

基于主成分和聚类分析的牦牛部位肉品质评价

李升升^{1,2,3}, 靳义超^{*1,2}

(1. 青海大学 畜牧兽医科学院, 青海 西宁 810016; 2. 青海省畜牧兽医科学院, 青海 西宁 810016; 3. 甘肃农业大学 食品科学与工程学院, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 为了探讨牦牛不同部位肉的品质差异, 测定了牦牛 17 个部位肉的 L^* 值、 a^* 值、 b^* 值、失水率、蒸煮损失和剪切力 6 项品质指标, 通过方差分析、主成分分析和聚类分析研究其品质差异。结果表明, 牦牛部位肉 6 项品质指标均存在显著性差异 ($P < 0.01$); 主成分分析提取出 3 个主成分因子 PC_1 (35.11%)、 PC_2 (25.13%)、 PC_3 (16.63%), 可明显区分里脊、辣椒条、前腱、牛腿、眼肉与其它肉块; 聚类分析将 17 个部位肉分为前部胴体和后部胴体 2 大类, 各类别间的差异与牦牛部位肉的持水能力和剪切力密切相关。由此得出, 牦牛不同部位肉品质差异显著, 且牦牛后部胴体肉在品质上优于前部胴体。

关键词: 主成分分析; 聚类分析; 牦牛肉; 肉品质

中图分类号: TS 251.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673—1689(2018)02—0159—06

Evaluation of Different Cuts of the Yak Meats Based on Principal Component and Hierarchical Cluster Analysis

LI Shengsheng^{1,2,3}, JIN Yichao^{*1,2}

(1. Academy of Animal and Veterinary Sciences, Qinghai University, Xining 810016, China; 2. Qinghai Academy of Animal and Veterinary Sciences, Xining 810016, China; 3. College of Food Science and Engineering, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: In order to investigate the quality characteristics of different cuts of yak meat, the L^* value, a^* value, b^* value, press loss, cooking loss, shearing force were determined, and the distribution of quality traits of yak meat among different cuts was analyzed using by analysis of variance, principal component analysis and hierarchical cluster analysis. There were significant differences in quality traits among various cuts ($P < 0.01$). Three principal component factors could be exacted with PC_1 of 35.11%, PC_2 of 25.13% and PC_3 of 16.63% through principal component analysis. It could distinguish cuts of tenderloin, chuck tender, foreshin, hindshin, ribeye. Hierarchical cluster analysis classified 17 varieties into two main groups on the basis of the measured parameters, this closely related to the water holding capacity and tenderness. The result showed that there were

收稿日期: 2015-09-18

基金项目: 农业部公益性行业(农业)科研专项(201303083); 国家级星火计划项目(2013GA870001)。

作者简介: 李升升(1984—), 男, 山西临汾人, 农学博士, 助理研究员, 主要从事食品科学方面的研究。E-mail: lishsh123@163.com

* 通信作者: 靳义超(1958—), 男, 河南南阳人, 农学硕士, 研究员, 主要从事畜产品加工技术研究。E-mail: jinyichao88@163.com

引用本文: 李升升, 靳义超. 基于主成分和聚类分析的牦牛部位肉品质评价[J]. 食品与生物技术学报, 2018, 37(2): 159-164.

significant differences in quality traits among various cuts and the yak meat quality from the rear part of the body better than the front part.

Keywords: principal component analysis, hierarchical cluster analysis, yak meat, meat quality

牦牛是主产于青藏高原海拔 3 000 m 以上,适应高寒生态条件的物种。目前,世界范围内拥有牦牛 1 500 多万头,其中中国就拥有 1 400 多万头,占世界牦牛数量的 90%以上,可见中国是牦牛生产大国^[1]。牦牛生长于“世界第三极”的高海拔、无污染地区,因此牦牛肉是天然绿色食品,而且牦牛肉具有肉质鲜美、高蛋白、低脂肪的特点,使得牦牛肉极具开发价值^[2]。然而,当前牦牛肉的销售还是以按重量销售为主,没有实现按质论价,因此牦牛肉的品质评价及精细化分割对牦牛产业的提质增效具有很大的促进作用^[3-5]。

