

DOI:10.11686/cyxb2021320

http://cyxb.magtech.com.cn

张耀, 黄小云, 陈鑫珠, 等. 海鲜菇菌糠发酵饲料对山羊屠宰性能及肉品质的影响. 草业学报, 2022, 31(9): 195—205.

ZHANG Yao, HUANG Xiao-yun, CHEN Xin-zhu, et al. Effects of fermented *Hypsizygus marmoreus* mushroom residue on slaughter performance and mutton quality of goats. Acta Prataculturae Sinica, 2022, 31(9): 195—205.

海鲜菇菌糠发酵饲料对山羊屠宰性能及肉品质的影响

张耀^{1,2}, 黄小云^{1,2}, 陈鑫珠³, 黄勤楼^{1,2*}, 黄秀声^{1,2*}, 韩海东^{1,2}

(1. 福建省农业科学院农业生态研究所, 福建 福州 350013; 2. 福建省丘陵地区循环农业工程技术研究中心, 福建 福州 350013; 3. 福建省农业科学院畜牧兽医研究所, 福建 福州 350013)

摘要: 本试验旨在研究不同添加比例发酵海鲜菇菌糠对简阳大耳黄羊屠宰性能、羊肉氨基酸、脂肪酸含量等品质的影响。采用单因子试验设计, 选取简阳大耳黄羊 48 只, 随机分为 4 组, 每组 12 只羊。分别在基础日粮中添加 0 (C 组, 对照组)、20% (L 组)、30% (M 组)、40% (H 组) 发酵海鲜菇菌糠。预试期 10 d, 正试期 120 d。结果表明: 1) L 组宰前活重和眼肌面积显著高于 H 组 ($P < 0.05$), 肺脏、肾脏、瘤胃、小肠、大肠重量以及瘤胃占宰前活重比例显著高于其余 3 组 ($P < 0.05$)。且随发酵菌糠添加量的增加, 眼肌面积、肺脏、肾脏、瘤胃、小肠以及大肠重量呈二次变化 ($P < 0.05$)。2) 各组间背最长肌 pH 无显著差异 ($P > 0.05$); L 组 24 和 48 h 滴水损失显著低于其余 3 组 ($P < 0.05$), 且均随添加水平的提高呈二次变化 ($P < 0.05$), 熟肉率显著高于 H 组 ($P < 0.05$), 剪切力显著低于 H 组 ($P < 0.05$)。3) L 组背最长肌中必需氨基酸总量显著高于 C 组 ($P < 0.05$), 天冬氨酸、苏氨酸、亮氨酸、赖氨酸、精氨酸含量显著高于 C 和 H 组 ($P < 0.05$), 丙氨酸、缬氨酸、异亮氨酸含量显著高于其余各组 ($P < 0.05$), 脯氨酸、甘氨酸含量显著高于 C 和 M 组 ($P < 0.05$), 其中, 缬氨酸、异亮氨酸、赖氨酸和天冬氨酸含量随发酵菌糠添加量的增加呈二次变化 ($P < 0.05$)。4) 各组间脂肪酸含量无显著差异 ($P > 0.05$)。其中, 硬脂酸 (C18:0) 和 α -亚麻酸 (C18:3n3) 含量随发酵菌糠添加水平的提高分别呈二次变化和线性升高 ($P < 0.05$), H 组 C18:3n3 含量较 C 组提高了 16.48%, 试验组多不饱和脂肪酸 (PUFA) 和 n-3 PUFA 含量较 C 组有不同程度的提高, n-6/n-3 较 C 组分别下降了 0.64%、11.73% 和 12.34%。综上所述, 日粮中发酵海鲜菇菌糠添加水平为 20% 时对提高山羊内脏器官发育以及改善肉品质方面具有较好的效果。

关键词: 海鲜菇菌糠; 屠宰性能; 肉品质; 氨基酸; 脂肪酸

Effects of fermented *Hypsizygus marmoreus* mushroom residue on slaughter performance and mutton quality of goats

ZHANG Yao^{1,2}, HUANG Xiao-yun^{1,2}, CHEN Xin-zhu³, HUANG Qin-lou^{1,2*}, HUANG Xiu-sheng^{1,2*}, HAN Hai-dong^{1,2}

1. Agricultural Ecology Research Institute, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou 350013, China; 2. Fujian Engineering and Technology Research Center for Recycling Agriculture in Hilly Areas, Fuzhou 350013, China; 3. Institute of Animal Husbandry and Veterinary Medicine, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou 350013, China

Abstract: This experiment was to study the effects of adding different ratios of fermented *Hypsizygus marmoreus* mushroom residue to a standard feed, on the slaughter performance, and meat amino acid and fatty acid content of

收稿日期: 2021-08-25; 改回日期: 2021-11-22

基金项目: 福建省公益类科研院所专项 (2020R1021002; 2020R1021004), 福建省人民政府-中国农业科学院“5511”协同创新工程 (XTCXGC 2021010) 和福建省农业科学院项目 (CXTD2021009-1) 资助。

作者简介: 张耀 (1994-), 男, 河南固始人, 硕士。E-mail: 1097826255@qq.com

* 通信作者 Corresponding author. E-mail: hql202@126.com, hxs706@163.com

Jiayang big ear goats. A single factor experiment design was chosen, and 48 Jiayang big ear goats were selected and randomly divided into 4 groups with 12 goats in each group. The treatments comprised addition of zero (group C, control group); 20% (group L), 30% (group M), and 40% (group H) fermented *H. marmoreus* mushroom residue to the basic diet. The pre-test diet adaptation period was 10 days, and the trial period was 120 days. It was found that: 1) The pre-slaughter live weight and the eye muscle areas of group L were significantly higher than in group H ($P < 0.05$); While the weights of lung, kidney, rumen, small intestine, large intestine, and the ratio of the rumen weight to the pre-slaughter live weight were significantly higher than in the other three groups ($P < 0.05$). The eye muscle area and the weights of lungs, kidneys, rumen, small intestine and large intestine showed secondary changes proportional to the added amount of fermented mushroom residue ($P < 0.05$). 2) There was no significant difference in the meat pH among the groups ($P > 0.05$). The 24 and 48 h drip loss of group L was significantly lower than other groups ($P < 0.05$), and there were secondary changes proportional to the level of addition of mushroom residue in that the yield of cooked meat rate was significantly higher than in group H ($P < 0.05$) while the shear force was significantly lower than in group H ($P < 0.05$). 3) The total amount of essential amino acids in the longissimus dorsi muscle in group L was significantly higher than in group C ($P < 0.05$), and the contents of aspartic acid, threonine, leucine, lysine, and arginine were significantly higher than in groups C and H ($P < 0.05$). The contents of alanine, valine and isoleucine in group L were significantly higher than other groups ($P < 0.05$), and the contents of proline and glycine were significantly higher than in groups C and M ($P < 0.05$). Among four groups, the contents of valine, isoleucine, lysine and aspartic acid showed secondary changes proportional to the level of mushroom residue addition ($P < 0.05$). 4) There were no significant differences in fatty acid content among the groups ($P > 0.05$). Along the addition gradient, the contents of C18:0 and C18:3n3 fatty acids showed either quadratic change or linear increase in proportion to the level of addition ($P < 0.05$). The content of C18:3n3 in group H was increased by 16.48% compared with group C. The contents of polyunsaturated fatty acids (PUFA) and n-3 PUFA in the test groups increased to some extent, compared with group C. The n-6/n-3 decreased by 0.64%, 11.73% and 12.34%, respectively for groups L, M and H, compared with group C. To sum up, supplementation of a standard diet with 20% fermented *H. marmoreus* mushroom residue improved internal organ development and meat quality of goats.

