

瘤胃乙酸与丙酸摩尔比例的改变对瘤胃发酵及血液指标的影响

熊本海¹, 卢德勋², 张子仪¹

(1. 中国农业科学院畜牧研究所, 北京 100094; 2. 内蒙古畜牧科学院畜牧研究所, 呼和浩特 010030)

摘要: 通过向瘤胃灌注乙酸: 丙酸: 丁酸的摩尔比例分别为 75: 15: 10, 65: 25: 10, 55: 35: 10 和 45: 45: 10 溶液, 并在连续灌注的作用下, 以期达到最终改变瘤胃液中乙酸: 丙酸: 丁酸摩尔比例的目的。研究表明: (1) 随着灌注液中丙酸浓度的提高, 最终瘤胃液中丙酸的比例增加, 乙酸的比例逐渐下降, 与对照组差异显著 ($P < 0.05$), 丁酸的摩尔比例无论与对照组, 还是各处理间均无差异; (2) 向瘤胃灌注的 VFA 溶液提供高于维持能量水平 30% 以上的能量, 使瘤胃中总的 VFA 浓度、VFA 产生速率、丙酸的产生速率及 VFA 的总产量均显著增加 ($P < 0.01$); 但是对基础混合日粮的干物质(DM)、有机物(OM)、中洗纤维(NDF)、酸洗纤维(ADF)、半纤维素(HCF)等养分的消化率不构成显著影响; (3) 当灌注溶液中丙酸所占摩尔比例增加到 35%, 粪氮和尿氮的排出量显著减少 ($P < 0.05$), 从而提高日粮氮的沉积能力。进一步研究表明, 当灌注液中丙酸的摩尔比例进一步提高至 45% 时, 血糖浓度及胰岛素的浓度才显著增加 ($P < 0.05$); 但胰岛素与胰高血糖素的比值对于不同的处理或对照组, 基本保持稳定。

关键词: 乙酸; 丙酸; 瘤胃; 消化率; 发酵

中图分类号: S816.15

文献标识码: A

文章编号: 0366-6964(2002)06-0537-07

乙酸的主要功能是进入三羧酸循环氧化产生 ATP 用于细胞的维持和组织的合成。从原理上讲, 过剩的乙酸会以脂肪的形式储存, 这一过程要求具有还原能力的 NADPH 的存在。而这种还原性的 NADPH 主要派生于戊糖—磷酸途径 (Pentose-phosphate pathway) 中葡萄糖的氧化过程。葡萄糖也供给甘油满足长链脂肪酸的脂化^[3]。因此, 反刍动物的乙酸和葡萄糖对于脂肪的合成具有相互依赖性。丙酸是合成葡萄糖的主要前体物。在脂肪合成中要想有效利用乙酸, 必须满足相对于乙酸而言的丙酸最低需要量。过去的研究曾建议存在一个较大范围的乙酸与丙酸的摩尔比例, 可能限制乙酸潜在的沉积能力。如果这一比例不适当, 可能会限制潜在的采食量, 或者可能导致底物产热循环过程中在能量利用上造成乙酸的浪费。

本研究在维持饲养水平基础上, 通过向瘤胃灌注 4 种不同比例的混合 VFA 溶液, 研究瘤胃发酵模式的变化对干物质(DM)、有机物质(OM)、含氮物质、NDF 和 ADF 消化率的影响; 并研究血液中葡萄糖、胰岛素、胰高血糖素、胰岛素与胰高血糖素比和

VFA 等有关指标的变化规律, 为实现瘤胃内的营养调控提供参考。

1 材料和方法

1.1 试验动物 4 头装有瘤胃瘘管和小肠瘘管 2 岁左右的羯羊, 体重范围为 26~31 kg。

1.2 试验日粮 采用精粗比为 40: 60 的混合日粮。精料补充料的配制同[7], 粗料为羊草。

1.3 试验设计 采用 4×4 拉丁方设计, 分 4 期灌注试验进行。4 期灌注试验使用的混合 VFA 溶液中, 乙酸: 丙酸: 丁酸的摩尔比例见表 1。全期试验中, 试验羊的饲养水平为 1.3 倍维持水平, 其中混合日粮满足能量和蛋白的维持水平, 向瘤胃灌注的 VFA 溶液提供高于 30% 的维持代谢能。

