

涂远璐, 孟梅娟, 白云峰, 等. 南方农区小麦秸秆与非常规饲料的组合利用[J]. 江苏农业学报, 2017, 33(1): 166-173.

doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2017.01.027

南方农区小麦秸秆与非常规饲料的组合利用

涂远璐, 孟梅娟, 白云峰, 高立鹏, 严少华, 刘萍, 刘建, 宋谦

(江苏省农业科学院六合动物科学基地, 江苏 南京 210014)

摘要: 本研究采用体外产气法, 研究南方农区小麦秸秆(WS)与非常规饲料喷浆玉米皮(SCB)、大豆皮(SH)、橘子皮(OP)、苹果渣(AP)分别按 0:100、25:75、50:50、75:25、100:0 比例两两组合后的体外产气特性。将采集的山羊瘤胃液与人工唾液混合并加入饲料样品, 在产气瓶中恒温厌氧发酵以模拟瘤胃发酵过程。结果表明, 小麦秸秆与 4 种非常规饲料组合后, 理论最大产气量(*HM*)显著增加, 产气速率(*B*)加快, 产气延滞时间(*Lag*)缩短。WS 与 SCB 组合的乙酸丙酸摩尔比显著低于 WS 的($P<0.05$)。小麦秸秆与 4 种非常规饲料组合后, 实现了饲料间营养素的互补, 可有效改善小麦秸秆的发酵能力, WS:SCB 为 75:25、WS:OP 为 50:50、WS:AP 为 75:25、WS:SH 为 75:25 时正组合效应最佳。小麦秸秆与喷浆玉米皮组合中随着 SCB 所占比例的增加丙酸摩尔浓度增加, 由于丙酸转化为能量的效率高于乙酸, 因此丙酸摩尔浓度增加更有利于提高饲料的转化效率, 更适合家畜育肥。

关键词: 小麦秸秆; 非常规饲料; 产气量; 组合效应

中图分类号: S816.31 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2017)01-0166-08

Study of the combined utilization of wheat straw and unconventional feeds in Southern China agriculture region

TU Yuan-lu, MENG Mei-juan, BAI Yun-feng, GAO Li-peng, YAN Shao-hua, LIU Ping, LIU Jian, SONG Qian

(Liuhe Animal Science Base of Jiangsu Academy of Agricultural Science, Nanjing 210014, China)

Abstract: This study was conducted using gas production technique in vitro which mixed the rumen fluid with artificial saliva and keeping the feed sample under constant temperature and anaerobic environment to simulate rumen fermentation system. In this way, we studied the fermentation characteristics of wheat straw (WS) mixed with spraying corn bran (SCB), soybean hulls (SH), orange peel (OP) and apple pomace (AP) at ratios of 0:100, 25:75, 50:50, 75:25 and 100:0 *in vitro*. The results showed that the fermentation parameter *HM* and *B* of WS *in vitro* increased significantly and the parameter lag reduced gradually after combining with four unconventional feeds. The A:P of combination of WS and SCB was lower than WS ($P<0.05$). The combination of WS and unconventional feeds could improve its fermentation ability

effectively due to the mixed complementary effects of nutrition. The best combination ratio of WS with other feeds were WS:SCB (75:25), WS:OP (50:50), WS:AP (75:25), WS:SH (75:25) in terms of the gas production associated effects value. The ratio of propionic acid of VFA increased significantly with the increase of proportion of SCB in the combination of WS and SCB, because the propionic acid had the higher energy conversion efficiency than acetic acid, so it should be more suitable

收稿日期:2016-03-11

基金项目:江苏省农业科技自主创新基金项目[CX(14)2103];
公益性(农业)行业科研专项(201203050-4)

作者简介:涂远璐(1983-),女,江西南昌人,硕士,助理研究员,主要从事家畜营养生态学研究。(E-mail)
tuyuanlu1110@126.com; (Tel) 13851804073

通讯作者:白云峰, (E-mail) blinkeye@126.com

for fattening livestock to promote its feed efficiency.

Key words: wheat straw; unconventional feeds; gas production; associated effects

小麦是中国南方农区的主要粮食作物之一,每年都有大量的小麦秸秆产生。然而张斯梅等^[1]对江苏省稻麦秸秆收集利用现状调研结果显示,目前小麦秸秆的主要利用方式是直接还田,还田比例占调研农户总数 20% 左右,其余仅有一小部分作为饲料利用,大部分都被焚烧和遗弃。与此同时,南方农区畜牧业发展又面临饲草料资源匮乏的窘境,这一方面是由于收储难,另一方面是由于小麦秸秆蛋白质含量低,木质素与硅酸盐含量高以及矿物质不平衡,致使反刍动物对其采食量和营养物质消化利用率较低。因此充分利用本地小麦秸秆资源,并提高秸秆营养价值和利用率对南方农区畜牧业可持续发展十分重要。

