青海高原地区牦牛肉营养成分分析与品质评价

朱青云[1]，谭 亮[*2]，赵 静[2]，杲秀珍[2]，皮 立[2]，王 婷[2]，李玉林[2]
（1. 青海省产品质量监督检验所，青海 西宁 810008；2. 中国科学院 西北高原生物研究所/青海省青藏高原特色生物资源研究重点实验室，青海 西宁 810001）

摘要：选取青海高原5个地区牦牛肉的3个不同部位，对其营养成分进行分析评价和比较，为青海高原牦牛肉再加工产品的开发和利用提供依据。采用SPSS 19.0分别对青海高原5个不同地区牦牛肉的相同部位之间和同一地区牦牛肉的不同部位之间各营养成分进行主成分分析和多重比较分析，同时对青海高原地区与外省份其他地区牦牛肉之间、牦牛肉与其他品种牛肉之间进行了比较，最后还对牦牛肉品质贡献大的指标性成分进行综合评价。指标性营养成分存在差异，但均具有高蛋白质、低脂肪、营养丰富等的特点。牦牛肉营养成分与当地海拔高度呈现正相关趋势与放牧饲养管理有关：高海拔地区的牦牛进食含有更多营养和能量的牧草获得的营养成分也更多。不同品种牛肉中营养成分除了受上述影响因素外，还与生活行为模式、进食饲喂情况、半野生放牧环境等因素有关。综合评价分别来自海西州天峻县龙门乡和海北州刚察县沙柳河镇的牦牛肉品质更佳，分析其原因是气候因素中的降水量是牧草生长的主导因素之一，从而间接影响了牦牛肉的品质。青海高原牦牛肉营养价值高，本研究可为其质量控制提供一定的参考。

关键词：牦牛肉；青海高原地区；营养成分分析；品质评价
中图分类号：TS 201.4　**文章编号：**1673-1689(2021)11-0097-15　**DOI：**10.3969/j.issn. 1673-1689.2021.11.013

Analysis of Nutritional Compositions and Quality Evaluation of Yak Meat from Qinghai Plateau Regions

ZHU Qingyun[1]，*TAN Liang*[*2]，*ZHAO Jing*[2]，*GAO Xiuzhen*[2]，*PI Li*[2]，*WANG Ting*[2]，*LI Yulin*[2]
（1. Qinghai Products Quality Supervision and Inspection Institute, Xining 810008, China; 2. Northwest Institute of Plateau Biology / Qinghai Key Laboratory of Qinghai-Tibet Plateau Biological Resource, Chinese Academy of Sciences, Xining 810001, China）

Abstract: Three different body parts of yak meat from five regions of Qinghai Plateau were selected to analyze, evaluate and compare the nutritional compositions, providing a basis for the development and utilization of yak meat reprocessed products in Qinghai Plateau. SPSS 19.0 was used to conduct the principal component analysis and multiple comparative analysis of nutritional compositions of yak meat from the same body parts in five different regions and the different body parts in the same region in Qinghai plateau, respectively. At the same time, the differences among yak meat in Qinghai

收稿日期：2020-06-14
基金项目：青海省高原特色生物资源研究重点实验室发展建设专项(2017-ZJ-Y10)；青藏高原牦牛肉酶联免疫标记物识别及质量控制研究项目(2016QK090)。
作者简介：朱青云(1966—)，男，正高级工程师，主要从事检验检测技术研发。E-mail：949615796@qq.com
*** 通信作者：**谭 亮(1984—)，男，高级工程师，主要从事中藏药及食品的成分分析、质量标准及提取工艺研究。E-mail：tanliang@nwipb.cas.cn

plateau region and other provinces, and among yak meat and other varieties of beef were also compared. Finally, the indicative compositions greatly contributing to the yak meat quality were evaluated comprehensively. There were differences in indicative nutrients, but they all had the characteristics of 'high protein, low fat and rich nutrition'. The trend of positive correlation between the nutrients of yak meat and local altitude was related to grazing and feeding management. Yaks at high altitudes got more nutrients by eating grasses with more nutrients and energy. In addition to the above-mentioned factors, the nutritional compositions of different varieties of beef were also related to the life behavioral patterns, eating and feeding conditions, semi-wild grazing environment and other factors. After comprehensive evaluation, the quality of yak meat from Longmen township, Tianjun county, Haixi prefecture and Shaliuhe town, Gangcha County, Haibei Prefecture were better than that from other regions. The reason was that the precipitation of climatic factors was one of the main factors of herbage growth, which indirectly affected the quality of yak meat. This study could provide a basis for quality control of yak meat in Qinghai Plateau with high nutritional value.

Keywords: yak meat, Qinghai plateau regions, analysis of nutritional compositions, quality evaluation

牦牛肉具有极高的营养价值,富含蛋白质和氨基酸以及钙、磷等微量元素,脂肪含量低,热量高,对增强人体免疫力有显著作用[1-4]。

目前,有关牦牛肉的研究多为牦牛肉干制品加工研究进展[5],牦牛肉品质影响因素[6-9],牦牛产业发展现状[10-12],不同性别牦牛肉中有效成分、指标性参数的变化研究[13-15],牦牛肉不同部位内环境变化、品质分析、氨基酸、脂肪酸等部分指标性成分研究[16-19],不同年龄牦牛营养价值、品质影响[20-22],不同地区牦牛肉的营养成分分析等[23-30]。对于青海高原不同地区牦牛肉的相同部位之间、同一地区牦牛肉的不同部位之间、与外省份其他地区牦牛肉之间以及不同品种牛肉之间各营养成分的差异比较以及重金属元素等成分的研究较少。作者研究对象为青海高原5个不同地区的牦牛肉,在其营养成分分析的基础上先通过主成分分析筛选出关键指标成分,然后分别对不同地区牦牛肉的相同部位之间、同一地区牦牛肉的不同部位之间、青海高原地区与外省份其他地区牦牛肉之间以及牦牛肉与其他品种牛肉之间的营养成分差异进行分析比较,最后采用主成分分析法对影响牦牛肉品质的14个指标性成分进行综合评价。说明适宜畜群饲养,能够收获品质优良牦牛肉的地区,同时也为青海高原牦牛肉的质量控制、资源的开发利用与加工提供数据支撑。

1 材料与方法

1.1 方法

1.1.1 肉样前处理 分别采自青海高原5个地区的正常发育、健康无病、自然放牧条件下、年龄为6岁的成年公牦牛,每个地区各5头,每头牦牛屠宰前禁食12 h,禁水2 h,屠宰后在1 h内分别采取肋间肌肉、背部最长肌肉和股二头肌肉3部分各1 kg,去除肉样表面的脂肪、筋腱、污血等杂物,用聚乙烯密封袋包装后,暂置于放有冰袋的冷藏箱(0~4 ℃)保鲜。带回实验室后先置于4 ℃冰箱中冷藏保存,然后根据不同地区牦牛肉屠宰收集的时间分别于肉样成熟一周后取出,将样品6等分,分割成100 g左右的肉块切碎后混匀,用绞肉机加工成颗粒状的平均肉馅样品,于-18 ℃冷冻保存,备用(见表1)。

1.1.2 营养成分的测定方法 水分:GB 5009.3—2016 第一法 直接干燥法;灰分:GB 5009.4—2016 第一法 食品中总灰分的测定;蛋白质:GB 5009.5—2016 第一法 凯氏定氮法;脂肪:GB 5009.6—2016 第一法 索氏提取法;碳水化合物、能量:分别运用GB/Z 21922—2008 中“2.2.8”和“2.2.3”项下内容进行计算;氨基酸组成及含量:GB 5009.124—2016;脂肪酸组成及含量:GB 5009.168—2016 第二法 外标法,前处理采用水解-提取法。

表 1　采自青海高原不同地区的牦牛肉样品

Table 1　Yak meat samples collected from different regions in Qinghai plateau

样品编号	地区	平均海拔/m	收集时间
DT1、DT2、DT3	西宁市大通县宝库乡	3 600	2018 年 9 月
QL1、QL2、QL3	海北州祁连县八宝镇	3 169	2018 年 9 月
GC1、GC2、GC3	海北州刚察县沙柳河镇	3 550	2018 年 9 月
TJ1、TJ2、TJ3	海西州天峻县龙门乡	3 832	2018 年 9 月
GD1、GD2、GD3	果洛州甘德县上贡麻乡	4 020	2018 年 9 月

注：样品编号中的大写字母代表不同地区的拼音缩写；数字“1、2、3”依次代表牦牛肉中肋间肌肉、背部最长肌肉和股二头肌肉这 3 个部分。

1.1.3 *矿物质元素含量测定方法*　常规营养元素：GB 5009.268—2016 第二法 电感耦合等离子体发射光谱法；重金属元素：总砷：GB 5009.11—2014 第一篇 总砷的测定 第二法 氢化物发生原子荧光光谱法；总汞：GB 5009.17—2014 第一篇 食品中总汞的测定 第一法 原子荧光光谱分析法；铅：GB 5009.12—2017 第一法 石墨炉原子吸收光谱法；铬：GB 5009.123—2014；镉：GB 5009.15—2014；样品消解均采用微波消解法。

1.2　材料

1.2.1 *试验仪器*　Kjeltec™ 8400 全自动凯氏定氮仪：丹麦 FOSS 公司产品；SZC-C 型脂肪测定仪：上海纤检仪器有限公司产品；Agilent 1260 型高效液相色谱仪：美国安捷伦科技公司产品；Agilent 725 型电感耦合等离子体发射光谱仪：美国安捷伦科技公司产品；美国 CEM MARS-6 微波消解系统：上海沃珑仪器有限公司产品；吉天 933 型原子荧光光谱仪：北京吉天仪器有限公司产品；Agient AA240Z 型石墨炉原子吸收光谱仪：美国安捷伦科技公司产品；Agilent 7890B 型气相色谱仪：美国安捷伦科技公司产品。

