & 0.0 \\ 0.9 & 0.1 & 0.0 & 0.0 & 0.0 \end{vmatrix}$$

$$R_3 = \begin{vmatrix} 0.8 & 0.2 & 0.0 & 0.0 & 0.0 \\ 0.7 & 0.3 & 0.0 & 0.0 & 0.0 \\ 0.6 & 0.3 & 0.1 & 0.0 & 0.0 \\ 0.8 & 0.2 & 0.0 & 0.0 & 0.0 \end{vmatrix}$$

$$R_4 = \begin{vmatrix} 0.5 & 0.3 & 0.2 & 0.0 & 0.0 \\ 0.6 & 0.1 & 0.3 & 0.0 & 0.0 \\ 0.6 & 0.3 & 0.1 & 0.0 & 0.0 \\ 0.6 & 0.2 & 0.2 & 0.0 & 0.0 \end{vmatrix}$$

$$R_5 = \begin{vmatrix} 0.4 & 0.2 & 0.4 & 0.0 & 0.0 \\ 0.6 & 0.1 & 0.3 & 0.0 & 0.0 \\ 0.5 & 0.2 & 0.3 & 0.0 & 0.0 \\ 0.5 & 0.2 & 0.2 & 0.1 & 0.0 \end{vmatrix}$$

根据模糊变化原理，计算各样品对评价因素的综合隶属度 $Y=XR$ ，得到评价结果见公式 1。

$$Y_1 = XR_1 = \begin{vmatrix} 0.21 & 0.22 & 0.31 & 0.26 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} 0.7 & 0.3 & 0.0 & 0.0 & 0.0 \\ 0.6 & 0.2 & 0.2 & 0.0 & 0.0 \\ 0.7 & 0.3 & 0.0 & 0.0 & 0.0 \\ 0.7 & 0.3 & 0.0 & 0.0 & 0.0 \end{vmatrix} = \{0.678, 0.278, 0.044, 0, 0\} \quad (1)$$

同理可得： $Y_2 = \{0.869, 0.131, 0, 0, 0\}$ ， $Y_3 = \{0.716, 0.253, 0.031, 0, 0\}$ ， $Y_4 = \{0.579, 0.23, 0.191, 0, 0\}$ ， $Y_5 = \{0.501, 0.178, 0.295, 0.026, 0\}$ 。

模糊综合评价总分 $T=Y \times K$ ，由第 1 个样品的 $Y_1 = \{0.678, 0.278, 0.044, 0, 0\}$ 和评价等级集 $K = \{90, 70, 50, 30, 10\}$ 经计算得出：

$$40 \text{ min 蒸制牛肉的综合评分 } T_1 = |0.678 \ 0.278 \ 0.044 \ 0 \ 0| \times |90 \ 70 \ 50 \ 30 \ 10| = 82.68$$

同理可得， $T_2 = 87.38$ ， $T_3 = 83.7$ ， $T_4 = 77.76$ ， $T_5 = 73.08$

为了更直观地显示出结果差异，将蒸制牛肉的模糊数学综合感官评分以柱状图的形式展示，如图 3 所示。

模糊数学评价法，运用了模糊数学的原理，对人

类思维方式进行了模拟推算，将所有评定因素的贡献进行综合，对产品质量做出比较准确、客观、科学的评价。由表 8 可以看出，60 min 的蒸制时间下的牛肉感官评分最高，与其他蒸制组差异显著 ($p < 0.05$)。蒸制 40 min 与 80 min 组无显著差异 ($p > 0.05$)。随着蒸制时间的延长，蒸制牛肉的感官评分呈先上升后下降的趋势，蒸制 120 min 的牛肉感官评分最低，其感官品质最差。蒸制牛肉的感官评分从低到高依次为：蒸制 60 min > 蒸制 80 min > 蒸制 40 min > 蒸制 100 min > 蒸制 120 min，与品质评价模型的排序结果具有较好的一致性，显示基于主成分分析法得到的蒸制牛肉品质评价模型是真实可靠的，进一步佐证了本试验的准确性。

