

# 牦牛肉品质特性研究进展

刘晓畅<sup>1</sup>, 张 寿<sup>2</sup>, 孙宝忠<sup>1</sup>, 谢 鹏<sup>1</sup>, 徐晨晨<sup>1</sup>, 雷元华<sup>1</sup>, 张松山<sup>1,\*</sup>, 参木友<sup>3</sup>, 鲍宇红<sup>3</sup>  
(1.中国农业科学院北京畜牧兽医研究所, 北京 100193; 2.青海大学农牧学院, 青海 西宁 810016;  
3.西藏自治区农牧科学院草业科学研究所, 西藏 拉萨 850000)

**摘 要:** 牦牛肉是我国青藏高原的重要畜牧产品之一, 在当地居民的膳食及高原地区的经济发展中占据重要地位。了解牦牛肉的肉质特性对于牦牛肉的精深加工和牦牛资源的合理开发有重要意义。本文综合近几年国内外相关研究, 从营养品质、食用品质和加工品质3个方面对牦牛肉的品质特性进行概述和分析, 以期对牦牛肉的品质改善和产品开发提供参考和思路。牦牛肉营养价值高、绿色无污染、市场潜力大, 但嫩度较差, 今后需借助适当饲养方式和宰后处理方式对其嫩度进行改善。

**关键词:** 牦牛肉; 营养品质; 食用品质; 加工品质

## Progress in Understanding Quality Characteristics of Yak Meat

LIU Xiaochang<sup>1</sup>, ZHANG Shou<sup>2</sup>, SUN Baozhong<sup>1</sup>, XIE Peng<sup>1</sup>, XU Chenchen<sup>1</sup>, LEI Yuanhua<sup>1</sup>,  
ZHANG Songshan<sup>1,\*</sup>, CAN MUYOU<sup>3</sup>, BAO Yuhong<sup>3</sup>

(1.Institute of Animal Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China;

2.College of Agriculture and Animal Husbandry, Qinghai University, Xining 810016, China;

3.Institute of Grassland Science, Tibet Academy of Agricultural and Animal Husbandry Sciences, Lhasa 850000, China)

**Abstract:** Yak meat is one of the important livestock products in Qinghai-Tibet Plateau, China, which plays an important role in the diet of local residents and the economic development of the plateau region. Understanding the quality characteristics of yak meat is of great significance for deep processing of yak meat and rational exploitation of yak resources. In this paper, the nutritional, eating and processing qualities of yak meat are reviewed and analyzed based on recent studies in order to provide reference and research ideas for improving yak meat quality and developing yak meat products. Yak meat has high nutritional value as a green and pollution-free food with great market potential despite being deficient in tenderness. In the future, appropriate feeding regimens and post-slaughter treatments should be applied to improve yak meat tenderness.

**Keywords:** yak meat; nutritional quality; eating quality; processing quality

DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20200917-230

中图分类号: TS251.1

文献标志码: A

文章编号: 1001-8123 (2020) 11-0078-06

引文格式:

刘晓畅, 张寿, 孙宝忠, 等. 牦牛肉品质特性研究进展[J]. 肉类研究, 2020, 34(11): 78-83. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20200917-230. <http://www.rlyj.net.cn>

LIU Xiaochang, ZHANG Shou, SUN Baozhong, et al. Progress in understanding quality characteristics of yak meat[J]. Meat Research, 2020, 34(11): 78-83. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20200917-230. <http://www.rlyj.net.cn>

牦牛 (*Bos grunniens*) 是青藏高原及其毗邻高山、亚高山地区的特有牛种, 适应严寒、缺氧等恶劣环境, 是高原地区人民长期驯养的主要畜种资源之一。我国牦

牛资源丰富, 牦牛数量占世界总数的95%以上<sup>[1]</sup>。2017年末, 我国牦牛存栏数为13 464 703头, 集中分布在青海、西藏、四川、甘肃、新疆和云南等地, 少量分布于

收稿日期: 2020-09-17

基金项目: 省部共建青稞和牦牛种质资源与遗传改良国家重点实验室开放课题项目 (XZNKY-2019-C-007K07);

柴达木肉牛产业发展关键技术研究与示范项目 (2018-NK-107);

国家现代农业 (肉牛牦牛) 产业技术体系建设专项 (CARS-37)

第一作者简介: 刘晓畅 (1990—) (ORCID: 0000-0001-6192-5312), 女, 助理研究员, 博士, 研究方向为畜产品质量与安全。

E-mail: lxc\_cau@163.com

\*通信作者简介: 张松山 (1981—) (ORCID: 0000-0003-1951-0572), 男, 助理研究员, 博士, 研究方向为畜产品质量与安全。

E-mail: zhangsongshan\_1997@163.com

河北省北部山区<sup>[2]</sup>。各地区牦牛在体态结构、外貌特征等方面存在一定差异,形成了独具特色的地方品种,其中15个地方品种收录于《国家畜禽遗传资源品种名录》(表1)。我国另有2个牦牛培育品种,已通过国家畜禽新品种审定,分别是大通牦牛和阿什旦牦牛。

