

不同部位与性别柴达木牛的品质和加工特性

祝超智¹, 李开元¹, 王 凯¹, 张佳丽¹, 柳艳霞¹, 赵改名^{1*}, 殷满财²

(1.河南农业大学食品科学技术学院, 河南 郑州 450002; 2.大通综合试验站, 青海 西宁 810100)

摘要: 柴达木牛是生长于青海省柴达木盆地边缘地区的牛品种, 其能够较好适应严寒、干旱和高原缺氧等环境, 并且肉质鲜美, 是当地重要的畜牧资源之一。通过调研当地的普遍屠宰年龄与参考其适宜屠宰年龄, 本研究选取较具有代表性的2岁柴达木公牛与6岁柴达木母牛的外脊、臀肉、肩肉、大黄瓜条、霖肉、牛腱和牛腩各7个部位肉样, 从营养品质、加工特性等多项指标进行实验探究。结果表明: 柴达木牛肉不同部位与性别之间存在较大的品质与加工适宜性差异。其中, 不同部位与性别柴达木牛肉的蛋白质含量为14.78%~22.55%, 母牛臀肉(22.55%)与母牛牛霖(21.81%)蛋白质含量最高; 脂肪含量1.08%~2.72%, 母牛比公牛高0.25%左右; 公牛大黄瓜条部位硬度最高(6 148.28 g), 公牛臀肉次之(5 819.53 g), 母牛牛霖(2 110.02 g)与公牛牛腩(2 586.41 g)硬度最低; 公牛大黄瓜条剪切力最高(11.17 kg), 母牛外脊剪切力(5.70 kg)最低; 公牛牛肩(51.37%)与母牛牛肩(45.62%)的蒸煮损失率最高, 母牛臀肉(33.43%)与公牛牛腱(34.19%)的蒸煮损失率最低; 公牛牛霖乳化能力最好(14.56 g/mL), 公牛牛腩乳化能力最差(6.74 g/mL); 公牛牛肩的凝胶保水性最好(84.24%), 公牛臀肉凝胶保水性最差(53.59%); 其他指标, 如pH值、水分含量、色泽、解冻损失率、乳化稳定性等都有较大差异, 决定了不同部位与性别肉类的适宜加工方式不同, 臀肉适宜用作加工肉糜、制肠、蒸煮类的产品, 公牛大黄瓜条适宜加工牛肉干等制品, 牛腩适宜用作速冻调理煎烤类制品, 公牛牛肩适合加工乳化肉糜类产品, 母牛牛肩适宜加工鲜肉煎烤或涮制类制品, 牛腱适宜酱卤类型产品加工。

关键词: 柴达木牛; 不同部位; 不同性别; 品质差异性; 加工适宜性

Quality and Processing Characteristics of Different Beef Cuts from Male and Female Chaidamu Cattle

ZHU Chaozhi¹, LI Kaiyuan¹, WANG Kai¹, ZHANG Jiali¹, LIU Yanxia¹, ZHAO Gaiming^{1*}, YIN Mancai²

(1.College of Food Science and Technology, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China;

2.Datong Comprehensive Experimental Station, Xining 810100, China)

Abstract: Chaidamu cattle are a cattle breed originating from the edge of the Chaidamu Basin in Qinghai Province, which can adapt to severe cold, drought and plateau hypoxia, and their meat is delicious as one of the important local animal husbandry resources. By investigating the general slaughter age and referring to the appropriate slaughtering age, this study selected male and female Chaidamu cattle for slaughter at 2 and 6 years of age, respectively. Seven beef cuts including striploin, rump, shoulder, outside flat, knuckle, tendon and flank were taken from each gender for evaluation of nutritional quality and processing characteristics. The results showed that there were large differences in quality and processing suitability among beef cuts and between genders. The protein content of all beef samples was 14.78%–22.55%, the highest value being observed in cow rump (22.55%) and knuckle (21.81%). The fat content was 1.08%–2.72%, with 0.25 percentage points being observed in cow than bull beef. The hardness of bull outside flat was the highest (6 148.28 g), followed by bull rump (5 819.53 g), and the hardness of cow knuckle (2 110.02 g) and bull flank (2 586.41 g) was the lowest. Shear force was highest in bull outside flat (11.17 kg) and lowest in cow striploin (5.70 kg). Cooking loss was highest in bull shoulder (51.37%) and cow shoulder (45.62%), and lowest in cow rump (33.43%) and bull tendon (34.19%). The highest and lowest emulsifying capacity were observed in bull knuckle (14.56 g/mL) and bull flank (6.74 g/mL), respectively. Bull shoulder and rump exhibited the highest (84.24%) and lowest (53.59%) gel water retention, respectively. Other indicators such as pH,

收稿日期: 2023-10-18

基金项目: 国家现代农业产业技术体系建设专项(CARS-37)

第一作者简介: 祝超智(1985—)(ORCID: 0000-0002-4582-747X), 女, 副教授, 博士, 研究方向为肉类加工与产品质量安全控制技术。E-mail: zhuchaozhi66@163.com

*通信作者简介: 赵改名(1965—)(ORCID: 0000-0003-1231-478X), 男, 教授, 博士, 研究方向为肉类加工与产品质量安全控制技术。E-mail: gmzhao@126.com

moisture content, color difference, thawing loss, and emulsion stability were quite different among beef cuts and between genders, which determines the processing suitability of different beef cuts from cows and bulls. Beef rump is suitable for processing minced meat, sausage, and steamed or boiled products; bull outside flat is suitable for processing beef jerky products; beef flank is suitable for processing quick-frozen pre-fried or pre-roasted products; bull shoulder is suitable for processing emulsified meat products; cow shoulder is suitable for processing fried, roasted or instant boiled products; beef tendon is suitable for processing spiced products.

