

不同添加水平的肉桂醛对肉羊饲粮营养物质瘤胃降解特性及体外瘤胃发酵参数的影响

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: 本试验旨在研究不同添加水平肉桂醛(CA)对肉羊饲粮营养物质瘤胃降解特性及体外发酵参数的影响。选取12只装有永久性瘤胃瘘管的杜×寒杂交成年肉用绵羊,随机分为4组,每组3只。在每千克基础饲粮中分别添加0(对照组)、200(200CA组)、300(300CA组)、400 mg(400CA组)的CA,采用尼龙袋法测定饲粮营养物质瘤胃降解率,采用体外产气法测定体外瘤胃发酵参数。结果显示:1)与对照组相比,200CA、300CA、400CA组的干物质(DM)、中性洗涤纤维(NDF)、酸性洗涤纤维(ADF)的瘤胃有效降解率显著升高($P<0.05$)。200CA、300CA组粗蛋白质(CP)的瘤胃有效降解率显著高于对照组($P<0.05$),400CA组CP的瘤胃有效降解率显著低于对照组($P<0.05$)。2)各组之间总产气量(72 h产气量)、pH及微生物蛋白(MCP)浓度均无显著差异($P>0.05$)。与对照组相比,200CA、300CA、400CA组的甲烷(CH_4)及氨态氮($\text{NH}_3\text{-N}$)浓度显著降低($P<0.05$)。3)各组之间总挥发性脂肪酸浓度以及丁酸、异丁酸、戊酸、异戊酸比例无显著差异($P>0.05$),300CA组的丙酸比例显著高于对照组($P<0.05$)。综上所述,CA可以调控肉羊的瘤胃发酵,提高饲粮中DM、NDF、ADF的瘤胃有效降解率以及饲粮氮在瘤胃中的存留率,降低 CH_4 产量。在本试验条件下,每千克饲粮中添加300 mg CA时效果最好。

关键词: 肉桂醛;体外瘤胃发酵技术;尼龙袋技术;饲粮养分有效降解率;瘤胃发酵

中图分类号:S816

文献标识码:A

文章编号:1006-267X(2021)05-2765-11

近年来,由于限抗、禁抗等政策,在动物生产中应用植物提取物替代抗生素受到研究者的广泛关注。植物提取物是植物的次生性代谢产物,对细菌、真菌、原虫、病毒等微生物有选择性抗菌活性。因此,许多植物提取物能够调控反刍动物瘤胃微生物发酵^[1]。肉桂为樟科常绿乔木植物,主要分布在广东、广西、云南、福建等地区,其中广东、广西的肉桂产量约占世界产量的80%。肉桂醛(cinnamaldehyde, CA)又称桂醛、桂皮醛、三苯基丙烯醛,属醛类有机化合物,具有抑菌、杀菌、抗

病毒、抗氧化等生物学功能。Yang等^[2]在肉牛高精料饲粮中添加CA,结果表明,CA能够调节反刍动物瘤胃发酵,影响肉牛对饲粮氮利用。Khorrami等^[3]利用CA替代莫能菌素应用于肉牛生产,其结果表明,CA可以降低肉牛瘤胃原虫数量和乙酸/丙酸。研究发现,CA能影响犊牛瘤胃微生物发酵,在犊牛开食料中添加CA能够降低瘤胃乙酸和总挥发性脂肪酸(TVFA)浓度,提高丙酸浓度^[4]。金恩望等^[5]在体外研究中发现,添加肉桂精油能够显著提高发酵72 h时微生物蛋白(MCP)的产

收稿日期:2020-11-06

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

量。据统计,反刍动物瘤胃发酵产生的甲烷(CH_4)占总排放量的26%,同时占饲料能量的5%~12%,不但加剧温室效应,而且降低动物对饲料能量的利用率^[6]。石宁等^[7]体外研究表明,肉桂精油可以改善瘤胃发酵,降低 CH_4 产量。目前,CA在单胃动物生产中的应用较广泛,而有关CA在反刍动物上的应用和研究主要集中于肉牛和奶牛,在肉羊上的应用较少,且影响效果及适宜添加量不确定。因此,本试验采用尼龙袋法和体外产气法研究不同添加水平的CA对肉羊饲料营养物质瘤胃降解特性及体外发酵参数的影响,为CA在肉羊生产中的应用提供理论依据。

1 材料与amp;方法

1.1 试验材料

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

1.2 试验设计与饲养管理

本试验采用单因子试验设计,选用12只体况良好、年龄相近、体重(50 ± 2) kg、装有永久性瘤胃瘘管的杜×寒杂交羯羊作为试验动物。参考NRC(2007)绵羊营养需要配制基础饲料,其组成及营养水平见表1,精粗比为70:30。将12只试验羊随机分为4组,每组3只,单栏饲喂,并且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。预饲15 d,每天08:00、18:00各饲喂1次,自由饮水。预饲结束后投放尼龙袋,测定营养物质瘤胃降解率。

1.3 尼龙袋法测定饲料营养物质瘤胃降解特性

选用10 cm×8 cm(孔径为50 μm)尼龙袋,编号并清洗干净,放65℃烘箱中烘48 h,回潮24 h后称重记录。将各组饲料粉碎,过40目筛,准确称取5 g(精确至0.000 1 g)饲料样品并无损转入尼龙袋中,每组3个重复,每个重复2个平行。尼龙袋按照“依次放入,同时取出”原则放入瘤胃。发酵时间点设置为0、6、12、24、36、48、72 h。发酵72 h后尼龙袋全部取出,利用冷的自来水冲洗(包括0 h),直至水澄清,放入65℃的烘箱中烘48 h,再回潮24 h,称重后将尼龙袋中的残渣分装,用于营养物质含量测定。

被测样品中某营养物质瘤胃降解率的计算公式:

$$\text{被测样品中某营养物质瘤胃降解率}(\%) = \frac{[(\text{被测样品中该营养物质含量} - \text{残留物中该营养物质含量}) / \text{被测样品中该营养物质含量}] \times 100}{}$$

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
棉粕 Cottonseed meal	8.50
玉米胚芽粕 Corn germ meal	10.50
米糠 Rice bran	14.00
葵花皮 Sunflower leather 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
钙 Ca	0.62
磷 P	0.48
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.

