

发酵麸皮多糖对肉羊肉品质、肌肉氨基酸组成及肌肉抗氧化酶和肌纤维类型相关基因表达的影响

胡宇超^{1,2} 王 园^{1,2*} 孟子琪^{1,2} 刘玉辉^{1,2} 王瑞芳^{1,2} 王文文^{1,2}

郝希然^{1,2} 安晓萍^{1,2} 齐景伟^{1,2*}

(1.内蒙古农业大学动物科学学院,呼和浩特 010018; 2.内蒙古自治区草食家畜饲料工程技术研究中心,呼和浩特 010018)

摘 要: 试验旨在研究发酵麸皮多糖(FWBP)对肉羊肉品质、肌肉氨基酸组成及肌肉抗氧化酶和肌纤维类型相关基因表达的影响。选用 50 只体重为(20.17±3.33) kg 的 6 周龄杜泊×小尾寒羊 F1 代杂交羔羊,随机分为 5 组,每组 10 只。对照组(I 组)饲喂基础饲料,试验组(II、III、IV、V 组)分别饲喂在基础饲料中添加 50、100、200、400 mg/kg FWBP 的试验饲料,预试期 14 d,正试期 56 d。结果表明:1) II 和 III 组肉羊背最长肌剪切力显著低于 I 组($P<0.05$)。2) II、III 和 IV 组肉羊背最长肌中蛋氨酸(Met)含量显著高于 I 组($P<0.05$);IV 组肉羊背最长肌中的半胱氨酸(Cys)含量显著高于 I 组($P<0.05$),而谷氨酸(Glu)和亮氨酸(Leu)含量显著低于 I 组($P<0.05$);V 组肉羊背最长肌中丝氨酸(Ser)含量显著高于 I 组($P<0.05$),而缬氨酸(Val)含量显著低于 I 组($P<0.05$)。3) 各试验组肉羊背最长肌中过氧化氢酶(CAT)的 mRNA 相对表达量显著高于 I 组($P<0.05$),且 III 组肉羊背最长肌中 CAT 的 mRNA 相对表达量显著高于 II、IV、V 组($P<0.05$)。III 组肉羊背最长肌中谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)和超氧化物歧化酶(SOD)的 mRNA 相对表达量显著高于 I 组($P<0.05$)。4) III 组肉羊背最长肌中肌球蛋白重链(MyHC) I 和 MyHC II a 的 mRNA 相对表达量显著高于 I 组($P<0.05$),且 MyHC II x 的 mRNA 相对表达量显著低于 I 组($P<0.05$)。III、IV 和 V 组肉羊背最长肌中 MyHC II b 的 mRNA 相对表达量显著高于 I 组($P<0.05$)。综上所述,饲料中添加 FWBP 可以降低肉羊背最长肌剪切力,改善其氨基酸组成,提高肌肉抗氧化能力,诱导 II x 型肌纤维向 I 和 II a 型肌纤维的转化,且以添加 100 mg/kg 效果较佳。

关键词: 发酵麸皮多糖;羔羊;肉品质;氨基酸;抗氧化酶;肌纤维类型

中图分类号:S826

文献标识码:A

文章编号:1006-267X(2020)02-0932-09

羊肉因具有高蛋白质、低脂肪、低胆固醇及肉质鲜嫩等优良特质而深受消费者的喜爱,需求量逐年增长^[1]。为满足羊肉的消费需求和推进生态环境建设,羊肉的饲养方式已由传统放牧转为舍

饲养肥^[2]。在舍饲条件下,肉羊由于缺乏一定的运动量,肌肉中抗氧化酶活性下降^[3],进而影响羊肉的嫩度、色泽和风味等^[4]。研究表明,饲料中添加外源性抗氧化剂可以提高机体抗氧化能力,起

收稿日期:2019-08-16

基金项目:内蒙古农业大学“双一流”学科创新团队建设人才培养项目(NDSC2018-04);内蒙古自治区科技创新引导项目(KCBJ2018009);内蒙古自治区科技创新引导项目(2017);内蒙古自治区科技计划项目(201802047);内蒙古农业大学科技成果转化项目(YZGC2017025)

作者简介:胡宇超(1994—),男,内蒙古呼和浩特人,硕士研究生,从事生物饲料的研发与应用研究。E-mail: yuchaohu1994@163.com

* 通信作者:王 园,讲师,E-mail: wangyuan.926@163.com;齐景伟,教授,博士生导师,E-mail: qijingwei_66@126.com

到改善肉品质的作用^[5-6]。

小麦麸皮作为面粉加工的副产物,除含有一定量的淀粉、蛋白质、脂肪外,还含有 46% 左右的非淀粉多糖,而这部分非淀粉多糖由 52%~70% 的阿拉伯木聚糖、20%~24% 的纤维素和 6% 的 β -(1,3)-(1,4) 葡聚糖组成^[7-8],具有抗氧化^[9]、免疫调节^[10-11] 和益生^[12] 等作用。此外,小麦麸皮中还含有包括阿魏酸、香豆酸和咖啡酸在内的多种酚酸,这些酚酸则多以酯键或醚键与非淀粉多糖相连,具有很强的抗氧化功能^[13]。研究表明,经过微生物发酵后,小麦麸皮中低聚木糖、阿拉伯木聚糖和酚酸等生物活性物质的含量显著提高^[14]。刘春雪等^[15] 研究表明,饲料中添加发酵麸皮可以提高育肥猪的生长性能,改善其肉品质。本课题组前期利用 3 种微生物混合发酵小麦麸皮,获得具有抗氧化和抗炎作用的发酵麸皮多糖(fermented wheat bran polysaccharides, FWBP)^[16-17]。进一步研究发现,饲料中添加 FWBP 能够改善杜泊×小尾寒羊 F₁ 代杂交(以下简称杜寒杂交)肉羊的生长性能,提高其血液抗氧化能力^[18]。目前,关于 FWBP 对杜寒杂交肉羊肌肉抗氧化能力和肉品质的影响未见报道。因此,本试验通过在饲料中添加不同水平的 FWBP,探究其对杜寒杂交肉羊肉品质、背最长肌中氨基酸组成以及抗氧化酶和肌纤维类型相关基因表达的影响,为其作为外源抗氧化剂在改善羊肉品质方面应用提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