1.2.2 *试验试剂*　18 种氨基酸混标（货号：AAS18-5 mL）、37 种脂肪酸甲酯混标（货号：CRM47885）：购自西格玛奥德里奇（上海）贸易有限公司；各单元素标准溶液（100~1 000 μg/mL）：购自中国计量科学研究院；氢氧化钠、氨水、焦性没食子酸、无水乙醚、石油醚（沸程 30~60 ℃）、无水乙醇、三氟化硼甲醇、硼氢化钾、抗坏血酸、乙酸镁、硼酸、甲基红指示剂、溴甲酚氯指示剂、亚甲基蓝指示剂、苯酚、盐酸、浓硫酸均为分析纯；正庚烷、乙腈、甲醇均为色谱纯；硝酸、高氯酸、磷酸二氢铵、硝酸钯、过氧化氢均为优级纯；实验用水为去离子水。

1.3　数据统计分析

测定结果以同一地区 5 头牦牛的相同部位肉样分别测定后的均值±标准误差（$\bar{x}\pm s$）表示，采用 SPSS 19.0 软件进行数据处理和统计分析。先通过主成分分析从所有测定数据中筛选出关键性指标成分，然后采用单因素方差分析对青海高原不同地区牦牛肉的相同部位和同一地区牦牛肉的 3 个不同部位之间的质量分数差异进行多重比较，若方差具有齐次性时，采用 LSD 检验；若方差不具有齐次性时，采用 Tamhane's T2 检验，用 t 检验进行各组均值间的配对比较，差异显著性水平为 $P<0.05$。同时还将青海高原地区与外省份其他地区牦牛肉之间以及牦牛肉与其他品种牛肉之间的关键性指标成分的质量分数差异进行比较。最后采用主成分分析法对影响牦牛肉品质的 14 个指标性成分进行综合评价。

2　结果与分析

2.1　青海高原各地区牦牛肉中常规营养成分分析

由表 2 可知：1）青海高原各地区牦牛 3 部分肌肉中水分平均质量分数为 70.30 ~ 71.24 g/hg；2）灰分平均质量分数为 1.25 ~ 1.38 g/hg；3）蛋白质平均质量分数为 21.70 ~ 23.67 g/hg，均为高蛋白食品部分[31]；4）牦牛肋间肌肉和股二头肌肉脂肪平均质量分数较低，依次分别为 4.56、3.36 g/hg，背部最长肌肉脂肪平均质量分数为 2.58 g/hg，属于低脂肪食品部分；5）碳水化合物平均质量分数为 1.12~2.24 g/hg，均为低碳水化合物食品部分；6）能量平均为 516.9~561.7 kJ/hg，为高热量食品部分。

主成分分析常规营养成分中蛋白质、脂肪和碳水化合物对牦牛肉的品质分析贡献大。

表 2　青海高原不同地区牦牛肉不同部位中常规营养成分的质量分数

Table 2　Mass fractions of routine nutritional compositions in different body parts of yak meat samples collected from different regions in Qinghai plateau

g/hg

样品编号	水分	灰分	蛋白质	脂肪	碳水化合物	能量/(kJ/hg)
DT1	71.80±0.28^{a}	1.24±0.07^{a}	22.05±0.07^{bc}	4.10±0.14^{a}	0.82±0.14^{ab}	540.4±8.9^{a}
QL1	70.80±1.49^{a}	1.27±0.03^{a}	21.48±0.56^{b}	4.33±0.35^{a}	1.98±0.19^{b}	558.7±11.2^{a}
GC1	70.90±0.43^{a}	1.29±0.03^{a}	22.60±0.28^{c}	4.85±0.78^{a}	0.36±0.04^{a}	569.7±23.2^{ab}
TJ1	69.35±0.92^{a}	1.23±0.02^{a}	22.60±0.42^{c}	5.05±0.78^{a}	1.78±2.14^{ab}	601.2±10.4^{b}
GD1	72.20±1.68^{a}	1.23±0.04^{a}	20.57±0.40^{a}	4.67±0.65^{a}	1.34±0.34^{ab}	548.3±17.2^{a}
平均质量分数	71.07±1.43	1.25±0.04	21.70±0.87	4.56±0.56	1.37±0.89	561.7±23.0
DT2	73.10±0.14^{b}	1.31±0.10^{a}	22.25±0.07^{a}	2.05±0.21^{a}	1.29±0.10^{b}	476.1±8.4^{a}
QL2	71.40±1.00^{ab}	1.39±0.03^{a}	23.43±0.61^{ab}	2.23±0.35^{a}	1.45±0.19^{b}	505.6±19.4^{ab}
GC2	71.50±0.42^{ab}	1.41±0.04^{a}	23.35±0.35^{ab}	3.35±0.07^{b}	0.39±0.04^{a}	527.5±9.4^{bc}
TJ2	71.60±0.14^{ab}	1.45±0.14^{a}	24.05±0.64^{ab}	2.35±0.21^{a}	0.55±0.15^{a}	505.1±10.5^{ab}
GD2	69.43±1.97^{a}	1.33±0.03^{a}	24.80±1.23^{b}	2.93±0.21^{b}	1.54±0.27^{b}	556.3±25.1^{c}
平均质量分数	71.24±1.57	1.38±0.08	23.67±1.08	2.58±0.52	1.12±0.51	516.9±31.7
DT3	70.70±0.00^{bc}	1.28±0.12^{a}	23.20±0.42^{a}	3.10±0.42^{a}	1.72±0.12^{b}	538.3±6.5^{a}
QL3	69.93±0.93^{ab}	1.36±0.03^{a}	21.83±0.83^{a}	3.27±0.40^{a}	3.61±0.73^{c}	553.4±14.5^{ab}
GC3	71.10±0.42^{bc}	1.30±0.07^{a}	23.10±0.28^{a}	3.80±0.14^{a}	0.70±0.07^{ab}	545.2±11.2^{ab}
TJ3	71.53±0.38^{c}	1.26±0.05^{a}	23.07±1.00^{a}	3.57±0.55^{a}	0.56±0.08^{a}	533.6±5.2^{a}
GD3	68.80±1.18^{a}	1.33±0.03^{a}	22.80±1.61^{a}	3.13±0.15^{a}	3.94±0.74c	570.5±17.4^{b}
平均质量分数	70.30±1.23	1.31±0.06	22.75±1.01	3.36±0.41	2.24±1.59	549.2±17.4

注：表中数据为鲜质量分数，$\bar{x}\pm s$，n=5；同列上标不同小写字母表示不同地区牦牛相同部位含量之间差异显著，P<0.05；同列上标相同小写字母表示不同地区牦牛相同部位含量之间差异不显著，P>0.05。下同。

2.1.1　青海高原不同地区牦牛的相同部位常规营养成分差异比较

1）胁间肌肉　甘德与祁连地区样品与其他各地区之间蛋白质质量分数差异显著(P<0.05)；祁连与刚察地区样品与其他各地区之间碳水化合物质量分数差异显著(P<0.05)。

2）背部最长肌肉　刚察与甘德地区样品的脂肪质量分数高，与其他各地区之间差异显著(P<0.05)；甘德与大通地区样品及其他各地区之间蛋白质质量分数差异显著(P<0.05)；刚察与天峻地区样品的碳水化合物质量分数低，与其他各地区之间差异显著(P<0.05)。

3）股二头肌肉　甘德地区样品的碳水化合物质量分数最高，5 个地区之间差异显著(P<0.05)。

2.1.2　同一地区牦牛 3 个不同部位肌肉中常规营养成分平均质量分数差异比较

1)牦牛背部最长肌肉中蛋白质平均质量分数最高，并且 3 部分肌肉之间差异显著(P<0.05)；

2)牦牛肋间肌肉中脂肪平均质量分数最高，并且 3 部分肌肉之间差异显著(P<0.05)；

3)牦牛股二头肌肉中碳水化合物平均质量分数最高，并且仅与背部最长肌肉之间差异显著(P<0.05)。

2.1.3　青海与其他地区牦牛肉中主要常规营养成分进行比较

1）背部最长肌肉　各产地样品中蛋白质质量分数差异不大(平均在 22.60 g/hg 左右)，其中青海样品中蛋白质质量分数最高为 23.67 g/hg，西藏、四川、甘肃样品中蛋白质质量分数次之；西藏样品中脂肪质量分数最高为 3.45 g/hg，新疆、四川、青海样品脂肪质量分数次之（依次分别为 2.91、2.73、2.58 g/hg），云南样品中脂肪质量分数最低（仅为 1.37 g/hg)；甘肃和青海样品中碳水化合物质量分数相当(平均在 1.20 g/hg 左右)[23-26]。

2）肋间肌肉　四川和青海样品中蛋白质质量分数相当(依次分别为 21.73、21.70 g/hg)；青海样品

中脂肪质量分数（4.56 g/hg）明显高于四川样品（1.51 g/hg）。

2.1.4 青海牦牛与其他品种牛肉中主要常规营养成分进行比较 青海牦牛肉中蛋白质质量分数（22.71 g/hg）高于其他品种牛肉（平均在 21.88 g/hg 左右），甘肃白牦牛和黄牛肉中蛋白质质量分数较低（依次分别为 21.85、20.25 g/hg）；西藏鲁西黄牛、西藏犏牛和青海牦牛中脂肪质量分数相当（依次依次为 3.62、3.55、3.50 g/hg），甘肃白牦牛肉脂肪质量分数最低为 2.08 g/hg；青海牦牛肉中碳水化合物质量分数最高为 1.58 g/hg，甘肃白牦牛、甘肃黄牛、青海黄牛肉中碳水化合物质量分数相当（平均在 1.00 g/hg 左右）[23-26]。

