

# 不同中性洗涤纤维来源饲料对荷斯坦公犊牛生长性能、消化代谢和血清生化指标的影响

马满鹏<sup>1,2</sup> 王炳<sup>1,3</sup> 屠焰<sup>1\*</sup> 毕研亮<sup>1</sup> 付彤<sup>4</sup> 成述儒<sup>2</sup> 刁其玉<sup>1</sup>

(1.中国农业科学院饲料研究所,农业部饲料生物技术重点实验室,奶牛营养学北京市重点实验室,北京 100081;

2.甘肃农业大学动物科学技术学院,兰州 730070;3.中国农业大学动物科学技术学院,

北京 100193;4.河南农业大学牧医工程学院,郑州 450002)

**摘要:** 本试验在饲料中性洗涤纤维(NDF)水平相同的条件下,研究以苜蓿干草(AH)或大豆皮(SH)为主要NDF来源的全混合日粮对荷斯坦公犊牛生长性能、消化代谢和血清生化指标的影响。选取30头105日龄的荷斯坦公犊牛,按照随机区组设计分成2组,每组15头,分别饲喂AH和SH为主要NDF来源的全混合日粮。预试期15d,正试期60d。结果表明:1)试验全期(120~180日龄),SH饲料组犊牛的料重比显著低于AH饲料组( $P<0.05$ );120~135日龄时,SH饲料组犊牛的平均日增重显著高于AH饲料组( $P<0.05$ )。2)170日龄时,SH饲料组犊牛的粪排出量、粪能、尿能和粪氮显著低于AH饲料组( $P<0.05$ ),SH饲料组犊牛的干物质、有机物、NDF和酸性洗涤纤维的表现消化率显著高于AH饲料组( $P<0.05$ ),SH饲料组犊牛的总能表现消化率、总能代谢率、消化能代谢率、沉积氮、氮沉积率和氮表现消化率显著高于AH饲料组( $P<0.05$ )。3)180日龄时,SH饲料组犊牛的血清 $\beta$ -羟丁酸含量显著低于AH饲料组( $P<0.05$ )。综上所述,SH是120~180日龄荷斯坦公犊牛较好的NDF来源,能够满足犊牛对营养物质的需要,相比AH饲料,饲喂SH饲料能够提高犊牛的营养物质表现消化率及能量和氮的利用率。

**关键词:** 荷斯坦公犊牛;中性洗涤纤维;大豆皮;苜蓿干草;消化代谢;血清生化指标

中图分类号:S823

文献标识码:A

文章编号:1006-267X(2019)06-2682-11

犊牛阶段瘤胃不断的发育,到3~4月龄时复胃容积比例接近于成年牛,对粗饲料的消化能力不断增强<sup>[1]</sup>,饲料中的中性洗涤纤维(NDF)能够刺激瘤胃的发育并影响其他营养物质的利用<sup>[2]</sup>,同时纤维性碳水化合物的来源和组成影响犊牛的采食、消化机能和料重比<sup>[3]</sup>。饲料中的NDF主要有粗饲料来源NDF和非牧草来源NDF<sup>[4]</sup>,与粗饲料来源NDF相比,非牧草来源NDF含有较高的纤维素、较低的木质素和纤维粒度<sup>[5]</sup>,添加非牧草来源NDF替代小麦秸秆可提高犊牛平均日增重(ADG)<sup>[6]</sup>。大豆皮(soybean hulls,SH)是较好的

非牧草来源NDF<sup>[5]</sup>,能在瘤胃中快速发酵<sup>[7-8]</sup>,用SH替代50%的玉米秸秆时,显著提高了羔羊的干物质(DM)消化率和ADG<sup>[9]</sup>。在犊牛开食料中添加苜蓿干草(alfalfa hay,AH)作为粗饲料来源NDF可以提高犊牛开食料采食量和ADG,但降低了DM和有机物(OM)的消化率<sup>[10]</sup>。近年来,国内外奶牛养殖场在犊牛饲料中是否需要添加牧草等粗饲料存在着较大的争议,而粗饲料来源NDF和非牧草来源NDF在组成和纤维粒度上都存在着较大差异,完全以非牧草来源NDF替代粗饲料来源NDF会对犊牛内在消化代谢产生什么样的影响

收稿日期:2018-11-28

基金项目:奶牛产业技术体系北京市创新团队(BAIC06-2018);中国农业科学院科技创新工程协同创新任务——“奶牛绿色养殖技术集成创新”(CAAS-XTX2016011-01);河南省科技开放合作项目——“奶牛后备牛日粮氨基酸模式研究”(182106000035)

