

菌糠与奶牛常用粗饲料瘤胃降解特性的对比研究

宫福臣^{1,2} 韩梅琳¹ 杨琼² 李杰² 孙晓红^{1*}

(1. 北京市农林科学院, 北京 100097; 2. 东北农业大学动物科学技术学院, 哈尔滨 150030)

摘要: 为了系统研究菌糠用作反刍动物饲料的饲用价值, 选用 3 只安装永久性瘤胃瘘管的荷斯坦奶牛为试验动物, 采用 3 × 3 拉丁方设计, 通过尼龙袋法对菌糠、羊草、玉米秸的干物质 (DM)、粗蛋白质 (CP)、中性洗涤纤维 (NDF) 和酸性洗涤纤维 (ADF) 的瘤胃降解率进行测定。粗饲料样品在瘤胃中的培养时间分别为 0、6、12、24、36、48、72 h。结果表明: 3 种粗饲料 72 h 的 DM 降解率差异不显著 ($P > 0.05$), 而其有效降解率由高到低依次为菌糠 (29.33%)、羊草 (27.41%)、玉米秸 (23.39%), 且前两者显著高于玉米秸 ($P < 0.05$)。72 h 的 CP 降解率及其有效降解率以羊草最高, 菌糠次之, 二者与玉米秸之间差异显著 ($P < 0.05$)。玉米秸 72 h 的 NDF 降解率虽高于羊草和菌糠 ($P < 0.05$), 但 3 种粗饲料的有效降解率均较低, 由高到低依次为玉米秸 (26.12%)、菌糠 (25.72%)、羊草 (23.73%), 无显著差异 ($P > 0.05$)。而 72 h 的 ADF 降解率和有效降解率由高到低也依次为玉米秸 (25.36%)、菌糠 (24.23%)、羊草 (21.83%), 变化趋势和差异性与 NDF 降解规律相一致。由此可见, 从 3 种粗饲料在奶牛瘤胃的消化特性来看, 本试验中菌糠的饲用价值与羊草接近, 优于玉米秸, 因此菌糠作为新型反刍动物粗饲料资源切实可行。

关键词: 菌糠; 粗饲料; 尼龙袋法; 瘤胃降解特性

中图分类号: S823

文献标识码: A

文章编号: 1006-267X(2013)06-1366-09

菌糠是指以棉籽壳、木屑、玉米芯、麦麸、稻草等为主要原料, 栽培食用菌后剩余的废弃物培养基。中国是食用菌生产的大国, 据 2009 年中国食用菌协会的统计数据表明, 2008 年中国用于食用菌生产的原料约为 5 800 万 t, 在食用菌出菇后, 菌料的重量减少约 1/2 左右, 既能产生 2 900 万 t 富含菌丝的干菌糠废料。食用菌对培养料中营养成分的利用率约为 70%, 剩余基质中还有大量的已经分解好的营养物质没被利用, 是数量可观的新型饲料资源^[1-2]。Bae 等^[3]曾报道, 在以木屑为主的菌糠中, 中性洗涤纤维 (NDF) 含量为 78.2%, 酸性洗涤纤维 (ADF) 含量为 60.4%, 半纤维素含量为 17.8%, 纤维素含量为 40.4%, 木质素含量为 20.0%, 非纤维性碳水化合物含量为 7.8%, 粗

蛋白质 (CP) 含量为 7.2%, 粗脂肪含量为 2.1%, 干物质 (DM) 含量为 40.8%。在众多循环利用菌糠的方法中, 菌糠作为动物饲料被认为是最合理和富有前景的, 原因在于食用菌栽培料的成分与动物饲料成分是一样的。菌糠是食用菌产业中营养丰富的有机副产品, 全球许多研究已分析并报道了菌糠作为动物饲料的成功应用^[3-6]。但菌糠大多是替代部分猪饲料^[7-9], 已被证明可提高日增重且不影响猪的正常生长。但由于菌糠中的高粗纤维含量限制了其作为单胃动物饲料, 因此未能得到推广应用。而反刍动物瘤胃内有大量的细菌、纤毛虫和真菌, 能够利用饲料中的纤维素、半纤维素进行分解和发酵, 并转化为宿主的营养物质和能量^[10], 栽培食用菌后的菌糠里也仍含有较

收稿日期: 2012-12-17

基金项目: 国家自然科学基金项目 (51278050)

