

饲料中添加肉桂醛对羔羊生长性能、消化代谢以及微生物蛋白合成的影响

崔乔¹ 郝小燕¹ 张宏祥² 陈彦华³ 项斌伟⁴ 张文佳⁴ 张春香¹ 张建新^{1*}

(1.山西农业大学动物科学学院,太谷 030801;2.山西祥和岭上农牧开发有限公司,右玉 037200;

3.山西安弘检测技术有限公司,太原 030000;4.山西省右玉县畜牧兽医中心,右玉 037200)

摘要: 本试验旨在研究饲料中添加肉桂醛(CA)对羔羊生长性能、养分表观消化率、能量和氮代谢以及瘤胃微生物蛋白(MCP)合成的影响。试验选取48只体况良好、体重相近的4月龄杜泊×小尾寒羊杂交公羔羊,随机分为4组,每组12只。在每千克基础饲料中分别添加0(对照组)、200(200CA组)、300(300CA组)、400 mg(400CA组)的CA。预试期15 d,正试期70 d。试验羊单栏舍饲,分别在正试期第1、35、70天晨饲前对试验羊进行称重,并记录采食量,用于计算平均日采食量(ADFI)、平均日增重(ADG)及料重比(F/G)。正试期结束后采用全收粪收尿法进行消化代谢试验,预试期7 d,正试期5 d,正试期每日晨饲前收集粪样和尿样,测定粪样中能量和各养分含量以及尿氮和嘌呤衍生物等。结果显示:1)各组间ADFI无显著差异($P>0.05$),300CA组的ADG显著高于对照组($P<0.05$),200CA组和300CA组的F/G显著低于对照组($P<0.05$);2)300CA组的干物质(DM)、有机物(OM)、中性洗涤纤维(NDF)及酸性洗涤纤维(ADF)表观消化率显著高于对照组($P<0.05$);3)各组间摄入总能无显著差异($P>0.05$),300CA组的粪能显著低于对照组($P<0.05$),3个CA添加组的消化能和总能表观消化率显著高于对照组($P<0.05$);4)各组间摄入氮、尿氮无显著差异($P>0.05$),300CA组的沉积氮、氮沉积率和氮表观消化率显著高于对照组($P<0.05$);5)3个CA添加组的尿酸排泄量显著高于对照组($P<0.05$),300CA组的黄嘌呤+次黄嘌呤及总嘌呤衍生物排泄量显著高于对照组($P<0.05$)。200CA组、300CA组的MCP合成量显著高于对照组($P<0.05$)。综上所述,饲料中添加适量的CA在羔羊生产中具有积极的意义,可以提高ADG,降低F/G,促进饲料营养物质的消化利用以及羔羊瘤胃中MCP的合成,并可提高羔羊对能量及氮的利用率。在本试验条件下,CA在羔羊饲料中的最适添加量为300 mg/kg。

关键词: 羔羊;肉桂醛;生长性能;养分表观消化率;能量代谢;氮代谢;微生物蛋白

中图分类号:S816

文献标识码:A

文章编号:1006-267X(2021)06-3421-10

养羊业是我国畜牧产业的重要组成部分,近年来,我国人均羊肉消费量逐年增加,肉羊养殖规模逐渐增大,饲养方式也由传统的放牧养殖转变为舍饲养殖。舍饲条件下,由于饲养密度大、饲料营养不均衡等因素,造成饲料利用率低,发病率

高,生产成本增加。植物提取物是植物次生性代谢产物,具有抗菌、抗病毒的生物学特性,同时具有营养物质调控代谢作用,近年来逐渐受到研究者的关注^[1]。肉桂醛(cinnamaldehyde, CA)也称桂皮醛或苯丙烯醛,化学名称为3-苯基-2-丙烯

收稿日期:2020-11-16

基金项目:国家重点研发计划(2018YFD0502104);国家肉羊产业技术体系专项(CARS-38);山西省1331工程建设项目(J201911301);山西省重点研发计划项目(201903D211012);山西省科技成果转化引导专项(201904D131026)

作者简介:崔乔(1995—),女,山西运城人,硕士研究生,从事饲料资源开发和利用研究。E-mail: 2640511805@qq.com

*通信作者:张建新,教授,博士生导师,E-mail: ypzjx@126.com

酸,是一种新型植物提取物,是肉桂中的主要活性成分^[2]。CA具有抑菌、杀菌、抗病毒的作用,能有效抑制病原微生物的繁殖,促进动物健康生长。同时,CA还具有抗氧化的特点,能清除机体自由基,减少动物应激,提高动物的生产性能。张勇等^[3]用大蒜油和肉桂醛的复合物饲喂荷斯坦奶牛,结果发现,奶牛对饲料中的干物质(DM)、中性洗涤纤维(NDF)和酸性洗涤纤维(ADF)的消化率显著升高;曹爱青^[4]研究发现,每头牛每天在饲料中添加300、600、900 mg的CA(纯度 $\geq 98\%$)能显著提高肉牛的饲料转化效率,并有效改善牛肉品质,但当添加1 200 mg CA时则会抑制瘤胃发酵;柴建亭等^[5]研究表明,在饲料中添加CA能显著提高肉鸡的体重以及对粗脂肪的消化率。目前,CA作为饲料添加剂在反刍动物生产中的应用研究较少,且集中于瘤胃发酵,而CA对羔羊生长性能的影响及其在羔羊生产中的适宜添加量未有明确定论。因此,本试验拟在饲料中添加不同水平的CA,研究其对羔羊生长性能、养分表观消化率、能量和氮代谢及瘤胃中微生物蛋白(MCP)合成的影响,确定CA在羔羊饲料中的最适添加量,以期CA作为肉羊生产中新型、绿色、安全、高效饲料添加剂的应用提供依据和科学指导。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

