

添加生物饲料对肉牛大理石纹相关基因表达的影响

叶连萌, 杨朝云, 卢鑫, 李鹏, 马云, 王兴平, 史远刚*

(宁夏大学农学院, 银川 750021)

摘要: 为探究日粮中添加生物饲料对肉牛肉质的影响, 将随机选择的年龄 (28~29 月龄)、体型相近的 40 头日本和牛×秦川牛杂交 F1 育肥阉牛, 随机分为对照组和试验组, 分别添加 0% 和 8% 的生物饲料; 饲养期为 5 个月, 每个月进行一次体重测定; 饲养试验结束后, 每组随机挑 14 头进行屠宰, 测量 12~13 肋间眼肌面积, 并对大理石纹进行评分; 采用实时荧光定量 PCR 技术检测试验组和对照组背最长肌甲状腺球蛋白 (TG)、过氧化物酶体增殖物激活受体 α (PPAR α) 和过氧化物酶体增殖物激活受体 β (PPAR β) 基因的表达量。结果表明, 试验组的眼肌面积大小和大理石纹评分极显著高于对照组 ($P<0.01$); 试验组牛 TG 和 PPAR α 基因表达量显著高于对照组 ($P<0.05$), PPAR β 基因表达量高于对照组, 但未达显著水平 ($P>0.05$)。由此表明, 日粮中添加活性干酪乳杆菌和酿酒酵母生物饲料可上调与动物脂肪代谢相关基因 PPAR α 和与肉牛大理石花纹脂肪沉积相关基因 TG 的表达, 促进肉牛肌内脂肪 (IMF) 沉积, 提升牛肉大理石花纹等级。

关键词: 生物饲料; 和秦 F1 育肥牛; 大理石纹评分; qRT-PCR

中图分类号: S823.92

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2020)04-0524-06

Effect of adding a biological feed on the expression of marbling-related genes in beef cattle

YE Lianmeng, YANG Chaoyun, LU Xin, LI Peng, MA Yun, WANG Xinping, SHI Yuangang

(School of Agriculture, Ningxia University, Yinchuan 750021)

Abstract: This experiment was designed to investigate the effect of adding biological feed on beef quality. Selecting 40 F1 generation fattening cattle of Japanese black cattle and Qinchuan cattle with similar age (28-29 months old), randomly divided into control group and experimental group, adding 0% and 8% biological feed of feeding standards respectively. The feeding period was 5 months and the body weight was measured once a month. After feeding experiment, 14 cattle were randomly selected from each group for slaughter. The longitudinal section area between 12-13 spinal vertebra of longissimus was measured and the marbling was scored. The technology real-time quantitative PCR was used to determine the expression of TG, PPAR α and PPAR β gene in the experimental group and the control group, and to analyze the molecular mechanism of the effect of feeding biological on the fat deposition of beef cattle. The results showed that the eye muscle area and marbling score were significantly higher than the control group ($P<0.01$); The expression levels of TG and PPAR α in the experimental group were significantly higher than those in the control group ($P<0.05$). The expression of PPAR β gene was higher than that in the control group, but it was not significant ($P>0.05$). This indicates that the addition of active *L. casei* and *Saccharomyces cerevisiae* bio-feed to the diet can up-regulate the expression of gene PPAR α related to animal fat metabolism and gene TG related to the fat deposition of beef cattle, promote the deposition of intramuscular fat (IMF) in beef cattle, and upgrade the grade of marbling in beef cattle.