表1 中国牦牛地方品种分布情况  
Table 1 Distribution of local yak breeds in China

地区	2017年末存栏数/头 <sup>[2]</sup>	主要品种
青海	4 563 498	青海高原牦牛、环湖牦牛、雪多牦牛
西藏	3 723 510	斯布牦牛、西藏高山牦牛、娘亚牦牛、帕里牦牛、类乌齐牦牛、斯布牦牛
四川	3 692 931	九龙牦牛、麦洼牦牛、木里牦牛、昌台牦牛、金川牦牛
甘肃	1 226 278	天祝白牦牛、甘南牦牛
新疆	171 323	巴州牦牛
云南	84 263	中甸牦牛
河北	2 900	

牦牛以天然牧草为食,生活在无污染环境中,因此牦牛肉被视为一种天然绿色食品,符合当代人对绿色健康食品的需求。为适应高海拔低氧环境,牦牛机体结构和生理生化反应均发生适应性变化,如糖酵解相关基因表达量上调、糖酵解相关酶活性增加、血红蛋白和肌红蛋白含量增加等<sup>[3-6]</sup>,这些结构和生理生化特征对牦牛宰后的肉质特性也具有一定影响。前期已有学者对牦牛肉的品质特性进行了综述和大量研究,尤其是近年来关于牦牛肉的研究不断深入,研究手段逐渐升级,对牦牛肉的品质特性也随之有了更新、更全面和更深入的认识,但目前缺乏对这些较新研究成果的综述。本文综合近年相关研究,总结分析牦牛肉的营养、食用和加工品质,并与其他品种牛肉进行比较,归纳牦牛肉品质的特殊性,以期对牦牛肉的品质改善和精深加工提供参考。

## 1 牦牛肉的营养品质

### 1.1 牦牛肉的蛋白质和脂肪含量

牦牛肉的蛋白质含量为21.6%左右,肌内脂肪含量为1.6%~4.7%<sup>[7]</sup>。肌内脂肪含量对肉的多汁性、嫩度、风味均有影响。牦牛肉的脂肪含量较同龄的其他品种牛偏低,这主要是由于牦牛以牧草为食,而高原牧草在冬春季短缺,无法满足牦牛的营养和能量需求,造成肉中脂肪沉积较少。牦牛品种、产地、年龄、性别、饲养管理方式和肌肉部位对蛋白质和脂肪含量均有一定影响(表2)。一般而言,牦牛年龄越小,肉中脂肪含量越低;运动量较少的部位肉中脂肪含量较高;母牦牛肉中脂肪含量高于相同部位的公牦牛肉<sup>[8-12]</sup>。

表2 牦牛肉的化学组成  
Table 2 Chemical composition of yak meat

品种	年龄	性别	饲养方式	肌肉部位	粗蛋白质含量/%	粗脂肪含量/%	水分含量/%	参考文献
大通牦牛	6月龄				22.95±0.16 <sup>a</sup>	1.00±0.15 <sup>c</sup>		
大通牦牛	4岁龄				22.67±0.28 <sup>a</sup>	2.25±0.16 <sup>b</sup>		
青南牦牛	4岁龄	-	-	背最长肌	23.04±1.44 <sup>a</sup>	2.21±0.09 <sup>b</sup>	-	[8]
环湖牦牛	4岁龄				23.98±0.44 <sup>a</sup>	2.23±0.14 <sup>b</sup>		
秦川牛	4岁龄				22.35±0.05 <sup>a</sup>	2.54±0.25 <sup>a</sup>		
甘南牦牛	4岁龄	公	-	背最长肌	24.53±0.66 <sup>a</sup>	1.60±0.33 <sup>b</sup>	-	[13]
西门塔尔牛	4岁龄	公	-	背最长肌	22.48±1.26 <sup>b</sup>	2.07±0.75 <sup>a</sup>		
雪多牦牛	5岁龄	公	放牧	背最长肌	22.35±0.81 <sup>a</sup>	2.04±0.14 <sup>b</sup>	74.87±1.80 <sup>a</sup>	[9]
		母	放牧	背最长肌	22.25±0.91 <sup>a</sup>	2.39±0.17 <sup>a</sup>	70.43±1.55 <sup>b</sup>	
			舍饲	背最长肌	18.68±0.46 <sup>a</sup>	2.13±0.15 <sup>a</sup>	74.77±0.40 <sup>b</sup>	[14]
麦洼牦牛	3岁龄	公	放牧	背最长肌	19.37±0.91 <sup>a</sup>	0.47±0.21 <sup>b</sup>	76.07±0.64 <sup>a</sup>	
				牛腩	18.73±0.66 <sup>ab</sup>	3.70±0.11 <sup>a</sup>	77.02±2.62 <sup>bc</sup>	
				霖肉	19.77±1.20 <sup>a</sup>	1.85±0.02 <sup>a</sup>	76.86±2.56 <sup>bc</sup>	
				臀肉	17.44±2.84 <sup>b</sup>	2.94±0.01 <sup>b</sup>	79.31±0.64 <sup>a</sup>	[15]
高原牦牛	6岁龄	母	-	肩肉	19.15±1.45 <sup>ab</sup>	2.59±0.08 <sup>ab</sup>	77.72±0.90 <sup>b</sup>	
				大黄瓜条	19.79±0.89 <sup>a</sup>	2.20±0.12 <sup>b</sup>	75.93±1.07 <sup>a</sup>	
				牛腱	19.51±0.11 <sup>ab</sup>	3.03±0.14 <sup>a</sup>	77.02±0.83 <sup>bc</sup>	