利用Ørskov等^[8]提出的指数模型计算瘤胃降解参数:

$$P = a + b(1 - e^{-ct})$$

式中:P为在t时间点样品中某营养物质的瘤胃降解率(%);a为快速降解部分(%);b为慢速降解部分(%);c为慢速降解部分的降解速率(h^{-1});t为样品中该营养物质降解所用的时间(h)。

被测样品中某营养物质的瘤胃有效降解率(ED) = $a + b \times c / (c + k)$ 。

式中: k 为样品中该营养物质的外流速率常数(h^{-1}),本试验中 k 值为0.031。

1.4 体外产气法测定体外瘤胃发酵参数

本试验参考 Menke 等^[9]方法,采用 DHP-9162 型恒温培养箱、玻璃注射器(德国 Harberle 公司)、分液装置(德国 Poulten and Graf GmbH)以及培养液分装槽(北京方正兴达科技发展公司)等装置进行体外发酵试验。

1.4.1 发酵底物准备

将基础饲料粉碎,过 40 目筛后分别在每千克基础饲料中添加 0(对照组)、200(200CA 组)、300(300CA 组)、400 mg(400CA 组)的 CA,充分混合均匀,作为发酵底物。准确称量 0.2 g(精确至 0.000 1 g)饲料样品,无损转入体外消化-移动尼龙小袋(35 mm×75 mm,孔径为 40 μm ,北京一牛肉牛研究中心),封口,放入 100 mL 玻璃注射器内,39 $^{\circ}\text{C}$ 预热,备用。每个饲料样品设 6 个平行。

1.4.2 瘤胃液采集

晨饲前采集 3 只仅饲喂基础饲料的瘰管羊的瘤胃液,4 层纱布过滤,置于 39 $^{\circ}\text{C}$ 预热且无氧的暖瓶中备用。

1.4.3 体外培养

将瘤胃液与人工唾液按照 1:2 混合作为体外发酵的培养液,通入 CO_2 并使用磁力搅拌器搅拌均匀。每个玻璃注射器中装 30 mL 培养液,排尽空气,记录其初始刻度,同时设置 3 个空白管(只添加培养液,不放饲料样品)。快速将玻璃注射器依次放入 39 $^{\circ}\text{C}$ 的恒温摇床培养箱中,培养 48 h。

1.4.4 样品采集

分别于培养 0、3、6、9、12、18、24、36 和 48 h 时读取并记录注射器刻度值,当读数超过 80 mL 时,采用集气袋收气并保存,用于测定 CH_4 浓度。48 h 后终止发酵,收集培养液并立即测定 pH,随后将培养液置于 -20 $^{\circ}\text{C}$ 冷冻保存,用于测定挥发性脂肪酸(VFA)、氨态氮($\text{NH}_3\text{-N}$)和 MCP 浓度。

1.4.5 指标测定

利用气相色谱仪(Agilent 7890B,美国)测定 CH_4 浓度;参考 Wang 等^[10]的方法,利用气相色谱仪测定 VFA 浓度,计算 TVFA 浓度以及 TVFA 中乙酸、丙酸、丁酸、异丁酸、戊酸、异戊酸的比例及乙酸/丙酸;利用考马斯亮蓝 G-250 作为指示剂,使用比色法^[11]测定 MCP 浓度;采用亚硝基铁氰化钠-次氯酸钠比色法测定 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度。

1.5 数据处理与分析

采用 Excel 2010 对试验数据进行初步整理,然后使用 SPSS 23.0 软件进行单因素方差分析(one-way ANOVA)和 Duncan 氏法多重比较,并进行线性和二次回归分析。 $P < 0.05$ 为差异显著, $0.05 \leq P \leq 0.10$ 为有趋势。

2 结果与分析

2.1 添加不同水平的 CA 对 DM 瘤胃降解特性的影响

由表 2 可知,200CA、300CA 组 DM 的瘤胃降解率在各时间点均显著高于对照组($P < 0.05$)。200CA、300CA、400CA 组 DM 的快速降解部分及瘤胃有效降解率均显著高于对照组($P < 0.05$)。

表 2 添加不同水平的 CA 对 DM 瘤胃降解特性的影响

Table 2 Effects of different supplemental levels of CA on DM rumen degradation characteristics of diets

项目 Items	组别 Groups				SEM	P 值 P-value		
	对照 Control	200CA	300CA	400CA		处理 Treatment	线性 Linear	二次 Quadratic
DM 瘤胃降解率 DM rumen degradation rate/%								
6 h	33.53 ^b	39.13 ^a	40.19 ^a	39.80 ^a	0.80	<0.001	<0.001	<0.001
12 h	40.04 ^c	48.96 ^a	47.61 ^a	45.19 ^b	0.91	<0.001	0.014	<0.001
24 h	52.19 ^c	55.40 ^b	58.67 ^a	51.78 ^c	0.76	<0.001	0.478	0.003
36 h	58.07 ^b	64.04 ^a	64.38 ^a	62.72 ^a	0.78	0.002	0.007	<0.001
48 h	66.38 ^b	69.42 ^a	70.17 ^a	68.48 ^{ab}	0.53	0.041	0.062	0.017
72 h	72.13 ^b	76.85 ^a	77.26 ^a	75.59 ^a	0.59	<0.001	0.008	<0.001