1.4 饲养管理 灌注试验及消化代谢试验均在代谢笼中进行, 预饲期前 1 d, 于晨饲前空腹称重, 由此确定满足空腹重的维持水平采食量。每期试验为 13 d, 预灌注天数至少 1 周以上, 试验采样期 3 d。每天早(6:00)晚(18:00)各喂 1 次, 自由饮水。每天定点、定量准确投放所计算的精、粗饲料数量。在第 2 d 投放饲料前, 称重并记录头天剩余的精、粗饲料, 以计算每天羊的实际采食量。

1.5 缓冲液、液相标记物 Li₂Co-EDTA 及 VFA 溶液的制备

收稿日期: 2001-05-17

作者简介: 熊本海(1963-), 男, 湖北公安人, 博士, 副研究员, 从事动物营养、饲料科学及计算机应用研究。

1.5.1 缓冲液的配制:按[4]建议的方案进行,NaHCO₃, KHCO₃,NaCL 和水的重量(g)比为 73:38:7:882。

1.5.2 Li. Co-EDTA 的配制见[10]。

1.5.3 VFA 混合液的配制见表 1。

表 1 4 种 VFA 混合液的配制方案

Table 1 The formulas of four mixtures of buffered VFAs

	A(75:15:10)		B(65:25:10)		C(55:35:10)		D(45:45:10)	
	g	mol	g	mol	g	mol	g	mol
乙酸 Acetate	450.38	7.5	390.35	6.5	330.28	5.5	270.23	4.5
丙酸 Propionate	111.12	1.5	185.20	2.5	259.29	3.5	333.23	4.5
丁酸 Butyrate	88.11	1.0	88.11	1.0	88.11	1.0	88.11	1.0
碳酸钙 Ca ₂ CO ₃	18	18	18	18	18	18	18	18
水 Water	332.4	332.4	318.16	318.16	304.33	304.33	290.31	290.31
VFA 混合液能量(kJ/g)	1.07		11.73		12.39		13.05	

^①Energy of MixedVFA liquid

注: ^①乙酸的能值为 867.1kJ/mol, 丙酸的为 1536.4kJ/mol, 丁酸的为 21941kJ/mol。

1.6 瘤胃 VFA 混合液的灌注

每期试验,根据试验羊的空腹体重,按表 1 准确计算出每只羊的 VFA 混合液的用量,然后与缓冲液按 1:1(V/V)混合在一起,现用现配,以免 VFA 挥发。每天 2 次取瘤胃液测定 pH,保持 pH 不低于 6,缓冲液的用量依照瘤胃液 pH 值的变化而增减。

瘤胃灌注装置采用医用输液装置,将每只羊需要灌注的 VFA 混合液(含缓冲液)一般 4 等分到 500 ml 的输液瓶中,每瓶在 6 h 内持续输完,24 h 灌完计算混合 VFA 溶液和缓冲液。灌注过程中,需严格保证瘤胃瘘管盖子塞紧,不能出现漏气现象,否则影响瘤胃内的厌氧发酵。

1.7 粪样和尿样的收集

采用全收粪样和尿样的方法进行。

1.8 瘤胃液、小肠液和血液的采样与处理

从预灌后第 8 d 晨 6:00 开始采集瘤胃液和小肠液,每隔 3 h,连续 2 d 抽取瘤胃液 30~50 ml,4 层纱布过滤测定液相 pH 值后,取 1 ml 瘤胃液加 0.2 ml 浓硫酸,摇匀后存入低温冰箱,供测标记物 Co 浓度,另外取 5 ml 瘤胃液加 1 ml 25% 的偏磷酸,摇匀并静置 30 min 以沉淀蛋白质,尔后以 3 000 r/min 离心 10 min,取上清液按外标法测定 VFA 或放冰箱保存待测。

小肠液也从第 8 d 上午 9:00 开始收集,每 6 h 收集一次,连续收集 2 d。每次收集约 20 ml,取若干待与其它时间点的样品混合以备测标记物浓度,剩余的同制备瘤胃液一样制备样品,测 VFA 浓度。

采样期第 3 d 于晨 6:00 饲喂前,饲喂后 2.4.6 和 8 h 颈静脉采血 20 ml,取 5 ml 全血置于含肝素抗

凝剂的试管中,轻轻混合,离心分离血浆,立即测定 CO₂ 结合力。其余血样不加任何抗氧化剂,2000 r/min 离心 15 min,分离血浆,取 1 ml 血清按内标法测定血清中 VFA 含量,再取 1 ml 的血清用钨酸法制备成无蛋白滤液,低温保存供测血糖。剩余血清在-20 °C 低温冰箱保存,以备测定血清中胰岛素(INS)、胰高血糖素等浓度。