注: 同列小写字母不同,表示同一研究中差异显著( $P<0.05$ ); - 未说明。

### 1.2 牦牛肉的氨基酸组成

氨基酸是蛋白质的基本组成单位,其组成决定了蛋白质的营养价值。牦牛肉中氨基酸种类齐全,含有赖氨酸、色氨酸、苯丙氨酸等8种人体必需氨基酸以及谷氨酸、丙氨酸、甘氨酸等人体非必需氨基酸,其中必需氨基酸占总氨基酸含量的35%以上,且多数必需氨基酸评分接近联合国粮农组织/世界卫生组织推荐的氨基酸模式<sup>[8,16-17]</sup>,因此牦牛肉是一种优质蛋白来源。已有研究表明,不同部位牦牛肉的氨基酸组成可能存在差异。侯成立等<sup>[11]</sup>对西藏那曲地区牦牛肉进行研究发现,上脑和腹肉中必需氨基酸含量显著低于外脊。在九龙牦牛的不同部位肉中,背最长肌中苏氨酸、缬氨酸、异亮氨酸、苯丙氨酸和亮氨酸含量显著高于股二头肌<sup>[18]</sup>。

### 1.3 牦牛肉的脂肪酸组成

脂肪酸分为饱和脂肪酸(saturated fatty acid, SFA)、单不饱和脂肪酸(monounsaturated fatty acids, MUFA)和多不饱和脂肪酸(polyunsaturated fatty acids, PUFA)。部分SFA对人体有潜在生理功能,但人体摄入过多SFA会引起血脂异常,易诱发心血管疾病。 $n-3$ 和 $n-6$ 系列PUFA是人们关注较多的2类PUFA, $n-3$ 系列PUFA包括 $\alpha$ -亚麻酸、二十碳五烯酸(eicosapentaenoic acid, EPA)和二十二碳六烯酸(docosahexaenoic acid, DHA)等, $n-6$ 系列PUFA包括亚油酸、花生四烯酸等。这2类PUFA具有预防心血管疾病、提高机体免疫力、促进视觉和神经系统发育等生理功能<sup>[19]</sup>,但二者的摄入量需均衡,过量摄入 $n-6$  PUFA会抑制 $n-3$  PUFA代谢,导致类二十烷酸代谢产物的累积,增加心血管疾病和其他

慢性病的发生风险<sup>[20]</sup>。健康膳食中PUFA/SFA的推荐比值 $\geq 0.4$ ,  $n-6$  PUFA/ $n-3$  PUFA的推荐比值 $< 4.0$ <sup>[21]</sup>。

牦牛肉中SFA相对含量为45%~50%，以硬脂酸和棕榈酸为主；MUFA相对含量为35%~45%，以油酸和棕榈油酸为主；PUFA相对含量为5%~12%，包含 $\alpha$ -亚麻酸、EPA、DHA、亚油酸、花生四烯酸等<sup>[13,22-26]</sup>。多项研究表明，牦牛肉中的 $n-3$  PUFA相对含量显著高于秦川牛、西门塔尔牛等黄牛品种<sup>[8,13,22]</sup>，且 $n-6$  PUFA/ $n-3$  PUFA比值 $< 4.0$ ， $n-6$  PUFA和 $n-3$  PUFA组成比例合理。Cao Xiukai等<sup>[26]</sup>发现，相比于犏牛和三元杂交牛，牦牛肉中 $n-3$  PUFA含量显著偏高，而 $n-6$  PUFA/ $n-3$  PUFA比值显著偏低。侯丽<sup>[8]</sup>、席斌<sup>[24]</sup>等发现，牦牛肉中脂肪酸组成与年龄有关，大通牦牛肉中 $\alpha$ -亚麻酸、花生四烯酸和EPA等PUFA含量显著高于大通成年牦牛肉。牦牛饲养方式同样对脂肪酸组成有较大影响。杨媛丽等<sup>[27]</sup>比较天然放牧牦牛与舍饲育肥牦牛背最长肌中的脂肪酸组成，发现舍饲育肥牦牛肉中SFA和MUFA相对含量显著升高，而PUFA相对含量显著降低。这可能是由于放牧牦牛的日常以牧草为主，高原地区牧草中含有丰富的PUFA<sup>[28]</sup>，而育肥饲料中PUFA含量较低。Hao Lizhuang等<sup>[29]</sup>向牦牛饲料中添加富含PUFA的油菜籽，发现可以显著提高牦牛肉中 $n-6$  PUFA和 $n-3$  PUFA的相对含量，降低 $n-6$  PUFA/ $n-3$  PUFA比例。