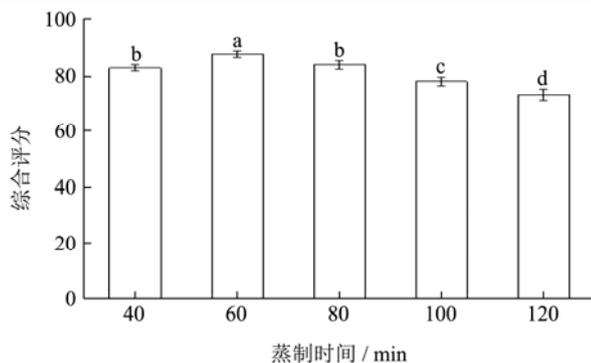


图3 蒸制牛肉的模糊数学综合感官评分

Fig.3 Fuzzy mathematics comprehensive sensory score of steamed beef

注: 标注字母不同表示差异显著 ($p < 0.05$), 相同表示无显著差异 ($p > 0.05$)。

2.5 蒸制牛肉品质评价模型的验证

表9 蒸制牛肉模型得分与感官评分的相关性

Table 9 Correlation between steamed beef model score and sensory score

蒸制时间/min	40	60	80	100	120
综合评分 F	0.883	3.466	1.646	-1.510	-4.070
感官评分	82.68	87.38	83.70	77.76	73.08
p-value	0.000 < 0.01				
相关性	1.000**				

注: *表示显著相关 ($p < 0.05$), **表示极显著相关 ($p < 0.01$)。

为验证品质评价模型的可靠性, 将模型综合得分 F 与感官评分进行 Person 相关性分析, 结果见表 9。由表 9 可知, 利用品质评价模型获得的蒸制牛肉综合得分与模糊数学感官评分的相关系数高达 1.000, 具有极显著相关性 ($p < 0.01$), 进一步证实了该评价模型的可靠性。

3 结论

本试验采用了主成分分析 (PCA) 法对所有与牛肉品质相关理化指标进行综合分析, 建立了基于主成分分析法的蒸制牛肉的品质评价模型。在该模型下, 牛肉样品的综合得分在 -4.070~3.466 之间, 与模糊数学综合感官评分的排序结果具有较高一致性。最终根据品质相关指标与感官评分的综合对比确定, 在相同条件的传统牛肉蒸制工艺下, 60 min 的蒸制时间最适合于牦牛肉蒸制加工。在此条件下的牛肉剪切力为 5.33 kg, 色彩值为 12.15, WHC 为 91.45%, 均为最佳, 其蛋白质含量为 37.01%, 脂肪含量为 3.71%, 水分含量为 57.80%, 均较正常。并且本试验利用 PCA 分析法构建蒸制牛肉的品质评价模型, 可将多维问题降维

简单化, 并对不同加热方式的产品质量评价方法的开发具有较高的指导意义。

参考文献

- [1] Polkinghorne R J, Thompson J M. Meat standards and grading: A world view [J]. Meat Science, 2010, 86(1): 227-35
- [2] Mao Y, Hopkins D L, Zhang Y, et al. Consumption patterns and consumer attitudes to beef and sheep meat in china [J]. Journal of Food & Nutrition Research, 2016, 4(42): 30-9
- [3] Dong Li, Liu Dengyong, Tan Yang, et al. Advances in methods for evaluating the eating quality of meat products [J]. Meat Research, 2014, 4: 32-37
- [4] 张兰, 高天丽, 刘永峰, 等. 传统中式烤、炸、煎工艺对牛肉营养品质的影响[J]. 食品与生物技术学报, 2019, 38(5): 132-139
ZHANG Lan, GAO Tian-li, LIU Yong-feng, et al. Effects of traditional Chinese roasting, deep-fried and fried on the nutritional quality of beef [J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2019, 38(5): 132-139
- [5] Wattanchant S, Benjakkul S, Ledward A. Effect of heat treatment on changes in texture, structure and properties of Thai indigenous chicken muscle [J]. Food Chemistry, 2005, 93(2): 337-348
- [6] 许雪萍. 不同加工方式处理对猪肉中脂质的影响研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2018
XU Xue-ping. Research on the effects of different processing methods on pork lipids [D]. Nanchang: Nanchang University, 2018
- [7] Baldwin D E. Sous Vide for the Home Cook [M]. New York: Paradox Press, 2010
- [8] Myhrvold N, Young C, Bilet M. Modernist Cuisine: The Art and Science of Cooking [M]. Washington: The Cooking Lab, 2011
- [9] 张春江, 王宇, 臧明伍, 等. 模糊数学综合评判法在酱牛肉感官评价中的应用[J]. 食品科学, 2009, 30(7): 60-62
ZHANG Chun-jian, WANG Yu, ZANG Ming-wu, et al. Application of fuzzy mathematics comprehensive evaluation method in sensory evaluation of sauce beef [J]. Food Science, 2009, 30(7): 60-62
- [10] Dikeman M E, Pollak E J, Zhang Z, et al. Phenotypic ranges and relationships among carcass and meat palatability traits for fourteen cattle breeds, and heritabilities and expected progeny differences for Warner-Bratzler shear force in three beef cattle breeds [J]. Journal of Animal Science, 2005, 83: 2461-2467
- [11] 洗燕萍, 董浩, 罗东辉, 等. 基于主成分分析法的鱼翅干制品