颈静脉采血完毕后,停止灌注 VFA 混合液,停止前(算作 0 时间点),停止后 1.2.3 和 4 h,采集瘤胃液,通过测定液相中钴浓度的变化,按后述数学模型(式 2)估测瘤胃液相外流速度。

1.9 分析方法

干物质(DM)、有机物(OM)、粗蛋白(CP)、NDF 和 ADF 等用实验室常规方法测定^[8]。瘤胃液和血清中 VFA 的测定均采用气相色谱法。因瘤胃液和血清中 VFA 的浓度差别较大,则根据各自可能出现的 VFA 的浓度范围,制作 2 组 VFA 的标准曲线分别用于瘤胃液中和血清中 VFA 浓度的测定。色谱条件同[7]。Co 的测定使用原子吸收分光光度计,波长 240.7 nm,灯电流 10 mA,狭缝 4 埃,火焰为空气-乙炔氧化焰。Co 储备标准液为:将 1 g 金属钴溶于少量 1+1 盐酸中,用 1% HCl 稀释至 1000 ml。血糖的测定采用福林-吴宪氏法(Folin-Wu)测定^[9]。血清中胰岛素的测定方法采用非饱和(顺序饱和)法对血清直接测定,胰岛素放射免疫分析测定盒由北京北方生物技术研究所提供,采用的标准为(93)卫药准字 R-8 号,仪器为全自动的 γ 计数器。血清中胰高血糖素的测定方法采用放射免疫分析测定盒,由北京中国原子能科学研究所提供,采用的标准为

(95) 卫药准字 R-13 号。血浆 CO₂ 结合力(毫升/%) 的测定采用 NaOH 滴定法^[9]。

CO₂ 结合力 = (0.5 - 消耗的 NaOH 量) × 224。

1.10 结果计算:

1.10.1 瘤胃 3 种 VFA 产生总量的计算原理采用稳态下丙酸基本产生量的计算公式。即:

$$VFA_{total} = I / (C_{VFA}' V' / C_{VFA} V - 1) \quad \dots\dots(式 1)$$

式中: VFA_{total} 为待测的瘤胃 3 种 VFA 的基本产生速率 (mmol/h), C_{VFA'}, C_{VFA} 为连续灌注前后稳态下瘤胃内 VFA 的摩尔浓度 (mmol/l) 并可测定, V, V' 为连续灌注前后瘤胃液相的体积, 液相标记物 (LiCo-EDTA) 和相应的数学模型可以测定。因此可用 (式 1) 计算稳态下灌注不同摩尔比例 VFA 混合液下瘤胃 VFA 的基本产生速率 (mmol/l) 和产量 (mol/d)。

1.10.2 瘤胃液相外流速率 (K_L, /h) 的计算按混合

VFA 停止灌注后, 标记物 Co 元素的稀释速率做出预测, 即: Co(t) = Co(0) * Exp(-K_L* t) ……(式 2)

2 结果

2.1 瘤胃灌注不同比例的 VFA 液对瘤胃中 VFA 各种指标的影响

表 2 所示, 向瘤胃灌注不同比例的 VFA 溶液后, 瘤胃液中 VFA 总的浓度与对照组相比显著增加 (P < 0.05), 而 A 组总的 VFA 浓度又明显低于其他 3 个灌注组 (P < 0.05)。瘤胃液中乙酸摩尔比例随灌注 VFA 混合液中乙酸的摩尔比例的降低而减少, 各处理间差异显著 (P < 0.05); 丙酸的摩尔比例则随灌注液中丙酸浓度的增加而显著增加 (P < 0.05); 因灌注 VFA 混合液中丁酸的摩尔浓度保持不变, 对瘤胃内灌注稳定后的丁酸的摩尔比例无显

表 2 瘤胃灌注不同比例的 VFA 混合液对瘤胃中 VFA 各种指标的影响
Table 2 The effect of different molar ratio mixtures of buffered VFAs infused into the rumen on some relative indexes of VFAs in the rumen