Keywords: Chaidamu cattle; different cuts; different genders; quality differences; processing suitability

DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20231018-096

中图分类号: TS251.1

文献标志码: A

文章编号: 1001-8123 (2023) 10-0001-07

引文格式:

祝超智, 李开元, 王凯, 等. 不同部位与性别柴达木牛的品质和加工特性[J]. 肉类研究, 2023, 37(10): 1-7. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20231018-096. <http://www.rlyj.net.cn>

ZHU Chaozhi, LI Kaiyuan, WANG Kai, et al. Quality and processing characteristics of different beef cuts from male and female Chaidamu cattle[J]. Meat Research, 2023, 37(10): 1-7. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20231018-096. <http://www.rlyj.net.cn>

柴达木牛体型中等、结实匀称、行动灵活、耐粗饲、抗病力强, 并且肉质良好、瘦肉率高、肌纤维细^[1], 主产于青海省柴达木盆地边缘的乌兰县和格尔木市等海拔地区^[2], 是我国优良的地方黄牛品种之一, 是值得保护和推广的地方品种。据统计, 目前海西州的柴达木黄牛存栏数量约为9 600头, 其中成年公牛3.49%, 繁殖母牛50.87%, 公牛比例1:15, 其中正值繁殖期的母牛数量只占母牛群总数的60%~70%, 处于濒危维持状态。随着人们对绿色食品的需求量不断增大, 柴达木牛的原生态养殖潜力将得到不断发掘^[3]。

2022年我国牛肉总消费量为1 024.5万 t, 总产量为712.5万 t^[4], 分别位居全球第2和第3。由于缺乏对牛肉分割部位和性别间加工适宜性差异的研究, 市场上不同部位牛肉价值差异难以区分, 不利于实现优质优价。动物身体各部位的成分组成和含量有所不同, 会造成不同部位肉加工品质差异^[5]。性别对于肉品质影响也较大, 由于生理构造的差异, 性激素分泌水平、肌肉与脂肪组成不同^[6], 也会造成肉品质的差异, 主要影响嫩度和多汁性等方面。本实验采集了柴达木公牛与母牛的外脊、牛腩、霖肉、臀肉、肩肉、大黄瓜条、牛腱7个部位肉样, 通过对肉样的营养品质、加工特性等相关指标进行测定和分析比较研究, 旨在为当地养殖场、肉品加工企业等相关参考, 为加工适宜性提供建议和数据参考, 最大限度提升产品附加值, 推进柴达木牛的深度开发利用。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

选取200 kg的2岁柴达木公牛与250 kg的6岁柴达木母牛; 屠宰方式参照GB/T 19477—2018《畜禽屠宰

操作规程 牛》^[7]进行屠宰, 气锤击晕后将牛吊起, 在颈部下缘咽喉部切开一个横向的切口, 充分放血后, 去蹄、去头、剥皮, 去红白脏后, 胴体沿脊柱方向分割为二分体, 在0~4℃排酸72 h后分割, 选取其中的外脊、大黄瓜条、臀肉、肩肉、霖肉、牛腱和牛腩作为研究对象, 公牛与母牛每个部位各取5块400~500 g样品于-30℃冷冻保存, 检测分析时间为4 d。

硫酸、盐酸、无水乙醚、氢氧化钠、氯化钠、硫酸铜、硫酸锌、磷酸二氢钾、溴甲酚绿、一水合柠檬酸(均为分析纯) 国药集团化学试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

Testo206手持式pH计 德图仪表(深圳)有限公司; EC-215电导率仪 德国Hanna公司; TA.XT Plus物性测试仪 英国Stable Micro Systems公司; MinoltaCR-10便携式色差仪 日本Konica-Minolta公司; C-LM3数显式肌肉嫩度仪 东北农业大学工程学院。

1.3 指标测定

1.3.1 营养物质测定

水分含量测定: 参照GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》^[8], 使用直接干燥法测定; 蛋白质含量测定: 参照GB/T 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》^[9], 使用凯氏定氮法测定; 脂肪含量测定: 参照GB/T 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》^[10], 使用酸水解法测定; 胶原蛋白含量测定: 参照GB/T 9695.23—2008《肉与肉制品羟脯氨酸含量测定》^[11]进行测定。以上4种测定指标均为每组测定3个平行, 结果取平均值。

1.3.2 pH值测定

参照GB 5009.237—2016《食品安全国家标准 食品pH值的测定》^[12]方法测定, 选取排酸72 h解冻后的肉样,

选用便携式pH计测定肉样的pH值,使用前用三点校准法(pH 4.00、6.86、9.18)进行校准,样品每组测定3个平行,结果取平均值。

1.3.3 色泽参数测定

参考赵改名等^[13]的方法并略作修改,用便携式色差仪测定肉样的亮度值(L^*)、红度值(a^*)和黄度值(b^*),使用前用标准比色板进行校正,样品每组测定3个平行,结果取平均值。

1.3.4 保水性测定

参考赵改名等^[13]的方法进行测定,每组测定3个平行,结果取平均值。肉样解冻前后的质量分别记为 m_1 、 m_2 ,按照式(1)计算。

$$\text{解冻损失率}/\% = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \quad (1)$$

参考Li Chunbao等^[14]的方法进行测定,肉样在水浴锅中煮至中心温度75℃,蒸煮前后的质量分别记为 m_3 、 m_4 ,按照式(2)计算。

$$\text{蒸煮损失率}/\% = \frac{m_3 - m_4}{m_3} \times 100 \quad (2)$$

1.3.5 质构特性测定

参考赵改名等^[13]的方法进行测定,将肉样装入蒸煮袋后置于水浴锅中,于85℃热水中煮至中心温度达到70℃,取出并冷却至温度为25℃,后用刀修整肉块的边沿,用刀沿肌纤维方向将肉样修整为1.5 cm×1.5 cm×0.5 cm肉块,使用物性分析仪对肉的质地进行测定。测定条件:使用P50探头,测前速率2.0 mm/s,测试速率2.0 mm/s,测后速率10.0 mm/s,压缩变形率50%,探头2次测量间隔时间为5 s,每组测定10个平行,结果取平均值。

1.3.6 剪切力的测定

参考赵改名等^[13]的方法进行测定,取中心温度为0~4℃的肉样,放入功率为1 500 W恒温水浴锅中80℃加热,待中心温度达到75℃时取出并冷却至室温(26℃),沿肌纤维平行的方向切肉样,修整为1.5 cm×1.0 cm×1.0 cm肉块后进行测定,每组测定10个平行,结果取平均值。