作者简介:马满鹏(1993—),男,甘肃天水人,硕士研究生,从事遗传育种与繁殖专业研究。E-mail: 2322735502@qq.com

\*通信作者:屠焰,研究员,博士生导师,E-mail: tuyan@caas.cn

尚未可知。因此,本试验在饲料 NDF 水平相同的条件下,研究以 AH 或 SH 为主要 NDF 来源的全混合日粮(TMR)对 4~6 月龄荷斯坦公犊牛生长性能、消化代谢和血清生化指标的影响,为犊牛对纤维来源的利用提供一定的理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验地点与材料

试验于 2017 年 10—12 月在河南农业大学许昌动物科学与动物医学实践教学基地进行。SH 为大豆去皮制油加工过程中的副产物;苜蓿(产自

河南)于初花期收割,粉碎鞣制成 1.5~2.0 cm 小段。AH 和 SH 的纤维组成见表 1。

### 1.2 试验设计与饲料

试验采用单因素设计方案,选用 30 头 105 日龄断奶后的荷斯坦公犊牛,按照随机区组设计分成 2 组,每组 15 头犊牛,分别饲喂以 AH、SH 为主要 NDF 来源的 TMR,通过玉米、麸皮和豆粕的比例配成相同 NDF 和粗蛋白质(CP)水平的饲料。饲料的营养水平参照 NRC(2001)<sup>[11]</sup> 配制,试验饲料组成及营养水平见表 2。试验期 75 d,其中预试期 15 d,正试期 60 d。

表 1 AH 和 SH 的纤维组成(干物质基础)

Table 1 Fiber composition of AH and SH (DM basis)

%

项目 Items	中性洗涤纤维 NDF	酸性洗涤纤维 ADF	半纤维素 Hemicellulose	纤维素 Cellulose	木质素 Lignin
苜蓿干草 Alfalfa hay	55.08	39.71	15.36	22.85	8.85
大豆皮 Soybean hulls	69.88	49.14	20.74	41.31	2.83

表 2 试验饲料组成及营养水平(干物质基础)

Table 2 Composition and nutrient levels of experimental diets (DM basis)

%

项目 Items	苜蓿干草饲料 AH diet	大豆皮饲料 SH diet
原料 Ingredients		
玉米 Corn	41.07	40.52
豆粕 Soybean meal	5.50	15.43
麸皮 Wheat bran	15.00	15.00
脂肪粉 Fat powder	0.40	0.85
大豆皮 Soybean hulls		25.03
苜蓿干草 Alfalfa hay	35.42	
石粉 Limestone	0.57	1.22
磷酸氢钙 CaHPO <sub>4</sub>	0.59	0.52
食盐 NaCl	0.45	0.43
预混料 Premix <sup>1)</sup>	1.00	1.00
合计 Total	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels <sup>2)</sup>		
干物质(风干基础) DM (air-dry basis)	91.91	90.80
代谢能 ME/(MJ/kg)	10.81	11.77
粗蛋白质 CP	15.36	16.17
粗脂肪 EE	3.02	3.03
粗灰分 Ash	6.68	6.73
中性洗涤纤维 NDF	25.60	26.45
酸性洗涤纤维 ADF	13.45	13.56
钙 Ca	0.80	0.80
总磷 TP	0.40	0.40
物理有效纤维 PeNDF (1.18 mm)	11.53	17.55

续表 2

项目 Items	苜蓿干草饲料 AH diet	大豆皮饲料 SH diet
物理有效纤维 PeNDF (8.80 mm)	3.68	
物理有效纤维 PeNDF (19.00 mm)	0.79	
碳水化合物 CHO	74.94	74.07
淀粉 CB <sub>1</sub>	26.63	22.99
可溶性纤维 CB <sub>2</sub>	21.70	23.78
可消化纤维 CB <sub>3</sub>	14.23	21.76
不消化纤维 CC	11.36	4.68
木质素 Lignin	4.73	1.95
非纤维性碳水化合物 NFC	49.34	47.62
非纤维性碳水化合物/中性洗涤纤维 NFC/NDF	1.92	1.81

<sup>1)</sup> 预混料为每千克饲料提供 The premix provided the following per kg of diets: VA 15 000 IU, VD 5 000 IU, VE 50 mg, Fe 90 mg, Cu 12.5 mg, Mn 60 mg, Zn 100 mg, Se 0.3 mg, I 1.0 mg, Co 0.5 mg。

<sup>2)</sup> 代谢能根据消化代谢试验数据计算, 代谢能 = 总能 - 粪能 - 尿能 - 甲烷能, 其中甲烷能 = 6.5% 总能<sup>[12]</sup>; 其余营养水平为实测值。ME was calculated according to digestive and metabolic test data, ME = GE - FE - UE - CH<sub>4</sub>E, CH<sub>4</sub>E = 6.5% GE<sup>[12]</sup>; while the other nutrient levels were measured values.