	A (75: 15: 10)	B (65: 25: 10)	C (55: 35: 10)	D (45: 45: 10)	对照组 Control
瘤胃 pH Rumen pH	6.6 ± 0.2 ^a	6.5 ± 0.2 ^a	6.5 ± 0.3 ^a	6.5 ± 0.3 ^a	6.7 ± 0.1 ^b
总 VFA Total VFA (mmol/L)	54.0 ± 2.5 ^a	61.6 ± 3.7 ^b	59.2 ± 3.3 ^b	62.5 ± 3.5 ^b	50.3 ± 2.4 ^c
VFA 摩尔浓度 VFA molar concentration (mmol/100mmol)					
乙酸 Acetate	71.0 ± 2.3 ^a	65.8 ± 0.4 ^b	59.1 ± 1.4 ^c	53.3 ± 1.8 ^d	66.0 ± 2.7 ^c
丙酸 Propionate	19.4 ± 2.3 ^a	24.0 ± 0.6 ^b	30.0 ± 0.7 ^c	36.1 ± 2.2 ^d	22.7 ± 1.9 ^b
丁酸 Butyrate	9.7 ± 1.2	10.3 ± 0.7	10.9 ± 1.2	10.6 ± 0.8	11.3 ± 0.6
瘤胃液小数外流速率 Fractional outflow rate of rumen fluid(/h)	0.098 ± 0.32 ^a	0.103 ± 0.25 ^a	0.107 ± 0.21 ^a	0.112 ± 0.34 ^a	0.080 ± 0.99 ^b
乙酸灌注速率 Infusion rate of acetate (mmol/h)	50.87 ± 3.42 ^a	44.01 ± 3.25 ^b	37.24 ± 2.76 ^c	30.47 ± 2.54 ^d	0
丙酸灌注速率 Infusion rate of propionate (mmol/h)	10.18 ± 0.69 ^a	16.93 ± 0.62 ^b	23.70 ± 0.57 ^c	30.47 ± 0.46 ^d	0
丁酸灌注速率 Infusion rate of butyrate (mmol/h)	6.78 ± 0.46 ^a	6.78 ± 0.46 ^a	6.78 ± 0.46 ^a	6.78 ± 0.46 ^a	0
VFA 基本产生速率 Basal production rate of VFA (mmol/h)	80.58	83.51	84.25	86.43	82.78
VFA 产生速率 Production rate of VFA (mmol/h) ①	148.41 ^a	151.23 ^a	152.07 ^a	154.15 ^a	82.78 ^b
丙酸产生速率 Production rate of propionate (mmol/h) ②	23.37 ^d	30.12 ^c	36.89 ^b	43.66 ^a	13.20 ^c
VFA 产量 Production amount of VFA (mol/d)	3.56 ^a	3.63 ^a	3.65 ^a	3.70 ^a	1.99 ^b

注: ①VFA 的产生速率等于基本产生速率+ VFA 的灌注速率; Production rate of VFA= Basal rate of VFA+ VFA infusion rate;

②丙酸的产生速率等于其基本(内源发酵的)产生速率+ 丙酸灌注速率; Propionate production rate= basal propionate rate+ infusion rate;

著影响。灌注混合液引起的瘤胃液相外流小数速率明显高于未灌注的对照组 ($P < 0.05$), 但不同比例的 VFA 溶液灌注组之间差异不显著 ($P > 0.05$)。同样地, 灌注对瘤胃内源发酵产生 VFA 的速率影响不显著 ($P > 0.05$), 但总的 VFA 产生速度极显著高于对照组的产生速率 ($P < 0.01$), 总的 VFA 产生量也显著大于未灌注的 VFA 产生量 ($P < 0.01$)。

2.2 灌注不同比例 VFA 溶液后对小肠中 VFA 指标的影响

表 3 表明, 灌注组小肠总 VFA 的浓度明显高于

未灌注组的浓度 ($P < 0.05$); 对于灌注组, 当丙酸比例增加至 35% 时, 出现在小肠液中的乙酸浓度明显下降 ($P < 0.05$), 而丙酸的浓度则显著提高 ($P < 0.05$)。不论灌注 VFA 与否, 均未发现对小肠的丁酸浓度有显著影响 ($P > 0.05$)。

2.3 瘤胃灌注不同比例的 VFA 液对日粮养分消化的影响

表 4 所示, 除氮代谢外, 4 个灌注组与对照组比较, 干物质和有机物消化率 (DMD 及 OMD), 中洗纤维消化率 (NDFD)、酸洗纤维消化率 (ADFD) 及半纤

表 3 灌注 4 种 VFA 混合液对小肠中 VFA 有关指标的影响

Table 3 The effect of different molar ratio mixtures of buffered VFAs infused into the rumen on some relative indexes of VFAs in the small intestine