作者简介: 宫福臣 (1987—), 男, 吉林吉林人, 硕士研究生, 研究方向为动物营养与饲料科学。E-mail: gongfuchen@163.com

* 通讯作者: 孙晓红, 副研究员, 硕士生导师, E-mail: sunxiaohong19675@yahoo.com.cn

高活性的纤维素酶、半纤维素酶和漆酶,加之菌糠中残余的大量菌丝体含有一般饲料所缺乏的必需氨基酸,所以菌糠更宜用作反刍动物的粗饲料。

饲料营养物质在瘤胃中的降解特性是反刍动物饲料营养价值评定的重要指标^[11-12]。故本试验通过采用尼龙袋法^[13-16]测定菌糠与奶牛常用的2种粗饲料(羊草、玉米秸)的DM、CP、NDF和ADF在瘤胃中72 h的动态降解率的对比研究,综合评定菌糠作为反刍动物粗饲料的品质和可行性,旨在为菌糠的合理开发利用提供理论依据和技术参数。

1 材料与方 法

1.1 试验动物

选用3头装有永久性瘤胃瘘管、体况良好、2胎、泌乳中后期、产奶量为15 kg/d、体重500 kg左右的荷斯坦奶牛为试验动物。试验于中国农业大学动物营养重点实验室小牧场进行。

1.2 待测试样

玉米秸和羊草由中国农业大学动物营养国家重点实验室提供(羊草为东北羊草,玉米秸为河北采集),菌糠来自北京房山区农业科学研究所废弃的第4潮平菇菌糠,其菌料配方为:棉籽壳60%,玉米芯25%,麦麸12%,石灰2%,石膏1%。菌袋规格22 cm×45 cm。接菌菌种为平菇(*Pleurotus ostreatus*),品种为黑优抗,接菌时间为2011年9月1日,培养60 d后收获第1潮蘑菇,培养150 d后收集第4潮菌糠。

1.3 试验方法

将待测饲料样品65℃烘干后粉碎,过3 mm标准筛,装入自封袋内,保存在清洁干燥处。选择孔径为40 μm的尼龙布,制成8 cm×12 cm的尼龙袋,袋底部两角呈钝圆形,以免样本残留,尼龙袋用细涤纶线双线缝合。采用3×3拉丁方试验设计,称取饲料样品2 g左右,放入规定尼龙袋内,同时编号记录。

分别将每2个装有待测样品的尼龙袋口交叉夹于一根半软塑料管(长50 cm)的夹缝中,用橡皮筋缠绕固定。尼龙袋于晨饲前1 h将固定尼龙袋的半软塑料管连同尼龙袋一起送入瘤胃腹囊食糜中,每头牛可放6根绳,每根绳系2个袋,即每头牛一次投放12个袋。按“同时投入,依次取出”的原则进行培养。培养时间分别为0、6、12、24、36、

48和72 h。每个培养时间点从每头试验动物瘤胃中各取出1根管(连同上面所系的2个尼龙袋),直至全部取出为止。将取出的尼龙袋浸泡在冰水中,并立即用自来水冲洗,在冲洗过程中可用手轻轻挤压,直至水清为止。另装2个尼龙袋,但不将其放入瘤胃内,按如上步骤操作即为空白校正袋。在冲洗过程中严格防止尼龙袋中的残余物随水逃逸。将冲洗干净的尼龙袋放入65℃烘箱中烘至恒重(约48 h),用分析天平称重,精确至0.000 1 g,备测。

1.4 试验饲料、饲养管理及试验设计

试验奶牛的粗饲料由羊草和苜蓿组成,精料由玉米、豆粕、棉籽粕等饲料构成。参照中国奶牛饲养标准(2007)配制奶牛试验饲料,按1.3倍维持水平饲养,精粗比为40:60。基础饲料组成及营养水平见表1。饲料的产奶净能=0.550 1×消化能-0.094 6^[17]。奶牛采用拴系饲养,每日饲喂和挤奶2次(06:00和18:00),先喂粗料,后喂精料(9 kg/d,2次饲喂),然后再添粗料,自由采食,自由饮水。

为最大程度的减少因试验牛个体差异对饲料样品降解率产生的影响,故试验期间,采用3×3拉丁方试验设计,奶牛统一饲喂基础饲料,试验于2012年5月1日至2012年5月24日完成,共24 d,前15 d为预试期,后9 d为正试期,每期3 d。