### 1.3 饲养管理

犊牛进场后清晨空腹称重, 佩戴耳标和驱虫处理, 并转至犊牛岛 (4.5 m × 1.5 m) 内单栏饲养。每头牛提供单独的水槽和料槽, 每天 08:00 和 16:00 投喂 1 次, 自由采食、饮水, TMR 的 DM 投喂量按体重的 3.5% 供给, 每周进行 1 次消毒和粪便清理。

### 1.4 样品收集与测定

#### 1.4.1 饲料样品的采集与测定

每天晨饲前收集每头牛的剩料量并称量, 计算每头牛每天的干物质采食量 (DMI)。每天采集鲜料样及每头牛的剩料样 200 g 左右, -20 °C 保存, 并参照 AOAC (2000)<sup>[13]</sup> 测定饲料的营养成分, 其中 CP 含量采用 Ketuo KDY-9830 凯氏定氮仪测定, NDF 和酸性洗涤纤维 (ADF) 含量采用 ANKOM 200 Fiber Analyzer 测定, 粗脂肪 (EE) 含量采用 ANKOM-XT15i 全自动脂肪分析仪测定, 总能 (GE) 采用 PARR-6400 全自动氧弹量热仪测定。

粗饲料 (AH、SH) 的木质素、NDF、ADF 和粗灰分 (Ash) 含量依照 AOAC (2000)<sup>[13]</sup> 测定, 并计算半纤维素、纤维素含量:

$$\text{半纤维素} = \text{NDF} - \text{ADF};$$

$$\text{纤维素} = \text{ADF} - \text{木质素} - \text{Ash}.$$

用 4 层宾州筛 (美国嘉吉公司) 测定 TMR 的物理有效纤维 (peNDF) 含量, 并参照 Kononoff

等<sup>[14]</sup>的方法计算不同粒径的 peNDF 含量。康乃尔净碳水化合物-净蛋白质体系 (CNCPS) 中的碳水化合物中淀粉 (CB<sub>1</sub>)、可溶性纤维 (CB<sub>2</sub>)、可消化纤维 (CB<sub>3</sub>) 和不消化纤维 (CC) 含量参照 Van Amburgh 等<sup>[15]</sup>的方法计算。

#### 1.4.2 生长性能的测定

试验开始后分别在犊牛 120、135、150、165 和 180 日龄清晨空腹称重并计算每头牛 15 天的 ADG 和料重比 (F/G)。

#### 1.4.3 消化代谢的测定

在荷斯坦公犊牛 140 和 170 日龄时分别进行消化代谢试验, 采用消化代谢笼全收粪尿法进行试验。每次消化代谢试验每组选择 6 头体重相近的犊牛, 试验期 7 d, 其中预试期 3 d, 正试期 4 d, 并记录每头犊牛每天的采食量、粪排出量和尿排出量。每天收集混匀后的 100 g 粪样和 100 mL 尿样, 并分别加入 50 和 10 mL 的 10% 硫酸溶液进行固氮, -20 °C 保存待测。

粪样中的 CP、NDF、ADF、DM、Ash 含量和粪能、尿能和尿氮依照 AOAC (2000)<sup>[13]</sup> 测定, 仪器设备如上所述。并计算饲料的代谢能, 其中甲烷能按总能的 6.5%<sup>[12]</sup> 计算。

#### 1.4.4 血清生化指标的测定

每组选择 6 头体重相近的犊牛, 180 日龄清晨空腹颈静脉采血于 10 mL 的真空采血管 (不含抗凝剂) 中, 1 500 × g 离心 30 min, 收集上层血清于

-20 ℃保存待测。

各血清生化指标含量采用标准试剂盒(南京建成生物工程研究所)来测定,用酶免法(科华ST-360全自动酶标仪)测定血清中的胰岛素样生长因子-1(IGF-1)、生长激素(GH)和 $\beta$ -羟丁酸(BHBA)的含量,用比色法(科华KHB-1280全自动生化分析仪)测定血清葡萄糖(GLU)、总蛋白(TP)、白蛋白(ALB)和球蛋白(GLB)的含量。