试验所用CA为红色粉末状,购自西安某生物科技有限公司,纯度为20%,其余为无功能肉桂残渣。

1.2 试验设计及饲料

选用48只体况良好、体重为 (26.5 ± 1.5) kg的4月龄杜泊 \times 小尾寒羊杂交公羔为试验动物,随机分为4组,每组12只。采用单因素随机分组试验设计,分别在每千克基础饲料中添加0(CON组,作为对照组)、200(200CA组)、300(300CA组)、400 mg(400CA组)的CA。整个试验期为85 d,其中预试期15 d,正试期70 d。基础饲料根据NRC(2007)绵羊营养需要中体重为20 kg、日增重为300 g的营养需要量设计配方,其组成及营养水平见表1。

1.3 饲养管理

本试验于2019年在山西祥和岭上农牧开发有限公司羊场进行。试验前羊舍全面清扫、消毒,

试验羊进行编号、分组、驱虫,试验期间定期打扫羊舍,确保试验环境干净。试验羊单栏(3.0 m \times 0.8 m)饲养。饲喂羔羊时,将CA先与0.3 kg颗粒饲料混合搅拌均匀并喷洒少量水固定,完全采食后再饲喂剩余颗粒饲料,试验期间每天07:00和18:00各饲喂1次,确保试验羊自由采食和饮水。

表1 基础饲料组成及营养水平(风干基础)

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

项目 Items	含量 Content
原料 Ingredients	
玉米 Corn	25.00
豆粕 Soybean meal	7.00
棉籽粕 Cottonseed meal	8.50
玉米胚芽粕 Corn germ meal	10.50
米糠 Rice bran	14.00
葵花皮粉 Sunflower hull powder	5.00
花生皮 Peanut coat	8.00
玉米秸秆 Corn stalk	17.00
预混料 Premix ¹⁾	5.00
合计 Total	100.00
营养水平 Nutrient levels ²⁾	
粗蛋白质 CP	14.68
粗脂肪 EE	3.34
粗灰分 Ash	7.42
中性洗涤纤维 NDF	34.41
酸性洗涤纤维 ADF	15.26
代谢能 ME/(MJ/kg)	9.62

1) 预混料为每千克饲料提供 Premix provided the following for per kg the diet: Cu 15 mg, Fe 55 mg, Zn 25 mg, Mn 40 mg, Se 0.3 mg, I 0.5 mg, Co 0.2 mg, VA 20 000 IU, VD 4 000 IU, VE 40 IU。

2) 代谢能为计算值,其他营养水平均为实测值。ME was a calculated value, while the other nutrient levels were measured values.

1.4 消化代谢试验

正试期结束后,所有试验羊进入羊专用代谢笼,采用全收粪收尿法进行消化代谢试验,预试期7 d,正试期5 d。正试期每日晨饲前进行全收粪收尿,并记录每日采食量、粪重及尿量。按每100 g粪样中添加25 mL 10%的硫酸进行固氮处理,混合后-20℃冷冻保存。按每100 mL尿样中添加2 mL 10%的硫酸进行固氮处理后,放入-20℃冷

冻保存。

1.5 指标测定

正试期每天准确称量每只试验羊的饲喂量以及剩料量,计算其平均日采食量(ADFI)。正试期第1、35、75天晨饲前试验羊称重,于正试期结束后计算平均日增重(ADG),再根据平均日采食量和平均日增重计算料重比(F/G)。

将5d收集的粪样按样重比例均匀混合,放入65℃烘箱中烘48h,室温下回潮24h称重,计算其初水分。再将粪样粉碎,过40目筛。参考AOAC(2000)^[6]方法测定饲料及粪样中DM、有机物(OM)等养分的含量,参考Van Soest等^[7]的方法测定饲料及粪样中NDF和ADF含量。饲料、粪样和尿样总能用微机自动量热仪(TJHY-5000,鹤壁市天健电子科技有限公司)测定,粗蛋白质(CP)及氮含量使用全自动凯氏定氮仪(K9860)测定。尿囊素含量用分光光度计(UV1100天美科学仪器有限公司,上海)测定,尿酸含量根据试剂盒说明书(南京建成生物工程研究所)进行测定。瘤胃MCP合成量参考Chen等^[8]方法间接估算得出。

1.6 计算公式

某养分表观消化率(%)=[(食入该养分质量-粪中该养分质量)/食入该养分质量]×100。

氮表观消化率(%)=[(摄入氮-粪氮)/摄入氮]×100;

沉积氮(g/d)=摄入氮-粪氮-尿氮;

氮沉积率(%)=(沉积氮/摄入氮)×100;

消化能(MJ/d)=总能-粪能;

总能表观消化率(%)=(消化能/总能)×100;

嘌呤衍生物(PD)排泄量(mmol/d)=尿酸排泄量+尿囊素排泄量+黄嘌呤排泄量+次黄嘌呤排泄量;

嘌呤衍生物排泄量(mmol/d)=

$0.84X+0.150W^{0.75} \times e^{-0.25X}$;