Key words: *Hypsizygus marmoreus* mushroom residue; slaughter performance; meat quality; amino acid; fatty acid

饲料原料的匮乏和其成本问题一直是制约畜牧业发展的重要因素,开发非常规饲料已成为畜牧行业亟须解决的问题^[1]。我国是食用菌生产大国,食用菌年产量占世界总产量的80%以上,在食用菌产业迅速发展的同时,产生了大量副产物^[2]。菌糠是食用菌收菇后的培养基残渣,其主要成分是棉籽壳、锯木屑、稻草、玉米(*Zea mays*)芯、甘蔗(*Saccharum officinarum*)渣及多种农业副产物、工业废弃物^[3]。国内外许多报道均表明,菌糠中含有大量的粗蛋白、矿物质和丰富的氨基酸及其他活性营养物质,是一类优质的畜禽非常规饲料原料^[4-5]。目前,只有极小部分的菌糠被开发用作动物饲料,大多数的菌糠被焚烧用于发电或随意丢弃,浪费了宝贵生物资源的同时,还对生态环境造成了严重污染。因此,合理地开发利用菌糠,不仅能变废为宝,还可以缓解饲料资源短缺,降低动物生产成本,提高经济效益。

菌糠的可饲用成分主要是棉籽壳、稻草、秸秆等高纤维原料,导致菌糠适口性较差,难消化,因此需要对其进行发酵处理,从而提高其适口性、营养价值及利用率。在菌糠中加入一定比例的微生物菌剂对其进行发酵,使得菌糠中纤维素和半纤维素等大分子物质被降解成为动物机体易消化吸收的糖类、氨基酸、维生素等营养物质,提高了菌糠的饲用性^[6]。大量研究证实,菌糠经微生物发酵后,其适口性和粗蛋白含量明显提高,粗纤维、中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维含量降低,营养价值得到改善,其中混菌发酵效果最佳^[7-9]。因此,本试验使用酿酒酵母菌、乳酸菌、枯草芽孢杆菌复合菌剂对海鲜菇(*Hypsizygus marmoreus*)菌糠进行发酵,以解决菌糠适口性差,难消化的问题,并研究不同发酵海鲜菇菌糠添加量对山羊屠宰性能、肉品质及肌肉中氨基酸、脂肪酸含量的影响,为高效利

用海鲜菇菌糠,评价发酵海鲜菇菌糠饲喂山羊效果提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

海鲜菇菌糠购自福建顺昌神农菇业有限公司。选取采菇 1 次,新鲜无霉的菌糠进行试验,采用接菌发酵的处理方式,活菌多发酵菌剂(活菌数:枯草芽孢杆菌 $\geq 100 \times 10^6$ CFU $\cdot$ g $^{-1}$,乳酸菌 $\geq 10 \times 10^6$ CFU $\cdot$ g $^{-1}$,酿酒酵母 $\geq 100 \times 10^6$ CFU $\cdot$ g $^{-1}$,总细菌 $\geq 210 \times 10^6$ CFU $\cdot$ g $^{-1}$)购自北京晟亚育达生物科技有限公司。发酵前即按温水 50 kg 添加红糖 10 kg 和菌剂 1 kg 的比例进行活化,活化 40 min。发酵时按发酵原料(鲜重)0.1%的比例添加活化后的发酵液,常温厌氧发酵 45 d。根据常规方法测定干物质(dry matter, DM)含量,采用凯氏定氮法测定粗蛋白(crude protein, CP)含量,按照 Soest^[10]的方法测定中性洗涤纤维(neutral detergent fiber, NDF)和酸性洗涤纤维(acid detergent fiber, ADF),半纤维素(hemicellulose, HC)为两者的差值。分别取 10 g 发酵前后海鲜菇菌糠样品装入 100 mL 广口锥形瓶中,定容,封口,4℃冰箱中保存,24 h 后用纱布过滤,得到浸提液。用 pH S-3D 型酸度计(上海)测定 pH 值。发酵前后海鲜菇菌糠营养成分见表 1。

表 1 海鲜菇菌糠发酵前后营养成分

Table 1 Nutritional composition of *H. marmoreus* mushroom residue before and after fermentation

项目 Items	干物质 DM (%)	粗蛋白 CP (%)	中性洗涤纤维 NDF (%)	酸性洗涤纤维 ADF (%)	半纤维素 HC (%)	pH
发酵前 Before fermentation	36.39 $\pm$ 0.04	8.21 $\pm$ 0.52	48.25 $\pm$ 0.99	36.52 $\pm$ 2.00	11.73 $\pm$ 2.53	5.63 $\pm$ 0.06
发酵后 After fermentation	35.71 $\pm$ 0.17	9.17 $\pm$ 0.19	42.77 $\pm$ 1.07	34.45 $\pm$ 0.69	8.32 $\pm$ 1.48	3.29 $\pm$ 0.02

1.2 试验设计

试验于 2019 年 8—12 月在福建南平市顺昌金富羊业发展有限公司进行,试验选取 48 只初始体重(17.65 $\pm$ 1.05) kg, 3 月龄,健康状况良好的简阳大耳黄羊公羊,采用单因子试验设计,随机分为 4 组,每组 3 个重复,每个重复 4 只羊。分别在基础日粮中添加 0(C 组,对照组)、20%(L 组)、30%(M 组)、40%(H 组)发酵海鲜菇菌糠(干物质基础, DM basis)。饲料参照美国国家科学研究委员会(National Research Council, NRC)(2007)山羊营养需要标准配制,饲料组成及营养水平见表 2。试验采取全舍饲方式进行,预饲期 10 d,正饲期 120 d。试验羊进行编号和驱虫,定期清理羊舍,按时消毒,在通风良好的羊舍内由专人饲养,每天 9:00 和 16:00 各饲喂一次,自由饮水。

