

复合处理麦秸、青贮玉米秸和精料的组合及比例对奶牛体外瘤胃发酵的影响

孙国强 吕永艳 蔡李逢 崔海净

(青岛农业大学动物科技学院, 青岛 266109)

摘要: 本文旨在研究复合处理麦秸、青贮玉米秸和精料的组合及比例对奶牛体外瘤胃发酵的影响。将复合处理麦秸、青贮玉米秸、精料两两组合, 且每种组合均设 6 个组合比例(0:100、20:80、40:60、60:40、80:20、100:0), 筛选出最优复合处理麦秸与青贮玉米秸比例后再与精料以这 6 个比例组合, 每个组合 3 个重复。通过短期人工瘤胃技术测定体外瘤胃发酵参数的变化。结果表明: 3 种饲料的组合和比例对瘤胃液 pH 影响不显著($P > 0.05$), 所有组合氨氮浓度均在正常范围内; 综合考察微生物蛋白质(MCP)产量和挥发性脂肪酸(VFA)浓度, 得出各组合中的最优比例分别为复合处理麦秸:青贮玉米秸=40:60、复合处理麦秸:精料=60:40、青贮玉米秸:精料=60:40以及最优复合处理麦秸与青贮玉米秸组合(40:60):精料=80:20。综上所述, 复合处理麦秸、青贮玉米秸和精料最优的组合比例是 32:48:20。

关键词: 复合处理麦秸; 青贮玉米秸; 精料; 瘤胃发酵

中图分类号: S823

文献标识码: A

文章编号: 1006-267X(2013)01-0069-08

众所周知, 通过加工调制可以提高作物秸秆的营养价值^[1-3], 但是, 加工调制只是提高作物秸秆营养价值的技术途径之一, 因为饲料的营养价值还受饲料之间组合的影响, 饲料之间的组合不同则其干物质采食量、养分消化率以及瘤胃发酵参数就有所不同。因此, 为了提高作物秸秆的营养价值除要对其进行有效的加工调制外, 还要利用其有利于提高其营养价值的组合。有关秸秆加工调制以及在反刍动物生产中的应用已有大量报道, 主要是对某一种加工调制秸秆的营养价值以及对反刍动物生产性能影响的研究报道。目前, 关于加工调制秸秆之间及其与精料(concentrate, CC)之间最优组合的研究还尚未见报道。本试验通过短期人工瘤胃技术测定复合处理麦秸(combination-treated wheat straw, CW)、青贮玉米秸(maize straw silage, MS)与精料不同组合对瘤胃发酵参数的影响, 旨在探讨复合处理麦秸与青贮玉

米秸之间, 复合处理麦秸与精料之间, 青贮玉米秸与精料之间以及最优复合处理麦秸与青贮玉米秸组合再与精料之间的理想组合, 为提高作物秸秆的消化利用率和节约饲料资源提供理论指导。

1 材料与方法

1.1 试验材料

复合处理麦秸[麦秸中含 4% 尿素和 2% 氢氧化钙(干物质基础)]、青贮玉米秸、精料均来自青岛市, 经 65 °C 干燥 48 h、粉碎、过 40 目筛, 密封保存待用。精料组成及营养水平见表 1。

1.2 试验用瘤胃液供体动物与饲料

选用 2 头健康、体重相近的成年荷斯坦奶牛作为试验用瘤胃液供体动物。试验期间每天每头饲喂精料 4 kg, 分 3 次饲喂, 羊草自由采食, 自由饮水。精料组成: 玉米 58.5%、麦麸 9.0%、豆粕 12.0%、棉籽粕 6.0%、花生粕 8.0%、磷酸氢钙

2.5%、小苏打 1.5%、贝壳粉 0.5%、预混料(每千克预混料含维生素 A 800 000 IU,维生素 D₃ 300 000 IU,维生素 E 3 000 IU,铁 1.75 g,铜 1.6 g,锌 1 g,锰 3.5 g,碘 0.1 g,硒 42 mg,钴 42 mg)1.0%、食盐 1.0%。

表 1 精料组成及营养水平(风干基础)
Table 1 Composition and nutrient levels of
the concentrate (air-dry basis) %

项目 Items	含量 Content
原料 Ingredients	
玉米 Corn	60
麦麸 Wheat bran	10
豆粕 Soybean meal	25
食盐 NaCl	1
预混料 Premix ¹⁾	4
合计 Total	100
营养水平 Nutrient levels ²⁾	
干物质 DM	86.61
粗蛋白质 CP	16.69
中性洗涤纤维 NDF	14.31
酸性洗涤纤维 ADF	5.13
消化能 DE/(MJ/kg)	13.79
钙 Ca	0.79
磷 P	0.68

¹⁾ 每千克预混料含 One kilogram of premix contains the following: VA 200 000 IU, VD₃ 100 000 IU, VE 800 IU, Fe 500 mg, Cu 400 mg, Zn 300 mg, Mn 900 mg, I 25 mg, Se 12 mg, Co 12 mg, 磷酸氢钙 CaHPO₄ 500 g, 小苏打 NaHCO₃ 250 g。

²⁾ 消化能为计算值,其余营养水平均为实测值。DE is a calculated value, while other nutrient levels are measured values.