目前,对于西门塔尔牛、秦川杂交牛、云南地方牛、黄牛等牛种的部位肉品质进行了研究^[6-8],且我国制定了适用于肉牛屠宰加工企业的牛胴体及鲜肉分割国家推荐标准 GB/T27643-2011 和适用于我国黄牛和专用肉牛及其杂交后代的牛肉质量分级标准农业行业标准 NY/T676-2003。这些标准主要适用于肉牛,然而牦牛是集肉、乳、役用为一体的牛种,且生存环境特殊,为此这些标准是否适用于牦牛的分割分级,有待于进一步验证和探讨。主成分分析和聚类分析是研究者对多样品多指标的品质分析广泛采用的方法。主成分分析^[9-10]是采用少量综合指标来代替原来多个指标大部分信息的一种降维的分析方法,剔除不重要的部分,保留重要信息;聚类分析^[11-13]是将研究对象关系更接近的合并为一类,能够从样品数据出发,自动进行分类,着重区分类别内和类别间元素组成,明确分类界限,类别间重要性是等同的。

为此,本文作者结合当前牦牛屠宰分割企业普遍采用的分割方法,以牦牛各部位分割肉的肉色、失水率、蒸煮损失、剪切力等食用品质为基础,通过方差分析、主成分分析和聚类分析对牦牛部位肉进行品质分析,以期对牦牛肉的品质评价和精细分割提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

选取相同放牧条件下 4~5 岁的青海环湖地区牦牛 15 头进行研究,平均活体质量(240.04 ± 17.88) kg,胴体质量为(140.39 ± 19.07) kg,宰后 2 h 内采集肉样。

1.2 仪器与设备

ADCI-60-C 全自动测色色差计,北京辰泰克仪器技术有限公司产品;C-LM3B 数显式肌肉嫩度仪,东北农业大学工程学院提供;HI98128 型酸度计,意大利哈纳仪器产品;HH-6 电热恒温水浴锅,上海比朗仪器有限公司产品;TP-3001 中心温度计,苏州市沧浪区泰式电子经营部产品;JM-B3003 电子称,诸暨市超泽衡器设备有限公司产品;ATZ-8 型台秤,华鹰衡器有限公司产品。

1.3 试验设计

宰前禁食 12 h,按清真屠宰方式宰杀,每头牦牛经宰杀放血,去头、蹄、内脏,剥皮,劈分的流程进行屠宰处理。参照 GB/T27643-2001、NY/T676-2003 和青海企业普遍采用的胴体分割方法进行分割,采集板腱、前腱、牛蹶、霖肉、脖肉、针扒、黄瓜条、眼肉、西冷、上脑、里脊、三角肌、烩扒、辣椒条、金钱腱、尾龙扒、牛腩 17 个部位的分割肉,真空包装后在 4 ℃条件下储藏 2 d,测定肉色、失水率、蒸煮损失、剪切力等品质指标。

1.4 肉色

从肉样上切取 0.5 cm 厚的薄片,在空气中暴露 30 min,在切面上选取 3 个点,用色差计测定肉色,结果以 L^* (亮度)、 a^* (红色度)、 b^* (黄色度)来表示,取 3 次测定结果的平均值。

1.5 蒸煮损失

通过质量法测定蒸煮损失,取肉样 100 g 左右,装入蒸煮袋中在 80 ℃水浴中熟制,直至其中心温度达到 70 ℃,取出肉样,擦干表面水分,根据熟制前后肉块的质量计算蒸煮损失。

1.6 失水率

通过加压质量法测定失水率,切取长×宽×高为2.0 cm×1.5 cm×1.0 cm的肉块,在高度方向上施加 1.14×10^6 Pa的压强,维持压力5 min,然后释放压力,根据加压前后肉块质量计算失水率。