1.3 测定指标与方法

1.3.1 屠宰性能测定 饲养结束后,每组随机选择 3 只供试羊进行屠宰,屠宰前禁食 24 h,禁水 2 h。称量宰前活重(live weight before slaughter, LWBS)后,进行屠宰,放血,剥离皮毛,去头、蹄、内脏,测定屠宰性能指标,包括胴体重、屠宰率、净肉重、骨重、肉骨比、眼肌面积、背脂厚(GR 值)等;对内脏各器官进行称重和记录,包括心脏、肝脏、脾脏、肾脏、肺脏等;将消化道内容物清除并冲洗干净后,分别称取瘤胃、网胃、瓣胃、皱胃、小肠、大肠重量,并记录。胴体重:宰前活重去除头、皮毛、蹄、尾、内脏(保留肾脏和周围脂肪)的重量;屠宰率(%)=胴体重/宰前活重 $\times 100$;眼肌面积:第 12~13 根肋骨之间脊椎上眼肌的横切面积,用硫酸纸描绘出眼肌横断面轮廓,再用求积仪(QCJ-2000, 山东)计算出轮廓面积;GR 值:用游标卡尺测量第 12~13 根肋骨之间距离背脊中线 11 cm 处组织的厚度。

1.3.2 肉品质测定 试验羊屠宰后,取左侧背最长肌,参照张永翠等^[11]的方法,测定 pH、滴水损失、剪切力、熟肉率等肉品质指标。pH:使用 pH 计在试验羊屠宰后 45 min 测定背最长肌 pH,每块肌肉不同部位测量 3 次,取平均值作为最终结果;剪切力:用直径为 1.27 cm 的取样器在背最长肌上取肉柱,使用 TMS-PRO 食品物性分析仪(美国)测量 5 次,取平均值作为最终结果;滴水损失:切取羊背最长肌长 5 cm,宽 3 cm,厚 2 cm 的 2 块肉样,称重编号。分别悬挂于塑料袋中(肉样不得与塑料袋壁接触),扎紧袋口后吊挂于 4℃冰箱中,于 24 和 48 h 后取出,用吸水纸吸干表面的水分并称重,记为末重。滴水损失率(%)=(初重-末重)/初重 $\times 100$;熟肉率:取背最长肌进行

测定,剥离肌肉附着脂肪,用感量为0.1 g的天平称重(计为 W_1),把肉样放在聚乙烯包装袋中,将样品置于铝蒸锅内用80℃水在1500 W的电炉上蒸30 min,取出后将包装袋与肉放入凉水中,1 h后取出样品并用纸擦干表面水分,称重(计为 W_2),熟肉率(%)= $W_2/W_1 \times 100$ 。

肌肉氨基酸组分:取背最长肌备用,检测前使用冷冻干燥机处理后,粉碎机粉碎,过0.425 mm筛,使用日立L-8900全自动氨基酸分析仪(日本)测定。参照GB 5009.168-2016的方法,使用气相色谱仪(Agilent 7890A,美国)测定肉质脂肪酸含量,毛细管色谱柱型号为Agilent 19091N-213,温度260℃,规格30 m×320 μm×0.5 μm。进样口温度为270℃,进样量为1 μL,流速为1.0 mL·min⁻¹,分流比为20:1。采用混标法确定脂肪酸种类,采用归一化法计算脂肪酸组成比例。

1.4 数据统计与分析

采用SPSS 25.0进行单因素方差分析(one-way ANOVA)及Duncan氏法多重比较,再进行线性(linear)和二次曲线(quadratic)趋势分析,结果用平均值±标准差表示,以 $P<0.05$ 作为差异显著判断标准。

2 结果与分析

2.1 菌糠发酵饲料对山羊屠宰性能和内脏器官发育的影响

由表3和表4可知,L组宰前活重和眼肌面积均显著高于H组($P<0.05$),且眼肌面积随添加水平的提

表2 基础饲粮组成及营养水平(干物质基础)

Table 2 Composition and nutrient levels of basal diets (DM basis)

项目 Items	组别 Groups			
	C	L	M	H
发酵海鲜菇菌糠 Fermented <i>H. marmoreus</i> mushroom residue (%)	0	20	30	40
花生秧 Peanut vine (%)	45.00	28.00	19.50	11.00
玉米 Corn (%)	25.00	21.00	20.00	18.00
麦麸 Bran (%)	12.50	13.50	13.00	13.50
豆粕 Soybean meal (%)	11.00	11.00	11.00	11.00
磷酸氢钙 CaHPO ₄ (%)	1.00	1.00	1.00	1.00
食盐 NaCl (%)	0.50	0.50	0.50	0.50
预混料 Premix ¹⁾	5.00	5.00	5.00	5.00
合计 Total	100	100	100	100
营养水平 Nutrient levels ²⁾				
干物质 DM (%)	78.28	75.71	72.16	69.63
粗蛋白 CP (%)	13.64	13.36	13.20	13.06
中性洗涤纤维 NDF (%)	29.59	29.95	29.86	30.04
酸性洗涤纤维 ADF (%)	23.02	22.33	21.87	21.53
钙 Ca (%)	1.46	1.50	1.52	1.54
磷 P (%)	0.50	0.54	0.56	0.58
代谢能 ME (MJ·kg ⁻¹)	9.67	9.74	9.74	9.77

¹⁾ 每 kg 预混料包含 Each kilogram of premix contains: V_A 225000 IU, V_E 1000 IU, V_{D3} 22500 IU, 锰 Mn 1000 mg, 锌 Zn 1000 mg, 铜 Cu 300 mg, 碘 I 10 mg; 钴 Co 2 mg, 硒 Se 6 mg; ²⁾ 代谢能为计算值,其余为实测值。The metabolic energy (ME) was calculated, and the rest were measured.

表3 菌糠发酵饲料对山羊屠宰性能的影响

Table 3 The effect of fermented feed with mushroom residues on goat slaughter performance

项目 Items	组别 Groups				P值 P value		
	C	L	M	H	处理 Treatment	线性 Linear	二次 Quadratic
宰前活重 LWBS (kg)	31.03±1.69ab	33.00±0.96a	30.63±1.37ab	29.73±1.14b	0.08	0.31	0.07
胴体重 Carcass weight (kg)	15.72±0.98a	16.77±1.06a	15.40±1.23a	15.06±0.36a	0.23	0.39	0.21
屠宰率 Dressing percentage (%)	50.74±3.76a	50.79±1.76a	50.24±2.06a	50.68±0.76a	0.99	0.90	0.99
骨重 Bone weight (kg)	3.43±0.15a	3.50±0.30a	3.37±0.15a	3.37±0.35a	0.90	0.66	0.83
净肉重 Net meat weight (kg)	12.29±0.86a	13.27±0.80a	12.04±1.31a	11.70±0.68a	0.28	0.42	0.23
肉骨比 Meat to bone ratio (%)	3.58±0.16a	3.80±0.20a	3.59±0.49a	3.51±0.58a	0.83	0.81	0.70
净肉率 Net meat rate (%)	39.66±3.31a	40.19±1.24a	39.23±2.84a	39.32±1.08a	0.96	0.78	0.92
眼肌面积 Eye muscle area (cm ²)	16.90±0.26ab	18.19±1.52a	16.64±0.39ab	15.58±0.20b	0.03	0.17	0.02
GR值 GR value (mm)	4.40±1.28a	5.33±1.10a	4.50±0.66a	4.30±1.05a	0.63	0.85	0.52

注: 同行相同小写字母表示差异不显著($P>0.05$),不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。下同。

Note: In the same row, values with same lowercase letters mean no significant difference ($P>0.05$), while with different lowercase letters mean significant difference ($P<0.05$). The same below.