MCP合成量(g/d)= $X \times 70 \times 6.25 / (0.116 \times 0.83 \times 1\ 000)$ ^[8]。

式中:X为嘌呤吸收量(mmol/d);W^{0.75}为试验羊的代谢体重(kg)。

1.7 数据处理与统计分析

试验数据采用Excel 2010进行初步整理,然后采用SPSS 23.0统计软件的ANOVA程序进行单因素方差分析,差异显著时用Duncan氏法进行多重比较,并采用线性和二次回归分析饲料中CA添加量的影响。以P<0.05作为差异显著性的判断标准,以0.05≤P<0.10作为有变化趋势的判断标准。

2 结果与分析

2.1 饲料中添加CA对羔羊生长性能的影响

由表2可知,各组之间初始体重和平均日采食量均无显著差异(P>0.05),300CA组与400CA组的终末体重较对照组有升高的趋势(P=0.058),300CA组的平均日增重显著高于对照组(P<0.05),200CA组与300CA组的料重比显著低于对照组(P<0.05)。

表2 饲料中添加CA对羔羊生长性能的影响

Table 2 Effects of dietary CA on growth performance of lambs (n=12)

项目 Items	组别 Groups				SEM	P值 P-value		
	CON	200CA	300CA	400CA		处理 Treatment	线性 Linear	二次 Quadratic
初始体重 IBW/kg	27.00	26.35	26.54	26.70	0.26	0.866	0.769	0.737
终末体重 FBW/kg	41.93	42.85	44.40	43.08	0.34	0.058	0.094	0.050
平均日采食量 ADFI/(kg/d)	1.70	1.67	1.65	1.68	0.03	0.969	0.752	0.889
平均日增重 ADG/(kg/d)	0.21 ^b	0.24 ^{ab}	0.26 ^a	0.23 ^{ab}	0.01	0.021	0.087	0.015
料重比 F/G	8.08 ^a	7.06 ^b	6.50 ^b	7.19 ^{ab}	0.19	0.017	0.054	0.007

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

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

2.2 饲料中添加 CA 对羔羊养分表观消化率的影响

由表 3 可知,饲料中添加 CA 后,DM 和 OM 表观消化率呈二次效应 ($P = 0.018$ 、 $P = 0.035$),300CA 组的 DM 和 OM 表观消化率显著高于对

照组 ($P < 0.05$),200CA 组、400CA 组则与对照组差异不显著 ($P > 0.05$)。3 个 CA 添加组的 NDF 和 ADF 表观消化率均显著高于对照组 ($P < 0.05$)。

表 3 饲料中添加 CA 对羔羊养分表观消化率的影响

Table 3 Effects of dietary CA on nutrient apparent digestibility of lambs ($n = 12$)

%

项目 Items	组别 Groups				SEM	P 值 P-value		
	CON	200CA	300CA	400CA		处理 Treatment	线性 Linear	二次 Quadratic
干物质 DM	66.75 ^b	68.96 ^{ab}	70.34 ^a	67.76 ^b	0.47	0.034	0.331	0.018
有机物 OM	68.00 ^b	70.87 ^{ab}	72.27 ^a	70.26 ^{ab}	0.34	0.033	0.113	0.035
中性洗涤纤维 NDF	44.68 ^c	48.07 ^b	51.58 ^a	49.40 ^{ab}	0.69	0.001	0.003	0.001
酸性洗涤纤维 ADF	27.38 ^c	31.10 ^b	34.91 ^a	33.36 ^{ab}	0.81	0.002	0.001	0.001

2.3 饲料中添加 CA 对羔羊能量代谢的影响

由表 4 可知,各组之间摄入总能无显著差异 ($P > 0.05$)。300CA 组、400CA 组的粪能显著低于对照组 ($P < 0.05$)。尿能随饲料中 CA 添加量的增

加线性降低 ($P = 0.014$)。200CA 组、300CA 组、400CA 组的消化能和总能表观消化率显著高于对照组 ($P < 0.05$)。

表 4 饲料中添加 CA 对羔羊能量代谢的影响

Table 4 Effects of dietary CA on energy metabolism of lambs ($n = 12$)

项目 Items	组别 Groups				SEM	P 值 P-value		
	CON	200CA	300CA	400CA		处理 Treatment	线性 Linear	二次 Quadratic
摄入总能 GE intake/(MJ/d)	28.47	31.14	29.91	29.98	0.50	0.244	0.435	0.280
粪能 FE/(MJ/d)	11.87 ^a	11.11 ^{ab}	9.44 ^c	10.19 ^{bc}	0.27	0.002	0.003	0.003
尿能 UE/(MJ/d)	1.19	0.87	0.83	0.73	0.07	0.076	0.014	0.036
消化能 DE/(MJ/d)	16.60 ^b	20.03 ^a	20.47 ^a	19.79 ^a	0.48	0.005	0.015	0.002
总能表观消化率 Apparent digestibility of GE/%	58.29 ^c	64.21 ^b	68.46 ^a	66.01 ^{ab}	0.98	<0.001	0.003	<0.001

2.4 饲料中添加 CA 对羔羊氮代谢的影响

由表 5 可知,各组之间摄入总氮与尿氮无显著差异 ($P > 0.05$)。随着饲料中 CA 添加量的增加,粪氮呈线性 ($P = 0.020$) 和二次降低 ($P = 0.031$)。可消化氮随饲料中 CA 添加量的增加有线性增加趋势 ($P = 0.074$)。300CA 组的氮表观消化率显著高于对照组 ($P < 0.05$)。300CA 组、400CA 组的沉积氮和氮沉积率均显著高于对照组 ($P < 0.05$)。

