

# 啤酒糟对饲料养分瘤胃降解特性及表观消化率的影响

杨璐玲<sup>1</sup> 吕永艳<sup>1</sup> 宋希海<sup>2</sup> 孙国强<sup>1\*</sup>

(1. 青岛农业大学动物科技学院, 青岛 266109; 2. 莱州市柴棚畜牧兽医站, 莱州 261435)

**摘要:** 本试验旨在研究添加不同水平啤酒糟 (brewer's grains, BSG) 对饲料养分瘤胃降解特性及表观消化率的影响。采用 4×4 拉丁方设计, 选取 4 头体况良好、体重 (40.0±2.5) kg、安装有永久性瘤胃瘘管的崂山奶山羊。在基础饲料干物质 (DM) 基础上分别添加 0 (对照组)、10%、15%、20% 的 BSG。通过尼龙袋法和内源指示剂法测定饲料养分的瘤胃降解特性及表观消化率。结果表明: 1) BSG 添加水平对除粗蛋白质 (CP) 外的其他养分 72 h 瘤胃降解率均有显著或极显著的影响 ( $P < 0.05$  或  $P < 0.01$ ); 显著或极显著提高了 DM、有机物 (OM) 和中性洗涤纤维 (NDF) 的瘤胃有效降解率 ( $P < 0.05$  或  $P < 0.01$ ), 对酸性洗涤纤维 (ADF) 的瘤胃有效降解率无显著影响 ( $P > 0.05$ ), 显著降低了 CP 瘤胃有效降解率 ( $P < 0.05$ )。2) BSG 添加水平对各养分采食量均有显著影响 ( $P < 0.05$ ), 以 BSG 添加水平为 15% 时最高。3) 与对照组相比, BSG 添加水平为 10% 时, 各养分表观消化率无显著变化 ( $P > 0.05$ ); BSG 添加水平为 15% 时, 各养分表观消化率均显著升高 ( $P < 0.05$ ); BSG 添加水平为 20% 时, 除 NDF 表观消化率显著升高 ( $P < 0.05$ ) 外, 其他养分表观消化率无显著变化 ( $P > 0.05$ )。综合考虑饲料养分的瘤胃降解特性、采食量和表观消化率得出, 本试验条件下, 饲料 DM 基础上添加 15% BSG 为最佳。

**关键词:** 啤酒糟; 瘤胃降解特性; 瘤胃有效降解率; 表观消化率

**中图分类号:** S826

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1006-267X(2014)03-0792-11

随着我国奶牛饲养业的规模化、集约化发展, 对饲料的需求量也在逐年增加, 如何在实际生产中开发和利用潜在的非粮饲料资源, 并应用于提高奶牛的生产性能, 将成为加快奶牛饲养业发展和促进高效养殖的一个重要思路。啤酒糟 (brewer's grains, BSG) 作为酿造啤酒时大麦发酵后产生的工业副产品, 富含矿物质、维生素、氨基酸和过瘤胃蛋白质, 其中过瘤胃蛋白质含量尤其丰富<sup>[1]</sup>, 是一种极具开发潜力的非粮饲料资源。Merchen 等<sup>[2]</sup>指出 BSG 中含有大量慢速降解蛋白质, 能为瘤胃微生物的生长提供足够的氮, 同时最大限度地减少瘤胃氮的损失, 提高蛋白质过瘤胃

率。Chiou 等<sup>[3]</sup>研究表明, 在泌乳奶牛饲料中添加干物质 (dry matter, DM) 10% 的湿 BSG 作为蛋白质源, 和以大豆粉作为蛋白质源的饲料相比, 产奶量有所提高。Davis 等<sup>[4]</sup>研究表明, BSG 添加水平为饲料 DM 基础的 20% 时奶牛生产性能不受影响, 但添加水平为 30% 和 40% 时奶牛生产性能明显下降。也有报道表明, BSG 饲喂不当不仅会造成生产上的浪费, 也易造成奶牛流产、急性瘤胃酸中毒、繁殖障碍等严重后果<sup>[5]</sup>。目前, BSG 在奶牛生产上的研究主要集中在产奶量上, 而有关 BSG 是否能够提高饲料的养分瘤胃降解率及表观消化率的研究鲜有报道。本试验使用尼龙袋法和内源

收稿日期: 2013-09-25

基金项目: 山东省现代农业产业技术体系牛产业创新团队 (SDAIT-12-011-08)

作者简介: 杨璐玲 (1988—), 女, 河北藁城人, 硕士研究生, 从事反刍动物营养的研究。E-mail: yllfly@126.com

\* 通讯作者: 孙国强, 教授, 硕士生导师, E-mail: qdnydxsgq@126.com

指示剂法,探讨添加不同水平 BSG 对饲料养分瘤胃降解特性及表观消化率的影响,以期为日后 BSG 在奶牛生产中的科学应用提供理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料

BSG、羊草 (*Leymus chinensis*, LC)、花生蔓 (peanut vine, PV) 和精料均来自山东莱西某养牛

场,经 65 °C 烘干至恒重备用。经过分析测定,BSG、羊草和花生蔓的营养成分见表 1。

### 1.2 试验动物与试验设计

本试验采用 4 × 4 拉丁方设计,选取 4 头体况良好、体重(40.0 ± 2.5) kg、安装有永久性瘤胃瘘管的崂山奶山羊。基础饲料 DM 饲喂量为体重的 3%,即每只每天 1.2 kg,在此基础上分别添加 0 (对照组)、10%、15%、20% 的 BSG。

表 1 啤酒糟、羊草和花生蔓的营养成分(干物质基础)  
Table 1 Nutrient composition of BSG, LC and PV (DM basis) %

项目 Items	干物质 DM	有机物 OM	粗蛋白质 CP	粗脂肪 EE	中性洗涤纤维 NDF	酸性洗涤纤维 ADF
啤酒糟 BSG	26.28	96.74	29.72	7.65	57.76	14.16
羊草 LC	91.59	93.35	8.23	1.88	68.89	47.36
花生蔓 PV	91.31	94.16	12.71	2.21	55.43	49.30

采用尼龙袋法测定添加不同水平 BSG 后各组饲料 6、12、24、36、48、72 h 的 DM、有机物(organic matter, OM)、中性洗涤纤维(neutral detergent fiber, NDF)、酸性洗涤纤维(acid detergent fiber, ADF)、粗蛋白质(crude protein, CP)的瘤胃降解率,并根据不同时间点各养分瘤胃降解率测定其快速降解部分、慢速降解部分及潜在降解部分,以计算养分的瘤胃有效降解率,采用内源指示剂法测定饲料养分表观消化率。

试验期为 68 d,分 4 期,每期 17 d,包括 14 d 的预试期和 3 d 的正试期(采样期)。

### 1.3 饲养管理

试验羊采用单笼饲养,日饲喂 2 次(06:30 和 18:30),精粗比例为 40:60,采用先精后粗的饲喂方式,BSG 为烘干样,随精料饲喂,粗料由羊草和花生蔓(各占 1/2)组成。试验羊自由饮水,常规光照、驱虫及管理。精料组成及营养水平见表 2。

