

添加亚麻酸及植物油对体外瘤胃发酵和甲烷生成的影响

张春梅¹ 施传信¹ 易贤武² 刘建新^{2*}

1. 商丘师范学院生命科学系, 商丘 476000; 2. 浙江大学动物科学学院, 杭州 310029

摘要 利用瘤胃模拟体外产气法研究在高精料底物条件下添加富含十八碳不饱和脂肪酸的植物油和亚麻酸对瘤胃发酵和甲烷生成的影响。在植物油的筛选试验中, 菜籽油、豆油和亚麻油分别添加底物干物质的 10%, 观察其对甲烷生成和发酵产物的影响。结果表明, 豆油和亚麻油显著降低了产气量和甲烷产量, 但甲烷产量的下降幅度更大, 菜籽油无效果。同时, 豆油和亚麻油显著升高了总挥发性脂肪酸含量和丙酸比例。选取筛选出的效果最显著的植物油——亚麻油, 和亚麻酸一起比较研究其对瘤胃发酵的剂量效应, 亚麻油和亚麻酸分别添加底物干物质的 0%、3%、5%、7% 和 9%。亚麻油和亚麻酸分别在添加量为 5% 和 3% 时显著降低了甲烷产量, 且抑制效果随添加剂量的提高而增强。亚麻油和亚麻酸显著改变瘤胃发酵模式向丙酸型发酵转变。这些结果表明, 一些富含十八碳不饱和脂肪酸的植物油和亚麻酸可以在高精料日粮条件下改善瘤胃发酵, 降低甲烷生成, 且植物油抑制甲烷生成的效果与添加剂量和所含脂肪酸的不饱和度有关。

关键词 亚麻酸; 植物油; 甲烷; 瘤胃发酵

中图分类号 S 816.79 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2010)02-0193-06

在反刍动物瘤胃代谢过程中, 依饲喂水平、日粮组成及消化率不同, 大约有 2% ~ 15% 的饲料能以甲烷的形式被损失掉^[1]。甲烷是一种重要的温室气体, 其对全球气候变暖的影响作用占到所有影响气候变暖因素作用的 15% ~ 20%, 增温潜势是二氧化碳的 62 倍^[2]。因此调控反刍动物甲烷排放对环境和动物生产具有双重意义。

离子载体添加到肉用反刍动物饲料中可以改变瘤胃发酵类型, 减少乙酸含量, 提高丙酸含量, 减少瘤胃发酵过程中甲烷和氨的生成, 相应的也可以提高饲料效率、减少温室气体甲烷的排放和降低氮过量排出造成的水污染^[3]。然而, 出于食品安全方面的考虑, 抗生素在动物营养中的应用日益受到限制, 即使是离子载体也不应在饲料中添加, 因此, 有必要开发更为安全的添加剂。多不饱和脂肪酸有显著的抗微生物效应, 尤其是亚麻酸, 能显著改变瘤胃微生物区系调控瘤胃发酵^[4]。富含多不饱和脂肪酸的植物油如亚麻籽油、葵花籽油和菜籽油等能显著降低乙酸含量和乙酸丙酸比例, 升高丙酸含量, 且显著降低甲烷生成^[5], 富含多不饱和脂肪酸的植物油调控

瘤胃发酵和甲烷生成的效果跟添加离子载体的效果相似, 但也有报道认为添加植物油对甲烷生成没有效果^[6]。

为了确定哪种富含多不饱和脂肪酸的植物油对瘤胃发酵和甲烷生成有积极的效果, 本研究利用体外产气技术调查了 3 种常见的植物油: 亚麻籽油、豆油和菜籽油, 并选出效果较好的植物油与另一种效果最好的十八碳不饱和脂肪酸——亚麻酸^[7]一起研究其剂量效应, 探讨影响植物油和亚麻酸抑制甲烷效果的因素。

材料与方法

试验材料

试验用菜籽油和豆油购自家乐福超市, 亚麻油购自内蒙古锡林郭勒盟红井源油脂有限责任公司, 亚麻酸购自美国 Sigma 公司, 纯度为 99.0% (货号 L2376)。