试验所用 FWBP 制备方法参照史俊祥^[19]。所用菌种为酿酒酵母和枯草芽孢杆菌(内蒙古自治区草食家畜饲料工程技术研究中心保存)。微生物发酵过程为:酿酒酵母和枯草芽孢杆菌以 6.7:3.3 的比例混合,按照 10% 接种量接入小麦麸皮、豆粕粉和玉米粉(质量比=80.46:9.32:10.22) 基质中,料水比 1:1,在温度 35.4 °C 的条件下发酵 48 h。发酵结束后,将发酵麸皮 45 °C 烘干 48 h,粉碎后与蒸馏水 1:20 混合后 80 °C 水浴提取 30 min,取上清加入 4 倍体积的 95% 乙醇溶液,静置过夜,离心收集沉淀,干燥沉淀,经过酶处理与 Sevag 法相结合去除蛋白质后,获得有效含量为 633.58 mg/g 的 FWBP,该多糖由摩尔比为 5:4:46:9:67:46 的甘露糖、鼠李糖、葡萄糖、半乳糖、木糖、

阿拉伯糖组成^[20]。

1.2 动物试验时间与地点

动物试验于 2017 年 4 月 30 日至 2017 年 7 月 9 日在内蒙古农业大学海流图试验基地进行,试验期 70 d,其中预试期 14 d,正试期 56 d。

1.3 试验设计

试验选取体重为(20.17±3.33) kg 的 6 周龄杜寒杂交羔羊 50 只,采用单因素试验设计,随机分为 5 组,每组 10 只。对照组(I 组)饲喂基础饲料,试验组(II、III、IV、V 组)分别饲喂在基础饲料中添加 50、100、200、400 mg/kg FWBP 的试验饲料。基础饲料参照《肉羊饲养标准》(NY/T 816—2004) 配制,基础饲料组成及营养水平见表 1。试验饲料为全混合颗粒饲料,直径为 6 mm,长度为 10 mm,预混料由内蒙古优牧特农牧科技股份有限公司提供。

表 1 基础饲料组成及营养水平(风干基础)

Table 1 Composition and nutrient levels of the basal diet (air-dry basis) %

项目 Items	含量 Content
原料 Ingredients	
苜蓿 Alfalfa	10.00
葵花籽皮 Sunflower seed shells	20.00
玉米 Maize	43.00
豆粕 Soybean meal (43% CP)	12.00
干酒糟及其可溶物 DDGS (27% CP)	10.00
预混料 Premix ¹⁾	5.00
合计 Total	100.00
营养水平 Nutrient levels	
代谢能 ME/(MJ/d) ²⁾	9.33
粗蛋白质 CP	15.66
粗脂肪 EE	3.48
中性洗涤纤维 NDF	54.73
酸性洗涤纤维 ADF	21.42
粗灰分 Ash	5.95
钙 Ca	0.74
总磷 TP	0.31

1) 预混料为每千克饲料提供 The premix provided the following per kg of the diet: Ca 130 g, P 65 g, NaCl 85 g, VA 140 000 U, VD₃ 37 500 U, VE 375 mg, VK₃ 25 mg, VB₁ 25 mg, VB₆ 25 mg, VB₂ 75 mg, VB₁₂ 0.28 mg, 烟酸 niacin 300 mg, 泛酸 pantothenic acid 200 mg, 叶酸 folic acid 15 mg, 生物素 biotin 1.5 mg, Fe 1 300 mg, Cu 200 mg, Zn 1 200 mg, Mn 1 000 mg, I 9 mg, Se 7 mg, Co 12 mg。

2) 代谢能为计算值,其他为实测值。ME was a calculated value, while the others were measured values.

1.4 饲养管理

试验前对羊只进行检疫,预试期进行驱虫、防疫,定期消毒,保证羊舍干净。试验羊单栏饲养,每圈占地约 2 m²,每天 08:00 和 16:00 各饲喂 1 次试验饲料,每天根据前 1 天料槽内剩余料重新调整饲喂量,确保料槽每天有 10% 左右的剩料。

1.5 样品采集与处理

试验结束后,所有试验羊屠宰前禁食 24 h,禁水 2 h。屠宰采集背最长肌,剔除表面筋膜和脂肪,根据不同试验要求分别进行 4 ℃ 贮藏或取样后立即液氮冻藏。另采集背最长肌样品迅速置于液氮中速冻,之后转移至 -80 ℃ 冰箱中保存,用于测定肌肉中过氧化氢酶(catalase, CAT)、谷胱甘肽过氧化物酶(glutathione peroxidase, GSH-Px)、超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)、肌球蛋白重链(myosin heavy chain, MyHC) I、MyHC II a、MyHC II b 和 MyHC II x 的 mRNA 相对表达量。

