

肉牛血清基质金属蛋白酶 2、9、13 浓度与血清抗氧化指标及肉品质指标的相关关系

冯鑫 栾嘉明 李月明 周金影 金英海 张敏 耿春银*

(延边大学农学院, 延吉 133000)

摘要: 本研究旨在揭示肉牛血清基质金属蛋白酶(MMP)2、9、13浓度与血清抗氧化指标和肉品质指标的相关关系。试验选取健康状况良好、体重相近的杂交育肥公牛[西门塔尔牛×延边黄牛, 初始体重(436±35) kg] 52头, 饲喂相同的全混合日粮(TMR)。饲养试验结束前1天在晨饲前采集每头牛的血液, 制备血清, 测定MMP2、9、13浓度以及抗氧化指标; 饲养145 d后全部屠宰, 测定屠宰性能、胴体性状及肉品质指标。结果显示: 肉牛血清MMP2浓度与血清活性氧自由基(ROS)、丙二醛(MDA)含量, 谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)、过氧化氢酶(CAT)、超氧化物歧化酶(SOD)、谷胱甘肽还原酶(GR)活性及总抗氧化能力(T-AOC)均无显著相关关系($P>0.05$); 肉牛血清MMP9浓度与血清ROS含量显著负相关($r=-0.358, P=0.011$), 与血清其他抗氧化指标无显著相关关系($P>0.05$); 肉牛血清MMP13浓度与血清ROS含量显著负相关($r=-0.292, P=0.040$), 与血清其他抗氧化指标也无显著相关关系($P>0.05$)。肉牛血清MMP2浓度与牛肉大理石花纹评分($r=0.352, P=0.012$)和肌肉脂肪含量($r=0.307, P=0.036$)显著正相关; 肉牛血清MMP9浓度与牛肉剪切力显著负相关($r=-0.430, P=0.002$); 肉牛血清MMP13浓度与牛肉剪切力显著负相关($r=-0.281, P=0.048$); 肉牛血清MMP2、9、13浓度与牛肉饱和脂肪酸(SFA)、单不饱和脂肪酸(MUFA)、多不饱和脂肪酸(PUFA)、n-3 PUFA、n-6 PUFA比例以及n-6/n-3、PUFA/SFA、C18:2n6/C18:3n3均无显著相关关系($P>0.05$)。由此可见, 肉牛血清MMP2浓度与牛肉大理石花纹评分显著正相关, 血清MMP9、13浓度与血清ROS含量及牛肉剪切力显著负相关, 血清MMP2、9、13浓度可成为潜在的生物标记物用于肉牛肉质性状的遗传选择或肉品质调控策略。

关键词: 肉牛; 基质金属蛋白酶; 抗氧化指标; 肉品质; 相关关系

中图分类号: S823.9⁺2

文献标识码: A

文章编号: 1006-267X(2021)04-2347-08

基质金属蛋白酶(matrix metalloproteinases, MMP)是一类可降解细胞外基质成分的酶, 也是调节肌肉、脂肪和结缔组织发育等多种生物学过程的重要信号分子。目前已有25种MMP被鉴定, 且每一种MMP都有其特殊的与细胞外基质反应的途径^[1]。越来越多的证据表明, MMP2、9、13在肌细胞、肌纤维及脂肪生成的调节中扮演着重要

的角色^[2]。肌肉纤维数量及脂肪含量与肌肉脂肪含量及大理石花纹息息相关, 其不仅可影响肉的嫩度, 还会影响肉的风味^[3-4]。因此, MMP与肉品质的关系受到研究者的关注, MMP也有望成为一种新的生物标记物用于畜禽肉质性状的遗传选择及肉品质调控策略^[2]。然而, 目前对MMP的研究大多集中在其活性与人类健康和疾病相关研究

收稿日期: 2020-09-09

基金项目: 国家自然科学基金项目(31660669); 吉林省“十三五”科研规划项目(JJKH20180904KJ)