表 4 菌糠发酵饲料对山羊器官发育的影响

Table 4 The effect of fermented feed with mushroom residues on goat organ development

器官 Organ	项目 Items	组别 Groups				P 值 P value		
		C	L	M	H	处理 Treatment	线性 Linear	二次 Quadratic
心脏 Heart	重量 Weight (g)	168.17±12.50a	194.50±12.38a	175.33±21.92a	173.33±12.27a	0.25	0.80	0.25
	占宰前活重比例 Percentage of LWBS (%)	0.54±0.04a	0.59±0.03a	0.58±0.10a	0.58±0.06a	0.79	0.40	0.63
肝脏 Liver	重量 Weight (g)	478.33±27.14a	522.83±16.43a	479.67±32.56a	478.67±23.82a	0.17	0.86	0.25
	占宰前活重比例 Percentage of LWBS (%)	1.54±0.01a	1.59±0.09a	1.57±0.15a	1.61±0.02a	0.81	0.37	0.68
脾脏 Spleen	重量 Weight (g)	28.17±4.89a	31.40±6.02a	28.17±1.75a	26.90±5.01a	0.69	0.71	0.54
	占宰前活重比例 Percentage of LWBS (%)	0.09±0.02a	0.10±0.02a	0.09±0.01a	0.09±0.02a	0.99	0.95	0.95
肺脏 Lung	重量 Weight (g)	436.33±22.05b	505.83±30.81a	457.50±9.37b	420.83±22.50b	0.01	0.69	0.01
	占宰前活重比例 Percentage of LWBS (%)	1.41±0.12a	1.53±0.07a	1.50±0.10a	1.42±0.05a	0.30	0.79	0.15
肾脏 Kidney	重量 Weight (g)	141.67±6.03b	157.27±10.10a	143.67±4.93b	137.67±3.21b	0.03	0.59	0.03
	占宰前活重比例 Percentage of LWBS (%)	0.46±0.01a	0.48±0.02a	0.47±0.04a	0.46±0.02a	0.74	0.66	0.53
瘤胃 Rumen	重量 Weight (g)	714.50±57.53b	846.67±36.53a	703.67±44.07b	671.67±18.61b	0.00	0.41	0.02
	占宰前活重比例 Percentage of LWBS (%)	2.31±0.19b	2.57±0.07a	2.30±0.05b	2.26±0.12b	0.05	0.62	0.11
网胃 Reticulum	重量 Weight (g)	120.50±15.39a	146.17±16.54a	133.67±16.40a	115.67±12.47a	0.14	0.88	0.06
	占宰前活重比例 Percentage of LWBS (%)	0.39±0.05a	0.44±0.05a	0.44±0.07a	0.39±0.04a	0.48	0.81	0.28
瓣胃 Omasum	重量 Weight (g)	229.83±30.73a	223.50±30.62a	212.33±24.51a	218.00±11.46a	0.85	0.43	0.73
	占宰前活重比例 Percentage of LWBS (%)	0.74±0.06a	0.68±0.07a	0.69±0.10a	0.73±0.05a	0.68	0.84	0.45
皱胃 Abomasum	重量 Weight (g)	295.43±75.02a	326.83±29.51a	283.67±35.16a	274.83±13.04a	0.54	0.50	0.45
	占宰前活重比例 Percentage of LWBS (%)	0.95±0.21a	0.99±0.09a	0.93±0.15a	0.92±0.03a	0.93	0.77	0.86
小肠 Small intestine	重量 Weight (g)	753.33±34.30b	813.67±29.10a	737.50±17.58b	706.83±5.69b	0.00	0.18	0.01
	占宰前活重比例 Percentage of LWBS (%)	2.43±0.07a	2.47±0.13a	2.41±0.07a	2.38±0.09a	0.71	0.48	0.54
大肠 Large intestine	重量 Weight (g)	556.97±15.50b	608.00±11.91a	552.83±31.72b	533.83±18.91b	0.01	0.35	0.02
	占宰前活重比例 Percentage of LWBS (%)	1.80±0.15a	1.84±0.07a	1.80±0.07a	1.80±0.04a	0.92	0.92	0.82

高呈二次变化($P<0.05$)。各组间胴体重、屠宰率、骨重、净肉重、肉骨比、净肉率、GR值无显著差异($P>0.05$)。L组肺脏、肾脏、瘤胃、小肠、大肠重量以及瘤胃占LWBS比例显著高于其他组($P<0.05$),其中肺脏、肾脏、瘤胃、小肠以及大肠重量随添加水平的提高呈二次变化($P<0.05$)。其余各组间内脏器官重量及其占LWBS比例均无显著差异($P>0.05$)。

2.2 菌糠发酵饲料对羊肉品质的影响

屠宰45 min后,各组间背最长肌pH无显著差异($P>0.05$)(表5)。24和48 h滴水损失随发酵海鲜菇菌糠添加量的增加呈二次变化($P<0.05$),其中L组滴水损失均显著低于其余3组($P<0.05$),熟肉率显著高于H组($P<0.05$),剪切力显著低于H组($P<0.05$)。

L组背最长肌中必需氨基酸总量显著高于C组($P<0.05$)(表6),天冬氨酸、苏氨酸、亮氨酸、赖氨酸、精氨酸含量显著高于C和H组($P<0.05$),丙氨酸、缬氨酸、异亮氨酸含量显著高于其余各组($P<0.05$),脯氨酸和甘氨酸

表5 菌糠发酵饲料对羊肉肉质性状的影响

Table 5 The effect of fermented feed with mushroom residues on the meat quality of mutton

项目 Items	组别 Groups				P值 P value		
	C	L	M	H	处理 Treatment	线性 Linear	二次 Quadratic
pH (45 min)	6.70±0.40a	6.60±0.26a	6.73±0.06a	6.73±0.21a	0.91	0.80	0.86
滴水损失 Drip loss (% , 24 h)	4.26±0.14a	3.57±0.17b	4.22±0.14a	4.38±0.38a	0.01	0.63	0.03
滴水损失 Drip loss (% , 48 h)	7.96±0.45a	7.28±0.17b	7.98±0.34a	8.34±0.37a	0.03	0.33	0.03
剪切力 Shear force (kgf)	4.43±0.21ab	3.97±0.09b	4.51±0.57ab	4.67±0.30a	0.16	0.41	0.15
熟肉率 Cooked meat rate (%)	57.97±2.28ab	59.64±0.61a	57.68±0.70ab	57.04±0.23b	0.14	0.39	0.13

表6 菌糠发酵饲料对羊肉氨基酸含量的影响

Table 6 The effect of fermented feed with mushroom residue on amino acid content of mutton ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)