2.2 青海高原各地区牦牛肉中氨基酸组成及分析

由表 3~5 可知：青海高原各地区牦牛 3 部分肌肉中氨基酸种类丰富，均检测出了 17 种氨基酸，包括 7 种必需氨基酸，2 种半必需氨基酸，8 种非必需氨基酸。总氨基酸平均质量分数为 20.176 ~ 21.769 g/hg。其中：谷氨酸质量分数为 3.240 ~ 3.435 g/hg，其次是赖氨酸，其质量分数为 2.045 ~ 2.228 g/hg，天门冬氨酸和亮氨酸质量分数也较高，分别为 1.795 ~ 1.952、1.601 ~ 1.739 g/hg，而胱氨酸平均质量分数最低，为 0.055 ~ 0.085 g/hg。支链氨基酸（Leu、Ile、Val）之和占总氨基酸质量分数的 17%左右；脂肪族氨基酸之和占总氨基酸质量分数的 80%以上，芳香族氨基酸（Phe、Tyr）之和占总氨基酸质量分数的 10%以上，吲哚族氨基酸（His）大于质量分数 4%；药用氨基酸（Glu、Asp、Arg、Gly、Phe、Tyr、Met、Leu、Lys）之和最高，占总氨基酸质量分数的 67.1%，鲜味氨基酸（Glu、Asp）之和占总氨基酸质量分数的 25%。EAA/TAA（必需氨基酸/总氨基酸）质量分数值为 40.92%，EAA/NEAA（必需氨基酸/非必需氨基酸）质量分数值为 69.27%分别与 FAO/WHO 规定的 EAA/TAA = 40%、EAA/NEAA = 60%的优质蛋白标准相符合[32]；Thr（0.969 g/hg）高于 FAO/WHO 氨基酸标准模式谱（4.0 mg/g）。

表 3 青海高原不同地区牦牛肋间肌肉中氨基酸组成及质量分数

Table 3 Compositions and mass fractions of amino acids in yak intercostal muscle samples collected from different regions in Qinghai plateau

g/hg

样品编号	天冬氨酸（Asp）	谷氨酸（Glu）	丝氨酸（Ser）	甘氨酸（Gly）	精氨酸（Arg）*	苏氨酸（Thr）#
DT1	1.852±0.027^{b}	3.320±0.062^{bc}	1.182±0.023^{ab}	0.913±0.044^{b}	1.489±0.023^{b}	0.956±0.002^{ab}
QL1	1.721±0.059^{a}	3.150±0.106^{b}	1.093±0.037^{a}	0.891±0.057^{b}	1.625±0.060^{c}	0.867±0.026^{a}
GC1	1.972±0.005^{b}	3.584±0.076^{cd}	1.255±0.030^{b}	0.772±0.002^{a}	1.858±0.042^{d}	1.012±0.017^{b}
TJ1	1.905±0.012^{b}	3.484±0.009^{c}	1.254±0.015^{b}	0.840±0.046^{ab}	1.734±0.016^{cd}	0.988±0.001^{b}
GD1	1.664±0.083^{a}	2.917±0.136a	1.063±0.037^{a}	0.760±0.063^{a}	1.328±0.078^{a}	0.851±0.037^{a}
平均质量分数	1.795±0.126	3.240±0.257	1.149±0.086	0.838±0.077	1.588±0.192	0.918±0.070
样品编号	脯氨酸（Pro）	丙氨酸（Ala）	缬氨酸（Val）#	蛋氨酸（Met）#	胱氨酸（Cys）	异亮氨酸（Ile）#
DT1	0.824±0.027^{b}	1.087±0.021^{a}	0.912±0.011^{bc}	0.354±0.011^{c}	0.065±0.029^{b}	0.971±0.022^{bc}
QL1	0.795±0.045^{b}	1.049±0.052^{a}	0.866±0.035^{ab}	0.133±0.018^{a}	0.029±0.001^{a}	0.933±0.037^{b}
GC1	0.752±0.007^{ab}	1.079±0.003^{a}	0.945±0.002^{c}	0.140±0.007^{a}	0.052±0.005^{ab}	1.055±0.015^{c}
TJ1	0.792±0.025^{b}	1.079±0.004^{a}	0.892±0.021^{bc}	0.167±0.052^{a}	0.105±0.019^{c}	0.974±0.029^{bc}
GD1	0.706±0.049^{a}	0.963±0.063^{b}	0.815±0.059^{a}	0.304±0.003^{b}	0.050±0.017^{ab}	0.859±0.062^{a}
平均质量分数	0.772±0.054	1.044±0.061	0.877±0.054	0.213±0.095	0.055±0.029	0.947±0.073
样品编号	亮氨酸（Leu）#	苯丙氨酸（Phe）#	组氨酸（His）*	赖氨酸（Lys）#	酪氨酸（Tyr）	氨基酸总量（TAA）
DT1	1.628±0.004bc	1.522±0.025^{d}	0.901±0.060^{ab}	2.120±0.007^{b}	1.011±0.023^{b}	21.107±0.132^{b}
QL1	1.560±0.056^{ab}	1.117±0.031^{a}	0.846±0.025^{a}	1.968±0.063^{a}	0.885±0.028^{a}	19.529±0.676^{a}
GC1	1.744±0.011^{c}	1.260±0.069^{b}	0.956±0.048^{b}	2.212±0.029^{b}	0.977±0.051^{b}	21.624±0.092^{b}
TJ1	1.694±0.017^{c}	1.189±0.000^{ab}	0.896±0.002^{ab}	2.136±0.011^{b}	0.953±0.007^{ab}	21.080±0.087^{b}
GD1	1.480±0.093^{a}	1.399±0.066^{c}	0.840±0.048^{a}	1.925±0.124^{a}	0.929±0.059^{ab}	18.852±1.019^{a}
平均质量分数	1.601±0.107	1.278±0.158	0.877±0.054	2.045±0.127	0.939±0.056	20.176±1.224

注：# 表示为必需氨基酸；* 表示为半必需氨基酸

表 4　青海高原不同地区牦牛背最长肌肉中氨基酸组成及质量分数

Table 4　Compositions and mass fractions of amino acids in longissimus dorsi muscle of yak samples collected from different regions in Qinghai plateau

g/hg

样品编号	天冬氨酸(Asp)	谷氨酸(Glu)	丝氨酸(Ser)	甘氨酸(Gly)	精氨酸(Arg)*	苏氨酸(Thr)#
DT2	1.787±0.015^{a}	3.112±0.023^{a}	1.067±0.029^{a}	0.736±0.003^{a}	1.468±0.009^{a}	0.951±0.023^{a}
QL2	1.909±0.096^{ab}	3.434±0.196^{ab}	1.267±0.068^{b}	0.769±0.037^{a}	1.791±0.096^{b}	1.012±0.082^{ab}
GC2	1.925±0.046^{ab}	3.507±0.098^{ab}	1.218±0.043^{ab}	0.928±0.039^{b}	1.815±0.053^{b}	0.983±0.030^{ab}
TJ2	2.033±0.083^{b}	3.563±0.206^{b}	1.317±0.033^{b}	0.817±0.110^{ab}	1.729±0.329^{ab}	1.050±0.043^{ab}
GD2	2.070±0.107^{b}	3.517±0.192^{b}	1.305±0.091^{b}	0.840±0.060^{ab}	1.573±0.065^{ab}	1.075±0.048^{b}
平均质量分数	1.952±0.123	3.435±0.208	1.243±0.103	0.816±0.080	1.676±0.176	1.019±0.064
样品编号	脯氨酸(Pro)	丙氨酸(Ala)	缬氨酸(Val)#	蛋氨酸(Met)#	胱氨酸(Cys)	异亮氨酸(Ile)#
DT2	0.721±0.003^{a}	1.049±0.008^{a}	0.912±0.011^{ab}	0.390±0.004^{c}	0.075±0.024^{ab}	0.996±0.018^{a}
QL2	0.739±0.042^{a}	1.060±0.057^{a}	0.887±0.049^{a}	0.124±0.017^{a}	0.102±0.009^{b}	0.968±0.052^{a}
GC2	0.835±0.025^{b}	1.107±0.014^{ab}	0.931±0.006^{ab}	0.126±0.012^{a}	0.063±0.008^{a}	1.014±0.015^{a}
TJ2	0.783±0.066^{ab}	1.119±0.074^{ab}	0.970±0.054^{ab}	0.276±0.115^{b}	0.093±0.007^{ab}	1.040±0.090^{a}
GD2	0.796±0.036^{ab}	1.156±0.047^{b}	1.006±0.066^{b}	0.376±0.012^{bc}	0.084±0.022^{ab}	1.068±0.069^{a}
平均质量分数	0.774±0.052	1.100±0.058	0.942±0.061	0.257±0.128	0.085±0.019	1.108±0.061
样品编号	亮氨酸(Leu)#	苯丙氨酸(Phe)#	组氨酸(His)*	赖氨酸(Lys)#	酪氨酸(Tyr)	氨基酸总量(TAA)
DT2	1.649±0.015^{a}	1.497±0.025^{b}	0.951±0.021^{a}	2.186±0.027^{a}	1.041±0.011^{ab}	20.588±0.094^{a}
QL2	1.718±0.096^{a}	1.220±0.084^{a}	0.921±0.053^{a}	2.134±0.107^{a}	0.975±0.045^{a}	21.031±1.142^{a}
GC2	1.703±0.020^{a}	1.267±0.023^{ab}	0.937±0.010^{a}	2.168±0.046^{a}	0.945±0.042^{a}	21.473±0.512^{a}
TJ2	1.799±0.090^{a}	1.477±0.210^{b}	1.010±0.025^{a}	2.336±0.113^{a}	1.081±0.049^{b}	22.493±1.066^{a}
GD2	1.804±0.088^{a}	1.795±0.114^{c}	1.116±0.069^{b}	2.320±0.107^{a}	1.108±0.065^{b}	23.010±1.160^{a}
平均质量分数	1.739±0.087	1.461±0.248	0.992±0.089	2.228±0.117	1.032±0.076	21.769±1.242