1.3.7 蛋白质功能特性测定

1.3.7.1 乳化特性

乳化能力测定:参照何悦珊等^[15]的方法,50 g肉糜加入800 mL 0.6 mol/L NaCl、0.05 mol/L Na₂HPO₄溶液,高速分散器6档(24 000 r/min)匀浆2 min,4℃放置24 h后过滤。取16个50 mL离心管均加入15 mL匀浆液,依次加入0~15 mL大豆色拉油,在冰水浴中,高速分散器2档(10 000 r/min)匀浆10 s,得乳状液后迅速将其移至已标记10 mL刻度的试管中,使用电导率仪测定电导率值,

进行3次平行实验。乳化能力表示为每克肉糜可以乳化大豆油的体积,按式(3)计算。

$$\text{乳化能力}/(\text{mL/g}) = 0.9375 \times \text{电导率}/(\text{mS/cm}) \quad (3)$$

乳化稳定性测定:称取离心管质量(m_5),使用移液枪吸取处于乳化崩解点时的样液于离心管并称其质量(m_6),称质量后置于80℃水浴锅中加热30 min,然后冷却至25℃,1 503×g离心5 min,去除水分,然后称质量(m_7),乳化稳定性按式(4)计算,每组测定3个平行,结果取平均值。

$$\text{乳化稳定性}/\% = \frac{m_7 - m_5}{m_6 - m_5} \times 100 \quad (4)$$

1.3.7.2 凝胶特性

凝胶的制备:参考Zhu Yulin等^[16]的方法进行凝胶制备,每组测定3个平行。在称取肉样品中加入0.6 mol/L NaCl溶液,匀浆过滤后在4℃、2 348×g离心5 min,在水浴锅中加热至75℃,保温20 min后冷却。

凝胶保水性测定:称离心管质量为 m_8 ,取出制备好的凝胶置于离心管中,称其质量为 m_9 (g);在4℃、2 348×g离心10 min,取出去除水分,称其质量(m_{10}),凝胶保水性按照式(5)计算。

$$\text{凝胶保水性}/\% = \frac{m_{10} - m_8}{m_9 - m_8} \times 100 \quad (5)$$

凝胶质构测定:使用物性测试仪对样品的硬度、咀嚼性等指标进行测定。测定条件同1.3.5节。

1.4 数据处理

实验数据采用SPSS 22.0软件(美国IBM公司)进行统计分析,对柴达木牛同一部位不同性别肉的实验数据进行配对样本 t 检验分析, $P < 0.05$ 为差异显著。对同一性别不同部位肉的实验数据进行单因素方差分析,用Duncan's法检验, $P < 0.05$ 为差异显著。结果均以平均值±标准差表示,所有实验重复3次。

2 结果与分析

2.1 柴达木牛不同部位与性别肉的营养特性差异分析

总体上,柴达木牛的营养品质与赵改名等^[17]对新疆褐牛的研究结果十分相似。水分是牛肉中含量最高的成分,直接影响肉和肉制品的品质与口感,甚至影响原料肉的加工方式。柴达木牛不同部位与性别间肉的水分含量存在显著性差异($P < 0.05$) (表1)。一般牛肉的水分含量在70%~76%^[13],柴达木牛各部位平均水分含量较高(76.62%),且母牛比公牛高0.5%左右。其中,母牛外脊水分含量最高(78.13%),其次是公牛牛腩(77.32%)与牛腱(77.25%),公牛的大黄瓜条水分含量最低(74.89%)。

表1 柴达木牛不同部位与性别肉的营养特性 ($\bar{x} \pm s, n=3$)

Table 1 Nutritional characteristics of different beef cuts from male and female Chaidamu cattle ($\bar{x} \pm s, n=3$)

部位	性别	水分含量/%	蛋白质含量/%	脂肪含量/%	胶原蛋白含量/%
外脊	公	76.20±1.53 ^{abA}	14.78±0.95 ^{1A}	1.80±0.02 ^{bcA}	10.89±0.78 ^{bcA}
	母	78.13±0.35 ^{aA}	17.60±0.36 ^{bB}	1.47±0.10 ^{cdB}	10.07±0.12 ^{cA}
臀肉	公	76.44±0.22 ^{abA}	20.97±0.27 ^{2A}	1.71±0.08 ^{cA}	8.19±0.95 ^{cA}
	母	77.20±0.27 ^{abB}	22.55±0.06 ^{2B}	1.73±0.16 ^{cA}	8.36±0.39 ^{cA}
大黄瓜条	公	74.89±0.18 ^{cA}	20.51±0.04 ^{2bA}	2.21±0.18 ^{abA}	14.76±1.47 ^{2A}
	母	76.21±0.25 ^{cB}	20.57±0.09 ^{2A}	2.12±0.19 ^{abA}	13.99±0.12 ^{2A}
牛腩	公	77.32±0.10 ^{abA}	19.52±0.02 ^{bcA}	1.94±0.17 ^{abA}	10.55±1.46 ^{bcA}
	母	76.51±0.09 ^{abB}	18.54±0.15 ^{1B}	2.72±0.04 ^{1B}	9.88±0.39 ^{cA}
牛霖	公	77.09±0.25 ^{abA}	19.94±0.44 ^{abA}	1.08±0.06 ^{cA}	13.29±0.20 ^{2A}
	母	76.50±0.15 ^{cA}	21.81±0.66 ^{1B}	1.26±0.13 ^{1A}	12.74±0.08 ^{2A}
牛肩	公	75.28±0.45 ^{bcA}	20.51±0.88 ^{2bA}	1.45±0.07 ^{1A}	11.56±0.58 ^{bcA}
	母	76.57±0.08 ^{cB}	20.10±0.25 ^{cA}	2.29±0.27 ^{1B}	9.28±0.57 ^{1B}
牛腱	公	77.25±0.16 ^{abA}	18.60±0.05 ^{cA}	1.33±0.04 ^{1A}	8.31±0.33 ^{cA}
	母	77.11±0.13 ^{abA}	18.80±0.22 ^{1A}	1.65±0.12 ^{cA}	8.59±0.18 ^{1A}