1.3 试验设计

将复合处理麦秸、青贮玉米秸、精料两两组合,且每种组合均设 6 个组合比例(0:100、20:80、40:60、60:40、80:20、100:0)(表 2)。筛选出最优复合处理麦秸与青贮玉米秸组合后再与精料以这 6 个比例组合(表 3)。每个组合 3 个重复。

1.4 人工瘤胃

1.4.1 人工瘤胃装置

人工瘤胃装置主体为水浴温度可调的电热恒温水浴锅(北京市长风仪器仪表公司)和作发酵培养管之用的玻璃注射器(可计量容积为 100 mL)。注射器每次使用之前洗净晾干,然后用少量凡士林涂在活塞筒四周,用来减少摩擦和防止漏气^[4]。

1.4.2 培养液的制备

培养液的制备参照文献[5]的培养液配制法。

1.4.3 瘤胃液的采集

在早晨饲喂前抽取瘤胃液。令牛站立将其保定于六柱栏,戴上开口器,取液器从开口器经口腔徐徐插入食道再进入瘤胃,在瘤胃中不断变换方位,取液器另一端与真空抽虑瓶相连,真空抽虑瓶接真空泵,开动真空泵抽取足量瘤胃液,灌入经预热达 39 ℃并通有二氧化碳(CO₂)气体的保温瓶中,立即盖严瓶口,迅速返回实验室,2 头牛的瘤胃液混合,经 4 层纱布过滤于接收瓶中,置于 39 ℃水浴中保存,持续通入 CO₂ 气体。

1.4.4 人工瘤胃液的制备

将 250 mL 预先配制好并在 39 ℃水浴中预热的培养液与 1 000 mL 在 39 ℃水浴中预热的蒸馏水混合之后再加入 312.5 mL 过滤后并持续通入 CO₂ 气体的瘤胃液混合,搅拌均匀置于 39 ℃恒温水浴锅中保存,人工瘤胃液始终用 CO₂ 气体饱和,待用。

表 2 复合处理麦秸、青贮玉米秸和精料的组合比例
Table 2 Combination proportion of CW, MS and CC

组合 Combinations	比例 Proportion					
复合处理麦秸:青贮玉米秸 CW:MS	0:100	20:80	40:60	60:40	80:20	100:0
复合处理麦秸:精料 CW:CC	0:100	20:80	40:60	60:40	80:20	100:0
青贮玉米秸:精料 MS:CC	0:100	20:80	40:60	60:40	80:20	100:0

1.4.5 操作步骤

准确称取饲料样品 200 mg,置于玻璃注射器的前端,取 30 mL 始终用 CO₂ 气体饱和的人工瘤胃液加到每一个注射器中,排净注射器中的空气,

密封,然后在 39 ℃的水浴锅中培养 24 h。每个样品设 3 个重复,另设置 3 个空白样品,分别排列于培养框架的前位与后位,以消除试验误差。

表3 复合处理麦秸与青贮玉米秸最优组合与精料的组合比例
Table 3 Combination proportion of the best combination of CW-MS and CC

组合 Combination	比例 Proportion					
最优复合处理麦秸与青贮玉米秸组合:精料 The best combination of CW-MS:CC	0:100	20:80	40:60	60:40	80:20	100:0

1.4.6 振荡

培养开始后每隔 8 h 摇动 1 次。

1.5 测定指标与方法

将注射器于培养 24 h 后取出,迅速放入冷水浴中终止发酵,并将注射器中发酵液排出至离心管中,立刻测定瘤胃液 pH,然后将瘤胃液离心(4 000 r/min离心 15 min),上清液制样以备测定瘤胃液氨态氮(NH₃-N)浓度、微生物蛋白质(MCP)产量和挥发性脂肪酸(VFA)浓度。