### 1.5 数据统计分析

试验数据用SAS 9.2软件分析,其中消化代谢和血清生化指标数据采用one-way ANOVA模型,差异显著时以Duncan氏法进行多重比较;生长性能的重复测量数据采用MIXED模型分析,显著时以最小显著差数法(LSD)进行两两比较,模型如下:

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + M_j + TM_{ij} + C(T)_{ik} + \varepsilon_{ijk}$$

式中: $\mu$ 为平均效应; $T$ 为饲料( $i=1,2$ ),固定效应; $M$ 为日龄( $j=1\dots5$ ,分别对应120、135、150、165和180日龄),固定效应; $C$ 为犊牛( $k=1\dots30$ ),随机效应; $\varepsilon$ 为残差。

统计分析以 $P<0.05$ 为差异显著, $0.05\leq P<$

$0.10$ 为有提高或降低的趋势。

## 2 结果

### 2.1 不同NDF来源饲料对荷斯坦公犊牛生长性能的影响

由表3可知,试验全期(120~180日龄),SH饲料组的F/G显著低于AH饲料组( $P<0.05$ ),AH饲料组、SH饲料组之间的ADG和DMI差异不显著( $P>0.05$ )。120~135日龄时,SH饲料组的ADG显著高于AH饲料组( $P<0.05$ ),其他时期SH饲料组和AH饲料组的ADG和DMI差异不显著( $P>0.05$ );120~135、166~180日龄时,SH饲料组的F/G显著低于AH饲料组( $P<0.05$ )。SH饲料组有提高犊牛180日龄体重的趋势( $0.05\leq P<0.10$ )。

试验全期,ADG、DMI和F/G均受日龄的显著影响( $P<0.05$ ),DMI具有饲料和日龄之间交互作用影响的趋势( $0.05\leq P<0.10$ ),ADG和F/G不受饲料和日龄交互作用的影响( $P>0.05$ )。

表3 不同NDF来源饲料对荷斯坦公犊牛生长性能的影响

Table 3 Influence of dietary different NDF sources on growth performance of Holstein male calves

项目 Items	饲料 Diets		SEM	P值 P-value		
	AH	SH		饲料 Diet	日龄 Day of age	饲料×日龄 Diet×day of age
体重 Body weight/kg						
120日龄 120 days of age	105.27	106.51	1.479	0.336	2	
180日龄 180 days of age	193.07	201.82	4.004	0.071	3	
平均日增重 ADG/(kg/d)						
120~180日龄 120~180 days of age	1.46	1.57	0.054	0.633	2	0.001 8
120~135日龄 120~135 days of age	1.40 <sup>b</sup>	1.60 <sup>a</sup>	0.081	0.049	5	
136~150日龄 136~150 days of age	1.56	1.63	0.089	0.625	3	
151~165日龄 151~165 days of age	1.38	1.41	0.081	0.223	9	
166~180日龄 166~180 days of age	1.53	1.63	0.106	0.999	6	
干物质采食量 DMI/(kg/d)						
120~180日龄 120~180 days of age	4.98	4.86	0.098	0.473	8	0.001 8
120~135日龄 120~135 days of age	3.92	3.97	0.079	0.493	6	
136~150日龄 136~150 days of age	4.76	4.81	0.122	0.770	6	
151~165日龄 151~165 days of age	5.56	5.29	0.112	0.103	9	
166~180日龄 166~180 days of age	5.74	5.42	0.149	0.212	9	
料重比 F/G						
120~180日龄 120~180 days of age	3.41 <sup>a</sup>	3.10 <sup>b</sup>	0.059	0.034	8	<0.000 1
120~135日龄 120~135 days of age	2.81 <sup>a</sup>	2.47 <sup>b</sup>	0.159	0.042	8	0.402 8

续表 3

项目 Items	饲粮 Diets		SEM	P 值 P-value		
	AH	SH		饲粮 Diet	日龄 Day of age	饲粮×日龄 Diet×day of age
136~150 日龄 136~150 days of age	3.06	2.95	0.120	0.384	6	
151~165 日龄 151~165 days of age	4.02	3.76	0.119	0.635	9	
166~180 日龄 166~180 days of age	3.75 <sup>a</sup>	3.32 <sup>b</sup>	0.128	0.048	4	

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。下表同。

In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference ( $P < 0.05$ ). The same as below.