	A (75: 15: 10)	B (65: 25: 10)	C (55: 35: 10)	D (45: 45: 10)	对照组 Control
总 VFA Total VFA (mmol/L)	17.98 ± 4.04 ^a	14.66 ± 3.61 ^b	10.36 ± 1.35 ^b	13.00 ± 3.99 ^b	7.18 ± 1.49 ^c
VFA 摩尔浓度 (mmol/100mmol)					
乙酸 Acetate	77.79 ± 2.05 ^b	80.27 ± 1.60 ^{ab}	73.92 ± 2.38 ^a	73.58 ± 3.16	84.02 ± 3.14 ^c
丙酸 Propionate	20.83 ± 1.17 ^b	19.73 ± 1.60 ^b	25.31 ± 1.76 ^a	25.36 ± 2.69 ^a	15.98 ± 3.14 ^c
丁酸 Butyrate	1.21 ± 0.47	未检出	0.72 ± 0.89	0.79 ± 0.70	未检出

表 4 瘤胃灌注不同比例的 VFA 混合液对日粮消化指标的影响

Table 4 The effect of different molar ratio mixtures of buffered VFAs infused into the rumen on (dietary indexes of) nutrient ingredient digestibility

	A (75: 15: 10)	B (65: 25: 10)	C (55: 35: 10)	D (45: 45: 10)	对照组 Control
DMI (kg/d)	0.925 ± 0.06	0.912 ± 0.05	0.902 ± 0.05	0.892 ± 0.06	0.945 ± 0.11
OMI (kg/d)	0.852 ± 0.05	0.831 ± 0.05	0.839 ± 0.04	0.821 ± 0.05	0.871 ± 0.09
食入 N Intaked N (g/d)	14.56 ± 0.96	14.40 ± 0.82	14.24 ± 0.64	14.42 ± 0.82	14.88 ± 0.9
粪中 DM DM in the feces (kg/d)	0.412 ± 0.03	0.404 ± 0.04	0.397 ± 0.07	0.391 ± 0.04	0.438 ± 0.08
粪中 OM OM in the feces (kg/d)	0.370 ± 0.06	0.356 ± 0.02	0.365 ± 0.05	0.347 ± 0.06	0.363 ± 0.06
粪中 N Fecal N (g/d)	6.41 ± 0.53 ^a	6.21 ± 0.76 ^a	5.88 ± 0.30 ^b	5.79 ± 0.45 ^b	6.62 ± 0.36 ^a
尿中 N Urinary N (g/d)	5.53 ± 0.37 ^a	4.93 ± 0.24 ^b	4.65 ± 0.31 ^b	4.60 ± 0.28 ^b	5.16 ± 0.19 ^a
沉积 N Deposited N (g/d)	2.62 ^a	3.26 ^b	3.71 ^c	4.03 ^c	3.10 ^b
DMD (%)	55.43 ± 3.21	55.76 ± 2.65	54.86 ± 3.02	56.20 ± 3.35	53.66 ± 2.51
OMD (%)	56.63 ± 2.11	57.12 ± 2.05	56.45 ± 1.96	57.80 ± 2.32	56.47 ± 1.65
NDFI (kg/d)	0.427 ± 0.03	0.421 ± 0.02	0.416 ± 0.03	0.412 ± 0.03	0.436 ± 0.05
ADFI (kg/d)	0.265 ± 0.02	0.261 ± 0.02	0.258 ± 0.01	0.256 ± 0.03	0.270 ± 0.06
HCFI (kg/d)	0.162	0.160	0.158	0.156	0.166
粪中 NDF NDF in the feces (kg/d)	0.198 ± 0.01	0.189 ± 0.01	0.188 ± 0.02	0.187 ± 0.01	0.201 ± 0.02
粪中 ADF ADF in the feces (kg/d)	0.147 ± 0.01	0.143 ± 0.02	0.145 ± 0.01	0.142 ± 0.01	0.154 ± 0.02
粪中 HCF HCF in the feces (kg/d)	0.051	0.049	0.043	0.045	0.047
NDFD (%)	53.62 ± 2.80	55.07 ± 1.92	52.76 ± 3.49	54.65 ± 2.55	53.74 ± 2.81
ADFD (%)	44.61 ± 2.17	45.20 ± 2.06	43.93 ± 1.98	44.56 ± 2.56	43.01 ± 3.05
HCFD (%)	67.90	69.38	72.78	71.15	71.68

纤维素消化率(HCFD)等差异均不显著($P > 0.05$);且灌注组之间的均值差异也不明显($P > 0.05$);对于饲料氮的代谢,粪氮和尿氮的排出随灌注液中丙酸比例的提高,排出量显著减少($P < 0.05$)。各处理间的显著性检验两者也基本相同:对照组与B组差异不显著($P > 0.05$),但明显高于A组,而低于C、D两组的粪氮和尿氮排出($P < 0.05$),意味着当灌注混合液中丙酸的比例提高到35%,将使饲料氮的沉积显著增加。在维持饲养水平下,瘤胃丙酸的产生速率与饲料氮的沉积呈线性关系:沉积氮(g/d) = $1.086 + 0.0692 \times$ 丙酸产生速率(mmol/h) ($R^2 = 0.9768$)