作者简介: 冯鑫(1996—), 男, 黑龙江富裕人, 硕士研究生, 研究方向为反刍动物营养。E-mail: 253536536@qq.com

* 通信作者: 耿春银, 副教授, 博士生导师, E-mail: cygeng1011@163.com

上,对其活性与畜禽肉品质相关关系的研究较为少见。

MMP 的调节可发生在基因表达水平、酶原激活水平及胞外分泌水平,目前对 MMP 的研究绝大部分集中在胞外分泌水平^[5]。据报道,MMP 的分泌不仅受基质金属蛋白酶的抑制剂(tissue inhibitor of matrix metalloproteinases, TIMP)的调控,其还受机体氧化应激的影响^[6-7],而补饲抗氧化剂维生素 E 及维生素 C 对动物肉品质的改善可能与其对 MMP 的影响有关^[8]。在此基础上,本研究拟揭示肉牛血清 MMP2、9、13 浓度与血清抗氧化指标及肉品质指标的关系,为进一步通过 MMP 调控肉品质奠定基础。

表 1 基础饲粮组成及营养水平(干物质基础)

Table 1 Composition and nutrient levels of the basal diet (DM basis)

原料 Ingredients	含量 Content	营养水平 Nutrient levels ²⁾	含量 Content
稻草 Rice straw	38.00	干物质 DM	89.55
玉米 Corn meal	48.00	粗蛋白质 CP	10.00
豆粕 Soybean meal	5.00	粗脂肪 EE	2.98
菜籽粕 Rapeseed meal	1.60	粗灰分 Ash	6.14
花生粕 Peanut meal	1.00	中性洗涤纤维 NDF	34.15
干酒糟及其可溶物 DDGS	2.00	酸性洗涤纤维 ADF	23.95
磷酸氢钙 CaHPO ₄	0.40	钙 Ca	0.58
小苏打 NaHCO ₃	0.60	磷 P	0.32
食盐 NaCl	0.40	食盐 NaCl	0.40
预混料 Premix ¹⁾	3.00		
合计 Total	100.00		

1) 预混料为每千克饲粮提供 The premix provided the following per kg of the diet: VA 33 000~200 000 IU, VD₃ 3 000~60 000 IU, VE≥500 mg, Cu 80~750 mg, Fe 80~450 mg, Zn 800~2 500 mg, Mn 500~2 500 mg, Co 5~35 mg, Se 5~25 mg。

2) 营养水平为计算值。Nutrient levels were calculated values.

1.2 样本采集及指标测定

1.2.1 血清 MMP2、9、13 浓度及抗氧化指标的测定

试验结束前 1 天,在晨饲前用真空采血管采集每头牛的血液。将采血管在 4 ℃ 的冷冻离心机中以 3 200 r/min 的转度离心 15 min,分离出的血清用于 MMP2、9、13 浓度及抗氧化指标的测定。抗氧化指标包括总抗氧化能力(T-AOC),活性氧自由基(ROS)、丙二醛(MDA)含量以及超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)和谷胱甘肽还原酶(GR)活性。MMP2、9、13 浓度及上述抗氧化指标的测定方法

1 材料与方 法

1.1 试验动物及基础饲粮

饲养试验在长春皓月集团进行。试验动物为 52 头健康状况良好、体重相近的杂交育肥公牛[西门塔尔牛×延边黄牛,初始体重(436±35) kg]。试验前对牛舍进行清扫、消毒,提前给牛打好耳号、驱虫。试验全期均采用全混合日粮(TMR)饲喂模式,每天饲喂 2 次(05:00 和 17:00),所有育肥牛栓系饲养,自由采食和饮水,基础饲粮组成及营养水平见表 1。试验期每日早晨饲喂后打扫圈舍,定期对牛舍消毒,饲养 145 d 后肉牛全部屠宰,测定屠宰性能及肉品质指标。