2.5 饲料中添加 CA 对羔羊尿嘌呤衍生物排泄及瘤胃 MCP 合成的影响

由表 6 可知,3 个 CA 添加组的尿酸排泄量均

显著高于对照组 ($P < 0.05$)。300CA 组的尿囊素排泄量与对照组相比有升高的趋势 ($P = 0.051$)。300CA 组的黄嘌呤+次黄嘌呤和总嘌呤衍生物排泄量显著高于对照组 ($P < 0.05$),200CA 组、300CA 组的瘤胃 MCP 合成量显著高于对照组 ($P < 0.05$)。

3 讨论

3.1 饲料中添加 CA 对羔羊生长性能的影响

CA 是植物肉桂的提取物,可以抑制动物肠道有害细菌的增殖,提高动物对养分的消化吸收,进而促进动物生长^[9]。Yang 等^[10]在肉牛饲料中添加不同剂量的 CA,结果表明肉牛的日常增重较对照

组提高了4%;杨云燕^[11]研究表明,在犊牛饲料中添加CA后,试验组的日增重较对照组提高了5.96%;吴东等^[12]在肥育猪饲料中分别添加CA和抗生素,结果表明CA能提高肥育猪的日增重,降低料重比,促进肥育猪的生长,且比抗生素的效果好;Alcicek等^[13]研究显示,在肉鸡饲料中添加肉桂精油能够明显提高肉鸡的日增重和饲料报酬。本试验结果表明,300CA组羔羊平均日增重显著高于对照组,且在羔羊饲料中添加CA后降低了料重比,表明在羔羊饲料中添加CA能够提高饲料报酬,促进羔羊生长。这可能是由于CA能够刺激消化道分泌消化液^[14],从而改善动物的消化能力;CA是一种活性成分,能够促进机体新陈代谢,提高机体免疫力^[15],进而促进动物生长;同时,CA

是一种醛类有机化合物,具有芳香性气味,能够诱导动物采食,进而提高动物的采食量^[16]。有报道CA能够提高动物的采食量,但其效果与添加量有关,若饲料中过量添加CA,则有可能导致饲料适口性变差,动物采食量降低,生长受到抑制^[17]。曹爱青^[4]研究也发现,每头牛每天在饲料中添加1 200 mg的CA(纯度 $\geq 98\%$)时,肉牛的干物质采食量极显著降低,饲料转化效率也呈明显下降的趋势。但在本试验中,各组羔羊的平均日采食量无显著差异,可能是由于CA的饲喂方式不同,在本试验中,为保证羔羊完全采食CA,先将CA与0.3 kg饲料混合饲喂,再饲喂剩余饲料,因此CA未起到诱食作用。

表5 饲料中添加CA对羔羊氮代谢的影响

Table 5 Effects of dietary CA on nitrogen metabolism of lambs ($n=12$)

项目 Items	组别 Groups				SEM	P值 P-value		
	CON	200CA	300CA	400CA		处理 Treatment	线性 Linear	二次 Quadratic
摄入氮 N intake/(g/d)	37.37	38.51	40.02	38.63	0.76	0.700	0.447	0.540
粪氮 Fecal N/(g/d)	11.66	10.83	9.61	10.12	0.29	0.054	0.020	0.031
尿氮 Urinary N/(g/d)	12.69	11.46	10.17	10.68	0.45	0.215	0.066	0.114
可消化氮 Digestible N/(g/d)	25.71	27.68	30.42	28.51	0.70	0.112	0.074	0.072
沉积氮 Retained N/(g/d)	68.73 ^c	71.61 ^{bc}	76.04 ^a	73.84 ^{ab}	0.75	0.001	0.001	0.001
氮的表观消化率 Apparent digestibility of N/%	13.02 ^b	16.22 ^{ab}	20.25 ^a	17.83 ^{ab}	0.96	0.043	0.027	0.025
氮沉积率 N deposition rate/%	34.55 ^b	40.83 ^{ab}	50.49 ^a	46.10 ^a	1.92	0.011	0.007	0.007

表6 饲料中添加CA对羔羊尿酸嘌呤衍生物排泄及瘤胃MCP合成的影响

Table 6 Effects of dietary CA on urinary purine derivatives excretion and rumen MCP synthesis of lambs ($n=12$)

项目 Items	组别 Groups				SEM	P值 P-value		
	CON	200CA	300CA	400CA		处理 Treatment	线性 Linear	二次 Quadratic
尿酸 Uric acid/(mmol/d)	0.89 ^b	1.30 ^a	1.29 ^a	1.34 ^a	0.07	0.025	0.014	0.015
尿囊素 Allantion/(mmol/d)	9.72	10.06	10.77	9.32	0.20	0.051	0.792	0.068
黄嘌呤+次黄嘌呤 Xanthine+hypoxanthine/(mmol/d)	0.86 ^b	0.92 ^{ab}	0.98 ^a	0.87 ^b	0.02	0.024	0.636	0.018
总嘌呤衍生物 Total purine derivatives/(mmol/d)	11.46 ^b	12.28 ^{ab}	13.04 ^a	11.52 ^b	0.20	0.002	0.603	0.003
微生物蛋白 MCP/(g/d)	62.20 ^b	67.51 ^a	69.80 ^a	65.79 ^{ab}	0.97	0.024	0.155	0.009