- 品质评价模型的构建[J].现代食品科技,2016,32(1):210-217
- YAN Yan-ping, DONG Hao, LUO Dong-hui, et al. Construction of quality evaluation model of shark fin dry products based on principal component analysis [J]. Modern Food Technology, 2016, 32(1): 210-217
- [12] 杨文婷,李俊丽,孔丰,等.基于主成分分析法对冷冻滩羊肉品质评价模型的构建[J].食品工业科技,2017,38(9):300-303
- YANG Wen-ting, LI Jun-li, KONG Feng, et al. Construction of the quality evaluation model of frozen beach mutton based on principal component analysis [J]. Food Science and Technology, 2017, 38(9): 300-303
- [13] 岳田利,彭帮柱,袁亚宏,等.基于主成分分析法的苹果酒香气质量评价模型的构建[J].农业工程学报,2012,23(6):223-227
- YUE Tian-li, PENG Beng-zhu, YUAN Ya-hong, et al. Construction of aroma quality evaluation model for apple wine based on principal component analysis [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 23(6): 223-227
- [14] Zhou Yanzi, Chen Conggui, Chen Xing, et al. Contribution of three ionic types of polysaccharides to the thermal gelling properties of chicken breast myosin [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2014, 62(12): 2655-2662
- [15] Kim, Y H, Hunt, M C, Mancini, R. A, et al. Mechanism for lactate-color stabilization in injection-enhanced beef [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2006, 54(20), 7856-7862
- [16] Suman S P, Nair M N, Joseph P, et al. Factors influencing internal color of cooked meats [J]. Meat Science, 2016, 120: 133-144
- [17] Kong F B, Oliveira A, Tang J, et al. Salt effect on heat-induced physical and chemical changes of salmon fillet (*O. gorbuscha*) [J]. Food Chemistry, 2008, 106(3): 957-966
- [18] Sasaki K, Motoyama M, Narita T, et al. Characterization and classification of Japanese consumer perceptions for beef tenderness using descriptive texture characteristics assessed by a trained sensory panel [J]. Meat Science, 2014, 96(2): 994-1002
- [19] Barbut S, Findlay C J. Influence of sodium, potassium and magnesium chloride on thermal properties of beef muscle [J]. Journal of Food Science, 2010, 56(1): 180-182
- [20] Sims T J, Bailey A J. Structural aspects of cooked meat [J]. Special Publication-Royal Society of Chemistry, 1992, 106(1): 106-127
- [21] Mor-Mur M, Yuste J. High pressure processing applied to cooked sausage manufacture: Physical properties and sensory analysis [J]. Meat Science, 2003, 65(3): 1187-1191
- [22] Huang F, Xu X L, Zhou G H, et al. Influence of heat on protein degradation, ultrastructure and eating quality indicators of pork [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2011, 91(3): 443-448
- [23] Joseph J K, Awosanya B, et al. The effects of endpoint internal cooking temperature on the meat quality attributes of selected Nigerian poultry meats [J]. Food Quality and Preference, 1997(8): 57-61
- [24] Zhang J, Wu D, Liu D, et al. Effect of cooking styles on the lipid oxidation and fatty acid composition of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) fillet [J]. Journal of Food Biochemistry, 2013, 37(2): 212-219
- [25] Girard I, Bruce H L, Basarab J A, et al. Contribution of myofibrillar and connective tissue components to the Warner Bratzler shear force of cooked beef [J]. Meat Science, 2012, 92(4): 775-782
- [26] Belton P S, Colquhoun I J, Kemsley E K, et al. Application of chemometrics to the ¹H NMR spectra of apple juices: discrimination between apple varieties [J]. Food Chemistry, 1998, 61(1-2): 207-213
- [27] Rosa M, Carlos H, Alejandro B, et al. Technological classification of basque cider apple cultivars according to their polyphenolic profiles by pattern recognition analysis [J]. Journal of Agriculture Food Chemistry, 2004, 52(26): 8006-8016