### 1.4 测定指标与方法

#### 1.4.1 养分含量

饲料、尼龙袋残渣及粪样中的 DM、OM、NDF、ADF、CP 的含量测定参照张丽英<sup>[6]</sup>主编的《饲料分析及饲料质量检测技术》中的方法。

表 2 精料组成及营养水平(干物质基础)

Table 2 Composition and nutrient levels of the concentrate (DM basis) %

项目 Items	含量 Content
原料 Ingredients	
玉米 Corn	60.00
麦麸 Wheat bran	10.00
豆粕 Soybean meal	25.00
食盐 NaCl	1.00
预混料 Premix <sup>1)</sup>	4.00
合计 Total	100.00
营养水平 Nutrient levels <sup>2)</sup>	
干物质 DM	86.61
粗蛋白质 CP	16.69
净能 NE/(MJ/kg)	13.79
中性洗涤纤维 NDF	14.31
酸性洗涤纤维 ADF	5.31
钙 Ca	1.12
磷 P	0.85

<sup>1)</sup> 预混料为每千克精料提供 The premix provided the following per kg of the concentrate: Cu 160 mg, Fe 1 000 mg, Mn 960 mg, Zn 160 mg, VA 200 000 IU, VD 400 000 IU, VE 2 000 000 IU, 烟酸 nicotinic acid 400 mg, P 80 g, Ca 200 g。

<sup>2)</sup> 净能为计算值,其余为实测值。NE was a calculated value, while the others were measured values.

### 1.4.2 养分瘤胃降解率和有效降解率

尼龙袋用油性记号笔标号后在瘤胃内预处理72 h后,65 ℃烘干至恒重,备用。待测样品为4组试验饲料,粉碎至40目(65 ℃烘至恒重,约48 h),取2 g(精确至0.000 1 g)装入尼龙袋中,每个待测样品设3个重复,通过瘤胃瘘管放入瘤胃内培养6、12、24、36、48、72 h。于相应时间点取出尼龙袋,在冷水中浸泡0.5 h后,用流水缓慢冲洗,直到水澄清为止,一般为10~15 min<sup>[7-9]</sup>。将冲洗干净的尼龙袋放入65 ℃烘箱内,烘至恒重(48~60 h)。取出冷却、称重并准确记录尼龙袋和样品重量,将样品放入干燥器内保存待测。

#### 1.4.2.1 养分瘤胃降解率

$$A = [(B - C) / B] \times 100.$$

式中:A为待测饲料某养分的瘤胃降解率(%);B为待测饲料某养分的含量(g);C为残渣中某养分含量(g)。

#### 1.4.2.2 养分瘤胃有效降解率

饲料养分在瘤胃内的动态降解特性采用Ørskov等<sup>[10]</sup>提出的数学指数模型计算。

$$dp = a + b(1 - e^{-ct}).$$

式中:dp为养分在瘤胃内停留t(h)时间的瘤胃降解率(%);a为快速降解部分(%);b为慢速降解部分(%);c为慢速降解部分的降解速率(%/h)。根据最小二乘法计算出a、b和c值,再根据下列公式计算出饲料中某养分的有效降解率。

$$P = a + bc / (k + c).$$

式中:P为养分瘤胃有效降解率(%),k为饲料的外流速率常数(%/h),参考颜品勋等<sup>[11]</sup>研究结果,取0.031%/h。

### 1.4.3 养分表观消化率

在每个正试期内,记录试验羊的采食量,每天早、晚各采集100 g左右的新鲜粪样,加少许10%的盐酸立即冷冻保存;每期试验结束后,每头试验羊的所有粪样全部混合,搅拌均匀并取适量65 ℃烘干测定初水分,粉碎过40目筛,测定粪样中的养分表观消化率。

#### 1.4.3.1 酸不溶灰分含量

采用酸不溶灰分作为内源指示剂,测定饲料及粪样中的酸不溶灰分含量,参考Van Keulen等<sup>[12]</sup>和McCarthy等<sup>[13]</sup>的方法。

$$AIA = [(Wf - Wc) / Ws] \times 100.$$

式中:AIA为酸不溶灰分含量(%);Wf为坩埚和灰分质量(g);Wc为空坩埚质量(g);Ws为风干样品质量(g)。

#### 1.4.3.2 养分表观消化率

$$AD = [(AIA_{\text{饲料}} - AIA_{\text{粪}}) / AIA_{\text{饲料}}] \times 100.$$

式中:AD为某养分表观消化率(%),AIA<sub>饲料</sub>和AIA<sub>粪</sub>分别为饲料和粪中酸不溶灰分含量(%).

## 1.5 数据分析

试验数据采用Excel进行初步分析,使用SPSS 17.0软件进行方差分析,Duncan氏法多重比较进行组间差异显著性检验,结果用“平均值±标准差”表示,以P<0.01和P<0.05分别表示差异显著和极显著判断标准。

## 2 结果与分析

### 2.1 DM 瘤胃降解率和降解特性

由表3可知,15%组的DM瘤胃降解率在6、12、24和36 h时均显著高于对照组(P<0.05),与20%组无显著差异(P>0.05),在12和24 h时显著高于10%组(P<0.05),在6、12、24和36 h时,10%组、20%组的DM瘤胃降解率与对照组相比均无显著差异(P>0.05);48及72 h时,15%组的DM瘤胃降解率极显著高于其他各组(P<0.01),10%组和20%组的DM瘤胃降解率显著或极显著高于对照组(P<0.05或P<0.01),这2组间无显著差异(P>0.05)。DM的快速降解部分以10%组最高,15%组次之,这提示与对照组和20%组相比,15%组具有较高的可利用DM;DM的慢速降解部分以15%组最高,极显著高于对照组和10%组(P<0.01),且慢速降解部分的降解速率显著高于其他各组(P<0.05);因而得出的DM的瘤胃有效降解率也以15%组最高,极显著高于其他各组(P<0.01),其他各组间无显著差异(P>0.05)。

### 2.2 OM 瘤胃降解率和降解特性

由表4可知,各时间点OM瘤胃降解率均以15%组最高,10%组次之,20%组再次之,对照组最低,同一时间点间组间差异均极显著(P<0.01)。OM的快速降解部分和潜在降解部分与各时间点OM瘤胃降解率变化规律一致,即15%组>10%组>20%组>对照组,组间差异极显著(P<0.01);15%组OM的慢速降解部分极显著高于其他各组(P<0.01),10%组极显著高于对照组和20%组(P<0.01),20%组与对照组差异不显

著 ( $P > 0.05$ ); 15% 组 OM 的慢速降解部分的降解速率显著高于其他各组 ( $P < 0.05$ ), 其他各组间差异不显著 ( $P > 0.05$ ); 15% 组 OM 的瘤胃有效降解