1.7 剪切力

将蒸煮后的肉样,沿肌纤维方向用直径1.27 cm采样器平行取3个肉柱,然后用肌肉嫩度仪测定肉样的剪切力值,每个样品3个平行,结果取平均值。

1.8 统计分析

采用SPSS19.0进行方差分析、主成分分析和聚

类分析。

2 结果与分析

2.1 方差分析

牦牛17个部位肉品质特征如表1所示,对牦牛17个部位肉的颜色、持水能力、剪切力指标采用S-N-K法进行多重比较,结果表明各指标均达到极显著差异($p<0.01$)。从 L^* 值和剪切力的角度看各部位肉可分为7个组;从失水率来看可分为4个组;从 b^* 值来看可分为3个组;从 a^* 值和蒸煮损失来看可分为2个组。

表1 牦牛各部位肉品质特性

Table 1 Quality traits of cuts from yak carcass

部位	指标					
	L^* 值	a^* 值	b^* 值	失水率/%	蒸煮损失/%	剪切力/N
板腱	28.84±0.40 ^A	24.91±2.36 ^B	11.59±1.32 ^{ABC}	24.88±1.73 ^{AB}	23.63±2.53 ^{AB}	7.14±1.27 ^{CDEF}
前腱	30.13±0.74 ^{ABC}	18.77±2.92 ^{AB}	10.33±1.23 ^{ABC}	25.92±2.52 ^{ABC}	23.21±4.13 ^{AB}	8.13±1.19 ^{BCFG}
牛蹶	30.37±0.46 ^{ABCD}	17.75±0.62 ^A	11.07±1.39 ^{ABC}	23.74±1.84 ^A	22.56±4.10 ^A	5.40±0.71 ^{ABCD}
霖肉	29.71±0.91 ^{AB}	18.70±4.58 ^{AB}	10.66±1.66 ^{ABC}	30.18±1.14 ^{CD}	31.29±1.11 ^{AB}	5.51±1.38 ^{ABCD}
脖肉	33.18±0.55 ^E	19.94±1.48 ^{AB}	12.52±0.09 ^{BC}	25.36±1.49 ^{AB}	25.51±3.78 ^{AB}	7.04±0.82 ^{CDEF}
针扒	30.61±0.32 ^{BCD}	20.44±1.86 ^{AB}	10.69±1.45 ^{ABC}	28.66±2.28 ^{BCD}	27.92±1.53 ^{AB}	6.74±0.41 ^{BCDE}
黄瓜条	36.79±0.91 ^F	24.48±1.32 ^B	13.29±1.89 ^{BC}	31.76±1.39 ^D	28.50±2.76 ^{AB}	4.76±0.40 ^{AB}
眼肉	30.40±1.24 ^{ABCD}	17.88±1.94 ^A	9.13±0.93 ^{AB}	24.91±1.47 ^{AB}	27.17±4.50 ^{AB}	8.93±2.53 ^{FG}
西冷	30.53±0.54 ^{BCD}	17.83±2.86 ^A	13.99±0.35 ^C	29.89±1.78 ^{CD}	29.60±2.29 ^{AB}	9.24±2.44 ^G
上脑	32.91±0.98 ^E	21.49±2.03 ^{AB}	11.40±1.84 ^{ABC}	31.77±1.94 ^D	30.42±3.16 ^{AB}	7.58±2.98 ^{DEFG}
里脊	30.65±0.42 ^{BCD}	21.23±2.54 ^{AB}	11.95±1.73 ^{ABC}	33.23±2.19 ^D	32.77±2.81 ^B	3.78±0.22 ^A
三角肌	31.32±0.20 ^{BCD}	17.32±1.79 ^A	12.51±1.00 ^{BC}	30.18±1.56 ^{CD}	28.21±2.54 ^{AB}	4.69±0.57 ^{AB}
烩扒	31.76±0.27 ^{CDE}	20.98±0.72 ^{AB}	9.98±1.16 ^{ABC}	30.62±1.66 ^D	29.76±4.03 ^{AB}	6.41±1.48 ^{BCDE}
辣椒条	32.08±0.28 ^{DE}	23.73±1.39 ^{AB}	8.02±2.27 ^A	32.89±0.37 ^D	30.68±4.07 ^{AB}	5.66±1.76 ^{ABCD}
金钱腱	33.16±0.12 ^E	21.46±3.41 ^{AB}	11.25±0.54 ^{ABC}	28.32±1.05 ^{BCD}	22.08±2.72 ^A	5.18±0.66 ^{ABC}
尾龙扒	31.25±0.74 ^{BCD}	20.62±0.52 ^{AB}	13.20±1.63 ^{BC}	31.23±1.64 ^D	26.45±3.13 ^{AB}	4.05±2.05 ^A
牛腩	40.42±1.06 ^G	21.07±0.84 ^{AB}	13.18±1.75 ^{BC}	24.52±2.61 ^{AB}	25.26±3.39 ^{AB}	7.32±0.52 ^{CDEFG}
p 值	<0.001	0.002	0.001	<0.001	0.003	<0.001
显著性	**	**	**	**	**	**