1.5 测定方法

烘箱干燥法测定DM,灼烧法测定粗灰分(ash),凯氏定氮法测定CP, Van Soest法测定NDF、ADF,以上具体操作参见《饲料分析及饲料质量检测技术》^[18],并用以下公式计算DM、CP、NDF、ADF的降解率。

$$\text{装袋样品逃逸率}(\%) = \left\{ \left[\frac{\text{空白试验装袋样品干物质重}(\text{g}) - \text{空白试验袋中残余物重}(\text{g})}{\text{空白试验装袋样品干物质重}(\text{g})} \right] \times 100; \right.$$

$$\text{校正装袋样品量}(\text{g}) = \text{实际装袋样品量}(\text{g}) \times [1 - \text{样品逃逸率}(\%)]$$

$$\text{某目标成分某培养时间点的降解量}(\text{g}) = [\text{校正装袋样品量}(\text{g}) \times \text{空白试验残余物中某目标成分的含量}(\%)] - [\text{某培养时间点残余物的重量}(\text{g}) \times \text{某培养时间点残余物中某目标的含量}(\%)];$$

$$\text{某目标成分某时间点的实时降解率}(\%) =$$

{某目标成分某时间点的降解量(%) / [校正袋装样品量(g) × 空白试验残余物中某目标成分的含量(%)]} × 100。

表1 基础饲粮组成及营养水平(风干基础)

Table 1 Composition and nutrient levels of the basal diet (air-dry basis) %

项目 Items	含量 Content
原料 Ingredients	
玉米 Corn	22.50
棉籽粕 Cottonseed meal	4.50
豆粕 Soybean meal	6.75
菜籽粕 Rapeseed meal	2.65
小麦麸 Wheat bran	11.60
预混料 Premix ¹⁾	0.45
食盐 NaCl	0.45
石粉 Limestone	0.45
碳酸氢钙 CaHCO ₃	0.65
羊草 Chinese wildrye	40.00
苜蓿 Alfalfa	10.00
合计 Total	100.00
营养水平 Nutrient levels ²⁾	
干物质 DM	80.00
粗蛋白质 CP	13.10
中性洗涤纤维 NDF	44.13
酸性洗涤纤维 ADF	26.37
产奶净能 NE _L /(MJ/kg)	5.10
钙 Ca	0.53
磷 P	0.20

¹⁾ 每千克预混料含有 One kilogram of premix contains the following: VA 800 000 IU, VD 3 600 000 IU, VE 4 000 IU, Cu 1 600 mg, Fe 1 200 mg, Mn 3 500 mg, Zn 8 000 mg, Se 70 mg, Co 80 mg。

²⁾ 产奶净能为计算值,其余营养水平为实测值。NE_L is a calculated value, and the other nutrient levels are measured values.

参照 Ørskov 等^[19] 提出的瘤胃动力学数学指数模型测定和计算。计算公式为:

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

式中: P 为 t 时刻被测样品某目标成分的实时瘤胃降解率(%); a 为被测样品某目标成分的快速降解部分(%); b 为被测样品某目标成分的慢速降解部分(%); c 为 b 部分的降解速率(%/h); t 为饲料在瘤胃内的停留时间(h)。

$$\text{有效降解率(ED)} = a + bc/(k + c)$$

式中: k 为饲料通过瘤胃的外流速度。颜品勋等^[20] 建议粗饲料瘤胃外流速度应取值为 $k = 0.031$ 。利用各培养时间点实时降解率的数据(P 和 t), 采用 SAS 9.1.3 NLIN 程序计算 a 、 b 、 c 值^[21]。

1.6 统计分析

试验数据统计采用 Excel 2003 处理后, 利用 SPSS 17.0 统计分析软件的 one-way ANOVA 进行方差分析, 差异显著时采用 Duncan 氏法对各组间平均数进行多重比较检验。试验中降解率与降解参数结果均以平均值 ± 标准差表示。

2 结果

2.1 待测粗饲料营养成分含量

由表 2 可以看出, 同样是粗饲料, 但其 NDF、ADF 含量却不尽相同。菌糠的 NDF 含量与羊草相近, 二者明显低于玉米秸; 而菌糠的 ADF 含量却明显高于羊草和玉米秸。3 种粗饲料 DM 含量接近, 均在 93% 左右; 而 CP 含量以羊草最高(6.51%), 菌糠次之(6.48%), 玉米秸最低(5.34%)。

2.2 不同粗饲料瘤胃中的 DM 降解规律

由表 3 可以看出, 不同粗饲料瘤胃中的 DM 降解率均随培养时间的延长呈不同程度的增加。在 6 h 时 DM 降解率最高的是羊草, 其次为菌糠, 玉米秸最低。而此后菌糠在各个时间点的 DM 降解率均高于羊草和玉米秸。48 h 时菌糠的 DM 降解率显著高于羊草和玉米秸 ($P < 0.05$), 三者 48 h 后仍具有一定的降解能力。72 h 时 3 种粗饲料 DM 降解率差异不显著 ($P > 0.05$)。菌糠的 DM 降解率随瘤胃培养时间延长上升速度较快, 其余 2 种粗饲料的上升速度较慢。相应地, 不同粗饲料在瘤胃内的 DM 动态降解模型参数存在很大差异。3 种粗饲料之间 DM 快速降解部分之间无显著差异 ($P > 0.05$), 慢速降解部分玉米秸最高(70.69%), 菌糠(56.14%) 次之, 羊草最低(47.16%), 降解速率菌糠与羊草均显著高于玉米秸 ($P < 0.05$), 3 种粗饲料 DM 的有效降解率由高到低依次为菌糠(29.33%)、羊草(27.41%)、玉米秸(23.39%), 前两者显著高于玉米秸 ($P < 0.05$)。