率极显著高于其他各组 ( $P < 0.01$ ), 10% 组和 20% 组极显著高于对照组 ( $P < 0.01$ ), 这 2 组间差异不显著 ( $P > 0.05$ )。

表 3 啤酒糟添加水平对饲料干物质瘤胃降解率和降解特性的影响

Table 3 Effects of supplemental level of BSG on ruminal degradation rate and characteristics of DM in diets

项目 Items	啤酒糟添加水平 BSG supplemental level/%			
	0	10	15	20
瘤胃降解率 Ruminal degradation rate/%				
6 h	28.00 ± 1.03 <sup>b</sup>	30.50 ± 1.22 <sup>ab</sup>	31.27 ± 0.41 <sup>a</sup>	29.22 ± 1.61 <sup>ab</sup>
12 h	40.58 ± 0.61 <sup>b</sup>	40.11 ± 1.03 <sup>b</sup>	42.76 ± 1.23 <sup>a</sup>	41.89 ± 1.13 <sup>ab</sup>
24 h	49.03 ± 1.01 <sup>b</sup>	48.82 ± 0.58 <sup>b</sup>	51.58 ± 1.41 <sup>a</sup>	49.26 ± 0.70 <sup>ab</sup>
36 h	56.50 ± 0.74 <sup>b</sup>	57.39 ± 0.65 <sup>ab</sup>	58.47 ± 0.67 <sup>a</sup>	57.41 ± 0.35 <sup>ab</sup>
48 h	60.24 ± 0.40 <sup>Cc</sup>	62.03 ± 0.58 <sup>Bb</sup>	66.50 ± 1.14 <sup>Aa</sup>	62.75 ± 0.90 <sup>Bb</sup>
72 h	64.74 ± 0.74 <sup>Bc</sup>	66.67 ± 0.82 <sup>Bb</sup>	69.79 ± 0.39 <sup>Aa</sup>	66.63 ± 0.81 <sup>Bb</sup>
瘤胃降解特性 Ruminal degradation characteristics				
快速降解部分 Rapidly degraded part/%	19.20 ± 1.29 <sup>Bb</sup>	22.93 ± 1.04 <sup>Aa</sup>	22.92 ± 0.39 <sup>Aa</sup>	17.33 ± 1.15 <sup>Bb</sup>
慢速降解部分 Slowly degraded part/%	46.94 ± 0.34 <sup>Bb</sup>	46.93 ± 0.90 <sup>Bb</sup>	51.64 ± 0.32 <sup>Aa</sup>	51.62 ± 0.68 <sup>Aa</sup>
潜在降解部分 Potentially degraded part/%	66.14 ± 1.00 <sup>Cc</sup>	69.88 ± 1.89 <sup>Bb</sup>	73.88 ± 0.39 <sup>Aa</sup>	68.95 ± 1.56 <sup>BCb</sup>
慢速降解部分的降解速率 Degradation rate of slowly degraded part/(%/h)	0.03 ± 0.00 <sup>b</sup>	0.03 ± 0.00 <sup>b</sup>	0.04 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.03 ± 0.00 <sup>b</sup>
瘤胃有效降解率 Ruminal effective degradation rate/%	47.07 ± 0.67 <sup>Bb</sup>	48.00 ± 0.51 <sup>Bb</sup>	50.13 ± 0.70 <sup>Aa</sup>	47.24 ± 0.61 <sup>Bb</sup>

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 ( $P > 0.05$ )。下表同。

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

表 4 啤酒糟添加水平对饲料有机物瘤胃降解率和降解特性的影响

Table 4 Effects of supplemental level of BSG on ruminal degradation rate and characteristics of OM in diets

项目 Items	啤酒糟添加水平 BSG supplemental level/%			
	0	10	15	20
瘤胃降解率 Ruminal degradation rate/%				
6 h	16.77 ± 0.77 <sup>Dd</sup>	30.73 ± 0.69 <sup>Bb</sup>	35.48 ± 1.09 <sup>Aa</sup>	23.67 ± 0.27 <sup>Cc</sup>
12 h	26.68 ± 0.40 <sup>Dd</sup>	39.69 ± 0.47 <sup>Bb</sup>	50.33 ± 0.60 <sup>Aa</sup>	34.61 ± 1.10 <sup>Cc</sup>
24 h	36.34 ± 1.10 <sup>Dd</sup>	48.85 ± 0.58 <sup>Bb</sup>	63.59 ± 0.24 <sup>Aa</sup>	44.64 ± 0.83 <sup>Cc</sup>
36 h	42.53 ± 1.33 <sup>Dd</sup>	56.81 ± 1.32 <sup>Bb</sup>	70.26 ± 0.93 <sup>Aa</sup>	49.55 ± 0.60 <sup>Cc</sup>
48 h	46.24 ± 2.13 <sup>Dd</sup>	61.59 ± 0.69 <sup>Bb</sup>	73.75 ± 0.26 <sup>Aa</sup>	54.65 ± 0.97 <sup>Cc</sup>
72 h	49.38 ± 0.50 <sup>Dd</sup>	63.95 ± 0.91 <sup>Bb</sup>	75.63 ± 1.94 <sup>Aa</sup>	56.25 ± 1.42 <sup>Cc</sup>
瘤胃降解特性 Ruminal degradation characteristics				
快速降解部分 Rapidly degraded part/%	6.42 ± 0.08 <sup>Dd</sup>	20.63 ± 0.54 <sup>Bb</sup>	16.11 ± 0.35 <sup>Aa</sup>	11.95 ± 0.47 <sup>Cc</sup>
慢速降解部分 Slowly degraded part/%	44.02 ± 1.24 <sup>Cc</sup>	45.26 ± 0.35 <sup>Bb</sup>	59.74 ± 1.36 <sup>Aa</sup>	42.18 ± 1.63 <sup>Cc</sup>
潜在降解部分 Potentially degraded part/%	50.44 ± 1.48 <sup>Dd</sup>	65.89 ± 1.35 <sup>Bb</sup>	75.85 ± 0.63 <sup>Aa</sup>	54.12 ± 1.25 <sup>Cc</sup>
慢速降解部分的降解速率 Degradation rate of slowly degraded part/(%/h)	0.04 ± 0.00 <sup>b</sup>	0.05 ± 0.00 <sup>b</sup>	0.06 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.04 ± 0.00 <sup>b</sup>
瘤胃有效降解率 Ruminal effective degradation rate/%	33.24 ± 1.25 <sup>Cc</sup>	40.00 ± 0.59 <sup>Bb</sup>	57.04 ± 1.65 <sup>Aa</sup>	39.58 ± 1.22 <sup>Bb</sup>