2.4 瘤胃灌注不同比例VFA液后对血液中某些指标的影响

2.4.1 对血液中总VFA浓度及组成摩尔比例的影响:当灌注高比例的乙酸VFA混合液时,其进入小肠的总的VFA浓度比其它灌注组和对照组的小肠VFA浓度略高一些($P < 0.05$),但其它组间差异不明显。这进一步证实了后消化道如瓣胃和真胃对乙酸的吸收比对丙酸的吸收能力要差一些。同时随着灌注液中丙酸浓度的增加,出现在小肠液中的丙酸所占比例反而下降,而乙酸所占比例升高($P < 0.01$),这主要受控于瘤胃及后消化道对乙酸和丙酸的吸收速率不同,尽管丙酸的绝对数量加大,由于它们能被大量吸收,反映在小肠中其所占相对比例下降。由于丁酸的产生量较少,而且吸收速率明显快于乙酸和丙酸的吸收速率,所以本研究基本从小肠中不能检测到丁酸。

表5 瘤胃灌注4种不同VFA混合液对血液中某些指标的影响
Table 5 The effect of different molar ratio mixtures of buffered VFA infused into the rumen on some indexes in the blood

	A (75: 15: 10)	B (65: 25: 10)	C (55: 35: 10)	D (45: 45: 10)	对照组 Control
血液中总VFA Total VFA in blood(mmol/L)	4.95 ± 2.46 ^b	3.86 ± 1.32 ^a	3.67 ± 1.41 ^a	3.58 ± 1.26 ^a	3.79 ± 1.34 ^a
血液中VFA摩尔浓度 VFA in the blood (mmol/100mmol)					
乙酸 Acetate	75.28 ± 2.5 ^a	87.83 ± 3.6 ^b	90.83 ± 5.2 ^b	93.73 ± 1.8 ^c	94.38 ± 1.69 ^c
丙酸 Propionate	24.72 ± 1.3 ^a	12.17 ± 0.8 ^b	9.17 ± 0.8 ^b	6.27 ± 1.6 ^c	5.17 ± 0.5 ^c
丁酸 Butyrate	未检出	未检出	未检出	未检出	未检出
血液中CO ₂ 结合力 Conjoint force of CO ₂ in blood(mL/%)	29.12 ± 1.32	30.75 ± 2.11	31.54 ± 1.74	31.48 ± 2.31	32.42 ± 1.87
血清中血糖 Blood glucose in serum(mg/100ml)	53.38 ± 1.7 ^{bc}	56.78 ± 3.4 ^{abc}	62.50 ± 4.3 ^{ab}	67.01 ± 2.4 ^d	47.49 ± 2.6 ^c
血清中胰岛素 Insulin in serum(μIU/ml)	5.75 ± 0.88 ^{bc}	6.61 ± 0.58 ^{ab}	7.08 ± 0.85 ^a	7.42 ± 0.22 ^a	5.10 ± 0.20 ^c
血清中胰高血糖素 Glucagon in serum(pg/ml)	115.5 ± 12.9 ^{bc}	128.5 ± 17.9 ^{ab}	137.2 ± 15.7 ^{ab}	144.5 ± 6.6 ^a	99.8 ± 6.08 ^c
胰岛素/胰高血糖素 Insulin/glucagon(μIU/pg)	0.05	0.051	0.052	0.051	0.051

注:VFA的产生速率等于基本产生速率+VFA的灌注速率

2.4.2 对血浆中CO₂结合力的影响:灌注不同摩尔比的VFA溶液使血液CO₂结合力有下降趋势,但差异不显著($P > 0.05$)。因此可以认为因灌注VFA造成血液中H⁺离子浓度的增加可被血液中的HCO₃⁻缓冲,从而不会引起血浆中的‘硷储量’发生变化。

2.4.3 对静脉血糖浓度的影响:灌注不同摩尔比VFA溶液从总体上显著影响静脉血中的血糖水平($P < 0.05$),但各处理间的差异显著性不同。对照

组与A、B组彼此间无显著差异($P > 0.05$),只有当丙酸的比例提高到35%时,即瘤胃丙酸的产生速率提高至36.89 mmol/h时,其血糖浓度显著高于未灌注组和A、B组,再提高丙酸浓度至45%时,继续使血糖水平明显上升($P < 0.05$)。瘤胃丙酸产生速率与血糖水平的线性回归效果显著($P < 0.01$):血糖浓度(mg/100 ml) = $36.82 + 0.689 \times$ 丙酸产生速率(mmol/h) ($R^2 = 0.9916$)。