均为放射免疫法,在北京华英生物技术研究所完成测定。

1.2.2 屠宰性能和胴体性状指标的测定

试验结束后,所有试验牛空腹 12 h 后屠宰,记录宰前活重和热胴体重,根据宰前活重和热胴体重计算每头牛的屠宰率。冷藏 24 h 后进行胴体分割,测定胴体性状指标,包括第 12 肋骨皮下脂肪厚度(即背膘厚)、第 12~13 肋骨之间的眼肌面积、大理石花纹评分及优质肉块(眼肉、牛柳和西冷)重,测定方法参考 Geng 等^[9]。

1.2.3 肉品质指标的测定

牛肉进行 24 h 排酸后,取背最长肌肉样(西

冷)用于肉品质指标的测定,具体测定指标包括物理指标:pH、滴水损失、蒸煮损失、大理石花纹评分、剪切力及肉色指数;化学指标:水分、蛋白质及肌肉脂肪含量;脂肪酸组成:饱和脂肪酸(SFA)、单不饱和脂肪酸(MUFA)、多不饱和脂肪酸(PUFA)、n-3 PUFA、n-6 PUFA 比例及营养上重要的脂肪酸比值(n-6/n-3、PUFA/SFA、C18:2n6/C18:3n3)。其中,pH 采用 pH 测定仪(Eutech Instruments,pH Spear,美国)测定,滴水损失、蒸煮损失、大理石花纹评分、剪切力测定方法参考 Geng 等^[10]。肉色指数采用色差仪(Minolta,CR400/410,日本)测定。水分、蛋白质及肌肉脂肪含量测定参考 AOAC(2000)标准方法。脂肪酸组成采用气相色谱法测定,具体过程参见 Geng 等^[11]。

1.3 数据处理与分析

使用 SPSS 18.0 软件对数据进行统计性描述

及相关分析(皮尔逊相关分析,双尾), $P < 0.05$ 作为显著相关性的判断标准。

2 结果与分析

2.1 肉牛血清 MMP2、9、13 浓度与血清抗氧化指标的相关分析

肉牛血清 MMP2、9、13 浓度的平均值分别为 180.61、187.41、64.74 $\mu\text{g/mL}$ (表 2),其与血清抗氧化指标的相关分析见表 3。血清 MMP2 浓度与血清 ROS、MDA 含量,GSH-Px、CAT、SOD、GR 活性及 T-AOC 均无显著相关关系($P > 0.05$);血清 MMP9 浓度与血清 ROS 含量显著负相关($r = -0.358, P = 0.011$),与血清其他抗氧化指标无显著相关关系($P > 0.05$);血清 MMP13 浓度与血清 ROS 含量显著负相关($r = -0.292, P = 0.040$),与血清其他抗氧化指标无显著相关关系($P > 0.05$)。

表 2 肉牛血清 MMP2、9、13 浓度的数据描述

Table 2 Data description of serum MMP2, 9 and 13 concentrations of beef cattle $\mu\text{g/mL}$

项目 Items	数据描述 Data description			
	平均值 Mean	标准差 SD	最大值 Maximum	最小值 Minimum
基质金属蛋白酶 2 MMP2	180.61	70.23	302.88	72.39
基质金属蛋白酶 9 MMP9	187.41	68.08	273.36	69.35
基质金属蛋白酶 13 MMP13	64.74	23.29	105.34	29.98

表 3 肉牛血清抗氧化指标的数据描述及其与血清 MMP2、9、13 浓度的相关分析

Table 3 Data description of serum antioxidant indexes of beef cattle and correlation analysis between them and serum MMP2, 9 and 13 concentrations