### 2.3 NDF 瘤胃降解率和降解特性

由表 5 可知, 各组 NDF 的降解主要集中在 24 h 内, 各组 NDF 的 24 h 瘤胃降解率无显著差异 ( $P > 0.05$ ), 之后各时间点的 NDF 瘤胃降解率逐渐趋于平稳, 以 15% 组最高, 36 h 时 15% 组的 NDF 瘤胃降解率显著高于对照组 ( $P < 0.05$ ), 10% 组和 20% 组与其他 2 组均无显著差异 ( $P > 0.05$ ); 至 48 及 72 h 时, 15% 组的 NDF 瘤胃降解率显著或极显著高于其他各组 ( $P < 0.05$  或  $P < 0.01$ ), 10% 组显著或极显著高于对照组和 20% 组

( $P < 0.01$  或  $P < 0.05$ ), 20% 组与对照组无显著差异 ( $P > 0.05$ )。各组 NDF 的快速降解部分和慢速降解部分均以 15% 组最高, 显著或极显著高于其他各组 ( $P < 0.05$  或  $P < 0.01$ ); 15% 组 NDF 的慢速降解部分的降解速率显著高于其他各组 ( $P < 0.01$ ); 因而得出 15% 组的 NDF 瘤胃有效降解率也极显著高于其他各组 ( $P < 0.01$ ), 10% 组显著高于对照组和 20% 组 ( $P < 0.05$ ), 对照组和 20% 组无显著差异 ( $P > 0.05$ )。

表 5 啤酒糟添加水平对饲料中性洗涤纤维瘤胃降解率和降解特性的影响

Table 5 Effects of supplemental level of BSG on ruminal degradation rate and characteristics of NDF in diets

项目 Items	啤酒糟添加水平 BSG supplemental level/%			
	0	10	15	20
瘤胃降解率 Ruminal degradation rate/%				
6 h	15.35 ± 0.27 <sup>b</sup>	16.65 ± 1.10 <sup>ab</sup>	17.35 ± 1.46 <sup>a</sup>	15.87 ± 0.47 <sup>ab</sup>
12 h	26.65 ± 0.48 <sup>Bb</sup>	27.47 ± 0.89 <sup>Bb</sup>	29.62 ± 0.52 <sup>Aa</sup>	26.51 ± 0.50 <sup>Bb</sup>
24 h	34.36 ± 0.81	35.12 ± 1.09	35.72 ± 0.27	35.61 ± 0.83
36 h	39.67 ± 0.42 <sup>b</sup>	40.35 ± 1.11 <sup>ab</sup>	41.65 ± 0.80 <sup>a</sup>	40.45 ± 0.60 <sup>ab</sup>
48 h	43.88 ± 0.89 <sup>Bc</sup>	45.85 ± 0.71 <sup>ABb</sup>	47.79 ± 1.07 <sup>Aa</sup>	43.92 ± 0.94 <sup>Bc</sup>
72 h	47.85 ± 0.69 <sup>Cc</sup>	51.35 ± 0.57 <sup>Bb</sup>	55.28 ± 0.76 <sup>Aa</sup>	47.48 ± 0.70 <sup>Cc</sup>
瘤胃降解特性 Ruminal degradation characteristics				
快速降解部分 Rapidly degraded part/%	6.28 ± 0.07 <sup>Bc</sup>	9.68 ± 0.96 <sup>Ab</sup>	12.07 ± 1.78 <sup>Aa</sup>	5.15 ± 0.40 <sup>Bc</sup>
慢速降解部分 Slowly degraded part/%	42.35 ± 0.64 <sup>Cc</sup>	44.61 ± 0.80 <sup>Bb</sup>	49.30 ± 0.85 <sup>Aa</sup>	42.58 ± 0.52 <sup>Cc</sup>
潜在降解部分 Potentially degraded part/%	48.64 ± 0.64 <sup>Cc</sup>	54.30 ± 0.40 <sup>Bb</sup>	61.48 ± 0.63 <sup>Aa</sup>	47.73 ± 0.72 <sup>Cc</sup>
慢速降解部分的降解速率 Degradation rate of slowly degraded part/(%/h)	0.02 ± 0.00 <sup>d</sup>	0.03 ± 0.00 <sup>c</sup>	0.05 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.04 ± 0.00 <sup>b</sup>
瘤胃有效降解率 Ruminal effective degradation rate/%	31.71 ± 0.84 <sup>Bc</sup>	33.39 ± 0.89 <sup>Bb</sup>	35.29 ± 0.90 <sup>Aa</sup>	31.94 ± 0.60 <sup>Bc</sup>

### 2.4 ADF 瘤胃降解率和降解特性

由表 6 可知, 各组 ADF 的瘤胃降解趋势基本一致, 均主要集中在 24 h 以内, 之后各时间点的降解率升高幅度变慢; 24 和 36 h 时, 15% 组和 20% 组的 ADF 瘤胃降解率显著高于对照组 ( $P < 0.05$ ), 10% 组、15% 组和 20% 组之间无显著差异 ( $P > 0.05$ ); 48 h 时各组 ADF 瘤胃降解率无显著差异 ( $P > 0.05$ ); 对照组和 10% 组 ADF 的 72 h 瘤胃降解率显著低于 15% 组 ( $P < 0.05$ ), 但与 20% 组无显著差异 ( $P > 0.05$ ), 15% 组与 20% 组之间无差异显著 ( $P > 0.05$ )。ADF 的快速降解部分各组间差异极显著 ( $P < 0.01$ ), 以 10% 组最高, 20% 组最低; ADF 的慢速降解部分以 20% 组最高, 极显著高于其他各组 ( $P < 0.01$ ), 10% 组最低, 极显

著低于其他各组 ( $P < 0.01$ ); 以上结果提示, 各组间 ADF 的慢速降解部分的可利用程度与快速降解部分达到平衡, 因而各组的 ADF 瘤胃有效降解率之间无显著差异 ( $P > 0.05$ )。

### 2.5 CP 瘤胃降解率和降解特性

由表 7 可知, 12 ~ 36 h 内对照组的 CP 瘤胃降解率与其他各组均无显著差异 ( $P > 0.05$ ), 说明各组 CP 在 36 h 内的降解程度接近; 48 h 时的 CP 瘤胃降解率随 BSG 添加水平的增加逐渐降低, 以对照组最高, 显著高于 15% 组和 20% 组 ( $P < 0.05$ ), 与 10% 组无显著差异 ( $P > 0.05$ ), 10% 组、15% 组和 20% 组间无显著差异 ( $P > 0.05$ ); 72 h 时各组的 CP 瘤胃降解率无显著差异 ( $P < 0.05$ )。与对照组相比, 10%、15% 和 20% 组的 CP 的快速降解

部分无显著变化( $P > 0.05$ );15%组和20%组CP的慢速降解部分显著高于对照组( $P < 0.05$ ),与10%组无显著差异( $P > 0.05$ );各组CP慢速降解部分的降解速率无显著差异( $P > 0.05$ );因而对照

组的CP瘤胃有效降解率显著高于15%组和20%组( $P < 0.05$ ),与10%组无显著差异( $P > 0.05$ ),10%组、15%组和20%组之间无显著差异( $P > 0.05$ )。

