



吴怡,赵鹏飞,李晓睿,皇甫明科,陈志蒙,陈浩,李成蛟,包胡斯楞,白智明,包占英,李玉,斯木吉德,王纯洁,敖日格乐. 西门塔尔牛及其杂交牛的脂代谢相关血液指标及肉品质的比较分析[J]. 中国农业大学学报,2023,28(04):101-107.

WU Yi, ZHAO Pengfei, LI Xiaorui, HUANGFU Mingke, CHEN Zhimeng, CHEN Hao, LI Chengjiao, BAO Siriguleng, BAI Zhiming, BAO Zhanying, LI Yu, Simujide, WANG chunjie, Aorigele. Comparative analysis of blood indexes related to lipid metabolism and meat quality of Simmental and its crossbred cattle[J].

Journal of China Agricultural University, 2023, 28(04): 101-107.

DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2023.04.09

## 西门塔尔牛及其杂交牛的脂代谢相关血液指标及肉品质的比较分析

吴怡<sup>1</sup> 赵鹏飞<sup>1</sup> 李晓睿<sup>1</sup> 皇甫明科<sup>1</sup> 陈志蒙<sup>1</sup> 陈浩<sup>1</sup> 李成蛟<sup>3</sup> 包胡斯楞<sup>3</sup>  
白智明<sup>4</sup> 包占英<sup>4</sup> 李玉<sup>4</sup> 斯木吉德<sup>1</sup> 王纯洁<sup>2</sup> 敖日格乐<sup>1\*</sup>

(1. 内蒙古农业大学 动物科学学院,呼和浩特 010018;

2. 内蒙古农业大学 兽医学院,呼和浩特 010018;

3. 兴安盟农业技术推广中心,内蒙古 乌兰浩特 137400;

4. 科尔沁右翼前旗农牧业科技发展中心,内蒙古 乌兰浩特 137400)

**摘要** 为比较西门塔尔牛及其杂交育肥牛脂代谢相关血液指标和肉品质之间的差异,本研究选取西门塔尔牛(S组)、西门塔尔牛×荷斯坦牛(SH组)、西门塔尔牛×蒙古牛(SM组)各3头,分为3组,并对3组育肥牛的脂代谢相关血液生化指标和牛肉品质进行测定。结果表明:1)西门塔尔牛×荷斯坦牛和西门塔尔牛×蒙古牛杂交肉牛肉样红度 $a^*$ 均显著高于西门塔尔牛( $P<0.05$ );2)西门塔尔牛×蒙古牛杂交肉牛肉葡萄糖(GLU)含量较西门塔尔牛显著升高( $P<0.05$ );3)西门塔尔牛×荷斯坦牛杂交肉牛肉肌肉黄度 $b^*$ 极显著低于其他两组( $P<0.01$ )。综上所述,西门塔尔牛×蒙古牛杂交肉牛较西门塔尔牛有较好的能量和脂肪贮存能力,且在肉色上也拥有更好的红度。本研究为肉牛选育改良及高效生产提供一定的数据支持和理论基础。

**关键词** 西门塔尔牛; 杂交牛; 牛肉品质; 脂代谢; 血液指标

中图分类号 S823

文章编号 1007-4333(2023)04-0101-07

文献标志码 A

## Comparative analysis of blood indexes related to lipid metabolism and meat quality of Simmental and its crossbred cattle

WU Yi<sup>1</sup>, ZHAO Pengfei<sup>1</sup>, LI Xiaorui<sup>1</sup>, Huangfumingke<sup>1</sup>, CHEN Zhimeng<sup>1</sup>, CHEN Hao<sup>1</sup>, LI Chengjiao<sup>2</sup>, BAO Siriguleng<sup>2</sup>, BAI Zhiming<sup>3</sup>, BAO Zhanying<sup>3</sup>, LI Yu<sup>3</sup>, Simujide<sup>1</sup>, WANG chunjie<sup>2</sup>, Aorigele<sup>1\*</sup>

(1. College of Animal Sciences, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China;

2. College of veterinary medicine, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China;

3. Xing'an League Agricultural Technology Extension Center, Ulanhot 137400, China;

4. Agricultural and Animal Husbandry Science and Technology Development Center of Horqin Youyouqian Banner, Ulanhot 137400, China)

**Abstract** In order to compare the differences between *Simmental* cattle and their hybrid fattening cattle in blood indexes related to fat metabolism and meat quality, *Simmental* cattle (S group), *Simmental* cattle × *Holstein* cattle (SH group), *Simmental* cattle × *Mongolian* cattle (SM group) were divided into three groups, and the blood biochemical indexes related to fat metabolism and beef quality of the three groups of finishing cattle were determined. The results showed that: 1) The meat redness  $a^*$  in SM group and SH group were significantly higher than those in S