1.6 测定指标与方法

1.6.1 肉质指标测定^[21]

pH: 采用便携式 pH 计,将探针插入宰后 45 min 背最长肌样品中心部位,待数值稳定后记录,同一个样品测定 3 次,取平均值。

肉色: 使用色差计(CR-400)测定肌肉亮度(L*)、红度(a*)和黄度(b*)值,每个样品的表面随机选取 3 个部位进行测定,取平均值。

蒸煮损失: 取背最长肌肉样 100 g 左右,称重记为 m_1 ,将肉样放入蒸煮袋中 80 ℃ 水浴 30 min 中后,将肉样取出冷却 30 min 后称重记为 m_2 ,计算蒸煮损失:

$$\text{蒸煮损失}(\%) = 100 \times (m_1 - m_2) / m_1$$

剪切力: 将蒸煮后的肉样沿肌纤维平行方向切成条状,用嫩度仪沿肌纤维垂直方向剪切肉样,同一个样品测定 3 次,取平均值。

1.6.2 肌肉氨基酸组成的测定

背最长肌中 17 种游离氨基酸的检测参照 GB 5009.124—2016 进行,采用全自动氨基酸自动分析仪(日立 L-8900)测定。样品解冻后采用冷冻干燥机干燥,在液氮里用研钵磨碎,称取 50 mg 肌肉样品于水解管中,加入 15 mL、6 mol/L 盐酸溶液,向水解管中缓慢通入氮气 2 min,旋紧水解管

的盖子,置于(110±1) ℃ 干燥箱中水解 24 h。水解 1 h 后,轻轻摇动水解管,水解 24 h 后冷却,摇匀水解液,用定量滤纸干过滤,收集其余滤液于 25 mL 容量瓶中定容,作为消化液。准确移取上述制备好的消化液 0.5 mL 于离心管中,置于氮吹仪上 60 ℃ 浓缩至近干,然后再加入 200 μL 超纯水浓缩至近干,重复进行 2 次。用 2.5 mL、0.02 mol/L 盐酸溶液超声溶解 5 min,经 0.22 μm 滤膜,收集滤液约 1 mL 上机测定各氨基酸含量,并计算必需氨基酸(EAA)和鲜味氨基酸(DAA)含量。

1.6.3 抗氧化酶和肌纤维类型相关基因表达的测定

从 -80 ℃ 冰箱中取出背最长肌样品,使用 Trizol 法提取样品的总 RNA,提取的总 RNA 通过琼脂糖凝胶电泳检测其完整性,经微孔板分光光度计测定其吸光度(OD)值,样品 OD_{260/280} 在 1.8~2.2 可用于后续试验。cDNA 合成按 FastQant RT Kit(with gDNase)反转录试剂盒说明操作,反转录后的 cDNA 于 -80 ℃ 保存备用。以 cDNA 为模板,按照 SuperReal PreMix Plus (SYBR Green)说明书,采用 Roche 480 实时荧光定量 PCR 仪测定 CAT、GSH-Px、SOD、MyHC I、MyHC II a、MyHC II b 和 MyHC II x 的 mRNA 相对表达量。以 β-肌动蛋白(β-actin)为内参,目的基因的 mRNA 相对表达量采用 2^{-ΔΔCt} 法计算。引物均由宝生物工程(大连)有限公司设计并合成,引物序列及参数见表 2。

1.7 数据统计与分析

采用 SAS 9.2 软件进行单因素方差分析,并进行 Duncan 氏法多重比较检验,试验结果均以“平均值±标准差”表示, $P < 0.05$ 表示差异显著。

2 结果

2.1 FWBP 对杜寒杂交肉羊肉品质的影响

由表 3 可知,各组肉羊背最长肌 pH、蒸煮损失以及肉色 L*、a*、b* 值均没有显著差异($P > 0.05$)。II 和 III 组肉羊背最长肌剪切力显著低于 I 组($P < 0.05$),而 IV 和 V 组与 I 组差异不显著($P > 0.05$)。

表 2 引物序列及参数

Table 2 Sequences and parameters of primers

基因 Genes	登录号 Accession number	引物序列 Sequences of primers (5'—3')	产物大小 Product size/bp
肌球蛋白重链 I <i>MyHC I</i>	XM_004010325.3	F: ATGTTCCCCAAGGCCACCGACAT R: GCAGCCAGCCTATGATGTTGTAGT	169
肌球蛋白重链 II a <i>MyHC II a</i>	XM_012122422.2	F: CATTGACGTTGATCACACCCAGTAT R: TTGTACTGGATGCAGAAGACAGACT	207
肌球蛋白重链 II b <i>MyHC II b</i>	XM_027974884.1	F: AGGGAAACTGGCTTCTGCTGATATT R: CTTGACTCACGAAGGCATAGTCATAT	182
肌球蛋白重链 II x <i>MyHC II x</i>	XM_004012706.4	F: AGCTGGAGAAGGAGAAGAGCGAGAT R: TGTCTGCAGACGTGCTCTCTGAGTT	200
过氧化氢酶 <i>CAT</i>	XM_012096208	F: TGGTAATTGGGATCTTGTGTTGGA R: GCTGTGGATAAAGGACGGAAA	82
谷胱甘肽过氧化物酶 <i>GSH-Px</i>	XM_004018462.3	F: ACCAGTTTGGGCATCAGGAA R: GCCTTCTCGCCATTACCT	130
过氧化物歧化酶 <i>SOD</i>	NM_001145185.1	F: GGGAGATAAAGTCGTCGTAAGTGG R: TTTTGGACAGAGGATTAAGTGAGG	134
β -肌动蛋白 β -actin	NM_001009784.1	F: GAGCGCAAGTACTCCGTGTG R: CATTTCGGTGGACGATG	122

