

# 植物提取物对反刍动物瘤胃发酵和甲烷排放影响的研究进展

张 然<sup>1,2</sup>, 郑 琛<sup>2</sup>, 闫晓刚<sup>1</sup>, 班志彬<sup>1</sup>, 梁 浩<sup>1</sup>, 杨华明<sup>1\*</sup>

(1. 吉林省农业科学院畜牧科学分院, 吉林 公主岭 136100; 2. 甘肃农业大学动物科学技术学院, 兰州 730070)

**摘 要:**植物提取物中含有皂苷、生物碱、植物精油、单宁以及多糖等活性成分,在反刍动物饲养中具有调控瘤胃发酵挥发性脂肪酸组成、提高过瘤胃蛋白数量、抑制甲烷排放等功能,对反刍动物瘤胃调控方面发挥一定作用。本文就皂苷、单宁和植物精油这三类植物提取物调控反刍动物瘤胃发酵和甲烷产量的研究进展进行综述,旨在为植物提取物在实际生产中的应用提供参考。

**关键词:**植物提取物;反刍动物;瘤胃调控;甲烷产量

中图分类号: S852

文献标识码: A

文章编号: 1003-8701(2017)05-0043-05

## Progress of Researches on Plant Extracts on Rumen Fermentation and Methane Emission of Ruminant

ZHANG Ran<sup>1,2</sup>, ZHENG Chen<sup>2</sup>, YAN Xiaogang<sup>1</sup>, BAN Zhibin<sup>1</sup>, LIANG Hao<sup>1</sup>, YANG Huaming<sup>1\*</sup>

(1. Branch Academy of Animal Science, Jilin Academy of Agricultural Sciences, Gongzhuling, 136100; 2. College of Animal Science and Technology, Gansu Agriculture University, Lanzhou, 730070, China)

**Abstract:** Plant extracts contain saponins, alkaloids, essential oils, tannins, polysaccharides and other active ingredients. The plant extracts played a certain role in the rumen regulation of ruminants, including regulating VFA composition of rumen fermentation, enhancing by-pass protein flow and reducing methane emission. The effects of saponins, tannins and plant essential oils on the rumen fermentation and methane production of ruminants were summarized in the paper, so as to provide reference for the application of plant extracts in practical production.

**Key words:** Plant extracts; Ruminants; Rumen regulation; Methane emission

植物提取物是从植物中获取的天然成分,具有抗菌、抗氧化、抗虫和免疫调节的功能,且具有用量少、无残留,不易产生耐药性,毒副作用小的优点,因此在反刍动物生产中应用植物提取物作为新型饲料添加剂引起动物营养工作者的广泛关注。植物提取物对反刍动物的影响主要表现在调控瘤胃发酵挥发性脂肪酸组成、提高过瘤胃蛋白数量、抑制甲烷排放等方面。反刍家畜以挥发性脂肪酸形式吸收的能量占总吸收能量的60%~70%(约25 104~50 208 J/d)<sup>[1]</sup>,调控瘤胃内挥发性脂肪酸组成向丙酸发酵类型转变可以提高饲料利用率。饲料中的蛋白质经微生物降解合成微生物

氮的合成量有限,造成饲料蛋白质在瘤胃内的浪费,通过提高过瘤胃蛋白数量,减少饲料蛋白质在反刍动物瘤胃内的降解,促使其直接进入小肠后再被消化吸收,是提高饲料蛋白质利用率的途径之一。造成温室效应的气体主要包括二氧化碳(CO<sub>2</sub>)、甲烷(CH<sub>4</sub>)和氧化亚氮(N<sub>2</sub>O)。就单一气体而言,CH<sub>4</sub>具有大气寿命较长的特性,全球增温潜力(global warming potential, GWP)大约是CO<sub>2</sub>的25倍<sup>[2]</sup>。瘤胃内82%的CH<sub>4</sub>是通过甲烷短杆菌利用瘤胃中的代谢氢还原CO<sub>2</sub>生成,但CH<sub>4</sub>不被动物机体利用而通过暖气排出体外<sup>[3]</sup>,因而生CH<sub>4</sub>过程伴随着较大的能量损失。研究表明,反刍动物在能量代谢过程中因CH<sub>4</sub>形式损失掉的能量占饲料总能的2%~12%<sup>[4]</sup>,因此研发植物提取物作为饲料添加剂来减少家畜体内CH<sub>4</sub>的生成不仅对控制温室效应气体有一定作用,而且可以减少能量损失,提高饲料利用率。但植物提取物对反刍动物瘤胃发酵和甲烷排放的作用效果因样品来源、