收稿日期: 2022-07-16

基金项目: 优质肉牛绿色高效安全养殖技术集成研究与示范(2020GG0043); 内蒙古自治区 2022 年农业重大技术协同推广计划(RNXT202209)

第一作者: 吴怡(ORCID:0000-0002-1992-5017), 硕士研究生, E-mail: 2607869647@qq.com

通讯作者: 敖日格乐(ORCID:0000-0003-4953-2772), 教授, 主要从事肉牛研究, E-mail: aori6009@163.com

group( $P<0.05$ ); 2) The glucose (GLU) of *Simmental* cattle  $\times$  *Mongolian* cattle were significantly higher than those of *Simmental* cattle ( $P<0.05$ ); 3) The muscle yellowness  $b^*$  of SH group was significantly lower than that of the other two groups( $P<0.01$ ). To sum up, *Simmental*  $\times$  *Mongolian* crossbred beef cattle have better energy and fat storage capacity than *Simmental* beef cattle, and also have better redness in meat color. This study can provide some data support and theoretical basis for beef cattle breeding and improvement and efficient production.

**Keywords** *Simmental*; crossbred cattle; beef quality; lipid metabolism; blood index

据报道,中国人年均猪肉的消费量所占红肉类比例最大(30.3 kg/(人·年)),其次是牛肉(3.9 kg/(人·年)),最后是绵羊和山羊肉(3.1 kg/(人·年)),尽管猪肉在中国被广泛消费,但随着中国经济的快速发展,肉类消费模式和对肉类的选择态度发生了巨大变化<sup>[1]</sup>。口味鲜美且富含脂肪酸、微量元素和优质蛋白质的牛肉越来越受消费者青睐<sup>[2]</sup>。牛肉被视为更为健康的肉类,正在逐步成为人们重要的蛋白质来源<sup>[3]</sup>。近年来,中国牛肉的进口量稳步增长,且消费者对牛肉的需求量预计将持续增加<sup>[4]</sup>。

近几十年来,中国牛肉业的目标是通过育肥本地品种的肉牛或将其与其他国家的优良品种杂交来提高牛肉产量和肉品质,不同品种间抗病能力、生产性能及脂肪代谢机制都不同<sup>[5]</sup>。西门塔尔牛占中国肉牛总数的70%以上,是中国主要的肉牛品种之一,具有屠宰率高、生长迅速等优点<sup>[6]</sup>,但其牛肉风味较我国地方黄牛品种存在一定差距<sup>[7]</sup>。蒙古牛是内蒙古本土优良的牛种,耐粗饲,其肉类风味脂肪酸丰富,但其生长缓慢,饲料利用率较低<sup>[8]</sup>。荷斯坦牛具有产奶量高和乳品质高的特性,但其公牛在牛肉生产中的利用价值易被忽视<sup>[9]</sup>。研究表明杂种优势对肉牛生长性状有正效应,这反映了杂种优势对肉牛生长性状的重要性,通过杂交育种来提高肉牛生产性能和肉品质是养殖业提高养殖效益的措施之一<sup>[10]</sup>。Wang等<sup>[5]</sup>研究发现,与地方黄牛相比,西门塔尔 $\times$ 宣汉黄牛的日增重和屠宰性能均显著提高,但在嫩度和系水力等牛肉品质方面出现不同程度的下降;还有学者报道安格斯 $\times$ 西门塔尔牛杂交后代的牛肉剪切力显著低于西门塔尔牛<sup>[11]</sup>。因此,西门塔尔牛分别与蒙古牛和荷斯坦牛进行杂交,是否可以提高其肉品质需要进一步研究。血液生化指标可以反映牲畜代谢、生长和发育状态的变化,当膳食能量摄入不足时,血清GLU浓度降低,反映出营养素利用率降低<sup>[12]</sup>。血清TG是一种可被各种组织分解的脂肪代谢物,与脂肪代谢密切相关。血清TG浓度

越高,说明反刍动物的脂肪利用率越高<sup>[13]</sup>,且牛肉中的脂肪细胞的体积和数量及脂肪酸代谢与牛肉中脂肪含量密切相关,脂肪含量直接影响其嫩度、色泽和口味等食用特性<sup>[3]</sup>。不同杂交品种肉牛对脂肪代谢血管血液指标是否有差异,目前尚未有相关研究。

