

DOI:10.11829/j.issn.1001-0629.2018-0596

葛翠翠, 梁戈, 李昊, 刘辉, 卜姣姣, 杨芳, 辛国省. 玉米秸秆、柠条及葵花盘在滩羊瘤胃体外的消化及发酵性能. 草业科学, 2018, 35(8):2009-2015.

GE C C, LIANG G, LI H, LIU H, BU J J, YANG F, XIN G S. Digestion and fermentation performance of corn straw, *Caragana korshinskii*, and sunflower calathide in Tan sheep in vitro. Pratacultural Science, 2018, 35(8):2009-2015.



玉米秸秆、柠条及葵花盘在滩羊瘤胃体外的消化及发酵性能

葛翠翠^{1,2}, 梁戈^{1,2}, 李昊^{1,2}, 刘辉¹, 卜姣姣¹, 杨芳¹, 辛国省^{1,2}

(1. 宁夏大学生命科学学院, 宁夏 银川 750021; 2. 宁夏饲料工程技术研究中心, 宁夏 银川 750021)

摘要: 利用体外发酵产气技术可评定不同类型粗饲料的营养价值。本研究比较了玉米(*Zea mays*)秸秆、柠条(*Caragana korshinskii*)、葵花(*Helianthus annuus*)盘在滩羊瘤胃的体外发酵特性。结果表明, 葵花盘组干物质消化率最高, 为88.28%, 显著高于玉米秸秆和柠条组($P < 0.05$); 葵花盘组中性洗涤纤维消化率(77.45%)与玉米秸秆组(71.41%)差异不显著($P > 0.05$), 但均显著高于柠条组(28.90%)($P < 0.05$)。体外发酵48 h的产气量, 葵花盘组产气最多, 为56.75 mL, 显著高于玉米秸秆组(53.5 mL)和柠条组(32.5 mL)($P < 0.05$), 并且玉米秸秆组与柠条组同样存在显著差异($P < 0.05$)。体外发酵48 h后发酵液pH, 柠条与葵花盘组、葵花盘与玉米秸秆组间差异不显著($P > 0.05$), 但柠条显著高于玉米秸秆组($P < 0.05$)。葵花盘组消化液中总挥发性脂肪酸浓度和乙酸浓度分别为32.62和22.17 mmol·L⁻¹, 显著高于柠条组($P < 0.05$), 但与玉米秸秆组差异不显著($P > 0.05$); 丙酸产量以玉米秸秆组最高(7.47 mmol·L⁻¹), 葵花盘组次之(6.10 mmol·L⁻¹), 柠条组最低(3.82 mmol·L⁻¹), 且不同组间差异显著($P < 0.05$); 丁酸产量以柠条组最低, 为1.06 mmol·L⁻¹, 显著低于葵花盘组和玉米秸秆组; 但是异戊酸和戊酸产量组间差异不显著($P > 0.05$)。综上所述, 尽管柠条营养检测价值较高, 但其在体外消化率最低, 饲喂价值较低, 这也是其作为饲料资源开发利用的瓶颈所在; 而葵花盘饲喂价值相对较高, 可以作为良好的饲料资源进行开发利用。

关键词: 粗饲料; 滩羊; 瘤胃; 体外发酵; 干物质消化率; 中性洗涤纤维消化率; 挥发性脂肪酸

中图分类号: S816.32 文献标志码: A 文章编号: 1001-0629(2018)08-2009-07*

Digestion and fermentation performance of corn straw, *Caragana korshinskii*, and sunflower calathide in Tan sheep in vitro

GE Cuicui^{1,2}, LIANG Ge^{1,2}, LI Hao^{1,2}, LIU Hui¹, BU Jiaojiao¹, YANG Fang¹, XIN Guosheng^{1,2}

(1. School of Life Science, Ningxia University, Yinchuan 750021, Ningxia, China;

2. The Technology Research Center of Feed Engineering in Ningxia, Yinchuan 750021, Ningxia, China)

Abstract: The nutritional value of different types of forages was evaluated by fermentation technology in vitro. Fermentation characteristics of fattening Ningxia Tan sheep in vitro were compared with different rough forage from corn straw, *Caragana korshinskii*, and sunflower calathide. The results showed that the dry matter digestibility of the sunflower calathide group was the highest at 56.75%, which was significantly higher than that of the corn straw and *C. korshinskii* groups ($P < 0.05$). The digestibility of the neutral detergent fiber in the sunflower calathide group (77.45%) was not significantly different from that of the corn straw group (71.41%) ($P > 0.05$), and there were significant differences with the *C. korshinskii* group ($P < 0.05$); the gas production

* 收稿日期: 2017-10-30 接受日期: 2018-06-07

基金项目: 一二三产业融合发展科技创新示范项目(YES-16-10-1002)