收稿日期: 2017-05-11

项目基金: 吉林省科技厅国际科技合作项目(20160414042GH)

作者简介: 张 然(1993-),女,在读硕士,研究方向:动物营养与饲料科学。

通讯作者: 杨华明,男,副研究员, E-mail: yhmjl@163.com

活性成分、添加水平、饲养条件、试验动物等不同而异。本文只介绍皂苷、单宁和植物精油这3类植物提取物对瘤胃发酵和甲烷产量的影响。

## 1 植物提取物

植物提取物也称植物益生菌,是以植物为原料,经过一系列物理、化学方法从植物中提取的一种含有多种营养活性成分的混合物,主要由少量植物的组成成分和其代谢产生的次级产物组成。植物提取物的种类繁多,已知结构的植物提取物已经超过20万种<sup>[5]</sup>,这些物质的活性成分复杂,主要包括皂苷、生物碱、植物精油、单宁以及多糖等几种。

## 2 植物提取物在反刍动物饲养中的应用

目前植物提取物在反刍动物饲养中的应用主要集中在改变瘤胃发酵乙酸/丙酸值、提高过瘤胃蛋白数量、抑制甲烷生成等方面。

### 2.1 调控瘤胃发酵挥发性脂肪酸组成

挥发性脂肪酸(VFA)是碳链为1~6的脂肪酸,是反刍家畜最重要的能量来源与合成体脂肪、乳脂肪的原料,对动物最为重要的是乙酸、丙酸和丁酸<sup>[6]</sup>。乙酸/丙酸值可以在一定程度上维持反刍动物葡萄糖代谢平衡。

添加皂苷可降低乙酸/丙酸值,提高丙酸含量,影响瘤胃发酵产生的挥发酸组成,从而改变瘤胃发酵模式。王洪荣等<sup>[7]</sup>通过体外培养系统研究茶皂素和丝兰皂苷的混合物对山羊瘤胃发酵的影响,结果表明:茶皂素和丝兰皂苷的混合物能降低瘤胃pH值、乙酸/丙酸值、乙酸摩尔比和丁酸摩尔比,增加丙酸摩尔比和总挥发性脂肪酸(TVFA)的浓度。周奕毅<sup>[8]</sup>体外试验也表明添加茶皂素能改变湖羊瘤胃发酵,降低了乙酸比例,提高了丙酸比例,但对TVFA没有产生显著影响,这与Hristov等<sup>[9]</sup>和胡明<sup>[10]</sup>试验结果一致。已有试验证实,皂苷对原虫的抑制作用导致丙酸产量的显著增加<sup>[11]</sup>。

植物精油对乙酸、丙酸和丁酸摩尔浓度及比例的影响,因试验中所添加精油的种类、有效成分、添加量、发酵底物的精粗比不同而有所区别。Busquet等<sup>[12]</sup>在体外批次发酵试验中添加3 mg/L和30 mg/L肉桂油、丁香油和茶树油对TVFA影响均不显著,但当浓度达到3 000 mg/L时3种植物精油均显著降低了TVFA。王东升等<sup>[13]</sup>添加大