Key words: biological feed; the F1 generation fattening castrated cattle of Japanese black cattle × Qinchuan cattle; marbling scores; qRT-PCR

随着社会经济的迅速发展, 人们对高品质牛肉的需求与日俱增。肌内脂肪 (intramuscular fat, IMF)

可对牛肉品质和脂肪沉积产生积极影响, 与个体的生长发育及屠宰性能紧密相关, 肌内脂肪含量达到

收稿日期: 2019-09-19

基金项目: 国家自然科学基金 (31660645) 资助。

作者简介: 叶连萌, 硕士研究生。E-mail: Allen_ylm@163.com

* 通信作者: 史远刚, 博士, 教授, 博士生导师。E-mail: shyga818@126.com

10%便能呈现理想的大理石花纹,才可被称作高档牛肉^[1]。试验证实,过氧化物酶体增殖激活受体(peroxisome proliferator-activated receptors, PPARs)家族基因在动物脂肪代谢过程中起着重要的调控作用,根据结构的不同可分为 PPAR α 、PPAR β 和 PPAR γ 三种亚型^[2],具有调节脂肪代谢、炎症反应、脂肪细胞生长分化等功能。国外学者证实三碘甲腺原氨酸和甲状腺球蛋白(Thyroglobulin, TG)与肉牛大理石纹脂肪沉积相关,并且还出现了商品化的基因测试^[3]。此外,该基因 5'端多态性与提高脂肪总量相关,是大理石纹沉积的标志基因^[4]。

我国在 21 世纪初便开始对生物饲料的探索,出现以发酵技术和生物活性添加剂为主的饲料添加产品^[5]。其中,巴斯德生物饲料是将液态添加剂干酪乳杆菌、饲料添加剂酿酒酵母等与饲料原料稻糠、饲料原料玉米胚芽饼等按一定比例混合、发酵,制成的活性干酪乳杆菌和酿酒酵母产品,可提高奶牛产奶性能^[6]和肉牛的产肉性能^[7]。Butler 和 Kumar 团队研究发现肌肉组织和肉类的抗氧化能力取决于在饲料中作为最重要的内部因素的助氧化剂和抗氧化剂之间的平衡,以及肉中脂质的脂肪酸分布。通过在饲料中加入抗氧化剂或天然抗氧化剂,可以改善家禽和猪等非反刍动物肉类的氧化稳定性。对于反刍动物,瘤胃微生物菌群在吸收前会降低脂质不

饱和的程度,并调节饲料成分对肉的影响^[8-9]。迄今为止,我国在应用生物饲料提高牛肉品质方面的研究还处于探索阶段^[10]。因此,本研究旨在通过添加活性干酪乳杆菌和酿酒酵母生物饲料饲喂肉牛,对试验牛进行宰前体重测量及宰后生产测定如大理石花纹面积测量和大理石纹等级评分,采用 qRT-PCR 方法检测与大理石纹沉积相关基因 TG 和与脂肪代谢相关基因 PPAR α 、PPAR β mRNA 水平的表达量变化,探讨生物饲料饲喂影响肉牛脂肪沉积的相关分子机理,以期为高品质肉牛培育提供有价值的参考。

1 材料与方法

1.1 试验动物与试验设计

选择体况评分基本一致、28~29 月龄的和牛 \times 秦川牛杂交 F1 代育肥牛 40 头作为试验用牛,随机分为试验组与对照组(每组 20 头牛)。日粮根据我国《肉牛饲养标准》(NY/T815-2004)^[11]进行饲喂(表 1),试验组牛饲喂日粮中添加 8%的生物饲料(由山东巴斯德生物科技有限公司提供制作技术和建议的添加量),对照组牛正常(即生物饲料添加量为 0%)饲喂。饲喂预试期为 5 月 10 日至 19 日(第 1 天给试验组添加 2%的生物饲料,逐日增加至 8%),饲喂正试验为 5 月 20 日至 10 月 10 日。