1.5.1 瘤胃液 pH

采用 25 型酸度计测定(北京哈纳科仪科技有限公司)。

1.5.2 瘤胃液 NH₃-N 浓度

参照冯宗慈等^[6]的比色法进行测定。

1.5.3 瘤胃液 MCP 产量

参照 Cotta 等^[7]的差速离心法进行测定。

1.5.4 瘤胃液 VFA 浓度

按照曹庆云等^[8]的气相色谱法测定瘤胃液 VFA 浓度。

1.6 数据处理与分析

试验数据采用 SPSS 17.0 软件的一般线性模型(GLM)程序进行方差分析,并进行 Duncan 氏法多重比较。

2 结果与分析

2.1 瘤胃液 pH、NH₃-N 浓度及 MCP 产量

从表 4 可见,复合处理麦秸与青贮玉米秸、复合处理麦秸与精料、青贮玉米秸与精料之间以不同比例组合对瘤胃液 pH 的影响均不显著($P > 0.05$)。

复合处理麦秸:青贮玉米秸为 60:40、80:20 和 100:0 时,瘤胃液 NH₃-N 浓度极显著高于同组合的其他比例($P < 0.01$);复合处理麦秸:精料和青贮玉米秸:精料均以 40:60 和 80:20 时瘤胃液 NH₃-N 浓度最高,显著或极显著高于同组合其他比例($P < 0.05$ 或 $P < 0.01$)。

复合处理麦秸:青贮玉米秸为 40:60 时 MCP 产量最高,显著或极显著高于同组合其他比例($P < 0.05$ 或 $P < 0.01$);复合处理麦秸:精料和青贮玉米秸:精料均以 60:40 时 MCP 产量最高,极显著高于同组合其他比例($P < 0.01$)。

2.2 瘤胃液 VFA 浓度

由表 5 可见,在乙酸和乙酸 + 丙酸 + 丁酸总浓度上,复合处理麦秸:青贮玉米秸为 40:60 及 60:40 的组合均极显著高于其他比例的组合($P < 0.01$);复合处理麦秸:精料和青贮玉米秸:精料中,比例为 60:40 和 80:20 时均显著或极显著高于同组合其他比例($P < 0.05$ 或 $P < 0.01$),而这 2 个比例之间无显著差异($P > 0.05$)。

在乙酸/丙酸上,复合处理麦秸:青贮玉米秸中,随着复合处理麦秸比例的增加而提高,但是复合处理麦秸比例为 20% ~ 100% 的 4 个组合在乙酸/丙酸上无显著差异($P > 0.05$);复合处理麦秸:精料和青贮玉米秸:精料为 0:100 和 20:80 时乙酸/丙酸低于 2.0,且极显著低于同组合其他比例($P < 0.01$),比例为 80:20 的乙酸/丙酸显著高于比例为 60:40($P < 0.05$),这 2 个比例极显著高于同组合其他比例($P < 0.01$)。

在丙酸浓度上,复合处理麦秸:青贮玉米秸为 40:60 及 60:40 的组合均极显著高于其他比例的组合($P < 0.01$);复合处理麦秸:精料和青贮玉米秸:精料均以 0:100 时显著或极显著高于同组合其他比例($P < 0.05$ 或 $P < 0.01$)。

正常情况下瘤胃液中乙酸、丙酸、丁酸占总挥发性脂肪酸(TVFA)的比例分别为 50% ~ 65%、18% ~ 25% 和 12% ~ 20%^[9],所以乙酸/丙酸为 2.0 ~ 3.6 属于正常范围。在乙酸/丙酸的正常范围之内,乙酸 + 丙酸 + 丁酸浓度越高说明瘤胃发酵效果越好,因而复合处理麦秸:青贮玉米秸为 40:60 和 60:40、复合处理麦秸:精料为 60:40 和 80:20 以及青贮玉米秸:精料为 60:40 和 80:20 的组合最有利于瘤胃发酵产生 VFA。

表 4 复合处理麦秸、青贮玉米秸与精料的不同组合对瘤胃液 pH、NH₃-N 浓度及 MCP 产量的影响

Table 4 Effects of different combinations of CW, MS and CC on pH, NH₃-N concentration and MCP yield in rumen fluid