脂肪酸是目前备受消费者关注的食品营养成分。对牦牛进行补饲时，需考虑PUFA这一重要营养成分，科学合理调配饲料组成，以提高和优化牦牛肉中PUFA的含量和组成，满足消费者的需求。尽管牦牛肉PUFA含量较高，但在加工过程如何降低PUFA的氧化和降解程度，最大限度保留PUFA，减少营养损失，是牦牛肉加工中需考虑和解决的重要问题。在加工过程中添加抗氧化剂或降低加热温度是当前控制肉制品中PUFA损失的常用方法。

#### 1.4 牦牛肉的矿物质组成

牦牛肉含有人体所必需的钙、镁、钾、钠、磷等常量元素以及铜、铁、锌、锰等微量元素。田甲春等<sup>[22]</sup>测定甘南、天祝、肃南牦牛肉中矿物元素含量，钾、钙、磷、铁、锌、镁、锰和铜元素含量分别为321.51~358.64、4.45~4.96、236.42~245.40、35.78~38.20、19.58~21.45、33.84~42.33、0.24~0.30、0.26~0.35 mg/100 g，其中铁元素含量远高于黄牛。刘亚娜<sup>[13]</sup>、余群力<sup>[16]</sup>等同样发现牦牛肉中铁元素含量显著高于西门塔尔牛等黄牛品种。这与牦牛肉中具有贮氧作用的肌红蛋白含量较高有关，肌红蛋白中含有铁离子。

## 2 牦牛肉的食用品质和加工品质

### 2.1 牦牛肉的肉色

肉色是影响消费者感官体验的第一要素，直接影响

消费者的购买决策。肉色主要与肌肉中肌红蛋白的状态和含量有关。刚屠宰后的牛肉中，肌红蛋白以还原态形式存在，肌肉呈现紫红色；在空气中暴露一段时间后，肌红蛋白与氧气结合形成氧合肌红蛋白，肌肉呈现鲜红色；若放置时间过长，肌红蛋白和氧合肌红蛋白与氧气结合会形成高铁肌红蛋白，肌肉呈现褐色。肉色褐变会引起牛肉的感官品质下降。牦牛肉中肌红蛋白含量显著高于黄牛肉，因此牦牛肉呈现更深的红色<sup>[30-31]</sup>；但牦牛肉中肌红蛋白的氧化速率较黄牛肉中肌红蛋白更慢<sup>[31-32]</sup>。牦牛肉肌红蛋白的氧化程度因年龄、饲喂方式及肉部位的不同而存在差异。Wen Wenting等<sup>[33]</sup>对不同年龄牦牛肉的研究发现，与0.5~2.5岁牦牛相比，3.5岁牦牛背最长肌中高铁肌红蛋白相对含量显著偏低，过氧化氢酶、超氧化物歧化酶、谷胱甘肽过氧化物酶活性显著偏高；对不同部位肉的研究发现，背最长肌中高铁肌红蛋白相对含量显著低于腰大肌和股二头肌，且背最长肌中过氧化氢酶和超氧化物歧化酶活性和2,2'-联氮双-(3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸)阳离子自由基清除能力显著高于腰大肌和股二头肌。Chen Cheng等<sup>[34]</sup>发现，相较于谷饲牦牛肉，草饲牦牛肉的自由基清除能力和 $Fe^{3+}$ 还原能力更强，高铁肌红蛋白累积速率更慢，肉色相对更稳定。由以上研究结果可知，肉色稳定性与牦牛肉的抗氧化能力和抗氧化酶活性直接相关。了解不同年龄、不同饲喂方式及不同部位牦牛肉的肉色稳定性及相关机理，对于针对性地建立不同牦牛肉产品的护色技术具有重要意义。

### 2.2 牦牛肉的挥发性风味物质

牦牛肉的独特风味与挥发性风味物质直接相关。余群力等<sup>[16]</sup>在白牦牛肉中检出10种特有挥发性化合物，主要为醛类、酯类、醇类和吡嗪类物质，而在黄肉牛中未检出这10种物质。研究表明，牦牛肉中挥发性风味物质和风味特征随年龄增长而发生变化，大通牦牛肉风味以焦香甜型为主，肉香和脂香较为平淡，焦香甜味主要来源于香茅醇、安息香醛、苯乙醛、 $\beta$ -柠檬醇、丁子香酚等挥发性化合物；而大通成年牦牛肉以香味和脂香为主体香型，其香味与苯并噻唑、3-甲硫基丙醛等含硫化合物有关，脂香味与2-丁酮、天竺葵醛、月桂醇、(E,E)-2,4-癸二烯醛有关<sup>[35]</sup>。宰后成熟工艺对牦牛肉风味有改善作用，与成熟前的牦牛肉相比，成熟后的牦牛肉中具有肉香味的含硫化合物和3-羟基-2-丁酮等羰基化合物相对含量增加，但成熟牦牛肉中饲源性风味化合物相对含量降低<sup>[36-37]</sup>。另据报道，一些地区的牦牛肉经加热处理后具有特殊膻味，这可能与异丁酸、丁酸、1-戊烯-3-酮、2,3-戊二酮等物质有关<sup>[38]</sup>。以上对牦牛肉风味特征及相关风味物质的研究为改善牦牛肉加工过程中的风味、开发牦牛肉风味改良剂提供了理论依据。