蒜油、肉桂油和牛至油终浓度分别至50、100、200 mg/L时,除了200 mg/L牛至油使VFA显著下降外,其余浓度对pH值和VFA都影响不显著,以上两个试验也说明植物精油对VFA的影响存在剂量效应。但米热古丽·伊马木等<sup>[14]</sup>通过体外发酵试验得出不同剂量的薰衣草精油能显著提高发酵液中TVFA、乙酸摩尔比,降低戊酸和丁酸摩尔比。Castillejos等<sup>[15]</sup>和徐方华<sup>[16]</sup>试验也表明低浓度牛至油在一定程度上能够增加TVFA。

### 2.2 对瘤胃氮代谢的影响

瘤胃液总氮主要包括日粮粗蛋白降解和再循环进入的氨态氮(NH<sub>3</sub>-N)、尿素氮和微生物氮(MCP)等。瘤胃液氨态氮是瘤胃内饲料蛋白质、内源性蛋白质和其他非蛋白氮化合物分解的终产物,日粮粗蛋白是瘤胃内氨的主要来源<sup>[17]</sup>,瘤胃内NH<sub>3</sub>-N含量是反映瘤胃内蛋白质消化代谢的重要指标<sup>[18]</sup>。

有报道认为,添加皂苷使饲料蛋白质降解率下降或微生物蛋白合成增加,引起瘤胃NH<sub>3</sub>-N浓度降低<sup>[19-21]</sup>。胡伟莲<sup>[22]</sup>通过体外试验发现,在玉米粉和稻草粉的混合底物中分别添加皂苷树皂苷和丝兰皂苷,两种皂苷添加量分别为2 mg和8 mg,体外培养24 h后,添加皂苷的各实验组的NH<sub>3</sub>-N浓度显著低于对照组( $P<0.01$ ),分别比对照组降低8.7%、19.6%、16.7%和25.1%;MCP产量显著高于对照组( $P<0.01$ ),分别比对照组增加17.2%、35.1%、31.1%和74.2%。Alexander等<sup>[23]</sup>在白三叶底物中添加2 mg/mL辣木籽皂苷进行24 h体外发酵试验,结果显示,和对照组相比,NH<sub>3</sub>-N浓度降低13.6%,MCP含量提高44%。总结其作用机理有以下两种观点:(1)皂苷提高了瘤胃微生物对NH<sub>3</sub>-N的摄取和利用,导致瘤胃NH<sub>3</sub>-N浓度降低<sup>[24]</sup>;(2)皂苷抑制原虫活性使其溶菌作用减弱<sup>[25]</sup>。

单宁的化学性质活泼,易与蛋白质结合形成不易被瘤胃微生物降解的复合物,从而提高过瘤胃蛋白的数量,是一种天然的过瘤胃蛋白保护剂,同时当动物采食富含单宁的植物如红三叶草等植物时,反刍动物就不会出现胃肠胀气<sup>[26]</sup>。张晓庆<sup>[27]</sup>用尼龙袋法测定了经6个水平(0%、5%、10%、15%、25%、35%)的单宁处理的优质豆粕的干物质(DM)、粗蛋白质(CP)降解率,结果表明,水解单宁可降低豆粕DM、CP的降解率。Wang等<sup>[28]</sup>曾报道,利用红豆草干草(富含单宁)饲喂绵羊时显著降低绵羊瘤胃内的NH<sub>3</sub>-N浓度( $P<0.01$ ),这与李大彪等<sup>[29]</sup>、李成云等<sup>[30]</sup>和吕忠蕾等<sup>[31]</sup>的试验结果

一致。单宁对蛋白质的保护作用是其本身的理化性质决定的,单宁有很强的极性且与蛋白质结合形成不溶于水的复合物沉淀,单宁与蛋白质的高结合能力主要在于它有大量的多酚类化合物,而蛋白质中碳酰基团能够与酚类化合物缩合。

金恩望等<sup>[32]</sup>通过体外产气法研究植物精油对瘤胃体外发酵的影响,结果表明:与对照组相比,添加各剂量的茶树油和肉桂油对MCP含量无显著影响,但 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度均有降低趋势,贾森等<sup>[33]</sup>试验也得到相同的结果。Cardozo等<sup>[34]</sup>在精粗比为90:10的育成牛日粮中添加茴香油得出茴香油降低了 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度。植物精油能够抑制瘤胃超级产氨菌,可在一定程度上降低脱氨酶的活性和氨的浓度,通过增加瘤胃蛋白质利用效率来提高营养利用率<sup>[35]</sup>。