组合 Combinations	比例 Proportion	pH	氨态氮 NH ₃ -N/(mg/dL)	微生物蛋白质 MCP/(mg/mL)
复合处理麦秸:青贮玉米秸 CW:MS	0:100	6.87 ± 0.11	11.77 ± 1.22 ^{Cc}	1.84 ± 0.07 ^{Bc}
	20:80	6.44 ± 0.35	12.86 ± 0.91 ^{BCbc}	1.86 ± 0.06 ^{ABbc}
	40:60	6.67 ± 0.21	13.97 ± 0.72 ^{Bb}	1.99 ± 0.08 ^{Aa}
	60:40	6.65 ± 0.31	15.62 ± 0.67 ^{Aa}	1.63 ± 0.08 ^C
	80:20	6.73 ± 0.26	16.21 ± 1.01 ^{Aa}	1.37 ± 0.05 ^{Dd}
	100:0	6.88 ± 0.28	16.88 ± 0.87 ^{Aa}	1.39 ± 0.04 ^{Dd}
复合处理麦秸:精料 CW:CC	0:100	6.49 ± 0.22	15.70 ± 1.07 ^{Bb}	1.38 ± 0.07 ^{Bb}
	20:80	6.81 ± 0.13	13.94 ± 0.93 ^{Cc}	1.38 ± 0.05 ^{Bb}
	40:60	6.68 ± 0.30	17.93 ± 1.24 ^{Aa}	1.48 ± 0.05 ^{Ba}
	60:40	6.57 ± 0.33	12.73 ± 0.94 ^{Cd}	1.72 ± 0.11 ^A
	80:20	6.81 ± 0.17	18.42 ± 1.27 ^{Aa}	1.47 ± 0.04 ^{Ba}
	100:0	6.55 ± 0.33	15.93 ± 1.02 ^{Bb}	1.46 ± 0.05 ^{Bab}
青贮玉米秸:精料 MS:CC	0:100	6.46 ± 0.29	15.91 ± 1.22 ^{Aab}	1.42 ± 0.10 ^{Dc}
	20:80	6.59 ± 0.33	13.19 ± 0.87 ^{Bc}	1.45 ± 0.07 ^{Dc}
	40:60	6.55 ± 0.33	16.34 ± 1.01 ^{Aa}	1.60 ± 0.06 ^{Cb}
	60:40	6.75 ± 0.24	11.90 ± 0.77 ^{Bc}	1.99 ± 0.10 ^A
	80:20	6.80 ± 0.17	16.19 ± 0.84 ^{Aa}	1.68 ± 0.06 ^{Ca}
	100:0	6.71 ± 0.23	15.12 ± 0.75 ^{Ab}	1.80 ± 0.08 ^B

同一组合、同列数据肩标不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$), 不同大写字母表示差异极显著 ($P < 0.01$), 相同或无字母表示差异不显著 ($P > 0.05$)。表 5 同。

In the same column, values of the same combination with different small letter superscripts mean significant difference ($P < 0.05$), and with different capital letter superscripts mean extremely significant difference ($P < 0.01$), while with the same or no letter superscripts mean no significant difference ($P > 0.05$). The same as Table 5.

由于复合处理麦秸、青贮玉米秸与精料的组合及比例对瘤胃液 pH 影响不显著 ($P > 0.05$), 而 NH₃-N 浓度为 11.77 ~ 18.42 mg/dL, 均在正常变动范围^[10], 因此对瘤胃发酵的影响就取决于 MCP 产量和 VFA 浓度, 综合考虑 MCP 产量和 VFA 浓度, 在复合处理麦秸:青贮玉米秸中, 以 40:60 的比例为最优, 在复合处理麦秸:精料以及青贮玉米秸:精料的不同组合中均以 60:40 为最优。

2.3 瘤胃发酵参数

由表 6 可见, 最优复合处理麦秸与青贮玉米秸组合 (40:60) 与精料以不同比例组合对体外瘤胃液 pH 影响不显著 ($P > 0.05$)。在 NH₃-N 浓度方面, 当最优复合处理麦秸与青贮玉米秸组合:精料占 40:60、80:20 和 100:0 时, NH₃-N 浓度显著或极显著高于其他比例 ($P < 0.05$ 或 $P < 0.01$)。在 MCP 产量方面, 复合处理麦秸青贮玉米秸的最优组合:精料为 80:20 时, MCP 产量最高, 极显著高于其余比例 ($P < 0.01$)。

在乙酸和乙酸 + 丙酸 + 丁酸浓度上, 最优复合处理麦秸与青贮玉米秸组合:精料为 60:40 和 80:20 的组合极显著高于其他比例 ($P < 0.01$), 在乙酸/丙酸上, 该 2 比例间无显著差异 ($P > 0.05$), 而极显著高于其他比例 ($P < 0.01$)。在丙酸浓度上, 最优复合处理麦秸与青贮玉米秸组合:精料为 0:100 时极显著高于其他比例 ($P < 0.01$)。因此最优复合处理麦秸与青贮玉米秸组合:精料以 60:40 和 80:20 的比例对瘤胃发酵产生 VFA 最为有利。