续表 2

项目 Items	组别 Groups				SEM	P 值 P-value		
	对照 Control	200CA	300CA	400CA		处理 Treatment	线性 Linear	二次 Quadratic
DM 瘤胃降解参数 DM rumen degradation parameters								
a/%	25.08 ^b	33.20 ^a	32.57 ^a	33.35 ^a	0.98	<0.001	<0.001	<0.001
b/%	55.23 ^{ab}	52.71 ^{bc}	51.23 ^c	58.78 ^a	0.90	0.008	0.489	0.007
c/h ⁻¹	0.03 ^a	0.03 ^a	0.03 ^a	0.02 ^b	0.01	0.001	0.041	0.027
ED/%	50.89 ^b	56.33 ^a	56.99 ^a	54.92 ^a	0.68	<0.001	0.005	<0.001

a: 快速降解部分; b: 慢速降解部分; c: 慢速降解部分的降解速率; ED: 有效降解率。表 3、表 4 和表 5 同。

同行数据肩标无字母或相同字母表示差异不显著 ($P>0.05$), 不同字母表示差异显著 ($P<0.05$)。下表同。

a; rapidly degraded fraction; b; slowly degraded fraction; c; the rate of slowly degraded fraction; ED; effective degradation rate. The same as Table 3, Table 4 and Table 5.

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

2.2 添加不同水平的 CA 对 CP 瘤胃降解特性的影响

由表 3 可知, 在 6~72 h, 200CA、300CA 组 CP 的瘤胃降解率显著高于对照组 ($P<0.05$); 在 24~72 h, 400CA 组 CP 的降解率显著低于对照组 ($P<0.05$)。400CA 组的 CP 的快速降解部分、慢速降

解部分及慢速降解部分的降解速率均显著低于其余各组 ($P<0.05$)。200CA 和 300CA 组的 CP 瘤胃有效降解率显著高于对照组 ($P<0.05$), 而 400CA 组 CP 瘤胃有效降解率则显著低于对照组 ($P<0.05$)。

表 3 添加不同水平的 CA 对 CP 瘤胃降解特性的影响

Table 3 Effects of different supplemental levels of CA on CP rumen degradation characteristics of diets

项目 Items	组别 Groups				SEM	P 值 P-value		
	对照 Control	200CA	300CA	400CA		处理 Treatment	线性 Linear	二次 Quadratic
CP 瘤胃降解率 CP rumen degradation rate/%								
6 h	34.51	36.19	37.12	34.45	0.37	0.061	0.152	0.046
12 h	43.57 ^b	46.52 ^a	46.08 ^a	43.15 ^b	0.52	0.021	0.899	0.007
24 h	54.26 ^b	62.75 ^a	60.95 ^a	49.17 ^c	1.44	<0.001	0.498	<0.001
36 h	66.14 ^b	72.15 ^a	71.83 ^a	59.21 ^c	1.45	<0.001	0.290	<0.001
48 h	74.85 ^b	79.42 ^a	78.20 ^a	68.47 ^c	1.18	<0.001	0.166	<0.001
72 h	82.07 ^b	87.08 ^a	86.60 ^a	74.75 ^c	1.32	<0.001	0.182	0.001
CP 瘤胃降解参数 CP rumen degradation parameters								
a/%	24.88 ^b	23.58 ^b	25.35 ^b	29.21 ^a	0.60	<0.001	0.014	<0.001
b/%	70.10 ^a	70.61 ^a	69.35 ^a	64.57 ^b	0.82	0.014	0.027	0.005
c/h ⁻¹	0.025 ^b	0.033 ^a	0.031 ^a	0.018 ^c	0.012	<0.001	0.355	<0.001
ED/%	55.65 ^b	59.24 ^a	59.85 ^a	52.57 ^c	0.82	<0.001	0.538	<0.001

2.3 添加不同水平的 CA 对 NDF 瘤胃降解特性的影响

由表 4 可知, 在 6~72 h, 200CA、300CA、400CA 组 NDF 的瘤胃降解率显著高于对照组 ($P<$

0.05), 同时 NDF 的快速降解部分及瘤胃有效降解率也均显著高于对照组 ($P<0.05$), 且以 400CA 组最高, 但与 200CA、300CA 组差异不显著 ($P>0.05$)。

表 4 添加不同水平的 CA 对 NDF 瘤胃降解特性的影响

Table 4 Effects of different supplemental levels of CA on NDF rumen degradation characteristics of diets

项目 Items	组别 Groups				SEM	P 值 P-value		
	CON	200CA	300CA	400CA		处理 Treat	线性 Linear	二次 Quadratic
NDF 瘤胃降解率 NDF rumen degradation rate/%								
6 h	26.02 ^c	31.76 ^b	32.38 ^{ab}	34.08 ^a	0.83	<0.001	<0.001	<0.001
12 h	31.42 ^c	36.13 ^b	38.43 ^a	38.29 ^a	0.77	<0.001	<0.001	<0.001
24 h	34.57 ^b	42.55 ^a	42.62 ^a	43.88 ^a	1.00	<0.001	<0.001	<0.001
36 h	40.79 ^b	46.77 ^a	45.89 ^a	47.33 ^a	0.73	<0.001	<0.001	<0.001
48 h	46.89 ^b	49.33 ^a	49.93 ^a	49.93 ^a	0.43	0.018	0.002	0.005
72 h	50.22 ^b	56.61 ^a	56.72 ^a	57.37 ^a	0.79	<0.001	<0.001	<0.001
NDF 瘤胃降解参数 NDF rumen degradation parameters								
a/%	22.61 ^c	28.29 ^b	30.35 ^{ab}	31.52 ^a	0.94	<0.001	<0.001	<0.001
b/%	39.07	38.38	40.97	40.82	0.99	0.776	0.444	0.698
c/h ⁻¹	0.017	0.019	0.014	0.015	0.001	0.191	0.116	0.224
ED/%	36.59 ^b	42.51 ^a	43.08 ^a	44.15 ^a	0.79	<0.001	<0.001	<0.001