第一作者: 葛翠翠(1992-), 女, 山东东阿人, 在读硕士生, 主要从事动物营养生理研究。E-mail: 1085256472@qq.com

通信作者: 辛国省(1979-), 男, 山东安丘人, 副教授, 博士, 主要从事动物营养生理与调控、饲料资源开发与高效利用研究。

E-mail: xinguosheng@ymail.com

<http://cykx.lzu.edu.cn>

(GP) at 48 h in vitro fermentation was the highest at 56.75 mL for the sunflower calathide group and was significantly higher than that for the corn straw (53.5 mL) and *C. korshinskii* (32.5 mL) groups, meanwhile there was a clear difference between the corn straw and *C. korshinskii* groups ($P < 0.05$). The difference in pH of the three types of roughage in vitro after 48 h fermentation was not significant ($P > 0.05$). The total volatile fatty acid concentration and acetic acid concentration in the sunflower calathide group were 32.62 and 22.17 mmol · L⁻¹, respectively, which were significantly higher than that of the *C. korshinskii* group ($P < 0.05$), but not significantly different from the corn straw group ($P > 0.05$); the propionic acid concentration was the highest in the corn straw group at 7.47 mmol · L⁻¹, followed by 6.10 and 3.82 mmol · L⁻¹ in the sunflower calathide group and *C. korshinskii* group, respectively, and the difference between the groups was significant ($P < 0.05$). The butyric acid yield of the *C. korshinskii* group was 1.06 mmol · L⁻¹, which was significantly lower than that of the sunflower corn straw groups. There was no significant difference between the groups for the yield of isovallic acid and pentanoate ($P > 0.05$). To summarize, although the nutrition detection value of *C. korshinskii* is relatively high, it has the lowest digestibility in vitro and low feeding value, which is also the bottleneck of the development and utilization of its feed resources. The feeding value of sunflower calathide is relatively high, and it can therefore be used as a good feed resource.

Keywords: roughage; Tan sheep; rumen; in vitro fermentation; dry matter digestibility; neutral detergent fiber digestibility; volatile fatty acids

Corresponding author: XIN Guosheng E-mail: xinguosheng@ymail.com

近年来随着牛羊养殖业的快速发展和对粗饲料的需求显著增加,粗饲料不足问题日益凸显,草畜不平衡矛盾突出。此外,随着饲草原料价格的攀升,养殖成本不断增加,养殖效益进一步下降。因此,加大饲草资源挖掘与开发,对缓解草畜不平衡、增加养殖效益具有重要意义。作物秸秆、柠条(*Caragana korshinskii*)、葵花(*Helianthus annuus*)盘作为重要的饲料资源被开发应用^[1-4]。其中玉米(*Zea mays*)秸秆、葵花盘作为典型的农副产品在饲料资源开发利用方面研究较多,并且在调制加工、生物饲料开发、有效利用及科学饲喂等方面技术较为成熟^[5-7];然而,由于区域差异性及技术应用不足造成其在不同地区利用率差异性较大^[8-9]。柠条作为水土保持、防风固沙作物,在生态条件恶劣的地区大面积种植,同时柠条作为耐牧作物,特别是其幼嫩枝叶,是当地农民放牧牛羊的良好饲料^[10]。柠条资源作为平茬副产物在区域性饲料资源开发利用方面具有重要作用,不仅可以解决区域饲料资源不足问题,还可以作为功能性饲料资源来提高畜产品品质^[11]。另一方面体外消化是动物营养研究的重要方法,通过瘤胃体外消化特征的变化科学评价饲料的营养价值,对指导饲草料加工调制等具有重要的参考价值^[12-13]。

牛羊产业是宁夏优势特色竞争力产业,饲草不足是限制其产业发展的重要因素之一,主要表现为饲草资源挖掘不足,加工利用水平较低^[12,14];同时受国内外羊肉市场影响,养殖效益下降,综合竞争力不足问题

凸显。因此,为解决粗饲料短缺和加工利用水平较低等问题,本研究以宁夏地区现有的主要粗饲料资源玉米秸秆、葵花盘及柠条为研究对象,研究其对宁夏育肥滩羊体外消化及发酵参数的影响,科学评价其营养价值,以期对玉米秸秆、葵花盘、柠条等饲料资源的加工调制和高效利用提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本研究选用玉米收获后的全株玉米秸秆、结实期全株柠条、成熟期脱粒机处理后的葵花盘为试验材料,每种试验材料分别采集5份,每份约1 kg,5份样混合成1个试验样。样品采集后,剪短至5 cm长段,105℃条件下干燥6 h,烘干至绝干样,粉碎过0.425 mm筛,室温保存备用。按国标方法测定其中性洗涤纤维(neutral detergent fibre, NDF, GB/T 20806—2006)、酸性洗涤纤维(acid detergent fibre, ADF, NY/T 1459—2007)、粗蛋白(crude protein, CP, GB/T 6432—1994)、粗脂肪(ether extract, EE, GB/T 6433—2006)、粗灰分(Ash, GB/T 6438—2007)、粗纤维(crude fibre, CF, GB/T 6434—2006)的含量(表1)。