2.4.4 对静脉血清中胰岛素浓度的影响: 灌注从总体上显著影响静脉血清中的胰岛素水平 ($P < 0.05$), 随着灌注液中丙酸比例的增加, 血液中的胰岛素水平有不同程度的增加, 各处理间的差异显著性不同: 未灌注组与 A 组无显著差异, 但高乙酸灌注组与其他 3 个灌注组有显著差异 ($P > 0.05$), 而 B、C、D 组间差异不明显 ($P > 0.05$)。由此可见, 尽管瘤胃丙酸的灌注速率对血液中胰岛素的分泌量有影响, 但其影响程度不象影响血糖那样明显。两者间线性回归效果显著 ($P < 0.05$)。

血清胰岛素浓度 ($\mu\text{IU/ml}$) = $4.00 + 0.081 \times$ 丙酸产生速率 (mmol/h) ($R^2 = 0.9546$)。

2.4.5 对静脉血清中胰高血糖素浓度的影响: 灌注从总体上仍显著影响静脉血清中的胰高血糖素水平 ($P < 0.05$), 随着灌注液中丙酸比例的增加, 血清中的胰高血糖素水平有不同程度的增加, 但处理间的差异显著性不同: 未灌注组与 A 组的胰高血糖素水平无显著差异 ($P > 0.05$), A 组与 B、C 两组差异不显著 ($P > 0.05$), 但与 D 组差异明显 ($P < 0.05$); B、C、D 三组间差异不显著 ($P > 0.05$)。可见, 对于 4 种 VFA 的灌注比例, 只有 A 组与 D 组引起血液中的胰高血糖素水平的变化差异显著, 说明瘤胃丙酸的产生速率对血液中胰高血糖素分泌量的影响小于对胰岛素的影响。当观察值为两种激素浓度的比值时, 会发现这种比值不论灌注的混合 VFA 中乙、丙酸摩尔比例的变化, 甚至未施行灌注, 所有观察组和对照组的比值保持基本稳定, 差异不显著 ($P > 0.05$)。这说明了胰岛素和胰高血糖素的分泌具有一定的同步性, 共同维持动物内环境的稳衡。

3 小结与讨论

3.1 通过向瘤胃灌注 4 种不同的乙酸: 丙酸的 VFA 混合液, 并在连续灌注的作用下, 达到了最终改变瘤胃液中乙酸: 丙酸: 丁酸摩尔比例的目的, 为研究其它指标的变化规律提供了可能。

3.2 向瘤胃灌注的 VFA 溶液提供高于维持能量水平 30% 以上的能量, 使瘤胃中总的 VFA 浓度、VFA 产生速率、丙酸的产生速率及 VFA 的总产量均显著增加。

3.3 随着灌注液中的丙酸比例的升高, 粪氮和尿氮的排出显著减少, 从而提高饲料氮的沉积能力, 说明了当瘤胃液中乙酸的浓度偏高时, 确切地讲是乙酸的产生量与丙酸的产生量不匹配时, 显著影响动物

沉积氮的能力, 这也说明了大量饲喂粗饲料或秸秆日粮的牛羊上膘困难, 甚至严重掉膘的现象。因此, 保持瘤胃发酵过程中乙酸与丙酸产量的匹配, 在大力提倡的秸秆型的饲喂方案中应给予重视。

3.4 随着灌注液中的丙酸比例的升高, 血糖浓度及血清中胰岛素的浓度有增加的趋势, 只有当丙酸的摩尔比例进一步提高至 45% 时, 血糖浓度及胰岛素的浓度才显著增加。

3.5 随着灌注液中的丙酸比例的升高, 血清中胰岛素与胰高血糖素的比值基本保持稳定。表面上似乎通过胰岛素与胰高血糖素两者浓度的同步提高, 能控制动物体内血糖浓度的稳定, 但事实上血糖浓度随丙酸灌注速率的提高显著增加。因此决定血糖浓度的稳定决不是上述两种激素简单作用的结果。作为胰岛素抑制肝脏的葡萄糖输出的能力在羊上得以证实过^[1,6]并得到认可, 但是胰高血糖素维持反刍动物基本的葡萄糖输出尚有争议^[2], 体外研究发现, 胰高血糖素对来源于丙酸的葡萄糖异生作用影响不大, 但是增加了肝脏对氨基酸和乳酸的摄取能力。这种作用机制可能解释了随着丙酸灌注速率的增加, 饲料氮沉积提高与胰高血糖素浓度的提高有关, 是否对提高血糖浓度有直接的作用尚待进一步研究。