表 3 FWBP 对杜寒杂交肉羊肉品质的影响

Table 3 Effects of FWBP on meat quality of Dorper \times thin-tailed *Han* crossbred mutton lambs

项目 Items	组别 Groups				
	I	II	III	IV	V
pH	6.23 \pm 0.14	6.36 \pm 0.22	6.36 \pm 0.23	6.21 \pm 0.15	6.29 \pm 0.15
肉色 Meat color					
亮度 L*	38.59 \pm 2.19	38.74 \pm 1.29	38.24 \pm 0.26	39.10 \pm 1.91	38.45 \pm 2.56
红度 a*	9.65 \pm 1.38	9.92 \pm 1.21	9.77 \pm 1.00	9.45 \pm 0.95	9.89 \pm 0.78
黄度 b*	13.76 \pm 0.99	13.15 \pm 0.90	13.08 \pm 0.98	13.29 \pm 0.90	12.99 \pm 1.10
蒸煮损失 Cooking loss/%	38.51 \pm 1.99	36.70 \pm 2.37	36.51 \pm 1.62	37.45 \pm 0.66	36.20 \pm 1.32
剪切力 Shear force/kg	8.09 \pm 0.41 ^a	7.17 \pm 0.45 ^c	7.33 \pm 0.21 ^{bc}	7.89 \pm 0.67 ^{ab}	7.80 \pm 0.73 ^{abc}

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$), 相同或无字母表示差异不显著 ($P > 0.05$)。下表同。

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

2.2 FWBP 对杜寒杂交肉羊背最长肌氨基酸组成的影响

由表 4 可知, 各组肉羊背最长肌中的 EAA 和 DAA 含量均无显著差异 ($P > 0.05$)。II、III 和 IV 组肉羊背最长肌中蛋氨酸 (Met) 含量显著高于 I 组 ($P < 0.05$)。IV 组肉羊背最长肌中半胱氨酸 (Cys) 含量显著高于 I 组 ($P < 0.05$), 而谷氨酸 (Glu) 和亮氨酸 (Leu) 含量显著低于 I 组 ($P < 0.05$)。V 组肉羊背最长肌中丝氨酸 (Ser) 含量显著高于 I 组 ($P < 0.05$), 而

缬氨酸 (Val) 含量显著低于 I 组 ($P < 0.05$)。

2.3 FWBP 对杜寒杂交肉羊背最长肌中抗氧化酶的 mRNA 相对表达量的影响

由图 1 可知, 与 I 组相比, 各试验组肉羊背最长肌中 *CAT* 的 mRNA 相对表达量显著提高 ($P < 0.05$), 且 III 组肉羊背最长肌中 *CAT* 的 mRNA 相对表达量显著高于 II、IV、V 组 ($P < 0.05$)。III 组肉羊背最长肌中 *GSH-Px* 和 *SOD* 的 mRNA 相对表达量显著高于 I 组 ($P < 0.05$), 而其余各试验组与 I 组相比差异不显著 ($P > 0.05$)。

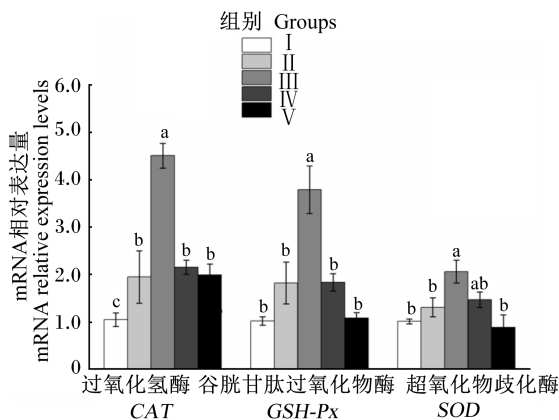
表4 FWBP对杜寒杂交肉羊背最长肌氨基酸组成的影响

Table 4 Effects of FWBP on composition of amino acids in *longissimus dorsi* ofDorper×thin-tailed *Han* crossbred mutton lambs