1.2 试验方法

1.2.1 试验动物 试验选用4只、6月龄、体重相近的宁夏育肥滩羊作为瘤胃液供体动物,其日粮精粗比为1:1,且柠条、玉米秸秆和葵花盘是该试验滩羊的主要

表 1 原料的主要营养水平
Table 1 Nutritive values of the main raw materials

营养成分 Nutrition	% 玉米秸秆 柠条 葵花盘		
	Corn straw	<i>Caragana korshinskii</i>	Sunflower calathide
粗蛋白 Crude protein	6.49	14.61	9.33
粗脂肪 Ether extract	0.49	1.22	2.18
粗纤维 Crude fiber	35.99	39.94	23.79
中性洗涤剂纤维 Neutral detergent fiber	65.49	47.46	25.40
非纤维性碳水化合物 Non-fibrous carbohydrate	17.53	30.77	48.05
酸性洗涤剂纤维 Acid detergent fiber	33.54	44.18	19.16
粗灰分 Crude ash	10.00	5.94	17.22

表中数据计算均以干物质为基础。

Data were calculated based on dry matter.

粗饲料。瘤胃液于晨饲前采用瘤胃管进行采集,每只羊采集约 150 mL,采集后混合,作为试验用瘤胃液。

1.2.2 试验设计 本研究设玉米秸秆、柠条、葵花盘 3 个试验组,同时设空白对照组,每个组设置 4 个重复,分别进行体外消化和产气试验。

1.3 体外培养

1.3.1 人工瘤胃培养液的配制 试验所用人工培养液的配置采用 Menke 等^[15]的方法,由常量元素溶液、微量元素溶液、缓冲液、指示剂溶液、还原剂溶液配制而成。人工培养液于瘤胃液采集前配好装入三角瓶中,置于 39 °C 水浴锅预热,并向其通入 CO₂。瘤胃液取自晨饲前屠宰的 4 只宁夏育肥滩羊,屠宰后采集瘤胃液,置于保温瓶中,迅速带回实验室,在缓慢通入 CO₂ 的条件下,用 4 层纱布过滤到预热的三角瓶中。量取过滤后的瘤胃液,与人工瘤胃营养液按照 1:2 的比例加入装有培养液的三角瓶中,并向培养液中持续通入 CO₂,立即放入到 39 °C 水浴中保存。

1.3.2 干物质消化率、NDF 消化率的测定 根据 Tilley 和 Terry^[16]的两阶段法测定。首先准确称量 1 g 样品装入纤维袋,封口机封口,4 个空纤维袋作为空白对照。将封好口的纤维袋放入 100 mL 注射器中,并用分样器向各注射器注入 60 mL 人工瘤胃培养液,迅速盖好橡胶盖,放入 39 °C 恒温震荡培养箱中培养 48 h。48 h 后加入 50 mL 酸性胃蛋白酶溶液(1 L 的 0.1 mol·L⁻¹ HCl 中加入 2 g 胃蛋白酶),随后放入 39 °C 的水浴恒温振荡器中培养 48 h,终止发酵。

1.3.3 产气量的测定 参照 Menke 等^[15]体外产气法,将 200 mg 待测样品放入特制的 100 mL 注射器中,用 30 mL 经稀释后的瘤胃液消化,放入 39 °C 的水浴恒温振荡器中,记录 48 h 内 1、2、4、6、8、12、16、20、26、37 和 48 h 时间点的产气量。每个样品设 4 个重

复,同时设 4 个空白(人工瘤胃培养液),用于产气量的校正。根据记录的数值求算产气量。

1.3.4 发酵液 pH、挥发性脂肪酸的测定 当 48 度 h 培养完毕后,马上用 pH-25 型酸度计测定发酵液的 pH,在测定前,用 pH=4.0 和 pH=7.0 的标准缓冲液校正 pH 计。采用气象色谱仪测定 VFA 浓度。

1.4 数据分析

各试验数据经 Excel 2007 初步整理后,利用 SPSS 16.0 统计软件进行单因素方差分析和显著性检验,多重比较采用 one-way ANOVA 中的 Duncan 法进行统计分析,试验结果以平均值±标准误表示,显著性水平分别为 $P<0.05$, $P<0.01$ 。