项目 Items	组别 Groups				P值 P value		
	C	L	M	H	处理 Treatment	线性 Linear	二次 Quadratic
必需氨基酸 Essential amino acid							
苏氨酸 Threonine	7.21±0.80b	8.36±0.33a	7.59±0.51ab	7.22±0.20b	0.07	0.99	0.06
缬氨酸 Valine	7.98±0.67b	9.41±0.22a	8.40±0.34b	8.12±0.33b	0.01	0.87	0.03
蛋氨酸 Methionine	3.67±0.80a	4.50±0.50a	4.26±0.55a	3.80±0.10a	0.29	0.68	0.14
异亮氨酸 Isoleucine	7.24±0.70b	8.91±0.27a	7.74±0.42b	7.24±0.35b	0.01	0.97	0.01
亮氨酸 Leucine	13.88±1.20b	15.71±0.70a	14.43±0.32ab	14.08±0.44b	0.06	0.86	0.07
苯丙氨酸 Phenylalanine	7.84±0.35a	8.11±0.64a	8.35±1.30a	8.61±0.97a	0.75	0.25	0.52
赖氨酸 Lysine	14.87±1.38b	17.09±0.77a	15.52±0.53ab	14.89±0.54b	0.05	0.99	0.04
组氨酸 Histidine	5.58±1.05a	6.12±1.22a	6.12±0.53a	5.97±0.41a	0.86	0.50	0.66
必需氨基酸总量 Total essential amino acids	68.27±6.91b	78.21±4.21a	72.42±2.69ab	69.92±2.91ab	0.11	0.73	0.08
非必需氨基酸 Non-essential amino acid							
天冬氨酸 Aspartic acid	12.60±1.82b	16.52±0.58a	13.72±2.29ab	12.77±0.49b	0.04	0.97	0.04
酪氨酸 Tyrosine	6.75±0.46a	6.39±0.72a	6.64±0.27a	6.99±0.14a	0.48	0.61	0.28
精氨酸 Arginine	10.50±0.91b	12.01±0.42a	11.00±0.45ab	10.76±0.19b	0.05	0.74	0.06
脯氨酸 Proline	10.88±0.74b	12.31±0.31a	11.28±0.14b	11.69±0.30ab	0.02	0.25	0.15
丝氨酸 Serine	5.77±0.61a	6.36±0.24a	5.97±0.23a	5.84±0.09a	0.24	0.85	0.19
谷氨酸 Glutamate	23.83±2.40a	26.70±1.27a	25.55±1.26a	23.85±0.68a	0.13	0.85	0.05
甘氨酸 Glycine	7.24±0.44c	8.69±0.23a	7.72±0.24bc	8.31±0.51ab	0.01	0.10	0.10
丙氨酸 Alanine	9.44±0.84b	10.88±0.43a	9.84±0.26b	9.88±0.13b	0.04	0.57	0.10

酸含量显著高于C和M组($P<0.05$);H组甘氨酸含量显著高于C组($P<0.05$)。其中缬氨酸、异亮氨酸、赖氨酸和天冬氨酸含量随发酵菌糠添加量的增加呈二次变化($P<0.05$)。

菌糠发酵饲料对山羊背最长肌中脂肪酸含量无显著影响($P>0.05$)(表7)。其中C18:0和C18:3n3含量随发酵菌糠添加水平的增加分别呈二次变化和线性升高($P<0.05$),H组C18:3n3含量较C组提高了16.48%,试验组多不饱和脂肪酸(polyunsaturated fatty acid, PUFA)、n-3 PUFA含量较对照组有不同程度的提高,n-6/n-3较对照组分别下降了0.64%、11.73%和12.34%。

3 讨论

3.1 菌糠发酵饲料对山羊屠宰性能和内脏器官发育的影响

屠宰性能是反映动物生产性能和经济价值的重要指标之一,其中屠宰率、胴体重、净肉率等是影响动物经济效益的重要因素^[12]。Chu等^[13]研究表明,在育肥猪日粮中添加30%发酵金针菇(*Flammulina velutipes*)菌糠,能够显著提高猪的胴体重和胴体品质。董志国等^[14]用不同比例平菇(*Pleurotus ostreatus*)菌糠替代棉籽壳饲喂卡拉库尔羊,发现各组间胴体重、屠宰率、净肉率均无显著差异。在本试验中,山羊日粮中添加不同比例的发酵海鲜菇菌糠对屠宰率、胴体重、净肉率等指标没有显著影响。但随着发酵海鲜菇菌糠添加量的增加,山羊的屠宰率、胴体重、净肉率等都呈现先升高后降低的趋势,说明其在山羊日粮中添加量不宜过高。这可能是由于发酵海鲜菇菌糠中含有的有益菌和生物活性物质改善了瘤胃内环境,促进了机体对饲料的消化,从而提高了菌糠发酵饲料的转化率,进而使屠宰率、胴体重等指标升高^[15]。添加比例过高会导致屠宰性能下降,这可能是由于菌糠中含有大量的纤维素,刺激瘤胃蠕动,加快了食糜流通速度,使得食糜中的营养成分未被完全吸收便被排出,降低了饲料养分表观消化率^[16]。眼肌面积与GR值是衡量胴体瘦肉率和脂肪含量的重要指标。本试验中,L组眼肌面积高于C和M组,显著高于H组,各组GR值之间无显著差异,与Kim等^[17]的研究结果一致。表明山羊日粮中添加20%发酵海鲜菇菌糠能够提高其屠宰性能和胴体品质。

内脏器官重量和指数能够反映动物机体的发育和机能状况^[18]。本试验中,L组肺脏和肾脏重量显著高于其余各组,但其占宰前活重比例并没有显著提高。说明在动物自身调控能力下,内脏器官的发育与机体生长发育相协调。胃肠道是动物机体最重要的消化器官,其发育程度直接影响动物的采食能力和对饲料中营养成分的消化利用。本研究结果表明,各组间网胃、瓣胃、皱胃重量及其占宰前活重比例差异均不显著。L组瘤胃、小肠和大肠重量及瘤胃占宰前活重比例显著高于其余3组。这可能是由于L组采食量的增加,为瘤胃微生物发酵提供了充足的底物,使得瘤胃内挥发性脂肪酸浓度升高^[19],促进了瘤胃乳头的扩大和瘤胃上皮细胞的发育,进而使得瘤胃重量及指数显著升高^[20]。小肠是消化吸收营养物质的主要场所,采食量的增加使得小肠消化吸收能力增强,食物排出增多,进而促进了小肠和大肠的发育。

