

基于主成分和聚类分析的曲拉品质的综合评价

陈梦音¹, 王琳琳¹, 韩玲^{1*}, 丁考仁青², 张佳莹¹, 黄彩燕¹, 文鹏程¹

(1.甘肃农业大学食品科学与工程学院, 甘肃 兰州 730070; 2.甘南州畜牧科学研究所, 甘肃 合作 747000)

摘要:为提高牧区牦牛曲拉品质的一致性, 对我国曲拉主产区的曲拉样品进行综合评价。采集8个地区95份牦牛曲拉样品, 对其营养成分、抗氧化指标、色度值及5-羟甲基糠醛(5-hydroxymethylfurfural, 5-HMF)进行测定与分析, 应用主成分分析筛选曲拉品质评价指标, 同时通过聚类分析对曲拉样品进行分类, 运用方差分析对曲拉进行综合评价。结果表明, 根据相关性分析得到大多数指标间均存在极显著($P < 0.01$)或显著($P < 0.05$)相关性; 主成分分析筛选出2个主成分因子, PC1(72.846%)为外观色泽因子, PC2(13.763%)为营养品质因子, L^* 值、 a^* 值、 b^* 值以及5-HMF含量在PC1上的载荷因子均在0.9以上, 说明外观色泽是评价曲拉品质的主要指标; 聚类分析可将95份曲拉样品分为4类, 且此分类结果与主成分分析结果基本一致。该4类曲拉样品品质存在极显著差异($P < 0.01$), 其中总体14.74%左右的曲拉样品品质不佳, 69.47%左右的曲拉样品品质良好, 15.79%左右的曲拉样品品质优良。

关键词: 牦牛曲拉; 品质指标; 主成分分析; 聚类分析

Comprehensive Evaluation of the Quality Qula, Dried Residue of Naturally Fermented Skim Yak Milk, Based on Principal Component Analysis and Cluster Analysis

CHEN Mengyin¹, WANG Linlin¹, HAN Ling^{1*}, DINGKAO Renqing², ZHANG Jiaying¹, HUANG Caiyan¹, WEN Pengcheng¹

(1. College of Food Science and Engineering, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China;

2. Gannan Institute of Animal Science and Veterinary, Hezuo 747000, China)

Abstract: In order to improve the quality consistency of Qula, the dried residue of naturally fermented skim yak milk, in pastoral areas of China, a comprehensive quality evaluation was conducted for Qula samples collected from some major producing areas in the country. A total of 95 Qula samples from 8 producing areas were analyzed for nutritional composition, antioxidant properties, color values and 5-hydroxymethylfurfural (5-HMF). The appropriate indicators to evaluate the quality of Qula were screened by principal component analysis (PCA) and the samples were classified by cluster analysis. At the same time, analysis of variance was used to comprehensively evaluate the quality of Qula samples. The results showed that majority indicators were extremely significant ($P < 0.01$) and significant ($P < 0.05$) correlation. The first and second principal components (PC1 and PC2) identified by PCA, accounting for 72.846% and 13.763% of the total variance, were interpreted as a 'color component' and a 'nutritional quality component', respectively. The PC1 loading factors for color L^* , a^* and b^* values and 5-HMF content were all higher than 0.9, suggesting that the color could be considered the major indicator of Qula quality. Cluster analysis suggested that these Qula samples were classified into four categories, showing good consistency with the result from principal component analysis. There were extremely significant differences between four categories of Qula samples in terms of quality indicators ($P < 0.01$). Approximately 14.74% of Qula samples were bad in quality, 69.47% good and 15.79% excellent.

Key words: Qula; quality indicators; principal component analysis; cluster analysis

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201713017

中图分类号: TS252.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2017)13-0102-06

引文格式:

陈梦音, 王琳琳, 韩玲, 等. 基于主成分和聚类分析的曲拉品质的综合评价[J]. 食品科学, 2017, 38(13): 102-107.

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201713017. <http://www.spkx.net.cn>

CHEN Mengyin, WANG Linlin, HAN Ling, et al. Comprehensive evaluation of the quality Qula, dried residue of naturally fermented skim yak milk, based on principal component analysis and cluster analysis[J]. Food Science, 2017, 38(13): 102-107.