2 结果与分析

2.1 粗饲料干物质消化率、中性洗涤剂纤维消化率

利用不同粗饲料作为发酵底物,试验草料的干物质消化率差异较大(图 1);其中,葵花盘的干物质消化率最高,为 88.28%,玉米秸秆次之,为 66.69%,柠条最低,为 43.43%;葵花盘、玉米秸秆、柠条之间干物质消化率差异达到极显著水平($P<0.01$)。葵花盘中性洗涤剂纤维消化率最高,为 77.45%,玉米秸秆次之,为 71.41%,柠条最低,为 28.90%(图 2);其中葵花盘与玉米秸秆中性洗涤剂纤维消化率组间差异不显著($P>0.05$),但均与柠条组间差异显著($P<0.05$)。

2.2 粗饲料体外发酵产气量

玉米秸秆、柠条和葵花盘的产气量随着培养时间延长而增加,但是前期产气量的速度要高于后期(图 3)。体外发酵 48 h 后,葵花盘的样品产气最多(56.75 mL),其次是玉米秸秆(53.5 mL),柠条产气量最低(32.5 mL),各组间 48 h 产气量差异显著($P<0.05$)(图 4)。

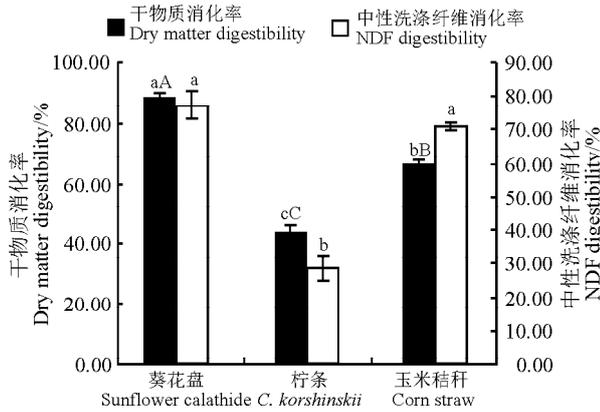


图 1 试验料干物质消化率和中性洗涤纤维消化率

Fig.1 Digestion rate of dry matter and NDF for trial forage

同一指标不同大小写字母表示不同草料间差异极显著 ($P < 0.01$) 和显著 ($P < 0.05$), 图 3 同。

Different lowercase and capital letters for the same parameter indicate significant difference at 0.05 and 0.01 levels, respectively; similarly for Fig.3.

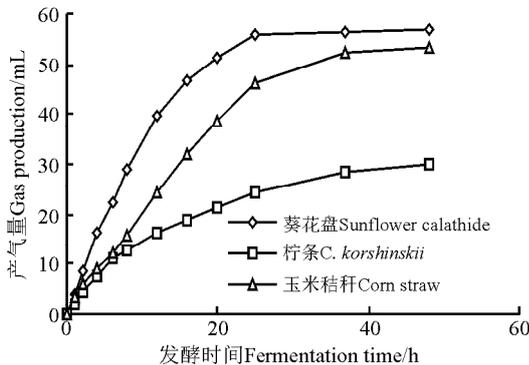


图 2 体外发酵 0-48 h 产气量变化

Fig. 2 Gas production of 0-48 h during the trial forage

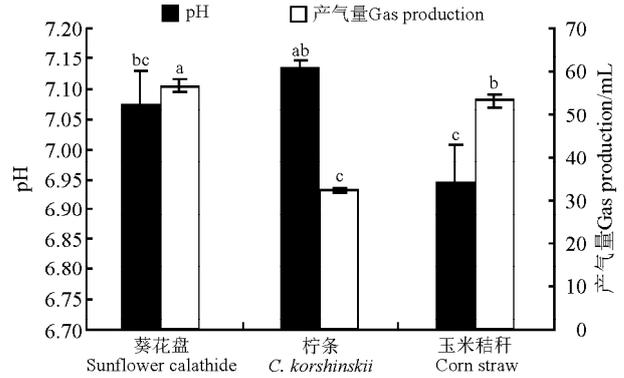


图 3 体外发酵 48 h 的产气量和发酵液 pH

Fig. 3 Gas production and pH at 48 h during the trial forage

2.3 玉米秸秆、葵花盘、柠条体外发酵液 pH

瘤胃液 pH 是一项反映瘤胃发酵水平的重要指标,可以综合反映瘤胃微生物状态。在 48 h 产气中,玉米秸秆体外消化液的 pH 最低(6.94),葵花盘次之(7.07),柠条最高,为 7.13(图 5)。葵花盘与柠条体外消化液 pH 组间差异不显著 ($P > 0.05$),同时柠条显著高于玉米秸秆组 ($P < 0.05$)。

2.4 试验草料体外消化发酵液挥发性脂肪酸

本研究中,葵花盘发酵液中总挥发性脂肪酸和乙酸浓度最高,分别为 32.62 和 $22.17 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$,柠条发酵液中总挥发性脂肪酸、乙酸和丁酸浓度最低,分别为 18.22 、 12.02 和 $1.06 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 显著低于葵花盘和玉米秸秆 ($P < 0.05$),但是葵花盘与玉米秸秆组间差异不显著 ($P > 0.05$)(表 2)。通过对发酵液中丙酸含量分析发现,玉米秸秆含量最高 ($7.47 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$),柠条含量最低 ($3.82 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$),并且不同组间差异显著 ($P < 0.05$);异丁酸含量分析结果表明,玉米秸秆含量