自 19 世纪末饲料间组合效应被发现以来,许多学者就如何通过饲料间的组合提高秸秆类低质粗饲料的有效利用效率开展了卓有成效的研究工作。研究表明,对低质粗饲料通过适当添加易发酵或高蛋白的牧草^[2]或者补充能量、含氮物质、过瘤胃蛋白以及易消化纤维等^[3-5],均可提高粗饲料的利用效率。南方农区有大量农副产品加工的副产物(如粮油加工副产物大豆皮、酒厂下脚料酒糟等),它们大都易于获得且价格相对低廉,纤维含量高,有些营养价值还很丰富^[6]。本研究拟选取江苏地区易于获得的 4 种非常规饲料(大豆皮、苹果渣、橘子皮、喷浆玉米皮),将其与小麦秸秆按照不同比例组合,采用体外产气法研究它们之间的组合效应,以期小麦秸秆与非常规饲料资源的合理搭配提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验所用小麦秸秆取自江苏省农业科学院六合动物科学基地试验田,样品采集后在 75 ℃ 烘箱中烘 48 h,粉碎过 40 目筛,室温保存于样品袋中备用。喷浆玉米皮由宿迁市沭阳县某加工厂提供,它是玉米加湿生成淀粉及胚芽后的副产品。大豆皮是大豆制油的副产品,购自南京市某油厂。苹果渣、橘子皮均由新鲜水果经破碎压榨提汁后的剩余物烘干而成,购自江苏丰县某食品加工厂,所有非常规饲料样品的处理与保存同小麦秸秆。

1.2 试验设计与操作

1.2.1 瘤胃液采集 选择 2 头健康、体质量接近,安装永久性瘤胃瘘管的成年波杂山羊作为瘤胃液供体,晨饲前采集瘤胃液,保存于经 39 ℃ 预热并充满 CO₂ 的保温瓶内迅速带回实验室,搅拌后用 4 层纱布过滤。

1.2.2 培养液的配置 采用 Menke^[7] 的方法配置人工唾液,并将人工唾液与瘤胃液按照 9 : 1 的比例混合作为培养液。

1.2.3 发酵底物 将小麦秸秆与大豆皮、喷浆玉米皮、橘子皮、苹果渣分别以 0 : 100、25 : 75、50 : 50、75 : 25、100 : 0 的比例进行组合,每个比例设 3 个重复,同批次中设定 3 个空白组用于产气量的校正,以优质美国苜蓿作为标准干草。

1.2.4 体外培养程序 准确称取 1 g 待测发酵底物(干物质基础),置于血清瓶中,用自动分液器向每个血清瓶中分别加入 CO₂ 气体饱和的培养液 100 ml,塞上橡胶塞放置到恒温振荡培养箱中开始培养计时,分别在 2 h、4 h、6 h、8 h、10 h、12 h、17 h、24 h、48 h 时间点取出血清瓶,用注射器扎入血清瓶的橡胶塞,根据注射器刻度读取产气量数据。体外培养 48 h 后,将血清瓶取出放入冰水中停止发酵。

1.3 测定指标和方法

1.3.1 常规养分的测定 按实验室常规方法测定其干物质(DM)、粗蛋白(CP)、中性洗涤纤维(NDF)、酸性洗涤纤维(ADF)、半纤维素(HC)、灰分(Ash)和中性洗涤可溶物(NDS)的含量。粗蛋白测定使用上海海能科技生产的 K9840 自动凯式定氮仪,纤维测定使用 ANKOM 科技公司生产的 A200i 半自动纤维分析仪。

1.3.2 体外产气量的测定 产气量(ml) = 该时间段内各处理血清瓶气体产生量(ml) - 对应时间段内空白血清瓶气体产生量(ml)。

1.3.3 产气动力学参数计算 利用 Origin 软件非线性拟合工具,根据 Gompertz 产气动力学模型公式将各样品在 2 h、4 h、6 h、8 h、10 h、12 h、17 h、24 h、48 h 时间点的 GP 值代入,计算模型拟合参数 HM、B 和 Lag 值。模型公式为:

$$GP = HM \times \exp \{ -\exp [1 + B \times e / HM \times (Lag - t)] \}$$

式中, GP (ml) 为时间 t 的产气量, HM (ml) 表示理论最大产气量, B (ml/h) 表示产气速率常数, Lag (h) 表示体外发酵产气延滞时间, e 为欧拉常数, t (h) 表示产气时间点。

1.3.4 组合效应值 组合效应值 = (实测值 - 加权估算值) / 加权估算值 $\times 100$

式中, 实测值为实际测定的样品产气量, 加权估算值 = A 饲料实测值产气量 $\times A$ 饲料配比 (%) + B 饲料实测值 $\times B$ 饲料配比 (%)。