(in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-201713017. <http://www.spkx.net.cn>

收稿日期: 2016-06-06

基金项目: 农业部公益性行业(农业)科研专项(201303085)

作者简介: 陈梦音(1992—), 女, 硕士研究生, 研究方向为乳制品加工。E-mail: cmy12611@126.com

*通信作者: 韩玲(1963—), 女, 教授, 博士, 研究方向为畜产品加工及贮藏。E-mail: hanl@gsau.edu.cn

曲拉是牧民将牦牛乳脱脂后,在自然条件下发酵使酪蛋白凝固、干燥后所制成的奶干渣^[1]。曲拉作为藏区牧民的休闲食品,富含酪蛋白、价格低廉、资源丰富,是生产干酪素和酪氨酸盐的原料之一,随着干酪素和酪氨酸盐及其衍生产品市场需求的不断扩大,曲拉的市场需求量也呈上升趋势。目前,全国曲拉总量约3万t,其中用于生产干酪素流通量约2万t,其余1万t为牧民留作食用^[2-3]。不同地区曲拉制作工艺及贮藏条件各不相同,导致曲拉样品品质存在较大差异^[4-5]。因此,筛选曲拉品质评价指标,对曲拉质量进行综合评价、提高曲拉质量的一致性、实现曲拉的深加工及提高牧民收入具有重要意义。

目前国内对曲拉的研究主要集中在其制作工艺及干酪素的生产加工工艺方面。国内学者余群力^[6]、韩玲^[7]和陈炼红^[8]等分别以曲拉为原料来精制工业干酪素、乳酸干酪素及食品级干酪素,并对其工艺参数进行优化,优化工艺后生产的干酪素均符合工业一级干酪素的要求。但因原料品质的不同而导致干酪素色泽的差异,迫切需要对其原料曲拉的品质做出客观评价与分析。丁考仁青等^[9]对不同地区曲拉品质进行了分析,研究发现不同地区曲拉均有各自的品质特征。当前对原料曲拉的研究虽然较多,但对曲拉的品质评价均缺乏系统性与一致性。目前,主成分分析已广泛应用于各类食品的质量评价,周妍等^[10]利用主成分分析对面条的品质进行评价;扶定^[11]、王玉胜^[12]等分别研究了基于主成分分析与聚类分析法对稻米的品质、不同等级烟叶的质量进行分析与评价,而运用主成分分析对曲拉品质评价指标进行筛选及利用聚类分析对曲拉样品分类及综合评价还鲜见报道。

本研究为使研究对象具有广泛的代表性,故以曲拉主产区8个省份(西藏、四川、甘肃、新疆、青海、云南、内蒙古、藏南)的95份曲拉样品为原料,分别对其营养成分(水分、蛋白质、脂肪、乳糖、灰分)、抗氧化指标(过氧化值(peroxide value, POV)、硫代巴比妥酸反应产物(thiobarbituric acid reactive substances, TBARS))值、色度值(L^* 值、 a^* 值、 b^* 值)及5-羟甲基糠醛(5-hydroxymethylfurfural, 5-HMF)含量进行测定与分析,以期对评价牧区牦牛曲拉品质、提高曲拉品质一致性提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

牦牛曲拉采自西藏、四川、甘肃、新疆、青海、云南、内蒙古、藏南等地,取牧民当天制成的脱水曲拉,真空包装后带回实验室,4℃条件下保藏用于指标测定。

硫代巴比妥酸(thiobarbituric acid, TBA) 上海科丰化学试剂有限公司; 5-HMF标准品 美国

Sigma公司; 三氯甲烷、冰乙酸、碘化钾、三氯乙酸、乙二醇四乙酸 天津市光复精细化工研究所; 1,1,3,3-四乙氧基丙烷(1,1,3,3-tetraethoxypropane, TEP) 上海圻明生物科技有限公司; 氯化钠、95%乙醇、硫酸、硼砂、乙酸镁、硼酸、甲基红指示剂、溴甲酚绿指示剂、亚甲基蓝指示剂、氢氧化钠、盐酸、石油醚、草酸、亚铁氰化钾、乙酸锌(均为分析纯) 北京北化精细化学品有限公司; 甲醇(色谱纯) 天津市博迪化工有限公司。

1.2 仪器与设备

J5-Plava-EL 50型奶油分离机 东宁银河贸易有限责任公司; CR-19型色差仪 上海物理光学仪器厂; DHG-9123A型电热恒温鼓风干燥箱 上海精宏试验设备有限公司; 2695高效液相色谱仪(配2489紫外检测器) 美国Waters公司; KDN-08C型凯氏定氮仪 上海昕瑞仪器仪表有限公司; SXT-02型索氏提取器 上海洪纪仪器设备有限公司; XKMF-2000A型马弗炉 河南鑫科分析仪器有限公司; SP-756P型紫外-可见分光光度计 上海光谱仪器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 营养成分的测定

水分含量测定: 参照GB 5009.3—2010《食品中水分的测定》; 蛋白质含量测定: 参照GB 5009.5—2010《食品中蛋白质的测定》; 脂肪含量测定: 参照GB/T 5009.6—2003《食品中脂肪的测定》; 乳糖含量测定: 参照GB 5413.5—2010《婴幼儿食品和乳品中乳糖、蔗糖的测定》; 灰分含量测定: 参照GB 5009.4—2010《食品中灰分的测定》。