表 1 肉牛基础日粮营养构成

Table 1 Composition and nutrient levels of basal diet

原料 Ingredients	含量/% Content	营养水平 Nutrient levels	含量/% Content
酒糟 Distiller's grains	20.00	粗蛋白质 CP	11.19
稻草 Straw	20.00	干物质 DM	89.42
小麦 Wheat	56.50	综合净能 NE _{mf} /(MJ/kg)	5.45
食盐 NaCl	0.50	粗灰分 CA	7.80
预混料 Premix	2.00	中性洗涤纤维 NDF	30.08
碳酸氢钠 Na ₂ CO ₃	1.00	酸性洗涤纤维 ADF	15.18
		磷 P	0.67
合计 Total	100.00	钙 Ca	1.11

1.2 部分生长性能和屠宰性能的测定

体增重:在试验期的第 1、30、60、90、120、150 天上午对试验牛分别空腹称重并记录。

眼肌面积测定:饲喂试验结束后,按照《鲜、冻分割牛肉:GB/T17238-2008》^[12]标准屠宰试验牛,将牛的二分胴体 4℃排酸 72 h 后,测定胴体 12~13 肋间背最长肌的横切面面积(先用硫酸纸绘出眼肌横切面的轮廓,然后再由眼肌面积测量板测定^[13])。

大理石纹等级评分:按照《牛肉等级规格:

NYT676-2010》^[14]对大理石纹肉评分,评分等级由低到高依次为 1 到 5 分,由 3 人同时评分取中值。

1.3 试验样品采集

饲喂试验结束后屠宰,立即从胴体第 12~13 肋骨间采集背最长肌,经无菌无 RNA 酶处理水冲洗后,剪切成小块(厚度约 0.3 cm)立即液氮冷冻保存,用于提取 RNA 后测定基因表达。

1.4 RNA 提取

采用 UNIQ-10 柱式 Trizol 总 RNA 抽提试剂盒

(生工生物, 编号: B511321), 按照产品说明书提取牛背最长肌总 RNA, 用 SMA4000 微量分光光度计检测总 RNA 的浓度, 取 3 μL 总 RNA 样品用 1.5% 琼脂糖凝胶电泳检查其完整性。

1.5 基因表达的测定

将总 RNA 反转录为 cDNA。采用 Primer Premier 5.0 设计 qRT-PCR 引物(表 2), 并委托生工(上海)生物公司合成。用 β-actin 作为内参基因。

表 2 特异性定量引物信息
Table 2 The information of primers for qRT-PCR

引物名称 Primer Name	引物序列 (5'-3') Primer sequences (5' to 3')	产物长度/bp Length
TG-F	GGTGACGTGATGGAAATGGT	110
TG-R	AAGCACTGGACCTCCTCGTA	
PPARα-F	GTTCCACAAGTGCCTTTCAGTT	120
PPARα-R	TCTTCTAGGTCATGCTCACACGT	
PPARβ-F	ATCATTGAGCCCAAGTTCTGA	101
PPARβ-R	TCTCCGCACAGAATGATGG	
β-actin-F	AAATGCTTCTAGGCGGACTGT	198
β-actin-R	CTCGATCCAACCGACTGCT	

1.6 统计方法

荧光定量 PCR 数据由相对定量 2^{-ΔΔC_T} 法进行分析^[15]。

数据由 Excel 2016 进行整理, 使用 SAS 9.4 软件进行差异显著性检验, *P*<0.05 表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 添加生物饲料对日本和牛×秦川牛 F1 育肥牛增重的影响

试验期总增重和日增重的统计如表 3 所示。结果表明, 添加活性干酪乳杆菌和酿酒酵母生物饲料日本和牛×秦川牛 F1 育肥牛的总增重水平和日增重水平比对照组分别提高了 11.78%和 12.63%, 但提高效果均差异不显著 (*P*>0.05)。

2.2 添加生物饲料对日本和牛×秦川牛 F1 育肥牛眼肌面积的影响

眼肌面积测量结果如表 4 所示, 与对照组 (83.63±3.94) cm² 相比, 试验组牛的眼肌面积 (89.73±4.11) cm² 显著增加了 7.30% (*P*<0.01)。