1.3.5 发酵液中挥发性脂肪酸的测定 参照曹庆云^[8]的方法。发酵至终点后收集 3 ml 发酵液于加有 0.6 ml 25% 的偏磷酸 (按照 5 : 1 的比例混合) 的 5 ml 离心管中, 冻存于 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰箱内, 用于测挥发性脂肪酸 (VFA)。仪器色谱条件: 色谱柱为中科安泰公司的毛细管柱 (30.00 m \times 0.32 mm \times 0.50 μm), 进样口温度 $190\text{ }^{\circ}\text{C}$, 检测器温度 $220\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。柱温升温程序: 初始温度 $140\text{ }^{\circ}\text{C}$, 保持 1 min, 然后以 $10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的升温速率升到 $190\text{ }^{\circ}\text{C}$, 保持 2 min。进样口压力为 12 psi, 气体流速为: 载气氮气 45 ml/min, 氢气 40

ml/min, 空气 150 ml/min, 进样量 1 μl 。

1.4 统计分析

采用 SAS9.1 软件进行统计分析, Gompertz 模型产气动力学发酵参数通过 Origin9.0 软件非线性拟合工具获得。

2 结果与分析

2.1 原料营养成分含量

由表 1 可知, 小麦秸秆的粗蛋白 (CP) 最低, 喷浆玉米皮的 CP 最高, 约为小麦秸秆的 4 倍, 这主要是由于喷浆玉米皮加工后期将蛋白质和能量较高的玉米黄浆喷在玉米皮上所致, 其余 3 种原料的 CP 则相差不大。中性洗涤纤维 (NDF) 含量依次为: 小麦秸秆 > 大豆皮 > 橘子皮 > 苹果渣 > 喷浆玉米皮, 半纤维 (HC) 的含量为: 喷浆玉米皮 > 小麦秸秆 > 橘子皮 > 大豆皮 > 苹果渣, 小麦秸秆和喷浆玉米皮的灰分含量均大于 5%, 小麦秸秆与 4 种非常规饲料组合后, 随着非常规饲料比例的增加主要表现为蛋白质含量提高和 NDF 含量降低。

表 1 小麦秸秆与 4 种非常规饲料的营养成分

Table 1 Nutrient composition of wheat straw and four-unconventional feeds

| 项目 | 干物质 (%) | 粗蛋白 (%) | 中性洗涤纤维 (%) | 酸性洗涤纤维 (%) | 灰分 (%) | 中性洗涤可溶物 (%) | 半纤维素 (%) |
|-------|---------|---------|------------|------------|--------|-------------|----------|
| 小麦秸秆 | 90.94 | 4.92 | 67.08 | 42.06 | 9.04 | 32.92 | 25.02 |
| 喷浆玉米皮 | 91.82 | 19.58 | 40.27 | 10.26 | 6.16 | 59.73 | 30.01 |
| 大豆皮 | 90.58 | 8.09 | 62.56 | 46.64 | 4.21 | 37.44 | 15.92 |
| 苹果渣 | 90.12 | 7.96 | 45.85 | 32.62 | 1.76 | 54.15 | 13.23 |
| 橘子皮 | 90.19 | 9.05 | 50.33 | 28.03 | 1.93 | 49.67 | 22.30 |

半纤维素 = 中性洗涤纤维 - 酸性洗涤纤维, 中洗可溶物 = $100 - \text{中性洗涤纤维}$ 。

2.2 单一原料的体外发酵参数

单一原料 12 h、24 h、48 h 累积产气量及其 Gompertz 模型拟合的参数值如表 2 显示, 理论最大产气量 (HM)、产气速率 (B) 和产气延滞时间 (Lag) 这 3 个拟合参数准确反映了饲料原料在整个试验过程中的产气特性。从具体数值来看, HM 值表现为: 大豆皮 > 橘子皮 > 苹果渣 > 喷浆玉米皮 > 小麦秸秆, 除苹果渣和喷浆玉米皮两者间差异不显著 ($P > 0.05$) 外, 其余各原料差异均达到显著水平 ($P < 0.05$)。进一步结合 B 值和 Lag 值分析, 大豆皮产气量最高, 产气速率最快, 但其产气延滞时间也长 [仅次于小麦秸秆, 显著高于其他原料 ($P < 0.05$)], 喷浆玉米皮不但产气量高, 产气速率快, 而且产气延滞时间也短

[显著低于其他原料 ($P < 0.05$)]。橘子皮和苹果渣都属于果渣类, 两者产气特性相似, 在所有原料中具有中等水平的产气速率和延滞时间。

2.3 小麦秸秆与非常规饲料组合后的体外发酵参数

由表 3 可知, 小麦秸秆与 4 种非常规饲料组合后, 各组合随着非常规饲料添加比例的增加, 理论最大产气量 (HM) 均呈增加的趋势, 但均显著低于非常规饲料本身 ($P < 0.05$), 各组合间差异显著 ($P < 0.05$)。橘子皮组的产气速率 (B) 随着非常规饲料添加比例的增大呈先增大后降低的趋势, 其他组则均呈增大的趋势。产气延滞时间 (Lag) 除大豆皮组随着组合中大豆皮比例增加先增大后降低外, 其余均随着非常规饲料在组合中比例的增加而降低。