注：小写字母不同，表示不同部位间差异显著 ($P<0.05$)；大写字母不同，表示不同性别间差异显著 ($P<0.05$)。表2~6同。

蛋白质含量是评价牛肉营养价值的重要指标。不同性别柴达木牛的外脊、臀肉、牛腩、牛霖的蛋白质含量存在显著性差异 ($P<0.05$) (表1)。大量研究数据显示，牛肉蛋白质含量在19.3%~23.4%^[18]，柴达木牛各部位的平均蛋白质含量为19.63%，这可能与牛品种、年龄和饲养条件有关。其中，母牛臀肉蛋白质含量最高 (22.55%)，其次为母牛牛霖 (21.81%)，蛋白质含量最低的为公牛外脊 (14.78%)，这与孙灵霞等^[19]的研究结果相似。

肌内脂肪含量是评价牛肉品质的重要标准，与大理石花纹的形成^[20]、嫩度和风味等密切相关。由表1可知，柴达木母牛牛腩的脂肪含量最高 (2.72%) ($P<0.05$)，公牛牛霖的脂肪含量最低 (1.08%)。总体上，柴达木牛的脂肪含量低，各部位的平均脂肪含量为1.77%，低于延边黄牛^[21]、秦川牛^[22]、夏南牛^[23]等，母牛比公牛高0.25%左右，这与郭同军^[24]的研究结论相近。牛腩脂肪含量高可能是由于牛腩部位活动较少，引起脂肪积累，对风味贡献较大。

胶原蛋白是缔结组织的主要结构蛋白，一般胶原蛋白含量与肉的嫩度呈负相关，且不利于干制品加工，但煮制有利于可溶性胶原蛋白溶解以及胶原蛋白空间结构的断裂，对于产品风味的提高有明显作用^[25]。由表1可知，柴达木牛同一部位不同性别间，仅有牛肩存在显著差异 ($P<0.05$)，其余部位均不存在显著差异 ($P>0.05$)。公牛大黄瓜条 (14.76%) 胶原蛋白含量最高，母牛大黄瓜条 (13.99%) 次之，公牛臀肉含量最低 (8.19%)。总体上，柴达木牛各部位平均胶原蛋白含量适中 (10.74%)，高于南阳黄牛^[26]，与新疆褐牛^[17]接近，低于西门塔尔杂交牛^[27]与巴西内洛尔牛^[19]，且公牛高于母牛。

2.2 柴达木牛不同部位与性别肉的pH值与色泽

表2 柴达木牛不同部位与性别肉的色泽参数与pH值 ($\bar{x} \pm s, n=3$)

Table 2 Color parameters and pH values of different beef cuts from male and female Chaidamu cattle ($\bar{x} \pm s, n=3$)

部位	性别	pH	L^*	a^*	b^*
外脊	公	5.86±0.01 ^{1A}	35.15±0.77 ^{bcA}	13.94±0.94 ^{abA}	11.05±0.49 ^{cdA}
	母	5.83±0.01 ^{1B}	32.39±0.89 ^{1B}	13.16±1.76 ^{abA}	10.63±0.45 ^{abA}
臀肉	公	5.64±0.01 ^{1A}	37.82±1.02 ^{2A}	11.36±0.42 ^{1A}	9.45±0.50 ^{1A}
	母	5.71±0.01 ^{1B}	38.12±0.85 ^{2A}	12.33±1.05 ^{1A}	12.52±0.97 ^{2A}
大黄瓜条	公	5.62±0.02 ^{1A}	34.06±0.35 ^{1A}	11.37±0.11 ^{1A}	8.86±0.27 ^{1A}
	母	5.69±0.01 ^{1B}	35.15±0.56 ^{1B}	10.30±1.06 ^{1A}	9.65±0.67 ^{1A}
牛腩	公	6.27±0.01 ^{1A}	35.22±0.05 ^{1A}	8.53±0.06 ^{1A}	7.33±0.21 ^{1A}
	母	6.08±0.01 ^{1B}	36.45±1.16 ^{1A}	9.29±0.24 ^{1B}	7.60±0.39 ^{1A}
牛霖	公	6.11±0.01 ^{1A}	34.22±0.69 ^{1A}	15.03±0.73 ^{1A}	9.00±0.16 ^{1A}
	母	5.88±0.05 ^{1B}	31.97±0.83 ^{1A}	9.43±0.64 ^{1B}	8.41±0.32 ^{1B}
牛肩	公	6.05±0.01 ^{1A}	27.93±0.81 ^{1A}	12.44±0.70 ^{1A}	10.07±0.16 ^{1A}
	母	5.86±0.03 ^{1B}	32.81±1.14 ^{1B}	13.31±0.25 ^{1A}	9.37±1.05 ^{1A}
牛腱	公	6.09±0.01 ^{1A}	36.14±0.23 ^{1A}	8.96±0.19 ^{1A}	6.58±0.22 ^{1A}
	母	6.06±0.01 ^{1A}	36.21±0.03 ^{1A}	8.53±0.23 ^{1A}	7.89±0.69 ^{1A}

pH值是衡量肉品质的重要标准之一，影响肉品持水性、货架期、颜色等。正常屠宰的肉会经历pH值的逐渐下降，肌肉中的乳酸产量会影响宰后pH值下降速度和程度^[27]。由表2可知，柴达木牛不同性别间有6个部位的pH值存在显著差异 ($P<0.05$)，可能由于不同部位肉的肌纤维特性与糖酵解能力不同^[19]。其中，公牛牛腩的pH值最高 (6.27)，公牛大黄瓜条pH值最低 (5.62)。一般牛肉贮藏过程中pH值5.6~6.0为正常^[22]，其pH值较正常范围稍高，可能由于宰前较强应激反应造成该部位糖原大量消耗，影响了pH值的下降；根据Muchenje等^[28]的研究，牛肉最终pH值大于5.8和 L^* 小于28时，可能会出现DFD (dark, firm and dry) 肉^[29]。