### 2.3 牦牛肉的pH值

肌肉pH值的变化与宰后肌肉中糖酵解等生化反应有关,影响肉的颜色、系水力和细菌生长速率等。宰后牛肉的初始pH值一般为6~7,随着糖原酵解产生乳酸和ATP降解产生磷酸,肌肉pH值通常下降至极限值5.4~5.6<sup>[7,39]</sup>。宰前肌肉中肌糖原含量对pH值的下降速率和极限值影响较大。过度运动等宰前应激行为会造成肌糖原消耗较多,乳酸产生量减少,极限pH值偏高,线粒体的摄氧功能无法被抑制,导致多数氧气被线粒体摄取,氧合肌红蛋白生成被抑制,肉色发黑,形成黑切肉<sup>[39]</sup>。此外,较高的极限pH值有利于微生物的生长,加速牛肉的腐败进程<sup>[40]</sup>。因此宰前需尽量减少牛的应激反应,以降低糖原消耗量。杨小林等<sup>[41]</sup>发现,与放牧牦牛相比,舍饲牦牛肉的pH值下降更快,且极限pH值更低,这可能是由于补饲牦牛肉中的糖原储量更充足,乳酸生成量更多。此外,不同的宰后处理方式也会影响牦牛肉pH值的下降速率。Lang Yumiao等<sup>[42]</sup>发现,电刺激可以加速糖酵解,从而使牦牛肉pH值的下降速率增加。

### 2.4 牦牛肉的持水力

持水力是反映肉类品质的重要指标之一,影响肉的外观、热加工过程中的熟肉得率及咀嚼时的多汁性等。蒸煮损失率、加压损失率等指标可反映肉的持水力。宰后牛肉的持水力随pH值变化呈现先下降后上升的趋势。这是由于pH值的下降导致蛋白质所带净电荷减少,一方面引起蛋白质与水分子结合力的下降,另一方面造成蛋白质凝聚,容水空间变小,肌肉持水力下降<sup>[40]</sup>。肉的持水力在极限pH值时最差,之后随着pH值上升,持水力增加。郭兆斌等<sup>[43]</sup>分析发现,牦牛肉成熟0、3、7 d时的蒸煮损失率分别为30.46%、42.82%和38.14%,加压损失率分别为13.62%、42.10%和37.46%,表明牦牛肉经充分成熟后,持水力得到极大改善。保善科等<sup>[44]</sup>研究表明,牦牛不同部位肉的持水力存在一定差异,冈上肌、腰大肌、臀股四头肌持水力明显优于背阔肌、半腱肌、半膜肌,这可能与各部位肉的pH值变化程度不同有关。综上,应尽量避免在极限pH值对牦牛肉进行处理加工,且对不同部位、不同持水力牦牛肉加工时,根据肉品持水力的差异可合理选用腌制方法和保水剂,以保证最终产品得率及产品品质。Zuo Huixin等<sup>[45]</sup>提出牦牛肉的持水力主要受2类蛋白质影响,一类是参与糖酵解途径和能量代谢相关的酶,这类蛋白参与糖酵解产生乳酸等过程,进而影响宰后肌肉pH值的下降速率和持水力;另一类是与细胞结构相关的蛋白质,这类蛋白通过调控肌原纤维蛋白和细胞骨架蛋白进而影响肉的持水力。这一理论不仅阐明了牦牛肉的保水机制,同时也说明不同宰前和宰后因素对牦牛肉持水力的作用可能通过影响肌肉蛋白质实现。

### 2.5 牦牛肉的嫩度

肉的嫩度可通过剪切力衡量。Destefanis等<sup>[46]</sup>将剪切力<42.72 N、42.83~52.63 N和>52.72 N的牛肉分别定义为嫩肉、中等嫩度肉和老肉。已有学者<sup>[47-48]</sup>发现,牦牛肉的剪切力显著高于黄牛肉,表明牦牛肉的嫩度较黄牛肉更差。牦牛肉的嫩度受品种、年龄、性别、部位、饲养方式等多种因素影响。年龄因素引起的嫩度下降与牦牛成长过程中肌纤维直径和结缔组织含量的增加有关<sup>[49]</sup>。不同部位肉的嫩度差异主要与肌纤维类型有关,I型肌纤维比例越高,成熟后嫩度越好<sup>[50]</sup>。牦牛背最长肌含有较高比例的I型肌纤维,因此其嫩度显著优于腰大肌和半膜肌<sup>[51]</sup>。杨勤<sup>[41]</sup>、杨小林<sup>[41]</sup>等研究发现,舍饲育肥牦牛肉的嫩度显著高于放牧牦牛,这可能与肌肉脂肪含量的增加有关。此外,成熟、电刺激等宰后处理措施是改善牦牛肉嫩度的有效方法。张丽等<sup>[52]</sup>将牦牛肉在4℃条件下成熟14 d后,剪切力由初始值99.88 N降低至39.89 N。该过程嫩度的变化与肌原纤维小片化、结构弹性网状蛋白含量及内源蛋白酶的降解作用等有关<sup>[7]</sup>。Wan等<sup>[53]</sup>发现,尽管不同年龄牦牛肉的嫩度在成熟前存在显著差异,但经过7 d成熟后不同年龄牦牛肉的嫩度差异性消失。电刺激对牦牛肉嫩度也具有显著改善作用,能够缩短成熟时间,这可能与电刺激破坏肌纤维结构、加速pH值下降速率有关<sup>[42,54]</sup>。嫩度是评判牛肉食用品质的指标之一,牦牛肉较差的嫩度可能会导致消费者满意度降低,在生产中可采用舍饲育肥、成熟、电刺激等方法改善牦牛肉嫩度。