2.4 添加不同水平的 CA 对 ADF 瘤胃降解特性的影响

由表 5 可知,在 6~72 h,200CA、300CA、

400CA 组 ADF 的瘤胃降解率均显著高于对照组 ($P<0.05$),同时 ADF 的快速降解部分与瘤胃有效降解率也均显著高于对照组 ($P<0.05$)。

表 5 添加不同水平的 CA 对 ADF 瘤胃降解特性的影响

Table 5 Effects of different supplemental levels of CA on ADF rumen degradation characteristics of diets

项目 Items	组别 Groups				SEM	P 值 P-value		
	对照 Control	200CA	300CA	400CA		处理 Treatment	线性 Linear	二次 Quadratic
ADF 瘤胃降解率 ADF rumen degradation rate/%								
6 h	22.78 ^d	26.65 ^c	30.88 ^a	28.26 ^b	0.78	<0.001	<0.001	<0.001
12 h	26.02 ^c	30.74 ^b	34.49 ^a	33.17 ^a	0.88	<0.001	<0.001	<0.001
24 h	31.24 ^b	33.93 ^b	38.89 ^a	39.35 ^a	0.97	<0.001	<0.001	<0.001
36 h	35.54 ^c	38.20 ^b	41.76 ^a	43.04 ^a	0.84	<0.001	<0.001	<0.001
48 h	38.86 ^c	41.81 ^b	46.79 ^a	46.63 ^a	0.91	<0.001	<0.001	<0.001
72 h	43.98 ^d	47.40 ^c	51.52 ^b	54.29 ^a	1.08	<0.001	<0.001	<0.001
ADF 瘤胃降解参数 ADF rumen degradation parameters								
a/%	19.34 ^c	24.51 ^b	28.32 ^a	24.35 ^b	0.86	<0.001	<0.001	<0.001
b/%	34.68 ^b	41.12 ^a	38.47 ^{ab}	43.28 ^a	1.21	0.048	0.017	0.061
c/h ⁻¹	0.018	0.012	0.014	0.015	0.001	0.143	0.279	0.068
ED/%	31.82 ^c	35.66 ^b	39.70 ^a	39.25 ^a	0.85	<0.001	<0.001	<0.001

2.5 添加不同水平的 CA 对体外发酵产气量的影响

由表 6 可知,在体外发酵试验中,产气量随发酵时间的延长而增加,各组的不同时间点的产气

量均无显著差异 ($P>0.05$),但在 16~48 h,产气量随 CA 添加水平的增加呈线性降低 ($P<0.05$) 或降低趋势 ($0.05\leq P\leq 0.10$)。

表 6 添加不同水平的 CA 对体外发酵产气量的影响

Table 6 Effects of different supplemental levels of CA on *in vitro* fermentation gas production

mL

发酵时间 Fermentation time/h	组别 Groups				SEM	P 值 P-value		
	对照 Control	200CA	300CA	400CA		处理 Treatment	线性 Linear	二次 Quadratic
2	10.00	9.13	8.63	8.81	0.32	0.430	0.064	0.180
4	17.50	16.50	16.34	15.69	0.40	0.461	0.115	0.296
6	23.25	22.00	21.63	21.88	0.53	0.711	0.224	0.456
8	26.75	25.29	24.81	25.75	0.59	0.696	0.342	0.502
12	32.25	31.14	30.63	30.00	0.58	0.578	0.150	0.361
16	39.81	37.29	36.13	35.13	0.80	0.171	0.025	0.086
20	44.19	41.79	40.94	39.88	0.81	0.270	0.049	0.149
24	48.56	46.07	45.19	44.50	0.85	0.346	0.069	0.193
36	61.19	58.43	56.94	57.06	0.92	0.319	0.068	0.180
48	70.94	68.57	66.38	66.07	0.98	0.258	0.045	0.138

2.6 添加不同水平的 CA 对体外瘤胃发酵参数的影响

由表 7 可知,添加不同水平的 CA 对发酵液 pH 无显著影响 ($P>0.05$); 发酵液中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度随 CA 添加水平的增加呈线性和二次曲线降低

($P<0.05$), 且各 CA 添加组均显著低于对照组 ($P<0.05$)。发酵液中 MCP 浓度各组之间无显著差异 ($P>0.05$); CH_4 浓度随 CA 添加水平的增加呈线性或二次曲线降低 ($P<0.05$), 且 300CA、400CA 组显著低于对照组 ($P<0.05$)。

表 7 添加不同水平的 CA 对体外瘤胃发酵参数的影响

Table 7 Effects of different supplemental levels of CA on *in vitro* rumen fermentation parameters

项目 Items	组别 Groups				SEM	P 值 P-value		
	对照 Control	200CA	300CA	400CA		处理 Treatment	线性 Linear	二次 Quadratic
pH	6.54	6.54	6.55	6.56	0.01	0.585	0.284	0.374
氨态氮 $\text{NH}_3\text{-N}/(\text{mg}/\text{dL})$	11.89 ^a	10.80 ^b	9.79 ^c	9.19 ^d	0.21	<0.001	<0.001	<0.001
微生物蛋白 MCP/ (mg/dL)	2.02	2.07	2.47	2.22	0.10	0.434	0.273	0.535
甲烷 $\text{CH}_4/\%$	31.87 ^a	29.46 ^{ab}	26.22 ^{bc}	24.31 ^c	0.91	0.009	0.001	0.003

2.7 添加不同水平的 CA 对体外瘤胃发酵液 VFA 组成的影响

由表 8 可知,在体外发酵试验中,各组发酵液中 TVFA 浓度无显著差异 ($P>0.05$), 且添加不同水平的 CA 对异丁酸、异戊酸及戊酸的比例无显著影响 ($P>0.05$)。发酵液 VFA 中,300CA 组乙酸的比例较对照组显著降低 ($P<0.05$); 丙酸的比例随 CA 添加水平的增加呈线性和二次曲线增加 ($P<0.05$), 300CA、400CA 组显著高于对照组 ($P<0.05$); 300CA、400CA 组丁酸的比例较对照组有增加的趋势 ($0.05\leq P\leq 0.10$), 且丁酸的比例随着 CA 添加水平的增加呈线性和二次曲线增加 ($P<$