3.2 饲料中添加CA对羔羊养分表观消化率的影响

Tiihonen等^[18]研究发现,适量的CA具有抗

菌活性,能够改善肉鸡肠道的微生态结构,从而提高机体对营养物质的消化吸收。张勇等^[3]采用大蒜素及肉桂醛的复合物饲喂荷斯坦奶牛,结果发

现,试验组奶牛的DM、NDF和ADF消化率显著升高。刘洋等^[15]研究表明,在肉鸡饲料中添加100 mg/kg的CA能够提高CP的表观消化率。张成喜等^[19]在肉牛饲料中添加不同剂量的CA后,肉牛的DM、CP及ADF表观消化率显著提高。本试验结果与上述前人的研究结果基本一致,在每千克饲料中添加300 mg的CA能够显著提高羔羊对饲料中养分的表观消化率。适量CA提高饲料中养分表观消化率可能有以下几个原因:1)CA具有潜在的瘤胃保护功能,适量的CA能够促进瘤胃发酵^[20]。Yang等^[10]研究表明,饲料中添加CA可提高营养物质在瘤胃中的降解率。Tekippe等^[21]在奶牛饲料中添加CA后显著提高了饲料中NDF的消化率。2)CA可以改善动物肠道菌群结构,促进肠道健康发育,从而提高营养物质的消化吸收^[22]。研究表明,在湖羊饲料中添加CA后可提高其后段消化道的消化能力^[23]。3)CA具有抗氧化功能,可以改善机体的抗氧化能力,保护肠道绒毛。施立光等^[24]研究表明,不同的饲料精粗比会影响海南黑山羊的抗氧化能力,当饲料精粗比为60:40时,试验羊的抗氧化能力最高,随着饲料精粗比的升高,试验羊的抗氧化能力降低。本试验中所用饲料的精粗比为70:30,羔羊长期采食高精料会降低机体的抗氧化能力。Castillo等^[25]研究证实,CA能够清除机体自由基,使肠道绒毛免受自由基的侵害,增加绒毛高度。因此,本试验中CA可能提高了羔羊肠道的抗氧化能力,促进了肠道对营养物质的消化吸收,但是关于CA对羔羊养分表观消化率影响的具体原因还需要进一步研究。

3.3 饲料中添加CA对羔羊能量代谢的影响

能量是动物机体参与代谢活动和生产活动的基础,反刍动物饲料能量来源于碳水化合物、脂肪和蛋白质,动物采食后,经过一系列的代谢途径,产生大量的ATP,为机体供能^[26]。粪能、尿能、甲烷能是衡量反刍动物能量利用的3个重要的指标。动物粪便中能够产生能量的物质主要包括:未被消化吸收的饲料养分、消化道微生物及其代谢产物、消化道分泌物和经消化道排泄的代谢产物、消化道黏膜脱落细胞等。在本试验中,羔羊饲料中添加CA后,各种养分的表观消化率均有提高,因此通过粪便损失的养分明显降低。羔羊采食饲料后,碳水化合物等营养物质在瘤胃微生物

的作用下发酵产生挥发性脂肪酸(VFA)、二氧化碳(CO₂)及甲烷(CH₄),同时在乙酸的生成中大量的氢离子被释放,从而提高羔羊瘤胃中的CH₄生成量,造成能量的浪费^[27]。有研究发现,CA能抑制产甲烷菌的生长,降低瘤胃内CH₄的生成量,提高总VFA的含量,从而提高能量的利用率^[23,28]。Ye等^[29]研究发现,饲料中添加CA能够提高NDF的消化率和异戊酸的产量,促进瘤胃发酵。有研究报道,在体外发酵中,300 mg/kg的CA和大蒜油的复合物能够降低瘤胃CH₄的生成量^[30]。本试验还进行了体外产气试验,结果表明,添加CA后,各CA添加组CH₄生成量较对照组显著降低(结果中未列出)。因此,本试验中300CA组的消化能和总能表观消化率显著高于对照组,可能是在羔羊饲料中添加CA后改善了羔羊的瘤胃内环境,通过抑制甲烷菌的生长降低了CH₄的生成量,减少了能量的浪费,提高了羔羊对能量的利用。目前,关于CA对动物能量代谢影响的文章较少,其具体机制需要我们进一步探索。

3.4 饲料中添加CA对羔羊氮代谢及MCP合成的影响

过瘤胃蛋白质、MCP以及肠黏膜细胞中的氮经过小肠中的胰蛋白酶和糜蛋白酶消化被吸收利用,多余的氮则通过肝脏代谢经尿液排出体外^[31]。饲料中的蛋白质进入瘤胃后,在瘤胃原虫的脱氨基作用下降解为氨态氮(NH₃-N),一部分NH₃-N被瘤胃微生物利用合成MCP,进而被动物消化吸收。因此,瘤胃中NH₃-N的浓度与MCP合成量均可作为衡量氮代谢的重要指标。本试验结果表明,在羔羊饲料中加入CA后,各CA添加组的摄入氮与对照组无显著差异,但尿氮及粪氮较对照组有降低趋势,且沉积氮及氮表观消化率显著高于对照组。一方面可能是由于CA能调节羔羊瘤胃内环境,抑制瘤胃原虫的脱氨基作用,降低瘤胃NH₃-N浓度,增加过瘤胃蛋白质的含量,进而提高了小肠中代谢蛋白质的量。Fraser等^[32]在体外发酵试验中证明,加入500 mL/L的肉桂精油后NH₃-N的浓度显著低于对照组。Cardozo等^[33]的体外发酵试验表明,CA可以抑制瘤胃微生物的脱氨基作用,降低瘤胃中NH₃-N的浓度。也有研究发现,CA能够改善瘤胃微生物的生长,进而促进MCP的合成,并提高MCP的消化率^[18]。金恩望^[34]在奶牛瘤胃液中加入CA进行体外发酵试