表 2 粗饲料体外发酵 48 h 的 VFA 含量

Table 2 VFA production of different forages after 48 h in vitro fermentation

项目 Item	葵花盘 Sunflower calathide	柠条 <i>Caragana korshinskii</i>	玉米秸秆 Corn straws
乙酸 Acetate/($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)	$22.17 \pm 0.75a$	$12.02 \pm 0.11b$	$21.20 \pm 0.43a$
丙酸 Propionate/($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)	$6.10 \pm 0.33b$	$3.82 \pm 0.53c$	$7.47 \pm 0.07a$
丁酸 Butyrate/($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)	$2.00 \pm 0.11a$	$1.06 \pm 0.03b$	$2.02 \pm 0.06a$
异丁酸 Isobutyrate/($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)	$0.27 \pm 0.03b$	$0.23 \pm 0.01bc$	$0.44 \pm 0.03a$
异戊酸 Isovalerate/($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)	$0.67 \pm 0.17a$	$0.41 \pm 0.04a$	$0.46 \pm 0.05a$
戊酸 Pentanoate/($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)	$1.42 \pm 0.77a$	$0.64 \pm 0.01a$	$0.34 \pm 0.01a$
总挥发性脂肪酸 TVFA	$32.62 \pm 1.70a$	$18.22 \pm 0.41b$	$31.90 \pm 0.61a$
乙酸/丙酸 Acetate/propionate	$2.96 \pm 0.09a$	$2.77 \pm 0.54a$	$2.30 \pm 0.03a$

同行不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

Different lowercase letters within the same row indicate significant difference at the 0.05 level.

最高 ($0.44 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$), 显著高于葵花盘和柠条 ($P < 0.05$), 但柠条和葵花盘组间差异不显著 ($P > 0.05$)。

此外, 戊酸、异戊酸及乙酸/丙酸组间差异均不显著 ($P > 0.05$)。

3 讨论

3.1 试验饲草料体外发酵 48 h 干物质消化率和中性洗涤纤维消化率

饲料的干物质消化率代表该饲料被微生物转化的能力,消化率越高说明瘤胃的发酵效果越好,瘤胃微生物的活性越强^[17]。饲料干物质的消化率随饲料品种不同存在一定的差异,消化率的高低与营养物质的结构、微生物对底物的附着能力以及微生物分泌酶的催化能力有关^[18]。有研究表明,脱粒葵花盘中除中性洗涤纤维、磷外,其他 15 项营养指标均高于全株青贮玉米,且易于消化吸收,常作为粗饲料在反刍动物养殖中广泛使用^[2]。本研究中,葵花盘的干物质消化率最高,进一步证明葵花盘具有较高的营养价值。尽管柠条粗蛋白含量最高,但其干物质消化率最低,这可能与其较高的酸性洗涤纤维水平有关。

中性洗涤纤维的消化率是表示粗饲料营养价值的一个重要指标。不同饲料中中性洗涤纤维的化学组分及其所含的纤维素、半纤维素和木质素的比例不同,会影响中性洗涤纤维的可消化性^[19],不同来源的粗饲料可影响其消化率^[20]。本研究中,葵花盘的中性洗涤纤维消化率最高,这可能与葵花盘中 NDF 的纤维素、半纤维素等的含量和比例有关。

3.2 试验饲草料体外发酵产气量

体外产气量在一定程度上反映了饲料在反刍动物瘤胃内的降解特性^[21],将不同的粗饲料原料作为发酵底物,产气量是有差异的。一定时间内产气量的多少反映了底物被微生物利用的程度,代表底物营养价值的高低^[22]。碳水化合物及粗蛋白作为底物发酵时的主要产气来源物质,直接影响着底物在体外培养时的产气发酵特性^[23-24],其含量越多,产气量越大;随着时间延长,碳水化合物和粗蛋白的含量减少,发酵过程减缓,产气量趋于稳定^[25]。本研究体外发酵 48 h,所有粗饲料产气量曲线呈“S”型,产气速率呈现先增大后减小,最后产气量逐步趋于稳定。同时,汤少勋等^[23]研究表明,粗饲料发酵累计产气量受非结构性碳水化合物和粗蛋白比例的影响。非结构性碳水化合物与粗蛋白的比值越大时,产气量越高,反之产气量越小。本研究中,葵花盘产气量最高,柠条产气量最低,这可能与非结构性碳水化合