表 2 单一原料的体外发酵参数

Table 2 The fermentation characteristic of single feed *in vitro*

| 项目 | 累计产气量 (g/ml) | | | 产气参数 | | |
|-------|--------------|---------------|---------------|--------------|--------------|------------|
| | 12 h | 24 h | 48 h | 理论最大产气量 (ml) | 产气速率 (ml/h) | 产气延滞时间 (h) |
| 小麦秸秆 | 19.25±1.06d | 75.25±0.35e | 152.75±4.60d | 178.04±0.72d | 4.84±0.25d | 8.40±0.36a |
| 喷浆玉米皮 | 115.00±1.41a | 187.50±0.71a | 240.00±0b | 238.20±0.35c | 10.30±0.29ab | 1.04±0.09e |
| 橘子皮 | 59.00±0.71c | 130.75±0.35d | 224.50±15.20c | 249.87±2.95b | 6.25±0.44d | 2.37±0.57d |
| 苹果渣 | 69.25±1.06b | 173.25±1.77bc | 233.25±2.47bc | 242.91±2.44c | 8.59±0.36c | 3.40±0.09c |
| 大豆皮 | 42.33±2.02c | 175.17±8.69b | 275.50±3.54a | 300.63±0.42a | 11.22±0.71a | 7.10±0.25b |

同一列不同字母表示差异显著 ($P<0.05$)。

表 3 不同比例组合的体外发酵参数

Table 3 The fermentation characteristic of wheat straw and unconventional feeds with different ratio combination *in vitro*

| 组合 | 比例 | 累计产气量 (g/ml) | | | 产气参数 | | |
|--------------|---------|--------------|---------------|---------------|--------------|-------------|------------|
| | | 12 h | 24 h | 48 h | 理论最大产气量 (ml) | 产气速率 (ml/h) | 产气延滞时间 (h) |
| 小麦秸秆 : 喷浆玉米皮 | 0 : 100 | 115.00±1.41a | 197.50±0.71a | 240.00±0a | 238.20±0.35a | 10.30±0.29a | 1.04±0.09d |
| | 25 : 75 | 98.25±3.18b | 178.25±1.77b | 224.75±1.06b | 224.41±1.17b | 8.91±0.16b | 1.45±0.22d |
| | 50 : 50 | 82.50±0.71c | 162.00±0c | 210.00±1.41c | 211.59±1.97c | 8.39±0.34b | 2.42±0.13c |
| | 75 : 25 | 67.75±6.01d | 144.25±5.30d | 199.50±4.95c | 202.97±6.69d | 7.01±0.17c | 3.75±0.78b |
| | 100 : 0 | 19.25±1.06e | 75.25±0.35d | 152.75±4.60d | 178.04±0.72e | 4.84±0.25d | 8.40±0.36a |
| 小麦秸秆 : 苹果渣 | 0 : 100 | 69.25±1.06a | 173.25±1.77a | 233.25±2.47a | 242.91±2.44a | 8.59±0.36a | 3.40±0.09d |
| | 25 : 75 | 58.75±1.77b | 153.75±3.18b | 218.00±2.83b | 225.20±2.98b | 7.59±0.09b | 3.42±1.03d |
| | 50 : 50 | 42.75±5.30c | 127.75±6.72c | 197.50±2.83c | 205.82±0.60c | 6.74±0.27c | 5.02±1.03c |
| | 75 : 25 | 34.25±0.35c | 115.00±0.71c | 185.50±0d | 193.20±1.75d | 6.18±0.14c | 5.75±0.23b |
| | 100 : 0 | 19.25±1.06d | 75.25±0.35d | 152.75±4.60e | 178.04±0.72e | 4.84±0.25d | 8.40±0.36a |
| 小麦秸秆 : 大豆皮 | 0 : 100 | 42.33±2.02a | 175.17±8.69a | 275.50±3.54a | 300.63±0.42a | 11.22±0.71a | 7.10±0.25b |
| | 25 : 75 | 48.25±1.06a | 182.75±2.47a | 286.75±7.42a | 266.85±3.49b | 9.99±0.43b | 7.55±0.33b |
| | 50 : 50 | 36.25±4.60b | 166.25±0.35b | 252.25±10.25b | 232.27±0.08c | 8.34±0.68c | 8.30±0.18a |
| | 75 : 25 | 29.75±1.06bc | 127.25±0.35c | 223.25±0.35c | 213.86±5.45d | 7.16±0.54d | 8.70±0.18a |
| | 100 : 0 | 19.25±1.06d | 72.75±0.35d | 152.75±4.60d | 178.04±0.72e | 4.84±0.25e | 8.40±0.36a |
| 小麦秸秆 : 橘子皮 | 0 : 100 | 59.00±0.71a | 130.75±0.35b | 224.50±15.20a | 249.87±2.95a | 6.25±0.44b | 2.37±0.57d |
| | 25 : 75 | 55.50±0.71ab | 136.00±0.71ab | 218.25±0.35ab | 242.25±0.06b | 6.32±0.30b | 2.78±0.22d |
| | 50 : 50 | 51.50±1.41b | 143.50±4.24a | 209.75±1.77b | 214.57±0.65c | 7.22±0.24a | 4.55±0.40c |
| | 75 : 25 | 33.25±1.06c | 112.25±3.89c | 182.75±1.77c | 189.42±0.23d | 6.23±0.24b | 6.00±0.26b |
| | 100 : 0 | 19.25±1.06d | 75.25±0.35d | 152.75±4.60d | 178.04±0.72e | 4.84±0.25c | 8.40±0.36a |