验,72 h后,瘤胃液中MCP的含量显著高于对照组。本试验结果也表明,羔羊饲料中添加300 mg/kg的CA能显著提高瘤胃中MCP的合成量,与前人的研究结果一致。另一方面可能是CA能够促进动物肠道蠕动,而且可以改善小肠结构,增加小肠绒毛高度,促进小肠胰蛋白酶和糜蛋白酶的分泌^[25],从而提高动物对氮的沉积和利用。

4 结论

综上所述,饲料中添加适量的CA能够提高羔羊的平均日增重,降低料重比,促进羔羊对饲料中养分的消化吸收以及瘤胃中MCP的合成,进而提高羔羊对能量和氮的利用率。在本试验条件下,CA在羔羊饲料中的最适添加量为300 mg/kg。

参考文献:

- [1] KOUAZOUNDE J B, JIN L, MCALLISTER T A, et al. *In vitro* screening of selected essential oils from medicinal plants acclimated to Benin for their effects on methane production from rumen microbial fermentation[J]. African Journal of Biotechnology, 2016, 15 (12): 442-450.
- [2] 王孟春.肉桂醛和牛至油在肉仔鸡中应用效果的研究[D].硕士学位论文.合肥:安徽农业大学,2018.
WANG M C. Effect of cinnamaldehyde and oregano oil on broilers[D]. Master's Thesis. Hefei: Anhui Agricultural University, 2018. (in Chinese)
- [3] 张勇,高原,朱宇旌,等.大蒜油和肉桂酸复合物对奶牛生产性能及营养物质消化的影响[J].中国饲料,2012(5):17-20,23.
ZHANG Y, GAO Y, ZHU Y J, et al. Effects of garlic oil and cinnamic acid complex on production performance and nutrient digestion of dairy cows[J]. China Feed, 2012(5): 17-20, 23. (in Chinese)
- [4] 曹爱青.肉桂醛在肉牛生产上的应用研究[J].饲料广角,2012(16):37-38.
CAO A Q. Application of cinnamaldehyde in beef cattle production[J]. Feed China, 2012(16): 37-38. (in Chinese)
- [5] 柴建亭,胡梅,张书汁.肉桂醛对肉鸡生长性能、养分利用率及肉质的影响[J].中国饲料,2018(18):33-37.
CHAI J T, HU M, ZHANG S Z. Effects of cinnamaldehyde on growth performance, nutrient utilization and meat quality of broilers[J]. China Feed, 2018(18): 33-37. (in Chinese)
- [6] AOAC. Official methods of analysis [S]. 17th ed. Gaithersburg: AOAC International, 2000.
- [7] VAN SOEST P J, ROBERTSON J B, LEWIS B A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition[J]. Journal of Dairy Science, 1991, 74 (10): 3583-3597.
- [8] CHEN X B, GOMES M J. Estimation of microbial protein supply to sheep and cattle based on urinary excretion of purine derivatives-an overview of the technical details[R]. Aberdeen, UK: Rowett Research Institute, 1992.
- [9] 刘洋.肉桂醛对肉鸡生产性能、肠道微生物及肠道结构的影响[D].硕士学位论文.保定:河北农业大学,2014.
LIU Y. Effects of cinnamic on the growth performance, intestinal flora and intestinal structure of broilers [D]. Master's Thesis. Baoding: Hebei Agricultural University, 2014. (in Chinese)
- [10] YANG W Z, AMETAJ B N, BENCHAAR C, et al. Dose response to cinnamaldehyde supplementation in growing beef heifers: ruminal and intestinal digestion [J]. Journal of Animal Science, 2010, 88 (2): 680-688.
- [11] 杨云燕.肉桂醛对犊牛生长性能、健康及瘤胃发酵相关指标的影响[D].硕士学位论文.南宁:广西大学,2019.
YANG Y Y. Effects of cinnamaldehyde on growth performance, health and rumen fermentation of calves [D]. Master's Thesis. Nanning: Guangxi University, 2019. (in Chinese)
- [12] 吴东,杨家军,周学利,等.肉桂醛替代饲用抗生素对肥育猪生长性能、血清免疫指标及肠道菌群的影响[J].养猪,2020(3):53-56.
WU D, YANG J J, ZHOU X L, et al. Effect of feed antibiotics replaced by cinnamaldehyde on growth performance, serum immune index and intestinal flora of finishing pig[J]. Swine Production, 2020(3): 53-56. (in Chinese)
- [13] ALCICEK A, BOZKURT M, CABUK M. The effect of an essential oil combination derived from selected herbs growing wild in Turkey on broiler performance [J]. South African Journal of Animal Science, 2003, 33(2): 89-94.
- [14] 周明,陈征义,申书婷.肉桂醛的研究进展[J].经济动物学报,2015,19(1):1-5,15.