色泽对肉类产业至关重要^[30]，影响产品价格与消费者购买决策。柴达木牛肉不同部位与性别间的 L^* 、 a^* 、 b^* 存在显著差异 ($P<0.05$) (表2)。其中公牛不同部位的 a^* 、 b^* 存在显著差异 ($P<0.05$)。柴达木母牛臀肉的 L^* 最高 (38.12)，而霖肉最低 (31.97)，公牛同样是臀肉 L^* 最高 (37.82)，而肩肉最低 (27.93)，可能由于表面纤维结构排列不同而导致对光的散射特性不同；Olivera等^[31]认为 a^* 是肉最重要的颜色参数，会极大影响消费者的购买欲望。其中，公牛牛霖 (15.03) 的 a^* 最高，可能是由于氧合肌红蛋白比例较高导致肉色更加鲜红^[32]。母牛牛腱 (8.53) 与公牛牛腩 (8.53) 最低。这与孙灵霞等^[19]研究的巴西内洛尔牛各部位肉色 a^* 相似；母牛臀肉 (12.52) 的 b^* 最高，公牛牛腱 (6.58) 最低。牛腱部位多用于酱卤制品，而柴达木牛牛腱部位 L^* 高，

a^* 、 b^* 较低，故颜色较浅，在加工时可适量加入亚硝酸钠、红曲红或其他天然健康色素添加剂进行上色（护色），在常温下也可延缓氧化变黑，改善产品外观，提高市场竞争力。

2.3 柴达木牛不同部位与性别肉的质构与剪切力

表3 柴达木牛不同部位与性别肉的质构与剪切力 ($\bar{x} \pm s, n=3$)
Table 3 Texture and shear force of different beef cuts from male and female Chaidamu cattle ($\bar{x} \pm s, n=3$)

部位	性别	硬度/g	弹性	咀嚼性/g	剪切力/kg
外脊	公	4 033.88 ± 1234.01 ^{bcA}	0.67 ± 0.03 ^{3A}	1 989.71 ± 158.64 ^{4A}	7.14 ± 0.38 ^{4A}
	母	5 776.74 ± 1216.94 ^{4B}	0.71 ± 0.03 ^{3A}	2 925.39 ± 328.95 ^{5A}	5.70 ± 0.21 ^{2B}
臀肉	公	5 819.53 ± 1062.01 ^{5A}	0.55 ± 0.05 ^{5A}	2 071.80 ± 487.85 ^{5A}	9.20 ± 0.03 ^{5A}
	母	3 503.25 ± 1042.87 ^{3B}	0.61 ± 0.05 ^{5B}	1 420.83 ± 414.55 ^{5B}	9.26 ± 0.03 ^{5B}
大黄瓜条	公	6 148.28 ± 932.16 ^{6A}	0.55 ± 0.06 ^{5A}	2 128.40 ± 403.51 ^{6A}	11.17 ± 0.06 ^{6A}
	母	3 635.92 ± 888.19 ^{4A}	0.48 ± 0.05 ^{5A}	1 015.76 ± 343.06 ^{6A}	6.42 ± 0.07 ^{5B}
牛腩	公	2 586.41 ± 663.99 ^{4A}	0.59 ± 0.06 ^{5A}	1 037.08 ± 385.14 ^{6A}	10.02 ± 0.09 ^{6A}
	母	2 708.74 ± 839.19 ^{5A}	0.58 ± 0.07 ^{5B}	1 001.76 ± 443.46 ^{6A}	10.66 ± 0.09 ^{6A}
牛霖	公	3 688.60 ± 1081.94 ^{5A}	0.60 ± 0.06 ^{5A}	1 451.82 ± 204.10 ^{6A}	7.57 ± 0.44 ^{6A}
	母	2 110.02 ± 940.91 ^{4B}	0.54 ± 0.04 ^{5A}	681.16 ± 248.40 ^{6A}	6.39 ± 0.31 ^{6A}
牛肩	公	4 805.38 ± 893.24 ^{5A}	0.59 ± 0.05 ^{5A}	1 783.02 ± 441.31 ^{6A}	6.26 ± 0.24 ^{6A}
	母	3 427.49 ± 1965.99 ^{5A}	0.58 ± 0.06 ^{5A}	1 514.61 ± 322.35 ^{6A}	5.91 ± 0.07 ^{6A}
牛腱	公	2 790.28 ± 439.92 ^{5A}	0.63 ± 0.07 ^{5A}	1 167.92 ± 300.77 ^{6A}	6.25 ± 0.27 ^{6A}
	母	3 127.08 ± 495.12 ^{5B}	0.63 ± 0.09 ^{5A}	1 390.31 ± 250.05 ^{6B}	9.86 ± 0.80 ^{6B}

由表3可知，柴达木牛不同部位与性别肉的硬度、弹性和咀嚼性存在显著差异 ($P < 0.05$)。不同性别的臀肉、牛霖与牛腱的硬度存在显著差异 ($P < 0.05$)；不同性别的臀肉、牛腩的弹性存在显著差异 ($P < 0.05$)；对于咀嚼性，不同性别仅有牛腱存在显著差异 ($P < 0.05$)。柴达木牛公牛黄瓜条部位硬度最高 (6 148.28 g)，公牛臀肉次之 (5 819.53 g)，母牛牛霖 (2 110.02 g) 与公牛牛腩 (2 586.41 g) 硬度最低；公牛与母牛外脊部位的弹性、咀嚼性均接近最高，母牛大黄瓜条弹性最低 (0.48)，母牛牛霖的咀嚼性最低 (681.16 g)；牛腩与牛霖的硬度、弹性和咀嚼性均较低，适合加工针对老年人的产品。

剪切力是垂直切割作用于肌肉纤维时用的力，肉品越嫩剪切力越小。不同性别柴达木牛的外脊、臀肉、黄瓜条、牛腱的剪切力存在显著性差异 ($P < 0.05$) (表3)。公牛大黄瓜条剪切力最高 (11.17 kg)，母牛外脊剪切力 (5.70 kg) 最低；Destetanis等^[33]研究表明，当剪切力小于4.36 kg为嫩，4.37~5.37 kg为可接受范围，大于5.38 kg时为超出可接受范围，可能由于柴达木牛生活在低温高海拔地区，放牧时间长，运动量大，致使其肌纤维结构紧密、直径大，再加上肌肉中高蛋白、低脂肪使其嫩度处于较低水平^[20]，比较适合加工制作肉干等制品；Wang Lin等^[34]研究发现可通过超声技术改变胶原蛋白结构、调节组织蛋白酶活性以改善牛肉的嫩度，进