2.3 添加生物饲料对日本和牛×秦川牛 F1 育肥牛大理石纹评分的影响

图 1 为试验牛大理石纹对比图, 可以直观看出试验组牛较对照组肌内脂肪含量高, 大理石花纹明显。图 2 是试验牛大理石纹等级评分分布, 其中试验组 5 级牛有 5 头, 4 级牛有 7 头, 分别占屠宰牛数的 35.71%和 50%, 均高于对照组的 7.14%和 35.71%; 对照组中 3 级牛占比最大, 为对照组屠宰牛的 50%, 而试验组中 3 级牛仅占 14.29%且无 2 级牛。试验组牛眼肌大理石花纹等级评分

(4.21±0.69) 极显著 (*P*<0.01) 高于对照组肉牛 (3.43±0.75)。

表 3 试验牛体增重对比
Table 3 Contrasts of body weight gain of control cattle and experimental group cattle

项目 Item	对照组 Control	试验组 Experimental
总增重/kg AGW	134.07±33.31	149.86±42.60
日增重/kg ADG	0.95±0.24	1.07±0.31

*表中数字的上标有相同字母或没有字母表示差异不显著, 为不同大写字母者表示差异极显著 (*P*<0.01), 为不同小写字母者表示差异显著 (*P*<0.05), 下同

In the same row, values with no letter or the same letter superscripts mean no significant difference, while with different capital/small letter superscripts mean significant difference (*P*<0.01)/ (*P*<0.05). The same as below

表 4 试验牛大理石花纹性状对比
Table 4 Comparison of marbled traits in test cattle

项目 Item	对照组 Control	试验组 Experimental
眼肌面积/cm ² EMA	83.63±3.94 ^B	89.73±4.11 ^A
大理石花纹评分 Marbling scores	3.43±0.75 ^B	4.21±0.69 ^A

2.4 添加生物饲料对日本和牛×秦川牛 F1 育肥牛 TG/PPARα/PPARβ 基因相对表达量的影响

由图 3 可知, 与对照组相比, 添加生物饲料的肉牛眼肌肉组织中 TG 基因和 PPARα 基因的表达量分别提高了 94.44%和 55.93%, 差异均显著 (*P*<0.05) 上调; PPARβ 基因表达量提升了 38.13%, 较对照组差异不显著 (*P*>0.05)。