表2 不同粗饲料营养成分含量

Table 2 Nutrient contents of different roughages

%

项目 Items	菌糠 Spent mushroom substrate	玉米秸 Corn stover	羊草 Chinese wildrye
干物质 DM	92.92	93.35	93.32
粗蛋白质 CP	6.48	5.34	6.51
中性洗涤纤维 NDF	58.00	77.69	64.08
酸性洗涤纤维 ADF	47.51	39.59	39.01

表3 3种粗饲料在奶牛瘤胃中的DM降解率及降解参数

Table 3 DM degradation rate and degradability parameter of three roughages in rumen of cows

项目 Items	菌糠 Spent mushroom substrate	玉米秸 Corn stover	羊草 Chinese wildrye
降解率 Degradation rates/%			
6 h	8.83 ± 0.49 ^{ab}	6.17 ± 1.66 ^b	13.13 ± 1.61 ^a
12 h	18.43 ± 0.85	11.85 ± 2.91	18.07 ± 2.25
24 h	31.17 ± 1.37 ^a	21.03 ± 1.93 ^b	30.37 ± 2.73 ^a
36 h	41.26 ± 0.06	32.35 ± 3.39	37.58 ± 3.41
48 h	46.79 ± 1.24 ^a	35.00 ± 1.30 ^b	37.89 ± 1.66 ^b
72 h	49.48 ± 0.82	47.55 ± 1.24	46.50 ± 1.63
降解参数 Degradability parameters			
<i>a</i>	-1.13 ± 0.42	-0.07 ± 1.51	0.95 ± 0.46
<i>b</i>	56.14 ± 1.71 ^b	70.69 ± 6.58 ^a	47.16 ± 0.64 ^b
<i>c</i>	0.04 ± 0.03 ^a	0.02 ± 0.00 ^b	0.04 ± 0.01 ^a
ED	29.33 ± 0.15 ^a	23.39 ± 0.36 ^b	27.41 ± 1.73 ^a

同行数据肩标不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$), 相同字母表示差异不显著 ($P > 0.05$)。a 为快速降解部分, b 为慢速降解部分, c 为慢速降解部分降解的降解速率 (%/h), ED 为有效降解率 (%)。下表同。

In the same row, values with different letter superscripts mean significant difference ($P < 0.05$), while with the same letter superscripts mean no significant difference ($P > 0.05$). *a* is the fraction of immediately degraded (%), *b* is the fraction of slowly degraded (%), *c* is the rate of degradation of fraction of slowly degraded (%/h), and ED is the effective degradability (%). The same as below.

2.3 不同粗饲料瘤胃中的CP降解规律

由表4可以看出,3种粗饲料在6h时的CP降解率已经很高,尤其是菌糠的降解率已接近30%,说明3种粗饲料的CP降解速度前期较快,消化延搁期短。在6和12h时菌糠和羊草的CP降解率均显著高于玉米秸 ($P < 0.05$)。在36和48h时的菌糠和羊草CP降解率已趋于平缓,72h时菌糠与羊草的CP降解率显著高于玉米秸 ($P < 0.05$)。不同粗饲料在瘤胃内的CP动态降解模型参数也不尽相同,快速降解部分之间无显著差异 ($P > 0.05$),慢速降解部分菌糠和羊草显著高于玉米秸 ($P < 0.05$),而降解速率菌糠(0.16%)显著高于羊草(0.11%)和玉米秸(0.10%) ($P <$

0.05),3种粗饲料CP的有效降解率由高到低依次为羊草(35.64%)、菌糠(34.03%)、玉米秸(22.81%),且羊草与菌糠都显著高于玉米秸 ($P < 0.05$)。

2.4 不同粗饲料瘤胃中的NDF降解规律

由表5可以看出,3种粗饲料瘤胃中的NDF降解规律随时间点的变化大致相同。6h时3种粗饲料的NDF降解率都很低,羊草最高仅为8.75%,菌糠最低为6.05%。48h时菌糠的NDF降解率略高于羊草和玉米秸,但差异并不显著 ($P > 0.05$)。3种粗饲料均在12h后NDF降解速度加快,48h后仍然保持一定的降解能力。72h时菌糠和羊草的NDF降解率显著低于玉米秸