### 2.3 抑制 $\text{CH}_4$ 的生成

研究显示,皂苷对瘤胃原虫的活性有抑制作用。原虫与产甲烷菌根据寄生位点的不同,分为内共生和外共生的关系<sup>[36]</sup>,原虫数量的减少降低了产甲烷菌赖以生存的底物氢的数量,因此原虫数量的变化常引起瘤胃内 $\text{CH}_4$ 产量的变化。周奕毅<sup>[8]</sup>研究发现,茶皂素可以抑杀原虫,能显著抑制瘤胃内 $\text{CH}_4$ 排放。Hu等<sup>[24]</sup>以玉米面和干草粉为发酵底物,将皂苷以1%、2%、3%和4%添加到发酵底物中,经24 h发酵后 $\text{CH}_4$ 产量分别降低13%、22%、25%和26%,且原虫数量相应地降低19%、25%、45%和79%。叶均安等<sup>[37]</sup>将茶皂素提取物的浓度以0、0.25%、0.5%和1.0%添加到培养液中,在厌氧密封的100 mL小口瓶中进行培养3 h和6 h后染色,显微镜下计数活纤毛虫数。结果表明:实验组培养3 h后纤毛虫成活数显著下降,且随着添加量的增加,活的纤毛虫更少( $P<0.01$ ),培养6 h后已检测不出活的纤毛虫。皂苷对原虫活性抑制的原因可能与Wang等<sup>[38]</sup>的体外发酵试验结果一致,即皂苷与细胞膜胆固醇反应,引起细胞膜分解,改变了细胞膜的通透性,造成细胞死亡,进而降低瘤胃液中的原虫数目。

单宁对 $\text{CH}_4$ 减排效果的报道不尽相同。植物单宁包含两类,为水解单宁和缩合单宁,其中缩合单宁是主要存在的类型,来源不同的单宁对反刍动物 $\text{CH}_4$ 产量的影响也存在差异。有报道表明,在黑麦草、红三叶和紫花苜蓿组成的绵羊日粮中添加黑荆树的缩合单宁29 g/kg(干物质基础),将减少130 KJ/MJ的 $\text{CH}_4$ 排放<sup>[39]</sup>。在山羊日粮中添加不同浓度胡枝子的浓缩单宁,各浓度的浓

缩单宁都有降低山羊瘤胃 $\text{CH}_4$ 产量的趋势<sup>[40]</sup>。单宁降低 $\text{CH}_4$ 产量的原因可能是:(1)缩合单宁影响了细菌的附着能力。Mcallister等<sup>[41]</sup>试验表明,当在体外纯培养瘤胃产琥珀酸丝状杆菌时,加入提纯后的百脉根缩合单宁能够显著降低细菌对滤纸的附着力。(2)通过直接抑制产甲烷菌或间接影响原虫的数量,水解单宁和缩合单宁都能抑制 $\text{CH}_4$ 的产量<sup>[42-43]</sup>。(3)更高浓度的单宁对瘤胃 $\text{CH}_4$ 的抑制则是因为单宁与蛋白质结合导致可发酵有机物比例降低进而使瘤胃微生物数量减少。但Newbold等<sup>[44]</sup>报道,印度田菁叶中的单宁没有抗原虫作用。以上结果不一致的原因可能是单宁种类繁多,结构各异,且试验所用单宁的来源、形式和水平的差异都会影响瘤胃内 $\text{CH}_4$ 产量。