1.3.2 抗氧化指标的测定

1.3.2.1 POV的测定

依据 GB/T 5009.37—2003《食用植物油卫生标准的分析方法》,按下式计算POV。

$$P = \frac{100 \times (V - V_0) \times c \times 0.1296 \times 78.8}{2 \times m}$$

式中: P 为试样的POV/(meq/kg); V 为用于测定的 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 溶液体积/mL; V_0 为用于空白的 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 溶液体积/mL; c 为 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 溶液的浓度/(mol/L); m 为试样的质量/g; 0.1296为与1.00 mL $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 标准滴定溶液相当的碘的质量/g; 78.8为换算因子。

1.3.2.2 TBARS值的测定

参考文献[13-14]中的方法。标准曲线的绘制: 分别取TEP应用液(相当于10 μg 丙二醛/mL) 0.0、0.2、0.4、0.6、0.8、1.0 mL,置于25 mL闭塞管内。加水至总体积5 mL,加入5 mL TBA溶液,与样品做同样处理。最后比色,以OD值为横坐标,以TEP溶液质量浓度为纵坐标绘制曲线。样品TBARS值的测定: 准确称取样品2 g,置于250 mL具塞三角瓶内,加入10 mL 7.5%的三氯乙酸溶液

(含0.1%乙二胺四乙酸), 振摇10 min, 用双层滤纸过滤, 重复用双层滤纸过滤一次。准确移取上述滤液5 mL置于25 mL比色管内, 加入5 mL TBA (0.02 mol/L), 混匀, 加塞, 置于90 °C水浴锅内, 保温40 min。取出了冷却1 h, 移入小试管内离心5 min (1 600 r/min)。上清液倒入25 mL比色管内, 加入5 mL氯仿, 摇匀, 精置, 分层, 吸出上清液分别在波长532 nm和600 nm比色 (同时做空白实验), 记录吸光度。按照标准曲线将TBA含量换算成丙二醛含量。

1.3.3 色度值的测定

参考文章[15]的方法, 将曲拉从真空袋中取出, 磨成粉末, 利用色度仪测定 L^* 值、 a^* 值及 b^* 值。

1.3.4 5-HMF含量的测定

参考文献[16-17], 每个样品重复3次, 取平均值。绘制标准曲线: 精密称取0.056 g 5-HMF标准品, 用双蒸水定容到200 mL, 配制成280 $\mu\text{g/mL}$ 的原液。精密吸取0.1、0.3、0.6 mL的标准品原液, 加入5 mL 0.15 mol/mL草酸、3 mL 40%三氯乙酸和10 mL 4%三氯乙酸, 定容到25 mL。加甲醇稀释至刻度, 摇匀, 用0.45 μm 微孔滤膜过滤, 分别精密吸取20 μL 进样, 测定峰面积。对各组分质量浓度与峰面积关系进行回归分析, 绘制标准曲线。样品的预处理: 向2 g固体样中添加0.15 mol/L草酸溶液15 mL, 混匀后在沸水中加热25 min。待混合物冷却至室温, 再加入3 mL 40%三氯乙酸, 充分振荡, 离心 (2 000 $\times g$ 、15 min), 收集上清液。向离心沉淀中加入10 mL 4%三氯乙酸, 混匀后离心 (2 000 $\times g$ 、15 min), 收集上清液。合并2次离心的上清液, 测定体积, 然后通过微滤膜 (0.45 μm), 所得滤液用进行检测。

1.4 数据统计分析

采用软件Excel 2007及SPSS 19.0对数据进行统计分析, 各指标间相关性分析采用Pearson双尾法。

2 结果与分析

2.1 不同地区曲拉品质指标的测定结果

色泽是反映曲拉品质的主要指标, 对下游生产有直接影响, 而导致色泽变化的原因是样品发生脂质氧化与美拉德反应^[18-19]。POV和TBARS值分别是脂质氧化的一级和二级产物, 二者值越小, 说明曲拉样品的脂质氧化程度越弱, 其抗氧化能力越高, 贮藏性能越好同时色泽较好^[20]。同理, 5-HMF含量是反映美拉德反应的重要指标, 其值越小表明曲拉样品发生非酶促褐变的程度越低, 曲拉样品的色泽越好^[21-22]。所以测定曲拉样品营养成分的同时又测定抗氧化、色泽等品质指标, 从中筛选出

影响曲拉样品品质的主要因素, 进而对曲拉样品进行科学、合理的分类。95份样品的各指标的分布情况见表1。

表1 曲拉各指标的分布
Table 1 Distribution of quality indicators of Qula

指标	范围	指标	范围
水分含量/%	5.38~12.79	TBARS值/(mg/kg)	0.49~3.52
蛋白质含量/%	64.75~82.89	L^* 值	77.33~93.54
脂肪含量/%	2.04~7.38	a^* 值	0.94~10.06
乳糖含量/%	5.09~10.96	b^* 值	7.57~29.88
POV/(meq/kg)	0.43~2.12	5-HMF含量/($\mu\text{g/mL}$)	1.03~10.01