体外培养底物为纯玉米粉, 过 1 mm 筛网。

试验设计

植物油的筛选试验为单因素试验设计, 3 种植

收稿日期: 2009-08-06; 修回日期: 2009-11-30

* 国家自然科学基金重点项目 (30530560) 资助

** 通讯作者。E-mail: liujx@zju.edu.cn

张春梅, 女, 1976 年生, 博士, 讲师。研究方向: 反刍动物营养。E-mail: zcm304@163.com

物油:菜籽油、豆油和亚麻籽油分别添加底物干物质的 10%,研究其对甲烷生成和发酵参数的影响,筛选出效果较好的植物油,与亚麻酸一起研究其剂量效应,亚麻酸和亚麻油分别添加底物干物质的 0%、3%、5%、7%和 9%。2 个试验中每个处理均设 3 个重复,同时设 1 个空白对照组(不添加底物及植物油,用于产气瓶中产气量的校正)。将各组相应的 750 mg 底物(玉米粉)和油脂预先准确称入产气瓶中,再根据压力读取式体外产气系统的操作步骤进行体外发酵培养,培养时间为 24 h。

试验方法

本试验采用 Mauricio 等^[8]的压力读取式体外产气系统(reading pressure system, RPT)进行活体外瘤胃发酵培养。试验动物为 3 只装有永久性瘤胃瘘管的青年湖羊,体重(30 ± 5) kg。饲喂日粮精粗比为 40 : 60,即精料补充料 400 g/d 和羊草 600 g/d。每天喂料 2 次(08:00 和 16:30),自由饮水。在早饲前抽取 3 只瘘管湖羊的瘤胃液,混合后经 4 层纱布过滤至预热处理过的收集瓶,39 ℃ 下连续通入二氧化碳。

准确称取玉米粉 750 mg 和植物油或亚麻酸至已知体积的产气瓶,加入 90 mL 厌氧人工瘤胃缓冲液,将产气瓶用二氧化碳气体饱和后密闭,并放置在培养箱中保存过夜。第 2 天于晨饲前抽取 10 mL 瘤胃液加入到已升温至 39 ℃ 的产气瓶中,混匀。培养开始前先用 1 根注射针将产气瓶中的多余气体放尽,最后将产气瓶放置于 39 ℃ 的恒温培养箱中培养。同时设 3 个不加底物的空白对照,以扣除瘤胃液自身产气量。

测定项目及方法

植物油脂肪酸含量的测定采用气相色谱法^[9]。植物油的甲酯化采用室温快速甲酯化法,称取植物油 0.2 g,内标 C19 : 0 (2 mg/mL) 1 mL,置于 25 mL 具塞试管中,加入 5 mL 正己烷,轻轻摇动使油脂溶解。加入 5 mL 0.5 mol/L 的 KOH-CH₃OH 溶液,混匀,在室温静置 8~10 min 后,加蒸馏水使全部正己烷溶液升至上部,放置待澄清。吸取上层清液约 5 mL 置于干燥试管中并加入少量无水硫酸钠以除去微量的水,放入 -20 ℃ 冰箱冷冻保存备用,用岛津 2010 型气相色谱仪测定脂肪酸含量。

测定培养液 4、8、12 和 24 h 的产气量和发酵气体中的甲烷含量及体外发酵 24 h 的瘤胃培养液 pH 和挥发性脂肪酸(VFAs)浓度。

参照孙云章等^[10]的方法,用压力传感器及配套软件分别在培养 4、8、12 和 24 h 测定产气压力,根据各时间点得到的样品产气压力转换成产气体积,通过空白对照,校正产气量,计算出累积产气量。根据下列公式将产气压力转换成产气体积(mL):

$$GP_t = \frac{(P_t - P_{t\text{空白}}) \times (V_0 - 100)}{101.3 \times W}$$

其中, GP_t 为样品在 t 时刻的产气体积(mL); P_t 为样品在 t 时刻的产气压力(kPa); $P_{t\text{空白}}$ 为空白对照在 t 时刻的产气压力; V_0 为产气瓶体积(mL); W 为样品干物质质量(g)。

甲烷浓度的测定采用胡伟莲等^[11]的方法。在 4、8、12 和 24 h 读取压力的同时,用进样针从发酵瓶抽取 50 μL 气体,直接进样至气相色谱仪,用氢火焰离子化检测器进行测定。取样后将发酵瓶放回培养箱继续培养。