有报道显示,植物精油也会影响 $\text{CH}_4$ 的产量。白乌日汗等<sup>[45]</sup>在体外试验中将牛至油及其主要成分麝香草酚添加浓度设为0、4.5、45、450 mg/L,试验结果表明,底物中添加牛至油时各添加组的 $\text{CH}_4$ 产量均显著低于对照组( $P<0.05$ );底物中添加麝香草酚时各添加组的 $\text{CH}_4$ 产量均低于对照组( $P<0.05$ );除4.5 mg/L组24 h时不显著以外( $P<0.05$ );其它组在各培养时间点上都与对照组差异显著( $P<0.05$ )。贾森等<sup>[33]</sup>以肉羊为供试羊,选择桉叶油、山苍子油、肉桂油及茴香油4种植物精油,每种精油分别设置5个浓度梯度,0、50、100、200、400 mg/L,经过24 h的体外发酵培养,试验结果表明:添加不同浓度的山苍子油和茴香油显著影响体外瘤胃发酵 $\text{CH}_4$ 产量( $P<0.01$ )。随山苍子油和茴香油添加量的增加, $\text{CH}_4$ 产量呈二次曲线下降趋势( $P<0.01$ )。陆燕<sup>[46]</sup>试验也表明:适宜浓度的丁香酚、八角茴香油、大蒜油都能抑制瘤胃 $\text{CH}_4$ 的产量,而产气量没有显著差异,对饲料消化率不存在负面影响。一般认为,植物提取物通过抑制原虫的活性而达到 $\text{CH}_4$ 减排的效果,但有关精油对原虫作用的研究结果不尽一致,表现为没有影响<sup>[47]</sup>,有增殖作用<sup>[48]</sup>,有抗原虫作用<sup>[6,49]</sup>。植物精油抗原虫作用的机理与其亲脂性化合物(如茴香)介导精油通过原虫细胞膜有关<sup>[49]</sup>。

## 3 存在的问题

虽然大量研究表明,植物提取物对调控瘤胃发酵特性及 $\text{CH}_4$ 减排有促进作用,但因受植物提取物的添加剂量、化学组分、饲料组成以及试验动物的影响,不同的研究结果都不尽相同,限制了对其作用机理的深入研究。目前研究植物提取

物的方法普遍是体外产气法或体外培养法,饲养试验较少,虽然体外法能够直观地反映提取物对瘤胃发酵的调控效果,但反刍动物的瘤胃内环境复杂,影响因素多,变化快,体内环境和体外环境存在着较大差异。已有报道显示,动物饲养试验的效果并没有体外试验显著。如何选择适当的植物提取物,使其发挥有利作用的同时不对饲料消化产生负面影响,将是今后植物提取物在反刍动物营养应用中需要解决的首要问题。