3 讨论

3.1 复合处理麦秸、青贮玉米秸和精料的不同组合对体外瘤胃液 pH、NH₃-N 浓度及 MCP 产量的影响

维持正常范围内的 pH 是保证瘤胃正常发酵的前提条件之一。一般而言, 瘤胃液 pH 随采食时间而呈周期性变化, 瘤胃液正常 pH 变动范围为

6~7^[11]。本试验所有组合的 pH 为 (6.43 ± 0.22) ~ (6.88 ± 0.10), 均在正常范围内, 说明饲料间不同组合对体外瘤胃液 pH 无显著影响 ($P > 0.05$)。本试验中不同精粗比例的组合间体外瘤

胃液 pH 差异不显著, 这与郭冬生^[5]和崔海净等^[10]的研究结果基本一致, 而与王中华^[14]的论述不一致, 究竟是什么原因尚不清楚, 有待于进一步探讨。

表5 复合处理麦秸、青贮玉米秸与精料的不同组合对瘤胃液 VFA 浓度的影响
Table 5 Effects of different combinations of CW, MS and CC on VFA concentration in rumen fluid

组合 Combinations	比例 Proportion	乙酸 Acetic acid/ (mmol/L)	丙酸 Propionic acid/ (mmol/L)	丁酸 Butyric acid/ (mmol/L)	乙酸 + 丙酸 + 丁酸 Acetic + propionic + butyric acid/ (mmol/L)	乙酸/丙酸 Acetic/propionic acid
复合处理麦秸:青贮 玉米秸 CW:MS	0:100	23.31 ± 2.03 ^{Bc}	11.37 ± 1.24 ^{Bb}	5.15 ± 0.65 ^{Bc}	39.83 ± 1.72 ^{Cd}	2.05 ± 0.09 ^C
	20:80	25.68 ± 1.17 ^{Bbc}	11.46 ± 1.01 ^{Bb}	5.88 ± 0.31 ^{ABbc}	43.02 ± 1.79 ^{Bb}	2.24 ± 0.07 ^{Bb}
	40:60	35.86 ± 2.06 ^{Aa}	14.76 ± 0.85 ^{Aa}	6.91 ± 1.53 ^{Aa}	57.53 ± 3.56 ^{Aa}	2.43 ± 0.07 ^{ABab}
	60:40	36.12 ± 2.55 ^{Aa}	15.37 ± 1.44 ^{Aa}	6.39 ± 0.65 ^{Aa}	57.88 ± 2.85 ^{Aa}	2.35 ± 0.10 ^{ABab}
	80:20	25.19 ± 1.79 ^{Bbc}	10.41 ± 0.95 ^{Bb}	5.03 ± 1.10 ^{Bc}	40.63 ± 1.90 ^{BCbd}	2.42 ± 0.09 ^{Aa}
	100:0	27.44 ± 2.10 ^{Bb}	10.97 ± 1.32 ^{Bb}	5.33 ± 0.67 ^{Bc}	43.74 ± 2.01 ^{Bb}	2.50 ± 0.07 ^{Aa}
复合处理麦秸:精料 CW:CC	0:100	30.33 ± 2.12 ^{Cb}	25.25 ± 1.37 ^{Aa}	7.77 ± 0.75 ^{Aa}	63.35 ± 2.30 ^{Ab}	1.20 ± 0.10 ^E
	20:80	32.87 ± 1.52 ^{Cb}	22.62 ± 1.54 ^{Ab}	8.01 ± 1.03 ^{Aa}	63.50 ± 2.45 ^{Ab}	1.45 ± 0.07 ^D
	40:60	37.63 ± 2.41 ^B	17.89 ± 1.33 ^{Bc}	8.16 ± 0.66 ^{Aa}	63.68 ± 2.15 ^{Ab}	2.10 ± 0.16 ^C
	60:40	43.54 ± 2.37 ^{Aa}	15.30 ± 0.99 ^{BCdc}	8.02 ± 1.47 ^{Aa}	66.86 ± 1.43 ^{Aa}	2.85 ± 0.11 ^{Ab}
	80:20	45.23 ± 2.21 ^{Aa}	14.27 ± 1.07 ^{Cc}	7.51 ± 1.23 ^{Aa}	67.01 ± 2.25 ^{Aa}	3.17 ± 0.08 ^{Aa}
	100:0	28.02 ± 2.20 ^{Cc}	11.03 ± 1.32 ^D	4.53 ± 0.97 ^B	43.58 ± 2.01 ^B	2.54 ± 0.09 ^B
青贮玉米秸:精料 MS:CC	0:100	31.20 ± 2.01 ^{Cd}	24.14 ± 1.23 ^A	7.93 ± 0.89 ^{Ab}	63.27 ± 2.12 ^{ABbc}	1.29 ± 0.10 ^D
	20:80	32.96 ± 1.43 ^{Cd}	21.21 ± 1.37 ^B	7.35 ± 1.11 ^{Ab}	61.52 ± 2.22 ^{Bc}	1.55 ± 0.19 ^C
	40:60	36.34 ± 1.91 ^{Bc}	17.75 ± 0.82 ^{Ca}	8.37 ± 0.65 ^{Aab}	62.46 ± 2.27 ^{ABbc}	2.16 ± 0.08 ^{Bc}
	60:40	40.21 ± 1.23 ^{ABab}	16.63 ± 0.91 ^{Cbc}	9.11 ± 1.52 ^{Aa}	65.95 ± 1.88 ^{Aa}	2.42 ± 0.11 ^{Ab}
	80:20	42.76 ± 2.21 ^{Aa}	15.56 ± 1.07 ^{Cc}	8.36 ± 0.83 ^{Aab}	66.68 ± 1.95 ^{Aa}	2.75 ± 0.09 ^{Aa}
	100:0	24.05 ± 1.93 ^D	11.26 ± 1.32 ^D	4.34 ± 0.52 ^B	39.65 ± 1.64 ^C	2.14 ± 0.12 ^{Bc}