表6 啤酒糟添加水平对饲料酸性洗涤纤维瘤胃降解率和降解特性的影响

Table 6 Effects of supplemental level of BSG on ruminal degradation rate and characteristics of ADF in diets

项目 Items	啤酒糟添加水平 BSG supplemental level/%			
	0	10	15	20
瘤胃降解率 Ruminal degradation rate/%				
6 h	15.27 ± 1.91 <sup>b</sup>	16.87 ± 0.77 <sup>a</sup>	15.87 ± 0.52 <sup>ab</sup>	15.36 ± 0.34 <sup>b</sup>
12 h	26.15 ± 0.90 <sup>a</sup>	26.98 ± 0.40 <sup>a</sup>	27.12 ± 0.36 <sup>a</sup>	26.91 ± 0.93 <sup>a</sup>
24 h	35.96 ± 0.97 <sup>b</sup>	36.24 ± 1.10 <sup>ab</sup>	37.54 ± 0.53 <sup>a</sup>	37.58 ± 0.22 <sup>a</sup>
36 h	41.36 ± 0.90 <sup>b</sup>	42.25 ± 1.30 <sup>ab</sup>	43.98 ± 0.59 <sup>a</sup>	43.65 ± 0.29 <sup>a</sup>
48 h	46.52 ± 1.07	46.14 ± 2.13	48.68 ± 2.01	48.69 ± 0.14
72 h	48.93 ± 0.83 <sup>b</sup>	49.35 ± 0.50 <sup>b</sup>	51.36 ± 0.28 <sup>a</sup>	51.36 ± 2.31 <sup>ab</sup>
瘤胃降解特性 Ruminal degradation characteristics				
快速降解部分 Rapidly degraded part/%	4.00 ± 0.08 <sup>Cc</sup>	6.42 ± 0.08 <sup>Aa</sup>	4.57 ± 0.10 <sup>Bb</sup>	2.97 ± 0.14 <sup>Dd</sup>
慢速降解部分 Slowly degraded part/%	46.03 ± 1.57 <sup>Bb</sup>	44.02 ± 1.24 <sup>Cc</sup>	47.02 ± 0.83 <sup>Bb</sup>	49.48 ± 1.02 <sup>Aa</sup>
潜在降解部分 Potentially degraded part/%	50.03 ± 1.63 <sup>Bc</sup>	50.44 ± 1.48 <sup>ABab</sup>	51.59 ± 0.57 <sup>Aa</sup>	52.46 ± 0.58 <sup>Aa</sup>
慢速降解部分的降解速率 Degradation rate of slowly degraded part/(%/h)	0.05 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.04 ± 0.00 <sup>b</sup>	0.04 ± 0.00 <sup>b</sup>	0.05 ± 0.00 <sup>a</sup>
瘤胃有效降解率 Ruminal effective degradation rate/%	32.46 ± 1.36	33.24 ± 1.25	33.46 ± 0.85	33.76 ± 0.57

表7 啤酒糟添加水平对饲料粗蛋白质瘤胃降解率和降解特性的影响

Table 7 Effects of supplemental level of BSG on ruminal degradation rate and characteristics of CP in diets

项目 Items	啤酒糟添加水平 BSG supplemental level/%			
	0	10	15	20
瘤胃降解率 Ruminal degradation rate/%				
6 h	16.25 ± 0.69 <sup>a</sup>	14.16 ± 0.58 <sup>b</sup>	15.56 ± 0.91 <sup>ab</sup>	14.95 ± 0.96 <sup>ab</sup>
12 h	30.98 ± 0.75	29.36 ± 0.79	30.13 ± 0.60	29.65 ± 1.23
24 h	36.91 ± 0.31	37.35 ± 0.84	36.56 ± 0.24	36.58 ± 0.75
36 h	45.61 ± 0.69	43.59 ± 1.69	43.16 ± 1.93	42.36 ± 1.52
48 h	48.11 ± 1.60 <sup>a</sup>	48.53 ± 0.44 <sup>ab</sup>	46.65 ± 0.45 <sup>b</sup>	46.88 ± 0.67 <sup>b</sup>
72 h	51.90 ± 1.66	50.71 ± 1.14	49.53 ± 0.85	49.83 ± 0.52
瘤胃降解特性 Ruminal degradation characteristics				
快速降解部分 Rapidly degraded part/%	2.60 ± 0.14	2.16 ± 0.87	2.41 ± 1.23	2.43 ± 1.14
慢速降解部分 Slowly degraded part/%	46.66 ± 0.63 <sup>b</sup>	48.71 ± 0.63 <sup>ab</sup>	49.21 ± 1.28 <sup>a</sup>	49.69 ± 0.59 <sup>a</sup>
潜在降解部分 Potentially degraded part/%	49.67 ± 1.21	49.85 ± 1.12	49.88 ± 1.15	49.63 ± 0.69
慢速降解部分的降解速率 Degradation rate of slowly degraded part/(%/h)	0.04 ± 0.00	0.04 ± 0.00	0.04 ± 0.00	0.04 ± 0.00
瘤胃有效降解率 Ruminal effective degradation rate/%	40.51 ± 0.72 <sup>a</sup>	36.96 ± 0.56 <sup>ab</sup>	35.44 ± 1.76 <sup>b</sup>	33.32 ± 1.74 <sup>b</sup>

## 2.6 养分采食量和表观消化率

由表 8 可知,各养分采食量和表观消化率均随 BSG 添加水平的增加呈先上升后下降趋势,DM、OM、NDF、ADF 和 CP 采食量以 15% 组最高,除 ADF 采食量与 20% 组无显著差异 ( $P > 0.05$ ) 外,15% 组的其余采食量指标均显著高于其他各组 ( $P < 0.05$ );与对照组相比,10% 组和 20% 组的 DM、OM、NDF、ADF、CP 采食量均显著升高 ( $P <$

0.05)。DM、OM、NDF、ADF、CP 表观消化率均以 15% 组最高,显著高于对照组 ( $P < 0.05$ ),但与其他 2 组无显著差异 ( $P > 0.05$ ),10% 组和 20% 组的 DM、OM、NDF、ADF、CP 表观消化率无显著差异 ( $P > 0.05$ ),除 20% 组的 NDF 表观消化率显著高于对照组 ( $P < 0.05$ ) 外,10% 组和 20% 组其余各项养分表观消化率与对照组均无显著差异 ( $P > 0.05$ )。

表 8 啤酒糟添加水平对养分采食量和表观消化率的影响

Table 8 Effects of supplemental level of BSG on intake and apparent digestibilities of nutrients