项目 Items	数据描述 Data description				相关系数 Correlation coefficient (r)		
	平均值 Mean	标准差 SD	最大值 Maximum	最小值 Minimum	基质金属蛋白酶 2 MMP2	基质金属蛋白酶 9 MMP9	基质金属蛋白酶 13 MMP13
活性氧自由基 ROS/(荧光强度/mL)	160.35	35.53	251.96	113.41	-0.069	-0.358*	-0.292*
谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/(U/mL)	1 172.85	320.63	1 666.16	582.25	-0.170	-0.052	-0.064
过氧化氢酶 CAT/(U/mL)	65.67	13.50	85.67	36.97	-0.188	0.041	-0.159
超氧化物歧化酶 SOD/(U/mL)	84.86	32.40	137.74	40.81	0.067	-0.145	-0.183
谷胱甘肽还原酶 GR/(U/mL)	2.11	0.65	3.54	1.24	0.019	-0.092	-0.239
总抗氧化能力 T-AOC/(U/mL)	8.19	1.52	13.11	4.80	0.018	-0.179	-0.078
丙二醛 MDA/(nmol/mL)	3.80	1.05	6.17	2.10	0.118	0.164	-0.008

* :显著相关($P < 0.05$)。下表同。

* : significant correlation ($P < 0.05$). The same as below.

2.2 肉牛血清 MMP2、9、13 浓度与屠宰性能和胴体性状指标的相关分析

肉牛屠宰性能和胴体性状指标数据描述及其与血清 MMP2、9、13 浓度的相关分析见表 4。血清 MMP2、9、13 浓度与屠宰性能指标(宰前活重、热胴体重、屠宰率)均无显著相关关系($P>0.05$)。

表 4 肉牛屠宰性能和胴体性状指标的数据描述及其与血清 MMP2、9、13 浓度的相关分析

Table 4 Data description of slaughter performance and carcass trait indexes of beef cattle and correlation analysis between them and serum MMP2, 9 and 13 concentrations

项目 Items	数据描述 Data description				相关系数 Correlation coefficient (<i>r</i>)		
	平均值 Mean	标准差 SD	最大值 Maximum	最小值 Minimum	基质金属 蛋白酶 2 MMP2	基质金属 蛋白酶 9 MMP9	基质金属 蛋白酶 13 MMP13
屠宰性能指标 Slaughter performance indexes							
宰前活重 Body weight before slaughter/kg	624.69	58.67	752.00	505.00	0.133	-0.024	0.111
热胴体重 Hot carcass weight/kg	332.42	34.29	257.40	414.40	0.159	-0.027	0.091
屠宰率 Dressing percentage/%	53.17	1.48	56.50	50.20	0.123	-0.035	-0.041
胴体性状指标 Carcass trait indexes							
眼肌面积 LM area/cm ²	124.09	20.84	188.70	81.72	-0.011	-0.084	-0.059
大理石花纹评分 Marbling score	7.86	2.44	15.00	4.50	0.352*	0.174	0.153
背膘厚 Rib fat thickness/cm	1.99	0.56	3.20	0.80	-0.217	-0.106	-0.138
眼肉重 Ribeye weight/kg	7.83	0.85	10.38	5.96	0.113	0.072	0.049
牛柳重 Tenderloin weight/kg	4.39	0.50	5.31	3.09	0.212	0.046	0.115
西冷重 Striploin weight/kg	11.18	1.31	14.44	7.79	0.126	-0.046	-0.036

2.3 肉牛血清 MMP2、9、13 浓度与肉品质指标的相关分析

牛肉物理和化学指标的数据描述及其与血清 MMP2、9、13 浓度的相关分析见表 5。血清 MMP2 浓度与牛肉肌内脂肪含量显著正相关($r=0.307$, $P=0.036$),与包括水分含量、pH、滴水损失、蒸煮损失、剪切力、肉色、蛋白质含量、肌内脂肪含量在内的其他牛肉物理和化学指标无显著相关关系($P>0.05$);血清 MMP9 浓度与牛肉剪切力显著负相关($r=-0.430$, $P=0.002$),与其他牛肉物理和化学指标无显著相关关系($P>0.05$);血清 MMP13 浓度与牛肉剪切力显著负相关($r=-0.281$, $P=0.048$),与其他牛肉物理和化学指标无显著相关关系($P>0.05$)。

