

分类号 S815.4

UDC 11.220

学校代码 10129

学 号 2019212010053

内蒙古农业大学

硕士学位论文

日粮中添加发酵麸皮多糖和过瘤胃甜菜碱对杜寒杂交羊肉品质、
抗氧化功能和风味物质组成的影响

Effects of Fermented Bran Polysaccharide and Rumen Betaine on
Quality Antioxidant and Flavor Composition of Duchan-Han Hybrid
Lamb

申 请 人：陈 旭

学生类别：全日制专业学位硕士

学位类别：农业硕士

领 域：畜 牧

指导教师：高爱琴 教授

论文提交日期：二〇二一年六月

内蒙古农业大学 研究生学位论文独创声明

本人申明所呈交的学位论文是我本人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。据我所知,除了文中特别加以标注和致谢的地方外,论文中不包括其他人已经发表或撰写过的研究成果,也不包括为获得我校或其他教育机构的学位或证书而使用过的材料,与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示谢意。

申请学位论文与资料若有不实之处,本人承担一切相关责任。

论文作者签名: 陈旭 日 期: 2021.6.25

内蒙古农业大学研究生学位论文授权使用授权书

本人完全了解内蒙古农业大学有关保护知识产权的规定,即:研究生在攻读学位期间论文工作的知识产权单位属内蒙古农业大学。本人保证毕业离校后,发表论文或使用论文工作成果时署名为内蒙古农业大学,且导师为通讯作者,通讯作者单位亦署名为内蒙古农业大学。学校有权保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子文档,允许论文被查阅和借阅。学校可以公布学位论文的全部或部分内容(保密内容除外),采用影印、缩印或其他手段保存论文。

论文作者签名: 陈旭

指导教师签名: 李贵

日 期: 2021.5.26

摘 要

本试验旨在研究发酵麸皮多糖和过瘤胃甜菜碱对杜寒杂交羊肉肉品质、抗氧化性能和其中的风味物质组成的影响。试验选择月龄(2-2.5 月龄)相近和体重($28.4 \pm 5.2 \text{ kg}$)相似的断乳杜寒杂交母羔羊 24 只,采取单因素完全随机分组设计,分为对照组及 3 个试验组,其中每组 6 只羔羊。对照组饲喂基础日粮、试验I组(基础日粮+0.4%发酵麸皮多糖)、试验II组(基础日粮+0.3%过瘤胃甜菜碱)、试验III组(基础日粮+0.3%发酵麸皮多糖+0.4%过瘤胃甜菜碱)。试验期共 75 天,其中预饲期 15 天,正式期 60 天。试验结束后进行屠宰试验并取背最长肌样品本、血液及瘤胃组织样本进行测试。本文共包括三个试验,其内容及结果如下:

1. 日粮中添加发酵麸皮多糖、过瘤胃甜菜碱及其混合物对肉羊的屠宰性能及肉品质的影响。本试验结果表明:(1)与对照组相比,三个试验组眼肌面积显著提高($P < 0.05$);而胴体重、宰前活重、屠宰率和 GR 值与对照组相比,三个试验组均不显著($P > 0.05$)。(2)三个试验组的背最长肌粗蛋白含量均较高,其中II组显著提高($P < 0.05$);三个试验组的肌肉脂肪含量均高于对照组,但差异不显著($P > 0.05$)。(3)羊肉肌肉的剪切力、蒸煮损失和滴水损失与对照组相比三个试验组均呈降低趋势,但差异不显著($P > 0.05$)。

2. 日粮中添加发酵麸皮多糖、过瘤胃甜菜碱及其混合物对肉羊的抗氧化性能的影响。本试验结果表明:(1)与对照组相比,三个试验组均能提高肌肉 T-SOD 酶活性,但差异不显著($P > 0.05$),I 组和III组背最长肌中 GSH-PX 酶活性显著高于对照组($P < 0.05$),I组可以显著提高羊肉背最长肌中 GSH 的含量($P < 0.05$)。(2)与对照组相比,第 60 天时I组的 GSH-PX 酶活性显著性提高($P < 0.05$),II组和III组差异不显著($P > 0.05$);第 30 天时,I组的 T-SOD 酶活性显著性提高($P < 0.05$);I组、II组和III组的 T-AOC 能力显著性提高;(3)瘤胃组织 CAT 酶活性、GSH 的含量和 GSH-PX 酶活性与对照组相比,三个试验组均无显著性差异($P > 0.05$)。与对照组相比,I组、II组和III组可以显著提高瘤胃组织中 T-AOC 能力($P < 0.05$)。

3. 日粮中添加发酵麸皮多糖、过瘤胃甜菜碱及其混合物对肉羊肌苷酸和脂肪酸的影响。(1)与对照组相比,I组可以显著提高背最长肌中的肌苷酸含量($P < 0.05$),II组和III组均可提高背最长肌中肌苷酸的含量但差异不显著($P > 0.05$)。(2)与对照组相比,I组、II组和III组背最长肌 4-甲基壬酸+4-乙基辛酸含量差异均不显著($P > 0.05$)。III组 4-甲基辛酸的含量有显著性降低($P < 0.05$)。(3)I组和II组的硬脂酸(C18:0)显著高于对照组和III组($P < 0.05$)。背最长肌中的 UFA,III组与对照组相比差异不显著($P > 0.05$),但I组和II组与显著高于对照组($P < 0.05$)。与对照组相比,I组可以显著提高背最长肌中 PUFA($P < 0.05$)。

综上所述,在肉羊日粮中添加发酵麸皮多糖、过瘤胃甜菜碱及其混合添加剂均可提高机体的抗氧化能力,从而降低其氧化损伤所产生的自由基,对羊肉背最长肌的肌肉理化指标、羊肉肉品质具有一定的改善效果,发酵麸皮多糖组可以显著性提高肌苷酸的含量,过瘤胃甜菜碱组和混合组的肌苷酸含量效果差异不显著。混合组显著性降低 4-甲基辛酸的含量,发酵麸皮多糖组和过瘤胃甜菜碱组效果差异不显著,三个组均可以改善羊肉的风味及鲜味。

关键词: 杜寒杂交羊; 肉品质; 脂肪酸组成; 过瘤胃甜菜碱; 发酵麸皮多糖

Effects of Fermented Bran Polysaccharide and Rumen Betaine on Quality Antioxidant and Flavor Composition of Duchan-Han Hybrid Lamb

Abstract

This experiment was conducted to study the effects of fermented bran polysaccharide and rumen-crossing betaine on meat quality, antioxidant properties and flavor compounds in Duchan-Han hybrid mutton. Twenty-four weaned Dorchid hybrid female lambs with similar age (2-2.5 months) and body weight (28.4 ± 5.2 kg) were selected and divided into control group and 3 experimental groups with 6 lambs in each group by single factor completely randomized design. Control group based diet, feeding experiment I group (basal diet + 0.4% bran polysaccharide fermentation), test II group (basal diet + 0.3% rumen betaine), test III group (basal diet + 0.3% bran polysaccharide fermentation + 0.4% rumen betaine). The experiment lasted for 75 days, including 15 days of pre-feeding period and 60 days of formal period. At the end of the experiment, a slaughter test was conducted, and samples of longissimus dorsi muscle, blood and rumen tissue were taken for testing. This paper includes three experiments, and their contents and results are as follows:

1. Effects of fermented bran polysaccharide, rumen betaine and their mixtures on slaughter performance and meat quality of mutton sheep. The results showed as follows: compared with the control group, (1) compared with the control group, the area of eye muscle in the three experimental groups was significantly increased ($P < 0.05$). Compared with the control group, there were no significant differences in carcass weight, live weight before slaughter, slaughter percentage and GR in the three experimental groups ($P > 0.05$). (2) three experimental longest back muscle protein content were higher, which II group significantly ($P < 0.05$). The muscle fat content was higher in the three experimental groups, but the difference was not significant ($P > 0.05$). (3) Compared with the control group, the shear force, cooking loss and drip loss of mutton muscle in the three experimental groups were all decreased, but the differences were not significant ($P > 0.05$).

2. Effects of fermented bran polysaccharide, rumen betaine and their mixtures on antioxidant performance of mutton sheep. The experimental results show that: (1) compared with control group, the three group can improve muscle T-SOD enzyme activity, but no significant difference ($P > 0.05$), I group and III back muscle activity of gsh-px in the longest is significantly higher than control group ($P < 0.05$), longest I group can significantly improve the sheep back muscle content of GSH in ($P < 0.05$). (2) Compared

with the control group, the activity of GSH-Px in I group was significantly increased at the 60th day ($P<0.05$), but there was no significant difference between the II group and III group ($P>0.05$); On day 30, the activity of T-SOD in I group was significantly increased ($P<0.05$); The T-AOC ability of I group, II group and I group was significantly improved. (3) Compared with the control group, there were no significant differences in CAT enzyme activity, GSH content and GSH-Px enzyme activity in the three experimental groups ($P>0.05$). Compared with control group, I 、 II and III group can significantly improve the ability of T-AOC in rumen tissue ($P<0.05$).

3. Effects of fermented bran polysaccharide, rumen betaine and their mixtures on inosinic acid and fatty acids in mutton sheep. (1) compared with control group, the longest I group can significantly improve the back muscle of inosinic acid content ($P<0.05$), II and III group can improve the longest back muscle content of inosinic acid in but no significant difference ($P>0.05$). (2) compared with control group, the group I and longest II group and III back muscle 4-methyl nonyl acid+4-ethyl octylic acid content were not significant difference ($P>0.05$). III group of 4-methyl octylic acid content have significantly lower ($P<0.05$). (3) I and II group of stearic acid (C18:0) is significantly higher than the control group and III group ($P<0.05$). Back muscle in the longest UFA III group no significant difference compared with control group ($P>0.05$), but I and II group and significantly higher than control group ($P<0.05$). Compared with control group, the longest I group can significantly improve the back muscle of PUFA ($P<0.05$).

In conclusion, added in the mutton sheep diet bran polysaccharide fermentation, rumen bypass betaine and its mixed additives can improve the body's antioxidant ability, reducing the oxidative damage of free radicals, the muscles of the physical and chemical indicators, the longest mutton back muscles have certain improvement effect, lamb meat quality fermented bran polysaccharide group can significantly improve the content of inosinic acid, by-pass betaine group and mixed group of inosinic acid content difference was not significant effect. The mixed group significantly reduced the content of 4-methyloctanoic acid, but there was no significant difference between fermented bran polysaccharide group and rumen-passed betaine group, and the three groups could improve the flavor and umami of mutton.

Key Words: *Duhan hybrid sheep; Meat quality; Fatty acid composition; Rumen-passing betaine; Fermented bran polysaccharide*

Directed by: Prof. GAO Aiqin

Applicant for Master degree: CHEN Xu (Master of Agriculture)

(College of Animal Science, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China)

目 录

1	引言	1
1.1	麸皮多糖的研究进展	2
1.1.1	麸皮多糖的生物活性	2
1.1.2	发酵麸皮多糖	3
1.2	甜菜碱的研究进展	4
1.2.1	甜菜碱的生理功能	5
1.2.2	甜菜碱在动物生产中的应用	6
1.2.3	过瘤胃保护甜菜碱	8
1.3	课题研究目的、意义与内容	9
1.3.1	研究的目的与意义	9
1.3.2	研究内容	9
1.4	技术路线	10
2	试验研究	11
2.1	麸皮多糖、甜菜碱及混合物对肉羊屠宰性能和羊肉背最长肌常规指标的影响	11
2.1.1	材料与方法	11
2.1.2	测定指标及方法	12
2.1.3	结果与分析	14
2.1.4	讨论	16
2.1.5	小结	17
2.2	麸皮多糖、甜菜碱及混合物对肉羊血液、瘤胃和肌肉抗氧化性能的影响	18
2.2.1	材料与方法	18
2.2.2	试验方法	18
2.2.3	结果与分析	22
2.2.4	讨论	28
2.2.5	小结	30
2.3	麸皮多糖、甜菜碱及混合物对肉羊肌苷酸和脂肪酸的影响	31
2.3.1	材料与方法	31
2.3.2	试验方法	31
2.3.3	结果与分析	32
2.3.4	讨论	36
2.3.5	小结	38

3	试验研究	39
3.1	总体讨论	39
3.2	总体结论	40
4	论文创新点	41
5	展望	42
	致谢	43
	参考文献	44

插图和附表清单

1. 图 1	甜菜碱结构式.....	4
2. 图 2	技术路线图.....	10
3. 图 3	发酵麸皮多糖、过瘤胃甜菜碱及混合物对肉羊肌肉肌苷酸含量的影响	33
4. 图 4	发酵麸皮多糖、过瘤胃甜菜碱及混合物对肉羊肌肉 4-甲基辛酸含量的影响	34
5. 图 5	发酵麸皮多糖、过瘤胃甜菜碱及混合物对肉羊肌肉两种特殊脂肪酸含量的影响	34
3. 表 1	试验羊的基础日粮配方及营养水平见表	11
4. 表 2	发酵麸皮多糖、过瘤胃甜菜碱及混合物对肉羊屠宰性能的影响	14
5. 表 3	发酵麸皮多糖、过瘤胃甜菜碱及混合物对羊肉背最长肌中常规养分的影响	15
6. 表 4	发酵麸皮多糖、过瘤胃甜菜碱及混合物对肉羊背最长肌理化性质的影响	15
7. 表 5	背最长肌、瘤胃和血清中 GSH-PX 的检测方法	19
8. 表 6	背最长肌、瘤胃和血清中 GSH 的检测方法	20
9. 表 7	背最长肌、瘤胃和血清中 T-SOD 的检测方法	20
10. 表 8	背最长肌、瘤胃和血清中 T-AOC 的检测方法	21
11. 表 9	背最长肌、瘤胃和血清中 CAT 的检测方法	21
12. 表 11	背最长肌、瘤胃中蛋白浓度的检测方法	21
13. 表 10	背最长肌、瘤胃和血清中 MDA 的检测方法	22
14. 表 12	发酵麸皮多糖、过瘤胃甜菜碱及混合物对肉羊瘤胃组织抗氧化性能的影响	23
15. 表 13	发酵麸皮多糖、过瘤胃甜菜碱及混合物对肉羊血清中 GSH-PX 的影响	24
16. 表 14	发酵麸皮多糖、过瘤胃甜菜碱及混合物对肉羊血清中 T-SOD 的影响	24
17. 表 15	发酵麸皮多糖、过瘤胃甜菜碱及混合物对肉羊血清中 T-AOC 的影响	25
18. 表 16	发酵麸皮多糖、过瘤胃甜菜碱及混合物对肉羊血清中 MDA 的影响	25
19. 表 17	发酵麸皮多糖、过瘤胃甜菜碱及混合物对肉羊血清中 CAT 的影响	26
20. 表 18	发酵麸皮多糖、过瘤胃甜菜碱及混合物对肉羊血清中 GSH 的影响	26
21. 表 19	发酵麸皮多糖、过瘤胃甜菜碱及混合物对肉羊肌肉抗氧化的影响	27
22. 表 20	发酵麸皮多糖、过瘤胃甜菜碱及混合物对肉羊肌肉肌苷酸含量的影响	32
23. 表 21	发酵麸皮多糖、过瘤胃甜菜碱及混合物对肉羊肌肉三种短链脂肪酸含量的影响	33
24. 表 22	发酵麸皮多糖、过瘤胃甜菜碱及混合物对肉羊肌肉脂肪酸含量的影响 (mg/g)	35

缩 略 语 表

NDF (neutral detergent fiber)	中性洗涤纤维
SFA (saturated fatty acid)	总饱和脂肪酸
UFA (unsaturated fatty acid)	不饱和脂肪酸
MUFA (monounsaturated fatty acid)	单不饱和脂肪酸
PUFA (polyunsaturated fatty acid)	多不饱和脂肪酸
TFA (total fatty acid)	总脂肪酸
BCFAs (branched-chain fatty acid)	支链脂肪酸
T-AOC (total anti-oxidation competence)	总抗氧化能力
T-SOD (total superoxide dismutase)	总超氧化物歧化酶
MDA (malondialdehyde)	丙二醛
CAT (catalase)	过氧化氢酶
GSH-PX (glutathione peroxidase)	谷胱甘肽过氧化物酶
GSH (glutathione)	还原型谷胱甘肽
NDF (neutral detergent fiber)	中性洗涤纤维
pH (potential of hydrogen)	酸碱度
L*	亮度
a*	红度
b*	黄度

1 引言

在 21 世纪, 我国的食物消费是国人最大的消费之一, 且正处于转型升级这个重要的时期。其中, 肉类作为一种深受国民关注的动物食品, 有高热量、高脂肪、高蛋白的特点^[1]。羊肉具有低脂、低胆固醇的特点, 营养价值非常高, 是一种天然的保健畜产品, 它的饲养和食用延续了几千年。现如今我国社会经济飞速发展, 国人的生活水平也不断提高, 人们开始追求口感和风味俱佳的食品, 普通的畜产品远远不能满足人们的需求, 转而更多的追求品质高的畜产品。尤其是对于羊肉这种无污染、绿色健康的食品需求大大增加。因此, 人们对于肉品质、营养价值及其风味的要求更加严格, 评价肉品质的重要指标有嫩度、大理石花纹、肉色等^[2], 肌肉中的水分、蛋白、脂肪和灰分含量反映了肉的营养特性, 而脂肪酸组成和含量对肉品质、风味有着重要意义甚至对人体健康产生影响^[3-4]。肉的品质包括 pH、肉色、嫩度和熟肉率等, 其中羊肉的颜色和嫩度, 在一定程度上影响了肉品质的整体评分级别和消费者的认可度, 而风味则包括气味和滋味, 其中肉的滋味是由无机盐、肌苷酸及游离氨基酸等物质提供^[5]。有学者研究发现, 肌苷酸是对肉鲜味贡献最大的呈味氨基酸^[6], 肌肉中肌苷酸的含量越高, 消费者对肉的鲜味的感觉就越明显。而气味主要是羊肉特有的膻味, 也是影响羊肉食用的主要原因。与膻味相关的主要是短支链脂肪酸, 且以 4-甲基辛酸、4-乙基辛酸和 4-甲基壬酸为主。张志超等发现^[7], 肌肉中 4-甲基辛酸、4-乙基辛酸和 4-甲基壬酸的含量越低, 则羊肉的膻味越小。