同一列相同组合不同字母表示差异显著 ($P<0.05$)。

2.4 小麦秸秆与非常规饲料的产气量组合效应

从产气量组合效应来看,组合后产气量高于各单一原料本身产气量的加权值,组合效应值为正数,则认为产生正组合效应。反之,若组合后产气量低于各单一原料本身产气量的加权值,组合效应值为

负数,则认为产生负组合效应。由表 4 可知,仅有小麦秸秆 (WS) 与喷浆玉米皮 (SCB)、橘子皮 (OP) 的组合,在不同发酵时间点均表现出正组合效应,其中 WS : SCB 随发酵时间延长其正组合效应呈减弱趋势,WS : SCB 为 75 : 25 时正组合效应值最高,在不

同发酵时间点均显著高于其他比例 ($P < 0.05$)。WS : OP 随发酵时间延长其正组合效应则表现出先增强后减弱趋势, WS : OP 为 50 : 50 时正组合效应值最高, 在不同发酵时间点均显著高于其他比例 ($P < 0.05$)。小麦秸秆与大豆皮 (SH) 组合在 12 h 时均表现为负组合效应, WS : SH 为 75 : 25 和 WS : SH 为 25 : 75 随发酵时间延长负组合效应减弱, 到 24 h 时已呈现正组合效应, 48 h 时正组合效应减弱。WS : SH 为 50 : 50 随发酵时间延长负组合效应呈减弱趋势, 但始终未达到正效应。小麦秸秆与苹果渣 (AP) 组合, 除了 WS : AP 为 50 : 50 在 12 h 的组合效应值为负数, 其余均表现为正组合效应。WS : AP 为 50 : 50 和 WS : AP 为 75 : 25 随发酵时间延长其组合效应均表现为先增强后减弱, WS : AP 为 25 : 75 则呈逐渐减弱趋势, 各比例中 WS : AP 为 75 : 25 的正组合效应值最高, 且除 12 h 外, 其余发酵时间点均显著高于其他比例 ($P < 0.05$)。

表 4 不同时间点累积产气量组合效应值

Table 4 Associated effects of cumulative gas production at different time

| 组 合 | 比例 | 产气量组合效应值 (%) | | |
|--------------|---------|---------------|--------------|--------------|
| | | 12 h | 24 h | 48 h |
| 小麦秸秆 : 喷浆玉米皮 | 25 : 75 | 8.53±2.07 c | 7.33±1.57 c | 3.29±0.06 c |
| | 50 : 50 | 27.27±3.80 b | 22.50±2.04 b | 8.26±3.00 b |
| | 75 : 25 | 48.86±5.43 a | 41.18±5.01 a | 16.09±5.75 a |
| 小麦秸秆 : 苹果渣 | 25 : 75 | 8.43±1.92 a | 3.05±0.39 b | 1.63±1.77 b |
| | 50 : 50 | -1.62±9.83 b | 1.61±2.91 b | 0.63±0.89 b |
| | 75 : 25 | 10.54±3.23 a | 16.09±2.10 a | 7.48±1.78 a |
| 小麦秸秆 : 大豆皮 | 25 : 75 | -3.73±0.04 a | 6.61±1.98 b | 4.61±1.89 ab |
| | 50 : 50 | -13.95±2.54 b | -4.36±3.45 c | -0.16±2.16 b |
| | 75 : 25 | -7.43±2.91 a | 15.13±4.12 a | 9.38±2.80 a |
| 小麦秸秆 : 橘子皮 | 25 : 75 | 15.18±4.10 b | 18.33±1.08 c | 6.93±1.12 b |
| | 50 : 50 | 38.05±0.16 a | 43.75±3.82 a | 13.88±1.09 a |
| | 75 : 25 | 17.37±1.75 b | 26.75±0.81 b | 8.31±4.25 b |

同一列相同组合不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

2.5 小麦秸秆与非常规饲料组合对挥发性脂肪酸含量的影响

挥发性脂肪酸 (VFA) 是瘤胃微生物主要的发酵产物, 它的产量及其比例直接影响反刍动物对营养物质的吸收利用以及生产能力的发挥。各组合 48 h 后的总挥发性脂肪酸浓度如表 5 显示, 小麦秸

秆 (WS) 与喷浆玉米皮 (SCB) 的组合随着 SCB 比例的提高总 VFA 含量也呈增加趋势, WS : SCB 为 25 : 75 的总 VFA 含量显著高于其他比例组合 ($P < 0.05$), 略低于 SCB 单一原料但差异不显著 ($P > 0.05$)。小麦秸秆 (WS) 与苹果渣 (AP) 组合总 VFA 含量在 WS : AP 为 50 : 50 时最高, 但与其他比例差异不显著 ($P > 0.05$)。小麦秸秆 (WS) 与大豆皮 (SH)、橘子皮 (OP) 组合后则呈现随着非常规饲料所占比例提高总 VFA 先降低再升高的趋势, 但均显著低于单一非常规饲料。