牛肉脂肪酸组成及营养上重要的脂肪酸比值的描述及其与血清 MMP2、9、13 浓度的相关分析见表 6。血清 MMP2、9、13 浓度与牛肉 SFA、MUFA、PUFA、n-3 PUFA、n-6 PUFA 比例以及营养上重要的脂肪酸比值 n-6/n-3、PUFA/SFA、

血清 MMP2 浓度与大理石花纹评分显著正相关($r=0.352$, $P=0.012$),与包括宰前活重、热胴体重、屠宰率、眼肌面积、背膘厚、优质肉块重在内的其他胴体性状指标无显著相关关系($P>0.05$);血清 MMP9、13 浓度与上述胴体性能指标均无显著相关关系($P>0.05$)。

C18:2n6/C18:3n3 均无显著相关关系($P>0.05$)。

3 讨论

ROS 是机体正常代谢的产物之一,机体可以通过自身产生的抗氧化物质清除 ROS,但是当机体抗氧化能力不足时,就会引起氧化应激,从而导致 ROS 含量增加,进而影响 MMP 的活性^[6-7]。本研究发现,肉牛血清 MMP9、13 浓度与血清 ROS 含量显著负相关,这与上述报道结论相符,说明 ROS 可以影响 MMP9、13 的活性。

机体内的 MMP 可以促进肌肉中胶原蛋白的生成,加速结缔组织周转,有利于肌肉嫩度的改善^[6]。给反刍动物补饲抗氧化剂如维生素 E 和维生素 C 可以明显改善肉的嫩度^[12-13],这可能与其对 ROS 的清除,进而保护 MMP9、13 的活性有关。酵母制剂可以改善牛肉的嫩度^[10],其对嫩度的改善可能就是通过改善抗氧化能力影响 MMP 途径实现的^[14]。

表 5 牛肉物理和化学指标的数据描述及其与血清 MMP2、9、13 浓度的相关分析

Table 5 Data description of physical and chemical indexes of beef and correlation analysis between them and serum MMP2, 9 and 13 concentrations

项目 Items	数据描述 Data description				相关系数 Correlation coefficient (<i>r</i>)		
	平均值 Mean	标准差 SD	最大值 Maximum	最小值 Minimum	基质金属 蛋白酶 2 MMP2	基质金属 蛋白酶 9 MMP9	基质金属 蛋白酶 13 MMP13
水分含量 Moisture content/%	73.94	2.20	81.70	65.59	0.047	0.179	0.197
pH	5.94	0.07	6.14	5.82	0.111	0.009	0.258
滴水损失 Drip loss/%	3.66	1.61	8.69	0.95	-0.038	-0.113	-0.009
蒸煮损失 Cooking loss/%	37.64	3.36	43.40	28.40	0.074	-0.032	-0.022
剪切力 Shear force/N	99.42	31.99	185.70	52.40	-0.004	-0.430*	-0.281*
肉色 Meat color							
亮度 L*	31.60	5.33	44.00	21.83	0.008	0.158	-0.059
红度 a*	17.65	4.16	30.33	9.83	-0.114	-0.057	-0.143
黄度 b*	3.92	1.58	7.00	1.75	-0.063	-0.195	0.005
蛋白质含量 Protein content/%DM	79.59	4.48	89.59	70.02	-0.169	-0.139	-0.168
肌内脂肪含量 Intramuscular fat content/%DM	12.62	4.67	23.70	7.01	0.307*	0.147	0.170

表 6 牛肉脂肪酸组成及营养上重要的脂肪酸比值的数据描述及其与血清 MMP2、9、13 浓度的相关分析

Table 6 Data description of fatty acid composition and nutritionally important fatty acid ratios of beef and correlation analysis between them and serum MMP2, 9 and 13 concentrations