### 2.6 牦牛肉的凝胶特性和乳化特性

肉的乳化特性和凝胶特性对肉糜类制品的稳定性影响极大。乳化特性与产品的出油现象有关,而凝胶特性与产品的质地、保水性及乳化稳定性等密切相关。不同品种、地区牦牛肉的乳化特性和凝胶特性存在差异。侯丽等<sup>[48]</sup>对不同地区牦牛肉的研究表明,青南地区和环湖地区牦牛肉的乳化能力和乳化稳定性显著高于大通牦牛肉,而环湖地区牦牛肉的凝胶强度和弹性显著高于青南地区牦牛肉。赵改名等<sup>[15]</sup>对高原牦牛不同部位肉进行对比,发现牛腱和牛腩的乳化能力显著高于其他部位肉,但乳化稳定性较差;肩肉形成的凝胶质量高于其他部位肉。因此在牦牛肉糜类制品的加工中,需综合考虑各部位肉的乳化特性和凝胶特性,选择合适的部位肉作为加工原料。但整体来看,对牦牛肉凝胶特性和乳化特性仍缺乏系统和深入研究,相关工作有待开展。

## 3 结语

就营养品质来说,牦牛肉营养价值丰富,属于高蛋白低脂肪类食品,富含人体必需的氨基酸和PUFA,且

*n*-6 PUFA和*n*-3 PUFA组成比例合理。就食用品质和加工品质来说,牦牛肉风味独特,肉色较深,但嫩度较差。今后,可通过调整牦牛饲喂方式(如放牧结合补饲、出栏前适当舍饲育肥)、科学调配饲料组成等方法,增加肌肉脂肪含量以改善肉嫩度,同时在保持现有营养品质的基础上进一步提高PUFA含量,特别是*n*-3 PUFA。此外,宰后成熟、电刺激等处理方式对牦牛肉的风味和嫩度改善有积极作用,这些技术的应用对提升牦牛肉品质、增加其市场竞争力有极大意义。