%

项目 Items	组别 Groups				
	I	II	III	IV	V
天冬氨酸 Asp*	9.78±0.17	9.58±0.15	9.68±0.16	9.15±0.26	9.57±0.18
苏氨酸 Thr#	5.49±0.05	5.42±0.07	5.45±0.07	5.34±0.05	5.57±0.06
丝氨酸 Ser	4.93±0.04 ^b	4.87±0.04 ^b	4.92±0.02 ^b	4.93±0.04 ^b	5.05±0.03 ^a
谷氨酸 Glu*	12.85±0.09 ^a	12.67±0.11 ^a	12.71±0.16 ^a	12.22±0.21 ^b	12.84±0.05 ^a
甘氨酸 Gly*	7.88±0.10	8.03±0.04	7.89±0.10	7.80±0.12	7.80±0.10
丙氨酸 Ala*	8.64±0.01	8.75±0.05	8.75±0.04	8.57±0.10	8.63±0.03
半胱氨酸 Cys	0.61±0.06 ^b	0.52±0.06 ^b	0.60±0.04 ^b	0.87±0.14 ^a	0.50±0.04 ^b
缬氨酸 Val#	5.45±0.04 ^a	5.43±0.02 ^{ab}	5.45±0.04 ^a	5.57±0.08 ^a	5.29±0.03 ^b
蛋氨酸 Met*#	2.15±0.06 ^b	2.41±0.04 ^a	2.36±0.05 ^a	2.48±0.02 ^a	2.10±0.06 ^b
异亮氨酸 Ile#	4.86±0.06	4.88±0.04	4.87±0.06	4.70±0.09	4.73±0.06
亮氨酸 Leu#	8.60±0.06 ^a	8.68±0.03 ^a	8.61±0.03 ^a	8.25±0.19 ^b	8.58±0.06 ^a
酪氨酸 Tyr	2.32±0.03	2.39±0.03	2.42±0.05	2.28±0.15	2.36±0.05
苯丙氨酸 Phe#	4.04±0.06	4.06±0.07	4.02±0.03	4.33±0.21	4.26±0.27
赖氨酸 Lys#	8.37±0.12	8.33±0.15	8.23±0.15	8.40±0.17	8.35±0.12
组氨酸 His#	3.18±0.06	3.17±0.04	3.17±0.04	3.15±0.06	3.15±0.02
精氨酸 Arg*#	5.65±0.03	5.41±0.04	5.47±0.05	5.90±0.31	5.63±0.03
脯氨酸 Pro	5.20±0.28	5.38±0.26	5.41±0.27	6.05±0.47	5.59±0.20
必需氨基酸 EAA	47.78±0.18	47.81±0.18	47.63±0.18	48.13±0.26	47.66±0.09
鲜味氨基酸 DAA	46.95±0.14	46.85±0.14	46.85±0.11	46.12±0.44	46.57±0.34

* 鲜味氨基酸 delicious amino acid; #:必需氨基酸 essential amino acid.

数据柱标注不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。

下同。

Value columns with different small letters mean significant difference ($P<0.05$). The same as below.

图1 FWBP对杜寒杂交肉羊背最长肌中抗氧化酶的mRNA相对表达量的影响

Fig.1 Effects of FWBP on mRNA relative expression levels of antioxidant enzymes in *longissimus dorsi* of Dorper×thin-tailed *Han* crossbred mutton lambs

2.4 FWBP对杜寒杂交肉羊背最长肌中肌纤维类型相关基因的mRNA相对表达量的影响

由图2可知,与I组相比,III组肉羊背最长肌中MyHC I和MyHC II a的mRNA相对表达量显著提高($P<0.05$),且MyHC II x的mRNA相对表达量显著降低($P<0.05$),其余各试验组与I组相比差异不显著($P>0.05$)。III、IV和V组肉羊背最长肌中MyHC II b的mRNA相对表达量显著高于I组($P<0.05$),但II组与I组相比差异不显著($P>0.05$)。

3 讨论

羊肉作为主要的动物性食品之一,是一种蛋白质含量丰富、脂肪含量较少、并且有着特殊风味的畜产品。肉品的口感是消费者选购肉品的重要指标,肌肉的嫩度是指咀嚼时牙齿对肌肉的感觉反应,肌肉的嫩度通常用剪切力的大小来衡量,肌肉嫩度的不同表明肉的多汁性之间存在差异^[22]。本试验中,饲料添加50和100 mg/kg FWBP能够

显著降低背最长肌剪切力,表明 FWBP 的添加提高了肌肉的嫩度。风味指人的嗅觉、味觉和口腔中触觉的复合感觉,包括气味和味道。研究表明,羊肉中各类氨基酸组成与肉品风味和蛋白质品质有着密切关联,其中,含硫氨基酸(Met 和 Cys 等)和某些鲜味肽都产生滋味^[23],对风味起正面作用,而 EAA 含量更是评价羊肉蛋白质品质的重要指标。本试验中,饲料添加 50、100 和 200 mg/kg FWBP 提高了肉羊背最长肌中 Met 含量;饲料添加 200 mg/kg FWBP 提高了肉羊背最长肌中 Cys 含量,同时增加了背最长肌中 EAA 含量,此结果表明饲料添加 FWBP 可通过提高背最长肌中含硫氨基酸的含量,增加 EAA 的含量,从而起到改善肉品风味和蛋白质品质的作用。

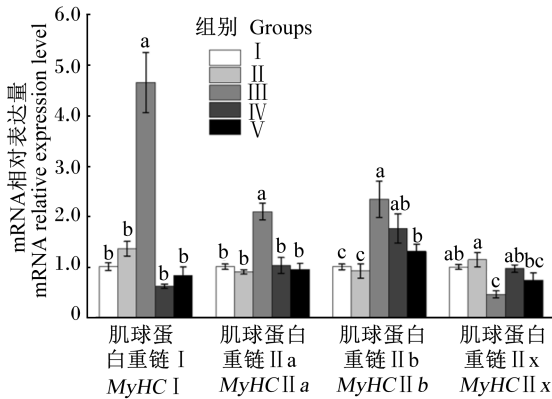


图 2 FWBP 对杜寒杂交肉羊背最长肌中

肌纤维类型相关基因的 mRNA 相对表达量的影响

Fig.2 Effects of FWBP on mRNA relative expression

levels of muscle fiber type-related genes in longissimus dorsi of Dorper x thin-tailed Han crossbred mutton lambs