项目 Items	数据描述 Data description				相关系数 Correlation coefficient (<i>r</i>)		
	平均值 Mean	标准差 SD	最大值 Maximum	最小值 Minimum	基质金属 蛋白酶 2 MMP2	基质金属 蛋白酶 9 MMP9	基质金属 蛋白酶 13 MMP13
脂肪酸组成(占总脂肪酸的比例) Fatty acid composition (expressed as a proportion of total fatty acid)/%							
饱和脂肪酸 SFA	50.04	3.64	59.57	37.60	-0.055	0.168	0.026
单不饱和脂肪酸 MUFA	40.18	4.06	48.40	30.26	0.048	-0.188	-0.070
多不饱和脂肪酸 PUFA	9.02	2.00	12.39	6.02	-0.139	-0.123	-0.066
n-3 多不饱和脂肪酸 n-3 PUFA	2.01	0.42	3.05	1.29	-0.163	-0.105	-0.139
n-6 多不饱和脂肪酸 n-6 PUFA	7.01	1.74	9.42	4.21	-0.121	-0.116	-0.042
营养上重要的脂肪酸比值 Nutritionally important fatty acid ratios							
n-6/n-3	3.49	0.89	6.46	2.17	0.015	-0.044	0.040
多不饱和脂肪酸/饱和脂肪酸 PUFA/SFA	0.18	0.05	0.29	0.11	-0.145	-0.193	-0.093
C18:2n6/C18:3n3	3.43	0.89	6.46	2.17	-0.027	-0.093	-0.009

一些血液指标可作为生物标记物,进行胴体、肉品质及消化率等性状的遗传筛选^[9,11,15],这也是加速现代动物育种进程的一种重要方法。MMP是与动物肉品质密切相关的遗传基因,其种类多、功能强大,与加速肌肉中结缔组织周转、促进肌肉脂肪沉积等功能息息相关,有望成为一种新的生物标记物用于畜禽肉质性状的遗传选择及肉品质

调控^[2]。本研究发现,肉牛血清 MMP2 浓度与牛肉大理石花纹评分及肌内脂肪含量显著正相关,血清 MMP9、13 浓度与牛肉剪切力显著负相关,这表明血清 MMP2、9、13 可作为一种新的生物标记物用于肉牛肉质相关性状的遗传筛选或是肉品质调控策略。

祁艳霞等^[16]和 Qi 等^[17]从基因表达水平探讨

了 *MMP1*、*2*、*8*、*13* 基因的表达量与杂交肉牛(南阳牛与夏洛莱的 F1 代)肉品质的关系,发现 *MMP1*、*2* 基因的表达量与剪切力显著负相关,*MMP13* 基因的表达量与系水力显著负相关,*MMP8* 基因的表达量与肉品质指标无显著相关关系。据报道,*MMP* 的表达及分泌不仅存在种类差异,还与遗传、组织部位及环境等因素有关^[2],这可能是导致结果差异的主要原因。

扩充在特定条件下(如肉牛品种、饲料等因素)*MMP* 与肉牛肉质性状关系的资料,是对其科学应用的重要前提。从应用角度,未来应加强在特定条件下不同种类的 *MMP* 及其抑制剂 *TIMP* 与肉牛肉质性状的相关研究,同时应从遗传角度深入探讨 *MMP* 基因多态性与肉品质的关系,为其进一步应用与实践奠定理论基础。

4 结 论

综上可知,肉牛血清 *MMP2* 浓度与牛肉大理石花纹评分显著正相关,血清 *MMP9*、*13* 浓度与血清 ROS 含量及牛肉剪切力显著负相关,血清 *MMP2*、*9*、*13* 浓度可成为潜在的生物标记物用于肉牛肉质性状的遗传选择或肉品质调控策略。

参考文献:

[1] CHEN X P, LI Y. Role of matrix metalloproteinases in skeletal muscle: migration, differentiation, regeneration and fibrosis [J]. *Cell Adhesion & Migration*, 2009, 3 (4): 337-341.