### 参考文献:

- [ 1 ] 郝正里.反刍动物营养学[M].兰州:甘肃民族出版社,2000:60-73.
- [ 2 ] Zhou Y Y,Mao H L,Jiang F,et al.Inhibition of rumen methanogenesis by tea saponins with reference to fermentation pattern and microbial communities in Hu sheep[J].Anim Feed Scie Technol,2011,166:93-100.
- [ 3 ] 周 烽,刁其玉.反刍动物瘤胃甲烷气体生成的调控[J].草食家畜,2008(4):21-24.
- [ 4 ] Johnson D E, Ward G M. Estimates of animal methane emissions[J]. Environmental Monitoring & Assessment, 1996, 42(1-2): 133-141.
- [ 5 ] Hartmann T. From waste products to ecochemicals: fifty years research of plant secondary metabolism[J]. Cheminform, 2007, 68(22-24): 2831-2846.
- [ 6 ] S M Lewis, L Montgomery, K A Garleb, et al. Effects of alkaline hydrogen peroxide treatment on in vitro degradation of cellulosic substrates by mixed ruminal microorganisms and Bacteroides succinogenes S85[J]. Applied & Environmental Microbiology, 1988, 54(5): 1163-1169.
- [ 7 ] 王洪荣,陈旭伟,王梦芝.茶皂素和丝兰皂苷对山羊人工瘤胃发酵和瘤胃微生物的影响[J].中国农业科学,2011,44(8):1710-1719.
- [ 8 ] 周奕毅.茶皂素抑制湖羊甲烷生成的微生物学机制研究[D].杭州:浙江大学,2009.
- [ 9 ] Hristov A N, Mcallister T A, Van Herk F H, et al. Effect of Yucca schidigera on ruminal fermentation and nutrient digestion in heifers[J]. Journal of Animal Science, 1999, 77(9): 2554-2563.
- [ 10 ] 胡 明.苜蓿皂苷对绵羊瘤胃发酵及其它生理功能影响的研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2006.
- [ 11 ] Hess H D, Monsalve L M, Lascano C E, et al. Supplementation of a tropical grass diet with forage legumes and Sapindus saponaria fruits: effects on in vitro ruminal nitrogen turnover and methanogenesis[J]. Crop & Pasture Science, 2003, 54(7): 703-713.
- [ 12 ] 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.
- [ 13 ] 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.
- [ 14 ] 米热古丽·伊马木,王 恬,刘 敏,等.高精料条件下薰衣草精油对体外瘤胃发酵和甲烷产量的影响[J].新疆农业科学,2012,49(4):743-747.
- [ 15 ] Castillejos L, Calsamiglia S, Martinteros J, et al. In vitro evaluation of effects of ten essential oils at three doses on ruminal fermentation of high concentrate feedlot-type diets[J]. Animal Feed Science & Technology, 2008, 145(1): 259-270.
- [ 16 ] 徐方华.牛至油及主要成分对瘤胃发酵特性和甲烷产量影响的研究[D].延吉:延边大学,2014.
- [ 17 ] Satter L D, L L Slyter.Effect of ammomia concentration on rumen microbial proten in vitro [J]. Brit. J. Nutr., 1974, 32: 199.
- [ 18 ] 郝正里.反刍动物营养学[M].兰州:甘肃民族出版社,2000:126-130.
- [ 19 ] M D Singer, Robinson P H, Salem A Z M, et al. Impacts of rumen fluid modified by feeding Yucca schidigera, to lactating dairy cows on in vitro, gas production of 11 common dairy feedstuffs, as well as animal performance[J]. Animal Feed Science & Technology, 2008, 146(3): 242-258.
- [ 20 ] Holtshausen L, Chaves A V, Beauchemin K A, et al. Feeding saponin-containing Yucca schidigera and Quillaja saponaria to decrease enteric methane production in dairy cows[J]. Journal of Dairy Science, 2009, 92(6): 2809-2821.
- [ 21 ] Baah J, Ivan M, Hristov A N, et al. Effects of potential dietary antiprotozoal supplements on rumen fermentation and digestibility in heifers[J]. Animal Feed Science & Technology, 2007, 137(1): 126-137.
- [ 22 ] 胡伟莲.皂甙对瘤胃发酵与甲烷产量及动物生产性能影响的研究[D].杭州:浙江大学,2005.
- [ 23 ] Alexander G, Singh B, Sahoo A, et al. In vitro screening of plant extracts to enhance the efficiency of utilization of energy and nitrogen in ruminant diets[J]. Animal Feed Science & Technology, 2008, 145(4): 229-244.
- [ 24 ] Hu W L, Liu J X, Ye J A, et al. Effect of tea saponin on rumen fermentation in vitro[J]. Animal Feed Science & Technology, 2005, 120(3-4): 333-339.
- [ 25 ] Wallace R J, Mcpherson C A. Factors affecting the rate of breakdown of bacterial protein in rumen fluid[J]. British Journal of Nutrition, 1987, 58(2): 313-323.
- [ 26 ] Li Y G, Tanner G, Larkin P. The DMACA-HCl protocol and the threshold proanthocyanidin content for bloat safety in forage legumes[J]. Journal of the Science of Food & Agriculture, 1996, 70(1): 89-101.
- [ 27 ] 张晓庆.红豆草中单宁对饲料蛋白质保护的效果[D].兰州:甘肃农业大学,2005.
- [ 28 ] Wang Y, Barbieri L R, Berg B P, et al. Effects of mixing sainfoin with alfalfa on ensiling, ruminal fermentation and total tract digestion of silage[J]. Animal Feed Science & Technology, 2007, 135(4): 296-314.
- [ 29 ] 李大彪,张梅梅,于永强,等.单宁和聚乙二醇对绵羊和山羊瘤胃纤维降解菌数量的影响[J].动物营养学报,2015,27(2):596-605.
- [ 30 ] 李成云,袁英良,刘彩红.体外法研究榛子叶提取缩合单宁