0.05); 乙酸/丙酸随 CA 添加水平的增加呈线性或二次曲线降低 ($P<0.05$), 且 200CA、300CA、400CA 组显著低于对照组 ($P<0.05$)。

3 讨论

3.1 添加不同水平的 CA 对饲料营养物质瘤胃降解特性的影响

CA 是一种新型绿色饲料添加剂, 饲料中添加适量的 CA 能够改善瘤胃内环境^[12]。Macheboeuf 等^[13]研究表明, CA 的抑菌作用是醛类有机物中最强的, 低浓度的 CA 即可调控瘤胃发酵。林波等^[14]体外发酵试验结果表明, 植物挥发油在适当

的浓度下可有效调控瘤胃发酵,而添加高浓度的肉桂醛时 TVFA 浓度急剧下降,瘤胃发酵受到抑制。饲料中的营养物质在瘤胃中的降解率反映了饲料原料被消化利用的难易程度,是饲料营养物质被动物机体利用程度的重要指标^[15]。Tekippe 等^[16]在奶牛饲料中添加 CA 后提高了饲料中 NDF 的消化率。An 等^[17]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。Yang 等^[2]给带有瘤胃及十二指肠瘘管的肉牛饲料中添加不同水平的 CA,结果表明,给肉牛补饲低剂量的 CA 对其干物质采食量的影响较小,但可以提高其对饲料中营养物质的消化利用。林波等^[18]在湖羊饲料中添加肉桂油、丁香油、牛至油等不同植物精油后发现,湖羊瘤胃中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的浓度及饲料 CP 瘤胃

降解率显著降低。本试验中,各 CA 添加组饲料 DM、NDF 及 ADF 的瘤胃有效降解率显著高于对照组,200CA、300CA 组 CP 的瘤胃有效降解率显著高于对照组,而 400CA 组 CP 的瘤胃有效降解率显著低于对照组,这证明了适量的 CA 可以提高饲料中营养物质在瘤胃中的降解率,也可以提高饲料蛋白质在瘤胃中的存留率,这种效果与 CA 的添加水平高度相关。营养物质降解率的提高可能与添加适量的 CA 后选择性的提高了瘤胃细菌、真菌的活性,改善了瘤胃功能有关。同时,有研究表明,CA 能够抑制部分瘤胃原虫的活性^[19],而原虫具有蛋白质水解活性和脱氨基活性^[20]。因此,在肉羊饲料中添加一定水平的 CA 时,CP 的瘤胃有效降解率降低,使进入小肠的蛋白质的量增加。

表 8 添加不同水平的 CA 对体外瘤胃发酵液 VFA 组成的影响

Table 8 Effects of different supplemental levels of CA on *in vitro* rumen fermentation fluid VFA composition

项目 Items	组别 Groups				SEM	P 值 P-value		
	CON	200CA	300CA	400CA		处理 Treat	线性 Linear	二次 Quadratic
总挥发性脂肪酸 Total VFA/(mmol/L)	71.31	71.96	76.18	73.36	0.99	0.317	0.230	0.439
乙酸 Acetate/%	54.38 ^a	52.55 ^{ab}	50.36 ^c	51.58 ^{bc}	0.43	0.003	0.002	0.003
丙酸 Propionate/%	24.03 ^b	25.31 ^{ab}	26.65 ^a	25.53 ^{ab}	0.32	0.023	0.018	0.023
异丁酸 Isobutyrate/%	2.40	2.34	2.37	2.41	0.04	0.932	0.983	0.805
丁酸 Butyrate/%	11.41	12.11	13.01	12.72	0.23	0.050	0.010	0.032
异戊酸 Isovalerate/%	3.66	3.63	3.62	3.60	0.06	0.987	0.710	0.934
戊酸 Valerate/%	4.12	4.06	4.00	4.15	0.07	0.881	0.972	0.793
乙酸/丙酸 Acetate/propionate	2.27 ^a	2.08 ^b	1.91 ^b	2.02 ^b	0.04	0.002	0.001	0.002

3.2 添加不同水平的 CA 对体外瘤胃发酵参数的影响

产气量是反映饲料可发酵程度及瘤胃微生物活性的重要指标^[21]。目前,关于 CA 及肉桂油对瘤胃发酵产气量的大多数研究表明,随着 CA 或肉桂油添加水平的增加,总产气量无显著变化或显著降低。本试验中,各组之间的总产气量(72 h 产气量)无显著差异,但与对照组相比,试验组产气量随 CA 添加水平的增加呈线性降低趋势,这与前人的研究基本一致。反刍动物瘤胃合成 CH_4 的主要途径是氢气 (H_2) 还原二氧化碳 (CO_2) 生成 CH_4 , 其次是利用乙酸、丙酸、丁酸等挥发性脂肪酸生成 CH_4 ^[22]。林波等^[14]体外研究发现,添加 50 mg/L CA 和肉桂醛油时, CH_4 产量较对照组分

别降低 16.5% 和 21.4%, 总产气量分别降低 8.5% 和 10.4%, 但与对照组相比差异不显著,但其添加水平高于 500 mg/L 时能显著降低 CH_4 产量及总产气量,总产气量分别降低 57.2% 和 51.2%, 瘤胃发酵受到抑制。Blanch 等^[23]研究发现,体外条件下添加适宜浓度的 CA 和大蒜油,能够显著降低 CH_4 的产量。王东升等^[24]体外发酵试验表明,添加 100 mg/L 的肉桂油能够显著降低 CH_4 产量及总产气量。在本试验中,发酵液中 CH_4 浓度随 CA 添加水平的增加线性降低,与上述前人的研究基本一致。这可能是由于 CA 抑制了产甲烷菌的活性^[25], 导致 CH_4 产量降低,但 H_2 和 CO_2 产量增加,同时,瘤胃发酵产生的 H_2 被用来合成丙酸,使得合成 CH_4 的底物减少,进而降低 CH_4 产量,总产