3.2 菌糠发酵饲料对羊肉肉质性状的影响

pH是决定肉品质的重要特征之一,是影响肉质嫩度和系水力的重要因素^[21]。本试验中,屠宰45 min后,各组间pH无显著差异,且都在正常范围内,说明添加发酵菌糠对肌肉pH无显著影响。屠宰后,肌细胞由有氧呼吸转化为糖酵解过程,产生大量乳酸,pH快速下降,肌肉内抗氧化酶活性降低,引起脂质氧化和蛋白氧化反应的发生,进而使得滴水损失提高,降低了肉品质^[22-23]。本试验中,L组24和48 h滴水损失显著低于其余3组,说明L组肌肉内抗氧化酶活性,抗氧化性能强于其他组。剪切力是反映肉质嫩度的重要指标,主要受到动物品种、年龄、肌肉部位等因素的影响,其值与嫩度呈负相关^[24]。本试验中,L组剪切力最小,说明其肉质嫩度最大。熟肉率是指肌肉烹调时水分丧失的程度,熟肉率越高,蒸煮损失越小,表示肉品质越好^[25]。Chu等^[26]在育肥猪日粮中分别添加20%、50%和80%的发酵平菇菌糠,结果发现,添加量为50%时,猪肉的蒸煮损失显著降低,熟肉率显著升高。Song等^[27]将平菇菌糠、米糠和大麦(*Hordeum vulgare*)糠混合发酵,并在伯克希尔猪基础日粮中分别添加30%、50%和70%,结果表明,50%组猪肉熟肉率显著高于30%组,与对照组差异不显著。而本试验中,L组熟肉率显著高于H组,与对照组无显著差异,与上述结果有所差异,这可能是由于动物品种、饲粮管理以及菌糠原料不同所导致。综上所述,日粮中添加20%发酵菌糠对山羊肉品质具有显著改善作用。

表7 菌糠发酵饲料对羊肉脂肪酸含量的影响

Table 7 The effect of fermented mushroom residue on the fatty acid content of mutton (mg·kg⁻¹)

项目 Items	组别 Groups				P值 P value	
	C	L	M	H	处理 Treatment	线性 Linear 二次 Quadratic
癸酸 Tannic acid (C10:0)	24.41±2.37a	26.66±4.54a	26.66±5.30a	27.39±2.53a	0.80	0.32
月桂酸 Lauric acid (C12:0)	53.51±4.16a	51.91±8.03a	53.95±9.92a	46.12±4.09a	0.53	0.32
肉豆蔻酸 Myristic acid (C14:0)	607.96±58.70a	659.62±49.87a	564.00±42.06a	588.21±59.77a	0.23	0.45
肉豆蔻烯酸 Myristoleic acid (C14:1)	36.66±3.21a	37.85±4.59a	41.76±2.89a	41.65±2.28a	0.22	0.05
十五烷酸 Pentadecanoic acid (C15:0)	95.04±9.06a	116.74±15.27a	104.00±10.25a	107.59±15.31a	0.29	0.34
软脂酸 Palmitic acid (C16:0)	4599.74±221.69a	4593.43±291.26a	4659.07±254.13a	4674.19±465.78a	0.99	0.73
棕榈油酸 Palmitoleic acid (C16:1)	285.11±12.74a	279.03±17.76a	250.92±30.96a	286.68±17.45a	0.21	0.62
十七烷酸 Margaric acid (C17:0)	246.45±23.28a	279.19±22.10a	271.15±38.41a	270.75±17.90a	0.50	0.25
硬脂酸 Stearic acid (C18:0)	2921.36±83.97a	3107.85±18.89a	3097.53±66.79a	2947.24±155.91a	0.09	0.55
油酸 Oleic acid (C18:1n9c)	6780.07±257.87a	6620.76±204.64a	6842.53±198.73a	6527.08±390.24a	0.51	0.46
亚油酸 Linoleic acid (C18:2n6c)	1195.93±86.69a	1232.66±21.49a	1197.79±60.44a	1190.54±41.53a	0.80	0.86
γ-亚麻酸 Gamma linolenic acid (C18:3n6)	28.83±2.95a	28.87±1.79a	31.22±1.42a	31.52±1.90a	0.30	0.09
α-亚麻酸 α-linolenic acid (C18:3n3)	32.09±2.53a	33.44±2.18a	36.93±3.03a	37.38±4.06a	0.17	0.03
二十碳三烯酸 Eicosatrienoic acid (C20:3n6)	23.62±2.47a	27.87±2.71a	23.60±3.30a	27.92±1.46a	0.11	0.25
花生四烯酸 Arachidonic acid (C20:4n6)	313.33±13.93a	325.99±17.33a	326.88±23.04a	333.04±22.79a	0.67	0.20
SFA	8548.47±103.66a	8835.38±250.80a	8776.37±211.78a	8661.49±334.06a	0.51	0.49
MUFA	7101.84±272.23a	6937.64±214.85a	7135.21±225.93a	6855.40±407.44a	0.62	0.46
PUFA	1593.82±80.72a	1648.83±8.38a	1616.42±61.39a	1620.41±42.81a	0.69	0.60
MUFA/SFA	0.83±0.04a	0.79±0.05a	0.81±0.04a	0.79±0.08a	0.74	0.45
PUFA/SFA	0.19±0.01a	0.19±0.01a	0.18±0.01a	0.19±0.01a	0.97	0.97
n-6 PUFA	1561.72±78.93a	1615.39±10.26a	1579.48±64.42a	1583.03±46.33a	0.71	0.70
n-3 PUFA	32.09±2.53a	33.44±2.18a	36.93±3.03a	37.38±4.06a	0.17	0.03
n-6/n-3	48.77±2.71a	48.46±3.55a	43.05±5.19a	42.75±5.60a	0.25	0.07

SFA: 饱和脂肪酸 Saturated fatty acids; MUFA: 单不饱和脂肪酸 Monounsaturated fatty acids; PUFA: 多不饱和脂肪酸 Polyunsaturated fatty acids; MUFA/SFA: 单不饱和脂肪酸/饱和脂肪酸/多不饱和脂肪酸 Monounsaturated fatty acids/saturated fatty acids/polyunsaturated fatty acids; PUFA/SFA: 多不饱和脂肪酸/饱和脂肪酸/多不饱和脂肪酸 Polyunsaturated fatty acids/saturated fatty acids/polyunsaturated fatty acids; n-6 PUFA: n-6多不饱和脂肪酸 n-6 polyunsaturated fatty acids; n-3 PUFA: n-3多不饱和脂肪酸 n-3 polyunsaturated fatty acids; n-6/n-3: n-6多不饱和脂肪酸/n-3多不饱和脂肪酸 n-6 polyunsaturated fatty acids/n-3 polyunsaturated fatty acids.