注:# 表示为必需氨基酸;* 表示为半必需氨基酸

表 5　青海高原不同地区牦牛股二头肌肉中氨基酸组成及质量分数

Table 5　Composition and mass fractions of amino acids in biceps femoris muscle of yak samples collected from different regions in Qinghai plateau

g/hg

样品编号	天冬氨酸(Asp)	谷氨酸(Glu)	丝氨酸(Ser)	甘氨酸(Gly)	精氨酸(Arg)*	苏氨酸(Thr)#
DT3	1.881±0.082^{a}	3.239±0.136^{a}	1.103±0.028^{a}	0.730±0.044^{ab}	1.486±0.060^{ab}	0.973±0.041^{a}
QL3	1.777±0.113^{a}	3.201±0.211^{a}	1.145±0.103^{ab}	0.700±0.047^{a}	1.633±0.098^{bc}	0.918±0.068^{a}
GC3	1.923±0.031^{a}	3.485±0.022^{a}	1.215±0.011^{ab}	0.853±0.127^{b}	1.766±0.029^{c}	0.977±0.030^{a}
TJ3	1.972±0.115^{a}	3.602±0.209^{a}	1.282±0.062^{b}	0.788±0.032^{ab}	1.804±0.136^{c}	1.016±0.061^{a}
GD3	1.883±0.185^{a}	3.240±0.364^{a}	1.206±0.113^{ab}	0.711±0.065^{a}	1.427±0.139^{a}	0.964±0.088^{a}
平均质量分数	1.885±0.126	3.352±0.260	1.195±0.093	0.751±0.077	1.623±0.181	0.969±0.064
样品编号	脯氨酸(Pro)	丙氨酸(Ala)	缬氨酸(Val)#	蛋氨酸(Met)#	胱氨酸(Cys)	异亮氨酸(Ile)#
DT3	0.727±0.021^{ab}	1.075±0.063^{a}	0.963±0.066^{a}	0.372±0.014^{b}	0.046±0.015^{ab}	1.042±0.082^{a}
QL3	0.678±0.047^{a}	0.995±0.070^{a}	0.849±0.039^{a}	0.156±0.009^{a}	0.086±0.027^{b}	0.935±0.043^{a}
GC3	0.794±0.075^{b}	1.092±0.039^{a}	0.936±0.011^{a}	0.145±0.014^{a}	0.041±0.011^{a}	1.027±0.015^{a}
TJ3	0.759±0.037^{ab}	1.081±0.048^{a}	0.933±0.050^{a}	0.159±0.017^{a}	0.072±0.017^{ab}	1.030±0.070^{a}
GD3	0.696±0.061^{ab}	1.030±0.102^{a}	0.922±0.103^{a}	0.335±0.035^{b}	0.056±0.023^{ab}	0.970±0.120^{a}
平均质量分数	0.726±0.060	1.050±0.070	0.916±0.067	0.230±0.101	0.063±0.024	0.996±0.078

续表 5

样品编号	亮氨酸(Leu)#	苯丙氨酸(Phe)#	组氨酸(His)*	赖氨酸(Lys)#	酪氨酸(Tyr)	氨基酸总量(TAA)
DT3	1.735±0.092[a]	1.745±0.150[b]	0.995±0.073[a]	2.217±0.136[a]	1.067±0.068[b]	21.397±1.140[a]
QL3	1.619±0.110[a]	1.156±0.064[a]	0.869±0.051[a]	2.026±0.144[a]	0.898±0.071[a]	19.641±1.261[a]
GC3	1.738±0.030[a]	1.289±0.071[a]	0.929±0.004[a]	2.206±0.048[a]	1.022±0.025[ab]	21.440±0.006[a]
TJ3	1.764±0.079[a]	1.259±0.067[a]	0.935±0.046[a]	2.257±0.123[a]	1.048±0.038[b]	21.760±1.178[a]
GD3	1.673±0.167[a]	1.700±0.193[b]	0.984±0.100[a]	2.145±0.183[a]	1.017±0.094[ab]	20.959±2.011[a]
平均质量分数	1.701±0.109	1.416±0.272	0.939±0.072	2.164±0.145	1.005±0.084	20.981±1.394

注：# 表示为必需氨基酸；* 表示为半必需氨基酸。

主成分分析各种氨基酸中谷氨酸、赖氨酸、天门冬氨酸对牦牛肉的品质分析贡献大。

2.2.1 青海高原不同地区牦牛的相同部位氨基酸差异比较

1)肋间肌肉　甘德、祁连地区样品与其他各地区之间的总氨基酸、天门冬氨酸和赖氨酸质量分数差异显著(P<0.05)；甘德与其他各地区之间的谷氨酸质量分数差异显著(P<0.05)。

2) 背部最长肌肉　所有 5 个地区之间总氨基酸、赖氨酸质量分数无显著性差异(P>0.05)；大通样品与天峻、甘德地区之间的天门冬氨酸、谷氨酸质量分数差异显著(P<0.05)。

3)股二头肌肉　所有 5 个地区之间总氨基酸、天门冬氨酸、赖氨酸和谷氨酸质量分数无显著性差异(P>0.05)。

2.2.2 同一地区牦牛 3 个不同部位肌肉中氨基酸平均质量分数差异比较

1)牦牛背部最长肌肉中总氨基酸平均质量分数最高，并且仅与肋间肌肉之间差异显著(P<0.05)；

2)牦牛肋间肌肉与背部最长肌肉之间天门冬氨酸质量分数差异显著(P<0.05)；

3)3 个不同部位之间谷氨酸质量分数无显著性差异(P>0.05)；

4)牦牛背部最长肌肉、股二头肌肉分别与肋间肌肉之间赖氨酸质量分数差异显著(P<0.05)。

2.2.3 青海与其他地区牦牛肉中主要氨基酸比较

1)背部最长肌肉　各产地样品中谷氨酸、赖氨酸、天门冬氨酸和苏氨酸质量分数差异不大(依次分别为 3.50、1.80、1.90 、0.93 g/hg)，其中四川样品中谷氨酸质量分数最高(3.89 g/hg)、青海样品中赖氨酸质量分数最高(2.23 g/hg)、甘肃样品中天门冬氨酸和苏氨酸质量分数最高 (分别为 2.18 g/hg、9.90 mg/g)，各产地样品中苏氨酸质量分数均高于 FAO/WHO 氨基酸标准模式谱 (4.0 mg/g)；各产地 EAA/TAA 平均质量分数值、EAA/NEAA 平均质量分数值(依次分别为 39.96%、66.66%)与 FAO/WHO 规定的EAA/TAA = 40%、EAA/NEAA = 60%的优质蛋白标准相符合，其中青海样品中 EAA/TAA 质量分数值、EAA/NEAA 质量分数值最高 (依次分别为 40.88%、69.16%)；

2)肋间肌肉　青海和四川样品中谷氨酸、赖氨酸、天门冬氨酸和苏氨酸质量分数相当(依次分别为 3.30、1.90、1.90、0.90 g/hg)，两产地样品中苏氨酸质量分数均高于 FAO/WHO 氨基酸标准模式谱 (4.0 mg/g)；

3)青海与四川样品中 EAA/TAA 平均质量分数值、EAA/NEAA 平均质量分数值　依次分别为 39.28%、64.76%，与 FAO/WHO 规定的优质蛋白标准相符合，其中青海样品中 EAA/TAA 质量分数值、EAA/NEAA 质量分数值最高 (依次分别为 40.45%、67.93%)。

2.2.4 青海牦牛与其他品种牛肉中主要氨基酸进行比较[23-26]　各品种牛肉中谷氨酸、赖氨酸、天门冬氨酸和苏氨酸质量分数差异不大 (依次分别为 3.00、1.80、1.80、0.93 g/hg)，其中青海牦牛肉中谷氨酸和赖氨酸质量分数最高(依次分别为 3.34、2.15 g/hg)、甘肃白牦牛肉中天门冬氨酸质量分数最高 (2.02 g/hg)、西藏鲁西黄牛肉中苏氨酸质量分数最高 (10.4 mg/g)，各品种牛肉中苏氨酸质量分数均高于 FAO/WHO 氨基酸标准模式谱(4.0 mg/g)；各品种牛肉 EAA/TAA 平均质量分数值、EAA/NEAA 平均质量分数值 (依次分别为 39.41%、65.55%) 与 FAO/WHO 规定的 EAA/TAA = 40%、EAA/NEAA = 60%的优质蛋白标准相符合，其中青海样品中 EAA/TAA 质量分数值、

EAA/NEAA 质量分数值最高（依次分别为 40.92%、69.27%）。

2.3 青海高原各地区牦牛肉中矿物质元素分析

由表 6~7 可知：各地区牦牛肉 3 部分肌肉中主要含有 8 种矿物质元素，1）按营养成分含量声称要求[31]含有 K 元素（平均含有 3.20 g/kg，换算为 NRV 质量分数 16%）；2）平均含有 Na、Mg 分别为 534.2、227.1 mg/kg；3）平均含有 Ca、Zn、Fe 依次为 40.08、31.17、22.87 mg/kg，其中平均含有 Zn、Fe 元素 NRV（质量分数值依次为20.8%、15.2%）；4）平均含有 Cu、Se 较低（依次分别为 0.87、0.06 mg/kg）；5）平均含有 As、Hg、Pb、Cd、Cr 5 种重金属依次为 0.38、0.001 5、0.002 6、0.001 3、0.83 mg/kg，依据 GB 2762—2017 食品中污染物限量的规定，均未超标（As、Hg、Pb、Cd、Cr 限量值依次为 0.5、0.05、0.2、0.1、1.0 mg/kg）。