表 5 各组合 48 h 后的总挥发性脂肪酸含量

Table 5 Total volatile fatty acid concentration of each combination after 48 h

| 比例 | 总挥发性脂肪酸浓度 (mmol/L) | | | |
|---------|--------------------|-------------|-------------|--------------|
| | 小麦秸秆 : 喷浆玉米皮 | 小麦秸秆 : 苹果渣 | 小麦秸秆 : 大豆皮 | 小麦秸秆 : 橘子皮 |
| 0 : 100 | 60.07±0a | 42.63±0a | 77.15±0a | 67.85±13.45a |
| 25 : 75 | 55.66±0.26a | 35.29±5.12b | 55.48±0.48b | 45.70±4.07b |
| 50 : 50 | 38.17±0.60b | 35.91±0ab | 46.84±1.39c | 39.79±1.83bc |
| 75 : 25 | 33.59±4.79b | 32.89±2.83b | 26.05±0e | 27.76±2.95c |
| 100 : 0 | 29.68±1.22b | 29.68±1.22b | 29.68±1.22d | 29.68±1.22bc |

同一列不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

由表 6 可知, 单一原料中大豆皮的乙酸浓度最高为 51.25 mmol/L, 苹果渣最低仅有 29.28 mmol/L。小麦秸秆与喷浆玉米皮和苹果渣组合后, 随着非常规饲料比例的增加, 乙酸浓度呈增加趋势, 小麦秸秆与橘子皮和大豆皮组合后, 乙酸浓度则随非常规饲料比例增加均呈先降低后增加趋势。单一原料中大豆皮的丙酸浓度最高, 苹果渣最低, 大豆皮中丙酸浓度约为苹果渣的 2 倍。小麦秸秆 (WS) 与喷浆玉米皮 (SCB) 组合, 随着喷浆玉米皮所占比例增大, 丙酸浓度也随之增加, WS : SCB 为 25 : 75 时丙酸浓度最高, 显著高于其他比例 ($P < 0.05$), 但与单一 SCB 差异不显著 ($P > 0.05$)。小麦秸秆与大豆皮、橘子皮组合后, 随着非常规饲料所占比例增加, 丙酸浓度呈先降低后增加趋势。小麦秸秆与苹果渣组合中, 丙酸浓度随着苹果渣比例的增大表现为先增加后降低。

乙酸/丙酸值在单一原料中表现为: 橘子皮 > 苹果渣 > 大豆皮 > 喷浆玉米皮, 最高达 3.41, 而最低仅为 1.73。小麦秸秆 (WS) 与喷浆玉米皮 (SCB) 组合

后该比值显著降低 ($P<0.05$), WS : SCB 为 50 : 50 时最低。小麦秸秆 (WS) 与苹果渣 (AP) 组合, 除 WS : AP 为 50 : 50 的乙酸/丙酸值显著低于小麦秸秆 ($P<0.05$), 其他比例组合均与小麦秸秆差异不显著 ($P>0.05$)。小麦秸秆与大豆皮组合中, 随着大豆

皮比例增加该比值呈现降低趋势, 但差异均不显著 ($P>0.05$)。小麦秸秆与橘子皮组合中, 则随着橘子皮比例的增加该比值也增大, 但差异不显著 ($P>0.05$)。

表 6 各组合 48 h 后乙酸、丙酸浓度和乙酸/丙酸值

Table 6 The acetic acid concentration, propionic acid concentration and A : P of each combination after 48 h

| 项 目 | 比例 | 小麦秸秆 : 喷浆玉米皮 | 小麦秸秆 : 苹果渣 | 小麦秸秆 : 大豆皮 | 小麦秸秆 : 橘子皮 |
|---------------|---------|--------------|---------------|-------------|--------------|
| 乙酸浓度 (mmol/L) | 0 : 100 | 34.37±0a | 29.28±0a | 51.25±0a | 49.22±12.43a |
| | 25 : 75 | 32.35±0.12a | 24.21±2.93b | 37.55±0.69b | 31.80±3.08b |
| | 50 : 50 | 22.29±0.05b | 23.76±0b | 31.60±0.30c | 26.84±1.46b |
| | 75 : 25 | 20.17±3.50b | 23.17±2.47b | 18.12±0d | 19.44±1.44c |
| | 100 : 0 | 20.28±1.01b | 20.28±1.01b | 20.28±1.01e | 20.28±1.01c |
| 丙酸浓度 (mmol/L) | 0 : 100 | 19.87±0a | 11.99±0a | 22.91±0a | 14.43±0a |
| | 25 : 75 | 18.48±0.62a | 10.32±1.73abc | 16.26±0.20b | 11.56±0.25b |
| | 50 : 50 | 13.06±0.48b | 11.06±0ab | 13.80±1.14c | 11.06±0.57b |
| | 75 : 25 | 11.66±1.21b | 9.20±0.47bc | 7.80±0d | 7.92±1.11c |
| | 100 : 0 | 8.51±0.15c | 8.51±0.15c | 8.51±0.15d | 8.51±0.15c |
| 乙酸/丙酸 | 0 : 100 | 1.73±0b | 2.44±0a | 2.24±0a | 3.41±0.86a |
| | 25 : 75 | 1.75±0.07b | 2.36±0.11ab | 2.31±0.07a | 2.75±0.21a |
| | 50 : 50 | 1.71±0.06b | 2.15±0b | 2.30±0.17a | 2.43±0.01a |
| | 75 : 25 | 1.72±0.12b | 2.52±0.14a | 2.32±0a | 2.47±0.17a |
| | 100 : 0 | 2.38±0.08a | 2.38±0.08a | 2.38±0.08a | 2.38±0.08a |