瘤胃液中的 NH₃-N 反映了特定饲料组成下蛋白质降解与 MCP 合成的动态平衡关系, 是一个动态平衡指标。一方面饲料被瘤胃微生物分解产生 NH₃-N; 另一方面瘤胃中的微生物利用饲料降解的 NH₃-N 与酮酸合成 MCP。瘤胃液中的 NH₃-N 浓度总体上反映饲料的含氮量、饲料蛋白质的可溶性和降解特性, 因饲料的不同而变动较大。氨 (NH₃) 是瘤胃内合成菌体蛋白质的主要前体物质, 瘤胃中 NH₃ 的浓度过高或过低都不利于微生物的生长繁殖, 进而影响 MCP 的产量^[12], 因此保持瘤胃液最适 NH₃-N 浓度是保证 MCP 合成的首要条件, 有试验表明, 瘤胃液最适 NH₃-N 浓度为 8~10 mg/dL, 但 6.3~27.5 mg/dL 时也属正常变动范围, 不影响微生物的活性, NH₃-N 浓度过高会造成氮源浪费, NH₃-N 浓度过低将影响瘤胃能氮平衡、降低瘤胃微生物活性、降低 MCP 的合成和

纤维类物质的降解^[13]。本试验饲料间所有组合的瘤胃液 NH₃-N 浓度为 (11.77 ± 1.03) mg/dL ~ (18.42 ± 1.27) mg/dL, 均在正常变动范围内, 说明瘤胃微生物活性正常。

MCP 产量是反映瘤胃消化能力的最重要指标之一, MCP 产量的高低实际上就是瘤胃微生物生长繁殖的快慢, 该指标主要取决于瘤胃能氮平衡, 即碳水化合物和蛋白质 (含氮化合物) 降解的数量和速度是否协调和匹配, 当二者降解的数量和速度越协调就可能产生越多的 MCP。复合处理麦秸与青贮玉米秸以 40:60 的组合时 MCP 产量最高, 在这个组合中复合处理麦秸 (含氮量高的饲料) 所占比例小; 在复合处理麦秸与精料以及青贮玉米秸与精料的组合中均以 60:40 为最高, 在这 2 种粗饲料与精料的组合中同样也是以精料 (含氮量高的饲料) 所占比例小, 说明在瘤胃液 pH、NH₃-N 浓