项目 Items	啤酒糟添加水平 BSG supplemental level/%			
	0	10	15	20
采食量 Intake/(g/d)				
干物质 DM	998.32 ± 112.60 <sup>c</sup>	1 040.59 ± 78.61 <sup>b</sup>	1 139.65 ± 68.22 <sup>a</sup>	1 059.26 ± 86.43 <sup>b</sup>
有机物 OM	934.02 ± 28.91 <sup>c</sup>	973.23 ± 16.96 <sup>b</sup>	1062.52 ± 29.54 <sup>a</sup>	978.63 ± 19.55 <sup>b</sup>
中性洗涤纤维 NDF	456.78 ± 89.67 <sup>c</sup>	595.52 ± 68.13 <sup>b</sup>	653.28 ± 59.92 <sup>a</sup>	496.88 ± 79.84 <sup>b</sup>
酸性洗涤纤维 ADF	197.32 ± 33.12 <sup>c</sup>	235.46 ± 25.91 <sup>b</sup>	259.26 ± 4.22 <sup>a</sup>	254.88 ± 35.60 <sup>ab</sup>
粗蛋白质 CP	132.75 ± 25.61 <sup>c</sup>	193.12 ± 11.65 <sup>b</sup>	218.52 ± 10.58 <sup>a</sup>	197.95 ± 10.33 <sup>b</sup>
表观消化率 Apparent digestibility/%				
干物质 DM	63.65 ± 3.21 <sup>b</sup>	67.69 ± 3.42 <sup>ab</sup>	68.56 ± 1.68 <sup>a</sup>	67.49 ± 3.94 <sup>ab</sup>
有机物 OM	62.77 ± 1.49 <sup>b</sup>	64.92 ± 2.49 <sup>ab</sup>	66.79 ± 1.51 <sup>a</sup>	63.22 ± 2.26 <sup>ab</sup>
中性洗涤纤维 NDF	65.42 ± 2.32 <sup>b</sup>	68.02 ± 1.05 <sup>ab</sup>	70.05 ± 2.17 <sup>a</sup>	70.32 ± 1.12 <sup>a</sup>
酸性洗涤纤维 ADF	61.12 ± 3.39 <sup>b</sup>	63.11 ± 2.46 <sup>ab</sup>	64.89 ± 1.65 <sup>a</sup>	62.39 ± 1.26 <sup>ab</sup>
粗蛋白质 CP	55.29 ± 1.16 <sup>b</sup>	56.63 ± 2.71 <sup>ab</sup>	59.96 ± 1.23 <sup>a</sup>	58.59 ± 1.68 <sup>ab</sup>

## 3 讨论

### 3.1 BSG 添加水平对饲料 DM 和 OM 瘤胃降解率及降解特性的影响

康奈尔净碳水化合物和蛋白质体系 (Cornell net carbohydrates and protein system, CNCPS) 将饲料碳水化合物部分分为 4 大类:快速降解部分、中速降解部分、慢速降解部分和不可降解细胞壁,其中前 2 部分构成了饲料的非结构碳水化合物 (NSC) 部分,后 2 部分构成了饲料的结构碳水化合物 (SC) 部分。本试验结果表明,添加 BSG 可提高 DM、OM 瘤胃降解率和有效降解率,15% 组的 DM、OM 的快速降解部分、慢速降解部分及其降解速率均高于其他组,即提高了饲料的潜在可利用部分,15% 组的 DM、OM 瘤胃降解率和有效降解率随之提高;20% 组的 DM、OM 慢速降解部分增加,但其慢速降解部分的降解速率降低,DM、OM 瘤胃降解率和有效降解率随之降低。推断其原因可能是添加 BSG 可提高饲料的蛋白质水平,

添加水平在 15% 时可促进瘤胃微生物生长,提高微生物菌体蛋白产量和纤维素分解酶活性,促进纤维物质分解利用<sup>[14]</sup>;由 BSG 营养成分(表 1)可知,BSG 中 NDF 含量较高,可使纤维物质的慢速降解部分和不消化部分的比例增加,即 SC/NSC 提高,20% 组的 DM、OM 慢速降解部分提高,但慢速降解部分的降解速率降低,DM、OM 瘤胃降解率和有效降解率随之降低,饲料在瘤胃中的滞留时间延长,瘤胃充盈程度提高,导致 DM、OM 采食量降低。霍鲜鲜等<sup>[15]</sup>与谭支良<sup>[16]</sup>均研究认为,在反刍动物饲料中有一个理想的 SC/NSC 可使得纤维物质的消化率达到最高。禹爱兵等<sup>[17]</sup>和吴秋钰等<sup>[18]</sup>研究表明,随 SC/NSC 的降低,DM 和 OM 瘤胃降解率显著升高。本试验结果与上述结果一致。

### 3.2 BSG 添加水平对饲料 NDF 瘤胃降解率及降解特性的影响

NDF 主要是不溶性的非淀粉多糖和木质素,由纤维素、半纤维素和木质素组成,是饲料中的不

溶性纤维。反刍动物对饲料纤维物质的消化主要依靠瘤胃微生物产生的纤维素分解酶,纤维成分的瘤胃降解率随在瘤胃中滞留时间的延长相应增加。Cheema 等<sup>[19]</sup>认为,当饲料 CP 水平升高时,瘤胃微生物数量增加、活性增强,可提高 DM 和纤维成分的消化率。本试验结果表明,10% 组和 15% 组的饲料 NDF 瘤胃降解率和有效降解率均高于对照组,且这 2 组的快速降解部分和慢速降解部分均显著高于对照组,慢速降解部分的降解速率也较高,说明饲料中添加 10% ~ 15% 的 BSG 水平不会降低 NDF 的瘤胃降解率和有效降解率,反而可以提高饲料中 NDF 的潜在可利用部分。NDF 的降解率主要取决于其慢速降解部分的可消化程度及在瘤胃中的流通速率,饲料中能量和蛋白质降解的速率匹配与否也是影响纤维成分消化率的重要因素之一。本试验中 20% 组的 NDF 瘤胃降解率和有效降解率低于 15% 组,可能是由于 BSG 提高了饲料 NDF 和过瘤胃蛋白质含量的缘故。由 BSG 营养成分可知,BSG 中粗脂肪和 NDF 含量较高,而 ADF 含量较少,易降解为挥发性脂肪酸,产生可利用能,BSG 添加水平为 15% 时,饲料中 NDF 含量升高,NDF 分解产生的可利用能与瘤胃内的氮浓度相平衡,NDF 瘤胃降解率达到最大,BSG 添加水平提高至 20% 时,虽可提供一定量的氮源,但由于 BSG 中的 CP 瘤胃降解率较低,限制了瘤胃微生物的生长繁殖,导致瘤胃微生物活性和 NDF 瘤胃降解率降低,瘤胃中淀粉和纤维素分解菌对氮源的竞争作用可进一步限制 NDF 慢速降解部分的降解速率,因此推测,这可能是 NDF 瘤胃降解率和有效降解率降低的主要原因。Valkeners 等<sup>[20]</sup>研究表明,虽然饲料中能氮不平衡对十二指肠微生物氮和微生物的生长效率无影响,但是却显著降低 NDF 降解率。本试验结果与上述一致。