表 6 青海高原不同地区牦牛肉不同部位中各种矿质元素测定结果

Table 6 Results of various mineral elements in different body parts of yak meat samples collected from different regions in Qinghai plateau

mg/kg

样品编号	硒(Se)	钙(Ca)	铁(Fe)	锌(Zn)	铜(Cu)	钾(K)/ (g/kg)	镁(Mg)	钠(Na)
DT1	0.084±0.009^{c}	52.30±0.14^{b}	20.30±1.84^{bc}	36.50±2.55^{c}	0.778±0.025^{ab}	3.035±0.092^{a}	199.2±5.7^{a}	774.9±3.7^{c}
QL1	0.026±0.003^{a}	61.10±2.92^{c}	23.02±0.67^{c}	38.18±0.86^{c}	0.849±0.036^{b}	2.976±0.059^{a}	198.2±3.6^{a}	852.4±15.8^{d}
GC1	0.032±0.008^{a}	31.35±1.20^{a}	17.55±1.34^{a}	26.45±1.20^{a}	0.731±0.023^{a}	3.229±0.110^{b}	227.6±7.7^{b}	428.1±4.5^{a}
TJ1	0.065±0.001^{b}	44.15±7.70^{b}	21.25±0.92^{bc}	31.55±0.35^{b}	0.672±0.052^{a}	3.248±0.076^{b}	224.6±11.5^{b}	641.7±12.1^{b}
GD1	0.086±0.014^{c}	64.03±4.55^{c}	19.50±1.87^{ab}	40.37±3.06^{c}	0.749±0.073^{a}	2.979±0.020^{a}	198.2±2.5^{a}	793.7±8.3^{c}
平均质量分数	0.050±0.025	53.24±6.42	20.68±2.23	35.60±5.20	0.769±0.075	3.067±0.134	206.9±14.2	729.2±15.1
DT2	0.073±0.004^{b}	33.55±0.92^{b}	17.50±1.13^{a}	28.00±0.85^{b}	0.624±0.013^{a}	3.065±0.092^{a}	216.0±12.4^{a}	485.8±6.0^{d}
QL2	0.028±0.003^{a}	23.97±0.45^{a}	27.20±1.22^{b}	24.07±1.21^{a}	1.053±0.160^{b}	3.361±0.120^{bc}	240.2±2.3^{b}	398.2±14.9^{b}
GC2	0.041±0.006^{a}	50.90±1.70^{d}	19.15±1.91^{a}	38.50±0.85^{d}	0.747±0.052^{a}	3.109±0.025^{a}	228.7±6.5^{ab}	717.4±11.2^{c}
TJ2	0.082±0.004^{bc}	38.20±1.27^{c}	28.20±1.70^{b}	40.40±1.98^{d}	0.612±0.029^{a}	2.997±0.208^{a}	288.0±10.3^{c}	427.5±10.7^{c}
GD2	0.090±0.010^{c}	37.63±2.21^{c}	18.30±1.23^{a}	31.07±1.53^{c}	0.638±0.059^{a}	3.273±0.037^{b}	218.9±2.1^{a}	350.8±10.5^{a}
平均质量分数	0.062±0.027	35.84±9.16	22.18±4.95	31.60±6.47	0.753±0.102	3.187±0.168	236.9±12.1	459.0±12.9
DT3	0.087±0.017^{b}	44.70±2.55^{d}	26.05±1.49^{a}	28.70±2.26^{b}	1.057±0.107^{ab}	3.206±0.309^{a}	229.5±14.1^{a}	407.1±4.1^{b}
QL3	0.032±0.007^{a}	31.00±2.36^{c}	27.83±2.32^{a}	27.83±1.99^{b}	1.212±0.103^{b}	3.456±0.094^{a}	240.3±4.3^{ab}	457.5±17.3^{c}
GC3	0.042±0.004^{a}	20.40±1.13^{a}	28.30±1.41^{a}	24.85±0.64^{ab}	1.117±0.061^{ab}	3.131±0.114^{a}	232.8±4.67^{ab}	421.2±8.8^{b}
TJ3	0.071±0.008^{b}	25.27±5.02^{ab}	19.50±2.15^{b}	21.97±2.08^{a}	0.938±0.116^{a}	3.410±0.173^{a}	248.1±11.4^{b}	362.0±9.7^{a}
GD3	0.091±0.021^{b}	35.40±4.72^{c}	27.97±2.25^{a}	28.53±1.78^{b}	1.071±0.158^{ab}	3.363±0.053^{a}	232.5±5.6^{ab}	424.4±9.5^{b}
平均质量分数	0.065±0.012	31.17±8.52	25.74±3.00	26.32±3.20	1.078±0.139	3.336±0.176	237.5±9.9	414.5±15.8

表 7 青海高原不同地区牦牛肉不同部位中重金属元素测定结果

Table 7 Results of heavy metal elements in different body parts of yak meat samples collected from different regions in Qinghai plateau

样品编号	总砷(As)/(mg/kg)	总汞(Hg)/(μg/kg)	铅(Pb)/(μg/kg)	镉(Cd)/(μg/kg)	铬(Cr)/(mg/kg)
DT1	0.027±0.005^{a}	0.387±0.029^{a}	4.786±0.155^{d}	1.162±0.093^{ab}	0.017±0.004^{a}
QL1	0.755±0.066^{c}	1.001±0.078^{b}	1.987±0.134^{a}	1.203±0.105^{b}	1.803±0.123^{c}
GC1	0.369±0.063^{b}	2.413±0.254^{d}	3.880±0.099^{c}	2.493±0.088^{d}	1.016±0.073^{b}
TJ1	0.754±0.039^{c}	1.577±0.183^{c}	1.855±0.151^{a}	1.636±0.516^{c}	1.150±0.170^{b}
GD1	0.030±0.001^{a}	2.123±0.211^{d}	2.747±0.592^{b}	0.830±0.091^{a}	0.042±0.010^{a}
平均质量分数	0.416±0.049	1.471±0.477	2.864±0.331	1.376±0.158	0.900±0.108
DT2	0.032±0.009^{a}	0.390±0.024^{a}	5.355±0.403^{d}	1.401±0.042^{a}	0.021±0.006^{a}

续表 7

样品编号	总砷(As)/(mg/kg)	总汞(Hg)	铅(Pb)	镉(Cd)	铬(Cr)/(mg/kg)
QL2	0.600±0.066^{b}	1.617±0.462^{b}	1.631±0.223^{ab}	1.248±0.148^{a}	0.927±0.119^{b}
GC2	0.599±0.021^{b}	1.850±0.131^{bc}	2.070±0.127^{bc}	0.935±0.064^{a}	1.518±0.111^{c}
TJ2	0.696±0.010^{c}	2.284±0.134^{c}	1.106±0.147^{a}	0.990±0.142^{a}	1.678±0.130^{c}
GD2	0.028±0.001^{a}	0.423±0.054^{a}	2.633±0.313^{c}	1.024±0.748^{a}	0.007±0.001^{a}
平均质量分数	0.378±0.041	1.264±0.041	2.488±0.346	1.122±0.172	0.770±0.072
DT3	0.027±0.001^{a}	0.729±0.018^{a}	4.190±0.071^{c}	1.276±0.056^{bc}	0.013±0.007^{a}
QL3	0.533±0.028^{b}	2.408±0.278^{b}	2.187±0.181^{b}	1.211±0.167^{ab}	0.895±0.044^{b}
GC3	0.513±0.016^{b}	3.225±0.134^{c}	2.474±0.175^{b}	2.603±0.094^{d}	1.712±0.161^{c}
TJ3	0.544±0.035^{b}	2.674±0.189^{b}	1.156±0.100^{a}	1.571±0.180^{c}	1.544±0.280^{c}
GD3	0.026±0.005^{a}	0.823±0.046^{a}	2.287±0.344^{b}	0.937±0.155^{a}	0.021±0.005^{a}
平均质量分数	0.338±0.057	1.971±0.120	2.324±0.580	1.455±0.370	0.833±0.074

主成分分析各矿物质元素中 K、Mg、Na、Zn、Fe 元素对牦牛肉的品质分析贡献大。

2.3.1 青海高原不同地区牦牛的相同部位中常规营养元素差异比较

1）肋间肌肉　祁连样品平均含有 Fe 最高,并与大通、刚察、甘德地区之间差异显著(P<0.05);甘德样品平均含有 Zn 最高,与其他各地区之间差异显著(P<0.05);刚察、天峻样品平均含有 K、Mg 较高,与其他各地区之间差异显著(P<0.05);祁连样品平均含有 Na 最高,且所有 5 个地区之间差异显著(P<0.05)。

2）背部最长肌肉　天峻样品平均含有 Fe 最高,并与大通、刚察、甘德地区之间差异显著(P<0.05);天峻样品平均含有 Zn 最高,除了刚察外,与其他 3 个地区之间差异显著(P<0.05);天峻样品平均含有 Mg 最高,并与其他地区之间差异显著(P<0.05);刚察样品平均含有 Na 最高,且所有 5 个地区之间差异显著(P<0.05);祁连样品平均含有 K 最高,除了甘德外,与其他 3 个地区之间差异显著(P<0.05)。

3）股二头肌肉　祁连样品平均含有 Na 最高,并与其他各地区之间差异显著(P<0.05);除个别地区外,大多数地区样品之间平均含有 Fe、Zn、K、Mg 无显著性差异(P>0.05)。

2.3.2 同一地区牦牛 3 个不同部位肌肉中常规营养元素差异比较　牦牛肋间肌肉平均含有 Na 最高,并且仅与背部最长肌肉或股二头肌肉之间差异显著(P<0.05);牦牛股二头肌肉平均含有 Fe、K 最高,并且仅与肋间肌肉或背部最长肌肉之间差异显著(P<0.05);牦牛肋间肌肉平均含有 Zn 最高,并且仅股二头肌肉与肋间肌肉或背部最长肌肉之间差异显著(P<0.05);牦牛肋间肌肉仅与背部最长肌肉或股二头肌肉之间平均含有 Mg 差异显著(P<0.05)。

2.3.3 青海与其他地区牦牛肉中主要矿物质元素进行比较

1)背部最长肌肉　各产地样品平均含有 K、Na 差异不大(依次分别为 3.40 g/kg、33.60 mg/kg 左右),其中甘肃样品平均含有 K 最高(3.58 g/kg)、西藏样品平均含有 Na 最高(38.35 mg/kg);各产地样品平均含有 Mg、Zn 差异较大,其中甘肃样品平均含有 Mg 最高(356.2 mg/kg)、青海样品平均含有 Zn 最高(31.60 mg/kg)[23-26]。