近几年, 由于草地锐减我国的畜牧养殖产业的发展处于一个严峻的形式, 因此国家严令禁止牧民过度放牧, 绿水青山的重要性要远远大于牲畜养殖, 也对青海、新疆等地的饲养方式做了一个转变, 即由放牧向舍饲转变, 以恢复草地生态。而畜牧业是内蒙古地区经济发展的重要支柱产业, 尤其肉羊养殖, 全国羊肉市场近 30% 的产品产自我区, 还有部分作为出口。受 2019 年的非洲猪瘟影响, 刺激其他畜产品消费, 虽然大大增加了羊肉的需求量, 但是对于羊肉的供给缺口也会逐渐增大。规模化、集约化养殖现在已经成为主流养殖模式且将覆盖全养殖业, 其在经济效益、环境控制等方面有绝对优势, 但违背了羊经千年驯化来所适应的环境条件, 其生理机能也受到影响。在此模式下, 其生存空间、食物丰富度、活动空间大大减少, 现代化设备、人员流动、气体粉尘、饲喂方式等都会使羊产生应激反应甚至致病, 从而影响其健康和肉品质。据大量报道, 饲料添加剂对畜禽肉品质有积极地影响, 但由于全面禁抗政策的实施, 寻求一种绿色高效饲料添加剂来提高生产性能、改善肉品质是现在肉羊养殖需要解决的问题。

1.1 麸皮多糖的研究进展

小麦制粉过程中会有副产物的产生,其中小麦麸皮是主要的副产物,占小麦质量的15%~20%^[8]。我国小麦产量巨大,2019年达1.48亿吨,所产生的麸皮年产量高达2200多万吨,符合饲料添加剂来源广泛且不与人类争食的特点。小麦麸皮中有淀粉、蛋白质、灰分、阿拉伯木聚糖、纤维素、非淀粉多糖,其中阿拉伯聚糖含量最高占46%,灰分含量最低只占5%左右^[9]。麸皮活性多糖也可称之为麸皮多糖,研究人员发现了麸皮非淀粉多糖中的非纤维多糖有生物活性,因此将它命名为麸皮活性多糖。麸皮多糖存在是以混合形式,其中有阿拉伯木聚糖、葡甘露聚糖等,提炼方式不同所得到的麸皮多糖各组分含量也有差异,常见以鼠李糖、阿拉伯木聚糖、葡萄糖、甘露糖、木糖、半乳糖等单糖组成。

1.1.1 麸皮多糖的生物活性

经过大量研究,发现虽然小麦麸皮中非淀粉多糖含量最高,但其并不是主要的营养物质,原因是非淀粉多糖中的化学键不能被畜禽的内源性消化酶分解而导致营养物质难以释放,营养物质也无法充分与消化酶接触,因此非淀粉多糖被视为抗营养因子^[10]。随着研究深入,麸皮多糖的抗氧化、免疫、益生等生物活性逐渐被发现。值得一提的是,麸皮多糖内含有丰富的阿魏酸,其作为小麦麸皮内的酚酸类物质麸皮多糖,含有丰富的阿魏酸,被国内外公认为天然抗氧化活性物质^[11]。

1.1.1.1 抗氧化作用

阿魏酸、香豆酸、香草酸都是小麦麸皮多糖中有抗氧化作用的物质,其中最主要的是阿魏酸^[11]。同时,麸皮多糖中的阿拉伯木聚糖经过水解得到的阿魏酰低木聚糖也有抗氧化能力^[12]。袁小平等利用枯草芽孢杆菌处理阿拉伯木聚糖,研究发现产物阿魏酰低木聚糖能清除自由基,从而达到抗氧化的作用^[13]。田贝贝等从小麦淀粉废水提取阿拉伯木聚糖,发现其具有较强供氢能力,即还原能力和DPPH自由基清除能力^[14]。将一定量的阿魏酸添加到Li等的育肥猪饲料中,会看到它肝肝脏中的GPX基因表达量显著升高,肌肉中MDA含量下降,证明阿魏酸有较好的抗氧化能力^[15]。孟子琪研究发现,要使羔羊血浆总抗氧化能力显著提升,则添加一定量的发酵麸皮多糖即可实现显著提升GSH-PX、超氧化物歧化酶、过氧化氢酶活性显著提高,说明麸皮多糖有良好的抗氧化能力^[16]。

1.1.1.2 免疫调节作用

冀祥在肉仔鸡日粮中添加 0.4% 的发酵麸皮多糖, 发现其提高了 21-42d 的 IgM 和 IgG 的含量, 免疫器官指数也有所提高^[17]。王文文等制备了能够有效增强大鼠免疫功能的物质—发酵小麦麸皮, 并且发现了低剂量麸皮多糖能够促进 T 细胞和巨噬细胞增殖, 以提高了组织中 IL-2 等的含量^[18]。朱翠玲研究发现, 麸皮多糖对巨噬细胞不仅没有攻击性, 而且还有一定的关系, 麸皮多糖可以激活 RAW264.7 使巨噬细胞产生一定的细胞因子, 麸皮多糖的浓度对细胞因子的分泌量也有影响, 呈现了一种量效关系, 说明了经麸皮多糖激活的巨噬细胞有免疫调节作用^[19]。除了免疫调节作用, 史俊祥发现麸皮多糖也有一定的抗炎作用。他用麸皮多糖饲喂大鼠, 该大鼠已用敌草快诱导产生了氧化应激造成的炎性因子, 结果发现大鼠体内的炎性因子明显降低, 抗炎因子水平则提高, 表现出一定的抗炎作用^[9]。

1.1.1.3 益生活性

刘丽娅比较了阿拉伯木聚糖和菊粉的益生活性, 采用了益生活性分数算法进行, 结果显示了阿拉伯木聚糖和菊粉都具有益生活性, 且二者的益生活性均大于零, 益生活性也与多糖降解程度有关, 二者呈正相关^[16]。赵梦丽采用控 pH 体外发酵的方式测阿拉伯木聚糖的体外益生活性, 发现其能促进双歧杆菌增殖, 但对乳酸杆菌增殖影响不显著^[20]。张红梅用五种方式加工小麦麸皮, 所提取出的阿拉伯木聚糖均能促进双歧杆菌增殖, 表现出益生活性^[21]。益生活性也体现在促进和抑制菌类或细胞株的生长方面, 解春艳制备麦麸阿魏酰低聚糖时用了茶薪菇发酵原理, 发现其对乳酸菌生长有促进作用, 对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌生长有抑制作用, 还能抑制人体结肠癌细胞株的生长^[22]。

1.1.2 发酵麸皮多糖

麸皮经微生物发酵后所提取出的多糖即发酵麸皮多糖, 处理后的产物其生物活性有所提高。研究人员表示, 发酵麸皮多糖的抗氧化能力更强, 其原因是发酵麸皮多糖的麸皮因为微生物的发酵作用, 改变了自身的纤维结构, 活性物质例如可溶性多糖含量明显增加^[23]。本实验室前期已经对发酵麸皮多糖的制备、提取进行了探索, 其制备需要用酿酒酵母菌和枯草芽孢杆菌接种, 接种最佳比例是 6.7:3.3, 接种的固态培养基内用 80.46% 的麸皮作为主料, 9.32% 的豆粕粉和 10.22% 的玉米粉作为辅料, 此时产物中多糖产量 55.92mg/g^[9]。史俊祥以该产物灌服 Wistar 大鼠, 发现此发酵麸皮多糖粗制品能有效缓解 Diquat 诱导的 Wistar 大鼠机体的氧化应激^[9]。李暄采用水浴浸提法提取发酵麸皮多糖, 并对该工艺进

4 日粮中添加发酵麸皮多糖和过瘤胃甜菜碱对杜寒杂交羊肉品质、抗氧化性力和风味物质组成的影响

行了优化,得出新的工艺参数:水浴浸提时间 60min,提取温度 90℃,料液比 1:22,最终发酵麸皮多糖产量为 296.98mg/g^[23]。后续他对该发酵麸皮多糖进行生物活性研究,发现它能有效促进嗜酸性乳杆菌、植物乳杆菌和两歧双歧杆菌生长,对 DDPH 自由基和-OH 自由基具有清除作用,有显著的抗氧化活性^[23]。

发酵麸皮多糖有许多重要的应用效果,孟子琪在杜寒杂交羊日扬实验中,发现了添加不同剂量的发酵麸皮多糖产生的效果也会不同,在杜寒杂交羊日扬中添加 100~200mg/kg 发酵麸皮多糖可以在不影响肉羊干物质采食量的情况下提高羊肉增重的趋势,并降低了瘤胃氨氮浓度,提高菌体蛋白浓度,改变了瘤胃内环境;400mg/kg 时则会显著降低了干物质、有机物、粗蛋白和中性洗涤纤维的表观消化率;对肉品质各项指标没有显著影响^[15]。胡宇超试验中将发酵麸皮多糖添加到杜寒杂交羊饲料中,研究表明每千克羊饲料中添加 100mg 该多糖时,效果更为显著,可以改善其氨基酸的组成,降低羊背最长肌剪切力,也可以提高肌肉抗氧化能力,诱导肌纤维转化等^[24]。与孟子琪和胡宇超不同,王园将不同剂量的发酵麸皮多糖灌喂大鼠,得到了发酵麸皮多糖不同的应用效果。断奶大鼠的形态结构和空肠抗氧化能力化能大大改善,提高紧密连接蛋白的表达,起到保护肠道健康的作用^[25]。因此,发酵麸皮多糖的应用效果还有待进一步研究。

1.2 甜菜碱的研究进展

在动植物体内广泛存在一种化学物质——甜菜碱,顾名思义它是从甜菜中提取的,因而得名。它的学名为三甲基甘氨酸,在化学上名称是三甲胺乙内酯,颜色为无色或微棕色化合物,味甘甜,易潮解,具有两性电解质的结构(图 1)^[26]。自上世纪起甜菜碱就被作为饲料添加剂应用于畜禽养殖中,对于单胃动物来说,甜菜碱对其生长发育、采食量、肉品质等都有促进作用,降低了肉料比^[26],对于反刍动物来说,甜菜碱的使用效果并不明显,原因是瘤胃微生物会将甜菜碱降解成三甲胺。所以为了甜菜碱能够在反刍动物中发挥有效的作用则需要将甜菜碱以一种添加剂——过瘤胃甜菜碱的形式使用,近几年研究人员对过瘤胃甜菜碱也进行了多次研究。过瘤胃甜菜碱在肉羊养殖中的应用于近五年开始,过瘤胃甜菜碱产品的包被技术、保护工艺及程度等对后续应用效果及剂量还需要进一步评测。

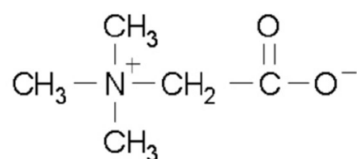


图 1 甜菜碱结构式

Figure1 Chemical structure of betaine

1.2.1 甜菜碱的生理功能

1.2.1.1 甲基供体作用

对于机体来说,无时无刻不进行着生理代谢反应,其中发挥着必然作用的物质就是甲基。甲基参与许多人体重要成分的合成,例如肌酸、肉碱、肾上腺素等,在蛋白质和脂肪代谢过程中也是必不可少的^[27]。由于动物体中不存在甲基供给体,不能自身合成甲基,所以只能从食物中获取所需的甲基供体来合成甲基。甲基供体多种多样,而在动物体内主要的甲基供体有三种,分别是胆碱、蛋氨酸和甜菜碱,虽然可以相互转化,但是每个供体提供甲基的方式各不相同。胆碱提供甲基首先需要在线粒体中氧化成甜菜碱,此过程影响因素多所以效率不高而且该过程不可逆。蛋氨酸需要活化为 S-腺苷蛋氨酸 (SAM) 才能提供甲基,只有一个非稳态甲基且应用成本高。甜菜碱的结构表明它有三个活性甲基 (图 1),是高效的甲基供体。综上,胆碱提供甲基效率低,蛋氨酸提供甲基过程中成本高,所以甜菜碱是最好的甲基供体,不仅效率高,成本也大大降低,1.0kg 的甜菜碱就可与 1.25kg 的蛋氨酸提供的甲基相当^[26]。甜菜碱提供甲基的过程是其中一个参与甲基转移,另外两个甲基被氧化,进入一碳池代谢,间接参与甲基化反应^[28]。甲基化反应过程需要一种催化物来完成,这种催化物是甜菜碱-同型半胱氨酸甲基转移酶,产物是二甲基甘氨酸和蛋氨酸,均参与到蛋氨酸循环过程,进一步提供甲基,最终降解成甘氨酸。

1.2.1.2 调节渗透压、抗应激作用

甜菜碱具有渗透压保护性是因为其具有两级两性离子特征,在各生物领域作为渗透压保护剂存在。甜菜碱因为具有渗透压保护性,每当细胞的渗透压发生变化时,其总能维持细胞渗透压平衡,从而防止了细胞内离子浓度变化^[29]。在细胞高湿、干旱、高渗、高盐环境时有提高细胞耐受力的作用。这一能力使甜菜碱同时具有抗应激的能力,在维持肠道健康方面有积极影响。关于甜菜碱在维持肠道健康方面的影响,不少研究人员做了相关试验,其中王海超研究发现,甜菜碱在高渗应激条件下,使消化酶和底物更易接触,提高催化效率,能量消耗大大减少,上皮细胞的活力也有所增强,肠道微生物区系也有改善,维持肠道的生态平衡^[30]。对于此试验,王磊指出了动物健康状况改善和养分消化吸收率的提高是因为甜菜碱的渗透压保护性促进了肠道上皮细胞的增值^[31]。聂奎等研究表明甜菜碱也能提高细胞膜的钾-钠泵功能,提高抗球虫病药的疗效^[32]。除了以上作用,有研究表明,甜菜碱也有通过减少胴体滴水损失以减少乳酸积累的作用^[33]。此外,甜菜碱

还能抵抗肝脏中因胆酸盐引起的细胞凋亡^[34]。

1.2.1.3 促进脂肪代谢

肝脏中脂质代谢发生障碍时,脂肪沉淀速度会大于脂肪转移速度,甘油三酯在肝脏中大量堆积,会使动物得脂肪肝的概率增加。脂肪肝分酒精性脂肪肝和非酒精性脂肪肝,刘秋月综合多项研究结果指出,甜菜碱对于脂肪功能也有一定的影响,能够作为一种治疗脂肪肝的有效手段,来缓解病情^[35]。研究人员徐中南发现,甜菜碱可以降低甘油三酯、血清总胆固醇等的含量,提高高密度脂蛋白-胆固醇的含量,进而对脂肪肝有一定的治疗效果^[36]。

在脂肪代谢过程中,肉碱是脂肪分解过程中的重要一环,甜菜碱在其中发挥着很大的作用,它能够加快甲基循环过程,发生转化过程,将游离肉碱转化为酸不溶肉碱,从而加快了脂肪分解的速度。汪以真研究表明,如果将甜菜碱添加到饲料中,肌肉的酸不溶肉碱和肝脏中的游离肉碱都有一定程度的增加,促进了脂肪酸的 β -氧化,从而减少体脂沉积^[37]。杨东等人研究指出,如果将甜菜碱添加到蒙寒杂交羊的饲料中,会主要降低蒙寒杂交羊尾部脂肪的重量^[38]。除了加快脂肪分解的作用,甜菜碱还可以增加肝脏中低密度脂蛋白的含量,自身可以通过代谢循环合成胆碱和磷脂类物质,这些物质会形成与脂蛋白有关的细胞内膜,加快甘油三酯的迁移^[31]。因此,甜菜碱的供甲基作用使其间接促进了脂肪代谢,并影响脂肪沉积。

1.2.1.4 其他作用

甜菜碱在关于水产动物诱食方面也有很好的作用。在对泥鳅摄食的试验中,周向红发现如果在每天的粮食中添加 0.5% 的甜菜碱就可以提高泥鳅的摄食率。甜菜碱对异育银鲫和奥尼罗非鱼的摄食率也是相同的影响^[39-40]。许国焕^[41]和刘立鹤^[42]的研究结果也验证了这一点。除了诱食方面,甜菜碱对饲料的生产和贮存中的维生素起保护作用,由于甜菜碱性质稳定,本身耐高温,不易氧化并且有保湿性,因此能更好的贮存饲料,防止维生素流失^[42]。

1.2.2 甜菜碱在动物生产中的应用

1.2.2.1 在单胃动物中的应用

1.2.2.1.1 在猪生产中的应用

甜菜碱在猪生产中也有广泛应用,宋明彤在做关于巴马香猪妊娠试验中,在巴马香猪的饲料中添加 2.7kg/t 的甜菜碱,在母猪和仔猪的饲料里,每吨添加 2.7 千克的甜菜碱,结果表明,血液 MPV 显著降低,EOS 的含量提高了,发现其有

降低动物患心血管疾病的风险,母体添加甜菜碱可以调节子代机体免疫功能增强,促进器官发育^[43]。高乾坤研究表明,添加一定量的甜菜碱能够增加断奶仔猪的数量,初乳成分也有所改变,且能大大的减少仔猪的死亡数量^[44]。申超超研究表明,在低蛋白日粮(14%)中添加 0.15%甜菜碱能提高三元杂交育肥猪的生长性能,促进脂肪分解代谢、降低脂肪沉积^[45]。董冠在每千克的育肥猪饲料中添加 1500mg 的甜菜碱,发现平均日采食量得到了明显的提高,背最长肌的脂肪量增加但是日增重和料重比没有明显变化^[46]。还有一种研究结果表明,添加 800mg/kg 甜菜碱,可以降低断奶仔猪的腹泻率,提高了干物质和粗蛋白的消化水平^[47]。

1.2.2.1.2 在禽生产中的应用

在生活中,甜菜碱也可以调节禽类的肠道健康、促进其营养物质消化,是一种非常好的饲料添加剂^[48]。胡云在试验中发现,饲喂母鸡一些甜菜碱,可以调控体内脂质的合成和自噬相关基因表达,有效降低了子代鸡脂肪肝的发病率^[49]。在陈宇星的试验中,甜菜碱对藏鸡和藏鸡蛋均有影响,甜菜碱喂养过的藏鸡,产蛋率提高,料蛋比减少,死淘率和破蛋率、采食量等均没有明显变化;对藏鸡蛋来说,蛋黄中的粗脂肪含量明显提高,鸡蛋蛋白质中蛋黄蛋白内的成分都没有明显的影响^[50]。陈志辉以 400 和 800mg/kg 甜菜碱饲喂肉仔鸡,发现甜菜碱能显著提高仔鸡日增重,胸肌率和腿肌率也有上升趋势,并能增强仔鸡免疫能力:脾脏指数分别提高 9.5%和 11.9%,血液白细胞介素 2(IL-2)分别提高 9.7%和 41.6%^[51]。马建爽研究指出甜菜碱添加到肉鸡饲料中对生长的肉鸡有极大的作用,每千克饲料中含有 0.2%的甜菜碱效果最好,促进肉鸡的生长和脂质的代谢,肉鸡肌肉的风味也得以提高^[52]。

1.2.2.1.3 在水产动物中的应用

甜菜碱对水产动物有很好的诱食效果,在生长性能、抗应激、肉品质等方面也有良好效果。刘立鹤以 0.2%甜菜碱饲喂南美白对虾,发现其能显著提高南美白对虾的采食量,但和牛磺酸组合使用时效果不显著^[41]。朱定贵以不同剂量饲喂奥尼罗非鱼,发现罗非鱼增重显著提高,饲料系数降低,且其最佳剂量是 0.5%左右,能够明显的降低甘油三酯、胆固醇的含量以及淀粉酶活性、谷丙转氨酶等酶的活性,提高白蛋白和总蛋白的含量^[53]。对于这个试验,宦海琳表明加入 0.3%的甜菜碱的试验组与对照组的区别在于,试验组的异育银鲫肝胰脏脂肪、肌肉脂肪等含量明显的降低,说明甜菜碱以参与脂肪代谢的方式调节肉品质^[54]。研究人员周向红表示,温度对于甜菜碱的抗应激效果并没有多么显著的影响,在 15℃的低温下,该试验组添加一定量的甜菜碱后也能够明显的加速泥鳅采食,体现出