气量无显著变化,这也与本试验发酵液中丙酸比例升高的结果相一致。

瘤胃液 pH 可以反映瘤胃内环境的状态,受饲料类型、动物唾液分泌量以及有机酸浓度的共同影响^[7],pH 过高或过低均会抑制瘤胃微生物生长,对瘤胃发酵产生负面影响。本次体外发酵试验结果表明添加 CA 后对发酵液 pH 无显著影响,且 pH 均在 6.2~6.8,在适宜瘤胃微生物生长的 pH 范围内,这可能是由于体外瘤胃发酵试验中缓冲液对维持 pH 的稳定起了重要作用。饲料中的蛋白质在瘤胃菌群的作用下降解为 $\text{NH}_3\text{-H}$,一部分被瘤胃微生物利用合成 MCP,进而被机体吸收利用。因此,瘤胃中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 及 MCP 的浓度是反映瘤胃氮代谢的重要指标。目前,关于 CA 或肉桂精油对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度影响的研究已经有很多报道,但结果存在差异。Fraser 等^[26]研究表明,500 mg/L 的肉桂油能够显著降低 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的浓度。CA 是肉桂精油的主要活性成分,Busquet 等^[4]研究表明,CA 比肉桂精油对瘤胃发酵的影响大,CA 可以通过降低脱氨基作用降低发酵液中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的浓度,从而影响瘤胃氮代谢。金恩望等^[5]利用体外产气法研究了不同植物精油对瘤胃发酵的影响,结果表明,不同添加水平的植物精油均会不同程度的降低 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的浓度,但对 MCP 的浓度无显著影响。Jahani-Azizabadi 等^[27]利用批次培养法研究植物精油对瘤胃发酵特性的影响,结果表明,发酵液中添加 20 $\mu\text{L/L}$ 的肉桂油能显著降低 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度及 CH_4 产量。本试验结果也表明,添加不同水平的 CA 均能降低发酵液中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度,但对 MCP 浓度无显著影响。瘤胃中的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 大部分(总量的 50%以上)是由瘤胃中的超级产氨细菌(HAP)产生的,HAP 仅占瘤胃细菌总数的 1%左右,却有非常高的脱氨基活性^[28]。研究表明,植物精油能够选择性的抑制 HAP,从而降低瘤胃中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的浓度^[29]。除此之外,肉桂醛能够降低普雷沃菌属的数量,从而降低瘤胃液中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的浓度^[30]。然而,王东升等^[24]研究显示,添加 CA(100 mg/L)后对发酵液中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 及 MCP 浓度均无显著影响。金恩望等^[31]利用批次培养法研究植物精油对瘤胃发酵的影响,结果表明,在发酵的 72 h 内,添加 100、500 mg/L 的肉桂精油时 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的浓度逐渐升高,而添加 100、500、1 500 mg/L 的肉桂油在发

酵 72 h 时 MCP 浓度显著升高。这些试验结果的差异可能是由于试验方法、发酵体系、CA 的添加形式和添加水平以及发酵底物不同而引起的。另外,瘤胃中的细菌可以利用 $\text{NH}_3\text{-N}$ 合成 MCP,降低瘤胃中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的浓度,然而,本试验结果表明,添加不同水平的 CA 对发酵液中 MCP 浓度无显著影响。因此推测,CA 降低 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的浓度是由于选择性地抑制了瘤胃中产氨菌的脱氨基活性。其作用机制可能是 CA 的羰基与微生物酶结合使其失去作用^[12]。

VFA 是饲料中碳水化合物进入瘤胃后被降解的主要产物,是反刍动物能量供应的主要来源。其中乙酸、丙酸及丁酸总量占 TVFA 的 95%以上。关于 CA 对瘤胃发酵时 TVFA 及各种 VFA 的浓度及比例影响的研究结果也不统一。Chaves 等^[33]研究报道在体外发酵试验中,添加 250 mg/L 的肉桂精油对 TVFA、乙酸浓度无显著影响,而丁酸浓度显著升高;同时,Chaves 等^[34]在羔羊饲料中添加 CA(0.2 g/kg DM),研究其对羔羊瘤胃发酵的影响,结果表明 CA 增加了瘤胃液中 TVFA 的浓度。Busquet 等^[35]的体外产气试验结果表明,添加 3、30、300 mg/L 的肉桂油对 TVFA、乙酸及丙酸浓度均无显著影响,添加 3 000 mg/L 的 CA 能显著降低 TVFA 浓度。然而,Busquet 等^[4]利用双外流持续发酵系统研究 CA 对瘤胃发酵的影响时发现,添加 31.2 或 312.0 g/L 的 CA 使得发酵液中乙酸比例下降,丙酸及丁酸比例上升。Cardozo 等^[36]研究表明,添加 300 mg/L 的肉桂油显著降低 TVFA 及支链脂肪酸的浓度,而添加 30 mg/L 的肉桂油对 TVFA 浓度无显著影响。由此可见,肉桂精油及 CA 对 TVFA 浓度的影响存在明显的剂量效应,添加低浓度的 CA 对 TVFA 浓度无显著影响,添加高浓度 CA 能够显著降低 TVFA 浓度,瘤胃发酵受到抑制;另外,由于试验方法不同,可能会对各 VFA 浓度及比例产生不同的影响。本试验结果表明,添加不同水平的 CA 对发酵液中 TVFA 浓度以及异丁酸、异戊酸、戊酸比例无显著影响,可能是由于本试验所采用的 CA 纯度较低(20%左右),不会对瘤胃发酵产生抑制作用;而添加 CA 使得发酵液中丙酸比例显著增加,乙酸/丙酸显著降低,可能是由于 CA 抑制了甲烷菌的活性,瘤胃内多余的 H_2 被转移到了丙酸合成的过程中,从而使丙酸比例增加,乙酸/丙酸降低。目前,关于 CA 对反刍