($P < 0.05$)。3 种粗饲料的快速降解部分都很低, 菌糠和玉米秸快速降解部分甚至表现为负值, 慢速降解部分和降解速率之间也无显著差异 ($P > 0.05$), 3 种粗饲料 72 h 时 NDF 有效降解率也均较低, 由高到低依次为玉米秸 (26.12%)、菌糠

(25.72%)、羊草 (23.73%), 三者无显著差异 ($P > 0.05$)。从其动态变化趋势看, 随着培养时间的延长, 其降解率一直缓慢上升, 说明 3 种粗饲料的 NDF 的降解速度都较慢。

表 4 3 种粗饲料在奶牛瘤胃中的 CP 降解率及降解参数

Table 4 CP degradation rate and degradability parameter of three roughages in rumen of cows

项目 Items	菌糠 Spent mushroom substrate	玉米秸 Corn stover	羊草 Chinese wildrye
降解率 Degradation rates/%			
6 h	28.95 ± 0.48 ^a	15.60 ± 0.81 ^b	24.25 ± 2.75 ^a
12 h	32.16 ± 1.00 ^a	20.76 ± 3.40 ^b	33.71 ± 2.38 ^a
24 h	35.50 ± 1.27 ^a	24.05 ± 2.99 ^b	38.62 ± 3.06 ^a
36 h	39.96 ± 5.50	25.29 ± 8.41	41.46 ± 4.56
48 h	43.48 ± 1.10 ^a	28.85 ± 3.79 ^b	47.20 ± 1.06 ^a
72 h	45.42 ± 2.89 ^a	36.34 ± 3.85 ^b	49.33 ± 1.56 ^a
降解参数 Degradability parameters			
<i>a</i>	0.88 ± 0.28	1.15 ± 0.66	0.97 ± 0.40
<i>b</i>	40.52 ± 1.81 ^a	29.68 ± 4.58 ^b	44.85 ± 4.66 ^a
<i>c</i>	0.16 ± 0.02 ^a	0.10 ± 0.02 ^b	0.11 ± 0.00 ^b
ED	34.03 ± 1.21 ^a	22.81 ± 2.32 ^b	35.64 ± 1.49 ^a

表 5 3 种粗饲料在奶牛瘤胃中的 NDF 降解率及降解参数

Table 5 NDF degradation rate and degradability parameter of three roughages in rumen of cows

项目 Items	菌糠 Spent mushroom substrate	玉米秸 Corn stover	羊草 Chinese wildrye
降解率 Degradation rates/%			
6 h	6.05 ± 1.10	8.37 ± 3.45	8.75 ± 1.43
12 h	15.30 ± 1.26	12.13 ± 2.82	10.76 ± 1.57
24 h	27.48 ± 1.62	23.88 ± 5.26	25.63 ± 2.75
36 h	36.82 ± 0.04	36.85 ± 4.88	30.88 ± 3.21
48 h	41.88 ± 1.83	40.14 ± 2.53	35.97 ± 0.82
72 h	44.07 ± 0.60 ^b	50.19 ± 0.83 ^a	45.38 ± 1.30 ^b
降解参数 Degradability parameters			
<i>a</i>	-1.79 ± 0.52	-0.62 ± 1.14	0.16 ± 0.17
<i>b</i>	51.60 ± 2.01	64.72 ± 4.60	59.79 ± 5.39
<i>c</i>	0.04 ± 0.00	0.02 ± 0.01	0.02 ± 0.00
ED	25.72 ± 0.41	26.12 ± 1.97	23.73 ± 1.38

2.5 不同饲料瘤胃中的 ADF 降解规律

由表 6 可以看出, 3 种粗饲料的 ADF 降解规律大致相同。6 h 时菌糠的 ADF 降解率低于羊草和玉米秸, 仅为 4.71%, 表现为一定的消化延搁期。综合来看 6~48 h 间 3 种粗饲料的 ADF 降解率接近, 48 h 后仍然具有一定的降解能力。到 72 h

时 3 种粗饲料的 ADF 降解率方才表现出差异性, 菌糠与羊草的 ADF 降解率显著低于玉米秸 ($P < 0.05$)。从降解参数来看, 3 种粗饲料的快速降解部分都很低, 菌糠和玉米秸显著低于羊草 ($P < 0.05$), 而三者之间的慢速降解部分和降解速率之间却无显著差异 ($P > 0.05$), 3 种粗饲料的 ADF