由表1可知, 各项指标的分布范围均较广, 一是因为牦牛乳中营养成分含量随品种、饲养条件、地区海拔、季节变化以及草场类型而变化^[23], 所以不同地区牦牛乳制作的曲拉其乳糖、蛋白以及脂肪等含量存在差异。席斌等^[24]对不同地区的牦牛乳营养成分进行比较, 研究结果发现不同地区的乳脂肪与乳蛋白含量存在显著性差异, 且随海拔的升高而呈明显上升趋势, 但不同地区的乳糖含量却呈现不规律的变化。二是本研究的曲拉样品均采集自牧区, 由于牧区条件的限制, 所以曲拉生产条件无法达到统一标准, 且人为的主观影响因素较大。其干燥条件无法统一, 导致其水分含量分布范围广; 同时牧区曲拉的脱脂工艺落后也导致其脂肪含量分布不一, 因而导致曲拉在贮藏过程中发生不同程度的脂质氧化, 影响其色泽指标, 最终使得各地区的色泽指标分布也较为广泛。此测定结果与丁考仁青等^[9]的研究结果相一致。

2.2 Kaiser-Meyer-Olkin和巴特利特球形度检验结果

Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) 检验统计量主要应用于多元统计的主成分分析中。当KMO值越接近1, 意味着变量间的相关性越强, 原有变量越适合作主成分分析; 相反则不适合, 一般以0.6为界限。巴特利特 (Bartlett) 球形检验, 以变量的相关系数矩阵出发, 用于判断变量是否适合作主成分分析, 如果该值较大, 且其对应的相伴概率值小于用户心中的显著性水平, 即表明原始变量之间存在相关性, 适合于作主成分分析, 反之亦然。

经SPSS软件分析得到, KMO检验系数为0.911, 且巴特利特球形检验统计值的显著概率为0.000, 说明原始变量可以进行主成分分析。

2.3 曲拉品质指标的相关性分析

表2表明不同省份曲拉样品的11项品质指标之间均存在不同程度的相关性。其中, 水分含量与蛋白质含量存在极显著负相关 ($P<0.01$), 与 b^* 值存在显著正相关 ($P<0.05$), 与5-HMF含量存在极显著正相关 ($P<0.01$); 乳糖与5-HMF含量存在极显著负相关 ($P<0.01$); 蛋白质含量与灰分含量存在显著负相关 ($P<0.05$), 与POV存在显著正相关 ($P<0.05$), 与 a^* 值、 b^* 值以及5-HMF含量存在极显著负相关 ($P<0.01$);

表2 品质指标之间的相关系数
Table 2 Correlation coefficients among quality indexes

参数	水分含量	乳糖含量	蛋白质含量	脂肪含量	灰分含量	TBARS值	POV	L*值	a*值	b*值	5-HMF含量
水分含量	1										
乳糖含量	0.178	1									
蛋白质含量	-0.781**	-0.191	1								
脂肪含量	0.676	0.053	-0.902	1							
灰分含量	0.636	-0.125	-0.826*	0.867	1						
TBARS值	0.455	-0.329	-0.672	0.731**	0.802	1					
POV	-0.376	-0.303	0.731*	-0.726**	-0.618	-0.455	1				
L*值	-0.602	0.102	0.862	-0.898	-0.894	-0.852**	0.712	1			
a*值	0.495	-0.192	-0.807**	0.873*	0.885	0.868**	-0.728**	-0.957**	1		
b*值	0.644*	-0.149	-0.888**	0.910*	0.918	0.870**	-0.677**	-0.967**	0.963**	1	
5-HMF含量	0.364**	-0.243**	-0.701**	0.795	0.831	0.882	-0.668	-0.917**	0.967**	0.916**	1

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

脂肪含量与TBARS值、POV存在极显著相关性 ($P < 0.01$), 与a*值、b*值存在显著正相关性 ($P < 0.05$); TBARS值与3个色差值间存在极显著相关性 ($P < 0.01$); POV与a*值和b*值存在极显著负相关性 ($P < 0.01$); L*值分别与a*值、b*值和5-HMF含量存在极显著负相关性 ($P < 0.01$); a*值、b*值和5-HMF含量间存在极显著正相关性 ($P < 0.01$), 此研究结果与Toker等^[25]研究报道的结果相一致。以上测定的11项品质指标间均存在不同程度的相关性, 说明指标间存在着信息重叠, 因此不能作为准确评价曲拉品质的主要影响因素。