动物瘤胃发酵的影响存在很多争议,体外试验和体内试验结果也存在一些差异,确定 CA 在肉羊生产中的最适添加量需进一步增加体内试验。

4 结 论

综上所述,饲料中添加 200 和 300 mg/kg CA 能够提高肉羊饲料中 DM、CP、NDF、ADF 的瘤胃有效降解率,降低发酵液中 CH₄ 和 NH₃-N 浓度,提高发酵液中丙酸比例,并降低乙酸比例及乙酸/丙酸。在本试验条件下,每千克饲料中添加 300 mg CA 时效果最好。

参考文献:

- [1] MATEOS I, RANILLA M J, TEJIDO M L, et al. The influence of diet type (dairy versus intensive fattening) on the effectiveness of garlic oil and cinnamaldehyde to manipulate *in vitro* ruminal fermentation and methane production [J]. *Animal Production Science*, 2013, 53(4): 299-307.
- [2] 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.
- [3] KHORRAMI B, VAKILI A R, MESGARAN M D, et al. Thyme and cinnamon essential oils: potential alternatives for monensin as a rumen modifier in beef production systems [J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2015, 200: 8-16.
- [4] BUSQUET M, CALSAMIGLIA S, FERRET A, et al. Effects of cinnamaldehyde and garlic oil on rumen microbial fermentation in a dual flow continuous culture [J]. *Journal of Dairy Science*, 2005, 88(7): 2510-2516.
- [5] 金恩望,王加启,卜登攀,等.利用体外产气法研究植物精油对瘤胃体外发酵和甲烷生成的影响[J].*中国农业大学学报*, 2013, 18(3): 120-127.
JIN E W, WANG J Q, BU D P, et al. Effect of essential oil on rumen fermentation and methanogenesis in vitro gas production [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2013, 18(3): 120-127. (in Chinese)
- [6] JOHNSON K A, JOHNSON D E. Methane emissions from cattle [J]. *Journal of Animal Science*, 1995, 73(8): 2483-2492.
- [7] 石宁,贾森,李艳玲.体外产气法研究植物精油对肉羊体外瘤胃发酵参数及甲烷产量的影响[J].*动物营养学报*, 2019, 31(1): 274-284.
SHI N, JIA M, LI Y L. Effects of plant essential oil on rumen fermentation parameters and methane production of mutton sheep *in vitro* [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2019, 31(1): 274-284. (in Chinese)
- [8] ØRSKOV E R, MCDONALD I. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage [J]. *Journal of Agricultural Science*, 1979, 92(2): 499-503.
- [9] MENKE K H, RAAB L, SALEWSKI A, et al. The estimation of the digestibility and metabolizable energy content of ruminant feedingstuffs from the gas production when they are incubated with rumen liquor *in vitro* [J]. *The Journal of Agricultural Science*, 1979, 93(1): 217-222.
- [10] WANG C, LIU Q, GUO G, et al. Effects of rumen-protected folic acid on ruminal fermentation, microbial enzyme activity, cellulolytic bacteria and urinary excretion of purine derivatives in growing beef steers [J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2016, 221: 185-194.
- [11] BRADFORD M M. A rapid sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein [J]. *Analytical Biochemistry*, 1976, 72(1/2): 248-254.
- [12] CARDOZO P W, CALSAMIGLIA S, FERRET A, et al. Effects of alfalfa extract, anise, capsicum, and a mixture of cinnamaldehyde and eugenol on ruminal fermentation and protein degradation in beef heifers fed a high-concentrate diet [J]. *Journal of Animal Science*, 2006, 84(10): 2801-2808.
- [13] MACHEBOEUF D, MORGAVI D P, PAPON Y, et al. Dose-response effects of essential oils on *in vitro* fermentation activity of the rumen microbial population [J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2008, 145(1/2/3/4): 335-350.
- [14] 林波,纪苗苗,梁权,等.肉桂油和牛至油及其主要成分对体外瘤胃发酵和甲烷产生的影响[J].*中国兽医学报*, 2011, 31(2): 279-282, 287.
LIN B, JI M M, LIANG Q, et al. Effect of cinnamon oil and oregano oil and their major components on rumen fermentation *in vitro* [J]. *Chinese Journal of Veterinary Science*, 2011, 31(2): 279-287. (in Chinese)
- [15] GAO W, CHEN A D, ZHANG B W, et al. Rumen degradability and post-ruminal digestion of dry matter, nitrogen and amino acids of three protein supplements [J]. *Asian-Australasian Journal of Animal Science*, 2015, 28(4): 485-493.
- [16] 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.
- [17] AN X P, WANG Y, WANG R F, et al. Effects of a