[2] CHRISTENSEN S, PURSLOW P P. The role of matrix metalloproteinases in muscle and adipose tissue development and meat quality: a review [J]. *Meat Science*, 2016, 119: 138-146.

[3] MCKENNA D R, ROEBERT D L, BATES P K, et al. National beef quality audit—2000: survey of targeted cattle and carcass characteristics related to quality, quantity, and value of fed steers and heifers [J]. *Journal of Animal Science*, 2002, 80 (5): 1212-1222.

[4] GARCIA L G, NICHOLSON K L, HOFFMAN T W, et al. National beef quality audit—2005: survey of targeted cattle and carcass characteristics related to quality, quantity, and value of fed steers and heifers [J]. *Journal of Animal Science*, 2008, 86 (12): 3533-3543.

[5] MANNELLO F, MEDDA V. Nuclear localization of

matrix metalloproteinases [J]. *Progress in Histochemistry and Cytochemistry*, 2012, 47 (1): 27-58.

[6] ARCHILE-CONTRERAS A C, PURSLOW P P. Oxidative stress may affect meat quality by interfering with collagen turnover by muscle fibroblasts [J]. *Food Research International*, 2011, 44 (2): 582-588.

[7] KESSENBROCK K, PLAKS V, WERB Z. Matrix metalloproteinases: regulators of the tumor microenvironment [J]. *Cell*, 2010, 141 (1): 52-67.

[8] ARCHILE-CONTRERAS A C, CHA M C, MANDRELL I B, et al. Vitamins E and C may increase collagen turnover by intramuscular fibroblasts. Potential for improved meat quality [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2011, 59 (2): 608-614.

[9] GENG C Y, ZHANG M, YANG L Y, et al. Correlations between circulating leptin concentrations and growth performance, carcass traits, and meat quality indexes in finishing Simmental × Luxi bulls fed high-concentrate diets [J]. *Animal Science Journal*, 2020, 91 (1): e13426, doi: 10.1111/asj.13426.

[10] GENG C Y, REN L P, ZHOU Z M, et al. Comparison of active dry yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) and yeast culture for growth performance, carcass traits, meat quality and blood indexes in finishing bulls [J]. *Animal Science Journal*, 2016, 87 (8): 982-988.

[11] GENG C Y, MENG Q X, REN L P, et al. Comparison of ruminal fermentation parameters, fatty acid composition and flavour of beef in finishing bulls fed active dry yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) and yeast culture [J]. *Animal Production Science*, 2018, 58 (5): 841-847.

[12] 罗海玲, 孟慧, 朱虹, 等. 维生素 E 改善羊肉品质的机理初探 [J]. *饲料工业*, 2010 (增刊): 57-63.

LUO H L, MENG H, ZHU H, et al. The primary mechanism of effect of vitamin E on meat quality in goat [J]. *Feed Industry*, 2010 (Suppl.): 57-63. (in Chinese)

[13] 张杰. 日粮营养水平、亚麻籽和维生素 E 对奶公牛生产性能及肉品质的影响 [D]. 硕士学位论文. 保定: 河北农业大学, 2014.

ZHANG J. Influence of nutrition levels, flaxseed and vitamin E on growth performance and beef quality of Holstein bulls [D]. Master's Thesis. Baoding: Hebei Agricultural University, 2014. (in Chinese)

[14] 周金影, 栾嘉明, 冯鑫, 等. 益生菌对畜禽肉质的影响及作用机制 [J]. *饲料研究*, 2020, 43 (11): 124-127.