2.4 曲拉品质指标的主成分分析

2.4.1 主成分的提取

本研究采用主成分分析对曲拉的11项品质指标进行分析, 根据特征根大于1, 累积贡献率大于85%的标准共提取到2个主成分因子, 结果见表3。

表3 特征值与累积贡献率 Table 3 Eigenvalues and cumulative contribution			
主成分因子	特征根	方差贡献率/%	累积贡献率/%
PC1	8.013	72.846	86.608
PC2	1.514	13.763	

如表3所示, PC1方差贡献率为72.846%, PC2方差贡献率为13.763%, 2个主成分的累积贡献率高达86.608%, 说明运用这2个主成分能够解释原有变量85%以上的信息。洗燕萍等^[26]运用主成分分析方法, 以特征值大于1为依据, 从15个指标中筛选出5个公因子(累积贡献率为84.34%)描述鱼翅的品质, 研究结果表明, 5个公因子品质指标可有效地将真、假鱼翅区分。

2.4.2 因子载荷矩阵

因子载荷的大小能够表示原有变量在降维后, 在构成的综合变量中的贡献率大小, 因此, 可以通过因子载荷矩阵来确定与主成分密切相关的主要原变量, 不同地区曲拉品质指标的前2个主成分的因子载荷矩阵见表4。

表4 因子载荷矩阵
Table 4 Factor loading matrix

主成分因子	水分含量	乳糖含量	蛋白质含量	脂肪含量	灰分含量	TBARS值	POV	L*值	a*值	b*值	5-HMF含量
PC1	0.614	-0.173	-0.869	0.917	0.903	0.896	-0.699	-0.976	0.978	0.989	0.938
PC2	0.453	0.925	-0.415	0.254	0.050	-0.185	-0.124	-0.056	-0.052	0.032	-0.166

由表4可知, PC1(72.846%)主要综合了L*值、a*值、b*值以及5-HMF含量4个变量的变异信息, 它们在PC1上的因子载荷值均在0.9以上, 主要表征样品的外观色泽, 故将PC1定义为外观色泽因子; PC2(13.763%)主要综合了水分、乳糖、蛋白、脂肪含量4个变量的变异信息, 4个因子在PC2上的因子载荷值均在0.2以上, 主要表征了样品的营养水平, 故将PC2定义为营养品质因子。

2.4.3 曲拉样品主成分得分图

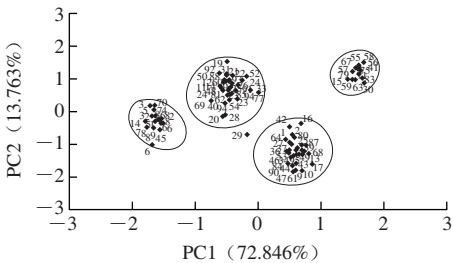


图1 95份样品分布图

Fig. 1 Score plot of the first and second principal components for the 95 Qula samples

将主成分PC1与PC2作为X轴与Y轴, 在二维坐标系内得到主成分因子得分图, 既样品分布图, 结果由图1可知, 95份曲拉样品被分为独立的4类。图中从左至右依次命名为I类、II类、III类和IV类曲拉, 其中I类包括15份曲拉样品, II类包括36份曲拉样品, III类包括30份曲拉样品, IV类包括14份曲拉样品。图中样品分布比较分散, 在一定程度上反映了95份曲拉样品的品质存在差异, 尤其是外观色泽因子(PC1)。其中29号曲拉样品由于位置特殊即可属于II类曲拉, 也可属于III类曲拉, 原

因可能是其外观色泽以及营养品质居于两者之间, 其余94份曲拉样品均可以很好地得到分类, 说明利用主成分分析筛选的外观色泽因子和营养品质因子可以将95份曲拉样品进行分类。Chawla等^[27]研究报道运用主成分分析评价印度乳饼的感官特性, 根据其筛选的主成分绘制的样品分布图中, 4个城市的样品分布比较分散, 说明4个城市的乳饼样品的感官特性具有差异性。