因此,本研究旨在比较西门塔尔牛及其杂交育肥牛脂肪代谢相关血液指标和肉品质之间的差异,以期对肉牛选育改良及高效生产提供数据支持和理论基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验动物

本研究在内蒙古兴安盟扎赉特旗天牧臻养殖场进行,实验动物选择体质健康、日龄和体重相近的西门塔尔牛(S)、西门塔尔牛 $\times$ 蒙古牛杂交牛(SM)以及西门塔尔牛 $\times$ 荷斯坦牛杂交牛(SH)3组不同杂交育肥牛各3头作为实验动物。各组试验牛的饲养管理方式均保持一致,育肥结束后于内蒙古天牧臻肉业有限公司屠宰场进行屠宰,并严格依照标准化屠宰流程进行。

### 1.2 试验期育肥牛全混合日粮主要营养成分

### 1.3 测定指标与方法

#### 1.3.1 生产性能测定

体重测定:在育肥初期和末期,于清晨空腹测定试验牛体重并做好记录。

日增重测定=(宰前活重-育肥初期体重)/  
育肥天数

胴体重:屠宰后去皮,除去头尾、四肢和内脏(保留板油和肾脏)后的躯体重。

屠宰率:胴体重占宰前活重的比例。

#### 1.3.2 血液指标测定

屠宰前,利用非抗凝和抗凝采血管分别空腹采集血液,静置30 min,将采血管放入离心机内以3 000 r/min离心10 min,分别分离血清和血浆并分装至离心管, -80℃保存,用于血清生化指标检测。

表1 育肥牛全混合日粮营养成分(干物质基础)

Table 1 Nutrient composition of total mixed ratio for fattening cattle (dry matter basis)

成分 Component	占比/% Proportion
酸性洗涤纤维 ADF	21.3
中性洗涤纤维 aNDF	30.9
粗蛋白 CP	8.3
木质素 Lignin	4.6
非纤维性碳水化合物 NFC	51.3
淀粉 Starch	35.6
粗脂肪 Fat	3.8
粗灰分 Ash	7.3
钙 Ca	0.31
磷 P	0.45
镁 Mg	0.35
钾 K	1.39
氯离子 Cl	0.04
硫 S	0.09

血液生化指标的测定:葡萄糖(GLU)、甘油三酯(TG)、总胆固醇(TC)、高密度脂蛋白(HDL)、低密度脂蛋白(LDL)、极低密度脂蛋白(VLDL)、瘦素(LEP)、非酯化脂肪酸(NEFA)、 $\beta$ 羟基丁酸(BHBA)、碱性磷酸酶(ALP)以及胰岛素(INS)含量采用ELISA试剂盒测定。

### 1.3.3 肉品质测定

肉样采集:屠宰后采集12~13肋间背最长肌肉样用生理盐水冲洗掉血水后分成两份,一份用于肉品质测定,另一份迅速送至 $-20^{\circ}\text{C}$ 保存。

pH测定:利用便携式pH计测定肉样的pH,取3次测定的平均值。

肉色测定:利用经过校正的全自动色差计测定该切面的色度值,取3次测定的平均值。

蒸煮损失测定:将肉样放入蒸锅中加热,待肉样中心温度达到 $70^{\circ}\text{C}$ ,将肉样取出冷却至室温,取出肉块,用滤纸吸干表面水分,称重。

$$\text{蒸煮损失} = (\text{煮前肉样重} - \text{煮后肉样重}) / \text{煮前肉样重} \times 100\%$$

剪切力测定:将肉样放入蒸锅中加热,待肉样中心温度达到 $70^{\circ}\text{C}$ ,将肉样取出冷却至室温。将肉样

切成长条状吸干表面水分并称重后,立即用嫩度剪切力仪测定。各测定值相对误差 $<15\%$ ,取有效3次测定的平均值(NY/T 1180—2006肉嫩度的测定、剪切力测定法)。

滴水损失测定:取长条形肉样约1g,悬挂于排酸室24h,24h后取出称重。

$$\text{滴水损失} = (\text{悬挂前肉样重} - \text{悬挂后肉样重}) / \text{悬挂前肉样重} \times 100\%$$

## 1.4 数据统计与分析

数据采用SPSS 24.0软件进行统计分析。组间差异采用单因素方差分析(ANOVA),并用LSD法进行多重比较,结果以平均值 $\pm$ 标准差表示, $P < 0.05$ 和 $P < 0.01$ 分别为显著和极显著水平。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同杂交组合育肥牛肉屠宰性能比较