### 3.3 BSG 添加水平对饲料 ADF 瘤胃降解率及降解特性的影响

NDF 包括纤维素、半纤维素和木质素,ADF 包括纤维素和木质素,作为 NDF 的一部分,NDF 的降解率在一定程度上影响 ADF 的有效降解率,本试验中,饲料的 ADF 瘤胃降解率随 BSG 添加水平增加而提高,但 ADF 瘤胃有效降解率并无显著提高,可能是由于 BSG 中 ADF 含量低于 NDF 含量,NDF 水平的提高虽相应提高了 ADF 含量,但

ADF 本身不易被瘤胃微生物降解,影响其在消化道的吸收利用。饲料 ADF 快速降解部分在 BSG 添加水平为 10% 时到达最高,随后开始降低,可能是由于 BSG 增加了饲料中 ADF 的快速降解部分,ADF 快速降解部分产生能量的速率与 BSG 增加所补充的 CP 部分降解产生的氨氮浓度较为匹配,瘤胃微生物的生长繁殖加快,瘤胃消化能力增强,但 BSG 添加水平的进一步提高未能提供足够的可与 NDF 释放速率相匹配的氨氮浓度,BSG 添加水平超过 10% 后,NDF 和 ADF 快速降解部分下降,慢速降解部分升高,NDF 的消化率下降的同时也影响了 ADF 瘤胃降解率,而 ADF 慢速降解部分的降解速率的提高幅度较小,这也影响了 ADF 在瘤胃中的降解率,故 BSG 水平的高低能影响 ADF 的 72 h 瘤胃降解率但对有效降解率无影响。因此可知,供给瘤胃微生物足够的氮源对获得最大纤维消化能力是非常重要的<sup>[21]</sup>,应该找到适合的氮源比例从而保证反刍动物的营养需要和最适合瘤胃微生物生长环境之间的平衡点<sup>[22]</sup>,使饲料纤维物质在瘤胃中的降解率得到最大程度的提高。

### 3.4 BSG 添加水平对饲料 CP 的瘤胃降解率及降解特性的影响

饲料中的蛋白质在瘤胃内降解产生的氮源是维持瘤胃微生物生长繁殖的主要来源,蛋白质在瘤胃中的降解速率主要取决于饲料本身的特性,饲料在瘤胃内发酵时间的长短决定了可溶性和非可溶性蛋白质的降解程度。蛋白质的降解率是其在瘤胃内停留时间的函数<sup>[10]</sup>,Cheema 等<sup>[19]</sup>报道的饲料 CP 水平与表观消化率呈正相关,本试验中 CP 的瘤胃降解率和有效降解率随 BSG 添加水平的提高逐渐下降,其中以对照组的 CP 瘤胃降解率和有效降解率最高,与上述研究结果相反。刘学杰<sup>[23]</sup>研究表明,BSG 中的 CP 含量相当丰富,这些 CP 大部分是不溶性的,在瘤胃中降解度较小,少量的经过瘤胃发酵而提供 B 族维生素和其他养分。本试验中 CP 的瘤胃降解率和有效降解率逐渐下降的原因可能与 BSG 本身的特性有关,啤酒酿制过程中温度的升高使得麦芽中的蛋白质和糖发生了非酶褐变反应,其结合产物可提高 BSG 中非可溶性蛋白即过瘤胃蛋白质的含量,过瘤胃蛋白质不易被瘤胃中的微生物分解利用,降低了 BSG 中 CP 在瘤胃中可消化率,随着 BSG 添加水平的提高,饲料中过瘤胃蛋白质含量相应增加,



BSG 本身的降解特性可增加饲料 CP 的慢速降解部分,降低饲料 CP 瘤胃降解率,此时 CP 的瘤胃降解率与 BSG 添加水平的提高呈相反趋势,导致 CP 的瘤胃有效降解率随之下降。本试验结果与上述研究结果相符。

### 3.5 BSG 添加水平对饲料养分采食量和表观消化率的影响

饲料养分表观消化率是影响反刍动物采食量的重要因素之一,饲料养分瘤胃降解率和表观消化率增加的同时,各养分采食量也相应得到提高。本试验结果表明,添加 BSG 可不同程度提高各养分采食量和表观消化率,其中 BSG 添加水平达到 15% 时各项养分采食量和表观消化率指标最高,达到 20% 时开始下降,这表明添加 BSG 有利于饲料中纤维物质的分解,可在一定程度上促进饲料营养物质的分解,提高饲料有效利用率。推断其原因可能与 BSG 本身特性有关,BSG 本身 NDF 和过瘤胃蛋白质含量较高,NDF 含量增加可提高饲料慢速降解部分和快速降解部分的比例,即 SC/NSC,瘤胃微生物对 SC 部分的降解能力有限,15% 组的 SC/NSC 可能较为适宜,此时慢速降解部分分解产生的可利用能和 CP 的分解产生氨氮的浓度较为匹配,在一定程度上促进了瘤胃微生物的生长繁殖,饲料养分得到了充分的消化和利用,尚未消化部分经过小肠液的分解和肠壁的吸收后能更进一步地被吸收和利用,提高了养分的表观消化率;BSG 添加水平的进一步提高使瘤胃中 SC 未消化含量增加,降低了养分采食量,使瘤胃中饲料养分的慢速降解部分和不可降解部分含量增加,各养分表观消化率也受到影响。吴秋钰等<sup>[24]</sup>研究认为,DM 和 OM 采食量随着饲料中易消化碳水化合物和精料比例降低与 NDF 含量上升而下降。张立涛等<sup>[25]</sup>认为,饲料不同 NDF 含量显著影响肉羊的 DM 采食量、料重比和养分的表观消化率。Valdés 等<sup>[26]</sup>通过羊的自由采食试验得出,增加饲料中粗料的比例会降低 DM 和 OM 的表观消化率。本试验结果与上述研究结果具有一定相似性。