3.3 菌糠发酵饲料对羊肉中氨基酸和脂肪酸含量的影响

氨基酸是合成蛋白质的重要原料,为宿主生长、代谢、维持生命体征提供了物质基础,而且其种类和含量是影响肌肉风味和营养价值的重要因素,必需氨基酸含量更是衡量肌肉品质的重要指标^[28]。支链氨基酸指亮氨酸、异亮氨酸和缬氨酸,作为最丰富的必需氨基酸,与机体体重和体脂密切相关,对蛋白质合成具有重要作用^[29]。Boutry等^[30]给新生猪连续饲喂富含亮氨酸的日粮时发现,猪肌肉内蛋白质合成加快,与蛋白质合成相关的信号通路显著富集。本试验中,L组必需氨基酸总量和支链氨基酸含量显著高于C组,说明添加20%发酵海鲜菇菌糠能够显著提高羊肉蛋白质含量,改善肉质营养价值。天冬氨酸、谷氨酸、甘氨酸、丙氨酸和脯氨酸是肌肉内鲜味氨基酸,其含量是影响肉质风味的重要指标,其中天冬氨酸和谷氨酸还能当作药物治疗一些疾病,主要用于治疗肝脏疾病、消化道疾病、脑病、心血管病、呼吸道疾病以及用于提高肌肉活力、儿科营养和解毒等。本试验中,除谷氨酸外,L组天冬氨酸、甘氨酸、丙氨酸以及脯氨酸含量均显著高于C组。苏氨酸和赖氨酸除了能够促进蛋白质合成,还对机体脂肪代谢有着重要的影响,苏氨酸能够促进脂肪分解使机体体脂含量降低,日粮中赖氨酸缺乏会导致动物生产性能下降,脂肪增加^[31-32]。本研究结果表明,L组苏氨酸和赖氨酸含量显著高于C组,表明山羊日粮中添加20%发酵海鲜菇菌糠对肌肉中氨基酸含量有显著影响,能够改善羊肉风味,并提高羊肉的营养价值。

脂肪酸分为饱和脂肪酸(SFA)和不饱和脂肪酸(unsaturated fatty acid, UFA),是构成脂肪的重要化学物质。UFA又包括单不饱和脂肪酸(MUFA)和多不饱和脂肪酸(PUFA),其中PUFA是影响肉质风味的重要指标,在受热过程中易被氧化分解产生具有不同芳香气味的挥发性化合物,从而改善肉质的适口性和风味^[33]。PUFA是细胞膜的主要结构成分,通过改变细胞膜组成,调节细胞信号传导的能力,产生多种生物学效应,被认为是预防非酒精性脂肪肝、心脑血管疾病和糖尿病的重要营养物质^[34-35]。 α -亚麻酸(C18:3n3)是动物所需的必需脂肪酸,在预防和治疗心血管疾病、减少炎症性疾病、降低胆固醇、促进神经系统发育等方面具有重要作用^[36],其还是合成n-3 PUFA的重要前体物质,n-3 PUFA主要以二十碳五烯酸(eicosapentaenoic acid, EPA, C20:5n3)和二十二碳六烯酸(docosahexaenoic acid, DHA, C22:6n3)的形式提供,C18:3n3在去饱和酶和碳链延长酶的作用下,转化为EPA和DHA,由于DHA是脑和视网膜中两种主要的多不饱和脂肪酸,所以膳食中 α -亚麻酸,在极度或长期缺乏情况下,会出现相应症状,表现为视觉循环缺陷与障碍^[37]。Simopoulos^[38]研究发现,n-6 PUFA与n-3 PUFA比值较高时可能会导致许多疾病如心血管疾病、癌症、炎症以及自身免疫性疾病的发生,而当n-3 PUFA含量升高,比值降低时,则具有抑制作用。本试验结果表明,试验组C18:3n3、PUFA和n-3 PUFA含量均高于对照组,n-6 PUFA与n-3 PUFA比值低于对照组,表明添加发酵海鲜菇菌糠对羊肉中脂肪酸含量和组成具有一定的改善作用。

4 结论

本试验中,在山羊日粮中添加20%发酵海鲜菇菌糠可以显著提高育肥羊瘤胃、小肠、大肠重量以及瘤胃指数,降低滴水损失,提高肌肉中天冬氨酸、苏氨酸、亮氨酸、赖氨酸、精氨酸、缬氨酸、异亮氨酸等氨基酸含量。综合以上研究结果,山羊日粮中添加20%发酵海鲜菇菌糠能够促进山羊内脏器官发育,改善羊肉品质。

参考文献 References:

- [1] Jia C. The application and development prospects of edible fungus residue feed in aquaculture. *Graziery Veterinary Sciences (Electronic Version)*, 2019(3): 145—146.
贾超. 食用菌菌糠饲料在养殖业中的应用及发展前景. *畜牧兽医科学(电子版)*, 2019(3): 145—146.
- [2] Zhou S Y, Fang R J. The nutritional value of mushroom residue and its application in animal production. *Hunan Feed*, 2017(3): 32—34, 37.
周水岳, 方热军. 菌糠的营养价值及其在动物生产中的应用. *湖南饲料*, 2017(3): 32—34, 37.
- [3] Cui J, Chen B J. Research progress of fungus residue feed. *Feed Research*, 2018(3): 77—84.
崔嘉, 陈宝江. 菌糠饲料的研究进展. *饲料研究*, 2018(3): 77—84.
- [4] Tao X. Application effect of fungus residue in animal diet. *Guangdong Feed*, 2007, 16(1): 45—46.