而提高牛肉的品质。还可以使用超高压嫩化技术、钙盐嫩化或酶嫩化法等对牛肉进行嫩化，改善肉品嫩度与口感，提高产品市场竞争力。

2.4 柴达木牛不同部位与性别肉的保水性

表4 柴达木牛不同部位与性别肉的保水性 ($\bar{x} \pm s, n=3$)
Table 4 Water retention of different beef cuts from male and female Chaidamu cattle ($\bar{x} \pm s, n=3$)

部位	性别	解冻损失率/%	蒸煮损失率/%
外脊	公	7.31 ± 0.52 ^{cA}	40.87 ± 2.52 ^{cA}
	母	8.42 ± 0.77 ^{cB}	42.06 ± 2.08 ^{bA}
臀肉	公	6.14 ± 0.13 ^{dA}	38.34 ± 1.20 ^{cA}
	母	7.89 ± 0.66 ^{cB}	33.43 ± 0.58 ^{cB}
大黄瓜条	公	9.14 ± 0.11 ^{bA}	40.32 ± 2.33 ^{cA}
	母	10.53 ± 0.24 ^{aB}	35.83 ± 0.27 ^{cA}
牛腩	公	3.45 ± 0.16 ^{eA}	40.12 ± 0.37 ^{cA}
	母	4.88 ± 0.22 ^{eB}	43.33 ± 1.78 ^{abB}
牛霖	公	9.24 ± 0.17 ^{bA}	44.26 ± 2.47 ^{bA}
	母	9.56 ± 0.19 ^{bB}	42.09 ± 1.78 ^{bA}
牛肩	公	11.12 ± 0.64 ^{aA}	51.37 ± 0.31 ^{aA}
	母	8.17 ± 0.16 ^{cB}	45.62 ± 0.16 ^{abB}
牛腱	公	3.74 ± 0.16 ^{eA}	34.19 ± 0.66 ^{dA}
	母	6.24 ± 0.38 ^{dB}	42.29 ± 2.03 ^{bB}

蒸煮损失率和解冻损失率是反映肌肉保水性的重要指标，对加工特性与多汁性有重要影响。由表4可知，柴达木牛不同肉部位、不同性别间解冻损失率均存在显著差异 ($P < 0.05$)。公牛牛肩的解冻损失率最高 (11.12%)，公牛与母牛的牛腩解冻损失率接近，且最低；柴达木牛的肩肉、大黄瓜条、牛霖部位解冻损失率均较大，因此不适宜长期冷冻保藏。研究表明，原料肉的保水性过低会降低产品的出品率^[35]。

不同部位肉间的蒸煮损失率存在显著差异 ($P < 0.05$)，不同性别间的臀肉、牛腩、牛肩与牛腱蒸煮损失率存在显著性差异 ($P < 0.05$)。公牛牛肩 (51.37%) 的蒸煮损失率最高，母牛臀肉 (33.43%) 的蒸煮损失率最低。臀肉与牛腱的保水性较好，这与王可^[15]的研究结果相似，保水性高有利于提高产品出品率，适合加工蒸煮类和酱卤类产品。

2.5 柴达木牛不同部位与性别间肉的蛋白质功能特性差异分析

2.5.1 柴达木牛不同部位与性别肉的乳化特性

蛋白质的功能特性是指除营养价值外对食品特性有利的蛋白质理化性质^[36]，例如乳化、凝胶特性。柴达木牛不同性别间7个部位肉的乳化能力均存在显著差异 ($P < 0.05$) (表5)。公牛与母牛的牛霖、大黄瓜条、臀肉、牛肩的乳化能力均较强，牛腩与牛腱的乳化能力较差。乳化稳定性是指乳液保持明显稳定状态

且不产生两相分层不稳定现象的特性^[37]。研究发现，蛋白质含量（尤其是盐溶性蛋白含量）、pH值等因素会影响肉品的乳化稳定性。臀肉的蛋白质含量高，胶原蛋白含量低，具有较好的乳化稳定性，乳化稳定性强有利于肉糜类产品质量稳定，适合加工香肠、肉丸等肉糜类产品；牛腩的蛋白质含量低且pH值低，具有较差的乳化稳定性。

表5 柴达木牛不同部位与性别肉的乳化特性 ($\bar{x} \pm s, n=3$)

Table 5 Emulsifying characteristics of different beef cuts from male and female Chaidamu cattle ($\bar{x} \pm s, n=3$)

部位	性别	乳化能力/(g/mL)	乳化稳定性/%
外脊	公	9.21±0.03 ^{dA}	47.34±1.31 ^{bcA}
	母	11.03±0.12 ^{cB}	49.94±0.59 ^{cA}
臀肉	公	12.33±0.25 ^{hA}	45.56±1.20 ^{cdA}
	母	10.32±0.17 ^{dB}	57.44±0.51 ^{bb}
大黄瓜条	公	9.34±0.09 ^{dA}	57.52±1.33 ^{aA}
	母	11.31±0.18 ^{hB}	63.78±0.75 ^{ab}
牛腩	公	6.74±0.03 ^{eA}	31.36±0.39 ^{fA}
	母	7.52±0.09 ^{eB}	32.23±1.62 ^{gA}
牛霖	公	14.56±0.18 ^{aA}	44.32±1.64 ^{dA}
	母	8.84±0.07 ^{fB}	37.52±0.69 ^{fB}
牛肩	公	9.58±0.15 ^{cA}	49.65±1.42 ^{bA}
	母	12.44±0.07 ^{dB}	40.87±0.71 ^{cB}
牛腱	公	6.69±0.05 ^{eA}	39.87±1.66 ^{eA}
	母	7.56±0.11 ^{fB}	43.63±1.03 ^{dA}