良好的抗应激效果^[29]。

1.2.2.2 在反刍动物中的应用

陈统明研究发现,添加甜菜碱使犊牛增重显著提高,血清甘油三酯、高密度脂蛋白胆固醇、MDA 及尿素氮浓度有下降趋势,且与添加量有关;总胆固醇、低密度脂蛋白胆固醇、超氧化物歧化酶、总抗氧化力无明显变化^[55]。贾亚伟研究指出,添加甜菜碱对肉牛的采食量有提高趋势,但料肉比、日增重等差异均不显著;虽然甜菜碱可以显著降低血清中 T4 水平,但总体上甜菜碱对奶牛热应激起不到缓解作用^[56]。刘凯以甜菜碱饲喂湖羊,发现其对湖羊无调控作用^[57]。大量研究表明,单独添加单体甜菜碱对反刍动物的调控效果并不明显,原因是瘤胃发酵会将甜菜碱降解,而不能直接到达肠道被吸收。因此,可以通过过瘤胃保护技术处理甜菜碱来解决这一问题,且有研究证明,过瘤胃甜菜碱在反刍动物生产中有良好的应用效果。

1.2.3 过瘤胃保护甜菜碱

1.2.3.1 过瘤胃保护技术

为了保持营养物质的活性,减缓其在瘤胃的降解速度,用一种技术-过瘤胃保护技术,将氨基酸、维生素、脂肪等营养物质用一系列化学、物理等方式处理,使其经过瘤胃,在小肠中得到充分的消化和吸收,从而提高营养物质的消化率^[58]。淀粉、蛋白等常规饲料营养成分通常以物理加压加热方法处理,部分蛋白质也会使用化学保护方法处理(甲醛、乙醇、锌盐等化学试剂),单体营养物质常使用微包被技术,C12~C22 的脂肪酸常采用物理包被方法^[59]。

1.2.3.2 过瘤胃甜菜碱

甜菜碱在单胃动物生产中的应用效果显著,但在反刍动物应用中效果不甚理想,研究者们开始探究过瘤胃保护甜菜碱的方法,围绕过瘤胃甜菜碱(RPB)的研究也随之增加。姜贝贝研究发现,在每千克饲粮中添加 2.9 克 RPB 能够改善小湖羊的胴体品质和它的脂肪沉积部位^[60]。崔慧慧研究指出,饲粮中添加 4g/d RPB 可提高湖羊的生长性能,改善蛋白质代谢和脂肪代谢,改善肌肉嫩度,提高肌肉中氨基酸、不饱和脂肪酸及肌苷酸含量,并提高肌肉氧化力^[26]。

1.3 课题研究目的、意义与内容

1.3.1 研究的目的与意义

羊肉营养丰富,并且含有高蛋白、低脂和低胆固醇及鲜嫩多汁等特点深受消费者的喜爱,也是适合国人健康需求的优秀肉质来源。肉的品质包括 pH、肉色、嫩度和熟肉率等,其中羊肉的颜色和嫩度,在一定程度上影响了肉品质的整体评分级别和消费者的认可度。羊肉中最受消费者喜爱的莫过于羔羊肉了,在肉质方面,羔羊肉的肉质相比于普通羊肉更加鲜嫩,羊膻味道也较淡,更容易被人体肠胃消化吸收,多吃羔羊肉有助于御寒保暖,补肾益气^[61]。尽管羊肉备受消费者的喜爱,但是在肉类市场中,羊肉的消费量落后于猪肉、禽肉、牛肉,排在第四位^[62]。消费者在选择肉类食物时,往往取决于该肉类的风味,而羊肉自身具有的独特膻味,是许多消费者难以接受的,这也是羊肉消费量小的一个原因。所以有关于羊肉风味的研究已经成为现代畜牧业的关注重点。对于畜牧业工作人员来说,羊肉风味是最受关注的指标之一,大量研究发现对风味影响较大的是营养因素和遗传因素,其中营养因素对肉质风味调节的效果影响较为显著^[63]。

随着国家退耕还林,禁止放牧,畜禽逐渐从自由采食过渡到集约化养殖,但由于放牧过程中动物吃到的饲料大多为青绿饲料,而集约化养殖场内为了节约成本,大多饲喂干草或秸秆,很少饲喂植物活性物质,并且减少了动物的活动区间,对动物的生长性能及肉品质等方面产生了极大地影响。因此,本试验以杜寒杂交羊为试验动物,采用舍饲的方法,拟通过在肉羊饲粮中添加过瘤胃甜菜碱、发酵麸皮多糖及其混合添加剂,研究过瘤胃甜菜碱和麸皮多糖对肉羊屠宰性能、抗氧化功能、肉品质及风味脂肪酸的影响,为其作为绿色饲料添加剂进一步的推广与应用提供理论依据。

1.3.2 研究内容

(1) 日粮中添加发酵麸皮多糖、过瘤胃甜菜碱及其混合添加剂对肉羊的屠宰性能及肉品质的影响。

(2) 日粮中添加发酵麸皮多糖、过瘤胃甜菜碱及其混合添加剂对肉羊的背最长肌、血清及瘤胃组织的抗氧化能力的影响。

(3) 日粮中添加发酵麸皮多糖、过瘤胃甜菜碱及其混合添加剂对肉羊的背最长肌风味物质的影响。

1.4 技术路线

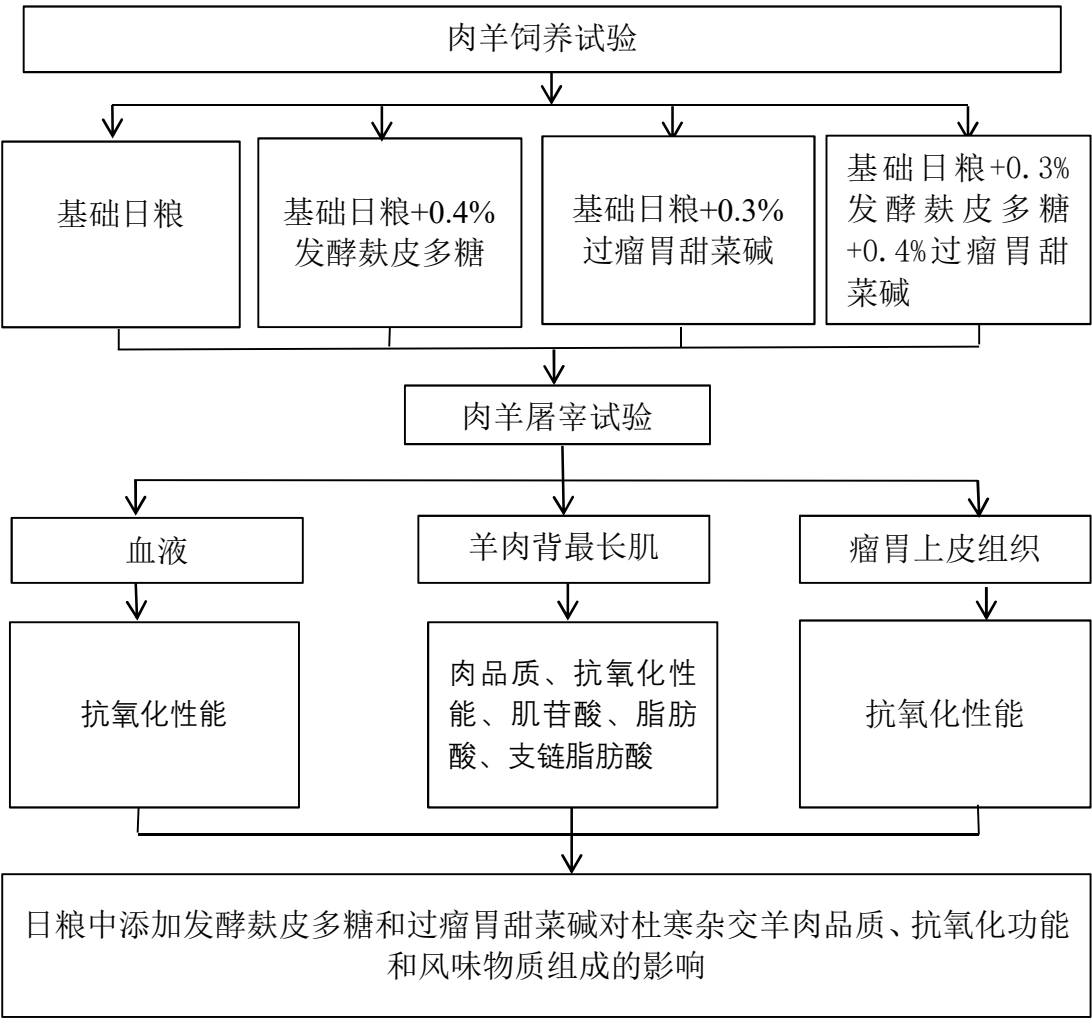


图 2 技术路线图

Fif2 Technical route

2 试验研究

2.1 麸皮多糖、甜菜碱及混合物对肉羊屠宰性能和羊肉背最长肌常规养分的影响

2.1.1 材料与方法

2.1.1.1 试验设计

试验选取杜寒杂交羊24只,需健康无疾病、体重($28.4\pm 5.2\text{kg}$)与月龄(2-2.5月龄)相近。将其随机分为4组,对照组饲喂基础日粮、试验I组(基础日粮+0.4%发酵麸皮多糖)、试验II组(基础日粮+0.3%过瘤胃甜菜碱)、试验III组(基础日粮+0.3%发酵麸皮多糖+0.4%过瘤胃甜菜碱)。试验期为75天,其中预饲期15天,正试期60天。

2.1.1.2 饲养管理

为了减轻羔羊应激情况定量饲养,每组分为三个饲养栏,每个饲养栏两只羔羊,即每组六个实验对象。将动物引入饲养栏前,需对饲养栏充分的打扫和消毒,避免因疾病影响试验结果。饲养栏的布置、环境、水槽和食槽都是相同的,并且羔羊可以看到彼此。将羊羔进行编号、注射疫苗、分组入栏。预饲期羔羊自由采食和饮水,并记录以估测平均采食量。试验期的饲料投喂时间为早八晚六;试验期间保持羊舍卫生、通风和羔羊健康。

2.1.1.3 日粮组成和营养水平

试验期间的日粮由优牧特公司提供;过瘤胃甜菜碱来自宜兴天石饲料有限公司,其含量为55%;发酵麸皮多糖由实验室自备。

表1 基础日粮组成及营养组成(干物质基础%)

Table.1 Ingredients and chemical composition of the basal diet fed to the lambs (dry-matter basis%)

组成 Ingredients	含量 Contents,%
玉米 Maize grain	35.1
米糠 Rice bran	12
豆粕 Soybean meal	5
棉粕 Cottonseed meal	5
玉米胚芽粕 Corn germ	23
石粉 Mountain flour	1.5
食盐 NaCl	0.7
2%预混料 2%Premix1)	2
碳酸氢钙 CaHCO_2	0.7
葵花皮 Sunflower peel	13
膨润土 Bentonite	2

12 日粮中添加发酵麸皮多糖和过瘤胃甜菜碱对杜寒杂交羊肉品质、抗氧化性力和风味物质组成的影响

组成 Ingredients	含量 Contents,%
合计 Total	100
营养水平 Nutrient levels	
消化能 Digestible energy (MJ/day) 3)	10.91
粗蛋白质 Crude protein	17.79
粗脂肪 Ether extracts	1.24
中性洗涤纤维 Neutral detergent fiber	21.81
酸性洗涤纤维 Acid detergent fiber	18.17
灰分 Ash	11.05
钙 Calcium	1.11
磷 Phosphorous	0.60

注：预混料为每千克饲料提供：Ca, 130 g; P, 65 g; 盐, 85 g; 维生素 A, 140000 U; 维生素 D3, 37500 U; 维生素 E, 375 mg; 维生素 K3, 25 mg; 维生素 B1, 25 mg; 维生素 B6, 25 mg; 核黄素, 75 mg; 维生素 B12, 0.28 mg; 尼克酸, 300 mg; 泛酸, 200 mg; 叶酸, 15 mg; 生物素, 1.5 mg; 铁, 1300 mg; 铜, 200 mg; 锌, 1200 mg; Mn, 1000 mg; 碘, 9 mg; 硒, 7 mg; Co, 12 mg。

2.1.1.4 试验样品的采集与处理

(1) GR 值

GR 值：以数显游标卡尺为工具，以脂肪组织为对象，以 12~13 根肋骨间，距脊背中线 11 厘米处为主要测量范围，单位：mm。

(2) 胴体重

胴体重：胴体重是指宰杀后，将羊毛、羊皮、羊蹄子、内脏（除肾及肾周脂肪外）去掉重，单位：kg。

(3) 眼肌面积

眼肌面积：采用硫酸绘图纸覆盖第 12 到第 13 根肋骨之间所对应的腰椎上眼肌横截面，利用公式进行计算^[64]。计算公式：眼肌面积=眼肌高度×眼肌高度×0.7，单位：cm。

(4) 屠宰率

屠宰率：动物胴体重占宰前活重多少，一般保留两位小数后乘以 100%。

(5) 宰前活重

宰前活重：首先进行 12 小时的禁食，让羊羔有充分的消化和排便时间，之后再进行称重，这就是宰前活重，单位：kg。

2.1.1.5 肉品质性能

(1) 羊肉理化指标

①滴水损失: 在不施加任何外力的基础上, 保存肉样一段时间(24 或 48h), 以此测定滴水损失。

②蒸煮损失: 生肉加工成熟肉过程中由于水分蒸发所产生的质量差。

取背最长肌组织 30g 左右, 去除筋膜后称重值为 W_1 ; 之后将其放入 80℃ 左右的水中加热, 直到组织块中心部位达到 70℃ 后取出冷却, 当温度降低到室温时, 称重得到数值 W_2 。那么蒸煮损失即 $W_1 - W_2$ 后与 W_1 的比值, 保留两位小数后乘以 100%。

③失水率: 用 5cm 的圆形取样器取厚度 1cm 的组织块称重 a_1 。压力仪设定 35kg, 5min, 检测上下 12 层中速定性滤纸中的组织块。撤去压力后测重 a_2 。则失水率为 $a_1 - a_2$ 后与 a_1 的比值, 保留两位小数后乘以 100%, 为了确保数据的有效性, 一般重复三次测量取平均值。

④剪切力: 取最长肌去掉筋膜和脂肪, 置于 4℃ 冰箱内冷冻过夜, 将其切割为长宽高为 6×6×4 (cm) 的长方体。将长方体放入自封袋, 并在肉块中心插入温度计, 利用水浴加热至温度计显其中心的温度达到 70℃。从恒温水浴锅(HH-8) 中将肉块取出冷却至室温, 之后采用嫩度仪测量肉块的剪切力, 为了确保数据的有效性, 可以多次测量去平均值。

⑤pH 值: 包括 pH45min 和 pH24h。

pH45min: 以手术刀、酸度计为主要工具, 先在羊肉背最长肌组织块上割一个十字形状的能够插入酸度计玻璃电极的一个小口, 之后等待电极指数稳定后进行数据读取, 同样的方式进行三次, 以三次平均数为实际 pH45min 值。

pH24h: 在进行屠宰之后, 立刻取一部分最长肌放入 4℃ 冰箱内, 在 24 小时后以 pH45min 测量手法进行测定, 获得实际 pH24h 值。

(2) 常规营养物质指标

水分: 取最长肌取 10g 左右, 均匀切片并放入玻璃器皿, 进行第一次称重记录; 之后放入恒温烘箱进行干燥处理 36h, 直至两次数值相差万分之五, 则为水分含量。粗蛋白: 利用凯氏定氮法测量。粗脂肪: 利用索氏浸提法测量, 取风干后的羊肉 0.2g, 先对滤纸包进行脱脂, 将风干肉放入包内密封, 然后放入提取器内, 温度设定 80℃, 乙醚浸提 6h, 循环水不间断冷凝。脂肪提取结束过后, 将脂肪包放在室温中干燥后, 将其放入 65℃ 的烘箱中烘干称重保留两位小数后乘以 100%, 即为粗脂肪指标。粗灰分: 装有 1g 左右的风干羊肉肉样的坩埚放置在电炉上进行灰化, 期间注意通风, 灰化成功后放入马弗炉中碳化, 取出至干燥器中, 放置 30min 后称重, 若两次测重结果在万分之五内, 则为粗灰分含量。钙

14 日粮中添加发酵麸皮多糖和过瘤胃甜菜碱对杜寒杂交羊肉品质、抗氧化性力和风味物质组成的影响

(Ca): 高锰酸钾方法检测。磷 (p): 分光光度法 (V-100) 检测。

2.1.2 数据分析

利用 Excel (2010) 对数据进行初步整理, 运用 SAS9.2 软件进行统计分析, 采取单因素方差分析, $P>0.05$ 差异不显著, $P<0.05$ 则差异显著。

2.1.3 结果与分析

2.1.3.1 发酵麸皮多糖、过瘤胃甜菜碱及混合物对肉羊屠宰性能的影响

通过表 2 发现, 宰前活重、屠宰率、GR 值和胴体重这四个指标, I组、II组和III组与对照组相比均有上升趋势, 但差异均不显著 ($P>0.05$)。与对照组相比三个试验组的眼肌面积均有显著性提高 ($P<0.05$), 但 I 组、II组和III组之间无显著性差异 ($P>0.05$), 其眼肌面积提高程度为III组>II组>I 组。

表 2 发酵麸皮多糖、过瘤胃甜菜碱及混合物对肉羊屠宰性能的影响

Table.2 Effects of fermented bran polysaccharide, rumen-passing betaine and their mixtures on slaughter performance of mutton sheep

项目 Items	组别 group				P 值
	对照组	I组	II组	III组	P-value
宰前活重 SBW (kg)	41.24±2.02	42.57±3.8	41.79±6.84	41.78±8.28	0.98
胴体重 Carcass weight (kg)	21.87±1.26	22.54±2.04	22.44±4.68	22.37±4.88	0.98
GR 值 GRvalue(cm)	15.16±3.83	17.33±3.87	17.10±4.48	16.15±22.15	0.76
屠宰率 Dressing percentage(%)	53.01±1.13	53.43±0.73	53.68±2.9	53.54±1.84	0.59
眼肌面积(cm2)	17.89 ^b ±2.56	23.82 ^a ±6.12	25.15 ^a ±4.35	25.42 ^a ±4.32	0.03