物和粗蛋白比例有关,葵花盘饲料组底物能够很好地促进微生物发酵。

3.3 不同试验饲草料体外发酵液 pH

瘤胃液 pH 是衡量反刍动物瘤胃发酵状况的敏感指标,该值受微生物代谢产物、底物营养成分种类和数量等各种因素的影响,研究显示瘤胃 pH 的正常变化范围是 5.5~7.5^[18]。本研究中各饲料组发酵液 pH 均在正常范围内。瘤胃 pH 的大小是饲料中碳水化合物和含氮物质的发酵产物综合作用的结果,碳水化合物分解产生的挥发性脂肪酸能引起 pH 的下降^[26],而饲料中蛋白的分解又使氨浓度升高,导致 pH 上升。本研究与张勇等^[27]研究结果一致,玉米秸秆体外发酵液 pH 较低,这可能与其相对较高的总挥发性脂肪酸含量和较低粗蛋白含量有关,尽管葵花盘试验组总挥发性脂肪酸含量最高,但是由于其蛋白含量高于玉米秸秆,蛋白质分解产生的氨中和了一部分酸,使其 pH 高于玉米秸秆组。

3.4 不同试验饲草料体外发酵液挥发性脂肪酸

挥发性脂肪酸(VFA)主要是日粮中碳水化合物的发酵产物,是维持反刍动物生命和生产的主要能量来源,可以为反刍动物提供其总能需要量的 70%~80%^[28-29]。VFA 包括乙酸、丙酸、丁酸、异丁酸、异戊酸、戊酸等,其中乙酸、丙酸、丁酸约占瘤胃发酵产生 VFA 总产量的 95%左右^[28,30]。一般情况下中性洗涤纤维比例降低时,乙酸/丙酸也随之降低,故通常乙酸/丙酸也被用于日粮相对营养价值的估测^[28]。本研究因为是静态模拟瘤胃发酵,故乙酸/丙酸的变化即反映了发酵底物的营养价值^[28]。另外,葵花盘的 TVFA、乙酸的浓度最高,丙酸浓度也较高,可能与葵花盘含有较高的营养价值,且其营养组分更易被瘤胃微生物分解和促进瘤胃发酵等有关。相关研究表明,体外发酵的 VFA 含量与产气量有关^[31]。本研究与其研究结果一致,即葵花盘组 VFA 及其产气量均为最高。

4 小结

葵花盘拥有较高的营养价值,其干物质消化率、体外产气量最高,可以作为良好的粗饲料资源进行开发利用;尽管柠条拥有相对较高的蛋白质水平,但其体外消化率和产气量最低,饲喂价值较低,这也是其作为饲料资源开发利用所面临的主要问题。

参考文献 References:

- [1] 左忠,张浩,王峰,郭永忠,刘旭宇.柠条饲料加工利用技术研究.草业科学,2005,22(3):30-35.