2.5.2 柴达木牛不同部位与性别肉的凝胶特性

表6 柴达木牛不同部位与性别肉的凝胶特性 ($\bar{x} \pm s, n=3$)

Table 6 Gel properties of different beef cuts from male and female Chaidamu cattle ($\bar{x} \pm s, n=3$)

部位	性别	凝胶保水性/%	凝胶硬度/g	凝胶弹性
外脊	公	76.41±2.26 ^{bA}	71.29±8.42 ^{eA}	0.68±0.03 ^{cdA}
	母	74.50±1.52 ^{bA}	79.32±7.62 ^{eA}	0.66±0.06 ^{bA}
臀肉	公	53.59±1.13 ^{dA}	205.20±29.54 ^{cA}	0.63±0.02 ^{dA}
	母	73.55±1.83 ^{bcB}	138.57±6.24 ^{bcB}	0.66±0.11 ^{bA}
大黄瓜条	公	74.78±0.73 ^{bA}	398.15±32.36 ^{bA}	0.76±0.01 ^{bA}
	母	66.27±2.28 ^{dB}	155.12±21.68 ^{hbB}	0.7±0.06 ^{abA}
牛腩	公	62.55±2.37 ^{cA}	80.62±3.77 ^{eA}	0.7±0.02 ^{bcA}
	母	73.79±0.14 ^{bcB}	116.59±8.96 ^{cdB}	0.67±0.05 ^{abA}
牛霖	公	82.26±0.90 ^{aA}	145.46±10.79 ^{dA}	0.53±0.02 ^{eA}
	母	80.45±1.27 ^{ab}	234.79±36.88 ^{aA}	0.78±0.01 ^{ab}
牛肩	公	84.24±0.36 ^{aA}	581.32±71.91 ^{aA}	0.84±0.07 ^{aA}
	母	71.65±0.59 ^{cB}	111.65±16.41 ^{cdeB}	0.74±0.05 ^{abA}
牛腱	公	75.93±3.48 ^{bA}	96.66±3.01 ^{deA}	0.72±0.03 ^{bcA}
	母	73.68±0.96 ^{bcA}	83.61±6.68 ^{deA}	0.69±0.04 ^{abA}

凝胶特性作为肉制品加工过程中的重要因素，蛋白质受热后引起组织结构变化形成凝胶。由表6可知，不同性别间柴达木牛的臀肉、大黄瓜条、牛腩、牛霖、牛肩凝胶保水性均存在显著差异 ($P<0.05$)。公牛牛肩的凝

胶保水性最高 (84.24%)，公牛牛霖次之 (82.26%)。公牛臀肉 (53.59%) 的凝胶保水性最低。公牛牛肩的凝胶硬度 (581.31 g) 与弹性 (0.84) 同样最高，外脊、牛腱、牛腩的凝胶硬度较低，公牛牛霖的凝胶弹性最低 (0.53)，这与赵改名等^[15]对南阳黄牛的研究结果相似。在凝胶的形成过程中，盐溶性蛋白质 (肌球蛋白) 发挥重要作用，将水分牢牢留在三维立体网状结构中，提高了保水性，同时，肉的凝胶特性也受pH值的影响^[38]。柴达木公牛牛肩具有较高的蛋白质含量 (20.51%) 和pH值 (6.05) 使得其具有较好凝胶保水性 (80.24%)、凝胶硬度 (581.32 g)、凝胶弹性 (0.84)，以及公牛牛霖也具有较好的乳化能力 (14.56 g/mL) 与凝胶保水性 (82.26%)，在加工过程中能表现出较好的保油保水能力与黏着性，使产品具有较好的风味口感，适宜加工肉糜凝胶类、乳化香肠类制品。

3 结论

通过对柴达木公牛与母牛7个部位肉品质特性的研究发现，不同部位与性别间肉的品质特性存在较大差异。母牛臀肉品质较为优秀，其凝胶保水性 (73.55%)、乳化能力 (10.32 g/mL)、乳化稳定性 (57.44%)、蒸煮损失率 (33.43%) 均较好，且蛋白质含量最高 (22.55%)，胶原蛋白含量低 (8.36%)，最适合用作加工肉糜、制肠、蒸煮类的产品；母牛牛腩脂肪含量最高 (2.72%)，解冻损失率 (4.88%)、蒸煮损失率低 (43.33%)，硬度 (2 708.74 g)、咀嚼性 (1 001.76 g)、剪切力 (10.66 kg) 适中，可制作速冻调理煎烤类制品。在实际生产中，母牛主要用于繁殖，因此一般屠宰年龄稍大，但仍然是加工原料的优良选择。而柴达木公牛大黄瓜条肉质红润、低水分高蛋白，适宜加工牛肉干等制品。公牛牛肩凝胶保水性突出 (84.24%)，乳化能力较好 (9.58%)，适合加工乳化肉糜类产品；母牛牛肩脂肪含量较高 (2.29%)，剪切力值低 (5.91%)，嫩度好，适宜加工鲜肉煎烤或涮制类制品。

本研究可以为柴达木牛不同特性肉精细化加工体系的构建提供数据参考与针对性建议，在此研究基础上，将进一步开发多种牛肉制品，促进更加科学标准化的生产加工，助力当地肉牛养殖、加工户与企业的产品质量、经营增收，促进当地的乡村振兴与产业发展。

参考文献:

- [1] 完么才郎. 青海柴达木黄牛种质特性的调查分析[J]. 畜牧兽医科技信息, 2011, 416(8): 124-125. DOI:10.3969/j.issn.1671-6027.2011.08.084.