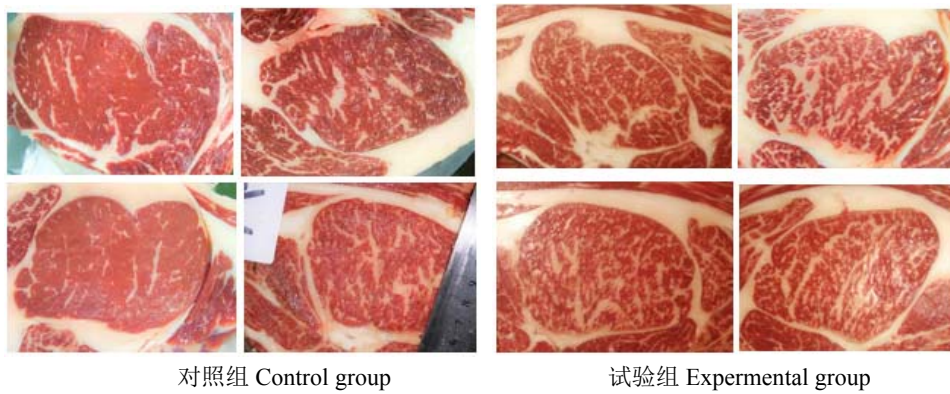


图 1 试验牛大理石纹对比图

Figure 1 Comparison of test cattle marbling meat

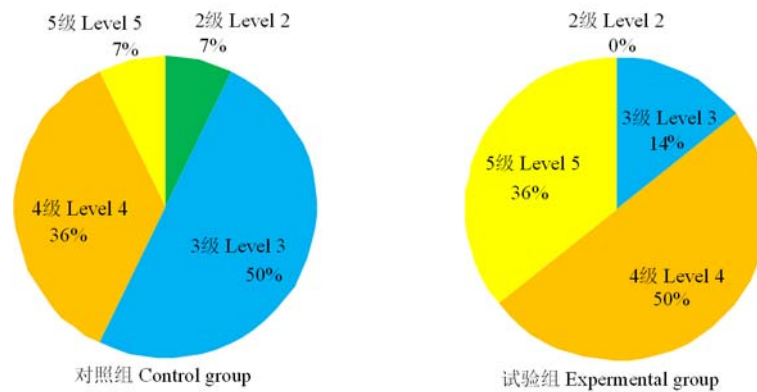
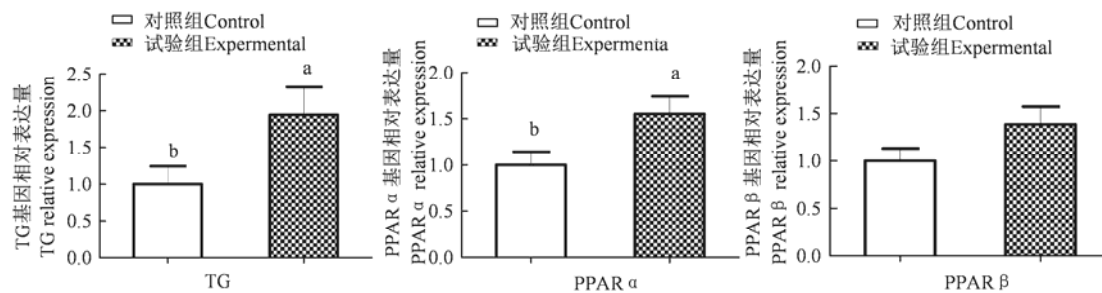


图 2 试验牛大理石纹等级分布扇形图

Figure 2 Sector chart of marbling grades distribution in experimental group and control group

图 3 添加生物饲料对肉牛背最长肌 TG/PPAR α /PPAR β 基因表达量的影响Figure 3 Effect of feeding biological feed on the expression of TG/PPAR α /PPAR β gene in beef cattle marbling meat.

3 讨论与结论

3.1 添加生物饲料对日本和牛 \times 秦川牛 F1 育肥牛增重的影响

本试验结果表明日粮中添加生物饲料, 可使肉牛的平均总增重和日增重分别提高 11.78% 和 12.63%。可见日粮中添加活性干酪乳杆菌和酿酒酵母生物饲料的饲料模式可以提高育肥牛的整体增重水平。这种育肥效果是有理可循的, 生物饲料中微生物中含有大量的益生菌, 在动物体内产生一些具特殊的小肽物质, 从而参与机体生理代谢、促进氨

基酸和矿物质的吸收与富集, 提高蛋白质的合成效率, 饲料中添加活性干酪乳杆菌^[16]和酿酒酵母^[17]使胃肠环境产生抑菌能力, 从而促进动物生长发育。此外, 生物发酵饲料中的活性细胞进入瘤胃而刺激胃内容物的生成, 使纤维分解菌和厌氧菌大量繁殖, 从而提高了饲料的转化率^[18]。这与麻名汉^[19]和曹蕾等^[20]报道研究结论相似。段鹏杰^[21]在秦川牛日粮中添加谷氨酸渣, 发现其可以显著提高育肥期公牛和育肥前、中期母牛的日常增重, 这与本研究对育肥期牛添加活性干酪乳杆菌和酿酒酵母的结果一致; 高慧兰等^[17]在西门塔尔牛日粮中添加 0.5% 的酿酒酵