## 4 结论

综合考虑饲料养分的瘤胃降解特性、采食量和表观消化率得出,本试验条件下,饲料 DM 基础上添加 15% BSG 为最佳。

## 参考文献:

- [1] MUSSATTO S I, DRAGONE G, ROBERTO I C. Brewers spent grain generation, characteristics and potential applications [J]. *Journal of Cereal Science*, 2006, 43(1): 1-14.
- [2] MERCHEN N, HANSON T, KLOPFENSTEIN T. Ruminant bypass of brewers dried grains protein [J]. *Journal of Animal Science*, 1979, 49(1): 192-198.
- [3] CHIOU P W S, CHEN C, CHEN K J, et al. Wet brewers' grains or bean curd pomace as partial replacement of soybean meal for lactating cows [J]. *Animal Feed Science and Technology*, 1998, 74(2): 123-134.
- [4] DAVIS C L, GRENAWALT D A, MCCOY G C. Feeding value of pressed brewers' grains for lactating dairy cows [J]. *Journal of Dairy Science*, 1983, 66(1): 73-79.
- [5] 张恒牧. 奶牛喂过量啤酒糟造成严重后果 [J]. *中国奶牛*, 1996(1): 29.
- [6] 张丽英. 饲料分析及饲料质量检测技术 [M]. 3 版. 北京: 北京农业大学出版社, 2007: 49-74.
- [7] 林春健, 冯仰廉. 尼龙袋法评定饲料在反刍动物瘤胃内蛋白质降解率 [J]. *北京农业大学学报*, 1987, 13(3): 375-380.
- [8] 魏全意, 莫放. 几种能量饲料在瘤胃内的干物质降解率的研究 [J]. *饲料研究*, 1998(4): 1-2.
- [9] 冯仰廉, ØRSKOV E R. 用尼龙袋法测定几种中国精饲料在瘤胃中的降解率及该方法的稳定性的研究 [J]. *中国畜牧兽医杂志*, 1984(5): 2-5.
- [10] ØRSKOV E R, MCDONALD L. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to the rate of passage [J]. *The Journal of Agricultural Science*, 1979, 92(2): 499-503.
- [11] 颜品勋, 冯仰廉, 莫放, 等. 青粗饲料通过牛瘤胃外流速度的研究 [J]. *动物营养学报*, 1994, 6(2): 20-22.
- [12] VAN KEULEN J, YOUNG B A. Evaluation of acid insoluble ash as a natural marker in ruminants digestibility studies [J]. *Journal of Animal Science*, 1997, 44(2): 282-287.
- [13] MCCARTHY J F, AHERNEF X, OKAID B. Use of HCl insoluble ash as an index material for determining apparent digestibility with pigs [J]. *Canadian Journal of Animal Science*, 1974, 54(1): 107-109.
- [14] 杨璐玲, 吕永艳, 张杰杰, 等. 啤酒糟对瘤胃发酵参

- 数及纤维素酶活性的影响[J]. 动物营养学报, 2013, 25(10): 2414 - 2421.
- [15] 霍鲜鲜, 侯先志, 赵志恭. 日粮不同碳水化合物比例对绵羊瘤胃内纤维物质降解率的影响[J]. 甘肃畜牧兽医, 2004, 34(1): 6 - 11.
- [16] 谭支良. 绵羊日粮中不同碳水化合物和氮源比例对纤维物质消化动力学的影响及组合效应评估模型[D]. 博士学位论文. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 1998: 42 - 46.
- [17] 禹爱兵, 范忠军, 周永康, 等. 不同碳水化合物结构组成日粮在徐淮白山羊消化道内降解利用的研究[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(12): 7157 - 7160, 7167.
- [18] 吴秋珏. 饲料结构与非结构碳水化合物比例与绵羊消化代谢及瘤胃代谢参数[D]. 硕士学位论文. 兰州: 甘肃农业大学, 2005.
- [19] CHEEMA A U, GALYEAN M L, CATON J S, et al. Influence of protein levels and naloxone on intake, nitrogen metabolism and digestion kinetics in lambs fed oats hay or barley straw [J]. Small Ruminant Research, 1991, 5(1/2): 35 - 46.
- [20] VALKENERS D, THÉIOWIS A, PIRON F, et al. Effect of imbalance between energy and nitrogen supplies on microbial protein synthesis and nitrogen metabolism in growing double-muscled Belgian Blue bulls [J]. Journal of Animal Science, 2004, 82(6): 1818 - 1825.
- [21] MADSEN J, HVELPLUND T. Protein degradation in the rumen institute of animal science for ruminants [M]. Frederiksberg: The Royal Veterinary and Agricultural University, 1990: 103 - 124.
- [22] LENG R A, NOLAN J V. Nitrogen metabolism in the rumen [J]. Journal of Dairy Science, 1990, 67(5): 1072 - 1089.
- [23] 刘学杰. 啤酒糟对奶牛产奶量的影响[J]. 中国奶牛, 1988(4): 37 - 39.
- [24] 吴秋钰, 郝正里, 李发弟, 等. 饲料结构与非结构碳水化合物比例对绵羊消化代谢的影响[J]. 畜牧兽医学报, 2009, 40(1): 66 - 71.
- [25] 张立涛, 李艳玲, 王金文, 等. 不同中性洗涤纤维水平饲料对肉羊生长性能和营养成分表观消化率的影响[J]. 动物营养学报, 2013, 25(2): 433 - 440.
- [26] VALDÉS C, CARRO M D, RANILLA M J, et al. Effect of forage to concentrate ratio complete diets offered to sheep on voluntary food intake and some digestive parameters [J]. Animal Science, 2000, 70(1): 119 - 126.

## Effects of Brewer's Grains on Ruminal Degradation Characteristics and Apparent Digestibilities of Dietary Nutrients

YANG Luling<sup>1</sup> LYU Yongyan<sup>1</sup> SONG Xihai<sup>2</sup> SUN Guoqiang<sup>1\*</sup>

(1. College of Animal Science and Technology Academy, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China;

2. Laizhou Chaipeng Animal Husbandry and Veterinary Station, Laizhou 261435, China)

**Abstract:** This experiment was conducted to investigate the effects of different supplemental levels of brewer's grains (BSG) on ruminal degradation characteristics and apparent digestibilities of dietary nutrients. Four healthy *Laoshan* dairy goats [(40.0 ± 2.5) kg] with permanent ruminal cannulas were used, and a 4 × 4 Latin square design was adopted in this experiment. Based on dry matter (DM) of a basal diet, goats were supplemented with 0, 10%, 15% and 20% BSG, respectively. Ruminal degradation characteristics and apparent digestibilities of dietary nutrients were determined using the methods of nylon bag and endogenous indicator, respectively. The results showed as follows: 1) BSG supplemental level had significant effects on ruminal degradation rates of nutrients excluding that of crude protein (CP) at 72 h ( $P < 0.05$  or  $P < 0.01$ ), and significantly increased ruminal effective degradation rates of DM, organic matter (OM) and neutral detergent fiber (NDF) ( $P < 0.05$  or  $P < 0.01$ ), but had no significant effect on ruminal effective degradation rate of acid detergent fiber (ADF) ( $P > 0.05$ ). 2) BSG supplemental level had significant effects on nutrient intake ( $P < 0.05$ ), and supplemented with 15% BSG had the highest nutrient intake. 3) Compared with the control group, the supplementation of 10% BSG had no significant effects on apparent digestibilities of nutrients ( $P > 0.05$ ); the supplementation of 15% BSG significantly increased apparent digestibilities of DM, OM, NDF, ADF and CP ( $P < 0.05$ ); the apparent digestibility of NDF was significantly increased when the supplemental level of BSG was 20% ( $P < 0.05$ ), but not for the rest nutrients ( $P > 0.05$ ). Considering ruminal degradation characteristics, intake and apparent digestibilities of dietary nutrients, the optimal supplemental level of BSG is 15% in the basal diet (DM basis) under the conditions of the present experiment. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2014, 26(3):792-802]

**Key words:** brewer's grains; ruminal degradation characteristic; ruminal effective degradation rate; apparent digestibility

\* Corresponding author, professor, E-mail: qdnydxsgq@126.com