#### 参考文献:

- [1] 国家畜禽遗传资源委员会. 中国畜禽遗传资源志: 牛志[M]. 北京: 中国农业出版社, 2011: 19-20.
- [2] 中国畜牧兽医年鉴编辑委员会. 中国畜牧兽医年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2018: 198-201.
- [3] QIU Qiang, ZHANG Guojie, MA Tao, et al. The yak genome and adaptation to life at high altitude[J]. *Nature Genetics*, 2012, 44(8): 946-949. DOI:10.1038/ng.2343.
- [4] DING X Z, LIANG C N, GUO X, et al. Physiological insight into the high-altitude adaptations in domesticated yaks (*Bos grunniens*) along the Qinghai-Tibetan Plateau altitudinal gradient[J]. *Livestock Science*, 2014, 162(1): 233-239. DOI:10.1016/j.livsci.2014.01.012.
- [5] GUAN Jiuqiang, LONG Keren, MA Jideng, et al. Comparative analysis of the microRNA transcriptome between yak and cattle provides insight into high-altitude adaptation[J]. *Peer J*, 2017, 5(25): 1-18. DOI:10.7717/peerj.3959.
- [6] WANG Kun, YANG Yongzhi, WANG Lizhong, et al. Different gene expressions between cattle and yak provide insights into high-altitude adaptation[J]. *Animal Genetics*, 2015, 47: 28-35. DOI:10.1111/age.12377.
- [7] 孔保华. 肉品科学与技术[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2018: 17-120.
- [8] 侯丽, 柴沙驼, 刘书杰, 等. 青海牦牛肉与秦川牛肉氨基酸和脂肪酸的比较研究[J]. *肉类研究*, 2013, 27(3): 30-36.
- [9] 马富龙, 马启财, 常永芳, 等. 雪多牦牛公母牛肉品质分析[J]. *中国畜牧杂志*, 2020, 56(1): 164-167. DOI:10.19556/j.0258-7033.20190415-06.
- [10] 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. DOI:10.14088/j.cnki.issn0439-8114.2017.16.030.
- [11] 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. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20190121-016.
- [12] 罗勤贵, 尉腾, 张贤, 等. 西藏牦牛肉营养食用品质[J]. *江苏农业科学*, 2019, 47(11): 225-229. DOI:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.11.051.
- [13] 刘亚娜, 郎玉苗, 包高良, 等. 甘南牦牛肉与中国西门塔尔牛肉营养特性对比分析[J]. *食品工业科技*, 2016, 37(15): 360-364. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2016.15.062.
- [14] 杨勤, 官久强, 柴志欣, 等. 低海拔舍饲对牦牛肌肉品质的影响研究[J]. *草业学报*, 2020, 29(5): 33-42. DOI:10.11686/cyxb2019451.
- [15] 赵改名, 王可, 祝超智, 等. 青海高原型牦牛不同部位肉的品质差异研究[J]. *食品研究与开发*, 2020, 41(13): 60-65. DOI:10.12161/j.issn.1005-6521.2020.13.010.
- [16] 余群力, 蒋玉梅, 王存堂, 等. 白牦牛肉成分分析及评价[J]. *中国食品学报*, 2005, 5(4): 124-127. DOI:10.16429/j.1009-7848.2005.04.030.
- [17] 王琳琳, 陈炼红. 麦洼牦牛肉和高山牦牛肉品质差异性的比较分析[J]. *西南民族大学学报(自然科学版)*, 2019, 45(5): 449-457. DOI:10.11920/xnmdzk.2019.05.002.
- [18] ZHU C, PETRACCI M, LI C, et al. An Untargeted metabolomics investigation of Jiulong yak (*Bos grunniens*) meat by <sup>1</sup>H-NMR[J]. *Foods*, 2020, 9(4): 481. DOI:10.3390/foods9040481.
- [19] 王雪青, 苗惠, 胡萍. 膳食中多不饱和脂肪酸营养与生理功能的研究进展[J]. *食品科学*, 2004, 25(11): 337-339.
- [20] 马伏英, 智光, 张建红.  $\omega$ -6/ $\omega$ -3脂肪酸平衡对动脉粥样硬化的影响[J]. *中国医刊*, 2005, 40(11): 49-50. DOI:10.3969/j.issn.1008-1070.2005.11.022.
- [21] WOOD J D, RICHARDSON R I, NUTE G R, et al. Effects of fatty acids on meat quality: a review[J]. *Meat Science*, 2003, 66: 21-32. DOI:10.1016/S0309-1740(03)00022-6.
- [22] 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. DOI:10.13325/j.cnki.acta.nutr.sin.2011.05.003.
- [23] 周恒量, 李诚, 刘爱平, 等. 九龙牦牛不同部位肉中脂肪酸组成分析评价[J]. *食品与生物技术学报*, 2017, 36(11): 1225-1231. DOI:10.3969/j.issn.1673-1689.2017.11.015.
- [24] 席斌, 王莉蓉, 郭天芬, 等. 大通牦牛肉与高原牦牛肉营养成分比较分析[J]. *黑龙江畜牧兽医*, 2018, 607(23): 198-201. DOI:10.13881/j.cnki.hljxmsy.2018.01.0572.
- [25] 毛进彬, 毛旭东, 王俊杰, 等. 亚丁牦牛肉品质分析[J]. *营养与饲料*, 2020, 40(3): 31-35. DOI:10.3969/j.issn.2095-3887.2020.03.007.
- [26] CAO Xiukai, CHENG Jie, HUANG Yongzhen, et al. Growth performance and meat quality evaluations in three-way cross cattle developed for the Tibetan Plateau and their molecular understanding by integrative omics analysis[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2019, 67(1): 541-550. DOI:10.1021/acs.jafc.8b05477.
- [27] 杨媛丽, 沙坤, 孙宝忠, 等. 不同养殖模式对牦牛背最长肌挥发性风味物质及脂肪酸组成的影响[J]. *肉类研究*, 2020, 34(4): 46-52. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20200220-047.
- [28] MAO Zhuxin, FU Hua, NAN Zhibiao, et al. Fatty acid content of common vetch (*Vicia sativa* L.) in different regions of Northwest China[J]. *Biochemical Systematics and Ecology*, 2012, 44: 347-351. DOI:10.1016/j.bse.2012.06.021.
- [29] HAO Lizhuang, XIANG Yang, DEGEN A, et al. Adding heat-treated rapeseed to the diet of yak improves growth performance and tenderness and nutritional quality of the meat[J]. *Animal Science Journal*, 2019, 90(9): 1177-1184. DOI:10.1111/asj.13266.
- [30] 郑玉才, 苏永杰, 文勇立, 等. 牦牛肌红蛋白的基因克隆测序、分离纯化、含量及其与乳酸脱氢酶和苹果酸脱氢酶活力的关系[J]. *畜牧兽医学报*, 2007, 38(7): 646-650. DOI:10.3321/j.issn.0366-6964.2007.07.005.
- [31] 杨明, 文勇立, 王建文, 等. 牦牛与黄牛背最长肌和股二头肌宰后色差变化及差异性分析[J]. *食品科学*, 2009, 30(19): 104-108.
- [32] 古松, 陈丹, 陈浩, 等. 牦牛肌红蛋白的cDNA序列测定及其氧化特性的研究[J]. *四川大学学报(自然科学版)*, 2007, 44(4): 902-906. DOI:10.3969/j.issn.0490-6756.2007.04.037.
- [33] WEN Wenting, LUO Xiaolin, XIA Baixue, et al. Post-mortem oxidative stability of three yak (*Bos grunniens*) muscles as influenced by animal age[J]. *Meat Science*, 2015, 105: 121-125. DOI:10.1016/j.meatsci.2015.03.014.
- [34] CHEN Cheng, HAN Ling, YU Qunli, et al. Color stability and antioxidant capacity of yak meat as affected by feeding with pasture or grain[J]. *Canadian Journal of Animal Science*, 2020, 95(2): 189-195. DOI:10.4141/CJAS-2014-129.