ZHOU J Y, LUAN J M, FENG X, et al. Effect of probiotics on the meat quality of livestock and poultry and

- its mechanism [J]. *Feed Research*, 2020, 43 (11): 124-127. (in Chinese)
- [15] BOURGON S L, DE AMORIM M D, MILLER S P, et al. Associations of blood parameters with age, feed efficiency and sampling routine in young beef bulls [J]. *Livestock Science*, 2017, 195: 27-37.
- [16] 祁艳霞, 张小辉, 王玉琴, 等. 基质金属蛋白酶 2, 3, 13 基因表达水平与牛肉质性状的相关性分析 [J]. *云南农业大学学报(自然科学)*, 2016, 31(1): 62-66.
QI Y X, ZHANG X H, WANG Y Q, et al. The expres-
- sion of *MMP2*, 3, 13 genes in skeletal muscle tissues and its relationship with meat quality in cattle [J]. *Journal of Yunnan Agricultural University (Natural Science)*, 2016, 31(1): 62-66. (in Chinese)
- [17] QI Y X, ZHANG X H, WANG Y Q, et al. Expression of *MMP-1*, -2, and -8 in *longissimus dorsi* muscle and their relationship with meat quality traits in cattle [J]. *Genetics and Molecular Research*, 2016, 15 (1): 15017593, doi: 10.4238/gmr.15017593.

Correlation between Serum Matrix Metalloproteinases 2, 9 and 13 Concentrations and Serum Antioxidant Indexes, Meat Quality of Beef Cattle

FENG Xin LUAN Jiaming LI Yueming ZHOU Jinying JIN Yinghai ZHANG Min
GENG Chunyin*

(College of Agriculture, Yanbian University, Yanji 133000, China)

Abstract: The purpose of this study was to reveal the correlation between serum concentration of matrix metalloproteinases (MMP) 2, 9 and 13 and serum antioxidant indexes capacity, meat quality of beef cattle. In the experiment, fifty-two healthy crossbred bulls (Simmental×Yanbian cattle) with similar body weight [initial body weight was (436±35) kg] were selected, and the cattle were fed the same total mixed ration (TMR). On 1 day before the end of feeding experiment, blood of each cattle was sampled in the morning before feeding to prepare serum for measuring MMP2, 9 and 13 concentrations and antioxidant indexes. After 145 days of feeding, all cattle were slaughtered, and the indexes of slaughter performance, carcass traits and meat quality were measured. The results showed that the serum MMP2 concentration of cattle had no significant correlation with serum reactive oxide species (ROS) and malondialdehyde (MDA) contents, glutathione peroxidase (GSH-Px), catalase (CAT), superoxide dismutase (SOD), glutathione reductase (GR) activities and total antioxidant capacity (T-AOC) ($P>0.05$). Serum MMP9 concentration of cattle was significantly negatively correlated with serum ROS content ($r=-0.358$, $P=0.011$), but was not significantly correlated with other serum antioxidant indexes ($P>0.05$). Serum MMP13 concentration of cattle was significantly negatively correlated with serum ROS content ($r=-0.292$, $P=0.040$), but had no significant correlation with other serum antioxidant indexes ($P>0.05$). Serum MMP2 concentration of cattle was significantly positively correlated with beef marble score ($r=0.352$, $P=0.012$) and intramuscular fat content ($r=0.307$, $P=0.036$). Serum MMP9 concentration of cattle was significantly negatively correlated with beef shear force ($r=-0.430$, $P=0.002$). Serum MMP13 concentration of cattle was negatively correlated with beef shear force ($r=-0.281$, $P=0.048$). There was no significant correlation between MMP2, 9 and 13 concentrations and the proportions of saturated fatty acids (SFA), monounsaturated fatty acids (MUFA), polyunsaturated fatty acids (PUFA), n-3 PUFA, n-6 PUFA, and the n-6/n-3, PUFA/SFA, C18:2n6/C18:3n3 of beef ($P>0.05$). These findings indicate that the serum MMP2 concentration of beef cattle has significantly positive correlation with marbling score of beef, and the serum MMP9 and 13 concentrations have significantly negative correlation with serum ROS content and beef shear force. The concentrations of serum MMP2, 9 and 13 may be potential biomarkers for genetic selection of beef cattle or strategies of beef quality control. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2021, 33(4):2347-2354]

Key words: beef cattle; matrix metalloproteinases; antioxidant indexes; meat quality; correlation