24 h 发酵终止后,立即用赛多利斯数显酸度计 PB-20 测定发酵液 pH。

挥发性脂肪酸的测定采用气相色谱法^[11]:取体外发酵培养的瘤胃液 1 mL,加 0.2 mL 浓度为 25% 的偏磷酸,4 ℃ 高速离心(15 000 r/min) 10 min,取上清液置于 4 ℃ 冰箱中备用,用气相色谱法测定发酵培养液中乙酸、丙酸、丁酸的含量。

数据计算与统计分析

数据采用 SAS 软件处理,用 GLM 法进行统计分析,各平均数之间用 Duncan's 法进行多重比较。

结果与分析

植物油的脂肪酸组成

试验用植物油的脂肪酸组成见表 1。3 种植物油的脂肪酸组成中,以亚麻油总不饱和脂肪酸含量最高,其次是豆油和菜籽油。而且,菜籽油有较高的油酸含量(48.0%),豆油有较高的亚油酸含量(54.4%),而亚麻油则有较高的亚麻酸含量(53.2%),由于油酸、亚油酸和亚麻酸 3 种脂肪酸的双键数量逐渐增加,因此,3 种植物油的不饱和度也逐渐增加。

植物油对体外瘤胃发酵和甲烷生成的影响

植物油对 24 h 产气量、甲烷产量和发酵参数的影响见表 2。亚麻油和豆油均显著降低了 24 h 累积产气量,两者之间无显著差异。亚麻油和豆油显著降低了甲烷产量,且亚麻油抑制甲烷生成的效果更强。菜籽油对产气量和甲烷生成均无显著影响。添

表 1 植物油的脂肪酸组成

Table 1 Fatty acid composition of the vegetable oils

脂肪酸 Fatty acids	菜籽油 Rapeseed oil	豆油 Soybean oil	亚麻籽油 Linseed oil	%
C14 0 Myristic acid	0.06	0.08	0.05	
C16 0 Palmitic acid	5.67	11.41	5.55	
C18 0 Stearic acid	2.2	4.1	3.77	
C18 1 Oleic acid	47.95	19.72	20.44	
C18 2 Linoleic acid	24.64	54.35	15.4	
C18 3 Linolenic acid	6.65	6.88	53.24	
C20 0 Arachidic acid	0.55	0.53	0.14	
C22 0 Behenic acid	0.38	0.36	0.14	
不确定物质 Unidentified compounds	11.9	2.57	1.27	
总不饱和脂肪酸 Total unsaturated fatty acid	79.24	80.95	89.08	
总饱和脂肪酸 Total saturated fatty acid	8.86	16.48	9.65	

表 2 植物油对 24 h 产气量、甲烷产量及发酵参数的影响¹⁾

Table 2 Effects of vegetable oils on cumulative gas production, methane emission and fermentation parameters

项目 Items	对照 Control	菜籽油 Rapeseed oil	豆油 Soybean oil	亚麻油 Linseed oil	标准误差 SEM
产气量 Gas production/ mL	189.3 a	185.9 a	178.9 b	175.9 b	1.07
甲烷 Methane/ mmol	0.93 a	0.93 a	0.87 b	0.83 c	0.01
pH	6.49 b	6.52 ab	6.48 b	6.56 a	0.02
总挥发性脂肪酸 TVFA/ (mmol/L)	48.6 c	49.8 bc	51.8 ab	52.8 a	0.76
物质的量比例 Molar proportion/ %					
乙酸 Acetate	60.6 a	60.9 a	60.1 a	58.0 b	0.36
丙酸 Propionate	25.3 c	25.4 c	27.4 b	30.0 a	0.36
丁酸 Butyrate	14.0 a	13.6 a	12.6 b	12.0 c	0.16
乙酸丙酸比例 Proportion between acetate and propionate (A/ P)	2.39 a	2.40 a	2.20 b	1.94 c	0.04

1) 同行不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。In the same row, values with different small letter mean significant difference ($P < 0.05$).