如表2所示,各组屠宰性能均无显著差异。

### 2.2 不同杂交组合育肥牛肉血液生化指标比较

通过血液指标相关测定,如表3所示,SM组与S组血清中TG含量均显著高于SH组( $P < 0.05$ );SM组GLU含量较S组显著升高( $P < 0.05$ );各组血清中TC、ALP、BHBA、HDL、INS、LEP和VLDL含量差异均不显著( $P > 0.05$ )。

### 2.3 不同杂交组合育肥牛肉肉品质相关指标比较

由表4可知,各组pH均无显著差异( $P > 0.05$ );SM组肉样 $L^*$ 值较S组有增加的趋势;SM、SH组肉样 $a^*$ 均显著高于S组( $P < 0.05$ );SH组 $b^*$ 极显著低于其他两组( $P < 0.01$ );SM组剪切力显著高于其他两组( $P < 0.05$ )。各组间蒸煮损失以及滴水损失均无显著差异( $P > 0.05$ )。

## 3 讨论

### 3.1 不同杂交组合育肥牛肉血液生化指标分析

血液生化指标可以反映家畜代谢、生长和发育状态的变化<sup>[14]</sup>。GLU是乳糖合成的前体物,是所有哺乳动物产生能量所需的关键营养素<sup>[15]</sup>。膳食能量摄入不足可导致血清GLU浓度下降,降低营养利用率<sup>[16]</sup>。糖类在牛体内通过糖异生作用合成贮备能量的糖原或脂肪<sup>[17]</sup>。这与本研究中西门塔尔牛 $\times$ 蒙古牛杂交牛组GLU转运能力强于西门塔尔牛且容易储备更多的糖原与脂肪的结果相一致,表明杂交可以提高机体营养利用率,增强动物体内糖代谢,从而改善机体沉积脂肪的能力。

表2 不同杂交组合的屠宰性能比较

Table 2 Comparison of slaughter performance of different hybrid combinations

项目 Item	S	SH	SM	P 值 P value
初重/kg Initial BW	193.00±6.08	212.67±3.51	184.33±21.08	0.084
末重/kg Final BW	577.33±46.36	585.00±37.24	556.67±5.69	0.608
屠宰率/% Slaughter rate	54.66±0.46	55.76±2.14	54.50±1.98	0.638
日增重/kg ADG	0.77±0.10	0.83±0.07	0.77±0.12	0.704

注:同行数据肩标无字母或相同字母表示差异不显著( $P>0.05$ ),不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ )。

S、SH、SM 分别代表西门塔尔牛、西门塔尔×荷斯坦牛和西门塔尔牛×蒙古牛。下同。

Note: No letter or the same letter on the shoulder mark of peer data indicates no significant difference ( $P>0.05$ ), and different lowercase letters indicate significant difference ( $P<0.05$ ). S, SH and SM represent *Simmental* cattle and *Simmental*×*Holstein* cattle, *Simmental*×*Mongolian* cattle. The same below.

表3 不同杂交组合育肥牛血清生化指标比较

Table 3 Comparison of serum biochemical indexes of finishing cattle with different hybrid combinations

项目 Item	S	SH	SM	P 值 P value
甘油三酯/(mmol/L) TG	5.06±0.25 a	5.31±0.34 a	2.37±3.12 b	0.024
总胆固醇/(mmol/L) TC	5.36±0.41	5.24±0.47	4.82±0.31	0.084
碱性磷酸酶/(U/L) ALP	159.50±7.64	168.90±10.01	176.11±18.43	0.115
β羟丁酸/(μmol/L) BHBA	280.32±33.45	289.85±46.18	267.19±27.20	0.570
高密度脂蛋白/(mg/dL) HDL	79.90±7.73	77.15±9.49	74.59±5.14	0.492
胰岛素/(mIU/L) INS	17.65±1.93	16.65±1.29	19.11±2.28	0.107
瘦素/(ng/mL) LEP	8.99±0.92	9.72±1.65	9.09±0.73	0.523
极低密度脂蛋白/(mmol/L) VLDL	11.05±1.39	12.04±0.41	11.43±1.22	0.313
葡萄糖/(mmol/L) GLU	5.22±0.55 b	6.12±0.28 a	5.51±0.59 b	0.018

表4 不同杂交组合育肥牛肉品质指标比较

Table 4 Comparison of quality indexes of fattening beef with different hybrid combinations