度都处于正常范围的条件下,瘤胃能氮平衡程度越高的组合,越有利于 MCP 的生成。

表 6 最优复合处理麦秸与青贮玉米秸组合与精料的不同比例对体外瘤胃发酵参数的影响

Table 6 Effects of the proportion of CC and the best combination of CW-MS on <i>in vitro</i> ruminal fermentation parameters						
项目 Items	最优复合处理麦秸与青贮玉米秸组合(40:60):精料 The best combination of CW-MS (40:60):CC					
	0:100	20:80	40:60	60:40	80:20	100:0
pH	6.21 ± 0.37	6.81 ± 0.15	6.71 ± 0.25	6.70 ± 0.17	6.77 ± 0.20	6.63 ± 0.23
氨态氮 NH ₃ -N/(mg/dL)	11.65 ± 1.03 ^{Bd}	13.87 ± 1.12 ^{ABbc}	14.79 ± 0.86 ^{Aa}	13.59 ± 1.04 ^{ABbc}	15.17 ± 0.96 ^{Aa}	14.55 ± 0.89 ^{Aa}
微生物蛋白质 MCP/(mg/mL)	1.43 ± 0.10 ^D	1.41 ± 0.19 ^{Cd}	1.70 ± 0.17 ^{Cd}	2.15 ± 0.17 ^{Bb}	2.86 ± 0.013 ^{Aa}	2.02 ± 0.03 ^{BCbc}
乙酸 Acetic acid/(mmol/L)	30.93 ± 1.86 ^{Cd}	34.68 ± 2.02 ^{Cc}	41.34 ± 2.11 ^{Bb}	46.22 ± 2.63 ^{Aa}	47.54 ± 1.85 ^{Aa}	40.05 ± 1.92 ^{Bb}
丙酸 Propionic acid/(mmol/L)	27.01 ± 1.18 ^A	20.43 ± 1.25 ^{Ba}	18.71 ± 1.01 ^{Bb}	16.89 ± 2.03 ^{BbCc}	15.41 ± 0.77 ^{Cc}	14.76 ± 1.37 ^{Cc}
丁酸 Butyric acid/(mmol/L)	7.57 ± 0.78 ^{Aa}	7.22 ± 1.03 ^{Aab}	7.91 ± 0.73 ^{Aa}	8.03 ± 1.10 ^{Aa}	7.11 ± 0.40 ^{Ab}	8.01 ± 1.49 ^{Aa}
乙酸 + 丙酸 + 丁酸 Acetic + propionic + butyric acid/(mmol/L)	65.51 ± 2.05 ^{Bbc}	62.33 ± 2.11 ^{Bc}	67.96 ± 1.97 ^{Bb}	71.14 ± 3.11 ^{Aa}	70.06 ± 2.25 ^{Aa}	62.82 ± 3.21 ^{Bc}
乙酸/丙酸 Acetic/propionic acid	1.19 ± 0.09 ^D	1.70 ± 0.10 ^C	2.21 ± 0.09 ^{Bb}	2.74 ± 0.22 ^{Aa}	3.09 ± 0.11 ^{Aa}	2.71 ± 0.08 ^{Bb}

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$),不同大写字母表示差异极显著($P < 0.01$),相同或无字母表示差异不显著($P > 0.05$)。

In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference ($P < 0.05$), and with different capital letter superscripts mean extremely significant difference ($P < 0.01$), while with the same or no letter superscripts mean no significant difference ($P > 0.05$).

3.2 复合处理麦秸、青贮玉米秸和精料的不同组合对体外瘤胃液 VFA 浓度的影响

碳水化合物饲料在瘤胃中发酵的主要产物是乙酸、丙酸、丁酸等 VFA,它们是反刍动物的主要能量来源。瘤胃发酵产生的 VFA 以乙酸、丙酸、丁酸为主,占 TVFA 的 95% 左右^[11]。本试验复合处理麦秸与精料、青贮玉米秸与精料的组合中,都表明精料比例为 100% 时乙酸 + 丙酸 + 丁酸浓度较高,但乙酸/丙酸低,而粗饲料比例为 100% 时则相反,这与王中华^[14]的论述是一致的。饲料不同组合 VFA 浓度的高低不仅说明了碳水化合物在瘤胃中消化率的高低,同时,瘤胃中 VFA 浓度也是衡量瘤胃微生物活力的重要指标,因为在发酵产生 VFA 的过程中有能量释放产生 ATP,这些 ATP 可被微生物作为能源用于维持和生长,特别是用于 MCP 的合成^[11]。

3.3 最优复合处理麦秸与青贮玉米秸组合与精料以不同比例组合对瘤胃发酵参数的影响

最优复合处理麦秸与青贮玉米秸组合与精料的不同组合中,pH 和 NH₃-N 浓度均在正常范围内,在 MCP 产量方面以最优复合处理麦秸与青贮玉米秸组合占 80% 时最高,2 种最优组合粗饲料与精料间的组合和单一粗饲料与精料间的组合对这 3 个发酵参数影响的趋势是一样的;但是在乙酸 + 丙酸 + 丁酸浓度上,100% 的精料与 100% 的最优复合处理麦秸与青贮玉米秸组合差异不显著,这与王中华^[14]的论述不完全一致,也与本试验中单一粗饲料与精料间的组合对乙酸 + 丙酸 + 丁酸浓度的影响不一致,这可能就是最优组合粗饲料与单纯的粗饲料的区别;在最优复合处理麦秸与青贮玉米秸组合再与精料的组合中,精料比例为 100% 时乙酸/丙酸极显著低于 100% 的最优复合处理麦秸与青贮玉米秸组合,这与本试验单一