母培养物对肉牛增重效果显著。吴道义等^[22]向2岁大小的杂交肉牛饲喂1%的酒糟生物饲料也可以显著提高肉牛体重,结论与本试验一致。

3.2 添加生物饲料对日本和牛×秦川牛 F1 育肥牛眼肌面积的影响

眼肌面积可作为评定牛屠宰后胴体品质的重要指标之一,且与肉牛肉的产出也存在紧密的关联性。结果显示试验组牛的眼肌面积较对照组大7.30%,差异极显著($P<0.01$),可见活性干酪乳杆菌和酿酒酵母饲料可有效提高肉牛眼肌面积,从而影响牛肉总产量。刘春龙^[23]在延边黄牛日粮中添加不同水平的维生素E,对牛的净肉率和眼肌面积未出现显著差异($P>0.05$),Shi等^[24]发现饲喂酿酒酵母饲料未对利木赞和鲁西杂交牛的眼肌面积产生显著影响($P>0.05$),结论与本试验不同,可能的原因是本试验选用的是日本黑毛和牛杂交后代较其他肉牛品种具有优良的品种限制;此外,与试验牛的月龄有关,此试验选用的牛是28~29月龄,处在肉牛肌肉脂肪沉积集中期。

3.3 添加生物饲料对日本和牛×秦川牛 F1 育肥牛大理石花纹评分的影响

本试验经过评定得出,试验组肉牛屠宰评定的大理石纹等级较空白对照组提高了20.29%,差异显著($P<0.05$)。耿春银^[25]在利木赞牛饲料中添加酵母益生菌饲料可以获得更高的牛肉大理石纹($P<0.05$),与本试验结论一致;焦培鑫^[26]的研究发现添加生物饲料对肉牛眼肌面积大理石评分无显著影响($P>0.05$),他的研究同Soren等^[27]的发现结果一致。但Estrada-Angulo等^[28]的发现在日粮中添加 1.65×10^{10} CFU·d⁻¹的活性酵母与铬(1.2 mg)的混合物,可以显著($P<0.05$)提高羔羊的胴体品质。由此可见,酵母生物饲料对反刍动物大理石纹品质有提高作用,但影响的程度还不够一致,所以今后需要更多的试验来为生物饲料在肉牛胴体品质上的研究奠定基础。

3.4 添加生物饲料对日本和牛×秦川牛 F1 育肥牛 TG/PPAR α /PPAR β 基因相对表达量的影响

肌肉脂肪(IMF)沉积与脂肪酸合成能力密切相关,当脂肪酸合成加强就提高了IMF含量,进而促进大理石花纹的形成。TG基因与处于生长期育肥期牛的大理石花纹性状显著相关;而PPARs基因家族的主要作用是正向调控脂肪代谢相关基因的表达,从而控制脂肪酸的合成^[29]。本试验选用28~29月龄、处在肌肉脂肪沉积期的肉牛,试验组牛背最长肌TG基因较对照组有显著($P<0.05$)上调作用,

李奎^[30]的研究表明复合酶制剂可以显著提高青年安格斯牛TG基因的表达水平,说明活性干酪乳杆菌和酿酒酵母等生物饲料可能促进青年牛TG基因的表达,进而提高牛的大理石花纹水平。苗海明^[31]研究不同营养水平对蒙古绵羊肌肉脂肪沉积相关基因mRNA表达量的影响,发现低能量水平促进PPARs基因的表达,高蛋白水平抑制了PPARs基因的表达;魏巧丽^[32]在肉牛饲料中添加 β -胡萝卜素,可使PPARs表达量下降,使皮下脂肪和肌肉脂肪分化水平受到抑制。日粮中添加活性干酪乳杆菌和酿酒酵母饲料在未改变牛日粮的营养水平的条件下,对PPAR α 基因($P<0.05$)、PPAR β 基因($P>0.05$)有上调作用,可能的原因是活性干酪乳杆菌和酿酒酵母可改善瘤胃微生物菌群,同时可作为天然抗氧化剂而促进营养物质对IMF沉积相关基因表达的影响^[8-9]。此结果跟前人研究有所不同,产生的差异跟试验用牛的品种和饲料添加剂有关,今后需要更多的研究如细胞水平来为此结论论证。