注: 同行数据肩标字母不同差异显著 ($P<0.05$); 肩标相同则差异不显著 ($P>0.05$)。

2.1.3.2 发酵麸皮多糖、过瘤胃甜菜碱及混合物对羊肉背最长肌中常规养分的影响

发酵麸皮多糖、过瘤胃甜菜碱和混合组对羊肉背最长肌常规营养成分的影响如表 3。与对照组相比, I组、II组和III组水分含量无显著差异 ($P>0.05$), 其中III组的水分高于其他三个组。II组背最长肌粗蛋白含量有显著提高 ($P<0.05$), I组和III组虽有上升趋势但差异不显著。与对照组相比, 三个试验组的肌肉脂肪含量上升趋势为II组>III组>I组, 但差异不显著 ($P>0.05$)。三个试验组背最长肌的肌肉中钙含量基本相同 ($P>0.05$); 磷和灰分含量均有提高趋势,但差异均不显著 ($P>0.05$)。

表 3 发酵麸皮多糖、过瘤胃甜菜碱及混合物对羊肉背最长肌中常规养分的影响 (%)

Table.3 Effects of fermented bran polysaccharide, rumen-passed betaine and its mixture on conventional nutrients in longissimus dorsa muscle of meat (%)

项目 Items	简称	组别 group				P 值
		对照	I组	II组	III组	P-value
水分	Moisture	70.39±0.17	72.52±0.05	72.74±0.01	73.29±0.02	0.94
粗蛋白	CP	20.04 ^b ±0.03	21.58 ^b ±0.01	24.58 ^a ±0.02	22.40 ^{ab} ±0.01	0.02
粗脂肪	EE	2.49±0.01	2.60±0.00	3.06±0.01	2.78±0.01	0.53
灰分	Ash	6.06±0.75	6.12±0.72	6.46±0.77	7.52±2.03	0.21
钙	Ca	0.09±0.03	0.10±0.01	0.09±0.03	0.11±0.02	0.83
磷	P	0.11±0.03	0.13±0.04	0.12±0.03	0.12±0.02	0.22

注：同行数据肩标字母不同差异显著 ($P<0.05$)；肩标相同则差异不显著 ($P>0.05$)。

2.1.3.3 发酵麸皮多糖、过瘤胃甜菜碱及混合物对肉羊背最长肌理化性质的影响

表 4 发酵麸皮多糖、过瘤胃甜菜碱及混合物对肉羊背最长肌理化性质的影响

Table.4 Effects of Fermented Bran Polysaccharide, Rumen Transferred Betaine and Mixture on Longest Back Texturing Properties of Mutton Sheep

项目 Items	组别 group				P 值
	对照	I组	II组	III组	P-value
色差 Aberration					
亮度 Brightness L*	32.92 ^a ±1.22	31.75 ^{ab} ±1.07	32.07 ^{ab} ±1.43	30.84 ^b ±1.21	0.08
红度 Infrared a*	12.20±0.66	12.44±0.83	12.50±0.48	12.48±1.83	0.97
黄度 Yellowness b*	5.84±1.04	5.10±0.40	5.58±0.66	5.49±0.33	0.32
剪切力 Shear force/(N)	76.86±22.39	56.18±12.67	57.27±5.4	60.82±18.28	0.14
失水率 Drop Loss/(%)	12.60±1.86	11.53±1.23	11.56±1.43	12.56±0.95	0.40
pH45min	6.30±0.10	6.32±0.30	6.38±0.15	6.36±0.28	0.15
pH24h	5.60±0.28	5.75±0.22	5.78±0.3	5.79±0.16	0.54
蒸煮损失	36.22±2.53	33.04±1.58	34.41±2.84	33.80±3.07	0.22
滴水损失	3.43±1.37	2.49±0.51	2.53±0.61	3.10±0.75	0.22

注：同行数据肩标字母不同差异显著 ($P<0.05$)；肩标相同则差异不显著 ($P>0.05$)。

通过表 4 发现, 肉色在I组、II组和III组中的差异均不显著 ($P>0.05$), 其中羊肉背最长肌的剪切力II组>III组与对照组相比无显著影响 ($P>0.05$), I组的剪切力高于其它两个试验组差异显著 ($P<0.05$)。三个试验组与对照组相比羊肉背最长肌的失水率、蒸煮损失和滴水损失均无显著影响 ($P>0.05$)。试验羊肌肉的 pH45min、pH24h 在各个试验组中差异均不显著 ($P>0.05$)

2.1.4 讨论

2.1.4.1 发酵麸皮多糖、过瘤胃甜菜碱及混合物对肉羊屠宰性能的影响

屠宰性能可以反映出动物生产能力的优劣, 从而判断饲料应用是否合理。另外, 对于屠宰率还有一种更加客观的说法, 动物通过消化功能将饲料转化为自身的质量, 如果屠宰率高的话, 还可以说成是动物转化饲料的效率^[65]。本试验中三种添加剂对屠宰率均无显著影响, 这与杜丽英^[66]、冀祥^[16] 和蒋雪樱^[67]的研究结果一致。眼肌面积是动物生产过中非常重要一项指标, 其与产肉性能和肉品质有较强的关连, 可以通过比较其大小择出同一种动物不同品种的优良品种^[68-69]。本试验中三个试验组眼肌面积均有提升, 且以发酵麸皮多糖和过瘤胃甜菜碱的混合组提升最多, 说明该混合添加剂可以显著提高肉羊的瘦肉率。孟子琪等^[15]研究发现日粮中添加50、100、200、400 mg/kg的发酵麸皮多糖对杜寒杂交肉羊的胴体重、屠宰率、眼肌面积和GR值均无显著影响 ($P>0.05$)。; 崔慧慧^[26]的研究中, 过瘤胃甜菜碱对湖羊眼肌面积无显著影响。这与本试验结果不一致, 可能是因为所选羊品种不同。GR值与胴体脂肪含量相关, 本试验各试验组GR值无显著变化。樊懿萱等^[70]以发酵木薯渣代替20%的玉米发现湖羊宰前活重和胴体重与对照组有显著差异但屠宰率、GR值无显著变化。

2.1.4.2 发酵麸皮多糖、过瘤胃甜菜碱及混合物对肉羊背最长肌中常规养分和理化性质的影响

动植物的机体内水分大部分是存在于细胞之中还有一部分在肌原纤维内外等, 动物肌内水分的含量约为 75% 左右^[71], 胴体水分较宰前稍少。本试验检测出肉羊的水分含量在正常范围内, 约占整体质量的72%左右。学者侯鹏霞^[72]研究发现, 当滩羊的体重大约40kg时, 其肌肉和骨骼的生长基本停止, 开始沉积脂肪。由此可以得出动物日粮的组成是对脂肪沉积有影响, 并有有研究发现动物肌肉内粗脂肪的含量与畜禽肌肉的多汁性及其嫩度有非常大的联系^[73], 并且肌内脂肪含量是检测畜禽肌肉风味的一项重要物质。诸多国内外学者认为2%-3%的肌肉脂肪含量, 是国际公认的完美含量^[74-75]。本试验研究发现, 饲料中添加发酵麸皮多糖、过瘤胃甜菜碱和混合添加剂的羊肉背最长肌的脂肪含量在2%-3%之间, 并均

可使羊肉肌肉中的脂肪含量有升高的趋势。本试验中,饲喂过瘤胃甜菜碱的羔羊组的蛋白质显著高于对照组及其他两组。这可能与过瘤胃甜菜碱可以提供肌肉的蛋白质代谢及其脂肪代谢所需基团,并且可以参与动物肌肉间,各种化学反应的合成有关^[27],这也可能是眼肌面积提高的原因之一。

肌肉pH会直接影响肉的嫩度、口感等,是肉品质评定中重要的综合性指标。肉羊屠宰后,影响肌肉pH的主要因素是其中糖原的含量及降解速率,肌肉的糖原含量高和降解速率快相应的乳酸生成也会增多,从而导致肌肉pH下降大^[15]。本试验中各组杜寒杂交羊肌肉pH45min均在6.5以下,在正常羊肉pH45min为6.0~6.5之间^[76]。三种添加剂对杜寒杂交羊pH45min和pH24h无显著影响,这与孟子琪^[15]研究结果一致。肉色受肉中肌红蛋白含量的影响,动物充分放血后肌红蛋白占肉总色素的80~90%。本试验中三种添加剂对杜寒杂交羊肌肉亮度(L*)、红度(a*)、黄度(b*)无显著影响,这点与胡宇超^[24]、黄冬维^[77],等人的研究一致。有研究发现,肌肉pH值会通过改变肌肉亮度来影响肌肉颜色^[78]。本试验中三种添加剂对肌肉pH值未产生影响。学者马玉龙等^[79]发现,在杜长宁三元杂交猪饲料中添加甜菜碱使肌红蛋白含量增加了15.10%。崔慧慧^[26]等发现在湖羊饲料中添加过瘤胃甜菜碱其肌肉红度也有增加趋势,与本试验研究结果一致。检测羊肉的剪切力主要观测其嫩度,在羊肉的蒸煮过程嫩度显著性变化^[80]。一般来讲,肉品的剪切力越低,其嫩度越大。嫩度是影响肉品质和多汁性的一项重要指标^[81]。而失水率与肌肉的风味及肉色等都有极大联系^[82]。研究发现,日粮中添加发酵麸皮多糖、过瘤胃甜菜碱和混合添加剂对失水率及蒸煮损失均无显著影响($P>0.05$),但可以显著性降低剪切力。这点与孟子琪^[15]、姜贝贝^[60]等人研究一致。不过,即便已经有很多学者对于相关问题进行了深入的研究,但在饲料中适当的加入发酵麸皮多糖及过瘤胃甜菜碱对肉羊的肌肉肉品质的显著影响还未有所报道,仍然需要我们非进一步研究。

2.1.5 小结

(1) 日粮中添加发酵麸皮多糖、过瘤胃甜菜碱及混合添加剂对育肥杜寒羔羊的屠宰性能无显著性影响($P>0.05$),但显著性提高了眼肌面积($P<0.05$)与对照相比胴体重还是有所升高,所以对肉羊的产肉性能有影响。

(2) 日粮中添加发酵麸皮多糖、过瘤胃甜菜碱及混合添加剂中过瘤胃甜菜碱组的粗蛋白含量显著高于对照组和两个试验组,可能由于甜菜碱是一种较为高效的甲基供体。

(3) 日粮中添加混合添加剂中混合组的L*值低于对照组和两个试验组,与对照组相比三个试验组的剪切力降低,对羊肉肉品质的功效有好的影响。

2.2 麸皮多糖、甜菜碱及混合物对肉羊血液、瘤胃和肌肉抗氧化性能的影响

2.2.1 材料与方法

2.2.1.1 试验样品

动物屠宰后立即割取羊肉背最长肌和瘤胃组织各 5g, 装入冻干管内进行分组标记, 后放置与-80℃的冰箱内进行冷冻保存, 用于检测肌肉和瘤胃组织的抗氧化性能。在饲养试验正式期的第 0 天、30 天、60 天, 对杜寒杂交羊进行颈静脉采血, 将羔羊血液静置 40min 后, 离心 3000rpm/min 现场进行离心。离心后取上清液置于 200μl 的离心管内保存于-80℃, 待测。

2.2.1.2 测试指标

总超氧化物歧化酶活力(T-SOD)、丙二醛(MDA)、总抗氧化能力(T-AOC)、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-PX)、还原型谷胱甘肽(GSH)、过氧化氢酶(CAT)。

2.2.1.3 试验设备及仪器

FJ-200 高速分散均质机、漩涡振荡器(SCILOGEX)、TU-1810 型紫外分光光度计、Epoch 全波长酶标仪、恒温水浴锅(HH-8)、Centrifugee 5430R 台式高速离心机。

2.2.1.4 试验方法

(1) 肌肉样品和瘤胃组织的前处理: 将样品放入 4℃的冰箱内解冻, 解冻后剔除掉筋膜、脂肪和间质。将肌肉组织和瘤胃组织利用手术刀或手术剪将其剪碎, 肌肉和瘤胃组织碎渣按照: 匀浆介质(生理盐水)=1: 9 的比例装入 2ml 的离心管内, 并将此离心管放入高速分散均质机的适配器中, 先将高速分散均质机设定为 P1 模式进行均浆, 适应过后可将其调整为 P2 模式。成功制备组织匀浆后进行离心 2500r/min, 10min, 取组织匀浆的上清液, 制成 10%的匀浆液, 存放于-80℃的冰箱, 用于羊肉背最长肌肌肉和瘤胃组织的抗氧化指标的检测。

(2) 血液样品的前处理: 将血液样品置入 4℃的冰箱内解冻(或置于冰块上解冻), 解冻后 3000rpm/min, 10min 离心, 再以生理盐水等体积稀释, 制成 50%、30%、10%的溶液, 再次离心 3000rpm/min, 10min, 存于-80℃冰箱内, 用于血液抗氧化指标的检测。

所有指标测定严格按南京建成生物研究所所提供的试剂盒执行操作

2.2.1.4.1 背最长肌肉、瘤胃和血液中谷胱甘肽过氧化物酶活力 (GSH-PX) 的测定

定义：肌肉的谷胱甘肽过氧化物酶活力 (GSH-PX) 规定为每毫克蛋白质每分钟，而血液中的谷胱甘肽过氧化物酶活力 (GSH-PX) 规定为每 0.1ml 血清在 37℃ 反应 5 分钟，扣除血液和肌肉组织上清的非酶反应的作用，使整个胱甘肽过氧化物酶活力 (GSH-PX) 的中组织的 GSH 浓度降低 1 μ mol/L，血液的 GSH 浓度降低 1 mol/L 就是一个酶活力单位。

表 5 背最长肌、瘤胃和血清中 GSH-PX 的检测方法

Table.5 Methods for detecting GSH-PX in rumen and serum of longissimus dorsi muscle

	空白管	标准管	非酶管	酶管
1mmol/GSH (ml)			0.2	0.2
待测匀浆 (ml)				0.2(肉)、0.1 (血)
37℃ 水浴预热 5min				
试剂一应用液 (ml)			0.1	0.1
37℃ 水浴准确反应 5min				
试剂二应用液 (ml)			2.0	2.0
待测匀浆(血) (ml)			0.2(肉)、0.1 (血)	
混匀，4000r/min, 离心 10min, 取上清液 1ml				
GSH 标准品 溶剂应用液 1.0 (ml)				
20 μ mol/1GSH 标准液 (ml)		1.0		
离心上清液			1.0	1.0
试剂三应用液 (ml)	1.0	1.0	1.0	1.0
试剂四应用液 (ml)	0.25	0.25	0.25	0.25
试剂五应用液 (ml)	0.05	0.05	0.05	0.05

2.2.1.4.2 背最长肌肉、瘤胃和血液中还原型谷胱甘肽 (GSH) 的测定

样本前处理：取 10%组织匀浆 0.1ml，加入 0.1ml 试剂一混匀，3500r/min，离心 10min，取上清液待测；血清样本制备需取血清 0.05ml，加入 0.2ml 试剂一混匀，与组织匀浆步骤相同。

20 日粮中添加发酵麸皮多糖和过瘤胃甜菜碱对杜寒杂交羊肉品质、抗氧化性力和风味物质组成的影响

表 6 背最长肌、瘤胃和血清中 GSH 的检测方法

Table.6 Methods for detecting GSH in rumen and serum of longissimus dorsi muscle

	空白孔	标准孔	测定孔
试剂一（ μl ）	100		
20 $\mu\text{mol/l}$ GSH 标准液（ μl ）		100	
上清液（ μl ）			100
试剂二（ μl ）	100	100	100
试剂三（ μl ）	25	25	25

2.2.1.4.3 背最长肌肉、瘤胃和血液中总超氧化物歧化酶活力（T-SOD）的测定

定义：当每单位的肌肉组织蛋白 1ml 或处于每单位的血清反应液中时，如果 SOD 被抑制了，且这部分的 SOD 的被抑制率恰好达到 50%，则称这部分数量的 SOD 为一个 SOD 活力单位(U)。

表 7 背最长肌、瘤胃和血清中 T-SOD 的检测方法

Table.7 Methods for detecting T-SOD in rumen and serum of longissimus dorsi muscle

	测定管	空白管
试剂一应用液（ml）	1.0	1.0
样本（ml）	0.05	
双蒸水（ml）		0.05
试剂二（ml）	0.1	0.1
试剂三（ml）	0.1	0.1
试剂四应用液（ml）	0.1	0.1
	旋涡充分混匀，37℃水浴，40min	
显色剂（ml）	2	2

2.2.1.4.4 背最长肌肉、瘤胃和血液中总抗氧化能力（T-AOC）的测定

总抗氧化能力（T-AOC）的表示方式：检测该能力时要选择一个标准线，一般用 Trolox 为参考线来进行检测，用 TEAC 来表示相关数据。

表 8 背最长肌、瘤胃和血清中 T-AOC 的检测方法

Table.8 Methods for detecting T-AOC in rumen and serum of longissimus dorsi muscle

	空白孔	标准孔	测定孔
蒸馏水 (μl)	10		
不同浓度的 Trolox 溶液 (μl)		10	
测定样本 (μl)			10
试剂四应用液 (μl)	20	20	20
ABTS 工作液 (μl)	170	170	170
室温反应 6min,			

2.2.1.4.5 背最长肌肉、瘤胃和血液中过氧化氢酶 (CAT) 的测定

定义：每毫升血清或者是每毫克组织蛋白每秒钟所能够分解的 $1\mu\text{mol}$ 的量就是一个活力单位。

表 9 背最长肌、瘤胃和血清中 CAT 的检测方法

Table.9 Methods for detecting CAT in rumen and serum of longissimus dorsi muscle

	对照管	测定管
组织匀浆 (ml)		0.05 (肉)、0.1 (血)
试剂一 (37℃预温) (ml)	1.0	1.0
试剂二 (37℃预温) (ml)	0.1	0.1
混匀, 37℃准确反应 1min		
试剂三 (ml)	1.0	1.0
试剂四 (ml)	0.1	0.1
组织匀浆 (ml)	0.05 (肉)、0.1 (血)	

2.2.1.4.6 背最长肌的肌肉、瘤胃蛋白质浓度的测定

表 10 背最长肌、瘤胃中蛋白浓度的检测方法

Table.10 Detection method of protein concentration in rumen of longissimus dorsi muscle

	空白管	标准管	测定管
双蒸水 (ml)	0.05		
0.563g/L 蛋白标准品 (ml)		0.05	
样品 (ml)			0.05
考马斯亮蓝显色液 (ml)	3.0	3.0	3.0

2.2.1.4.7 背最长肌肉、瘤胃和血液中丙二醛（MDA）的测定

表 11 背最长肌、瘤胃和血清中 MDA 的检测方法

Table.11 Methods for detecting MDA in rumen and serum of longissimus dorsi muscle				
	空白管	标准管	测定管	对照管
10nmol/ml 标准品（ml）		0.1		
无水乙醇（ml）	0.1			
测试样品（ml）			0.1	0.1
试剂一（ml）	0.1	0.1	0.1	0.1
混匀（摇动试管架）				
试剂二应用液（ml）	3.0	3.0	3.0	3.0
试剂三应用液（ml）	1.0	1.0	1.0	
50%冰醋酸（ml）				1.0