研究表明,肌肉的抗氧化能力会直接影响其品质^[24]。肉羊屠宰后,肌肉中氧化反应仍在进行,大量活性氧产生(reactive oxygen species, ROS),但抗氧化酶的活性会随着肌肉储存时间的延长而降低,当其消耗到无法抵御 ROS 的伤害时,就会使得肌肉系水力降低、脂质过氧化和酸败^[24-26]。肌肉中主要的抗氧化物质包括 CAT、SOD 和 GSH-Px 等抗氧化酶和还原型谷胱甘肽(glutathione, GSH)。饲料中添加抗氧化剂可以提高肌肉的抗氧化能力,降低 ROS 对肌肉的氧化速率,保护肌纤维膜的完整性,防止肌肉的营养价值、感官品质和嫩度降低,达到改善肉品质的目的。在本研究中,饲料添加 100 mg/kg FWBP 能够显著提高肉羊背

最长肌中 CAT、GSH-Px 及 SOD 的 mRNA 相对表达量,同时能够显著降低背最长肌剪切力,提示饲料中添加 FWBP 可能提高肉羊背最长肌中抗氧化酶的活性,进而提高肌肉抗氧化能力,改善肌肉品质,这可能与 FWBP 中较高的酚酸含量有关。阿魏酸作为小麦麸皮中主要的酚酸,李黎云^[27]研究表明,饲料中添加阿魏酸可不同程度地增加猪背最长肌中抗氧化酶的活性和 GSH 的含量,并降低其丙二醛(malondialdehyde, MDA)的生成量,可有效增加猪肉的肉色稳定性,抑制猪肉在冷藏过程中的脂质氧化,降低汁液流失率,有效延长猪肉的冷藏时间。赵俊星等^[28]研究发现,饲料中添加 10% 富含多酚类物质的酿酒葡萄渣,也可以提高绵羊背最长肌中总抗氧化能力(T-AOC)及 GSH-Px4、SOD 的活性,降低背最长肌剪切力,提高羊肉品质。

肌纤维作为肌肉的基本单位,其类型组成的差异是决定肌肉品质的重要因素。骨骼肌肌纤维根据 MyHC 同工型的差异将其分为 4 类,分别为 MyHC I、MyHC II a、MyHC II b 与 MyHC II x 型 4 种^[29]。由于其表现出不同的生理与代谢特征,在对肉品质的影响上有着不同的体现。研究表明,氧化型肌纤维(I 和 II a 型)与肉色、嫩度和风味等指标呈正相关,而酵解型肌纤维(II b 型)和中间型肌纤维(II x 型)肌纤维直径较粗,与剪切力呈正相关,与其他肉质指标呈负相关^[27]。肌纤维数量在畜禽出生后不再发生改变,但肌纤维类型在环境、年龄、营养等多种因素的影响下可发生转化,肌纤维类型转化形式如下: I ↔ II a ↔ II x ↔ II b^[30]。在本试验中,饲料添加 100 mg/kg FWBP 可显著提高杜寒杂交肉羊背最长肌中氧化型肌纤维的表达,降低中间型肌纤维的表达;此外,饲料添加 100 mg/kg FWBP 可显著降低杜寒杂交肉羊背最长肌剪切力,这一结果表明 FWBP 对肌纤维类型的转化有一定的调控作用,并能提高羊肉的嫩度。

过氧化物体增殖物活化受体 γ 共活化因子-1α(PPARγ coactivator-1α, PGC-1α)可诱导线粒体合成以及 I 型肌纤维特异基因的表达,能有效的将 II a 和 II b 型肌纤维转化为 I 型肌纤维^[31-32]。研究表明,抗氧化活性强的多酚类物质可以促进骨骼肌中腺苷酸活化蛋白激酶(AMP-activated protein kinase, AMPK)的磷酸化,进而激活

PGC-1 α , 诱导氧化型肌纤维的表达, 从而改善肉品质^[33]。此外, 研究表明, 肌肉中抗氧化酶活性对肉品质的影响, 在肌肉的肌纤维类型转化上有一定程度的体现^[34]。郭照宙等^[35]研究表明, 在肉仔鸡饲料中添加人工合成的超氧化物歧化酶模拟物(SODm), 可提高其肌肉中 SOD 的活性, 增强了屠宰后肌肉的抗氧化能力, 有效降低肌纤维的直径, 提高其纤维密度, 改善肌肉嫩度。本试验结果表明, 饲料添加 100 mg/kg FWBP 能够显著提高肉羊背最长肌中 SOD、MyHC I 和 MyHC II a 的 mRNA 相对表达量, 并显著降低 MyHC II x 的 mRNA 相对表达量, 显著降低剪切力, 与上述研究结果相似。可以看出, FWBP 可能通过提高羊肉抗氧化能力, 诱导 II x 型肌纤维向 I 和 II a 型肌纤维的转化, 改善羊肉嫩度, 因此, FWBP 在肉羊生产中具有一定的实际应用意义。

4 结 论

综合本试验结果表明, 饲料中添加 FWBP 可以降低肉羊背最长肌剪切力, 改善其氨基酸组成, 提高肌肉抗氧化能力, 诱导 II x 型肌纤维向 I 和 II a 型肌纤维的转化, 且以添加 100 mg/kg 时效果较佳。