有效降解率由高到低依次为玉米秸(25.36%)、菌糠(24.23%)、羊草(21.83%),三者无显著差异

($P > 0.05$)。说明3种粗饲料瘤胃中的ADF利用程度相近。

表6 3种粗饲料在奶牛瘤胃中的ADF降解率及降解参数

Table 6 ADF degradation rate and degradability parameter of three roughages in rumen of cows

项目 Items	菌糠 Spent mushroom substrate	玉米秸 Corn stover	羊草 Chinese wildrye
降解率 Degradation rates/%			
6 h	4.71 ± 2.09	7.04 ± 3.42	6.82 ± 2.02
12 h	13.54 ± 0.68	11.56 ± 3.16	10.29 ± 1.09
24 h	25.91 ± 1.22	22.81 ± 5.53	23.80 ± 2.62
36 h	35.36 ± 1.04	35.13 ± 6.13	27.54 ± 3.69
48 h	39.91 ± 1.81	39.81 ± 4.13	32.70 ± 1.28
72 h	42.05 ± 0.86 ^b	49.47 ± 2.07 ^a	43.00 ± 1.69 ^b
降解参数 Degradability parameters			
a	-2.21 ± 0.77 ^a	-1.02 ± 0.66 ^a	0.01 ± 0.28 ^b
b	50.45 ± 1.94	64.86 ± 3.89	61.54 ± 9.91
c	0.03 ± 0.00	0.02 ± 0.01	0.02 ± 0.01
ED	24.23 ± 0.43	25.36 ± 2.84	21.83 ± 1.27

3 讨论

3.1 粗饲料的营养成分

本试验研究的3种粗饲料DM含量相接近。相比于其他饲料,菌糠中CP含量相对较高,且NDF含量相对较低。菌糠中ADF含量高于羊草和玉米秸,这说明菌糠中的半纤维素含量是最低的。初步可以判定菌糠与羊草的饲用价值高于玉米秸。本试验中菌糠中的CP含量略低于前人的研究^[22],但综合来看,饲料的营养价值与饲料的品种、种植方式、地理环境、收获期、加工贮存方式等有很大关系^[23]。

3.2 DM和CP的降解特性

瘤胃中的DM降解率是影响DM采食量的一个主要因素,不同粗饲料瘤胃中DM降解率均随培养时间的延长呈不同程度地增加,但不同种类的粗饲料增加的幅度不同。3种粗饲料DM降解率前36h内降解速率较快,菌糠及羊草的DM降解率48~72h间已趋于平缓,而玉米秸降解幅度仍然较大,这就说明菌糠和羊草更利于动物消化,优于玉米秸。

饲料蛋白质在瘤胃中的降解主要取决于其发酵的难易程度和在瘤胃内的滞留时间^[24]。本试验羊草与玉米秸秆的CP有效降解率分别为35.64%

和22.81%,略高于前人得出的一些试验结果^[25-26]。前人测得的结果所表现的差异也较大,除了可能与饲料的加工、贮存方式、收获期、试验饲粮、试验动物等因素有关外,也可能与试验材料的来源有关^[23]。而测定的菌糠的CP有效降解率与羊草接近,为34.03%,也显著高于玉米秸。各种饲料的有效降解率受饲料本身特性的影响很大,未放入瘤胃前,菌糠和羊草本身的CP含量就明显高于玉米秸,其最终瘤胃降解率及有效降解率也显著高于玉米秸,刘大林等^[27]研究认为,牧草CP水平高有利于CP的降解,与本试验结果相一致。

3.3 纤维物质的降解特性

瘤胃中的NDF和ADF降解率是表示粗饲料营养价值的一个重要指标。饲料中NDF和ADF的化学组成会影响到其瘤胃内的降解率,所以不同饲料原料的NDF和ADF在奶牛瘤胃中的有效降解率也各不相同^[28]。目前,关于饲料纤维物质在奶牛瘤胃内降解率的研究资料不多,结果也各不相同。前人试验中报道的相应羊草、玉米秸和菌糠中的NDF、ADF有效降解率均高于本试验结果,原因可能与试验动物、饲粮类型等因素有关^[29-32]。本试验中3种粗饲料72h的NDF和ADF降解率及有效降解率都比较相近,说明3种

粗饲料的纤维物质在瘤胃中的利用程度相近。

4 结 论

① 菌糠、羊草和玉米秸在瘤胃内的降解率表明,随着其在瘤胃时间的延长,各种营养成分的降解率也随之上升,大部分饲料中营养物质在 48 ~ 72 h 时间段降解率已趋于平缓,说明已经达到了降解平台值。