同一列不同字母表示差异显著 ($P<0.05$)。

3 讨 论

体外发酵产气量是瘤胃底物发酵的一个重要指标,在一定程度上可反映出饲料在动物体内的降解特性。从本研究结果来看,小麦秸秆在与 4 种非常规饲料组合后,体外产气量增加,产气速率加快,产气延滞时间缩短,说明通过与 4 种非常规饲料的组合,营养素间互补,可显著改善小麦秸秆的发酵能力,促进纤维物质的消化,提高流通速率。Silva^[9]试验结果表明,在只提供秸秆类粗饲料时,会限制微生物的增殖,当提供易消化的纤维饲料时,纤维分解菌首先会附着于优质的粗饲料中进行分解和增殖,同时也提高了秸秆类饲料的利用率,与本研究结果一致。然而发酵至 24~48 h 时,由于产气量的急剧增加,发酵过程中的酸积累,使得瘤胃液 pH 值迅速降低,抑制微生物活动,产气量上升趋势会有所减缓,

本试验中产气量正组合效应值大都在 12~24 h 较高,24~48 h 后开始减弱,与汤少勋等^[10]的研究结果一致。

反刍动物饲料间的组合效应受到日粮中各种营养素之间相互作用的影响。小麦秸秆自身营养素不平衡,可发酵碳水化合物含量低。玉米皮经过喷浆后营养价值得到大幅提高,这主要是由于浸泡液(玉米浆)中含有丰富的蛋白质和矿物质。林谦等^[11]测定了玉米及其加工副产品的氨基酸含量,发现玉米中各种氨基酸含量均低于玉米加工副产品,而喷浆玉米皮的各种氨基酸含量又均远高于不喷浆的玉米皮。本试验中喷浆玉米皮与小麦秸秆组合后正效应明显,一方面是由于添加喷浆玉米皮为瘤胃微生物提供了可消化纤维,另一方面则可能是由于喷浆玉米皮提供大量氮源,为瘤胃分解菌创造理想的生长环境,提供了瘤胃微生物生长必需的氨态氮、

肽和氨基酸及支链脂肪酸,使得纤维分解菌活性增强,有利于纤维的分解。崔占鸿^[12]将苜蓿干草与小麦秸、蚕豆秸、油菜秸、马铃薯秸两两组合后,通过测定产气量,提出低质饲料通过适当添加易发酵或高蛋白的饲草能有效提高其利用率,与本研究结论一致。

大豆皮木质素含量不到 2%^[13],其主要成分是植物纤维或细胞壁,淀粉含量低(平均为 2.9%),其 80% 的干物质是碳水化合物,主要为葡萄糖的聚合物,将其添加到低质粗饲料中能提高能量摄入量,既能供应能量,又能避免大量富含淀粉谷物饲料在瘤胃中快速发酵导致瘤胃 pH 的迅速降低,从而对瘤胃发酵造成的不良影响。但在本试验中,体外发酵性能良好的大豆皮与小麦秸秆组合后却并未获得较好的效果。研究表明,在瘤胃微生物生长所需的各种营养物质中,能量和氮的需求量最大,而且只有两者在数量上和时间上同步供给,才能保证微生物的快速生长。如果瘤胃中氮和能量不同步释放,则可能导致可发酵底物利用率下降和微生物蛋白合成量减少^[14]。本研究中,大豆皮和小麦秸秆蛋白质含量均比较低,组合后可能由于瘤胃中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度低,能量和氮不平衡,进而影响菌体蛋白质产量,抑制底物发酵,具体原因还有待结合 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、菌体蛋白质浓度测定进一步分析。

苹果渣、橘子皮都属于果渣类,它们的营养成分特点是糖分、水分含量高,蛋白质含量低,维生素和矿物质含量较为丰富^[15]。本研究中,从产气量组合效应值来看,小麦秸秆与苹果渣、橘子皮组合效果良好,一方面可能与它们均含有利于瘤胃微生物增殖的果胶、果糖和果酸有关。Flachowsky^[16]研究结果表明,果胶可在瘤胃中迅速降解并对瘤胃 pH 无显著影响,这主要是由于果胶的发酵产物不是乳酸,而是半乳糖醛酸,抑制了酸性乳酸菌发酵,且含果胶较多的饲料与金属阳离子有较强的亲和置换能力。瘤胃液酸度升高时,在饲料中纤维物质的作用下,瘤胃液阳离子浓度升高,能起到缓冲和保持瘤胃液 pH 稳定的作用。另一方面则可能是由于果渣中丰富的维生素和矿物质弥补了小麦秸秆缺乏某些必需的矿物质元素和矿物质元素利用率低的缺陷,实现了营养素的合理搭配。