注:“**”差异极显著($p<0.01$);“*”差异显著($p<0.05$)。

2.2 主成分分析

主成分分析是将多指标简化为少量综合指标的一种统计分析方法,用少数变量尽可能多的反映原来变量的信息,同时保证原信息损失少且变量数目尽可能少的分析方法。按照如下方法建立评估模型,设 $X=(X_1, X_2, \dots, X_p)'$ 是 p 维随机变量,它的线性变化如下:

$$PC_1 = a_{11}X_1 + a_{21}X_2 + \dots + a_{p1}X_p$$

$$PC_2 = a_{12}X_1 + a_{22}X_2 + \dots + a_{p2}X_p$$

.....

$$PC_p = a_{1p}X_1 + a_{2p}X_2 + \dots + a_{pp}X_p$$

采用新变量 PC_1 代替原来 p 个变量 $X_1, X_2, \dots, X_p$, PC_1 应尽可能多的反映原变量信息,如果第一主成分不足以代表原变量的绝大部分信息,考虑引入第二主成分 PC_2 ,依次类推。在实际应用中主成分不会取 p 个,通常 $m(m<p)$ 个主成分。主成分个数根据

各个主成分累计方差贡献率来最终判定。

本研究中对牦牛 17 个部位肉的 6 项品质指标进行主成分分析,结果见表 2。从表中可见在本试验中的第一主成分方差贡献率仅为 35.11%,不足以概括大部分信息,所以不能只提取第一主成分。参考国内外学者的分析方法^[4]选择累积方差贡献率不低于某一阈值来确定主成分数目,本试验考察特征值 $\lambda \geq 1$ 的主成分,提取 3 个主成分因子其累计贡献率达 76.87%,综合了牦牛部位肉的大部分信息。

表 2 主成分分析解释总变量

Table 2 Total variance explained of principal component analysis

主成分因子	特征值	贡献率	累计贡献率
PC ₁	2.11	35.11	35.11
PC ₂	1.51	25.13	60.24
PC ₃	1.00	16.63	76.87
PC ₄	0.82	13.58	90.45
PC ₅	0.45	7.54	97.99
PC ₆	0.12	2.01	100.00

主成分的载荷矩阵旋转之后载荷系数更接近 1 或者更接近 0,这样得到的主成分能够更好的解释和命名变量。由表 3 可知主成分 PC₁、PC₂ 和 PC₃ 的模型表达式为:

$$PC_1 = 0.04X_1 + 0.21X_2 + 0.014X_3 + 0.448X_4 + 0.37X_5 - 0.301X_6$$

$$PC_2 = 0.552X_1 + 0.282X_2 + 0.447X_3 - 0.097X_4 - 0.229X_5 - 0.135X_6$$

$$PC_3 = -0.029X_1 - 0.706X_2 + 0.649X_3 + 0.121X_4 + 0.258X_5 + 0.029X_6$$

表 3 主成分分析旋转后的成分载荷矩阵

Table 3 Rotated component matrix of principal component analysis

项目	主成分因子载荷		
	PC ₁	PC ₂	PC ₃
L* 值	0.083	0.832	-0.029
a* 值	0.443	0.425	-0.704
b* 值	0.029	0.673	0.647
失水率	0.945	-0.146	0.120
蒸煮损失	0.779	-0.345	0.258
剪切力	-0.635	-0.204	0.029