本试验表明添饲活性干酪乳杆菌和酿酒酵母生物饲料对和秦F1育肥牛的体增重没有显著的提高作用,但在该饲料中的微生物中含有大量的益生菌,在动物体内产生一些具特殊的小肽物质,从而参与机体生理代谢、促进氨基酸和矿物质的吸收与富集,促进PPAR α ($P<0.05$)、TG ($P<0.05$)基因的表达,从而提高蛋白质的合成效率,使得试验组牛的眼肌面积较对照组增加7.6%和大理石纹等级评分提高20.29%。Lund^[33]等发现脂类物质和蛋白质的氧化是肉类和肉产品质量恶化的主要非微生物因素,通过在饲料中加入抗氧化剂或天然抗氧化剂,可以改善家禽和猪等非反刍动物肉类的氧化稳定性。因此猜测,活性干酪乳杆菌和酿酒酵母生物饲料是否有抗氧化剂成分从而改善了大理石纹,还需要更多的研究来验证。

在基础日粮中添加活性干酪乳杆菌和酿酒酵母生物饲料进行育肥,可以显著提高日本和牛×秦川牛杂交F1牛背最长肌组织中TG、PPAR α 基因的表达,并显著提高眼肌面积和大理石花纹评分等级,可为肉牛育肥的饲料配方提供基础资料。

参考文献:

- [1] 董丹萍, 马丽珍. 牛肌肉脂肪的研究进展[J]. 农产品加工, 2010(8): 76-78.
- [2] DREYER C, KREY G, KELLER H, et al. Control of the peroxisomal β -oxidation pathway by a novel family of nuclear hormone receptors[J]. Cell, 1992, 68(5): 879-887.
- [3] SÁNCHEZ-MOLANO E, WOOLLIAMS J A, PONG-