2.2.2 数据分析

同 2.1.2

2.2.3 结果与分析

2.2.3.1 发酵麸皮多糖、过瘤胃甜菜碱及混合物对肉羊瘤胃抗氧化性能的影响

由表 12 可以看出：与对照组相比，I组、II组和III组均能提高瘤胃组织 T-SOD 能力，但差异不显著（ $P>0.05$ ）。I组、II组和III组的瘤胃组织 CAT 酶活性、GSH 的含量和 GSH-PX 酶活性与对照组相比，三个试验组均无显著性差异（ $P>0.05$ ）。与对照组相比 MDA 含量，I组、II组和III组均低于对照组但差异不显著（ $P>0.05$ ），其中I组 MDA 含量最低。与对照组相比，I组、II组和III组均可以显著提高瘤胃组织 T-AOC 能力（ $P<0.05$ ）。

表 12 发酵麸皮多糖、过瘤胃甜菜碱及混合物对肉羊瘤胃抗氧化性能的影响

Table.12 Effects of fermented bran polysaccharide on rumen betaine and their mixture on rumen antioxidant performance of mutton sheep

项目	组别 group				P 值
Items	对照	I组	II组	III组	P-value
超氧化物歧化酶 T-SOD/(U/mgprot)	1409.60±222.39	1616.94±258.91	1484.50±121.67	1450.07±139.49	0.54
过氧化氢酶 CAT/(U/mgprot)	364.65±126.88	460.45±144.36	370.88±150.38	430.10±71.29	0.56
还原型谷胱甘肽 GSH (μmol/gprot)	3.46±0.36	3.64±0.50	3.47±0.56	3.49±0.36	0.93
谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-PX/(U/mgpro)	3497.60±181.25	3685.90±513.36	3636.50±520.41	3693.10±440.32	0.85
总抗氧化 T-AOC/(mmol/gprot)	1.31 ^b ±0.21	1.96 ^a ±0.01	1.97 ^a ±0.05	1.98 ^a ±0.57	0.04
丙二醛 MAD/(nmol/mgprot)	3.65±1.07	3.08±1.48	3.44±0.94	3.37±0.42	0.89

注：同行数据肩标字母不同差异显著（ $P<0.05$ ）；肩标相同则差异不显著（ $P>0.05$ ）。

2.2.3.2 发酵麸皮多糖、过瘤胃甜菜碱及混合物对肉羊血清中 GSH-PX 的影响

由表 13 可以看出,30 天时,血液中 GSH-PX 酶活性相较第 0 天呈上升趋势,I组、II组和III组的 GSH-PX 酶活性高于对照组,但差异不显著（ $P>0.05$ ）。第 60 天时,相较第 30 天 GSH-PX 酶活性均有所提升;与对照组相比,三个试验组的 GSH-PX 酶活性均有所提高,其中I组的 GSH-PX 酶活性显著高于对照组（ $P<0.05$ ）。

24 日粮中添加发酵麸皮多糖和过瘤胃甜菜碱对杜寒杂交羊肉品质、抗氧化性力和风味物质组成的影响

表 13 发酵麸皮多糖、过瘤胃甜菜碱及混合物对肉羊血清中 GSH-PX 的影响(U/ml)

Table.13 Effects of fermented bran polysaccharide, rumen-bypassed betaine and their mixtures on serum

GSH-Px in mutton sheep(U/ml)					
组别 group					P 值
试验 天数	对照	I组	II组	III组	P-value
0	174.42±44.49	205.89±36.03	186.63±41.9	199.88±63.09	0.81
30	193.49±23.78	230.23±73.42	198.84±29.55	233.49±10.57	0.56
60	216.98 ^b ±39.29	261.4 ^a ±10.7	250.12 ^{ab} ±12.13	251.86 ^{ab} ±10.29	0.09

注：同行数据肩标字母不同差异显著（ $P<0.05$ ）；肩标相同则差异不显著（ $P>0.05$ ）。

2.2.3.3 发酵麸皮多糖、过瘤胃甜菜碱及混合物对肉羊血清中 T-SOD 的影响

由表 14 可以看出，在 30 天时，血液中I组 T-SOD 酶活性显著高于对照组和两个试验组($P<0.05$)，II组和III组的酶活性均高于对照组但差异不显著($P>0.05$)。第 60 天时，对照组和三个试验组与第 0 天和 30 天相比血液中 T-SOD 酶活性均成上升趋势；60 天的 T-SOD 血液中酶活性三个试验组均高于对照组但差异不显著（ $P>0.05$ ）。

表 14 发酵麸皮多糖、过瘤胃甜菜碱及混合物对肉羊血清中 T-SOD 的影响(U/ml)

Table.14 Effects of fermented bran polysaccharide, rumen-passing betaine and mixture on serum T-SOD in

mutton sheep(U/ml)					
组别 group					P 值
试验 天数	对照	I组	II组	III组	P-value
0	41.54±3.29	47.09±3.13	43.45±7.71	46.42±3.36	0.29
30	43.03 ^b ±1.65	47.56 ^a ±2.52	43.35 ^{ab} ±4.27	46.77 ^{ab} ±2.72	0.08
60	74.84±2.56	76.12±3.29	75.55±1.72	75.89±1.43	0.34

注：同行数据肩标字母不同差异显著（ $P<0.05$ ）；肩标相同则差异不显著（ $P>0.05$ ）。

2.2.3.4 发酵麸皮多糖、过瘤胃甜菜碱及混合物对肉羊血清中 T-AOC 的影响

第 30 天时，血液中 T-AOC 的含量与第 0 天相比呈上升的趋势，I组、II组和 III组显著高于对照组($P<0.05$)。第 60 天时，相较第 0 天和第 30 天血液中 T-AOC

的含量均成上升趋势。与对照组相比,三个试验组无显著性差异 ($P>0.05$),其中I组>III组>II组。

表 15 发酵麸皮多糖、过瘤胃甜菜碱及混合物对肉羊血清中 T-AOC 的影响(mM)

Table.15 Effects of fermented bran polysaccharide, rumen-bypassed betaine and mixture on serum T-AOC of

mutton sheep(mM)

试验 天数	组别 group				P 值
	对照	I组	II组	III组	P-value
0	0.75±0.003	0.77±0.02	0.75±0.02	0.76±0.01	0.21
30	0.77 ^b ±0.01	0.79 ^a ±0.01	0.79 ^a ±0.01	0.79 ^a ±0.011	0.03
60	0.97±0.03	1.08±0.05	1.01±0.02	1.06±0.03	0.18

注:同行数据肩标字母不同差异显著 ($P<0.05$);肩标相同则差异不显著 ($P>0.05$)。

2.2.3.5 发酵麸皮多糖、过瘤胃甜菜碱及混合物对肉羊血清中 MDA 的影响

血液中MDA的含量第30天与第0天相比对照组和三个试验组均有所下降。第30天时I组血液中MDA含量显著性低于对照组II组和III组 ($P<0.05$)。II组和III组与对照组相比血液中MDA的含量差异不显著 ($P>0.05$)。第60天时,三个试验组MDA含量均低于对照组,但差异不显著 ($P>0.05$),I组、II组和III组相比MDA含量差异不显著 ($P>0.05$)。

表 16 发酵麸皮多糖、过瘤胃甜菜碱及混合物对肉羊血清中 MDA 的影响(nmol/ml)

Table.16 Effects of fermented bran polysaccharide, rumen-passing betaine and their mixtures on MDA in serum

of mutton sheep(nmol/ml)

试验 天数	组别 group				P 值
	对照	I组	II组	III组	P-value
0	2.30±0.33	2.26±0.12	2.29±0.19	2.27±0.44	0.25
30	1.97 ^b ±0.39	1.82 ^a ±0.13	1.93 ^{bc} ±0.22	1.92 ^{bc} ±0.40	0.07
60	1.71±0.39	1.66±0.12	1.69±0.28	1.67±0.23	0.27

注:同行数据肩标字母不同差异显著 ($P<0.05$);肩标相同则差异不显著 ($P>0.05$)。

26 日粮中添加发酵麸皮多糖和过瘤胃甜菜碱对杜寒杂交羊肉品质、抗氧化性力和风味物质组成的影响

2.2.3.6 发酵麸皮多糖、过瘤胃甜菜碱及混合物对肉羊血清中 CAT 的影响

表 17 发酵麸皮多糖、过瘤胃甜菜碱及混合物对肉羊血清中 CAT 的影响(U/ml)

Table.17 Effects of fermented bran polysaccharide, rumen-passing betaine and their mixtures on CAT in serum of mutton sheep(U/ml)

组别 group					P 值
试验 天数	对照	I组	II组	III组	P-value
0	4.41±0.69	5.19±1.04	4.52±1.35	5.08±1.06	0.24
30	9.92±3.28	10.14±1.59	9.95±2.9	10.06±1.41	0.23
60	12.3±3.35	15.94±2.19	14.33±2.96	15.15±2.61	0.20

注：同行数据肩标字母不同差异显著（ $P<0.05$ ）；肩标相同则差异不显著（ $P>0.05$ ）。

血液中 CAT 酶活性，对照组和I组、II组和III组第 0 天、30 天成、60 天成上升趋势。第 30 天时对照组和三个试验组血液中 CAT 酶活性无显著性差异（ $P>0.05$ ），三个试验组之间也无显著性差异（ $P>0.05$ ）。第 60 天时，与对照组比较，I组、II组和III组均有所提高，但差异不显著（ $P>0.05$ ）。

2.2.3.7 发酵麸皮多糖、过瘤胃甜菜碱及混合物对肉羊血清中 GSH 的影响

表 18 发酵麸皮多糖、过瘤胃甜菜碱及混合物对肉羊血清中 GSH 的影响(umol/L)

Table.18 Effects of fermented bran polysaccharide, rumen-passing betaine and their mixtures on GSH in serum of mutton sheep(umol/L)

组别 group					P 值
试验 天数	对照	I组	II组	III组	P-value
0	3.23±0.37	3.17±0.39	2.93±0.24	3.22±0.80	0.76
30	11.18±2.62	14.09±3.68	11.36±1.96	12.27±2.88	0.38
60	5.39±1.16	5.64±1.77	5.56±0.74	5.59±1.04	0.31

注：同行数据肩标字母不同差异显著（ $P<0.05$ ）；肩标相同则差异不显著（ $P>0.05$ ）。

血液中 GSH 含量，第 30 天与第 0 天相比呈上升趋势，与对照组相比无显著

性差异 ($P>0.05$)。第 60 天时, 三个试验组均差异不显著 ($P>0.05$), 其中 I 组>III 组>II 组。

2.2.3.8 发酵麸皮多糖、过瘤胃甜菜碱及混合物对肉羊肌肉组织抗氧化的影响

表 19 发酵麸皮多糖、过瘤胃甜菜碱及混合物对肉羊肌肉抗氧化性能的影响

Table.19 Effects of surface fermented bran polysaccharide, rumen-bypassed betaine and their mixtures on antioxidant properties of muscle of mutton sheep

项目 Items	组别 group				P 值
	对照	I 组	II 组	III 组	P-value
超氧化物歧化酶 T-SOD/(U/mgprot)	130.66±31.16	146.02±25.39	136.02±14.89	137.86±18.71	0.73
谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-PX/(U/mgpro)	285.7 ^c ±6.27	317.39 ^a ±5.38	289.82 ^c ±6.87	347.45 ^b ±25.76	<0.01
总抗氧化 T-AOC/(mmol/gprot)	0.90±0.08	0.96±0.07	0.97±0.17	0.98±0.24	0.41
丙二醛 MAD/(nmol/mgprot)	9.25±0.13	9.11±0.21	9.17±0.18	9.14±0.07	0.55
过氧化氢酶 CAT/(U/mgprot)	8.98±2.07	10.63±2.75	9.59±3.52	10.60±2.31	0.31
还原型谷胱甘 GSH (μmol/gprot)	85.30 ^b ±15.96	137.06 ^a ±35.96	92.44 ^b ±31.46	99.17 ^b ±28.77	0.03

注: 同行数据肩标字母不同差异显著 ($P<0.05$); 肩标相同则差异不显著 ($P>0.05$)。

由表 19 可以看出: 与对照组相比, I 组、II 组和 III 组均能提高肌肉 T-SOD 和 CAT 酶活性, 但差异不显著 ($P>0.05$)。I 组和 III 组背最长肌中 GSH-PX 酶活性显著高于对照组 ($P<0.05$); II 组与对照组相比 GSH-PX 酶活性较高但差异不显著 ($P>0.05$)。与对照组相比, 三个试验组肌肉的 T-AOC 能力和 MDA 含量差异均不显著 ($P>0.05$)。与对照组相比, I 组可以显著提高羊肉背最长肌中 GSH 含量 ($P<0.05$)。羊肉背最长肌中 GSH 含量 I 组>III 组>II 组。

2.2.4 讨论

2.2.4.1 发酵麸皮多糖、过瘤胃甜菜碱及混合物对肌肉、瘤胃和血清 MDA 的影响

MDA 是动物机体内部的氧自由基攻打动物细胞膜内的多不饱和脂肪酸 (PUFA, polyunsaturated fatty acid) 从而最终形态的脂质过氧化产物, 这一物质能够为动物提供十分稳定且强大的抗氧化能力, 是动物机体能够维持的基础物质之一。并且 MDA 的含量是评判肉质的氧化变质程度和安全性的一项重要指标, 其被认为是导致肉品质下降的重要因素。MDA 的含量如若上升将会导致动物机体内脂质过氧化作用下的自由基失常进而引发整个动物机体的抗氧化系统受到打击, 无法维持氧化与被氧化之间的平衡。因此 MDA 的含量可以判断细胞膜被氧化的程度^[83], 同时能够间接反映出脂质过氧化的严重程度, 其过量会导致细胞代谢失常^[84]。卢霞^[85]等人研究发现, 日粮中添加甜菜碱饲喂肥胖大鼠能够提高大鼠机体的抗氧化能力, 并可以消除有害自由基, 保护大鼠的细胞不受有害自由基的损害。张林等^[86]人研究表明, 日粮中添加甜菜碱饲喂大鼠可以使抗氧化性能中的 MDA 降低 41.87%。Hagar 等^[87]发现, 甜菜碱能够克制服用抗肿瘤药物所引发的氧化应激作用, 还对肾组织的还原型谷胱甘肽 (GSH) 有影响。Coban 等^[88]人研究发现日粮中添加甜菜碱饲喂老年大鼠甜菜碱可以降低其肝组织内抗氧化能力之中的 MDA 含量。毛湘冰等^[89]研究表明, 日粮中添加 84mg/kg 的香菇多糖可以降低大鼠的空肠组织的丙二醛含量。本试验中, 第 30 天时发酵麸皮多糖组显著降低, 第 60 天时对照组与三个试验组差异不显著, 但均低于 30 天。肌肉和瘤胃组织中 MDA 含量, 三个试验组均低于对照组。由此可以看出在动物日粮中添加发酵麸皮多糖、过瘤胃甜菜碱及其混合添加剂均可以减轻动物细胞膜氧化应激的损伤, 对肉羊的抗氧化能力有所提升。

2.2.4.2 发酵麸皮多糖、过瘤胃甜菜碱及混合物对肌肉、瘤胃和血清抗氧化酶活力和 GSH 含量的影响

动物屠宰试验结束后, 动物胴体的肌肉抗氧化能力与其自身的肌肉肉品质有较高的正相关性。畜禽机体老化和癌症等多种疾病的发展均与自由基有十分密切的关联^[90]。经屠宰后的畜禽机体就会自发产生氧化反应, 产生活性氧并有效的清除畜禽机体内有害的自由基, 以此来避免其对畜禽机体产生伤害。其中, 为避免机体代谢过程中产生的 $O^{\cdot-}$ 、 OH^{\cdot} 、 H_2O_2 等自由基对机体的危害, 动物机体产生了酶促和非酶促两支不同的保护体系。其中在非酶促体系中包括 GSH、维生素 A、维生素 C 和维生素 E 等^[91]。而酶促系统包括 SOD、CAT 和 GSH-Px 等。

动物抗氧化能力中的抗氧化酶，主要是有三种非常重要的抗氧化酶分别为 SOD、CAT 和 GSH-PX。随着动物机体的抗氧化能力的升高，血清及肌肉组织内的 SOD、CAT 和 GSH-PX 得酶活性也会有上升的趋势。其中 GSH-Px 和 SOD 两种酶可以相互协作用以消除有害自由基，保护细胞膜不受有害自由基的损害，CAT 则是 SOD 在消除动物机体内部的氧离子链式反应过程之中生成的下游酶。SOD、CAT 和 GSH-PX 这三种抗氧化酶在动物体内部均存在消除有害自由基的酶促系统，例如 SOD 的清除作用，能够作用在体积十分微小的超氧阴离子上，使其自由基失去作用，无法对细胞膜产生损害；还有 GSH-Px 的保护作用，可以作用在体积较大的机体物质上，相当于一层保护膜类的物质，这样氧自由基就没法损害大分子物质了^[92]。CAT 能够催化 H_2O_2 分解为对生物体无害的 H_2O 和 O ^[93]。孙佩佩等^[94]人研究表明日粮中添加发酵菜籽粕饲喂生长猪可以提升 GSH-PX 及 SOD 的酶活性。Akhavan Salamat 等^[95]研究发现，在 33℃ 的高温环境状态情况下饲喂 0.1% 的甜菜碱，可以提高肉鸡的 GSH-PX 及 SOD 的酶活性。Zhang 等^[96]研究发现，日粮中饲喂甜菜碱（15g/d）给奶牛可以可显著提升血清中的 GSH-PX 及 SOD 的酶活性 Alirezaei 等^[97]研究发现，日粮中用甜菜碱来代替 10% 的蛋氨酸饲喂肉鸡，能够增加鸡肉胸肌的 SOD、CAT 和 GSH-PX 的酶活性。王园等^[25]研究发现，日粮中添加 40mg/kgmb 发酵麸皮多糖给断奶的大鼠不间断灌胃 21d 后，可以提升大鼠空肠组织中的 CAT、SOD、GSH-Px 酶活力。在本试验中，发酵麸皮多糖组、过瘤胃甜菜碱组和混合组在第 30 天时 T-SOD、CAT 和 GSH-Px 的酶活力均高于对照组。发酵麸皮多糖组、过瘤胃甜菜碱组和混合组在第 60 天时 GSH-PX 的酶活力高于对照组，发酵麸皮多糖组的 T-SOD 和 CAT 的酶活力高于对照组和两个试验组。瘤胃组织中 CAT、SOD、GSH-Px 酶活力虽然与对照组相比较，但是整体来说还是无法对动物机体产生较为明显影响的。不过对于肌肉来说，其内部的 GSH-Px 酶活力发酵麸皮多糖组和混合组显著高于对照组。肌肉中 CAT 和 SOD 酶活力与对照组相比差异不显著但偏高。综上所述，多糖类及甜菜碱均可以提高动物机体内的抗氧化酶的活性，用以减轻有害自由基对机体的损害，从而可以提升畜禽机体的抗氧化能力。