第一主成分 PC₁ 主要综合了失水率、蒸煮损失和剪切力的信息,其中失水率和蒸煮损失反映牦牛肉持水性的指标在第一主成分上呈正向分布,剪切

力呈负向分布,即在 PC₁ 坐标正向,PC₁ 越大,牦牛肉的失水率和蒸煮损失越大,剪切力越小,PC₁ 可命名为适口性指标。第二主成分 PC₂ 主要综合了 L* 值和 b* 值的信息,L* 值代表了亮暗,L* 值为正向指标,即在 PC₂ 正向坐标上值越大,L* 值越大,牦牛肉色越亮,PC₂ 可命名为亮度指标。第三主成分 PC₃ 主要综合了 a* 值,a* 值代表了红绿颜色,a* 值为负向指标,即在 PC₃ 负向坐标上值越大,a* 值越大,牦牛肉颜色越红,PC₃ 可命名为红度指标。PC₂ 和 PC₃ 也可综合称为色度指标。

本研究第一主成分 PC₁、第二主成分 PC₂ 分别包含了原来信息量的 35.11% 和 25.13%。研究者普遍采用 PCA 得分图反映样品与指标间的关系,由图 1 能够直观的看出里脊的 PC₁ 得分为 -0.18,其他部位肉的 PC₁ 得分范围在 0.07~0.81 之间,这与里脊肉与其他肉相比剪切力最小,失水率和蒸煮损失最大是一致的;前腱、牛腱和眼肉的得 PC₂ 分范围在 -0.02~-0.09 之间,均为负值,而其他部位肉块的 PC₂ 得分范围在 0.19~0.82 之间,均为正值,这与前腱、牛腱和眼肉的 L* 值和 b* 值的指标非常接近是一致的;辣椒条和烩扒的 PC₃ 得分分别为 -0.53 和 -0.01,而其他部位肉的 PC₃ 得分范围在 0.02~0.72 之间,辣椒条的 PC₃ 值与烩扒的 PC₃ 值相比相差很大,表明 PC₃ 可明显的将辣椒条与其他肉分开。

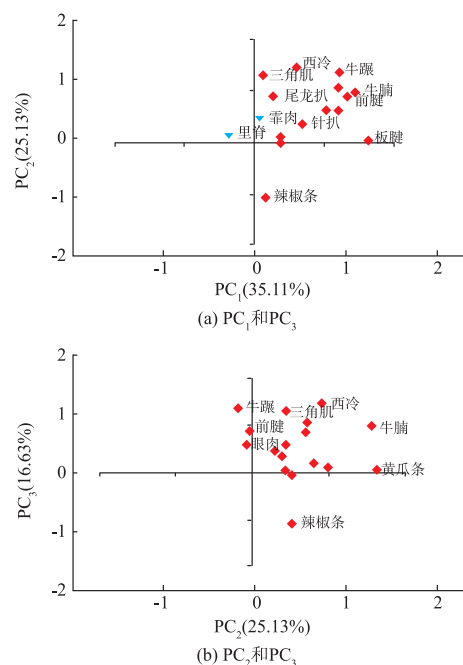


图 1 主成分因子得分

Fig. 1 Factor score of principal component analysis

2.3 聚类分析

在解决实际问题过程中,将多样本对象分类时,选择单因素分类不足以全面综合的描述其差别,因此需要考虑多方面因素进行分类,聚类分析就是结合研究对象或者指标的诸多特性进行分类的方法。聚类分析是将样品按照品质特性相似程度逐渐聚合在一起,相似度最大的优先聚合在一起,最后按照类别的综合性质进行多个品种或指标的聚合,从而完成聚类的分析方法。本试验对 17 个部位牦牛肉采用中位数聚类法进行系统聚类分析。从聚类分析谱系图来看,当类间距离=15 时,17 个样品分为五类。第一类聚集了前腱、眼肉、牛腩、针扒、金钱腱、脖肉、三角肌、尾龙扒、西冷 9 个样品,这一类聚集了亮度值相近的一类肉,这与 PC_1 和 PC_3 的主成分得分图基本一致;第二类聚集了板腱、上脑、烩扒、霖肉、里脊、黄瓜条 6 个样品,这一类聚集了持水能力和剪切力相近的一类肉,同时也是主要来自于牦牛胴体的后躯的肉,这 2 类与 PC_2 和 PC_3 主成分得分图一致。牛腩、板腱和辣椒条各自聚为一类,最后又聚到前 2 类中。整体来看,聚类的结果就是把各部位肉分为前后胴体 2 大部分的肉,且后部胴体在持水能力和剪切力方面优于前部胴体。