- ZHOU M, CHEN Z Y, SHEN S T. Recent advances on cinnamaldehyde [J]. *Journal of Economic Animal*, 2015, 19(1): 1-5, 15. (in Chinese)
- [15] 刘洋, 臧素敏, 李同洲, 等. 肉桂醛对肉鸡肠道菌群、肠道结构及营养物质消化率的影响[J]. *中国畜牧杂志*, 2013, 49(13): 65-68.
- LIU Y, ZANG S M, LI T Z, et al. Effects of cinnamaldehyde on intestinal flora, intestinal structure and nutrient digestibility of broilers [J]. *Chinese Journal of Animal Science*, 2013, 49(13): 65-68. (in Chinese)
- [16] CHENG S S, LIU J Y, CHANG E H, et al. Antifungal activity of cinnamaldehyde and eugenol congeners against wood-rot fungi [J]. *Bioresource Technology*, 2007, 99(11): 5145-5149.
- [17] ORNAGH M A, PASSETTI R A C, TORRECILHAS J A, et al. Essential oils in the diet of young bulls: effect on animal performance, digestibility, temperament, feeding behaviour and carcass characteristics [J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2017, 234: 274-283.
- [18] TIHONEN K, KETTUNEN H, BENTO M H L, et al. The effect of feeding essential oils on broiler performance and gut microbiota [J]. *British Poultry Science*, 2010, 51(3): 381-392.
- [19] 张成喜, 孙友德, 刘锡武, 等. 过瘤胃蛋氨酸和肉桂醛组合添加对奶牛产奶性能及氮排泄的影响[J]. *动物营养学报*, 2017, 29(9): 3202-3210.
- ZHANG C X, SUN Y D, LIU X W, et al. Effects of combination of rumen methionine and cinnamaldehyde on milk production and nitrogen excretion in dairy cows [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2017, 29(9): 3202-3210. (in Chinese)
- [20] LV C, YUAN X, ZENG H W, et al. Protective effect of cinnamaldehyde against glutamate-induced oxidative stress and apoptosis in PC12 cell [J]. *European Journal of Pharmacology*, 2017, 815: 487-494.
- [21] TEKIPPE J A, TACOMA R, HRISTOV A N, et al. Effect of essential oils on ruminal fermentation and lactation performance of dairy cows [J]. *Journal of Dairy Science*, 2013, 96(12): 7892-7903.
- [22] 刘洋, 臧素敏, 李同洲, 等. 肉桂醛对肉鸡肠道菌群、肠道结构及营养物质消化率的影响[J]. *中国畜牧杂志*, 2013, 49(13): 65-68.
- LIU Y, ZANG S M, LI T Z. Effects of cinnamaldehyde on intestinal flora, intestinal structure and nutrient digestibility of broilers [J]. *Chinese Journal of Animal Science*, 2013, 49(13): 65-68. (in Chinese)
- [23] 林波. 挥发油及其活性成分组合与富马酸钠共同添加对体外瘤胃发酵和湖羊养分消化的影响[D]. 博士学位论文. 杭州: 浙江大学, 2011.
- LIN B. Effects of volatile oil and combination of active components and sodium fumarate on rumen fermentation and nutrient digestion *in vitro* [D]. Ph.D. Thesis. Hangzhou: Zhejiang University, 2011. (in Chinese)
- [24] 施立光, 赵春萍, 曹婷, 等. 不同日粮精粗比对海南黑山羊抗氧化性能的影响[J]. *中国草食动物科学*, 2015, 35(1): 29-31.
- SHI L G, ZHAO C P, CAO T, et al. Effects of different dietary concentration ratio on antioxidant performance of *Hainan* black goat [J]. *Chinese Herbivorous Science*, 2015, 35(1): 29-31. (in Chinese)
- [25] CASTILLO M, MARTÍN-ORÚE S, ROCA M, et al. The response of gastrointestinal microbiota to avilamycin, butyrate, and plant extracts in early-weaned pigs [J]. *Journal of Animal Science*, 2006, 84(6): 2725-2734.
- [26] 崔祥, 刁其玉, 张乃锋, 等. 日粮能量水平对断奶犊牛生长性能及营养物质消化代谢的影响[J]. *畜牧兽医学报*, 2014, 45(11): 1815-1823.
- CUI X, DIAO Q Y, ZHANG N F, et al. Effects of dietary energy levels on growth performance and nutrient digestion and metabolism in weaned calves [J]. *Chinese Journal of Animal and Veterinary Sciences*, 2014, 45(11): 1815-1823. (in Chinese)
- [27] 郭嫣秋, 胡伟莲, 刘建新. 瘤胃甲烷菌及甲烷生成的调控[J]. *微生物学报*, 2005, 45(1): 145-148.
- GUO Y Q, HU W L, LIU J X. Regulation of rumen methanogens and methane production [J]. *Acta Microbiologica Sinica*, 2005, 45(1): 145-148. (in Chinese)
- [28] 白乌日汗. 植物精油及其它活性成分对奶牛瘤胃发酵功能影响的研究[D]. 硕士学位论文. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2009.
- BAI W R H. Effects of plant essential oil and other active ingredients on rumen fermentation function of dairy cow [D]. Master's Thesis. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2009. (in Chinese)
- [29] YE D, KARNATI S K R, WAGNER B, et al. Essential oil and monensin affect ruminal fermentation and the protozoal population in continuous culture [J]. *Journal of Dairy Science*, 2018, 101(6): 5069-5081.
- [30] BLANCH M, CARRO M D, RANILLA M J, et al. Influence of a mixture of cinnamaldehyde and garlic oil on rumen fermentation, feeding behavior and performance of lactating dairy cows [J]. *Animal Feed Science*

and Technology, 2016, 219: 313–323.