肉品质指标 Meat quality index	S	SH	SM	P 值 P value
pH	6.64±0.06	6.88±0.03	7.06±0.34	0.108
肌肉亮度 L* Muscle brightness	32.64±4.79	39.58±2.18	44.61±6.31	0.057
肌肉红度 a* Muscle redness	98.60±23.82 b	190.93±28.75 a	177.40±31.91 a	0.015
肌肉黄度 b* Muscle yellowness	122.93±29.68 a	40.12±19.73 b	90.46±7.26 a	0.008
滴水损失/% Drip loss	1.17±1.33	1.04±0.23	1.10±0.42	0.981
蒸煮损失/% Cooked meat rate	63.67±3.51	65.00±6.92	61.67±1.02	0.861
剪切力/kg Shear force	8.52±1.05 b	8.52±0.59 b	13.45±3.32 a	0.039



动物体内的脂肪沉积是一个复杂的生物过程,包括多种转录因子的调节,如 PPAR $\gamma$ 、C/EBP 家族的一些成员、KLFs、STAT5、SREBP-1c 和转录因子 E2F 家族等<sup>[18]</sup>。脂肪作为生物体的储能物质,在体内以甘油三酯(TG)的形式贮存<sup>[19]</sup>。有研究指出,TG 的作用是维持组织修复的动态脂蛋白平衡,维持血液 pH,并在必要时通过氧化提供能量,随着能量摄入的增加,肝脏将合成 TG,然后输出到身体进行能量储存,但在能量动员期间,脂肪将以游离脂肪酸的形式输出能量<sup>[12]</sup>。研究指出 PPAR $\gamma$  能诱导 LPL 和 FAT/CD36 的表达,调节前体脂肪细胞分化成熟的脂肪细胞,通过调节脂肪细胞信号转导,影响脂肪酸吸收相关基因在脂肪组织中的表达,降低脂肪分解率,增加 TG 合成<sup>[20]</sup>。本研究中西门塔尔牛×蒙古牛杂交牛组血清 TG 含量高于西门塔尔牛,这与王敏<sup>[21]</sup> 研究中指出的饮食中脂肪含量过高或者运动量过少,血液中 TG 含量会增高一致。本研究中各组牛饲养管理均一致,牛运动量应处于同一水平,因此推断西门塔尔牛×蒙古牛杂交牛组与西门塔尔牛×荷斯坦牛杂交牛储存脂肪的能力优于西门塔尔牛。

综上所述,西门塔尔牛×蒙古牛杂交牛较西门塔尔牛有更好的能量脂肪贮存能力和脂肪沉积能力,杂交组牛肉脂肪含量将会随之增加,从而改善肉质。

### 3.2 不同杂交组合育肥牛肉品质分析

为满足消费者的需求,培育肉质优良的牛肉品种至关重要,不同牛品种有不同的生长特性、肉质和风味,这表明不同品种调节肉质的机制可能不同<sup>[22]</sup>。嫩度是消费者感知肉类质量、味道和满意度的最重要因素之一<sup>[23]</sup>。肉嫩度被认为是消费者评价适口性的主要标准<sup>[24]</sup>。同时,肉质也由其他一些因素决定,如肌肉 pH 和肌肉纤维,肌肉 pH 是反映宰后动物肌肉糖酵解率的重要指标,这与牛肉的持水能力和肉色有关<sup>[25]</sup>。本研究中各组 pH 无显著差异,但西门塔尔牛×蒙古牛杂交牛组的 pH 有升高的趋势。

肉类颜色是判断肉类质量的直接因素<sup>[26]</sup>。肌红蛋白的氧化,会影响牛肉的颜色<sup>[27-28]</sup>。氧化肌红蛋白(O Mb)是最常见的与新鲜健康牛肉相关的形式,牛排越红,表面 O Mb 更多<sup>[29]</sup>。还有研究指出肉色的深浅主要由 Fe 离子和肌红蛋白所决定<sup>[30]</sup>。Nogalski 等<sup>[31]</sup> 研究发现牛肉中锌和铁含量较高,可

导致牛肉中脂肪含量降低。肉色也是肌肉生理生化结构变化的直接反应,肌红蛋白含量的变化可直接导致牛肉色泽的不同,肉牛品种、饲料及饲养管理等因素的改变均对肌红蛋白含量产生一定影响<sup>[32]</sup>。牛肌肉的化学成分相对稳定(水约 75%、蛋白质占 19%~25%、矿物质占 1%~2%),肌红蛋白氧化会影响牛肉颜色<sup>[28]</sup>。Ollmann 等<sup>[33]</sup> 证实 ASIP 可以与  $\alpha$ -MSH 竞争性结合 MC1R,从而影响色素的生成<sup>[1]</sup>。有研究发现饲喂低脂干酒糟中的可溶性物质通过增加亮度和红色来提高牛肉品质,且该成分会改变 n-6 多不饱和脂肪酸的浓度,对生脂基因表达影响较小,仅下调 LPL 表达<sup>[28]</sup>。