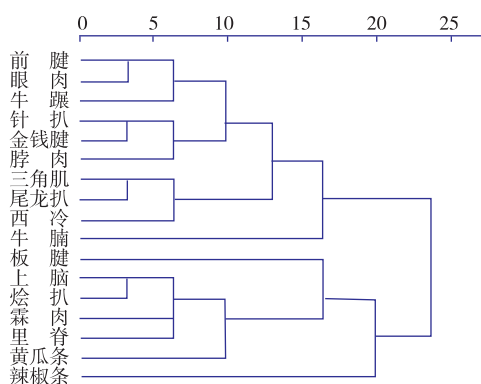


图 2 聚类分析图

Fig. 2 Dendrogram of Hierarchical cluster analysis

3 结 语

国内外的学者研究表明,嫩度^[15-18]是牛肉品质

参考文献:

- [1] WIENER G, HAN J L, LONG R J. The Yak. 2nd ed[M]. Bangkok, Thailand: Regional Office for Asia and the Pacific of the Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2003.
- [2] WANG Q, ZHAO X, REN Y et al. Effects of high pressure treatment and temperature on lipid oxidation and fatty acid

评价的主要依据,嫩度的形成不仅与宰前肉品的年龄、部位、营养状况相关,还与宰后尸僵、成熟、热处理等因素相关^[19-20]。同时,国内外学者对胴体分割的问题也有研究,Kukowski^[21]和 Jeremiah^[22]在消费者嗜好性调查中发现中部胴体肉块具有更好的嫩度适口性。也有专家对部位肉的品质形成进行了深入的研究,Dubost 等^[23]研究了不同部位肌肉内部结缔组织结构 and 组成与其肉质的关系,表明当结缔组织网络的发育程度较差时,后部胴体也可获得较好的嫩度。牦牛是生长海拔 3 000 m 以上的物种,其生活条件恶劣,其整体发育情况较差,尤其是脂肪含量较黄牛等牛肉都低,充分说明牦牛肉的品质与分割有不同于黄牛之处。从传统肉牛屠宰分割产业来看,上脑、西冷、眼肉是典型的高档部位,而对于牦牛,这 3 个部位肉的嫩度均较差、失水率和蒸煮损失较大,与高档部位肉块的品质有较大差异。反而是黄瓜条、尾龙扒、三角肌、霖肉等部位肉具有较好的嫩度。可见,对于牦牛而言,品质较好的肉块与传统肉牛的分割方式还是有一定的差异。

本研究中青海环湖地区的 15 头牦牛胴体的 17 个部位肉的品质指标进行了测定,并对结果进行了分析。结果表明牦牛 17 个部位肉的颜色、持水能力、剪切力指标均达到极显著差异($p<0.01$)。主成分分析提取了 3 个主成分反映原变量的 76.87% 的信息,主成分得分图直观的得到各部位肉与主成分之间的关系。明确区分出了里脊、前腱、牛腩和眼肉,辣椒条与其他部位肉。聚类结果把牦牛胴体各部位肉分为前后 2 大部分的肉,且后部胴体品质优于前部胴体。本研究中牦牛部位肉从颜色、持水能力和剪切力 3 方面进行了分析,表明牦牛后部胴体肉优于前部胴体,为牦牛肉品的分割和开发提供了理论支持,然而并没有从营养品质和消费者偏好等方面进行分析,因此对于牦牛部位肉的品质评价和分割有一定的指导意义,但还需要深入的研究为牦牛肉的精细化分割提供理论依据。