参考文献:

- [1] 丁丽娜. 中国羊肉市场供求现状及未来趋势研究 [D]. 博士学位论文. 北京: 中国农业大学, 2014.
- [2] 袁倩. 饲养方式对苏尼特羊 AMPK 途径脂肪代谢和肉品质的影响及机理研究 [D]. 博士学位论文. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2018.
- [3] 黄金玉, 焦金真, 冉涛, 等. 放牧与舍饲条件下山羊肌肉发育和抗氧化能力变化研究 [J]. 中国农业科学, 2015, 48(14): 2827-2838.
- [4] ROSSI R, PASTORELLI G, CANNATA S, et al. Effect of long term dietary supplementation with plant extract on carcass characteristics meat quality and oxidative stability in pork [J]. Meat Science, 2013, 95(3): 542-548.
- [5] 王显慧. VC 和 VE 对肉鸡抗氧化性能和肉品氧化稳定性的影响 [D]. 硕士学位论文. 杨凌: 西北农林科技大学, 2010.
- [6] 蒋红琴. 番茄红素对巴美肉羊肉品质的影响及其抗氧化机理研究 [D]. 博士学位论文. 北京: 中国农业大学, 2015.
- [7] RELET M C, THIBAUT J F, VALLE G D. Influence of extrusion-cooking on the physicochemical properties of wheat bran [J]. Journal of Cereal Science, 1990, 11(3): 249-259.
- [8] 余晓红. 出芽短梗霉发酵麦麸制备阿魏酰低聚糖及其生物活性研究 [D]. 博士学位论文. 南京: 南京农业大学, 2012.
- [9] HIGUCHI M, OSHIDA J, ORINO K, et al. Wheat bran protects Fischer-344 rats from diquat-induced oxidative stress by activating antioxidant system; selenium as an antioxidant [J]. Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry, 2011, 75(3): 496-499.
- [10] SHEN T, WANG G C, YOU L, et al. Polysaccharide from wheat bran induces cytokine expression via the Toll-like receptor 4-mediated p38 MAPK signaling pathway and prevents cyclophosphamide-induced immunosuppression in mice [J]. Food & Nutrition Research, 2017, 61(1): 1344523.
- [11] CAO L, LIU X Z, QIAN T X, et al. Antitumor and immunomodulatory activity of arabinoxylans: a major constituent of wheat bran [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2011, 48(1): 160-164.
- [12] YANG J Y, MALDONADO-GÓMEZ M X, HUTKINS R W, et al. Production and *in vitro* fermentation of soluble, non-digestible, feruloylated oligo- and polysaccharides from maize and wheat brans [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2014, 62(1): 159-166.
- [13] LIU R H. Whole grain phytochemicals and health [J]. Journal of Cereal Science, 2007, 46(3): 207-219.
- [14] 夏超笃, 艾琴, 向娜娜, 等. 发酵麸皮的功能及在动物饲料中的应用 [J]. 中国畜牧杂志, 2017, 53(12): 17-21.
- [15] 刘春雪, 张放, 张政, 等. 发酵麸皮对育肥猪生长性能、屠宰性能及肉品质的影响 [J]. 中国畜牧杂志, 2017, 53(2): 70-73.
- [16] 王园, 史俊祥, 段元霄, 等. 麸皮多糖微生物发酵工艺优化及其抗炎活性 [J]. 食品科学, 2018, 39(14): 192-198.
- [17] 安晓萍, 王园, 史俊祥, 等. 一种发酵麸皮多糖的提取及其对大鼠的抗氧化作用 [J]. 食品工业科技, 2018, 39(16): 281-285.
- [18] 孟子琪. 发酵麸皮多糖对杜寒杂交肉羊生长性能、肉品质及血液抗氧化指标的影响 [D]. 硕士学位论文. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2018.
- [19] 史俊祥. 麸皮多糖微生物发酵制备及其粗制品抗氧化活性的研究 [D]. 硕士学位论文. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2017.