加油脂对甲烷产量的影响大于产气量, 比如亚麻油降低了产气量的 5.2%, 但降低了甲烷产量的 10.8%。亚麻油显著升高了体外发酵液 pH, 豆油和

菜籽油与对照相比无显著差异。添加亚麻油和豆油后总挥发性脂肪酸含量显著升高, 而添加菜籽油后无显著变化。亚麻油和豆油显著改变了瘤胃发酵类型, 而菜籽油对发酵类型无显著影响。亚麻油显著降低了乙酸和丁酸比例, 豆油也降低了乙酸比例, 但与对照相比差异不显著, 但显著降低了丁酸比例; 亚麻油和豆油均显著提高了丙酸比例, 因此, 乙酸和丙酸比例显著降低。由表 2 可知, 亚麻油抑制甲烷效果最强, 且对瘤胃发酵的改善作用也最强, 显著提高了总挥发性脂肪酸和丙酸含量。

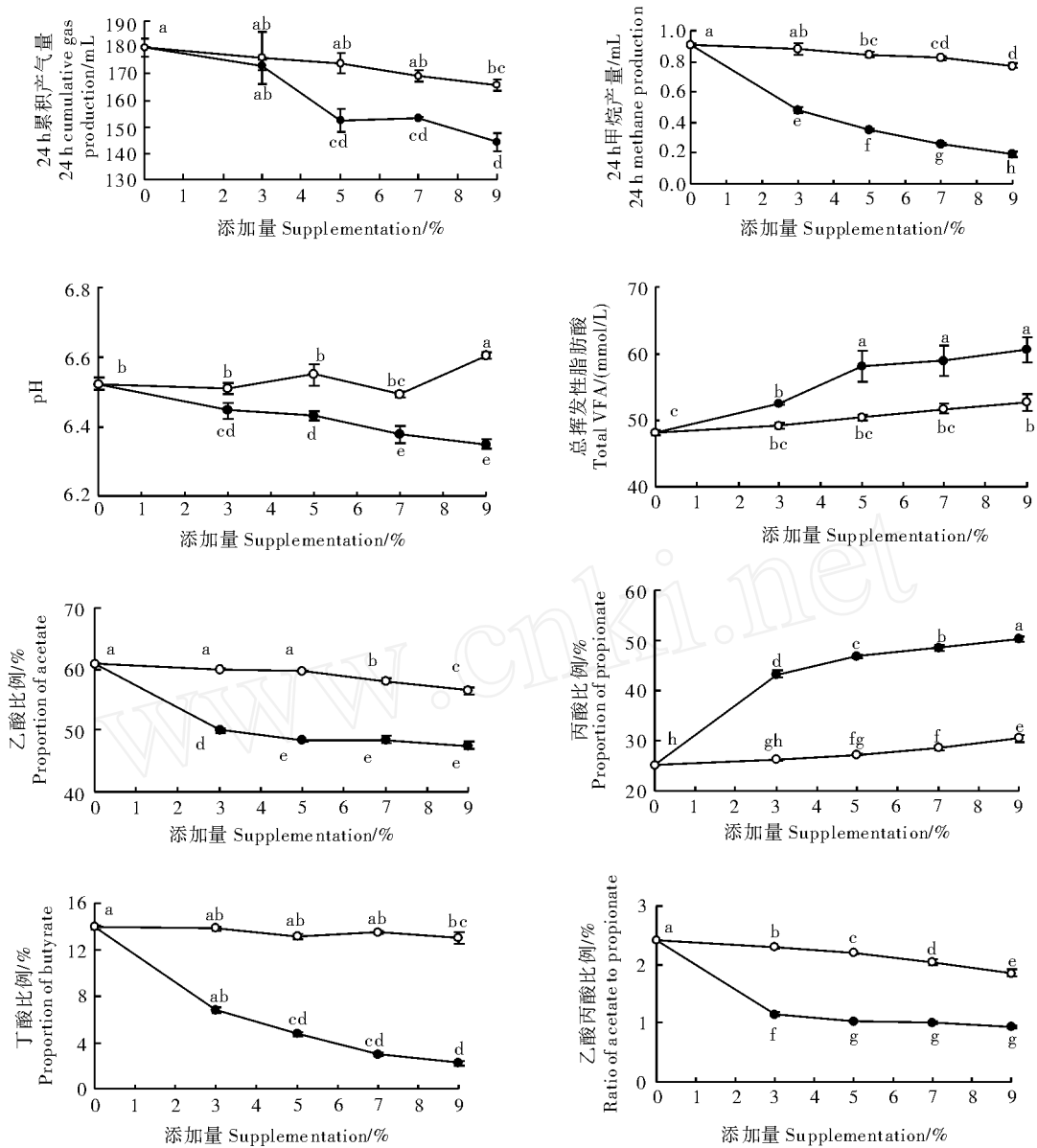
亚麻酸和亚麻油的剂量效应

亚麻酸和亚麻油对 24 h 累积产气量、甲烷产量和发酵参数的剂量效应如图 1 所示。24 h 累积产气量和甲烷生成量随亚麻油添加水平的提高而降低, 但累积产气量只有 9% 添加组与对照组相比差异显著, 而甲烷产量则在 5% ~ 9% 剂量添加时均显著低于对照组。亚麻油对甲烷的抑制作用强于产气量, 添加 9% 亚麻油降低了产气量的 8.0%, 却降低了甲烷产量的 15.4%。添加 9% 亚麻油显著升高了体外发酵液 pH。