综上所述,本研究结果中西门塔尔牛×荷斯坦牛杂交牛肌肉 b\* 极显著低于其他两组,西门塔尔牛×蒙古牛杂交牛、西门塔尔牛×荷斯坦牛杂交牛肉样 a\* 均显著高于西门塔尔牛,西门塔尔牛×蒙古牛杂交牛、西门塔尔牛×荷斯坦牛杂交牛肉样较西门塔尔牛红,可以推测西门塔尔牛×蒙古牛杂交牛、西门塔尔牛×荷斯坦牛杂交牛肌红蛋白和铁的含量较西门塔尔牛高,因此更能激起消费者的购买欲。这与 Zhou 等<sup>[34]</sup> 得出的杂交可以显著提高黄牛的牛肉品质的结果一致。

## 4 结 论

西门塔尔牛通过分别与荷斯坦牛和蒙古牛杂交,与蒙古牛杂交可以提高其能量和脂肪储存能力,还可以改善肉品质。因此肉牛杂交改善肉牛体脂沉积和生产优质牛肉的有效途径,但相关机制还有待进一步研究。

## 参考文献 References

- [1] Kantono K, Hamid N, Ma Q L, Chadha D, Oey I. Consumers' perception and purchase behaviour of meat in China[J]. *Meat Science*, 2021, 179: 108548
- [2] Enser M, Hallett K G, Hewett B, Fursey G A, Wood J D, Harrington G. Fatty acid content and composition of UK beef and lamb muscle in relation to production system and implications for human nutrition[J]. *Meat Science*, 1998, 49(3): 329-341
- [3] 陈浩,王纯洁,斯木吉德,敖日格乐. 牛肉品质及其影响因素研究进展[J]. *动物营养学报*, 2021, 33(2): 669-678  
Chen H, Wang C J, Simujide, Aorigele. Research progress on beef quality and its influencing factors [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2021, 33 (2): 669-678 (in Chinese)
- [4] Ortega D L, Hong S J, Wang H H, Wu L. Emerging markets for imported beef in China: results from a consumer choice experiment in Beijing[J]. *Meat Science*. 2016, 121: 317-323