② 菌糠的 DM 和 CP 的消化延搁期短,降解率均较高,与羊草接近,都优于玉米秸且差异显著,更易于被反刍动物消化利用。

③ 菌糠的 NDF、ADF 降解率较低,但其瘤胃降解程度与羊草和玉米秸无显著差异。如需提高纤维类物质的降解率,使菌糠的饲用价值进一步提高,应选用适当的处理方法降低其木质素含量。

④ 实践证明,菌糠的饲用价值与羊草接近,瘤胃可利用程度优于玉米秸,用作于反刍动物粗饲料切实可行,是一种具有实际开发意义的非常规饲料资源。

致谢:

感谢北京市农林科学院韩梅琳老师对于本研究做出的同等贡献,感谢中国农业大学动物科技学院张晓明教授、都文博士对文稿所提出的宝贵意见。

参考文献:

[1] 徐延生,雷雪芹,赵顺才,等. 菌糠饲料在奶牛生产中的应用效果[J]. 中国饲料,2001(1):35-36.

[2] 米青山,王尚堃,宋建华. 食用菌废料的综合利用研究[J]. 生态农业科学,2005,21(2):284-287.

[3] BAE J S, KIM Y I, JUNG S H, et al. Evaluation on feed-nutritional value of spent mushroom (*Pleurotus osteratus*, *Pleurotus eryngii*, *Flammulina velutipes*) substrates as a roughage source of ruminants[J]. Journal of Animal Science and Technology, 2006, 48(2): 237-246.

[4] KIM Y I, BAE J S, JUNG S H, et al. Yield and physicochemical characteristics of spent mushroom (*Pleurotus eryngii*, *Pleurotus osteratus* and *Ammulina velutipes*) substrates according to mushroom species and cultivation types[J]. Journal of Animal Science and Technology, 2007, 49(1): 79-88.

[5] KAKKAR V K, DHANDA S. Comparative evaluation of wheat and paddy straws for mushroom production and feeding residual straws to ruminants[J]. Biore-source Technology, 1998, 66: 175-177.

[6] ADAMOVIĆ M, GRUBIĆ G, MILENKOVIĆ L, et al. The biodegradation of wheat straw by *Pleurotus osteratus* mushrooms and its use in cattle feeding[J]. Animal Feed Science and Technology, 1998, 71: 357-362.

[7] 刘建昌,潘廷国,苏水金,等. 菌糠替代麸皮喂猪的饲养试验[J]. 中国畜牧杂志,1998,34(2):26-27.

[8] 吕作舟. 添加不同比例菌糠饲喂生长猪的效果[J]. 中国畜牧杂志,1995,31(6):34.

[9] 周宗旺. 金针菇菌糠喂猪效果观察[J]. 中国畜牧杂志,1991,27(2):42-47.

[10] 刘敏雄. 反刍动物消化生理学[M]. 北京:北京农业大学出版社,1991.

[11] KAUR R, GARCIA S C, FULKERSON W J, et al. Degradation kinetics of leaves, petioles and stems of forage rape (*Brassica napus*) as affected by maturity[J]. Animal Feed Science and Technology, 2011, 168: 165-178.

[12] 杨信,黄勤楼,夏友国,等. 反刍动物瘤胃物质降解研究进展[J]. 家畜生态学报,2010(1):8-9.

[13] AJEBU N, LARS O E, ADUGNA T, et al. Chemical composition and in sacco dry matter degradability of different morphological fractions of 10 enset (*Ensete ventricosum*) varieties[J]. Animal Feed Science and Technology, 2008, 146: 55-73.

[14] PAGÁN R S, MUIR J P, LAMBERT B D, et al. Phosphorus and other nutrient disappearance from plants containing condensed tannins using the mobile nylon bag technique[J]. Animal Feed Science and Technology, 2010, 156: 19-25.

[15] FATHI N M H, FRANCE J, DANESH M M, et al. Effect of heat processing on ruminal degradability and intestinal disappearance of nitrogen and amino acids in Iranian whole soybean[J]. Livestock Science, 2008, 113: 43-51.

[16] 卢德勋,谢崇文. 现代反刍动物营养研究和技术[M]. 北京:中国农业出版社,1991:8-11.

[17] 冯仰廉,周建民,张晓明,等. 我国奶牛饲料产奶净能值测算方法的研究[J]. 中国畜牧杂志,1987(1):6-7.