- [20] 李暄.发酵麦麸多糖提取、分离纯化及生物活性分析[D].硕士学位论文.呼和浩特:内蒙古农业大学,2019.
- [21] 吴建平.不同肉羊品种体脂脂肪酸遗传变异性及其特性的研究[D].博士学位论文.兰州:甘肃农业大学,2000.
- [22] 吉帅.舍饲滩羊生长发育与肉品质变化规律的研究[D].硕士学位论文.银川:宁夏大学,2013.
- [23] 金亚东,杨万宗,吴爽,等.饲料精料比例对羊屠宰性能和肉品质的影响及其作用机理[J].动物营养学报,2019,31(10):4450-4457.
- [24] 樊路杰,窦鸣乐,王小宇,等.宰后肌肉抗氧化能力与肉品质的关系[J].动物营养学报,2018,30(5):1676-1680.
- [25] 宋小珍,符运斌,黄涛,等.金银花提取物对高温条件下肉牛抗氧化指标和骨骼肌肌纤维结构的影响[J].动物营养学报,2015,27(11):3534-3540.
- [26] 黄涛.金银花提取物对夏季高温条件下肉牛骨骼肌纤维形态和肌肉品质的影响[D].硕士学位论文.南昌:江西农业大学,2015.
- [27] 李黎云.日粮添加阿魏酸与维生素 E 对育肥猪肉品质和抗氧化性能的影响[D].硕士学位论文.南京:南京农业大学,2013.
- [28] 赵俊星,刘向东,金亚倩,等.日粮中添加酿酒葡萄渣对绵羊肉品质及肌肉抗氧化性的影响[J].畜牧兽医学报,2017,48(8):1481-1490.
- [29] SCHIAFFINO S, GORZA L, SARTORE S, et al. Three myosin heavy chain isoforms in type 2 skeletal muscle fibres[J].Journal of Muscle Research & Cell Motility,1989,10(3):197-205.
- [30] 徐林,张宏宇,单安山,等.肌纤维类型与肉质关系[J].饲料博览,2010(5):11-14.
- [31] PETTE D, STARON R S. Myosin isoforms, muscle fiber types, and transitions [J]. Microscopy Research and Technique,2000,50(6):500-509.
- [32] WU Z D, PUIGSERVER P, ANDERSSON U, et al. Mechanisms controlling mitochondrial biogenesis and respiration through the thermogenic coactivator PGC-1 [J].Cell,1999,98(1):115-124.
- [33] LIN J D, WU H, TARR P T, et al. Transcriptional coactivator PGC-1 α drives the formation of slow-twitch muscle fibers [J]. Nature, 2002, 418 (6899) : 797 - 801.
- [34] 张树润,陈小玲,陈代文,等.白藜芦醇对畜禽骨骼肌纤维类型转化的影响及其机理[J].动物营养学报,2017,29(7):2278-2282.
- [35] 郭照宙,崔红霞,武洪志,等.饲料中添加超氧化物歧化酶模拟物对肉仔鸡肌纤维特性及肌肉超氧化物歧化酶活性的影响[J].动物营养学报,2018,30(1):202-211.

Effects of Fermented Wheat Bran Polysaccharides on Meat Quality, Muscle Amino Acid Composition and Expression of Antioxidant Enzymes and Muscle Fiber Type-Related Genes in Muscle of Mutton Sheep

HU Yuchao^{1,2} WANG Yuan^{1,2*} MENG Ziqi^{1,2} LIU Yuhui^{1,2} WANG Ruifang^{1,2}
WANG Wenwen^{1,2} HAO Xiran^{1,2} AN Xiaoping^{1,2} QI Jingwei^{1,2*}

(1. College of Animal Science, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China; 2. Inner Mongolia Herbivorous Livestock Feed Engineering and Technology Research Center, Hohhot 010018, China)

Abstract: This experiment was conducted to investigate the effects of fermented wheat bran polysaccharides (FWBP) on meat quality, muscle amino acid composition and expression of antioxidant enzymes and muscle fiber type-related genes in muscle of mutton sheep. Fifty 6-week-old Dorper×thin-tailed *Han* crossbred lambs with an initial body weight of (20.17±3.33) kg were randomly assigned into 5 groups with 10 lambs in each group. Lambs in the control group (group I) were fed a basal diet, and others in the experimental groups (groups II, III, IV and V) were fed the basal diet supplemented with 50, 100, 200 and 400 mg/kg FWBP, respectively. The adaptation period lasted for 14 days and the formal period lasted for 56 days. The results showed as follows: 1) the *longissimus dorsi* shear force of mutton sheep of groups II and III was significantly lower than that of group I ($P<0.05$). 2) The content of methionine (Met) in *longissimus dorsi* of mutton sheep of groups II, III and IV was significantly higher than that of group I ($P<0.05$), while the glutamic acid (Glu) and leucine (Leu) contents were significantly lower than those of group I ($P<0.05$); the content of serine (Ser) in *longissimus dorsi* of mutton sheep of group V was significantly higher than that of group I ($P<0.05$), while the valerian (Val) content was significantly lower than that of group I ($P<0.05$). 3) The mRNA relative expression level of catalase (CAT) in *longissimus dorsi* of mutton sheep of experimental groups was significantly higher than that of group I ($P<0.05$), and the mRNA relative expression level of CAT in *longissimus dorsi* of mutton sheep of experimental group III was significantly higher than that of groups II, IV and V ($P<0.05$). The mRNA relative expression levels of glutathione peroxidase (GSH-Px) and superoxide dismutase (SOD) in *longissimus dorsi* of mutton sheep of group III were higher than those of group I ($P<0.05$). 4) The mRNA relative expression levels of myosin heavy chain (MyHC) I and MyHC II a in *longissimus dorsi* of mutton sheep of group III were higher than those of group I ($P<0.05$), and the MyHC II x mRNA relative expression level was significantly lower than that of group I ($P<0.05$). The mRNA relative expression level of MyHC II b in *longissimus dorsi* of mutton sheep of groups III, IV and V was significantly higher than that of group I ($P<0.05$). In conclusion, dietary FWBP supplementation can decrease the shear force in *longissimus dorsi* of mutton sheep, affect the amino acid composition, improve the muscle antioxidant capacity, induce the transformation of type II b muscle fiber to type I and II a muscle fiber, and the effect is better when FWBP supplemental level is 100 mg/kg. [Chinese Journal of Animal Nutrition, 2020, 32(2): 932-940]

Key words: fermented wheat bran polysaccharides; lambs; meat quality; amino acids; antioxidant enzymes; muscle fiber type

* Corresponding authors: WANG Yuan, lecturer, E-mail: wangyuan.926@163.com; QI Jingwei, professor, E-mail: qijingwei_66@126.com