- [5] Wang Y, Wang Z, Hu R, Peng Q, Xue B, Wang L. Comparison of carcass characteristics and meat quality between *Simmental* crossbred cattle, cattle-yaks and Xuanhan yellow cattle. [J]. *Journal of the Science Food Agriculture*. 2021, 101(9): 3927-3932
- [6] Duan X, An B, Du L, Chang T, Liang M, Yang B G, Xu L, Zhang L, Li J, E G, Gao H. Genome-wide association analysis of growth curve parameters in Chinese *Simmental* beef cattle[J]. *Animals (Basel)*, 2021 Jan 15;11(1): 192
- [7] 郑月. 锦江牛与西门塔尔牛耐热性和脂质代谢及肉品质的比较研究[D]. 南京:南京农业大学, 2017  
Zhen Y. Comparative study on the heat-tolerance, lipid metabolism and meat quality between Jin Jiang and Simmental beef[D]. Nanjing, Nanjing Agricultural University, 2017 (Chinese)
- [8] Aricha Han, Simujide Huasai, Wang Chunjie, Zhang Jian, Lv Wenting, Jimisi Xirnud, Liu Bo, Chen Hao, Zhang Chen, He Lina, Cui Yinxue, Gao Ruijuan, Aorigele Chen. Comparative analysis of fecal microbiota of grazing Mongolian cattle from different regions in Inner Mongolia, China [J]. *Animals: an open access journal from MDPI*, 2021, 11(7).
- [9] Li Y, Wang M M, Li Q F, Gao Y X, Li Q, Li J G, Cao Y F. Transcriptome profiling of longissimus lumborum in Holstein bulls and steers with different beef qualities. [J]. *PLoS one*, 2020, 15(6).
- [10] Akanno Everestus C, Abo-Ismael Mohammed K, Chen Liuhong, Crowley John J, Wang Zhiquan, Li Changxi, Basarab John A, MacNeil Michael D, Plastow Graham S. Modeling heterotic effects in beef cattle using genome-wide SNP-marker genotypes [J]. *Journal of animal science*, 2018, 96(3).
- [11] Triasih D, Krisdiani D, Riyanto J, Pratitis W, Widyawati S D. The effect of different location of muscle on quality of frozen *Simmental* ongole grade male meat [J]. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2018, 119, 012039
- [12] Wang Y C, Wang Q Y, Dai C P, Li J Z, Huang P F, Li Y L, Ding X Q, Huang J, Hussain T, Yang H S. Effects of dietary energy on growth performance, carcass characteristics, serum biochemical index, and meat quality of female Hu lambs[J]. *Animal Nutrition*, 2020, 6(4): 499-506
- [13] Song S Z, Wu J P, Zhao S G, Casper D P, He B, Liu T, Lang X, Gong X Y, Liu L S. The effect of energy restriction on fatty acid profiles of longissimus dorsi and tissue adipose depots in sheep [J]. *Journal of Animal Science*. 2017, 95(9): 3940-3948
- [14] Joshi P K, Bose M, Harish D. Changes in certain haematological parameters in a siluroid cat fish *Clarias batrachus* (Linn) exposed to cadmium chloride[J]. *Pollution Research*, 2002, 21(2): 129-131
- [15] Añez-Osuna F, Penner G B, Campbell J, Dugan M E R, Fitzsimmons C J, Jefferson P G, Lardner H A, McKinnon J J. Level and source of fat in the diet of gestating beef cows; I. Effects on the prepartum performance of the dam and birth weight of the progeny[J]. *Journal of Animal Science*, 2019, 97(7): 3103-3119
- [16] Loncke C, Nozière P, Vernet J, Lapierre H, Bahloul L, Al-Jammas M, Sauvant D, Ortigues-Marty I. Net hepatic release of glucose from precursor supply in ruminants; A meta-analysis[J]. *Animal*, 2020, 14(7): 1422-1437
- [17] Dadheech T, Shah R, Pandit R, Hinsu A, Chauhan P S, Jakhesara S, Kunjadiya A, Rank D, Joshi C. Cloning, molecular modeling and characterization of acidic cellulase from buffalo rumen and its applicability in saccharification of lignocellulosic biomass[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2018, 113, 73-81
- [18] Song C C, Huang Y Z, Yang Z X, Ma Y L, Chaogetu B, Zhuoma Z X, Chen H. RNA-seq analysis identifies differentially expressed genes in subcutaneous adipose tissue in qaidamford cattle, cattle-yak, and Angus cattle[J]. *Animals: an Open Access Journal from MDPI*, 2019, 9(12): 1077
- [19] Coleman D N, Alharthi A S, Liang Y S, Lopes M G, Lopreiato V, Vailati-Riboni M, Looor J J. Multifaceted role of one-carbon metabolism on immunometabolic control and growth during pregnancy, lactation and the neonatal period in dairy cattle[J]. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 2021, 12(1): 27
- [20] 熊琳. 放牧牦牛脂肪沉积特性及调控机理研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2021  
Xiong L. The study of characteristic of fat deposition in grazing *Yak* and regulatory mechanism [D]. Beijing; Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2021 (in Chinese)
- [21] 王敏. 放牧与舍饲对肉牛生产性能和肉品质影响的比较研究[D]. 长春: 吉林大学, 2020  
Wang M. A comparative study on the effects of grazing and stall feeding on the performance and meat quality of beef cattle[D]. Changchun; Jilin University, 2020 (in Chinese)
- [22] Meng X R, Gao Z W, Liang Y S, Zhang C L, Chen Z, Mao Y J, Huang B Z, Kui K X, Yang Z P. Longissimus dorsi muscle transcriptomic analysis of *Simmental* and Chinese native cattle differing in meat quality[J]. *Frontiers in Veterinary Science*, 2020, 7, 601064
- [23] Song S Z, Wu J P, Zhao S G, Casper D P, Zhang L P, He B, Lang X, Wang C L, Gong X Y, Wang F, Liu L S. The effect of periodic energy restriction on growth performance, serum biochemical indices, and meat quality in sheep[J]. *Journal of Animal Science*, 2018, 96(10): 4251-4263
- [24] Castro L M, Rosa G J M, Lopes F B, Regitano L C A, Rosa A J M, Magnabosco C U. Genomewide association mapping and pathway analysis of meat tenderness in Polled Nellore cattle [J]. *Journal of Animal Science*, 2017, 95(5): 1945-1956
- [25] Chulayo A Y, Bradley G, Muchenje V. Effects of transport distance, lairage time and stunning efficiency on cortisol, glucose, *HSP60* and how they relate with meat quality in cattle[J]. *Meat Science*, 2016, 117: 89-96
- [26] Keady S M, Waters S M, Hamill R M, Dunne P G, Keane M G, Richardson R I, Kenny D A, Moloney A P. Compensatory growth in crossbred *Aberdeen Angus* and *Belgian Blue* steers: Effects on the colour, shear force and sensory characteristics of longissimus muscle[J]. *Meat Science*, 2017, 125: 128-136
- [27] Khlijji S, van de Ven R, Lamb T A, Lanza M, Hopkins D L. Relationship between consumer ranking of lamb colour and objective measures of colour[J]. *Meat Science*, 2010, 85(2): 224-229
- [28] Reis V A, Reis R A, da Ros de Araújo T L, Lage J F, Teixeira P D, Gionbelli T R S, Lanna D P, Ladeira M M. Performance, beef quality and expression of lipogenic genes in young bulls fed low-fat dried distillers grains[J]. *Meat Science*, 2020, 160: 107962
- [29] Van Bibber-Krueger C L, Collins A M, Phelps K J, O'Quinn T G, Houser T A, Turner K K, Gonzalez J M. Effects of quality grade and intramuscular location on beef semitendinosus muscle fiber characteristics, *NADH* content, and color stability[J]. *Journal of Animal Science*, 2020, 98(4): skaa078
- [30] Karamucki T, Jakubowska M, Rybarczyk A, Gardzielewska J. The influence of myoglobin on the colour of minced pork loin [J]. *Meat Science*, 2013, 94(2): 234-238
- [31] Nogalski Z, Pogorzelska-Przybyłek P, Sobczuk-Szul M, Modzelewska-Kapituła M. Effects of rearing system and fattening intensity on the