- [31] ZERVAS S, ZIJLSTRA R. Effects of dietary protein and oathull fiber on nitrogen excretion patterns and postprandial plasma urea profiles in grower pigs [J]. *Journal of Animal Science*, 2002, 80 (12): 3238 – 3246.
- [32] FRASER G R, CHAVES A V, WANG Y, et al. Assessment of the effects of cinnamon leaf oil on rumen microbial fermentation using two continuous culture system [J]. *Journal of Dairy Science*, 2007, 90 (5): 2315–2328.
- [33] CARDOZO P W, CALSAMIGLIA S, FERRET A, et

al. Effects of natural plant extracts on ruminal protein degradation and fermentation profiles in continuous culture [J]. *Journal of Animal Science*, 2004, 82(11): 3230–3236.

- [34] 金恩望. 体外法研究植物精油对瘤胃体外发酵和甲烷生成的影响 [D]. 硕士学位论文. 兰州: 甘肃农业大学, 2013.
- JIN E W. *In vitro* study on the effect of plant essential oil on rumen fermentation and methane production [D]. Master's Thesis. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2013. (in Chinese)

Effects of Dietary Cinnamaldehyde on Growth Performance, Digestion and Metabolism, and Microbial Protein Synthesis of Lambs

CUI Qiao¹ HAO Xiaoyan¹ ZHANG Hongxiang² CHEN Yanhua³ XIANG Binwei⁴ ZHANG Wenjia⁴
ZHANG Chunxiang¹ ZHANG Jianxin^{1*}

(1. College of Animal Science, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China; 2. Xianghe Lingshang Agriculture and Animal Husbandry Development Co., Ltd. of Shanxi, Youyu 037200, China; 3. Anhong Testing Technology Co., Ltd. of Shanxi, Taiyuan 030000, China; 4. Animal Husbandry Bureau of Youyu County, Youyu 037200, China)

Abstract: This experiment was conducted to investigate the effects of dietary cinnamaldehyde (CA) on growth performance, nutrient apparent digestibility, energy and nitrogen metabolism, and rumen microbial protein synthesis of lambs. Forty-eight 4-month-old Dorper × thin-tailed *Han* hybrid male lambs with similar body weight were randomly divided into four groups with twelve lambs in each group. Treatments consisted of the lambs' basal diet with addition of 0 (control group), 200 (200CA group), 300 (300CA group), 400 mg/kg CA (400CA group). The pre-experimental period lasted for 15 days, and the experimental period lasted for 70 days. Lambs were housed and fed in individual stalls, and the feed intake was recorded daily. Body weight was measured before the morning feeding on days 1, 35 and 70 of the experimental period before the morning feeding. The average daily feed intake (ADFI), average daily gain (ADG) and feed/gain (F/G) were calculated. At the end of the experimental, the digestive and metabolic test was carried out by the method of total fecal collection and urine collection. After 7 days of adaptation, the feces and urine samples for each lamb were collected for 5 consecutive days. Then nutrient contents and energy in feces, urinary nitrogen and purine derivatives were measured. The results showed as follows: 1) there was no significant difference in ADFI among groups ($P > 0.05$), the lambs of 300CA group had significantly higher ADG than those of control group ($P < 0.05$). The F/G of 200CA and 300CA groups were significantly lower than that of control group ($P < 0.05$). 2) The apparent digestibility of dry matter (DM), organic matter (OM), neutral detergent fiber (NDF) and acid detergent fiber (ADF) of 300CA group was significantly higher than that of control group ($P < 0.05$). 3) There was no significant difference in gross energy intake among groups ($P > 0.05$). The fecal

* Corresponding author, professor, E-mail: ypzjx@126.com

energy of 300CA group was significantly lower than that of control group ($P<0.05$). The digestible energy and apparent digestibility of gross energy of three CA addition groups were significantly higher than those of control group ($P<0.05$). 4) There were no significant differences in nitrogen intake and urinary nitrogen among groups ($P>0.05$). Compared with the control group, the retained nitrogen, nitrogen deposition rate and nitrogen apparent digestibility of 300CA group were significantly increased ($P<0.05$). 5) The excretion of uric acid of three CA addition groups was significantly higher than that of control group ($P<0.05$). Compared with the control group, the excretions of xanthine+hypoxanthine and total purine derivatives of 300CA group were significantly higher than those of control group ($P<0.05$). The synthetic amount of rumen microbial protein of 200CA and 300CA groups was significantly higher than that of control group ($P<0.05$). In conclusion, dietary with appropriate amount of CA has positive effects on lambs' production. It can improve the ADG and reduce the F/G, promote the digestion and utilization of nutrients in diets, promote the rumen microbial protein synthesis, and improve the utilization of energy and nitrogen of lamps. Under the conditions of this experiment, the optimal additive amount of CA in the diet of lamps is 300 mg/kg. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2021, 33(6):3421-3430]

Key words: lambs; cinnamaldehyde; growth performance; apparent digestibility of nutrients; energy metabolism; nitrogen metabolism; microbial protein