2.5 曲拉样品的聚类分析

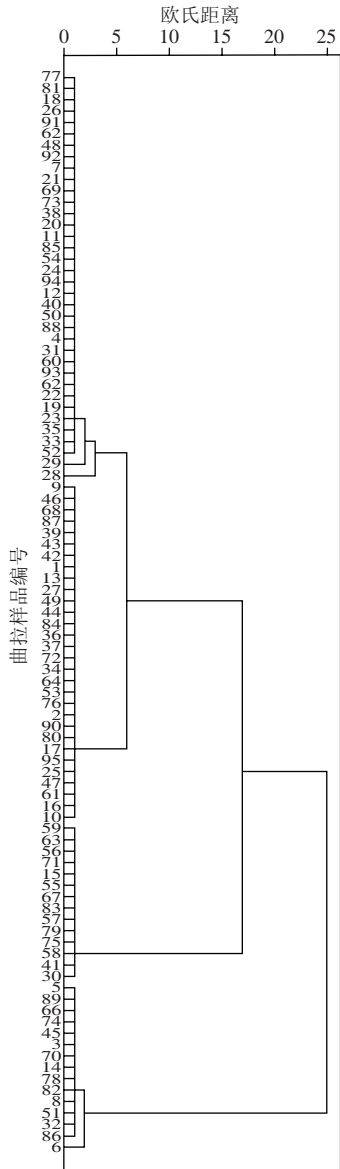


图2 95份曲拉样品的系统聚类图

Fig. 2 Dendrogram of cluster analysis for the 95 Qula samples

通过主成分分析的结果, 根据品质指标的主成分值, 采用科学合理的方法对上述95份曲拉样品进行分类, 以期达到客观、公正、综合地评价曲拉品质。聚类分析是一种无管理模式的识别方法, 所得结果在一定程度上取决于聚类距离。将95份曲拉样品的11个品质指

标进行聚类分析, 根据欧氏距离, 系统聚类可较客观地根据差异性与相似性特点对样品进行分类, 具体分类结果见图2。在欧氏距离为5时, 可将95份曲拉样品分为4类。第1类包括36份曲拉样品, 占总体的37.89%左右; 第2类包括30份曲拉样品, 占总体的31.58%左右; 第3类包括14份曲拉样品, 占总体的14.74%左右, 第4类包括15份曲拉样品, 占总体的15.79%左右。此分类结果与主成分分析分类结果基本一致。当欧氏距离为10~15时, 95份曲拉分为3类, 第1类包括66份曲拉样品, 占总体的69.47%, 第2类包括14份曲拉样品, 占总体的14.74%, 第3类包括15份曲拉样品, 占总体的15.79%。杨生保等^[28]利用聚类分析方法将77份番茄样品分为3大类群, 其分类结果表明3类群的番茄均有差异性及其各自的品种独特性, 孙彩玲等^[29]利用聚类分析中R型聚类将评价小麦品质的10个品质指标分为3类。其分类结果与主成分分析法提取的主成分结果相一致。此研究结果说明利用聚类分析也可将品质指标进行分类。

2.6 曲拉样品品质指标的方差分析

表5 各类曲拉样品品质指标方差分析
Table 5 Analysis of variance of quality factors for the groups of Qula classified by cluster analysis

类别	样品数量	水分含量/%	乳糖含量/%	蛋白质含量/%	脂肪含量/%	灰分含量/%	TBARS值/(mg/kg)	POV/(meq/kg)	L*值	a*值	b*值	5-HMF含量/(μg/mL)
1	36	7.17±0.31 ^a	7.45±0.41 ^a	76.16±1.38 ^a	3.62±0.40 ^a	5.12±0.41 ^a	1.77±0.04 ^a	1.74±0.13 ^a	86.80±1.00 ^a	3.36±0.29 ^a	17.07±0.42 ^a	2.87±0.28 ^a
2	30	8.65±0.35 ^b	8.66±0.45 ^b	73.50±0.52 ^b	4.96±0.39 ^b	5.85±0.37 ^b	1.87±0.25 ^b	0.83±0.06 ^b	83.07±1.47 ^b	4.94±0.20 ^b	21.65±0.48 ^b	3.88±0.27 ^b
3	14	7.85±0.32 ^a	7.29±0.14 ^a	73.19±0.36 ^b	5.42±0.29 ^b	6.63±0.27 ^b	3.03±0.27 ^b	0.60±0.02 ^b	78.74±0.46 ^b	7.99±0.34 ^b	27.59±0.72 ^b	7.52±0.32 ^b
4	15	6.64±0.23 ^a	8.38±0.27 ^b	78.40±1.57 ^b	2.57±0.10 ^a	3.87±0.16 ^a	0.64±0.02 ^b	1.48±0.27 ^b	91.17±1.16 ^b	1.48±0.25 ^b	9.37±0.27 ^b	1.43±0.22 ^a

注: 同列肩标小写字母不同表示差异极显著 ($P < 0.01$)。

运用聚类分析将95份曲拉样品分为4大类, 现将各类的品质指标间差异性及独特性进行方差分析。其分析结果由表5可知, 各类品质指标间的水分含量、脂肪含量、POV、L*值、a*值、b*值以及5-HMF含量均存在极显著性差异 ($P < 0.01$), 此结果与主成分分析结果相一致。第1类曲拉样品与第2类相比, 除TBARS值外, 其他10项品质指标均存在极显著性差异 ($P < 0.01$)。第1类与第3类相比, 除乳糖含量外, 其他品质指标均存在极显著性差异 ($P < 0.01$)。第1类与第4类样品相比, 各项品质指标均存在极显著性差异 ($P < 0.01$)。第2类与第3类曲拉样品相比, 除蛋白质含量外, 其他各项指标均存在极显著性差异 ($P < 0.01$)。第2类与第4类相比, 除乳糖含量外, 其他10项指标均存在极显著性差异 ($P < 0.01$)。第3类与第4类样品相比, 11项品质指标均存在极显著性差异 ($P < 0.01$)。综上可知, 第3类样品的水分含量较高、蛋白质含量最低、脂肪含量最高、TBARS值最高、L*值最小、a*和b*值最大以及5-HMF含量最高, 由此得到第3类曲拉样品品质最差;