chemical composition, physicochemical properties and sensory attributes of meat from young crossbred (Holstein-Friesian × Hereford) bulls[J]. *Animals*, 2022, 12(7): 933

- [32] Carpenter C E, Cornforth D P, Whittier D. Consumer preferences for beef color and packaging did not affect eating satisfaction[J]. *Meat Science*, 2001, 57(4): 359-363

[33] Ollmann M M, Lamoreux M L, Wilson B D, Barsh G S. Interaction of Agouti protein with the melanocortin 1 receptor *in vitro* and *in vivo*[J]. *Genes & Development*, 1998, 12(3): 316-330

- [34] Zhou G H, Liu L, Xiu X L, Jian H M, Wang L Z, Sun B Z, Tong B S. Productivity and carcass characteristics of pure and crossbred Chinese Yellow Cattle[J]. *Meat Science*, 2001, 58(4): 359-362

责任编辑：秦梅



**第一作者简介：**吴怡，在读硕士研究生，目前就读于内蒙古农业大学。在读期间主要从事肉牛生产及其肉品质的研究。2020—2021年连续两年获得校级学业奖学金，2022年获得内蒙古自治区学业奖学金。参与农业农村部政府购买服务项目，优质肉牛绿色高效安全养殖技术集成研究与示范项目，内蒙古自治区2022年农业重大技术协同推广计划项目。



**通讯作者简介：**敖日格乐，博士、内蒙古农业大学教授、博士生导师，内蒙古现代肉牛产业技术体系首席科学家，农业农村部农业重大技术协同推广项目内蒙古自治区肉牛产业技术协同推广团队研发首席，内蒙古自治区“草原英才”工程肉牛种质资源培育与创新利用创新人才团队首席科学家，内蒙古自治区农牧厅肉牛种业专家组主任，中国农学会秸秆养畜研究会常务理事，中国畜牧兽医学会养牛学分会常务理事，中国畜牧兽医学会环境卫生分会常务理事，中国奶业协会理事，内蒙古动物健康养殖安全生产学会副理事长，内蒙古畜牧学会副理事长，内蒙古奶业协会常务理事、专家组副组长。

主要从事肉牛奶牛营养调控、科学饲养与生产模式、肉牛饲料资源开发利用，现代肉牛产业技术体系，肉牛行为发生机制与信号的研究。主持国家自然科学基金项目6项、国家教育部归国留学人员基金项目1项、国家重点研发项目子课题1项、国家科技支撑项目子课题3项、内蒙古科技计划项目等6项科研课题。在国内外学术刊物(包括SCD)和国内外学术会议上发表论文150余篇。获得内蒙古自治区科技进步二等奖2项，自治区科技进步三等奖2项，首届内蒙古自治区青年科技奖1项，内蒙古自治区农牧业丰收一等奖1项，中国奶业突出贡献人才奖1项。内蒙古自治区优秀奶业工作者称号，内蒙古自治区优秀研究生指导教师称号和内蒙古农业大学“教书育人”先进称号。