2）肋间肌肉　青海和四川样品平均含有 K、Mg、Zn、Fe 相当,两产地平均含有 Na 差异大。

2.3.4 青海牦牛与其他品种牛肉中主要矿物质元素进行比较　结果表明:各品种牛肉平均含有 K 差异不大(为 3.40 g/kg 左右),其中青海黄牛肉平均含有 K 最高(3.72 g/kg);各品种牛肉平均含有 Mg、Zn、Fe 含量差异较大,其中甘肃白牦牛肉平均含有 Mg、Fe 最高(分别为 423.3、37.32 mg/kg)、西藏鲁西黄牛肉平均含有 Zn 最高为 39.44 mg/kg[23-26]。

2.4 青海高原各地区牦牛肉中主要脂肪酸组成及分析

由表 8 可知,青海高原各地区牦牛 3 部分肌肉中脂肪酸种类丰富,均含有肉豆蔻酸、棕榈酸、棕榈油酸、硬脂酸、油酸和亚油酸这 6 种脂肪酸,其之和占总脂肪酸质量分数的 91.45% ~ 92.74%。从高到

低平均含有油酸、硬脂酸、棕榈酸、亚油酸、棕榈油酸和肉豆蔻酸依次分别为 12.17 ~ 21.97、5.46 ~ 10.76、3.04 ~ 5.13、1.21 ~ 1.80、1.09 ~ 1.69、0.62 ~ 1.02 mg/g。

主成分分析脂肪酸类成分中油酸、硬脂酸和棕榈酸对牦牛肉的品质分析贡献大。

表 8　青海高原不同地区牦牛肉不同部位中主要脂肪酸组成及测定结果

Table 8　Composition and results of major fatty acids in different body parts of yak meat samples collected from different regions in Qinghai plateau

mg/g

样品编号	肉豆蔻酸 #	棕榈酸 #	棕榈油酸△	硬脂酸 #	油酸△	亚油酸 *
DT1	1.02±0.15^{bc}	5.14±0.56^{bc}	2.03±0.04^{c}	9.92±0.46^{b}	18.55±0.49^{a}	1.46±0.06^{ab}
QL1	0.90±0.06^{ab}	4.88±0.29^{b}	1.72±0.11^{b}	11.81±0.43^{c}	17.90±0.42^{a}	1.70±0.10^{b}
GC1	1.42±0.09^{d}	6.57±0.45^{d}	2.84±0.05^{d}	9.07±0.27^{a}	24.08±0.79^{b}	1.44±0.17^{a}
TJ1	1.19±0.07^{c}	5.93±0.11^{cd}	0.19±0.00^{a}	8.99±0.21^{a}	29.11±0.18^{c}	2.80±0.17^{d}
GD1	0.80±0.09^{a}	3.97±0.33^{a}	1.64±0.16^{b}	12.22±0.19^{c}	23.51±0.53^{b}	1.74±0.11^{bc}
平均质量分数	1.02±0.23	5.13±0.94	1.69±0.59	10.76±1.45	21.97±4.18	1.80±0.47
DT2	0.43±0.04^{a}	2.05±0.17^{a}	1.03±0.03^{b}	3.93±0.13^{a}	10.36±0.13^{b}	0.84±0.05^{b}
QL2	0.53±0.01^{b}	2.68±0.10^{b}	0.94±0.16^{b}	5.11±0.31^{b}	8.93±0.46^{a}	1.44±0.11^{c}
GC2	0.78±0.05^{c}	3.58±0.15^{c}	1.30±0.06^{c}	7.76±0.26^{c}	16.01±0.52^{d}	1.51±0.11^{c}
TJ2	0.43±0.01^{a}	2.54±0.03^{b}	0.09±0.01^{a}	5.29±0.20^{b}	11.20±0.18^{b}	1.77±0.10^{d}
GD2	0.86±0.06^{c}	4.04±0.10^{d}	2.20±0.08^{d}	5.41±0.25^{b}	14.72±0.30^{c}	0.64±0.03^{a}
平均质量分数	0.62±0.19	3.04±0.77	1.19±0.72	5.46±0.61	12.17±2.86	1.21±0.45
DT3	0.60±0.03^{ab}	3.13±0.04^{a}	1.32±0.06^{b}	7.13±0.31^{ab}	14.06±0.46^{a}	1.31±0.03^{b}
QL3	0.64±0.06^{bc}	3.85±0.21^{b}	1.19±0.11^{b}	8.83±0.18^{d}	13.86±0.15^{a}	1.35±0.05^{b}
GC3	1.12±0.05^{d}	6.10±0.35^{c}	1.77±0.08^{c}	8.32±0.21^{c}	20.52±0.21^{c}	0.71±0.03^{a}
TJ3	0.72±0.05^{c}	3.96±0.28^{b}	0.15±0.02^{a}	6.91±0.25^{a}	18.50±0.09^{b}	2.37±0.18^{c}
GD3	0.52±0.06^{a}	3.02±0.13^{a}	1.33±0.10^{b}	7.40±0.22^{b}	14.09±0.84^{a}	1.45±0.08^{b}
平均质量分数	0.70±0.12	3.92±0.86	1.09±0.57	7.72±0.81	16.04±1.79	1.51±0.36

注：# 表示为饱和脂肪酸；* 多不饱和脂肪酸；△单不饱和脂肪酸

2.4.1　青海高原不同地区牦牛的相同部位主要脂肪酸差异比较

1）肋间肌肉　刚察样品平均含有棕榈酸最高，除了大通与天峻、祁连地区之间以及刚察与天峻地区之间外，其他各地区之间差异显著（P<0.05）；甘德样品平均含有硬脂酸最高，除了刚察与天峻地区之间、祁连与甘德地区之间外，其他各地区之间差异显著（P<0.05）；天峻样品平均含有油酸最高，除了大通与祁连地区之间、刚察与甘德地区之间外，其他各地区之间差异显著（P<0.05）。

2）背部最长肌肉　甘德样品平均含有棕榈酸最高，除了祁连与天峻地区外，其他各地区之间差异显著（P<0.05）；刚察样品平均含有硬脂酸最高，除了祁连与天峻、甘德地区外，其他各地区之间差异显著（P<0.05）；刚察样品平均含有油酸最高，除了大通与天峻地区外，其他各地区之间差异显著（P<0.05）。

3）股二头肌肉　刚察样品平均含有棕榈酸最高，除了大通与甘德地区之间、祁连与天峻地区外，其他各地区之间差异显著（P<0.05）；除了大通与天峻、甘德地区之间外，其他各地区样品之间平均含有硬脂酸差异显著（P<0.05）；刚察样品平均含有油酸最高，除了大通与祁连、甘德地区之间外，其他各地区之间差异显著（P<0.05）。

2.4.2　同一地区牦牛 3 个不同部位肌肉中主要脂肪酸差异比较　牦牛肋间肌肉平均含有棕榈酸、硬脂酸和油酸最高，且 3 部分肌肉之间差异均显著（P<0.05）。

2.4.3　青海与其他地区牦牛肉中主要脂肪酸进行比较[23-26]　结果表明：各产地牦牛背部最长肌肉平均含有油酸、硬脂酸、棕榈酸差异较大（依次分别在

5.58 ~ 12.17、1.23 ~ 5.96、1.41 ~ 7.65 mg/g),其中青海样品平均含有油酸最高(12.17 mg/g)、新疆样品平均含有硬脂酸和棕榈酸最高 (依次分别为 5.96、7.65 mg/g)。

2.4.4 青海牦牛与其他品种牛肉中主要矿物质元素进行比较 结果表明:各品种牛肉平均含有油酸、硬脂酸、棕榈酸差异较大(依次分别在 4.51 ~ 16.73、3.56 ~ 7.98、1.41 ~ 6.69 mg/g),其中青海牦牛肉平均含有油酸和硬脂酸最高(依次分别为 16.73、7.98 mg/g)、甘肃黄牛肉平均含有棕榈酸最高为 6.69 mg/g[23-26]。

2.5 青海高原各地区牦牛肉品质主成分分析综合评价

在主成分分析中对牦牛肉品质分析贡献大的 14 个指标性成分蛋白质、脂肪、碳水化合物、谷氨酸、赖氨酸、天门冬氨酸、钾、镁、钠、锌、铁、油酸、硬脂酸、棕榈酸为评判指标,以特征值 $\lambda>1$ 的方差贡献率确定最优的主成分数,结果见表 9 所示,前 4 个主成分累积方差贡献率达到 100.000%,能有效地解释牦牛肉品质的总变异。因此提取特征值 $\lambda>1$ 的前 4 个主成分代替上述 14 个关键指标性成分对青海高原不同地区牦牛肉品质进行评价与判断。

表 9 牦牛肉品质评价因子的特征值和累积方差贡献率

Table 9 Eigen value and accumulative contribution rate of quality evaluation of yak meat

主成分	初始特征值			提取载荷平方和		
	总计	方差贡献率/%	累计方差贡献率/%	总计	方差贡献率/%	累计方差贡献率/%
1	7.731	55.218	55.218	7.731	55.218	55.218
2	3.111	22.221	77.438	3.111	22.221	77.438
3	1.919	13.706	91.144	1.919	13.706	91.144
4	1.240	8.856	100.000	1.240	8.856	10.000

表 10 是牦牛肉 14 个指标性成分的主成分载荷矩阵,该矩阵反映了品质指标对主成分负荷的相对大小和作用方向。由表 10 可知:在第 1 主成分中,蛋白质、脂肪、谷氨酸、天门冬氨酸、钾、镁、油酸具有较大的正系数值,赖氨酸、钠具有较大的负系数值,所以第 1 主成分主要反映上述 9 个指标性成分的品质特性;在第 2 主成分中,碳水化合物、锌、硬脂酸为载荷较高且符号为正的品质指标,所以第 2 主成分主要反映这 3 个指标性成分的品质特性;在第 3 主成分中,棕榈酸为载荷较高且符号为正的品质指标,所以第 3 主成分主要反映了棕榈酸的品质特性;在第 4 主成分中,由于不存在载荷较高的品质指标,所以第 4 主成分没有所要反映的品质特性。