2.2.4.3 发酵麸皮多糖、过瘤胃甜菜碱及混合物对肌肉、瘤胃和血清 T-AOC 的影响

T-AOC 值代表了畜禽机体的抗氧化能力状况的一个综合性的指标，这一指标的数值如果产生了改变，就代表了动物机体的抗氧化系统产生动荡，另外，这一指标的数值变动情况还可以影响肉品质和反应自由基的代谢情况^[98]。本试验研究发现，在杜寒杂交肉羊的日粮中添加发酵麸皮多糖、过瘤胃甜菜碱和混合添

添加剂在第 30 天时 I 组、II 组和 III 组的作用效果显著高于对照组,第 60 天时 I 组、II 组和 III 组的 T-AOC 值均高于对照组,其中 I 组>III 组>II 组,但是三个试验组间的差异并不显著。由此可以发现,在此试验之中发酵麸皮多糖组和混合组的作用效果最好。这一结果与很多的学者的研究一致。肌肉中 T-AOC 的能力对照组与三个试验组相比差异不显著,但均有提高的效果。而瘤胃组织中过瘤胃甜菜碱和混合组中 T-AOC 的含量显著高于对照组,而麸皮多糖组则差异不显著。另外,孟子琪^[15]等人的研究中,也有内容显示了如果将发酵麸皮多糖加入杜寒杂交羔羊日常的饲料中,确实能够提高 T-AOC 值。安晓萍等^[99]人研究就表明,大鼠每日灌服发酵麸皮多糖后,进行屠宰发现血浆及大鼠的肝脏组织中的总抗氧化能力有提高的作用。从而可以发现日粮中添加发酵麸皮多糖可以从侧面提高动物的抗氧化能力,因为发酵麸皮多糖的存在,使动物在氧化应激过程中受到的损伤大幅度减小,能够保存抗氧化物质,进行更多次的抗氧化工作^[15]。而 Mishra 等^[100]研究发现,基础日粮中添加 3g/kg 甜菜碱可以使母猪妊娠期间显著提高 T-AOC 水平。张林等^[86]人研究表明,日粮中添加甜菜碱饲喂大鼠可以使抗氧化性能中的 T-AOC 值升高。由此可见,发酵麸皮多糖及过瘤胃甜菜碱均可以提高动物机体内的 T-AOC 值,从而可以提升畜禽机体的抗氧化能力。

2.2.5 小结

(1) 日粮中添加发酵麸皮多糖、过瘤胃甜菜碱及混合添加剂均可以提高肌肉和瘤胃组织的 T-SOD、GSH-Px 酶活性和 GSH 含量,降低 MDA 的含量。用以减轻肉羊的肉质脂质氧化,进而可以延长羊肉的货架期。

(2) 日粮中添加发酵麸皮多糖、过瘤胃甜菜碱及混合添加剂均可以提高肉羊血清之中的 T-SOD 活性、CAT 活性和 T-AOC 能力。从本试验数据可知,肉羊的血清之中的抗氧化能力与时间有所联系,即随着时间的增加抗氧化能力越强。

2.3 麸皮多糖、甜菜碱及混合物对肉羊肌苷酸和脂肪酸的影响

2.3.1 材料与方法

2.3.1.1 试验样品

本试验的动物选择与分组、实验过程中的管理以及日量的组成均与 2.1.1 相同。屠宰后立即割取羊肉背最长肌 30g, 装入冻干管内进行分组标记, 后放置于 -80℃ 的冰箱内进行冷冻保存, 用于检测肌肉的肌苷酸、脂肪酸和风味脂肪酸。

2.3.1.2 测试试剂

95%乙醇溶液、盐酸溶液、焦性没食子酸、乙醚-石油醚混合液、正己烷溶液、2%氢氧化钠甲醇溶液、15%三氟化硼甲醇溶液、正庚烷溶液、无水硫酸钠、6%高氯酸溶液、氢氧化钠。

2.3.1.3 试验设备及仪器

电子天平 (BSA224S-CW)、漩涡振荡器 (SCILOGEX)、氮吹仪 (OA-HAET MODEL8125、N-EVAP112)、旋转蒸发装置、气相色谱、毛细管色谱柱 (聚二氢丙基硅氧烷强极性固定相, 柱长 100m, 膜厚 0.2μm, 内径 0.25mm)、恒温水浴锅 (HH-8)、FJ-200 高速分散均质机、Centrifuge 5430R 台式高速离心机、高效液相色谱法 (SHIMAZU)。

2.3.1.4 试验方法

2.3.1.4.1 肌苷酸检测方法

将样品置于 4℃ 的冰箱内或者置于碎冰上解冻后准确称取 1.25g, 将其切至肉末状, 放入 20ml 离心管内并加入 4ml 的 6%高氯酸溶液进行匀浆。匀浆后的肌肉组织液立即放入离心机中 3000rpm/min, 10min。取其上清液转入 15ml 离心管内。后使用 1-2ml 的高氯酸溶液洗涤沉淀, 再次离心, 取其上清液与第一次的上清液混合。将混合均匀的上清液用氢氧化钠 (5M 和 0.5M) 调节其 pH 的浓度至 6.5。将调节好浓度的上清液装入 25ml 的容量瓶中, 用双蒸水定容混匀。将摇匀后的上清液先用 0.45μm 的滤过膜过滤, 过滤后的上清液放于高效液相色谱法 (SHIMAZU) 分析。分析柱: Agilent Pursuit C18 (250×4.6mm); 紫外检测器: 波长 254nm; 柱温: 30℃; 流动相: 0.05M 磷酸三乙胺/乙腈 (95/5, V/V); 进样量: 10μl; 流速: 1ml/min。

2.3.1.4.2 脂肪酸检测方法

脂肪酸的检测参照国标 GB 5009-2016 进行测定。

(1) 背最长肌肌肉前处理

取 5g 样品转移到 4℃的冰箱内或者置于碎冰上解冻。解冻后剔除表面筋膜和脂肪，再捣碎。准确称取 1g 肉末和 100mg 焦性没食子酸于 25ml 水解管内，再加入 4ML 蒸馏水和 2ml 的 95%乙醇混匀。后置于 75℃恒温水浴锅（HH-8）中水解 40min，期间每 10min 振荡一次使溶液混合均匀。结束后冷却至室温。

(2) 背最长肌肌肉脂肪的提取

在水解管内，再次加入 95%乙醇 10ml 混匀。将此混合液和 80ml 的乙醚-石油醚混合液反复冲洗水解管装入分液漏斗中，并且静置 10min。将此溶液收集到 250ml 的烧杯中，放置到蒸发装置上，静待此溶液浓缩至干，其残留物就是脂肪提取物。

(3) 脂肪的皂化及脂肪酸的甲酯化

正己烷溶液溶解脂肪提取物于 25ml 的水解管内。将其安装到氮吹仪（OA-HAET MODEL8125、N-EVAP112）将溶液吹干，在此过程中需要严格把控氮吹的时间。氮吹结束后，将 8ml 的 2%氢氧化钠甲醇溶液加入并摇匀，80℃的水浴锅（HH-8）内回流，直至水解管壁上的油滴被带走，加进 15%三氟化硼甲醇溶液后再次回流。回流结束，冷却至室温。

加入 10ml 的正庚烷溶液混匀后，再次加入饱和的氯化钠溶液，静置等待分层，吸取正庚烷提取物溶液 5ml，将其放入氮吹仪（OA-HAET MODEL8125、N-EVAP112）中吹干。放入 2ml 的正己烷溶液和 3-5g 的无水硫酸钠混匀，静置 5min。将上层溶液转移到进样瓶中进行色谱（7890A-7697A，顶空气相色谱仪）分析。

2.3.2 数据分析

同 2.1.2

2.3.3 结果与分析

2.3.3.1 发酵麸皮多糖、过瘤胃甜菜碱及混合物对肉羊肌肉肌苷酸含量的影响

表 20 发酵麸皮多糖、过瘤胃甜菜碱及混合物对肉羊肌肉肌苷酸含量的影响（mg/g）

Table.20 Effects of fermented bran polysaccharide, rumen-passing betaine and their mixtures on inosinic acid content in muscle of mutton sheep (mg/g)

项目 Items	组别 group				P 值 P-value
	对照	I组	II组	III组	
肌苷酸	0.19 ^b ±0.03	0.24 ^a ±0.05	0.22 ^{ab} ±0.03	0.21 ^{ab} ±0.01	0.08

注：同行数据肩标字母不同差异显著 ($P<0.05$)；肩标相同则差异不显著 ($P>0.05$)。

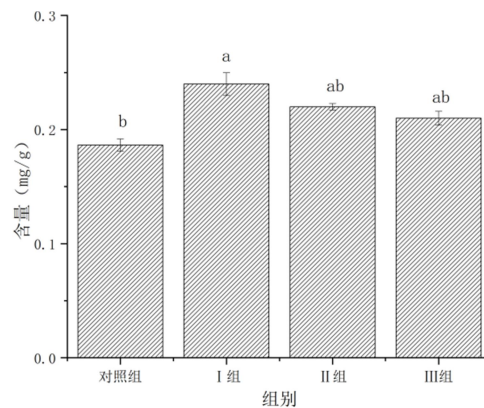


图3 发酵麸皮多糖、过瘤胃甜菜碱及混合物对肉羊肌肉肌苷酸含量的影响

Fig.3 Effects of fermented bran polysaccharide, rumen-passing betaine and their mixtures on inosinic acid content in muscle of mutton sheep

由表 20 和图 3 可以看出：与对照组相比，I组对背最长肌中的肌苷酸含量显著性提高 ($P<0.05$)；II组和III组中的肌苷酸含量与对照组相比无显著影响 ($P>0.05$)。

2.3.3.2 发酵麸皮多糖、过瘤胃甜菜碱及混合物对肉羊肌肉三种短链脂肪酸含量的影响

由表 21、图 4 和图 5 可以看出：与对照组相比，(1) I组对背最长肌中膻味物质 4-甲基壬酸+4-乙基辛酸、4-甲基辛酸均无显著影响 ($P>0.05$)；(2) II组对背最长肌中膻味物质 4-甲基壬酸+4-乙基辛酸及 4-甲基辛酸的含量无显著影响 ($P>0.05$)；(3) III组中膻味物质 4-甲基壬酸+4-乙基辛酸无显著影响 ($P>0.05$)，但显著性降低 4-甲基辛酸的含量 ($P<0.05$)。

表 21 发酵麸皮多糖、过瘤胃甜菜碱及混合物对肉羊肌肉三种短链脂肪酸含量的影响 (mg/g)

Table.21 Effects of Fermented Bran Polysaccharide, Rumen Transferred Betaine and Mixture on the Content of Three Short-chain Fatty Acids in Muscle of Mutton Sheep (mg/g)

项目 Items	组别 group				P 值
	对照	I组	II组	III组	P-value
4-甲基辛酸	4.3 ^a ±1.08	3.49 ^{ab} ±0.54	3.58 ^{ab} ±0.68	2.98 ^b ±0.7	0.06
4-甲基壬酸	5.34±0.71	4.24±1.08	3.99±0.83	4.97±1.39	0.15
+4-乙基辛酸					

注：同行数据肩标字母不同差异显著 ($P<0.05$)；肩标相同则差异不显著 ($P>0.05$)。

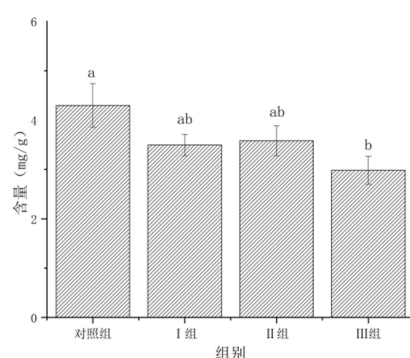


图 4 发酵麸皮多糖、过瘤胃甜菜碱及混合物对肉羊肌肉 4-甲基辛酸含量的影响

Fig.4 Effects of fermented bran polysaccharide, rumen-passing betaine and its mixture on the content of 4-methyloctanoic acid in muscle of mutton sheep

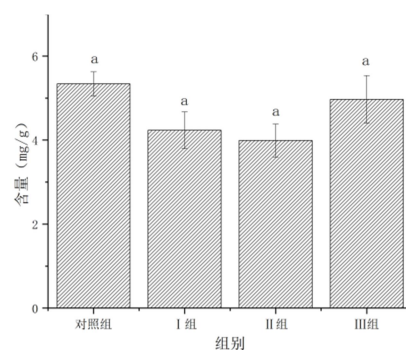


图 5 发酵麸皮多糖、过瘤胃甜菜碱及混合物对肉羊肌肉两种特殊脂肪酸含量的影响

Fig.5 Effects of Fermented Bran polysaccharide, Rumen Transferred Betaine and Mixture on the Content of Two Short-chain Fatty Acids in Muscle of Mutton Sheep

2.3.3.3 发酵麸皮多糖、过瘤胃甜菜碱及混合物对肉羊肌肉脂肪酸含量的影响

由表 22 的数据可以得出, 在羊肉背最长肌肌肉之中一共检测出 10 种 SFA, 其中包括辛酸甲酯(C8:0)、癸酸 (C10:0)、十一烷酸 (C11:0)、十三烷酸(C13:0)、肉豆蔻酸 (C14:0)、十五烷酸(C15:0)、十七烷酸 (C17:0)、硬脂酸 (C18:0)、花生酸甲酯(C20:0)、二十二烷酸二十烷基酯(C22: 0)。I组和II组的硬脂酸 (C18:0) 显著高于对照组和混合组 ($P<0.05$)。I组的花生酸甲酯(C20:0)显著高于对照组和混合组($P<0.05$), 与II组差异不显著($P>0.05$)。I组的二十二烷酸二十烷基酯(C22: 0)显著高于对照组和两个试验组 ($P<0.05$)。I组和II组背最长肌中的 SFA 含量显著高于对照组和混合组($P<0.05$), 对照组及III组的 SFA 含量差异不显著($P>0.05$)。

表 22 发酵麸皮多糖、过瘤胃甜菜碱及混合物对肉羊肌肉脂肪酸含量的影响 (mg/g)

Table.22 Effects of fermented bran polysaccharide, rumen-passing betaine and their mixtures on fatty acid

content in muscle of mutton sheep (mg/g)

项目	组别 group				P 值
Items	对照	I组	II组	III组	P-value
C8:0	0.022 ^a ±0.008	0.019 ^{ab} ±0.006	0.019 ^{ab} ±0.006	0.013 ^b ±0.004	0.11
C10:0	0.171±0.045	0.159±0.057	0.193±0.040	0.154±0.025	0.41
C11:0	0.007 ^a ±0.003	0.003 ^b ±0.001	0.004 ^b ±0.001	0.003 ^b ±0.001	0.001
C13:0	0.016±0.005	0.015±0.004	0.016±0.005	0.014±0.003	0.74
C14:0	3.485±0.921	4.589±1.805	4.610±1.243	3.329±0.694	0.16
C14:1	0.261±0.085	0.297±0.024	0.271±0.045	0.278±0.088	0.84
C15:0	0.550±0.079	0.559±0.035	0.575±0.141	0.517±0.086	0.76
C16:1	2.671 ^c ±0.399	5.252 ^a ±0.168	3.678 ^b ±0.442	2.882 ^c ±0.541	0.0001
C17:0	2.226±0.268	2.440±0.303	2.579±0.476	2.229±0.539	0.41
C17:1	1.104±0.098	1.160±0.074	1.267±0.118	1.157±0.193	0.22
C18:0	42.757 ^a ±1.196	37.130 ^{ab} ±4.545	39.789 ^a ±8.714	32.924 ^b ±4.545	0.03
C18:1n9c	92.260±11.277	113.206±25.546	113.107±20.202	92.105±18.031	0.15
C18: 2n6c	13.133 ^b ±3.407	23.628 ^a ±6.140	16.799 ^b ±3.477	14.513 ^b ±2.455	0.002
C18: 3n6	0.246±0.048	0.270±0.054	0.251±0.035	0.253±0.038	0.83
C18: 3n3	0.576±0.120	0.716±0.211	0.636±0.201	0.626±0.086	0.66
C20:0	0.135 ^b ±0.021	0.175 ^a ±0.038	0.144 ^{ab} ±0.024	0.121 ^b ±0.017	0.02
C20:1	0.163 ^b ±0.030	0.370 ^a ±0.112	0.204 ^b ±0.037	0.160 ^b ±0.052	0.0001
C20:2	0.443±0.043	0.579±0.190	0.474±0.115	0.445±0.129	0.29
C20: 3n6	0.298±0.094	0.380±0.101	0.305±0.081	0.299±0.065	0.36
C20: 4n6	3.232±1.329	4.233±1.661	3.649±1.000	3.627±1.083	0.64
C20: 5n3	0.242±0.033	0.298±0.038	0.269±0.066	0.305±0.042	0.12
C22: 0	0.0210 ^a ±0.002	0.0219 ^a ±0.007	0.015 ^b ±0.004	0.014 ^b ±0.005	0.01
C22: 2n6	0.022±0.009	0.026±0.005	0.024±0.009	0.024±0.003	0.9
C22: 6	0.157±0.067	0.206±0.031	0.157±0.050	0.177±0.048	0.39
SFA	38.939 ^b ±3.406	52.116 ^a ±4.294	47.929 ^a ±9.701	39.304 ^b ±5.578	0.003
UFA	111.156 ^b ±12.144	145.857 ^a ±27.251	136.992 ^a ±22.282	112.719 ^b ±18.248	0.03
MUFA	99.459±11.448	120.285±25.708	118.527±20.461	96.582±18.736	0.11
PUFA	14.697 ^b ±3.573	25.573 ^a ±6.302	18.465 ^b ±3.757	16.137 ^b ±2.604	0.002
UFA/SFA	2.846±0.427	2.799±0.458	2.858±0.191	2.868±0.127	0.66