- [2] 李升升, 张燕, 赵立柱. 不同杂交牛肉加工特性研究[J]. 甘肃农业大学学报, 2022, 57(3): 163-168. DOI:10.13432/j.cnki.jgsau.2022.03.021.
- [3] 王照忠, 尚有安, 王成林. 柴达木黄牛种质特性的调查分析[J]. 养殖与饲料, 2010(7): 9-10. DOI:10.3969/j.issn.1671-427X.2010.07.005.
- [4] 曹兵海, 李俊雅, 王之盛, 等. 2022年度肉牛牦牛产业技术发展报告[J]. 中国畜牧杂志, 2023, 59(3): 330-335. DOI:10.19556/j.0258-7033.20230131-05.
- [5] 王可. 不同部位青海高原型牦牛肉加工特性与加工适宜性研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2020. DOI:10.27117/d.cnki.ghenu.2020.000198.
- [6] 付洋洋. 年龄和性别对牦牛舍饲育肥效果和肉品质的影响研究[D]. 成都: 西南民族大学, 2019.
- [7] 国家市场监督管理总局, 中国国家标准化管理委员会. 畜禽屠宰操作规范 牛: GB/T 19477—2018[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018.
- [8] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中水分的测定: GB 5009.3—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [9] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定: GB/T 5009.5—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [10] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中脂肪的测定: GB/T 5009.6—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [11] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 肉与肉制品羟脯氨酸含量测定: GB/T 9695.23—2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [12] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品pH值的测定: GB 5009.237—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [13] 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.
- [14] LI C B, CHEN Y J, XU X L, et al. Effects of low-voltage electrical stimulation and rapid chilling on meat quality characteristics of Chinese Yellow crossbred bulls[J]. Meat Science, 2010, 72(1): 9-17. DOI:10.1016/j.meatsci.2005.04.035.
- [15] 何悦珊, 马长明, 师瑞, 等. 不同部位牛肉肌原纤维蛋白乳化特性研究[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(24): 91-96. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.029306.
- [16] ZHU Y L, LI C Z, CUI H Y, et al. Plasma enhanced-nutmeg essential oil solid liposome treatment on the gelling and storage properties of pork meat batters[J]. Journal of Food Engineering, 2020, 266: 109696. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2019.109696.
- [17] 赵改名, 张桂艳, 茹昂, 等. 新疆褐牛不同部位肉品质特性差异分析[J]. 现代食品科技, 2021, 37(2): 261-267; 137. DOI:10.13982/mfst.1673-9078.2021.2.0631
- [18] 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.
- [19] 孙灵霞, 李嘉辉, 祝超智, 等. 巴西内洛尔牛不同部位肉品质特性分析[J]. 食品工业科技, 2022, 43(1): 93-100. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2021030370.
- [20] BOTTEMA M J, KRUK Z A, GONTAR A, et al. Evidence of marbling as a single connected entity in beef striploins[J]. Meat Science, 2020, 161: 108004. DOI:10.1016/j.meatsci.2019.108004.
- [21] 金颖. 成熟期间延边黄牛肉脂肪酸的组成及品质特性的研究[D]. 延吉: 延边大学, 2016.
- [22] 姜碧杰, 咎林森, 辛亚平, 等. 性别对秦川牛肉品质的影响[J]. 中国农学通报, 2010, 26(6): 1-4.
- [23] 岳胜楠. 西门塔尔杂交牛和夏南牛的肉品质差异分析[D]. 郑州: 河南农业大学, 2023. DOI:10.27117/d.cnki.ghenu.2022.000170.
- [24] 郭同军. 去势影响西门塔尔牛脂肪沉积的生理机制研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2017.
- [25] 赵改名, 秦可梦, 李佳麒, 等. 不同部位新疆褐牛肉的品质差异分析[J]. 肉类研究, 2021, 35(1): 1-6. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20201229-303.
- [26] 赵改名, 候建彪, 祝超智, 等. 南阳黄牛不同部位肉品质特性差异分析[J]. 肉类研究, 2022, 36(9): 1-6. DOI:10.7506/lyj1001-8123-20220726-086.
- [27] 赵改名, 茹昂, 郝婉名, 等. 不同母本西门塔尔杂交牛各部位肉品质与蛋白质功能特性的差异[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(7): 78-85. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.025392.
- [28] MUCHENJE V, DZAMA K, CHIMONYO M, et al. Some biochemical aspects pertaining to beef eating quality and consumer health: a review[J]. Food Chemistry, 2009, 112(2): 279-289. DOI:10.1016/j.foodchem.2008.05.103.
- [29] 苏琳. 巴美肉羊肌纤维特性、糖酵解潜力对羊肉品质的影响和MyHC表达量分析[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2016.
- [30] 郑浩, 季久秀, 周李生, 等. 猪肉肉色评分与色度值、大理石花纹评分及肌内脂肪含量回归模型的建立[J]. 江西农业大学学报, 2019, 41(1): 124-131. DOI:10.13836/j.jjau.2019016.
- [31] OLIVERA DF, BAMBICHA R, LAPORTE G, et al. Kinetics of color and texture changes of beef during storage[J]. Journal of Food Science & Technology, 2012, 50(4): 821-825. DOI:10.1007/s13197-012-0885-7.
- [32] 李若绮. 宰后冷藏过程中牛肉肉用品质变化及抗氧化物质对肉色稳定性影响[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2016.
- [33] DESTETANIS G, BRUGIAPAGLIA A, BARGE MT, 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.
- [34] WANG L, LI J J, TENG S, et al. Changes in collagen properties and cathepsin activity of beef *M. semitendinosus* by the application of ultrasound during post-mortem aging[J]. Meat Science, 2022, 185(3): 108718. DOI:10.1016/j.meatsci.2021.108718.
- [35] HUGHES J M, OISETH S K, PURSLOW P P, et al. A structural approach to understanding the interactions between color, water holding capacity and tenderness[J]. Meat Science, 2014, 98(3): 520-532. DOI:10.1016/j.meatsci.2014.05.022.
- [36] 康大成, 刘云国, 张万刚. 高功率超声波对蛋白质功能特性的影响及其在肉品加工中的应用研究进展[J]. 食品科学, 2019, 40(23): 289-297. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20181105-053.
- [37] SUN Y J, CHEN J H, ZHANG S W, et al. Effect of power ultrasound pre-treatment on the physical and functional properties of reconstituted milk protein concentrate[J]. Journal of Food Engineering, 2014, 124(3): 11-18. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2013.09.013.
- [38] 滕安国, 李冰馨, 赵静怡, 等. 酸度调节剂协同水分保持剂对牛肉盐溶蛋白凝胶保水性的影响[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(15): 1-5. DOI:10.12161/j.issn.1005-6521.2020.15.001.