用表 10 中各指标变量的主成分载荷除以特征值的平方根,得到 4 个主成分中每个指标对应的特征向量,但由于第 4 主成分没有所要反映的品质特性,所以以每个品质指标的相关矩阵的特征向量为权重只构建前 3 个主成分的函数表达式,如下:

$$Y_1 = 0.334X_1 + 0.268X_2 - 0.171X_3 + 0.352X_4 - 0.259X_5 + 0.354X_6 + 0.288X_7 + 0.275X_8 - 0.337X_9 + 0.113X_{10} - 0.185X_{11} + 0.341X_{12} - 0.065X_{13} + 0.175X_{14}$$

$$Y_2 = 0.118X_1 + 0.351X_2 + 0.484X_3 + 0.063X_4 + 0.240X_5 + 0.093X_6 + 0.223X_7 - 0.115X_8 + 0.142X_9 + 0.393X_{10} + 0.258X_{11} + 0.002X_{12} + 0.502X_{13} + 0.035X_{14}$$

$$Y_3 = -0.223X_1 + 0.173X_2 - 0.152X_3 + 0.120X_4 + 0.306X_5 + 0.022X_6 - 0.204X_7 + 0.262X_8 + 0.020X_9 - 0.467X_{10} + 0.344X_{11} + 0.194X_{12} + 0.211X_{13} + 0.509X_{14}$$

将上述第 1、2、3 主成分的方差贡献率 α_1(55.218%)、α_2(22.221%)、α_3(13.706%)作为权数,计算主成分综合评价模型:

$F=\alpha_1Y_1+\alpha_2Y_2+\alpha_3Y_3$,即 $F=0.552\ 18Y_1+0.222\ 21Y_2+0.137\ 06Y_3$

根据主成分综合评价模型计算出青海高原不同地区牦牛肉的综合得分,见表 11。结果显示,主要反映第 1 主成分和第 3 主成分中排名前两位的牦牛肉分别来自海西州天峻县龙门乡和海北州刚察县沙柳河镇;主要反映第 2 主成分中排名前两位的牦牛肉分别来自海北州祁连县八宝镇和西宁市大通县宝库乡;综合评价总排名前两位的牦牛肉分别来自海西州天峻县龙门乡和海北州刚察县沙柳河镇。

表 10　主成分在各品质指标上的因子载荷矩阵

Table 10　Component matrix of the principal components on quality indicators

品质指标	主成分			
	1	2	3	4
蛋白质	0.928	0.209	−0.309	−0.020
脂肪	0.746	0.619	0.240	−0.049
碳水化合物	−0.475	0.854	−0.210	−0.036
谷氨酸	0.980	0.112	0.166	−0.017
赖氨酸	−0.720	0.423	0.424	0.351
天门冬氨酸	0.984	0.164	0.030	0.067
钾	0.801	0.394	−0.283	0.350
镁	0.765	−0.203	0.363	0.492
钠	−0.938	0.251	0.028	−0.238
锌	0.315	0.694	−0.647	−0.018
铁	−0.515	0.455	0.477	0.548
油酸	0.949	0.004	0.269	−0.164
硬脂酸	−0.180	0.886	0.292	−0.311
棕榈酸	0.487	0.061	0.705	−0.512

表 11　不同地区牦牛肉品质综合评价结果

Table 11　Comprehensive evaluation results of for yak meat quality from different regions

编号	地区	Y_1	排名	Y_2	排名	Y_3	排名	F	总排名
1	西宁市大通县宝库乡	−113.71	4	81.14	2	62.82	5	−36.15	4
2	海北州祁连县八宝镇	−128.54	5	89.65	1	66.79	3	−41.90	5
3	海北州刚察县沙柳河镇	−95.59	2	76.02	4	68.47	2	−26.51	2
4	海西州天峻县龙门乡	−68.80	1	63.91	5	72.50	1	−13.85	1
5	果洛州甘德县上贡麻乡	−98.86	3	78.83	3	63.31	4	−28.39	3

3 讨　论

通过主成分分析筛选出对牦牛肉品质分析贡献大的指标成分，对青海高原不同地区牦牛肉的相同部位、同一地区牦牛肉的 3 个不同部位之间的质量分数差异进行多重比较，同时又将青海高原地区与外省份其他地区牦牛肉之间以及牦牛肉与其他品种牛肉之间的关键性指标成分的质量分数差异进行比较。结果表明牦牛肉指标性营养成分含量存在差异，但均具有高蛋白质、低脂肪、营养丰富的特点，氨基酸总和、必需氨基酸总和、鲜味氨基酸总和均高于黄牛。牦牛肉营养成分与当地海拔高度呈现正相关趋势与放牧饲养管理有关。研究最后还对牦牛肉品质贡献大的指标性成分进行综合评价，评选出牦牛肉品质较佳的地区。

3.1　青海高原不同地区内牦牛肉比较

除了碳水化合物、Na、Fe、棕榈酸质量分数以及果洛州甘德县上贡麻乡牦牛肉中氨基酸、脂肪酸质量分数不符合规律外，其余各地区牦牛肉的各营养指标性成分均随海拔高度（从平均海拔 3 169 m 的海北州祁连县八宝镇到平均海拔 4 020 m 的果洛州甘德县上贡麻乡）的增加有增加的趋势。青海高原的绝大多数地区的牦牛仅靠天然草地牧草，获取它维持生命、生长发育和繁殖等所需的营养。即使在冬春冷季，天然草地牧草枯萎、饲草缺乏的情况下，除少数体弱的幼龄牦牛和母牦牛补给少量的干草或青贮牧草外，其余一律不给补饲，所以牦牛肉营养成分受饲料影响很小。营养成分总趋势与当地海拔高度呈现正相关趋势主要与放牧饲养管理有关。采集肉样的时候正值秋季，秋季是草结籽、牦牛肉抓油膘的季节。每天放牧饲养牦牛均在 13 小时以上，主要是使牦牛多吃草、吃好草。而同一牧草植物种子在高海拔生境中含有相对较高的脂肪、可溶性糖等营养成分，淀粉含量在高低海拔两个生境中的

含量变化不明显,蛋白质含量则在低海拔生境中含量相对较高。随着海拔的升高,温度降低,植物种子中储藏了更多的营养成分,为种子萌发和幼苗的初始生长提供足够的能量以抵御严寒的环境。因此,更高海拔地区的牦牛进食含有更多营养和能量的牧草从而获取的营养成分也就更多。

3.2 青海高原地区与外省份其他地区牦牛肉比较

除了氨基酸、Na 质量分数差异不大以及新疆巴州牦牛肉中脂肪酸质量分数不符合规律外,平均海拔高于 3 000 m 的地区(西藏林芝地区 3 100 m、云南省迪庆州 3 300 m、青海高原地区 3 500 m)、平均海拔高度在 2 700 m 左右的地区 (甘肃省张掖市肃南县 2 300 m、甘肃省甘南州合作市 2 800 m、四川省九龙县 2 900 m) 以及平均海拔接近 2 000 m 的新疆巴州这些地区牦牛肉的其他各营养指标性成分质量分数依次呈现递减的趋势。同理,营养成分总趋势与当地海拔高度的正相关趋势主要与放牧饲养管理有关。低海拔地区的牦牛进食营养成分和能量较低的牧草获取的营养成分也就相对越少。

3.3 牦牛肉与其他品种牛肉比较

除了天门冬氨酸、K、Mg、Fe、硬脂酸、棕榈酸质量分数不符合规律外, 海拔高度为 3 500 m 的青海高原地区牦牛肉的其他指标性成分质量分数高于甘肃省武威市天祝县(平均海拔 3 000 m)的白牦牛和黄牛以及西藏林芝地区(平均海拔 3 100 m)的鲁西黄牛和犏牛;除了脂肪、天门冬氨酸、Mg、脂肪酸质量分数不符合规律外,青海高原地区(平均海拔 3 500 m)黄牛和西藏林芝地区(平均海拔 3 100 m)的鲁西黄牛的其他指标性成分质量分数高于甘肃省武威市天祝县(平均海拔 3 000 m)的黄牛;除了 Zn、Fe 质量分数不符合规律外, 平均海拔高度为 3 100 m 的西藏林芝地区犏牛肉的其他指标性成分质量分数与甘肃省武威市天祝县(平均海拔 3 000 m)的黄牛差异不大。

牦牛是在青藏高原高海拔、空气稀薄、少氧、气候严寒、饲草匮乏等严酷生境下漫长的进化过程中,形成了适应特殊生境的、具有特色的生活行为模式; 白牦牛主产于甘肃省武威市天祝藏族自治县,平均海拔在 3 000 m 左右,缺氧,气候寒冷且温度变化剧烈,日照强。枯草期和冰封期长达半年左右,年平均气温在–1 ℃左右;鲁西黄牛和犏牛(牦牛与黄牛杂交牛), 它们都生活的林芝地区具有特殊的热带湿润和半湿润气候,年降雨量 650 mm 左右,年均温度 8.7 ℃,年平均日照时长 2 022.2 h,牧草势必生长茂盛;黄牛是长期繁衍在甘肃最西端的蒙古牛类型的役用地方品种,适应能力强,放牧性能好。因此,不符合海拔高度相关性规律与上述不同品种牛的生活行为模式、牧草的生长情况、进食饲喂情况、半野生放牧环境等因素有关,从而影响牦牛的生长发育及机体代谢,进而对其肉的品质产生一定影响[31-34]。

3.4 青海高原各地区牦牛肉品质主成分分析综合评价

根据主成分综合评价模型得出青海高原不同地区牦牛肉的综合得分显示:蛋白质、脂肪、谷氨酸、天门冬氨酸、赖氨酸、钾、镁、钠、油酸、棕榈酸这 10 个指标性成分能反映来自海西州天峻县龙门乡和海北州刚察县沙柳河镇的牦牛肉的品质特性;碳水化合物、锌、硬脂酸这 3 个指标性成分能反映来自海北州祁连县八宝镇和西宁市大通县宝库乡的牦牛肉的品质特性;最终综合评价分别来自海西州天峻县龙门乡和海北州刚察县沙柳河镇的牦牛肉品质更佳。采样是在 2018 年 9 月份,在整个青海省牧草生长季内(4—9 月)平均气温偏高、降水偏多、日照时数略少,水分充足,热量适宜,全省牧草气候年景综合评定为“丰年”。而青海境内各地的气候因素(主要包括气温、降水量和日照时长等)对典型草原牧草的影响至关重要。