- blend of cinnamaldehyde, eugenol and capsicum oleoresin (CEC) on growth performance, nutrient digestibility, immune response and antioxidant status of growing ewes [J]. *Livestock Science*, 2020, 234: 103982.
- [18] 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)
- [19] 丁大伟, 徐小强, 高许雷, 等. 牛至油和肉桂醛添加组合对奶牛瘤胃微生物蛋白产量与养分消化率的影响[J]. *中国畜牧杂志*, 2019, 55(9): 76-80.
- DING D W, XU X Q, GAO X L, et al. Effects of oregano oil and cinnamic aldehyde on rumen microbial protein production and nutrient digestibility of dairy cows [J]. *Chinese Journal of Animal Science*, 2019, 55(9): 76-80. (in Chinese)
- [20] HART K J, YÁÑEZ-RUIZ D R, DUVAL S M, et al. Plant extracts to manipulate rumen fermentation [J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2008, 147(1/2/3): 8-35.
- [21] MCINTOSH F M, WILLIAMS P, LOSA R, et al. Effects of essential oils on ruminal microorganisms and their protein metabolism [J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 2003, 69(8): 5011-5014.
- [22] 郝正里, 刘世民, 孟宪政. 反刍动物营养学[M]. 兰州: 甘肃民族出版社, 2000: 3-4.
- HAO Z L, LIU S M, MENG X Z. Ruminant nutrition [M]. Lanzhou: Gansu Ethnic Press, 2000: 3-4. (in Chinese)
- [23] 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.
- [24] 王东升, 黄江丽, 于一尊, 等. 3种挥发油对肉牛体外瘤胃发酵、甲烷生成和微生物种群的影响[J]. *江西农业大学学报*, 2016, 38(4): 711-716.
- WANG D S, HUANG J L, YU Y Z, et al. Effects of three kinds of essential oil on rumen fermentation, methanogenesis and microbiota *in vitro* [J]. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2016, 38(4): 711-716. (in Chinese)
- [25] 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)
- [26] 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 systems [J]. *Journal of Dairy Science*, 2007, 90(5): 2315-2328.
- [27] JAHANI-AZIZABADI H, MESGARAN M D, VAKILI A R, et al. Effect of various medicinal plant essential oils obtained from semi-arid climate on rumen fermentation characteristics of a high forage diet using *in vitro* batch culture [J]. *African Journal of Microbiology Research*, 2011, 5(27): 4812-4819.
- [28] NEWBOLD C J, MCINTOSH F M, WILLIAMS P, et al. Effects of a specific blend of essential oil compounds on rumen fermentation [J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2004, 114(1/2/3/4): 105-112.
- [29] PATRA A K. Enteric methane mitigation technologies for ruminant livestock: a synthesis of current research and future directions [J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2012, 184(4): 1929-1952.
- [30] FERME D, CALSAMIGLIA S, BUSQUET M, et al. Structure changes in bacterial populations from the phylum *Bacteroidetes* upon the inclusion of monensin, cinnamaldehyde or garlic extract in a dual flow continuous culture system [C]. *Proceedings of the royal society of London A*. London: [s.n.], 2004: 5.
- [31] 金恩望, 卜登攀, 王加启, 等. 利用批次培养法研究植物精油对瘤胃体外发酵的影响 [J]. *甘肃农业大学学报*, 2014, 49(2): 5-12, 20.
- JIN E W, BU D P, WANG J Q, et al. Effect of essential oil on rumen fermentation *in vitro* batch fermentation trial [J]. *Journal of Gansu Agricultural university*, 2014, 49(2): 5-12, 20. (in Chinese)
- [32] BURT S. Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods—a review [J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2004, 94(3): 223-253.
- [33] CHAVES A V, STANFORD K, GIBSON L L, et al. Effects of carvacrol and cinnamaldehyde on intake, rumen fermentation, growth performance, and carcass characteristics of growing lambs [J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2007, 145(1/2/3/4): 396-408.
- [34] CHAVES A V, STANFORD D K, DUGAN M E R, et al. Effects of cinnamaldehyde, garlic and juniper berry essential oils on rumen fermentation, blood metabolites, growth performance, and carcass characteristics of growing lambs [J]. *Livestock Science*, 2008, 117(2/3): 215-224.
- [35] BUSQUET M, CALSAMIGLIA S, FERRET A, et al. Plant extracts affect *in vitro* rumen microbial fermentation [J]. *Journal of Dairy Science*, 2006, 89(2): 761-771.

Effects of Different Supplemental Levels of Cinnamaldehyde on Ruminal Degradation Characteristics of Dietary Nutrients and Rumen Fermentation Parameters *in Vitro* for Meat Sheep

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 different supplemental levels of cinnamaldehyde (CA) on rumen degradation characteristics of dietary nutrients and rumen fermentation parameters *in vitro* for sheep. Twelve adult Dorper×Han hybrid wethers sheep with permanent ruminal fistula were randomly divided into four groups with 3 sheep per group. CA with the supplemental levels of 0 (control group), 200 (200CA group), 300 (300CA group) and 400 mg/kg (400CA group) were added into a basal diet, respectively. Nylon-bag method was used to determine the rumen degradation rates of dietary nutrients, and *in vitro* gas production method was used to determine the *in vitro* rumen fermentation parameters. The results showed as follows: 1) compared with the control group, the rumen effective degradation rates of dry matter (DM), neutral detergent fiber (NDF) and acid detergent fiber (ADF) in 200CA, 300CA and 400CA groups were significantly increased ($P<0.05$). The rumen effective degradation rate of crude protein (CP) in 200CA and 300CA groups were significantly increased ($P<0.05$), and that in 400CA group was significantly decreased compared with the control group ($P<0.05$). 2) There were no significant differences in total gas production (72 gas production), pH and microbial protein (MCP) concentration were found among groups ($P>0.05$). Compared with the control group, the methane (CH₄) and ammonia nitrogen (NH₃-N) concentrations in 200CA, 300CA and 400CA groups were significantly decreased ($P<0.05$). 3) There were no significant differences in the concentration of total volatile fatty acids and the proportions of butyrate, isobutyrate, valerate and isovalerate ($P>0.05$), but the proportion of propionate in 300CA group was significantly increased compared with the control group ($P<0.05$). To sum up, CA has regulatory effect on the rumen fermentation of meat sheep, it can improve the rumen effective degradation rates of DM, NDF and ADF, increase the retention rate of nitrogen in rumen, and reduce the methane production. The optimal supplemental level of CA is 300 mg/kg diet under the condition of this experiment. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2021, 33(5): 2765-2775]

Key words: cinnamaldehyde; *in vitro* rumen fermentation technology; nylon-bag technique; effective degradation rates of dietary nutrients; rumen fermentation