- [35] 罗毅皓, 刘书杰. 青海大通牦牛肉氨基酸及风味分析[J]. 食品科技, 2010, 35(2): 106-113. DOI:10.13684/j.cnki.spkj.2010.02.040.
- [36] 李永鹏, 余群力. 宰后成熟过程对牦牛肉中挥发性风味化合物的影响[J]. 食品科学, 2011, 32(5): 1-5.
- [37] 师希雄, 余群力, 田甲春. 牦牛肉成熟过程中主要挥发性成分的变化[J]. 农业机械学报, 2011, 42(11): 144-147. DOI:10.3969/j.issn.1000-1298.2011.11.027.
- [38] 吕玉, 史智佳, 曲超, 等. 气相色谱-嗅闻-质谱联用分析牦牛肉的“膻味”成分[J]. 食品科学, 2014, 35(2): 209-212. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201402040.
- [39] 周光宏. 畜产品加工学[M]. 2版. 北京: 中国农业出版社, 2011: 60-64.
- [40] 王晶, 罗欣, 朱立贤, 等. 不同极限pH值牛肉品质差异及机制的研究进展[J]. 食品科学, 2019, 40(23): 283-288. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20181109-109.
- [41] 杨小林, 陈勇, 朱友军, 等. 舍饲牦牛、犏牛和放牧牦牛屠宰性状、肉质及其营养成分比较[J]. 湖北农业科学, 2019, 58(24): 170-174. DOI:10.14088/j.cnki.issn0439-8114.2019.24.041.
- [42] LANG Yumiao, SHA Kun, ZHANG Rui, et al. Effect of electrical stimulation and hot boning on the eating quality of Gannan yak *Longissimus lumborum*[J]. Meat Science, 2016, 112: 3-8. DOI:10.1016/j.meatsci.2015.10.011.
- [43] 郭兆斌, 余群力, 陈骋, 等. 宰后牦牛肉水分分布变化与持水性性能关系研究[J]. 农业机械学报, 2019, 50(10): 343-351. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2019.10.040.
- [44] 保善科, 张丽, 孔祥颖, 等. 不同部位高原牦牛肉品质评价[J]. 畜牧兽医学报, 2015, 46(3): 388-394. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2019.10.040.
- [45] ZUO Huixin, HAN Ling, YU Qunli, et al. Proteome changes on water-holding capacity of yak *Longissimus lumborum* during postmortem aging[J]. Meat Science, 2016, 121: 409-419. DOI:10.1016/j.meatsci.2016.07.010.
- [46] DESTEFANIS G, BRUGIAPAGLIA A, BARGE M T, et al. Relationship between beef consumer tenderness perception and Warner-Bratzler shear force[J]. Meat Science, 2008, 78(3): 153-156. DOI:10.1016/j.meatsci.2007.05.031.
- [47] 王存堂. 天祝白牦牛肉肉质特性研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2006: 17-18.
- [48] 侯丽, 柴沙驼, 刘书杰, 等. 青海牦牛肉与秦川牛肉食用品质和加工品质的比较研究[J]. 食品科学, 2013, 34(11): 49-52. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201311012.
- [49] 杨博辉, 姚军, 王敏强, 等. 大通牦牛肌肉纤维组织学特性研究[J]. 中国草食动物, 2001, 3(5): 34-35. DOI:10.3969/j.issn.2095-3887.2001.05.014.
- [50] 王莉. 牦牛肉肌纤维类型组成及其代谢酶活力差异对宰后肉嫩度的影响[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2016: 43-44.
- [51] 杨玉莹, 张一敏, 毛衍伟, 等. 不同部位牦牛肉肌纤维特性与肉品质差异[J]. 食品科学, 2019, 40(21): 72-77. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20181025-296.
- [52] 张丽, 王莉, 周玉春, 等. 适宜宰后成熟时间提高牦牛肉品质[J]. 农业工程学报, 2014, 30(15): 325-331. DOI:10.3969/j.issn.1002-6819.2014.15.041.
- [53] WAN H L, ZHANG P L, BROWN M A, et al. Influence of aging days and age at harvest on meat quality of Gannan black yak[J]. Journal of Animal and Veterinary Advances, 2011, 10(9): 1089-1096. DOI:10.3923/javaa.2011.1089.1096.
- [54] 田园, 孙志昶, 余群力, 等. 低压电刺激对牦牛肉宰后成熟过程中嫩度及肌纤维超微结构的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(7): 43-47. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201407009.