<http://cykx.lzu.edu.cn>

- ZUO Z,ZHANG H,WANG F,GUO Y Z,LIU X Y.Discussion of processing and utilization techniques of *Caragana microphylla* feed. Pratacultural Science,2005,22(3):30-35.
- [2] 马惠茹,赵智香,陈艳君.内蒙古河套地区向日葵饲料资源生产情况及开发利用现状.中国畜牧兽医,2014,41(3):251-254.
MA H R,ZHAO Z X,CHEN Y J.Preparation and development of sunflower feed resources in Hetao Region,Inner Mongolia. Chinese Journal of Animal Husbandry and Veterinary Medicine,2014,41(3):251-254.
- [3] 任余艳,高崇华,赵雨兴,严喜斌,卢立娜,张晓娟.饲用柠条的营养特点及青贮技术研究.饲料研究,2015(5):1-2.
REN Y Y,GAO C H,ZHAO Y X,YAN X B,LU L N,ZHANG X J.Nutritional characteristics and silage techniques of *Caragana microphylla*.Feed Research,2015(5):1-2.
- [4] 金三俊,董佳琦,宋建楼,刁新平.秸秆饲料的研究进展.饲料博览,2016(2):8-10.
JIN S J,DONG J Q,SONG J L,DIAO X P.Research progress of straw feed.Feed Review,2016(2):8-10.
- [5] 韩明鹏,高永革,王成章,王彦华,张晓霞.玉米秸秆发酵饲料的研究进展.江苏农业科学,2010(2):242-245.
Han M P,Gao Y G,Wang C Z,Wang Y H,Zhang X X.Research progress of maize straw fermentation feed.Journal of Jiangsu Agricultural Sciences,2010(2):242-245.
- [6] 柴君秀,李颖康,马小明,岳彩娟,马丽娜,张鑫荣,任德新,崔宝国.葵花盘资源的开发与利用研究.黑龙江畜牧兽医,2013(18):104-105.
CHAI J X,LI Y K,MA X M,YUE C J,MA L N,ZHANG X R,REN D X,CUI B G.Study on the development and utilization of sunflower disk resources.Heilongjiang Animal Husbandry and Veterinary Medicine,2013(18):104-105.
- [7] 张婷,张彬,张佩华,周小乔,田瑶,朱丹,赵勐,刘士杰,张开展,陈宇光,卜登攀,WEISS W P.不同能量水平及玉米加工饲料对瘤胃体外发酵参数的影响.草业学报,2015,24(12):102-111.
ZHANG T,ZHANG B,ZHANG P H,ZHOU X Q,TIAN Y,ZHU D,ZHAO M,LIU S J,ZHANG K Z,CHEN Y G,BU D P,WEISS W P.Effects of different energy levels and corn processing diets on ruminal fermentation parameters in vitro.Acta Prataculturae Sinica,2015,24(12):102-111.
- [8] 丁伟,额尔和花,马小明.宁夏灌区秸秆资源的饲料化利用现状分析.畜牧与饲料科学,2012,33(1):93-94.
DING W,Erhehua,MA X M.Analysis of feeding utilization of straw resources in Ningxia Irrigation Area.Animal Husbandry and Feed Science,2012,33(1):93-94.
- [9] 袁梅.河南省秸秆综合利用途径与对策.地域研究与开发,2013,32(6):145-148.
YUAN M.Walkways and countermeasures for comprehensive utilization of straw in Henan Province.Journal of Geographical Research and Development,2013,32(6):145-148.
- [10] 杨效民,牛西午,李军,王志武,靳光.柠条对牛的饲用价值研究.黄牛杂志,2005,31(4):33-35.
YANG X M,NIU X W,LI J,WANG Z W,JIN G.Nutrient evaluation of *Caragana korshinskii* to cattle.Journal of Yellow Cattle Science,2005,31(4):33-35.
- [11] 陈亮,张凌青,巫亮,罗晓瑜,刘彩凤,周托,张建勇,吴德,杜杰,徐寒.饲喂柠条包膜青贮饲料对滩羊育肥效果的影响.黑龙江畜牧兽医,2014(1):97-99.
CHEN L,ZHANG L Q,WU L,LUO X Y,LIU C F,ZHOU T,ZHANG J Y,WU D,DU J,XU H.Effects of *Caragana microphylla* on silage fertility in Tan sheep.Heilongjiang Animal Husbandry and Veterinary Medicine,2014(1):97-99.
- [12] 叶宏涛,刘国华.体外消化法评定饲料营养价值的研究进展.//中国林木渔业经济学会饲料经济专业委员会第4届学术交流会论文集.成都:中国林木渔业经济学会,2007.
YE H T,LIU G H.In vitro digestion method to assess the nutritional value of feed research.//Proceedings of the Fourth Academic Exchange Meeting of China Society of Forestry, Husbandry and Fishery Economic.Chengdu:China Society of Forestry, Husbandry and Fishery Economic,2007.
- [13] 初雷,李爱科,高玉鹏,栾霞.体外评定饲料氨基酸消化率的研究进展.粮食与饲料工业,2010(7):53-56.
CHU L,LI A K,GAO Y P,LUAN X.Evaluation of feed amino acids digestibility in vitro,Food and Feed Industry,2010(7):53-56.
- [14] 马红彬,王华,沈艳.宁夏主要饲料资源利用现状及发展对策研究.农业科学研究,2012,33(3):44-49.
MA H B,WANG H,SHEN Y.Study on utilization status and development countermeasures of main feed resources in Ningxia.Journal of Agricultural Sciences,2012,33(3):44-49.
- [15] MENKE K H,RAAB L,SALEWSKI A,STEINGASS H,FRITZ D,SCHNEIDER W.The estimation of the digestibility and metabolizable energy content of ruminant feedingstuffs from the gas production when they are incubated with rumen liquor in vitro.The Journal of Agricultural Science,1979,93(1):217-222.