- 对蛋白质消化及瘤胃发酵的影响[J].黑龙江畜牧兽医,2010(17):103-104.
- [31] 吕忠蕾,李成云.不同相对分子质量缩合单宁对瘤胃体外发酵的影响[J].饲料研究,2014(11):33-37.
- [32] 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.
- [33] 贾 森,鲁 琳,李艳玲.不同植物精油对肉羊体外瘤胃发酵和甲烷产生的影响[A].中国饲料营养学术研讨会论文集[C].2014:152.
- [34] 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.
- [35] Evans J D, Martin S A. Effects of thymol on ruminal microorganisms[J]. Current Microbiology, 2000, 41(5): 336-340.
- [36] Oheneadjei S, Teather R M, Ivan M, et al. Postinoculation protozoan establishment and association patterns of methanogenic archaea in the ovine rumen[J]. Applied & Environmental Microbiology, 2007, 73(14): 4609.
- [37] 叶均安,刘建新,板桥久雄.茶皂素对瘤胃原虫的抑制效果[J].中国饲料,2001,1(2):30-32.
- [38] Wang Y, Mcallister T A, Newbold C J, et al. Effects of Yucca schidigera, extract on fermentation and degradation of steroidal saponins in the rumen simulation technique (RUSITEC)1[J]. Animal Feed Science & Technology, 1998, 74(2): 143-153.
- [39] Carulla J E, Kreuzer M, Hess H D. Supplementation of Acacia mearnsii tannins decrease methanogenesis and urinary nitrogen in forage-fed sheep[J]. Australian Journal of Agricultural Research, 2005, 56(9): 961-970.
- [40] Castillejos L, S Calsamiglia, A Ferret, et al. Effect of dose and adaptation time of a specific blend of essential oil compounds on rumen fermentation[J]. Animal Feed Science and Technology, 2007, 132(3): 186-201.
- [41] Mcallister T A, Bae H D, Jones G A, et al. Microbial attachment and feed digestion in the rumen[J]. Journal of Animal Science, 1994, 72(11): 3004-3018.
- [42] Bhatta R, Uyeno Y, Tajima K, et al. Difference in the nature of tannins on in vitro ruminal methane and volatile fatty acid production and on methanogenic archaea and protozoal populations [J]. Journal of Dairy Science, 2009, 92(11): 5512-5522.
- [43] Animut G, Puchala R, Goetsch A L, et al. Methane emission by goats consuming diets with different levels of condensed tannins from lespedeza[J]. Animal Feed Science & Technology, 2008, 144(3): 212-227.
- [44] 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 & Technology, 2004, 114(1-4): 105-112.
- [45] 白乌日汗,孙海洲,张春华,等.植物精油及其活性成分对奶牛瘤胃发酵功能影响的研究[A].第六次全国饲料营养学术研讨会论文集[C],2010:274.
- [46] 陆 燕.植物精油对瘤胃甲烷产量生成和微生态的影响[D].南京:南京农业大学,2009.
- [47] Benchaar C, Chaves A V, Fraser G R, et al. Effects of essential oils and their components on in vitro rumen microbial fermentation[J]. Canadian Journal of Animal Science, 2007, 87(3): 413-419.
- [48] Patra A K, Saxena J. The effect and mode of action of saponins on the microbial populations and fermentation in the rumen and ruminant production[J]. Nutrition Research Reviews, 2009, 22(2): 204-219.
- [49] 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.

(责任编辑:王 昱)