- WONG R, et al. Quantitative trait loci mapping for canine hip dysplasia and its related traits in UK Labrador Retrievers[J]. *BMC Genom*, 2014, 15(1): 1-10.
- [4] GAN Q F, ZHANG L P, LI J Y, et al. Association analysis of thyroglobulin gene variants with carcass and meat quality traits in beef cattle[J]. *J Appl Genet*, 2008, 49(3): 251-255.
- [5] 王桃, 王建军, 李旺平, 等. 生物饲料对不同品种肉牛肉质的影响分析[J]. *中国牛业科学*, 2019, 45(1): 25-27.
- [6] 王子忠. 提高奶牛养殖效益 合理应用生物饲料[J]. *黑龙江畜牧兽医*, 2009(18): 66-68.
- [7] 景耀辉, 马伟林, 马建武. 生物饲料对不同品种肉牛肉质的影响[J]. *中国畜牧兽医文摘*, 2018, 34(5): 233.
- [8] BUTLER G. Manipulating dietary PUFA in animal feed: implications for human health[J]. *Proc Nutr Soc*, 2014, 73(1): 87-95.
- [9] KUMAR Y, YADAV D N, AHMAD T, et al. Recent trends in the use of natural antioxidants for meat and meat products[J]. *Compr Rev Food Sci Food Saf*, 2015, 14(6): 796-812.
- [10] 吴金春. 生物饲料的应用及发展方向[J]. *畜牧兽医科学(电子版)*, 2019(9): 160-161.
- [11] 中华人民共和国农业部. 农业行业标准-肉牛饲养标准 NY/T815-2004[S]. 北京: 中国农业出版社, 2004.
- [12] 中华人民共和国商务部. 鲜、冻分割牛肉: GBT17238-2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [13] 刘丽, 周光宏, 孙宝忠. 我国牛胴体等级标准中部分指标的测定方法研究[J]. *肉类研究*, 2001, 15(2): 21-23.
- [14] 中华人民共和国农业部. 牛肉等级规格: NY/T676-2010[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.
- [15] LIVAK K J, SCHMITTGEN T D. Analysis of relative gene expression data using real-time quantitative PCR and the 2- $\Delta\Delta$ CT method[J]. *Methods*, 2001, 25(4): 402-408.
- [16] 窦茂鑫, 赵迪, 侯永清, 等. 饲用干酪乳杆菌的生物学特性研究[J]. *中国饲料*, 2013(10): 24-26.
- [17] 高慧兰, 侯鹏霞, 梅宁安, 等. 日粮中添加酿酒酵母培养物对肉牛生产性能及经济效益的影响[J]. *畜牧与饲料科学*, 2017, 38(7): 45-46.
- [18] 和晶亮. 一种提高微生物发酵单位的新优化控制策略[J]. *生物技术世界*, 2016, 13(4): 326.
- [19] 麻名汉. 酒糟秸秆微生物饲料对肉牛的育肥效果[J]. *畜牧兽医科技信息*, 2017(3): 76.
- [20] 曹蕾, 张永辉, 朱倩, 等. 微生物菌剂青贮饲料饲喂肉牛效果研究[J]. *甘肃畜牧兽医*, 2017, 47(2): 110-111.
- [21] 段鹏杰. 日粮添加谷氨酸渣对秦川肉牛生长发育、肉质性状及养殖效益的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2017.
- [22] 吴道义, 刘翠娥, 周理扬, 等. 酒糟生物饲料对肉牛育肥效果研究[J]. *饲料博览*, 2012(1): 1-4.
- [23] 刘春龙. 日粮中添加不同水平的 VE 对延边黄牛生产性能和牛肉品质的影响[D]. 延吉: 延边大学, 2008.
- [24] SHI F H, FANG L, MENG Q X, et al. Effects of partial or total replacement of maize with alternative feed source on digestibility, growth performance, blood metabolites and economics in Limousin crossbred cattle[J]. *Asian-Australas J Animal Sci*, 2014, 27(10): 1443-1451.
- [25] 耿春银. 活性酵母与酵母培养物饲喂育肥牛生长性能、胴体指标和牛肉品质的比较[D]. 北京: 中国农业大学, 2015.
- [26] 焦培鑫. 酵母益生菌的筛选及其对肉牛消化性能、生长性能和胴体品质影响的研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2017.
- [27] SOREN N M, TRIPATHI M K, BHATT R S, et al. Effect of yeast supplementation on the growth performance of Malpura lambs[J]. *Trop Animal Heal Prod*, 2013, 45(2): 547-554.
- [28] ESTRADA-ANGULO A, VALDÉS Y S, CARRILLO-MURO O, et al. Effects of feeding different levels of chromium-enriched live yeast in hairy lambs fed a corn-based diet: effects on growth performance, dietary energetics, carcass traits and visceral organ mass[J]. *Anim Prod Sci*, 2013, 53(4): 308-315.
- [29] MENDES K L, DE PINHO L, ANDRADE J M O, et al. Distinct metabolic effects of resveratrol on lipogenesis markers in mice adipose tissue treated with high-polyunsaturated fat and high-protein diets[J]. *Life Sci*, 2016, 153: 66-73.
- [30] 李奎. 酶制剂在肉牛日粮中的应用效果研究[D]. 石河子: 石河子大学, 2016.
- [31] 苗海明. 不同营养水平对蒙古绵羊肌内脂肪沉积相关基因 mRNA 表达量的影响[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2013.
- [32] 魏巧丽. β -胡萝卜素对肉牛脂肪合成的影响研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2014.
- [33] LUND M N, HEINONEN M, BARON C P, et al. Protein oxidation in muscle foods: a review[J]. *Mol Nutr Food Res*, 2011, 55(1): 83-95.