[18] 张丽英. 饲料分析及饲料质量检测技术[M]. 北京:

- 中国农业大学出版社,2003.
- [19] ØRSKOV E R, MC DONALD I. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage [J]. *The Journal of Agricultural Science*, 1979, 92, 499 - 503.
- [20] 颜品勋,冯仰廉,王燕兵,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.
- [21] SAS Institute Inc. SAS online doc 9. 1. 3 [CP]. Cary (NC);SAS Institute Inc. ,2004.
- [22] 张纯,晏家友,张锦秀,等. 平菇菌糠的营养价值研究[J]. *中国饲料*,2012(3):13 - 15.
- [23] 李颖丽,金曙光,王小梅,等. 反刍动物饲料蛋白质瘤胃降解概述[J]. *畜牧与饲料学*,2009,30(5): 35 - 36.
- [24] 刁其玉,屠焰. 奶牛常用饲料蛋白质在瘤胃的降解参数[J]. *乳业科学与技术*,2005(2):70 - 74.
- [25] 乔良,郝俊玺,闫素梅,等. 2008 奶牛主要饲料原料蛋白质瘤胃降解率的研究[J]. *中国奶牛*,2008(6): 18 - 19.
- [26] 刘海霞,刘大森,隋美霞,等. 羊常用粗饲料干物质和粗蛋白的瘤胃降解特性研究[J]. *中国畜牧杂志*, 2010,46(21):37 - 42.
- [27] 刘大林,赵国琦,王学峰,等. 豆科与禾本科牧草在山羊瘤胃内的降解率比较试验[J]. *中国草食动物*, 2000,2(4):9 - 11.
- [28] AGBAGLA-DOHNANI A, NOZIERE P, CLEMENT G, et al. In sacco degradability, chemical and morphological composition of 15 varieties of European rice straw [J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2001,94:15 - 27.
- [29] 萨其仍贵,李九月,乔永明,等. 奶牛几种常用粗饲料干物质和纤维物质瘤胃降解率的研究[J]. *当代畜禽养殖业*,2009(4):18 - 20.
- [30] 夏科,姚庆,李富国,等. 奶牛常用粗饲料的瘤胃降解规律[J]. *动物营养学报*,2012,24(4):769 - 777.
- [31] 邹青霞,张浩. 几种菌糠营养成分及其瘤胃降解率[J]. *福建农业大学学报*,1999,28(4):477 - 482.
- [32] 赵天章,李慧英,闫素梅. 反刍动物饲料纤维物质瘤胃降解规律研究进展[J]. *饲料工业*,2010,31(1): 28 - 31.

Comparison of Rumen Degradation Characteristics between Spent Mushroom Substrate and Commonly Used Roughages for Dairy Cows

GONG Fuchen^{1,2} HAN Meilin¹ YANG Qiong² LI Jie² SUN Xiaohong^{1*}

(1. Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100097, China; 2. College of Animal Science and Technology, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract: The aim of this study was to evaluate the rumen degradation characteristics of spent mushroom substrate (SMS) as a type of roughage for ruminants. Three Holstein cows with ruminal cannulas were assigned to 3 treatments in a 3 × 3 Latin square design, and the rumen degradation rates of dry matter (DM), crude protein (CP), neutral detergent fiber (NDF) and acid detergent fiber (ADF) of Chinese wildrye (CW), corn stover (CS) and SMS were measured using nylon bag method. The culture time of roughages in the rumen was 0, 6, 12, 24, 36, 48 and 72 h, respectively. The results showed that there were no differences in DM degradation rate among roughages at 72 h, the effective degradability (ED) of DM ranked in the following order: SMS (29.33%) > CW (27.41%) > CS (23.39%), and the ED of SMS and CW was significantly higher than that of CS ($P < 0.05$). Both the CP degradation rate at 72 h and the ED of CP ranked in the following order: CW > SMS > CS, and the CP degradation rate of CW and SMS was significantly higher than that of CS ($P < 0.05$). There was a significant difference in NDF degradation rate at 72 h between CS and other treatments ($P < 0.05$). The ED of NDF in treatments was low, ranked in the following order: CS (26.12%) > SMS (25.72%) > CW (23.73%), and there was no significant difference among three treatments ($P > 0.05$). The trend and difference of ADF degradability in treatments were similar to those of NDF, and the ED of ADF ranked in the following order: CS (25.36%) > SMS (24.23%) > CW (21.83%). In conclusion, seeing from the rumen degradation characteristics of roughages, in this experiment the feeding value of SMS is equivalent with that of CW, but better than that of CS. It is concluded that SMS has a high potential as a new non-conventional feed resource for ruminants. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2013, 25(6):1366-1374]

Key words: spent mushroom substrate; roughage; nylon bag method; rumen degradation characteristics

* Corresponding author, associate professor, E-mail: sunxiaohong19675@yahoo.com.cn