随着亚麻油添加剂量的提高, 总挥发性脂肪酸含量有升高的趋势, 但只有 9% 添加组与对照组相比差异显著。亚麻油的添加改变了高精料底物条件下体外培养的发酵类型, 添加 7% ~ 9% 显著降低了乙酸比例, 但仅 9% 添加组显著降低了丁酸比例, 而丙酸比例在 5% ~ 9% 添加组均显著高于对照组。乙酸丙酸比例在所有添加组均显著降低。

亚麻酸对 24 h 累积产气量、甲烷产量和发酵参数的影响, 除了发酵液 pH 之外, 跟亚麻油很相似, 只是与亚麻油相比, 亚麻酸在较低的添加水平就表现出了很强的效果, 也即在所有的添加水平均显著降低了甲烷产量、乙酸和丁酸比例以及乙酸丙酸比例, 显著提高了总挥发性脂肪酸含量和丙酸比例, 对产气量的影响在 5% ~ 9% 添加水平显著降低。所有亚麻酸添加组均显著降低了发酵液 pH。

总之, 随着亚麻酸和植物油添加剂量的提高, 体外产气量、甲烷产量、乙酸和丁酸比例逐渐降低, 而丙酸比例随之提高, 且这些指标升高或降低的幅度亚麻酸均显著大于亚麻油。



(●) : 亚麻酸 Linolenic acid; (○) : 亚麻油 Linseed oil. 标示不同字母者差异显著 ($P < 0.05$), 竖线为标准误。

Means with different letters are significantly different ($P < 0.05$). Bars are \pm SEM.

图 1 亚麻酸和亚麻油对 24 h 累积产气量、甲烷产量和发酵参数的剂量效应

Fig.1 Dose-response of 24 h cumulative gas production, methane emission and ruminal characteristics to linseed oil and linolenic acid

讨论

在本研究中,富含多不饱和脂肪酸的植物油降低了甲烷生成,随着添加植物油中脂肪酸的不饱和度的增加,抑制甲烷生成的效果显著增强(表 2),而且植物油和亚麻酸对甲烷生成的影响存在剂量效应(图 1)。有不少文献报道,体外^[12]和体内^[13]试验添加富含多不饱和脂肪酸的植物油具有降低甲烷排放的效果,本研究与上述报道一致,同时也表明,植物

油抑制甲烷的效果跟其不饱和度有关。

Giger-Reverdin 等^[14]认为,当日粮脂肪尤其是长链脂肪酸中,3 个或 3 个以上双键的不饱和脂肪酸含量高时,对甲烷生成的影响最大。Zhang 等^[7]研究了纯的十八碳不饱和脂肪酸对甲烷生成的影响,发现其抑制甲烷生成的效果随不饱和度的增加而增强。本研究用富含多不饱和脂肪酸的植物油观察到甲烷生成与植物油中含有的不饱和脂肪酸的不饱和度有关,随不饱和度的增加,抑制效果增强。但

也有不同的观点, Czerkawski 等^[13]向绵羊瘤胃中分别灌注油酸、亚油酸和亚麻酸观察其对甲烷产量的影响, 发现甲烷产量的降低和不饱和脂肪酸的灌注量存在剂量效应, 但与不饱和脂肪酸的不饱和度没有明显的联系。造成这种差异的具体原因有待进一步研究, 但试验的条件、底物及甲烷的测定方法等可能会有一定的影响。