- [16] TILLEY J M A, TERRY R A. A two-stage technique for the in vitro digestion of forage crops. *Grass & Forage Science*, 2010, 18(2): 104-111.
- [17] 郝建祥. 体外发酵法评定反刍动物饲料营养价值的研究. 南京: 南京农业大学硕士学位论文, 2011.
HAO J X. Evaluation of nutritional value of ruminant feed by in vitro fermentation. Master Thesis. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2011.
- [18] 巴桑珠扎, 陈亮, 奥斯曼, 于翠翠, 赵丽, 周传社, 李斌. 西藏地区不同作物秸秆体外发酵特性研究. *动物营养学报*, 2017, 29(2): 719-728.
Basangzhuzha, CHEN L, Osiman, YU C C, ZHAO L, ZHOU C S, LI B. Tibet area fermentation characteristics of different crop straw in vitro. *Animal Nutrition Journal*, 2017, 29(2): 719-728.
- [19] 吴秋珏, 徐廷生. 饲料中中性洗涤纤维的研究进展. *饲料工业*, 2006(7): 14-16.
WU Q Y, XU T S. Research progress of neutral washing fiber in diet. *Feed Industry*, 2006(7): 14-16.
- [20] 聂普. 粗饲料长度、来源对泌乳奶牛采食量、咀嚼活动及生产性能影响的研究. 泰安: 山东农业大学硕士学位论文, 2014.
NIE P. Study on the influence of the length of coarse feed and the source on the intake, chewing activity and production performance of lactation cows. Master Thesis. Taian: Shandong Agricultural University, 2014.
- [21] 茹彩霞. 模拟瘤胃条件下苜蓿对粗饲料产气特性和发酵特性的研究. 杨凌: 西北农林科技大学硕士学位论文, 2006.
RU C X. Study on gas production characteristics and fermentation characteristics of alfalfa under simulated rumen conditions. Master Thesis. Yangling: Northwest Agriculture and Forestry University, 2006.
- [22] 余苗, 钟荣珍, 周道玮, 高凤仙. 不同生育期虎尾草的体外发酵产气特性. *草业科学*, 2014, 31(5): 956-964.
YU M, ZHONG R Z, ZHOU D W, GAO F X. Fermentation characteristics of *Chloris virgata* in different growth stages in vitro. *Pratacultural Science*, 2014, 31(5): 956-964.
- [23] 汤少勋, 姜海林, 周传社, 谭支良. 不同牧草品种对体外发酵产气特性的影响. *草业学报*, 2005, 14(3): 72-77.
TANG S X, JIANG H L, ZHOU C S, TAN Z L. Effects of different forage varieties of in vitro gas production characteristics. *Acta Prataculturae Sinica*, 2005, 14(3): 72-77.
- [24] 阳伏林, 丁学智, 史海山, 黄小丹, 龙瑞军. 苜蓿干草和秸秆组合体外发酵营养特性及其利用研究. *草业科学*, 2008, 25(3): 61-67.
YANG F L, DING X Z, SHI H S, HUANG X D, LONG R J. Alfalfa hay and straw combination in vitro fermentation nutrition characteristics and its utilization research. *Pratacultural Science*, 2008, 25(3): 61-67.
- [25] 薛艳锋, 郝力壮, 刘书杰. 玉树州藏嵩草草地牧草营养价值评定与营养载畜量. *草业科学*, 2015, 32(10): 1660-1667.
XUE Y F, HAO L Z, LIU S J. Evaluation of forage nutritive value and nutrient carrying capacity of *Hastily humilis* pasture in Yushu Tibet. *Pratacultural Science*, 2015, 32(10): 1660-1667.
- [26] XU S, HARRISON J H, CHALUOA W, SNIFFEN C, JULIEN W, SATO H, FUJIEDA T, WATANABE K, UEDA T, SUZUKI H. The effect of ruminal bypass lysine and methionine on milkyield and composition of lactating cows. *Journal of Dairy Science*, 1998, 81(4): 1062-1077.
- [27] 张勇, 夏天婵, 常誉, 黄文明, 郭海明, 叶均安. 体外产气法评价油菜秆与玉米、豆粕的组合效应. *草业学报*, 2016, 25(11): 185-191.
ZHANG Y, XIA T C, CHANG Y, HUANG W M, GUO H M, YE J A. Evaluation of the associative effects of rape straw, corn and soybean meal using an in vitro gas production technique. *Acta Prataculturae Sinica*, 2016, 25(11): 185-191.
- [28] 马振华. 水牛瘤胃对不同粗饲料木质素降解率的研究. 武汉: 华中农业大学硕士学位论文, 2015.
MA Z H. Study on rumen degradability of different roughage in buffalo. Master Thesis. Wuhai: Huazhong Agricultural University, 2015.
- [29] 李秋凤, 曹玉凤, 李建国. 利用体外产气法研究不同瘤胃降解蛋白平衡对瘤胃代谢的影响. *畜牧兽医学报*, 2012, 43(4): 572-579.
LI Q F, CAO Y F, LI J G. Effect of different ruminal degradation protein balance on rumen metabolism by in vitro gas production. *Chinese Journal of Animal and Veterinary Sciences*, 2012, 43(4): 572-579.
- [30] 贾玉东, 王振勇, 柴同杰, 侯志高, 巩庆亮. 日粮粗精比对奶牛瘤胃液和血清乙酸、丙酸、丁酸的影响. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2008, 36(7): 27-32.
JIA Y D, WANG Z Y, CHAI T J, HOU Z G, GONG Q L. Effects of dietary coarse and fine ratio on rumen fluid and serum acetic acid, propionic acid and butyric acid in dairy cows. *Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition)*, 2008, 36(7): 27-32.
- [31] JOHNSON K A, JOHNSON D E. Methane emissions from cattle. *Journal of Animal Science*, 1995, 73(8): 2483-2492.

(责任编辑 武艳培)