第4类样品的水分含量和脂肪含量最低、蛋白质含量最高、TBARS值最低、POV较高、 L^* 值最大、 a^* 和 b^* 值最小以及5-HMF含量最低,由此得到第4类曲拉样品品质最佳,第1类与第2类曲拉样品的品质居于4类间的中等水平。4类曲拉样品的品质间存在差异,其结果与聚类分析结果相一致。此结果与刘青^[30]的研究结果相一致。方差分析结果同时得到,第1和第2类曲拉样品占总体的69.47%左右,各项品质指标整体良好。第3类样品约占总体的14.74%,其水分含量较高、脂肪等含量高,蛋白质含量低,导致其营养品质差;其抗氧化指标高, L^* 值小, a^* 值和 b^* 值大以及5-HMF含量高,导致其外观色泽不佳,第3类样品整体品质指标整体合格,第4类样品约占总体的15.79%,其水分、脂肪等含量低,蛋白质含量高,营养品质指标整体优良;其抗氧化指标含量较低, L^* 值大, a^* 值和 b^* 值小以及5-HMF含量低,外观色泽优良,第4类样品整体品质指标最佳。欧氏距离为10~15时,第1和第2类曲拉样品分为同一类,即第1类,占总体的69.47%。由于第1类与第2类样品虽在外观色泽上存在差异,但其营养品质差异不大,因此对于不同的欧氏距离,既可以分为两类,也可分为同一类。

3 结 论

对8个地区95份曲拉样品的11项品质指标进行KMO检验和巴特利特球形度检验,结果表明原始数据符合检验标准,可进行主成分分析,同时对11项品质指标进行相关性分析,表明曲拉的营养成分、抗氧化指标、色度值及5-HMF含量之间均存在不同程度的相关性。

运用主成分分析可将曲拉的11项品质指标转化为2个独立的主成分,累积贡献率高达86.608%,其中PC1贡献率为72.846%, L^* 值、 a^* 值、 b^* 值以及5-HMF含量在PC1上的因子载荷均在0.9以上,因此定义为外观色泽因子;PC2贡献率为13.763%,水分含量、乳糖含量、蛋白质含量、脂肪含量在PC2上的因子载荷均在0.2以上,定义PC2为营养因子。利用PC1和PC2的样品得分绘制样品分布图,结果表明,95份样品可以很好地划分为4类,此分类结果说明4类曲拉间的外观色泽以及营养成分均存在差异。

运用聚类分析对95份曲拉样品进行系统聚类。结果表明欧氏距离为5时,95份样品被分为4类,此分类结果与主成分分析分类结果相一致。对同时,4类样品的外观色泽及脂肪含量均存在极显著差异($P<0.01$)。当欧氏距离为10时,95份曲拉样品分为3类,3类样品的外观色泽及营养品质均存在极显著差异($P<0.01$)。

参考文献:

[1] 林亚秋,郑玉才,邝良德,等.牦牛奶渣营养成分分析[J].食品科技,2009,34(7): 82-84. DOI:10.13684/j.cnki.spkj.2009.07.022.