注：同行数据肩标字母不同差异显著 ($P<0.05$)；肩标相同则差异不显著 ($P>0.05$)。

在背最长肌在羊肉背最长肌中一共检测出 10 种 UFA, 其中包括 5 种 MUFA: 十四碳烯酸 (C14:1)、棕榈烯酸 (C16:1)、顺-10-十七 (C17:1)、油酸 (C18:1n9c)、二十碳烯酸 (C20:1) 和 5 种 PUFA: 亚油酸 (C18: 2n6c)、亚麻酸甲酯 (C18: 3n6)、二十碳二烯酸 (C20:2)、亚麻酸 (C18: 3n3)、14-二十碳三烯酸甲酯 (C20: 3n6)。背最长肌中的 UFA II 组和 III 组与对照组相比差异不显著 ($P>0.05$)，但 I 组显著高于对照组 ($P<0.05$)。羊肉背最长肌中的 MUFA 对照组与三个试验组差异均不显著 ($P>0.05$)。I 组、II 组和 III 组背最长肌中十四碳烯酸 (C14:1) 与对照组相比差异不显著 ($P>0.05$)。I 组和 II 组背最长肌中棕榈烯酸 (C16:1) 的含量显著高于对照组 ($P<0.05$)，III 组的棕榈烯酸 (C16:1) 含量高于对照组但差异不显著，I 组的棕榈烯酸 (C16:1) 显著高于 II 组 ($P<0.05$)。四组含量 I 组>II 组>III 组>对照组。背最长肌中顺-10-十七 (C17:1)、油酸 (C18:1n9c) 的含量 4 组差异无显著影响 ($P>0.05$)。I 组显著增加背最长肌中二十碳烯酸 (C20:1) 的含量 ($P<0.05$)，II 组和 III 组背最长肌中二十碳烯酸 (C20:1) 的含量与对照组差异不显著 ($P>0.05$)，II 组的二十碳烯酸 (C20:1) 的含量高于混合组但差异不显著 ($P>0.05$)。PUFA 在背最长肌中 I 组显著高于对照组及其他两个试验组 ($P<0.05$)。II 组和 III 组对背最长肌中 PUFA 的含量影响不显著 ($P>0.05$)。羊肉背最长肌中亚麻酸甲酯 (C18: 3n6)、二十碳二烯酸 (C20:2)、亚麻酸 (C18: 3n3)、14-二十碳三烯酸甲酯 (C20: 3n6) 的含量均与对照组含量差异不显著 ($P>0.05$)，单个试验组之间含量差异也均不显著 ($P>0.05$)。与对照组相比，背最长肌中 I 组可以显著提高亚油酸 (C18: 2n6c) 的含量 ($P<0.05$)；II 组和 III 组对背最长肌中的亚油酸 (C18: 2n6c) 的含量差异不显著 ($P>0.05$)，但有提高作用。I 组的最长肌中亚油酸 (C18: 2n6c) 的含量显著高于 II 组和 III 组 ($P<0.05$)。与对照组相比，三个试验组背最长肌中 PUFA/SFA 的比值差异不显著 ($P>0.05$)。

2.3.4 讨论

2.3.4.1 发酵麸皮多糖、过瘤胃甜菜碱及混合物对肉羊背最长肌肌苷酸含量的影响

肌苷酸 (IMP) 是评定畜禽肌肉鲜味物质，并可以提高畜禽的肉质鲜味^[101]。而肌苷酸的含量越高其肉色就越好，肌肉肉品质越好。动物日粮饲喂的添加剂直接影响动物肌肉内肌苷酸含量。占秀安^[102]研究发现，在肉鸡的饲料中添加甜菜碱显著提高其肌肉内的肌苷酸含量。马建爽等^[52]研究发现，在肉鸡的饲料中添加 0.05%、0.10% 和 0.20% 的甜菜均可以显著提高其肌肉中的肌苷酸含量。汪以真等

^[103]研究表明,在饲喂肥育猪的日粮中添加 1000mg/kg 的甜菜碱对其背最长肌中的肌肉的苷酸含量比对照组提高了 21.79%。而本试验研究发现,日粮中添加过瘤胃甜菜碱显著低于对照组,与前人研究不一致,可能原因为日粮中添加的过瘤胃甜菜碱的含量不足。郭亮等^[104]研究发现,在肉鸡日常饮水中加入茶多糖可以提高其胸肌之内的肌苷酸含量。与本研究的实验方式和实验动物虽然有较大的出入,但是本质是基本相同的,而且研究结果也是一样的。在本文所进行的实验中,加入发酵麸皮多糖和过瘤胃甜菜碱可以显著提高杜寒杂交羊的肌肉肌苷酸含量。由此,可以得出日粮中添加发酵麸皮多糖和过瘤胃甜菜碱对肉羊肌苷酸的含量具有一定的调控作用。

2.3.4.2 酵麸皮多糖、过瘤胃甜菜碱及混合物对肉羊背最长肌三种短链脂肪酸含量的影响

由于羊肉在蒸煮过程中会散发膻味,这种膻味是影响羊肉食用的主要因素。而导致羊肉蒸煮过程中膻味大的主要物质是支链脂肪酸(BCFAs),研究发现羊肉中支链脂肪酸的含量高于其他反刍动物^[105]。但就支链脂肪酸其中的一种物质来说,并不会产生较为明显的羊膻味,比如 4-甲基辛酸这一物质,单独考察的话,其可以作为羊肉肉香指标系数,因为它本身的味道具有蜡样肉的脂肪和内酯香气等^[106]。另外一种物质就是 4-己基辛酸,它本身也并没有较大的膻味,而且也不会在常规情况下散发十分明显的味道,只有在进行烹饪、烧烤、各种奶酪制品等中才会存在^[107]。YOUNG 等人^[108]研究发现,虽然 4-甲基辛酸和 4-甲基壬酸不能直接导致羊肉产生较大膻味,但二者的存在必然会在一定条件下产生膻味。Matthew H 等人^[109]在对各种类型的支链脂肪酸进行实验分析时发现,挥发性的支链脂肪酸当中,会产生比其他类型的支链脂肪酸更多的 4-甲基辛酸。BRENNAND 等人^[110]研究发现,羔羊的 4-甲基辛酸和 4-乙基辛酸对膻味起主要作用。本试验发现日粮中添加发酵麸皮多糖、过瘤胃甜菜碱和混合添加剂均可以降低肌肉中的膻味物质 4-甲基辛酸和 4-甲基壬酸+4-乙基辛酸的含量。而目前日粮中添加发酵麸皮多糖、过瘤胃甜菜碱对羔羊支链脂肪酸 4-甲基辛酸、4-乙基辛酸和 4-甲基壬酸的研究报道较少,具体的调节机制还需进一步进行研究。

2.3.4.3 发酵麸皮多糖、过瘤胃甜菜碱及混合物对肉羊背最长肌脂肪酸含量的影响

脂肪酸是动物肉制品中一个十分重要的营养成分,动物肉制品中的脂肪酸含量以及其组成均可以影响畜禽肉品质的嫩度、多汁性肌肉的硬度和氧化稳定性等,从而影响羊肉的风味和色泽。并且脂肪酸也是评定动物肉制品的营养和食用价值

的一个非常重要的标准。而在脂肪酸中 UFA 相比起 SFA 更加容易形成肌肉的风味, 其中极易氧化的就是 PUFA, 它的氧化产物可以直观作用于风味物质的组成^[111]。并且 PUFA 还是影响羊肉品质和特殊营养物质的重要指标。肉制品的 SFA 如果水平较高很容易导致食用者心血管疾病的发生。同时 Saudo 等人^[112]研究发现, SFA 包括的硬脂酸含量与羊肉自身所散发的膻味有很大的关联性。本试验发现, 发酵麸皮多糖组的羊肉背最长肌中的 UFA 的含量与对照组和两个试验组相比差异显著 ($P<0.05$), 由此可以表明, 发酵麸皮多糖对羊肉背最长肌的营养养生有显著的效果。过瘤胃甜菜碱组的 UFA 与两个试验组差异不显著 ($P>0.05$), 与对照组差异也不显著但有提高的作用。陆清儿等^[113]研究报道, 在日粮中添加 0.20% 的甜菜碱, 可以提高鱼肉 28.93% 的总脂肪酸含量和 23.81% 的 UFA 含量。马建爽等^[53]研究表明, 日粮中添加 0.20% 的甜菜碱可以提高肉鸡的胸肌和腿肌之中的 UFA 含量。Fernández 等人^[114]认为, 在羔羊日粮中添加 0.20% 的甜菜碱可以使其背最长肌肌肉中的 MUFA 含量有所提升。与本实验研究结果一致。Shanmugasudara 等^[115]研究发现, 在肉鸡的日粮中添加毕赤酵母甘露聚糖, 可以对肉鸡肠道内小分子脂肪酸的含量有提高的作用。多不饱和脂肪酸中包含了人体所需的必须脂肪酸, 在本试验中检测出的必须脂肪酸为亚油酸, 日粮中添加发酵麸皮多糖与对照组相比有显著提高的作用, 过瘤胃甜菜碱组和混合添加剂均可以提高亚油酸但差异不显著。由此可以看出, 在肉羊日粮中添加发酵麸皮多糖、过瘤胃甜菜碱及其混合添加剂均可以提高人体所需的必须脂肪酸的含量, 以此可以提高羊肉的营养水平。

2.3.5 小结

(1) 日粮中添加发酵麸皮多糖、过瘤胃甜菜碱及其混合添加剂均可以提高肉羊肌肉中的肌苷酸含量, 可以提高肉羊的肉质鲜味。

(2) 日粮中添加发酵麸皮多糖、过瘤胃甜菜碱、混合添加剂均可以降低肉羊肌肉中的 4-甲基辛酸和 4-甲基壬酸+4-乙基辛酸的含量。从而改善羊肉肉质的膻味。

(3) 日粮中添加发酵麸皮多糖、过瘤胃甜菜碱、混合添加剂均可以提高多不饱和脂肪酸以及日常必须脂肪酸的含量, 由此可以提高肉羊的肉制品营养水平。

3 总体讨论与结论

3.1 总体讨论

由于我国人口数量的不断升高、对膳食质量与口感的要求不断升高。而羊肉则是一种营养价值极高、脂肪含量较低、较低胆固醇以及其肉质鲜嫩多汁的一种纯天然的畜产品。所以羊肉受到国人的喜爱,虽然羊肉的营养水平较高,并含有很多的对人体健康有益处的元素,但是在实际的肉类消费报告当中,羊肉的销售量并不出彩,市场份额仅处于全部肉类销售量的第四名,前几名则属于牛肉、禽肉和猪肉^[62]。但由于羊肉蒸煮的过程中会散发出一种不被一部分人喜爱的气味转而选择其他。所以目前对于养羊业的一项非常迫切且重要的一项挑战就是,羊肉生产过程中不仅仅要满足羊肉产量的输出问题,还要对生产出来的羊肉肉品质的质量及其风味符合大量消费者的要求。

有研究表明,动物的肌肉脂肪和动物的月龄与羊肉肉品质有遗传相关性,当适当的提高肉质的肌肉脂肪含量,可以提高肉质口感、风味与嫩度等等,以此来改善羊肉的肉品质^[116],而此点与本试验的研究结果一致。随着现代人类对自身保健与食物口感的追求,对于羊肉中的不饱和脂肪酸的含量就有了要求,随着肌肉内不饱和脂肪酸的沉积提高,羊肉的营养保健水平也会随之升高,而此富含不饱和脂肪酸的肌肉更加被大众需要与认可。本试验研究发现,日粮中添加发酵麸皮多糖能够显著提升羊肉中的不饱和脂肪酸沉积,而添加过瘤胃甜菜碱和混合添加剂可以提高羊肉的不饱和脂肪酸沉积。而其中动物机体所需的必须脂肪酸亚油酸三个试验组均有增加的趋势,但发酵麸皮多糖组更为显著($P<0.05$)。而此结果与其抗氧化性能可能存在很大的关联性。本论文中抗氧化试验结果显示,日粮中添加发酵麸皮多糖、过瘤胃甜菜碱及混合添加剂均可以提高肌肉、瘤胃组织和血液中的抗氧化酶活性和降低MDA的含量。这与孟子琪等^[15]报道的日粮中添加发酵麸皮多糖对杜寒杂交羊的T-AOC能力、抗氧化酶活性及GSH含量均有提高的作用,还可以降低丙二醛的浓度,的结果一致。崔慧慧等^[26]研究表明,日粮中添加过瘤胃甜菜碱对杜寒杂交羊的抗氧化酶活力均有提高的效果,并可以降低MDA含量,的结果相似。

据报道,4-甲基辛酸和4-乙基辛酸均是主要导致羊肉产生特殊风味的脂肪酸,4-甲基壬酸则是由于其的变化范围比较广泛,所以其作用相对于4-甲基辛酸和4-乙基辛酸作用效果较小^[117]。本试验发现,日粮中添加发酵麸皮多糖、过瘤胃甜菜碱及混合添加剂均可以降低肌肉中的4-甲基辛酸和4-甲基壬酸+4-乙基辛酸但差异不显著($P>0.05$),而混合添加剂组的4-甲基辛酸显著低于对照组和两个试验组($P<0.05$)。肉风味还包括鲜味,鲜味则是源自于肌肉中的鲜味呈味物比如无机盐、核苷酸的代谢产物比如肌苷酸^[118]。本试验发现,日粮中添加发酵麸皮

多糖对肉羊肌苷酸的含量具有显著的调控作用。而日粮中添加过瘤胃甜菜碱和混合添加剂与对照组相比无显著性差异 ($P>0.05$), 但具有提高的效果。与汪以真^[37], 崔慧慧^[26]等研究结果一致。

3.2 总体结论

(1) 日粮中添加发酵麸皮多糖、过瘤胃甜菜碱和混合添加剂提高肉羊的背最长肌、血清及瘤胃组织的抗氧化酶活性, 从而可以提高脂质氧化的稳定性。对羊肉背最长肌的肌肉理化指标有提高效果, 提高肉羊的不饱和脂肪酸的含量, 由此对羊肉肉品质具有一定的改善效果。

(2) 日粮中添加发酵麸皮多糖、过瘤胃甜菜碱及混合添加剂降低了肌肉中的 4-甲基辛酸和 4-甲基壬酸+4-乙基辛酸含量, 并对肉羊肌苷酸的含量具有一定的调控作用, 由此可以改善羊肉的风味及鲜味。

4 论文创新点

有研究报道羔羊日粮中添加过瘤胃甜菜碱或发酵麸皮多糖的单独研究,但是两者的复合添加剂及其对羊肉风味物质的影响鲜有报道。

5 展望

通过研究比较过瘤胃甜菜碱和发酵麸皮多糖及其混合添加剂对肉羊屠宰性能、肉品质、抗氧化及风味物质的影响,筛选出对羊肉风味更优的饲料添加剂,为畜禽生产实践提供理论依据。

致 谢

行文至此, 两年的专业硕士研究生的学习和生活就要随着这篇论文的答辩而结束了, 回味过去的两年, 尽管我做的不够完美, 但是我努力了, 奋斗了, 并且还收获了知识和良师益友。

师恩如母, 永记于心。首先, 我要感谢我的研究生导师—高爱琴教授。在学习上, 导师严谨治学的做份和专业的学术素养是我学习的楷模; 在生活上, 老师对到我们就像慈母一般关爱; 在论文的写作上, 不论是选题、开题、文章框架的构建直到最后的定稿, 都得到了高老师细心地指导和严格的要求。涓涓师恩, 情深意切, 铭记于心。

感谢王园老师、张润厚老师、安晓萍老师等老师, 在我学习、生活和试验方面的严格要求与指导。

还记得7月份下羊场开试验, 我对于理论知识没掌握完全, 试验更是一窍不通。在此过程中出现了很多坎坷, 正是由于他们的帮助, 使我安全的结束试验。在此过程中非常感谢我的同门李鹏星同学、师弟季寅辰、师妹刘叶青和李艺蔓、郭焘同学和师弟们的帮助。感谢我的同届好友邢星同学、孙英同学、周旭森同学和学妹赵亚慧、学妹李飒等同学对我试验上的帮助。

感谢宿舍的舍友安雅雯同学、张凤婷同学和李愿同学, 对我生活上和试验上的帮助, 感谢这两年的陪伴。

感谢我的家人, 感谢他们对我无条件的支持。在家人的面前我总是将自己最坏的情绪表现在他们的面前, 但现在的我不会再这样了, 我会试着变成熟, 学会长大, 希望我们一家人健康快乐。

感谢我的母校, 内蒙古农业大学。虽然我只在内蒙古农业大学学习和生活了两年, 但我在此学到了很多, 并成长了很多。

参 考 文 献

- 1 高奇. 我国城乡居民肉类消费特征及影响因素分析[D].中国农业科学院,2016.
- 2 孙丽敏. 乾华肉用美利奴羊与小尾寒羊肉用性能及肌肉组织 mRNA-miRNA 表达谱整合分析研究[D].吉林农业大学,2017.
- 3 王继卿,沈继源,刘秀,等. 子午岭黑山羊与辽宁绒山羊产肉性能、肉品质、肌肉营养成分和脂肪酸含量比较[J]. 草业学报,2021,30(02):166-177.
- 4 郭俊强,徐晓锋,谢忠奎,等. 脂肪酸对羊肉品质的影响研究进展[J]. 中国饲料,2019(23):69-75.
- 5 刘哲,吴建平.羊肉风味的影响因素及研究现状[J].北方牧业,2011 (14): 26.
- 6 杜琨,张亚宁,方多.呈味核苷酸及其在食品中的应用[J].中国酿造,2005(10):50-52.
- 7 张志超,王小琪,段子渊,等.呼伦贝尔大尾羊的年龄、性别及肌肉部位与其肉品质风味的关系研究[J].黑龙江畜牧兽医,2020(20):51-56.
- 8 李玉忠,路宏科,陈兴叶,等.利用生物酶解技术提高小麦麸皮食用性的研究[J].价值工程,2014,33(11):301-303.
- 9 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].内蒙古农业大学,2017.
- 10 王忠合,钟丽娴.麦麸活性多糖的提取、组成及其抗氧化性研究[J].食品工业科技,2009,30(07):115-119.
- 11 刘秀珍,曹丽,彭代银,等.小麦阿拉伯木聚糖结构性质与生理功能研究进展[J].安徽医药,2010,14(06):629-631.
- 12 袁小平,王静,姚惠源.小麦麸皮阿魏酰低聚糖对红细胞氧化性溶血抑制作用的研究[J].中国粮油学报,2005(01):13-16.
- 13 田贝贝,陈洁,王远辉.小麦淀粉加工废水中阿拉伯木聚糖的理化性质及抗氧化活性研究[J].食品工业科技,2017,38(15):40-44.
- 14 Li YJ, Li LY, Li JL, et al. Effects of dietary supplementation with ferulic Acid or vitamin e individually or in combination on meat quality and antioxidant capacity of finishing pigs[J]. Asian-Australas J Anim Sci. 2015;28(3):374-381. doi:10.5713/ajas.14.0432
- 15 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].内蒙古农业大学,2018.
- 16 冀祥. 腐植酸钠和麸皮多糖对肉仔鸡生长免疫、屠宰性能及肉品质的影响[D].内蒙古农业大学,2020.
- 17 王文文,王园,郝希然,等.发酵麸皮多糖对大鼠组织细胞因子含量及盲肠菌群结构的影响[J].动物营养学报,2019,31(06):2865-2874.
- 18 朱翠玲. 小麦麸皮多糖对巨噬细胞免疫调节作用的研究[D].扬州大学,2017.
- 19 刘丽娅,赵梦丽,钟葵,等.小麦麸皮阿拉伯木聚糖体外益生活性研究[J].中国粮油学