参考文献:

- [1] Brokman R P. Effects of glucagons and insulin on lipolysis and ketogenesis in sheep[J]. Can J Comp Med, 1976, (46): 166 ~ 170.
- [2] Bergman E N. Energy contributions of volatile fatty acids from the gastrointestinal tract in various species[J]. Physiol Rev, 1990, (70): 567~ 590.
- [3] Preston T R. Molasses as an energy source for cattle[J]. World Rev Nutr Dietics, 1972, 17: 250~ 311.
- [4] Macleod N A, Corrigan W, Storton R A, Ørskov E R. Intra-gastric infusion of nutrients in cattle[J]. Br J Nutr, 1982, (47): 547.
- [5] NRC. Nutrient Requirements of Sheep[M]. Sixth Revised Edition, 1985.
- [6] Weeks T E C, Webster A J F. Metabolism of propionate in the tissues of the sheep gut[J]. Br J Nutr, 1975, (33): 425~ 438.
- [7] 熊本海, 等. 利用体外法研究饲料的产气曲线及 5 种养分的发酵系数[J]. 畜牧兽医学报, 2001, (2): 113~ 121.
- [8] 杨 胜. 饲料分析技术及饲料质量检测技术[M]. 北京农业出版社, 1994.
- [9] 桂兴芬. 动物生物化学实验指导[M]. 中国农业出版

社. 2000.

业出版社. 1990.

[10] 卢德勋. 现代反刍动物营养研究方法和技术[M]. 农

Effect of Changing the Molar Ratio of Acetate to Propionate in Rumen Fluid on Rumen Fermentation and Some Blood Indexes

XIONG Bei-hai¹, LU De-xun², ZHANG Zi-yi¹

(1. *Institute of Animal Science, Chinese Academy of Agriculture Science, Beijing 100094;*

2. *Inner Mongolian Academy of Animal Science, Huhhot, 010030 China*)

Abstract: The four designed VFA infusions with different molar ratio of acetate: propionate: butyrate were used to establish final molar ratio of VFAs in the rumen of the sheep. It was found that the proportion of propionate in the rumen fluid at steady state increased with the increase of propionate in the mixture of VFAs, and the concentration of acetate was down gradually and different from uninfused control group ($P < 0.05$). The concentration of butyrate in the rumen fluid changed a little. The infused level of VFA was the equivalent of an additional 30% of ME requirement at maintenance and the study demonstrated that: ① there were no differences in rumen pH, the digestibilities of DM, OM, NDF, ADF and HCF for mixed diet as well as the blood CO₂ combining power between different infused levels of VFAs. ② The outputs of feces-nitrogen and urine-nitrogen reduced significantly ($P < 0.05$) when the molar proportion of propionate in the rumen fluid was elevated to 23.95%, which indicated increasing the concentration of propionate in the rumen was helpful to deposit of dietary nitrogen by animal. Therefore, keeping a proper ratio of acetate: propionate in the rumen fluid is very important, especially for feeding high level of lower quality of roughages to both steers and sheep in our country nowadays. Meanwhile, when the molar proportion of propionate in the rumen fluid was elevated to 45%, the concentrations of both blood glucose and insulin elevated to 45%, the concentrations of blood glucose and insulin were increased significantly ($P < 0.05$), and both of them had a positive linear relationship with the increase of production rate of propionate in the rumen. When the ratio of insulin to glucagon was observed, it showed this ratio appeared constant in different groups, even for control group.

Key words: Acetate; Propionate; Rumen; Digestibility; Fermentation

• 信息 •

中国畜牧兽医学会期刊编辑学分会第三届二次理事会于 2002 年 9 月 9 日~ 13 日在北戴河召开。本届会议主要讨论了期刊经营与广告策划, 以及中国加入 WTO 后, 中国畜牧兽医类期刊面临的机遇与挑战等问题; 交流了期刊编辑工作经验; 组织进行了期刊的质量评估, 在 130 多种畜牧兽医期刊中, 本届有 14 种期刊荣获优秀期刊一等奖; 另有 18 种期刊获二等奖。《畜牧兽医学报》被评为优秀期刊一等奖, 本刊连续三届荣获全国畜牧兽医界优秀期刊一等奖。本编辑部主任, 副主编谭淑琴, 副主任任鹏二位同志在第四届全国畜牧兽医优秀编辑评选中, 被评为优秀编辑, 并获证书。