- 陶新. 菌糠在动物日粮中的应用效果. 广东饲料, 2007, 16(1): 45—46.
- [5] Cobb A B, Wilson G W T, Goad C L, *et al.* The role of arbuscular mycorrhizal fungi in grain production and nutrition of sorghum genotypes: Enhancing sustainability through plant-microbial partnership. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2016, 233: 432—440.
- [6] Yuan C S, Zhang A W. Nutrition of spent mushroom substrate and its application in livestock feed. *Journal of Domestic Animal Ecology*, 2019, 40(1): 69—73.
袁崇善, 张爱武. 菌糠的营养及其在家畜饲料中的应用. 家畜生态学报, 2019, 40(1): 69—73.
- [7] Zheng Y K, Yi M, Chen J Z, *et al.* Influence of microorganism fermentation on feed quality of spent mushroom compost of *Lentinula edodes*. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2013, 26(3): 1143—1147.
郑有坤, 易敏, 陈建州, 等. 微生物发酵对香菇菌糠饲料品质的影响. 西南农业学报, 2013, 26(3): 1143—1147.
- [8] Li J T, Yang F T, Wang S K, *et al.* Screening of cellulose-degradation strains and condition optimization of mixed strains fermentation of *Pleurotus eryngii* spent mushroom substrate. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2019, 31(10): 4802—4816.
李佳腾, 杨凡提, 王世康, 等. 纤维素分解菌的筛选及杏鲍菇菌糠混菌发酵条件的优化. 动物营养学报, 2019, 31(10): 4802—4816.
- [9] Qu Q. Study on fermentation of *Pleurotus ostreatus* germ bran in feed and feeding of cashmere goat. *Journal of Liaoning Agricultural Technical College*, 2018, 20(1): 16—18.
曲强. 平菇菌糠饲料发酵研究及绒山羊饲喂试验. 辽宁农业职业技术学院学报, 2018, 20(1): 16—18.
- [10] Soest P J V. Development of a comprehensive system of feed analyses and its application to forages. *Journal of Animal Science*, 1967, 26(1): 119—120.
- [11] Zhang Y C, Cheng G M, He M L, *et al.* Effects of dietary selenium yeast on growth performance, nitrogen metabolism, slaughter performance and meat quality of Dorper×Thin-tailed *Han* crossbred sheep. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2019, 31(12): 5562—5570.
张永翠, 程光民, 何孟莲, 等. 饲料中添加酵母硒对杜寒杂交羊生长性能、氮代谢、屠宰性能及肉品质的影响. 动物营养学报, 2019, 31(12): 5562—5570.
- [12] Li H, Wu J P, Song S Z, *et al.* Effects of relative feeding level on growth performance, slaughter performance, organ development and meat quality of Altai sheep. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2020, 32(4): 1927—1935.
李宏, 吴建平, 宋淑珍, 等. 相对饲养水平对阿勒泰羊生长性能、屠宰性能、器官发育及肉品质的影响. 动物营养学报, 2020, 32(4): 1927—1935.
- [13] Chu G M, Yang J M, Kim H Y, *et al.* Effects of fermented mushroom (*Flammulina velutipes*) by-product diets on growth performance and carcass traits in growing-fattening berkshire pigs. *Animal Science Journal*, 2012, 83(1): 55—62.
- [14] Dong Z G, Hu J W, Li L R, *et al.* Study on the effect of feeding karakul sheep with cottonseed husk spent mushroom substrate. *Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine*, 2002(5): 16—17.
董志国, 胡建伟, 李莲瑞, 等. 棉籽壳菌糠饲喂卡拉库尔羊效果研究. 黑龙江畜牧兽医, 2002(5): 16—17.
- [15] Jiang D W, Gong Z Y, Sheng Q K. The effect of *Flammulina velutipes* residue diet on beef cattle performance. *China Herbivore Science*, 2011, 31(5): 32—34.
姜殿文, 宫志远, 盛清凯. 金针菇菌渣日粮对肉牛生产性能的影响. 中国草食动物, 2011, 31(5): 32—34.
- [16] Yu J F, Liu X J, Bian L Q. Comparative study on pH value and drip loss of fattening pork with different varieties and their hybrid combinations. *Contemporary Animal Husbandry*, 2006(2): 46—48.
于家丰, 刘显军, 边连全. 不同品种及其杂交组合育肥猪肉pH值和滴水损失的比较研究. 当代畜牧, 2006(2): 46—48.
- [17] Kim Y I, Lee Y H, Kim K H, *et al.* Effects of supplementing microbially-fermented spent mushroom substrates on growth performance and carcass characteristics of hanwoo steers (a field study). *Asian Australasian Journal of Animal Sciences*, 2012, 25(11): 1575—1581.
- [18] Aguayo-ulloa L A, Miranda-de L L G C, Pascual-alonso M, *et al.* Effect of feeding regime during finishing on lamb welfare, production performance and meat quality. *Small Ruminant Research*, 2013, 111(1/2/3): 147—156.
- [19] Vi R L B, Mcleod K R V, Klotz J L, *et al.* Rumen development, intestinal growth and hepatic metabolism in the pre- and postweaning ruminant. *Journal of Dairy Science*, 2004, 87(1): E55—E65.
- [20] Khan M A, Bach A, Weary D M, *et al.* Invited review: Transitioning from milk to solid feed in dairy heifers. *Journal of Dairy Science*, 2016, 99(2): 885—902.
- [21] Perre V V D, Permentier L, Bie S D, *et al.* Effect of unloading, lairage, pig handling, stunning and season on pH of pork.

- Meat Science, 2010, 86(4): 931–937.
- [22] Welzenbach J, Neuhoﬀ C, Heidt H, *et al.* Integrative analysis of metabolomic, proteomic and genomic data to reveal functional pathways and candidate genes for drip loss in pigs. *International Journal of Molecular Sciences*, 2016, 17(9): 1426.
- [23] Traore S, Aubry L, Gatellier P, *et al.* Higher drip loss is associated with protein oxidation. *Meat Science*, 2011, 90(4): 917–924.
- [24] Wen Y, Liu H, Liu K, *et al.* Analysis of the physical meat quality in partridge (*Alectoris chukar*) and its relationship with intramuscular fat. *Poultry Science*, 2020, 99(2): 1225–1231.
- [25] Li L, Zhu Y, Wang X. Effects of different dietary energy and protein levels and sex on growth performance, carcass characteristics and meat quality of F1 Angus×Chinese Xiangxi yellow cattle. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 2014, 5(1): 21.
- [26] Chu G M, Kang S N, Kim H Y, *et al.* Effect of substitution of fermented king oyster mushroom by-products diet on pork quality during storage. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 2012, 32(32): 917–922.
- [27] Song Y M, Lee S D, Chowdappa R, *et al.* Effects of fermented oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) by-product supplementation on growth performance, blood parameters and meat quality in finishing Berkshire pigs. *Animal*, 2007, 1(2): 301–307.
- [28] Yin J, Li Y, Zhu X, *et al.* Effects of long-term protein restriction on meat quality, muscle amino acids, and amino acid transporters in pigs. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2017, 65(42): 9297–9304.
- [29] Ribeiro R V, Solon-biet S M, Pulpitel T, *et al.* Of older mice and men: Branched-chain amino acids and body composition. *Nutrients*, 2019, 11(8): 1882.
- [30] Boutry C, El-kadi S W, Suryawan A, *et al.* Leucine pulses enhance skeletal muscle protein synthesis during continuous feeding in neonatal pigs. *American Journal of Physiology Endocrinology & Metabolism*, 2013, 305(5): E620–E631.
- [31] Jiang Y, Xie M, Tang J, *et al.* Effects of genetic selection and threonine on meat quality in pekin ducks. *Poultry Science*, 2020, 99(5): 2508–2518.
- [32] Cruz R F A, Vieira S L, Kindlein L, *et al.* Occurrence of white striping and wooden breast in broilers fed grower and finisher diets with increasing lysine levels. *Poultry Science*, 2017, 96(2): 501–510.
- [33] Wood J D, Richardson R I, Nute G R, *et al.* Effects of fatty acids on meat quality: A review. *Meat Science*, 2004, 66(1): 21–32.
- [34] Gormaz J G, Rodrigo R, Videla L A, *et al.* Biosynthesis and bioavailability of long-chain polyunsaturated fatty acids in non-alcoholic fatty liver disease. *Progress in Lipid Research*, 2010, 49(4): 407–419.
- [35] Zheng J S, Huang T, Yang J, *et al.* Marine n-3 polyunsaturated fatty acids are inversely associated with risk of type 2 diabetes in Asians: A systematic review and meta-analysis. *PLoS One*, 2012, 7(9): e44525.
- [36] Coluss G, Catena C, Novello M, *et al.* Impact of omega-3 polyunsaturated fatty acids on vascular function and blood pressure: Relevance for cardiovascular outcomes. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases*, 2017, 27(3): 191–200.
- [37] Masson S, Latini R, Tacconi M, *et al.* Incorporation and washout of n-3 polyunsaturated fatty acids after diet supplementation in clinical studies. *Journal of Cardiovascular Medicine*, 2007, 8(Suppl 1): S4–S10.
- [38] Simopoulos A P. The importance of the ratio of omega-6/omega-3 essential fatty acids. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 2002, 56(8): 365–379.