- 报,2016,31(10):1-5+30.
- 20 赵梦丽. 小麦阿拉伯木聚糖益生与免疫调节活性研究[D].中国农业科学院,2015.
- 21 张梅红. 小麦麸皮阿拉伯木聚糖的制备及益生活性研究[D].中国农业科学院,2013.
- 22 解春艳. 茶薪菇发酵制备麦麸膳食纤维与阿魏酰低聚糖及其生物活性研究[D].南京农业大学,2010.
- 23 李暄. 发酵麸皮多糖提取、分离纯化及生物活性研究[D].内蒙古农业大学,2019.
- 24 胡宇超,王园,孟子琪,等.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[J].动物营养学报,2020,32(02):932-940.
- 25 王园,杨可心,段元霄,等.发酵麸皮多糖对大鼠空肠组织抗氧化能力、形态结构和紧密连接蛋白表达的影响[J].食品科学,2019,40(13):166-170.
- 26 崔慧慧. 过瘤胃甜菜碱对湖羊生产性能和肉品质的影响[D].扬州大学,2015.
- 27 M.T. Kidd, P.R. Ferket, J.D. Garlich. Nutritional and osmoregulatory functions of betaine[J]. World'S Poultry Science Journal, 1997, 53(2):125-139.
- 28 张涛,董宽虎. 蛋氨酸、胆碱和甜菜碱在甲基供体中的相互关系[J].中国家禽,2003(12):42-44.
- 29 Fetterer R H, Augustine P C, Allen P C, et al. The effect of dietary betaine on intestinal and plasma levels of betaine in uninfected and coccidia-infected broiler chicks[J]. Parasitology Research, 2003, 90(4):343-8.
- 30 王海超. 甜菜碱对仔猪生长和肠道功能的影响及机制研究[D].浙江大学,2019.
- 31 王磊.甜菜碱的渗透压调节作用与动物肠道健康[J].饲料博览,2013(09):49-52.
- 32 聂奎,李朝玲,向飞宇,等.甜菜碱与鸡球素、球痢灵配伍对鸡球虫的疗效试验[J].四川畜牧兽医学院学报,2001(04):1-4.
- 33 Warren L K, Lawrence L M, Thompson K N. The influence of betaine on untrained and trained horses exercising to fatigue[J]. Journal of Animal Science, 1999, 77(3):677-84.
- 34 于晓辉,梁艳萍.生产羔羊肉的经济效益分析[J].畜牧兽医科技信息,2008(08):74.
- 35 刘秋月,黄文杰,王芬,等.甜菜碱药理活性及其机制研究进展[J].实用医药杂志,2016,33(04):371-374.
- 36 徐中南,谢梅林,陆伦根,等.甜菜碱对大鼠酒精性脂肪肝的影响[J].肝脏,2006(03):163-166.
- 37 汪以真,许梓荣,冯杰.甜菜碱对猪肉品质的影响及机理探讨[J].中国农业科学,2000(01):97-102.
- 38 杨东,王文义,马涛,等.甜菜碱和L-肉碱对蒙寒杂交羊生长性能、屠宰性能、器官发育及脂肪沉积的影响[J].动物营养学报,2018,30(12):5134-5144.
- 39 周向红,臧玉波,易乐飞.低温条件下诱食剂对泥鳅诱食作用的研究[J].水产科技情报,2005(05):23-25.

46 日粮中添加发酵麸皮多糖和过瘤胃甜菜碱对杜寒杂交羊肉品质、抗氧化性力和风味物质组成的影响

- 40 李星星,冷向军,李小勤.不同诱食剂对异育银鲫、奥尼罗非鱼作用效果的研究[J].粮食与饲料工业,2006(11):37-39.
- 41 许国煊,丁庆秋,王燕.几种诱食剂对大口鲶摄食效果的影响[J].水利渔业,2000(02):40-41.
- 42 刘立鹤,郑石轩,郑献昌,等.饲料中添加不同诱食剂对南美白对虾生长和饲料消化的影响[J].淡水渔业,2003(05):12-15.
- 43 宋明彤,祝倩,马文强,等.饲料添加甜菜碱对巴马香猪血常规指标和器官生长的影响[J].动物营养学报,2020,32(04):1908-1915.
- 44 高乾坤,马翠,孔祥峰,等.饲料添加甜菜碱对巴马香猪繁殖性能、初乳成分及血浆代谢物和繁殖激素含量的影响[J].动物营养学报,2020,32(02):646-653.
- 45 申超超.低蛋白饲料下甜菜碱水平对育肥期三元杂交猪生化指标及生长性能的影响[D].甘肃农业大学,2017.
- 46 董冠.甜菜碱对生长肥育猪生产性能及血清指标影响的研究[D].山东农业大学,2012.
- 47 许梓荣,余东游,汪以真,等.甜菜碱对断奶仔猪生长和消化性能的影响[J].浙江农业学报,1999(04):36-40.
- 48 陈晓春,俞宁,齐慧,等.甜菜碱对家禽肠道健康及营养物质消化影响的研究进展[J].养殖与饲料,2018(12):53-57.
- 49 胡云,耿彦强,罗绪刚,等.母鸡饲喂甜菜碱缓解皮质酮诱导的子代鸡脂肪肝作用及机制.中国化学会中国化学会第一届农业化学学术讨论会论文集[C].2019:1.
- 50 陈宇星,郑玉才,徐亚欧,等.甜菜碱对藏鸡产蛋性能及蛋品质的影响[J].中国家禽,2018,40(23):23-26.
- 51 陈志辉,牟韶阳,段晓雪,等.甜菜碱对肉仔鸡生产性能和免疫功能的影响[J].中国饲料,2017(02):25-28.
- 52 马建爽,常文环,张妹,等.甜菜碱对肉鸡生长性能、脂质代谢及肌肉风味品质的影响[J].动物营养学报,2015,27(01):185-195.
- 53 朱定贵,于丹,陈涛,等.甜菜碱对奥尼罗非鱼生长、体脂含量及血清生化指标的影响[J].上海海洋大学学报,2011,20(02):224-229.
- 54 宦海琳,汪益峰,周维仁,等.L-肉碱、甜菜碱、氯化胆碱对异育银鲫生长性能及肌肉品质的影响[J].饲料工业,2009,30(24):31-33.
- 55 陈统明.甜菜碱对肉牛生长性能以及血液指标的影响[J].畜牧与兽医,2013,45(06):46-49.
- 56 贾亚伟.甜菜碱和酵母铬对牛抗热应激效应的研究[D].西南大学,2011.
- 57 刘凯,李飞,唐德富,等.日粮甜菜碱和过瘤胃脂肪对育肥湖羊生长性能和消化参数的影响[J].草业科学,2016,33(12):2565-2575.
- 58 张英杰,刘月琴.营养物质过瘤胃保护技术[J].中国饲料,2000(20):13-14.
- 59 马晨.反刍动物过瘤胃保护技术[J].新农业,2016(11):39-40.

- 60 姜贝贝,李华伟,王洪荣.过瘤胃保护甜菜碱和过瘤胃保护胆碱对 1~3 月龄湖羊生长性能、消化性能、屠宰性能和脂肪沉积的影响[J].动物营养学报,2017,29(05):1785-1791.
- 61 俄木曲者,熊朝瑞,范景胜,等.羔羊肉品风味及其影响因素的研究进展[J].中国草食动物科学,2014(S1):39-42.
- 62 Maria Font-i-Furnols, Luis Guerrero. Consumer preference, behavior and perception about meat and meat products: An overview[J]. Meat Science, 2014, 98(3):361-371.
- 63 Caruso Giorgia. Antibiotic Resistance in Escherichia coli from Farm Livestock and Related Analytical Methods: A Review[J]. Journal of AOAC INTERNATIONAL, 2018, 101(4):916-922.
- 64 丁兰兰,刘策,郭娉婷,等.肉羊眼肌面积 4 种测定方法的比较[J].中国畜牧杂志,2016,52(17):68-71.
- 65 侯鹏霞,李毓华,王建东,等.饲料添加氨基酸锌对育肥羊屠宰性能、肉品质及血液和组织中微量元素含量的影响[J].动物营养学报,2021,33(01):563-571.
- 66 杜丽英,王福传,杨春雷,等.黄芪对太行黑山羊生产性能的影响[J].山西农业科学,2017,45(05):832 - 834+838.
- 67 蒋雪樱,张瑞强,颜瑞,等.不同甜菜碱产品对肉鸡屠宰性能、肉品质及肌肉抗氧化性能的影响[J].饲料工业,2016,37(23):14-17.
- 68 A.B. Rodríguez, R. Bodas, R. Landa, et al. Animal performance, carcass traits and meat characteristics of Assaf and Merino×Assaf growing lambs[J]. Livestock Science, 2010, 138(1):13-19.
- 69 Fattening performance. carcass and meat quality characteristics of Kivircik male lambs[J].Tropical Animal Health and Production,2012,44 (7) :1491-1496.
- 70 樊懿莹,王锋,王强,等.发酵木薯渣替代部分玉米对湖羊生长性能、血清生化指标、屠宰性能和肉品质的影响[J].草业学报,2017,26(03):91-99.
- 71 Elisabeth Huff-Lonergan, Steven M. Lonergan. Mechanisms of water-holding capacity of meat: The role of postmortem biochemical and structural changes[J]. Meat Science, 2005, 71(1):194-204.
- 72 侯鹏霞.滩羊羔羊早期补饲以及不同体重阶段羊肉品质的研究[D].宁夏大学,2014.
- 73 S.C. SEIDEMAN. Methods of Expressing Collagen Characteristics and Their Relationship to Meat Tenderness and Muscle Fiber Types[J]. Journal of Food Science, 1986, 51(2):273-276.
- 74 钱文熙.滩羊肉品质研究[D].宁夏大学,2005.
- 75 孙焕林,张文举,刘艳丰,等.影响羊肉品质因素的研究进展[J].饲料博览,2014(1):8—12.
- 76 武雅楠,曹玉凤,高艳霞,等.日粮中添加亚麻籽对羔羊产肉性能和肉品质的影响[J].畜牧兽医

48 日粮中添加发酵麸皮多糖和过瘤胃甜菜碱对杜寒杂交羊肉品质、抗氧化性力和风味物质组成的影响

- 学报,2012,43(09):1392-1400.
- 77 黄冬维,马荣幸,丁海生,等.甜菜碱对皖南黄兔屠宰性能及肉品质的影响[J].中国草食动物科学,2020,40(06):75-78.
- 78 Page J K, Wulf D M, Schwotzer T R. A survey of beef muscle color and pH[J]. Journal of Animal Science, 2001, 79(3): 678-87.
- 79 马玉龙,王玲,雍建华,等.甜菜碱对肥育猪胴体组成及肉质的影响[J].宁夏大学学报(自然科学版),2000(04):349-351.
- 80 汝医,胡鹏,王守经,等.蒸煮时间对羊肉嫩度及其营养组分的影响[J].食品工业,2015,36(03):233-235.
- 81 王琳琳,陈炼红,韩玲,等.茶多酚对宰后牦牛肉线粒体细胞凋亡和肌肉嫩度的影响[J].农业机械学报, 2019, 50(10):352—359;366.
- 82 张玉伟,罗海玲,贾慧娜,等.肌肉系水力的影响因素及其可能机制[J].动物营养学报, 2012, 24(8):1389—1396.
- 83 吴觉文. 谷胱甘肽对黄羽肉鸡生长及其内分泌的影响[D]. 广州: 华南农业大学, 2003.
- 84 寇宇斐,朱文斌,李飞,等. 饲料中添加不同比例全株桑枝叶对育肥湖羊生长性能、养分表观消化率、血清抗氧化指标和瘤胃发酵参数的影响[J/OL]. 动物营养学报:1-10[2021-03-28].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.5461.S.20210119.1335.026.html>.
- 85 卢霞,王君,王颢,蔺美玲,瞿颂义,郑天珍.甜菜碱对高脂性肥胖大鼠体重和生化指标的影响[J].营养学报,2008(03):311-312+315.
- 86 张林,刘雨娟,陈红梅,等.甜菜碱对脂肪组织释放游离脂肪酸和抗氧化能力的影响[J].时珍国医国药,2009,20(12):2915-2916.
- 87 Hur S j, Park G B, jooS T. Effect of storage temperature on meat quality of muscle with different fiber type composition from korean native cattle[J].Journal of Feed Qua lity, 2009, 32(3):315-333
- 88 J Çoban Jale, Bingül İlknur, Yesil-Mizrak Kubra, et al. Effects of carnosine plus vitamin E and betaine treatments on oxidative stress in some tissues of aged rats[J]. Current Aging Science, 2013,6(2):199-205.
- 89 毛湘冰,陈代文,胡海燕,等.饲料中添加香菇多糖对断奶大鼠生长性能、抗氧化能力和肠道健康的影响[J].动物营养学报,2017,29(03):859-865.
- 90 杨万宗. 荞麦秸秆日粮中添加甘露寡糖对滩羊生产性能、免疫和抗氧化功能的影响[D].宁夏大学,2020.
- 91 魏涛,高玉鹏,杜忍让,等. 复合酶制剂对蛋鸡血清抗氧化酶系与肠道形态学影响[J]. 饲料与畜牧, 2011(1): 13-16.
- 92 吴永霞,董国忠,贾亚伟.氧化应激对奶牛的危害及其防治[J].中国饲料,2011(04):32-35.

- 93 陈伟. 猪 GPx4 基因表达差异与骨骼肌抗氧化性能的研究[D]. 山东农业大学, 2011.
- 94 孙佩佩, 周晓容, 宋代军, 等. 发酵菜籽粕替代豆粕饲喂生长猪对其生长性能、血清生化指标、抗氧化能力和免疫功能的影响[J]. 动物营养学报, 2019, 31(02): 874-882.
- 95 Akhavan-Salamat H, Ghasemi H A. Alleviation of chronic heat stress in broilers by dietary supplementation of betaine and turmeric rhizome powder: dynamics of performance, leukocyte profile, humoral immunity, and antioxidant status[J]. Trop Anim Health Prod, 2016, 48: 181-188.
- 96 Zhang L, Ying S J, An W J, et al. Effects of dietary betaine supplementation subjected to heat stress on milk performances and physiology indices in dairy cow[J]. Genet Mol Res, 2014, 13(3): 7577-7586.
- 97 Alirezaei M, Gheisari H R, Ranjbar V R, et al. Betaine: a promising antioxidant agent for enhancement of broiler meat quality[J]. Br Poult Sci, 2012, 53: 699-707.
- 98 Life Science Research - Animal Science; Reports Summarize Animal Science Findings from ICAR-Indian Veterinary Research Institute (Effect of Dietary Betaine Supplementation On Production and Reproductive Performance, Milk Composition and Serum Antioxidant Profile In Gestating Sows)[J]. Chemicals & Chemistry, 2019.
- 99 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.
- 100 Mishra A, Verma A K, Das A, et al. Effect of dietary betaine supplementation on production and reproductive performance, milk composition and serum antioxidant profile in gestating sows[J]. Indian J Anim Sci, 2019, 89(3): 246-250.
- 101 Narukawa Masataka, Morita Kanako, Hayashi Yukako. L-theanine elicits an umami taste with inosine 5'-monophosphate[J]. Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry, 2008, 72(11): 3015-7.
- 102 占秀安. 甜菜碱对肉鸡生长和肉质的影响[J]. 辽宁畜牧兽医, 2001(06): 2-3.
- 103 汪以真, 许梓荣. 甜菜碱对生长肥育猪体脂重分配的作用及机理研究[J]. 畜牧兽医学报, 2001, 32(2): 122-128.
- 104 郭亮, 杜娟, 胡忠泽, 等. 茶多糖对鸡肉品质的影响及机理研究[J]. 中国兽医学报, 2007(04): 554-557.
- 105 W. R. H. Duncan, G. A. Garton. Differences in the proportions of branched-chain fatty acids in subcutaneous triacylglycerols of barley-fed ruminants[J]. British Journal of Nutrition, 1978, 40(1): 29-33.
- 106 马洪亮, 李锐, 李庆廷, 等. 4-甲基辛酸的合成研究[J]. 香料香精化妆品, 2010(03): 1-2+5.

50 日粮中添加发酵麸皮多糖和过瘤胃甜菜碱对杜寒杂交羊肉品质、抗氧化性力和风味物质组成的影响

- 107 刘玉平,尹德才,陈海涛,等.食用香料 4-乙基辛酸的合成概况[J].中国食品添加剂,2010(01):155-158.
- 108 O. A. Young, J.-L. Berdagué, C. Viallon, et al. Fat-borne volatiles and sheepmeat odour[J]. Meat Science, 1997, 45(2):183-200.
- 109 Matthew H, Chirala S, Wakil SJ. Human fatty 2 acid synthase gene[J].J.Biol Chem, 1996 , 271 :13584 - 13592.
- 110 Brennand C P. Lind sayistribution of volatile branched chain fattyacid sinvariou slam btissues[J]. Meat Science, 1992, 31 (4) :411-421.
- 111 Ness Andy. Diet, Nutrition and the Prevention of Chronic Diseases. WHO Technical Report Series 916. Report of a Joint WHO/FSA Expert Consultation[J]. International Journal of Epidemiology, 2004, 33(4):914-915.
- 112 C. Sañudo, M.E. Enser, M.M. Campo, et al. Fatty acid composition and sensory characteristics of lamb carcasses from Britain and Spain[J]. Meat Science, 2000, 54(4):339-346.
- 113 陆清儿, 李忠全, 李行先. 盐酸甜菜碱对短盖巨脂鲤脂肪代谢的影响[J]. 海洋与湖沼, 2003, 34(3): 306-312.
- 114 C Fernández, L Gallego, C.J Lopez-Bote. Effect of betaine on fat content in growing lambs[J]. Animal Feed Science and Technology, 1998, 73(3):329-338.
- 115 Shanmugasudaram M, Ram V, Jayasuria S., et al. ZOTAROLIMUS DRUG ELUTING STENTS IN PERCUTANEOUS REVASCULARIZATION COMPARED TO 1ST GENERATION DES IN HIGH RISK PATIENTS WITH LEFT MAIN CORONARY ARTERY DISEASE[J]. Journal of Investigative Medicine, 2011, 59(1):151-151.
- 116 Mortimer S I, Hatcher S, Fogarty N M, et al. Genetic correlations between wool traits and meat quality traits in Merino sheep[J]. Journal of Animal Science, 2017, 95(10):4260-4273.
- 117 Brennand C P, Lindsay R C. Sensory discrimination of species-related meat flavors[J]. Lebensmittel Wissenschaft and Technologies, 1982, 15 (5) :249-152.
- 118 张海艳,于太永,关伟军.肌苷酸形成机理及其含量影响因素浅析[J].中国农业科技导报,2004(03):17-21

作者简介

陈旭，女，蒙古族，1995年11月出生于内蒙古赤峰市元宝山区，2013年9月至2017年6月攻读河套学院动物科学专业，2017年本科毕业，获得农学学士学位，2019年9月考入内蒙古农业大学动物科学学院，师从高爱琴教授，攻读畜牧专业硕士学位。