植物油和多不饱和脂肪酸抑制甲烷生成主要通过 2 个途径: 一是作为氢的受体, 改变了氢还原二氧化碳的代谢通路; 二是对瘤胃微生物的直接毒害作用。不饱和脂肪酸通过生物氢化作用为瘤胃发酵产生的氢提供可供选择的代谢通路, 减少了可供甲烷菌利用的底物氢的数量。瘤胃原虫因与甲烷菌存在内外共生的关系^[15]而对甲烷生成有很大的贡献。多篇文献报道不饱和脂肪酸和富含不饱和脂肪酸的油脂显著降低了甲烷生成和原虫数量^[7, 12], 但也有研究者观察到不饱和脂肪酸对纯培养的甲烷菌^[16]和混合培养的甲烷菌^[7]有强烈的抑制作用。因此, 多不饱和脂肪酸可能是通过抑制甲烷生成相关菌(原虫和甲烷菌)来降低甲烷的生成。另外, 不饱和脂肪酸抑制甲烷的生成总是伴随着瘤胃发酵模式的改变, 即丙酸比例的提高和乙酸丙酸比例的降低, 而丙酸生成过程是众所周知的与甲烷菌竞争底物氢的过程。

本研究中富含多不饱和脂肪酸的植物油和亚麻酸显著改变了瘤胃发酵类型, 增加了总挥发性脂肪酸含量, 降低了乙酸和丁酸比例, 提高了丙酸比例, 降低了乙酸丙酸比例, 这与大部分文献报道一致^[5]。添加植物油发酵 24 h 后 pH 略有升高, 而纯的亚麻酸的添加则显著降低了发酵液 pH, 这可能是因为直接添加脂肪酸而降低了 pH, 植物油中的脂肪酸因为是甘油三酯, 要经过微生物作用, 因此对 pH 影响较小。纯的脂肪酸降低 pH 在其它文献中也有报道^[17]。由于本研究的底物是纯玉米粉, 其发酵液的 pH 本来就偏低, 添加纯的脂肪酸后显著降低其 pH, 可能会对瘤胃微生物的生长产生一定影响。

在相同添加水平下, 亚麻酸与亚麻油相比不管是对甲烷生成的抑制效果还是对瘤胃发酵的影响均更强, Yabuuchi 等^[17]用中链脂肪酸与植物油相比较也得到了类似的结果, 这可能是因为非酯化的脂肪酸对瘤胃微生物有更强的毒害作用, 另外也说明亚麻油中富含的油酸、亚油酸和亚麻酸之间未产生增效效应。

由添加脂肪降低甲烷生成常伴随一些负效应, 比如降低采食量或者纤维的消化率。本研究在基础底物中添加高剂量的富含多不饱和脂肪酸的植物油和亚麻酸, 降低了产气量。然而, 植物油和亚麻酸对甲烷生成抑制的程度远远大于对产气量的抑制。因此, 植物油和亚麻酸对甲烷菌数量、区系和代谢活性及对动物瘤胃发酵、甲烷生成及生产性能的长期效应需进一步研究。

综上所述, 富含多不饱和脂肪酸的植物油和非酯化的亚麻酸显著抑制了甲烷生成, 且其效果随着添加水平的提高和不饱和度的增加而增强。甲烷产量的降低伴随着瘤胃发酵模式向丙酸型发酵的转变, 这与离子载体类抗生素的效果相似, 因此富含多不饱和脂肪酸的植物油或多不饱和脂肪酸作为自然的添加剂可以考虑在高精料日粮条件下替代离子载体, 但需要进一步研究清楚植物油或多不饱和脂肪酸对瘤胃微生物及发酵的影响, 尤其是对添加植物油或不饱和脂肪酸对甲烷生成及生产性能的长期效应。

参 考 文 献

- [1] JOHNSON KA, JOHNSON D E. Methane emissions from cattle [J]. *J Anim Sci*, 1995, 73(8): 2483-2492.
- [2] IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). *Climate change 2007* [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007: 1-23.
- [3] GUAN H, WITTENBERG K M, OMINSKI K H, et al. Efficacy of ionophores in cattle diets for mitigation of enteric methane [J]. *J Anim Sci*, 2006, 84(7): 1896-1906.
- [4] VAN-NEVEL C J, DEMEYER D I. Control of rumen methanogenesis [J]. *Environ Monit Assess*, 1996, 42: 73-97.
- [5] MARTIN C, ROUEL J, JOUANY J P, et al. Methane output and diet digestibility in response to feeding dairy cows crude linseed, extruded linseed, or linseed oil [J]. *J Anim Sci*, 2008, 86(10): 2642-2650.
- [6] SAUER F D, FELLNER V, KINSMAN R, et al. Methane output and lactation response in holstein cattle with monensin or unsaturated fat added to the diet [J]. *J Anim Sci*, 1998, 76(3): 906-914.
- [7] ZHANG C M, GUO Y Q, YUAN Z P, et al. Octadeca-carbon fatty acids affect microbial fermentation, methanogenesis and microbial flora *in vitro* [J]. *Anim Feed Sci Technol*, 2008, 146(3/4): 259-269.
- [8] MAURICIO R M, MOULD F L, DHANOA M S, et al. A semi-automated *in vitro* gas production technique for ruminant feedstuff evaluation [J]. *Anim Feed Sci Technol*, 1999, 79: 321-330.
- [9] 孙攀峰. 粗饲料组合对瘤胃发酵及脂肪酸组成的影响及其机