产气量组合效应值的大小直接反应了组合效应程度,从本试验结果来看,小麦秸秆:喷浆玉米皮为

75:25、小麦秸秆:橘子皮为 50:50、小麦秸秆:苹果渣为 75:25、小麦秸秆:大豆皮为 75:25,组合效应值在所有比例中最大,组合效应最佳。

瘤胃发酵过程中产生的挥发性脂肪酸主要是乙酸和丙酸。已有研究结果表明,当草食家畜乙酸比例高而丙酸比例低时,乙酸的利用效率很低,这主要是由于葡糖糖及葡萄糖前体供应不足所引起^[17]。熊本海等^[18]研究了瘤胃乙酸与丙酸摩尔比例改变对瘤胃发酵及血液指标的影响,发现当灌注溶液中丙酸所占摩尔比例增加到 35% 时,粪氮和尿氮的排出量显著减少,可提高日粮氮的沉积能力,因此提高瘤胃发酵过程中丙酸的比例对提高饲料的转化效率是十分有益的^[19]。本研究中,小麦秸秆与喷浆玉米皮组合后,虽然乙酸、丙酸产量均得到提高,但乙酸丙酸摩尔比显著降低,这主要是由于丙酸的增幅大于乙酸导致,这点从丙酸和乙酸占总挥发性脂肪酸的比例也可以看出,综合表 6 和表 5 结果可以得到小麦秸秆与喷浆玉米皮组合后丙酸占总挥发性脂肪酸比例由 WS:SCB 为 100:0 的 29% 上升至 WS:SCB 为 25:75 的 33%,而乙酸比例则由 WS:SCB 为 100:0 的 68.33% 降至 WS:SCB 为 25:75 的 58.12%。丙酸转化为能量的效率高于乙酸,因此丙酸摩尔浓度的增加更有利于提高饲料的转化效率,更适合家畜育肥。

参考文献:

- [1] 张斯梅,杨四军,石祖梁,等.江苏省稻麦秸秆收集利用现状分析及对策[J].生态与农业环境学报,2014,30(6):706-710.
- [2] 阳伏林,龙瑞军,丁学智,等.秸秆和苜蓿干草不同比例组合对人工瘤胃 pH、氨态氮及产气量的影响[J].饲料工业,2007,28(17):50-53.
- [3] 周传社,汤少勋,姜海林,等.农作物秸秆体外发酵营养特性及其组合利用研究[J].应用生态学报,2005,16(10):1862-1867.
- [4] 阳伏林,丁学智,史海山,等.苜蓿干草和秸秆组合体外发酵营养特性及其利用研究[J].草业科学,2008,25(3):61-67.
- [5] 袁翠林,于子洋,王文丹,等.豆秸、花生秧和青贮玉米秸间的组合效应研究[J].动物营养学报,2015,27(2):647-654.
- [6] 涂远璐,孟梅娟,高立鹏,等.体外产气法评价南方农区非常规饲料资源的营养价值[J].江苏农业学报,2015,31(4):855-864.
- [7] MENKE K H, RAAB L, SALEWSKI A, et al. The estimation of the digestibility and metabolizable energy content of ruminant feeding stuffs from gas production when they are incubated with rumen liquor in vitro[J]. Journal of Animal Science, 1979(93):217-222.

- [8] 曹庆云,周武艺,朱贵钊,等.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] SILVA A T, WALLACE R J, ORSKOV E R. Use of particle-bound microbial enzyme activity to predict the rate and extent of fibre degradation in the rumen[J].The British Journal of Nutrition, 1987,57(3):407-415.
- [10] 汤少勋,姜海林,周传社,等.不同品种牧草间组合时体外产气发酵特性研究[J].草业学报,2006,15(1):68-75.
- [11] 林 谦,戴求仲,蒋桂韬,等.玉米及其加工副产品的营养价值评定[J].中国饲料,2013(14):18-21.
- [12] 崔占鸿,刘书杰,柴沙驼,等.青海高原苜蓿干草与农作物秸秆组合效应评价[J].西北农业学报,2012,21(2):146-152.
- [13] SUBCOMMITTEE on DAIRY CATTLE NUTRITION. Nutrient requirement of dairy cattle[M]. 17th Red. ed. Washington DC: National Academies Press, 2001:100-110.
- [14] 张建刚,候玉洁,周美玲,等.大豆皮在动物生产中的研究进展[J].中国饲料添加剂,2013(6):1-4.
- [15] 张一为.体外法评价奶牛日粮中苹果渣麦秸青贮与玉米青贮的组合效应[D].保定:河北农业大学,2015.
- [16] FLACHOWSKY G, SCHNEIDER M. Influence of various straw-to-concentrate ratios on in sacco dry matter degradability, feed intake and apparent digestibility in ruminants[J]. Animal Feed Science and Technology, 1992, 38(2): 199-217.
- [17] BROWN P W, TANNER C B. Alfalfa stem and leaf growth during water stress[J]. Agronomy Journal, 1983, 75(5): 799-805.
- [18] 熊本海,卢德勋,张子仪.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[J].畜牧兽医学报,2002,33(6):537-543.
- [19] 钱文熙,崔慰贤.瘤胃发酵过程及其调控[J].宁夏农学院学报,2004,25(1):61-64.

(责任编辑:王 妮)