粗饲料与精料组合时的情况一样。以上说明这 3 种饲料在此比例下组合,瘤胃能氮平衡、瘤胃其他内环境指标均有利于 MCP 的合成及 VFA 的产生。

4 结 论

① 各组合中的最优比例分别为复合处理麦秸:青贮玉米秸 = 40:60、复合处理麦秸:精料 = 60:40、青贮玉米秸:精料 = 60:40 以及最优复合处理麦秸与青贮玉米秸组合(40:60):精料 = 80:20。

② 复合处理麦秸、青贮玉米秸和精料最优的组合比例是 32:48:20。

参考文献:

- [1] 孙国强,吕永艳,崔海净,等. 复合化学处理对麦秸干物质和纤维瘤胃降解率的影响[J]. 浙江农业学报,2012,24(2):228-231.
- [2] 毛华明,冯仰廉. 尿素和氢氧化钙处理作物秸秆提高营养价值研究[J]. 中国畜牧杂志,1991(5):3-5.
- [3] 王成章,王恬. 饲料学[M]. 北京:中国农业出版社,2004:136.
- [4] 孙献忠. 羊常用饲草的能量价值评定及其组合效应研究[D]. 硕士学位论文. 北京:中国农业科学院,2007.
- [5] 郭冬生. 反刍动物日粮组合效应对瘤胃发酵和可利用粗蛋白的影响研究[D]. 硕士学位论文. 北京:中

国农业大学,2004.

- [6] 冯宗慈,高民. 通过比色法测定瘤胃液氨氮含量方法的改进[J]. 内蒙古畜牧科学,1993(4):40-41.
- [7] COTTA M A, RUSSELL J B. Effect of peptides and amino acids on efficiency of rumen bacterial protein synthesis in continuous culture[J]. Journal of Dairy Science,1982,65:226-234.
- [8] 曹庆云,周武艺,朱贵钊. 气相色谱测定羊瘤胃液中挥发性脂肪酸方法研究[J]. 中国饲料,2006(24):26-28.
- [9] 李建国,安永福. 奶牛标准化生产技术[M]. 北京:中国农业大学出版社,2003:105.
- [10] 崔海净,蔡李逢,王建华,等. 配合饲料中消化能粗蛋白比对奶牛瘤胃发酵的影响[J]. 中国农学通报,2010(14):13-17.
- [11] 冯仰廉. 反刍动物营养学[M]. 北京:科学出版社,2003:122-337.
- [12] BANDLE S, GUPTA B N. Rumen fermentation bacterial and total volatile fatty acid production rates in cattle fed on urea-molasses mineral lick supplement[J]. Animal Feed Science Technique,1997,65:275-286.
- [13] 刘哲,张昌吉,郝正里,等. 饲喂含不同秸秆的全日粮颗粒料对绵羊瘤胃及血液代谢参数的影响[J]. 中国饲料,2005(11):12-14.
- [14] 王中华. 高产奶牛饲养技术指南[M]. 北京:中国农业大学出版社,2003:211.

Effects of Combinations and Proportions of Combination-Treated Wheat Straw, Maize Straw Silage and Concentrate on Rumen Fermentation of Dairy Cows *in Vitro*

SUN Guoqiang LV Yongyan CAI Lifeng CUI Haijing

(College of Animal Science and Technology, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China)

Abstract: The present experiment was conducted to investigate the effects of combinations and proportions of combination-treated wheat straw (CW), maize straw silage (MS) and concentrate (CC) on rumen fermentation of dairy cows *in vitro*. CW, MS and CC were grouped in pairs, and 6 proportions (0:100, 20:80, 40:60, 60:40, 80:20 and 100:0) were set in each group. After the best combination of CW-MS was determined, the best combination of CW-MS was grouped with CC at the 6 proportions. Three replicates were set in each group. Fermentation characteristics were determined by short-term artificial rumen technique. The results showed as follows: there was no significant difference in pH among all treatments ($P > 0.05$), and $\text{NH}_3\text{-N}$ concentration ranged within normal limits; the best combinations were CW:MS = 40:60, CW:CC = 60:40 and MS:CC = 60:40, and the best combination of CW-MS:CC = 80:20 considering indices of microbial protein (MCP) and volatile fatty acid (VFA) concentrations. In conclusion, the best combination of CW, MS and CC is 32:48:20. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2013, 25(1):69-76]

Key words: combination-treated wheat straw; maize straw silage; concentrate; fermentation