- 理研究 [D]. 杭州:浙江大学动物科学学院,2007:58-71.
- [10] 孙云章,毛胜勇,姚文,等. 不同底物下瘤胃真菌发酵特性及对粗料的附着[J]. 华中农业大学学报,2007,26(5):646-650.
- [11] 胡伟莲,王佳堃,吕建敏,等. 瘤胃体外发酵产物中的甲烷和有机酸含量的快速测定[J]. 浙江大学学报,2006,32(2):217-221.
- [12] BROUDISCOU L, VAN-NEVEL C J, DEMEYER D I. Incorporation of soya oil hydrolysate in the diet of defaunated or refaunated sheep: effect on rumen fermentation *in vitro* [J]. Arch Anim Nutr, 1990, 40:329-337.
- [13] CZERKAWSKI J W, BLAXTER K L, WAINMAN F W. The metabolism of oleic, linoleic and linolenic acids by sheep with reference to their effects on methane production [J]. Br J Nutr, 1966, 20:349-362.
- [14] GIGER-REVERDIN S, MORAND-FEHRA P, TRAN G. Literature survey of the influence of dietary fat composition on methane production in dairy cattle [J]. Livest Prod Sci, 2003, 82:73-79.
- [15] FINLAY B J, ESTEBAN G, CLARKE K J, et al. Some rumen ciliates have endosymbiotic methanogens [J]. FEMS Microbiol Lett, 1994, 117:157-162.
- [16] PRINS R A, VAN-NEVEL C J, DEMEYER D I. Pure culture studies of inhibitors for methanogenic bacteria [J]. Antonie Van Leeuwenhoek, 1972, 38:281-287.
- [17] YABUUCHI Y, MATSUSHITA Y, OTSUKA H, et al. Effects of supplemental lauric acid-rich oils in high-grain diet on *in vitro* rumen fermentation [J]. Anim Sci J, 2006, 77(3):300-307.

Effects of Supplemental Linolenic Acid or Vegetable Oils on *in vitro* Rumen Fermentation and Methane Emission

ZHANG Chun-mei¹ SHI Chuan-xin¹ YI Xian-wu² LIU Jian-xin²

1. Department of Life Science, Shangqiu Normal University, Shangqiu 476000, China;

2. Department of Animal Science, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China

Abstract A series of *in vitro* studies were performed to evaluate the effects of unsaturated C18 fatty acid-rich oils and linolenic acid on rumen fermentation and methanogenesis with a high-grain substrate. In oil screening experiment, rapeseed oil, soybean oil and linseed oil were used as tested additives. Rumen fluid from sheep was incubated with ground corn with or without oil supplementation (10% of substrate DM) for 24 h to monitor rumen products. Gas production and methane emission decreased with addition of unsaturated C18 fatty acid-rich oils except rapeseed oil. Soybean oil and linseed oil increased total volatile fatty acids (VFA) production and molar proportion of propionate. In dose-response experiment, the most potent additives—linseed oil, and free linolenic acid were further tested to determine dose-response of rumen fermentation. Linseed oil and free linolenic acid were added to basal substrate at 0%, 3%, 5%, 7% and 9%, respectively. Linseed oil and linolenic acid decreased methane emission significantly and altered rumen fermentation toward more propionate production by supplementation at 5% and 3%, respectively. These results suggested that some unsaturated C18 fatty acid-rich oils and free linolenic acid could be used for improving rumen fermentation under high-grain diet, and the effect of vegetable oils on methane emission was concerned with the type and inclusion levels. In the present study, methane formation was decreased significantly with increasing levels and unsaturation of fatty acids in vegetable oils.

Key words linolenic acid; vegetable oils; methane; rumen fermentation

(责任编辑:边书京)