4 结 语

1)青海高原各地区牦牛 3 部分肌肉中蛋白质平均质量分数大于 20 g/μg,脂肪平均质量分数较低在 3.0 g/hg 左右, 碳水化合物平均质量分数小于 10 g/hg(以干质量计),氨基酸种类丰富,符合 FAO/WHO 规定的优质蛋白标准,K、Na、Mg、Ca、Zn、Fe 元素丰富,5 种重金属元素依据食品中污染物限量的规定均未超标,脂肪酸种类丰富。

2)指标性营养成分质量分数存在差异,总趋势与当地海拔高度呈现正相关趋势与放牧饲养管理有关。青海高原不同地区牦牛肉中大多数指标性营养成分之间从海北州祁连县八宝镇(平均海拔 3 169 m)到果洛州甘德县上贡麻乡(平均海拔 4 020 m)的海拔增加有增加的趋势。青海与外省份其他地区牦牛肉的营养成分的比较发现:从海拔高

度接近 2 000 m、2 700 m 左右到大于 3 000 m 的地区牦牛肉的主要指标性成分质量分数呈现增加的趋势。青海高原地区黄牛和西藏林芝地区的鲁西黄牛的大多数指标性成分质量分数高于甘肃省武威市天祝县的黄牛;西藏林芝地区犏牛肉的大多数指标性成分质量分数与甘肃省武威市天祝县的黄牛差异不大。对于不符合规律的情况可能与牦牛的生活习性、牧草的生长情况、进食情况、半野生放牧环境等因素有关。

3)主要反映蛋白质、脂肪、谷氨酸、天门冬氨酸、钾、镁、油酸和棕榈酸中排名前两位的牦牛肉分别来自海西州天峻县龙门乡和海北州刚察县沙柳河镇;主要反映碳水化合物、锌和硬脂酸中排名前两位的牦牛肉分别来自海北州祁连县八宝镇和西宁市大通县宝库乡;综合评价分别来自海西州天峻县龙门乡和海北州刚察县沙柳河镇的牦牛肉品质更佳。

适宜饲养牦牛并产业化的地区,能够提高牦牛肉的优良品质,满足人们对营养价值更高、更均衡的牦牛肉的需求,促进地方经济的发展。

参考文献:

[1] 王喜群,王明金. 牦牛肉营养成分分析与研究[J]. 肉类研究,2006,20(5):24-26.
[2] 刘亚娜. 牦牛肉营养特性及其影响因素研究[D]. 兰州:甘肃农业大学,2016:10-11.
[3] 项洋,郝力壮,牛建章,等. 稳定性碳、氮、氢同位素在牦牛产地区分中的应用[J]. 食品科学,2015,36(12):191-195.
[4] 何江红,卢一,肖岚,等. 牦牛肉及其副产物的研制与开发现状[J]. 四川旅游学院学报,2010,(6):16-18.
[5] 闫晓晶,雷元华,谢鹏,等. 牦牛肉干制品加工研究进展[J]. 肉类研究,2019,33(3):67-71.
[6] 杨昌福,柏雪高,彦华,等. 全放牧与舍饲育肥对牦牛肉品质及安全性的影响[J]. 畜牧与兽医,2019,51(1):23-28.
[7] 袁乙平,李靖,马嫄,等. 低场核磁结合理化指标分析低温贮藏真空包装牦牛肉的品质[J]. 食品工业科技,2019,40(6):31-36.
[8] 谢凤莲,孙万成,罗毅皓. 牦牛肉品质相关的去饱和脂肪酶 1 基因表达差异分析[J]. 食品研究与开发,2019,40(5):1-5.
[9] 张筱蕾,唐善虎,李思宁,等. 天然复合保鲜剂对冷却牦牛肉品质的影响[J]. 四川畜牧兽医,2017,(12):21-23.
[10] 高文武,达久. 甘孜州牦牛产业发展现状及对策[J]. 中国畜牧兽医文摘,2018,34(1):42.
[11] 杨合琴,易军,王淮,等. 金川牦牛产业现状及对策[J]. 草学,2017(6):79-80.
[12] 李红波,张金山,闫向民,等. 新疆巴音郭楞蒙古自治州牦牛产业调研报告[J]. 中国牛业科学,2017,43(5):65-68.
[13] 曾钰,彭忠利,高彦华,等. 性别对舍饲牦牛生长性能、养分表观消化率和屠宰性能的影响[J]. 动物营养学报,2019,31(3):1171-1178.
[14] 李思宁,唐善虎. 生产类群、性别及包装方式对冷藏牦牛肉肌浆蛋白氧化的影响[J]. 食品科学,2019,40(7):219-227.
[15] 牛珺. 牦牛胴体产量和质量等级评定研究[D]. 兰州:甘肃农业大学,2017.
[16] 贾青,陈骋,韩玲,等. 宰后成熟时间对不同部位牦牛肉细胞内环境变化的影响[J]. 现代食品科技,2016,32(9):41-46,153.
[17] 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.
[18] 赵洪文,谢荣清,安添午,等. 金川牦牛肉品质分析[J]. 黑龙江畜牧兽医,2018,(19):197-200.
[19] 侯成立,李欣,王振宇,等. 不同部位牦牛肉氨基酸、脂肪酸含量分析与营养价值评价[J]. 肉类研究,2019,33(2):52-57.
[20] 董瑗榕,苗建军,彭忠利,等. 年龄对舍饲育肥牦牛肉营养价值和抗氧化活性的影响[J]. 食品科学,2019,40(19):77-82.
[21] 石红梅,李鹏霞,丁考仁青,等. 甘南去势牦牛和公牦牛肉用品质和营养品质对比分析[J]. 中国牛业科学,2018,44(1):14-19.
[22] 谢荣清,罗光荣,杨平贵,等. 不同年龄牦牛肉肉质测试与分析[J]. 中国草食动物,2006,26(2):58-60.
[23] 赵洪文,毛进彬,阿农呷,等. 昌台牦牛肉营养及品质分析[J]. 湖北农业科学,2017,56(16):3117-3120.
[24] 田甲春,余群力,保善科,等. 不同地方类群牦牛肉营养成分分析[J]. 营养学报,2011,33(5):531-533.
[25] 张群英,郝力壮,刘书杰,等. 不同地区成年牦牛肉营养成分比较[J]. 食品工业科技,2018,39(1):302-307.
[26] 罗章,孙术国,杨林,等. 西藏种萨牦牛肉营养成分分析[J]. 食品研究与开发,2015,36(23):5-9.
[27] 席斌,王莉蓉,郭天芬,等. 大通牦牛肉与高原牦牛肉营养品质比较分析[J]. 黑龙江畜牧兽医,2018(23):198-201.

[28] 张群英,郝力壮,刘书杰,等. 河南县和刚察县生长期牦牛肉营养成分分析[J]. 食品研究与开发,2018,39(6):1-6.
[29] 闫忠心,靳义超,李升升. 青藏高原牧区风干牦牛肉的营养品质分析[J]. 青海畜牧兽医杂志,2017,47(1):8,20-23.
[30] 朱喜艳. 青海牦牛肉与日本牛肉中矿物元素含量的对比分析[J]. 黑龙江畜牧兽医,2010(16):33-34.
[31] 中华人民共和国卫生部. 食品安全国家标准 预包装食品营养标签通则:GB 28050-2011[S]. 北京:中国标准出版社,2011.
[32] FAO/WHO. FAO Nutrition Meeting Report Series on Energy and Protein Requirements[C]. Roma:FAO,1973.
[33] LU S D,WU Y S,SONG Y Z,et al. Multivariate analysis based on GC-MS fingerprint and volatile composition for the quality evaluation of Pu-erh green tea[J]. **Food Analytical Methods**,2015,8(2):321-333.
[34] HUFF-LONERGAN B,PARRISH F C,ROBSON R M. Effects of postmortem aging time,animal age and sex on degradation of titin and nebulin in bovine longissimus muscle[J]. **Journal of Animal Science**,1995,73(4):1064-1073.

科　技　信　息

理化所等在食品定容冷冻研究方面取得进展

低温保存是一种减少全球食品损失的有效方法,在应对食品浪费和安全方面具有重要作用。然而,目前的全球冷链运作成本高昂,根据估计,仅食品冷藏产业所消耗的电量就占全球年用电量的4%,相当于排放6.54×10^8 t的二氧化碳,带来直接经济成本约1 200亿美元。为了满足全球人口不断增长带来的对冷藏食品的巨大需求,需要对食品冷冻冷藏方法进行创新,以降低冷冻冷藏设备带来的碳排放和经济成本。传统的食品冷冻是在"定压"(常压)条件下进行的,除了能耗较高外,当温度降到0 ℃以下时,食品会发生全部冻结,不可避免地会生成冰晶对组织产生破坏,降低食品品质。

近日,中国科学院理化技术研究所研究员王俊杰团队与美国加州大学伯克利分校合作,通过利用新型低温冷冻方法——"定容"冷冻(Isochoric Freezing)保存食品。"定容"冷冻保存是利用定容腔体内冰膨胀所产生的压力,降低食品的凝固点温度;定容过程中,食品始终以过冷态保存,不存在冰晶损伤。另外,该研究通过定量比较定压冷冻、超高压冷冻和定容冷冻等不同冷冻冷藏方法的能耗,发现定容冷冻保存过程中食品本身不存在相变,可以有效降低设备运行能耗,减少碳排放。

[信息来源]中国科学院理化技术研究所在食品定容冷冻研究方面取得进展
[EB/OL]. (2021-10-12). https://www.cas.cn/syky/202110/t20211012_4808751.shtml