- [2] 王永宁,魏永生.精制干酪素的脱色(中试)研究[J].青海师范大学学报(自然科学版),1997(4): 30-31. DOI:10.16229/j.cnki.issn1001-7542.1997.04.007.
- [3] 王琳琳,王军,韩玲,等.牧区牦牛“曲拉”优质发酵剂的研究[J].食品工业科技,2014,35(12): 152-156. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2014.12.024.
- [4] 王军,王琳琳,韩玲,等.曲拉热风干燥工艺参数筛选及色泽品质评价[J].农业工程学报,2014,30(16): 296-304. DOI:10.3969/j.issn.1002-6819.2014.16.038.
- [5] 韩爽,王军,韩玲,等.不同包装方式对曲拉贮藏过程中品质变化的影响[J].食品工业科技,2014,35(23): 329-332. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2014.23.061.
- [6] 余群力,甘伯中,敏文祥,等.牦牛“曲拉”精制干酪素工艺研究[J].农业工程学报,2005,21(7): 140-144.
- [7] 韩玲,许敬东,张福娟,等.牦牛“曲拉”乳酸干酪素生产工艺研究[J].中国乳品工业,2006,34(2): 36-39.
- [8] 陈炼红,刘鲁蜀,邱向,等.食品级曲拉干酪素工艺条件优化研究[J].中国乳品工业,2008,36(2): 24-29.
- [9] 丁考仁青,王琳琳,韩玲,等.不同地区牦牛曲拉的品质分析[J].食品工业科技,2015,36(1): 105-109. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2015.01.014.
- [10] 周妍,孔晓玲,陈焱焱,等.基于主成分分析的面条品质评价[J].中国粮油学报,2008,23(6): 46-50.
- [11] 扶定,王青林,赵万兵,等.基于主成分分析的稻米品质评价及聚类分析[J].湖北农业科学,2013,52(15): 3488-3491. DOI:10.14088/j.cnki.issn0439-8114.2013.15.057.
- [12] 王玉胜,左安建,梁荣,等.工业等级烟叶质量的主成分分析和聚类分析评价[J].西南农业学报,2014,27(4): 9518-9519. DOI:10.16213/j.cnki.scjas.2014.04.037.
- [13] KRKIĆ N, ŠOJIĆ B, LAZIĆ V, et al. Lipid oxidative changes in chitosan-oregano coated traditional dry fermented sausage Petrovská klobása[J]. Meat Science, 2013, 93(3): 767-770. DOI:10.1016/j.meatsci.2012.11.043.
- [14] ELMORE J S, CAMPO M, ENSER M, et al. The effect of lipid composition on meat-like model systems containing cysteine, ribose and polyunsaturated fatty acids[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2002, 50(5): 1126-1132.
- [15] 于淼.曲拉精制干酪素褐变因素及工艺优化研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2008: 15-16.
- [16] 王军.牦牛曲拉传统制作工艺改进[D].兰州:甘肃农业大学,2015: 14-15.
- [17] MORALES F J, ARNOLDI A. Analysis of galactosylisomaltol in milk systems using HPLC[J]. Food Chemistry, 2013, 67(2): 185-191.
- [18] 武悦.曲拉传统制备工艺的优化研究及应用[D].兰州:甘肃农业大学,2016: 7-8.
- [19] 王琳琳,韩玲,韩爽,等.源于不同原料乳曲拉的品质分析[J].食品工业科技,2015,36(19): 128-132. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2015.19.018.
- [20] CAKMAKCI S, CETIN B, TURGUT T, et al. Probiotic properties, sensory qualities and storage stability of probiotic banana yogurts[J]. Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences, 2012, 36(3): 231-237.
- [21] 李文,许国庆,张雪梅,等. HPLC法测定牛乳中5-羟甲基糠醛的含量[J].食品工业科技,2004,25(5): 131-133.
- [22] 武悦,韩玲,纪银莉,等.改善牦牛曲拉精制干酪素色泽品质的研究[J].食品工业科技,2016,37(9): 106-111. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2016.09.013.
- [23] 李万财,尚海忠,李俊花,等.天峻地区牦牛乳中微生物含量的测定[J].中国动物检疫,2002,19(3): 36-37.
- [24] 席斌,李维红,高雅琴.不同地区牦牛乳营养成分比较研究[J].安徽农业科学,2011,39(2): 1045-1046. DOI:10.13989/j.cnki.0517-6611.2011.02.151.
- [25] TOKER O S, DOĞAN M, ERSÖZ N B, et al. Optimization of the content of 5-hydroxymethylfurfural (HMF) formed in some molasses types: HPLC-DAD analysis to determine effect of different storage time and temperature levels[J]. Industrial Crops and Products, 2013, 50(10): 137-144.
- [26] 洗燕萍,董浩,罗东辉,等.基于主成份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. DOI:10.13982/j.mfst.1673-9078.2016.1.033.
- [27] CHAWLA R, PATIL G R, SINGH A K. Sensory characterization of *doda burfi* (Indian milk cake) using Principal Component Analysis[J]. Journal of Food Science and Technology, 2014, 51(3): 558-564. DOI:10.1007/s13197-011-0524-8.
- [28] 杨生保,杨涛,李宁,等.番茄ILs果实性状的主成分分析与聚类分析[J].植物遗传资源学报,2015,16(4): 907-913. DOI:10.13430/j.cnki.jpgr.2015.04.033.
- [29] 孙彩玲,曲辉英,吕建华,等.基于主成分和聚类分析的山东省区试小麦品种(系)品质的综合评价[J].山东农业大学学报(自然科学版),2014(4): 545-551. DOI:10.3969/j.issn.1000-2324.2014.04.012.
- [30] 刘青.牦牛曲拉干酪素工艺参数研究[J].青海师范大学学报(自然科学版),2008(3): 68-70. DOI:10.16229/j.cnki.issn1001-7542.2008.03.009.