- composition of yak (*poephagus grunniens*) body fat[J]. **Meat Science**, 2013, 94(4):489-494.
- [3] PAVAN E, DUCKETT S K. Fatty acid composition and interrelationships among eight retail cuts of grass-feed beef[J]. **Meat Science**, 2013, 94(3):371-377.
- [4] DESIMONE T L, ACHESON R A, WOERNER D R, et al. Nutrient analysis of the beef alternative merchandising cuts[J]. **Meat Science**, 2013, 93(3):733-745.
- [5] MARCHI D M, PENASA M, CECCHINATO A, et al. The relevance of different near infrared technologies and sample treatments for predicting meat quality traits in commercial beef cuts[J]. **Meat Science**, 2013 93(2):329-335.
- [6] YU Bingbing, MAO Huaming, WEN Jikui. Experiment of slaughtering high quality beef cattle and meat quality investigation[J]. **Journal of Yunnan Agricultural University**, 2004, 19(2):215-219. (in Chinese)
- [7] 朱贵明. 秦川牛肉质性状的系统研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2003.
- [8] NIU Lei, ZHANG Zhisheng, LI Haipeng, et al. The quality evaluation of different cuts of Simmental in China [J]. **China Animal Husbandry & Veterinary Medicine**, 2011, 38(3):217-220. (in Chinese)
- [9] GONG Liyan, MENG Xianjun, LIU Naiqiao, et al. Evaluation of apple quality based on principal component and hierarchical cluster analysis[J]. **Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering**, 2014, 30(13):276-285. (in Chinese)
- [10] ZHANG Li, HUANG Caixia, SUM Baozhong, et al. Quality evaluation of different cuts of yak meat based on standardization analysis and principal component analysis[J]. **Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering**, 2014, 30(16):290-295. (in Chinese)
- [11] SCHNACKENBERG B J, SAINI U T, ROBINSON B L, et al. An acute dose of gamma hydroxyl-butyric acid alters gene expression in multiple mouse brain region[J]. **Neuroscience**, 2010, 170(2):523-541.
- [12] DEREK F K, JUAN V, RONAN G, et al. Selecting apple cultivars for use in ready-to-eat desserts based on multivariate analyses of physico-chemical properties[J]. **LWT-Food Science and Technology**, 2012, 48(2):308-315.
- [13] GEOCZE K C, BARBOSA L C A, FIDENCIO P H, et al. Essential oils from pequi fruits from the Brazilian Cerrado ecosystem [J]. **Food Research International**, 2013, 54(1):1-8.
- [14] 张文彤. SPSS 统计分析高级教程[M]. 北京:高等教育出版社出版, 2004.
- [15] BROOKS J C, BELEW J B. National beef tender ness survey 1998[J]. **Journal of Animal Science**, 2000, 78(7):1852-1860.
- [16] DUFRASNE I, MARCHE C. Effects of dietary vitamin E supplementation on performance and meat characteristics in fattening bulls from the Belgian Blue breed[J]. **Livestock Production Science**, 2000, 65(1):197-201.
- [17] UNDERWOOD K R, MEANS W J, DU M. Caspase3 is not likely involved in the postmortem tenderization of beef muscle[J]. **Journal of Animal Science**, 2008, 86(4):960-966.
- [18] GEESINK M G H. Contribution of postmortem muscle biochemis try to the delivery of consistent meat quality with particular focus on the calpain system[J]. **Meat Science**, 2006, 74(1):34-43.
- [19] BAYRAKAROGLU A G, KAHRAMAN T. Effect of muscle stretching on meat quality of biceps femoris from beef[J]. **Meat Science**, 2011, 88(3):580-583.
- [20] GRAYSON A L, LAWRENCE T E. Alternative pre-rigor foreshank positioning can improve beef shoulder muscle tenderness[J]. **Meat Science**, 2013, 95(1):36-41.
- [21] KUKOWSKI A C, MADDOCK R J, WULF D M, et al. Evaluating consumer acceptability and willingness to pay for various beef chuck muscles[J]. **Journal of Animal Science**, 2005, 83(11):2605-2610.
- [22] JEREMIAH L E, GIBSON L L, AALHUS J L, et al. Assessment of palatability attributes of the major beef muscles[J]. **Meat Science**, 2003, 65(3):949-958.
- [23] DUBOST A, MICOL D, PICARD B, et al. Structural and biochemical characteristics of bovine intramuscular connective tissue and beef quality[J]. **Meat Science**, 2013, 95(3):555-561.