## 2.2 不同 NDF 来源饲粮对荷斯坦公犊牛营养物质采食量和表观消化率的影响

由表 4 可知,140 日龄时,AH 饲粮组、SH 饲粮组犊牛的代谢体重、采食量、采食量/代谢体重以及 DM、NDF 和 ADF 的表观消化率差异不显著 ( $P > 0.05$ ),SH 饲粮组的粪排出量比 AH 饲粮组显著降低了 25.16% ( $P < 0.05$ ),SH 饲粮组的 OM 表观消化率比 AH 饲粮组显著提高了 10.76% ( $P <$

0.05)。170 日龄时,AH 饲粮组、SH 饲粮组犊牛的代谢体重、采食量和采食量/代谢体重差异不显著 ( $P > 0.05$ ),SH 饲粮组的粪排出量比 AH 饲粮组显著降低了 43.28% ( $P < 0.05$ ),SH 饲粮组的 DM、OM、NDF 和 ADF 的表观消化率分别比 AH 饲粮组显著提高了 21.31%、16.09%、15.44% 和 34.04% ( $P < 0.05$ )。

表 4 不同 NDF 来源饲粮对荷斯坦公犊牛营养物质采食量和表观消化率的影响

Table 4 Influence of dietary different NDF sources on nutrient intake and apparent digestibility of Holstein male calves

项目 Items	饲粮 Diets		SEM	P 值 P-value
	AH	SH		
代谢体重 $W^{0.75}/\text{kg}$				
140 日龄 140 days of age	40.25	41.55	0.349	0.065 4
170 日龄 170 days of age	49.98	50.00	0.640	0.982 9
采食量 Feed intake/(kg/d)				
140 日龄 140 days of age	4.44	3.89	0.214	0.132 2
170 日龄 170 days of age	5.35	4.59	0.284	0.118 4
采食量/代谢体重 Intake/ $W^{0.75}$				
140 日龄 140 days of age	0.11	0.09	0.004	0.062 1
170 日龄 170 days of age	0.10	0.09	0.004	0.075 5
粪排出量 Fecal output/(kg/d)				
140 日龄 140 days of age	1.51 <sup>a</sup>	1.13 <sup>b</sup>	0.109	0.044 7
170 日龄 170 days of age	2.01 <sup>a</sup>	1.14 <sup>b</sup>	0.102	0.001 8
干物质表观消化率 DM apparent digestibility/%				
140 日龄 140 days of age	65.87	70.76	2.018	0.147 5
170 日龄 170 days of age	62.12 <sup>b</sup>	75.36 <sup>a</sup>	1.301	0.008 0
有机物表观消化率 OM apparent digestibility/%				
140 日龄 140 days of age	67.26 <sup>b</sup>	75.84 <sup>a</sup>	1.860	0.038 0
170 日龄 170 days of age	68.47 <sup>b</sup>	79.49 <sup>a</sup>	1.050	0.000 4
中性洗涤纤维表观消化率 NDF apparent digestibility/%				
140 日龄 140 days of age	60.97	59.91	2.509	0.776 8
170 日龄 170 days of age	63.78 <sup>b</sup>	73.63 <sup>a</sup>	1.520	0.005 9
酸性洗涤纤维表观消化率 ADF apparent digestibility/%				
140 日龄 140 days of age	40.06	47.15	2.781	0.131 5
170 日龄 170 days of age	47.41 <sup>b</sup>	63.61 <sup>a</sup>	2.552	0.006 5

### 2.3 不同 NDF 来源饲料对荷斯坦公犊牛能量利用的影响

由表 5 可知,140 日龄时,AH 饲料组、SH 饲料组犊牛的尿能、消化能、代谢能、总能表观消化率、总能代谢率和消化能代谢率差异不显著 ( $P>0.05$ ),SH 饲料组的摄入总能、粪能和甲烷能显著低于 AH 饲料组 ( $P<0.05$ )。170 日龄时,AH、SH

饲料组犊牛的摄入总能、甲烷能、消化能和代谢能差异不显著 ( $P>0.05$ ),SH 饲料组的粪能和尿能显著低于 AH 饲料组 ( $P<0.05$ ),SH 饲料组的总能表观消化率、总能代谢率和消化能代谢率相比 AH 饲料组显著提高了 14.15%、16.42% 和 2.00% ( $P<0.05$ )。

表 5 不同 NDF 来源饲料对荷斯坦公犊牛能量利用的影响

Table 5 Influence of dietary different NDF sources on energy utilization of Holstein male calves

项目 Items	饲料 Diets		SEM	P 值 P-value
	AH	SH		
摄入总能 GE intake/[MJ/(kg W <sup>0.75</sup> ·d)]				
140 日龄 140 days of age	1.91 <sup>a</sup>	1.60 <sup>b</sup>	0.084	0.047 5
170 日龄 170 days of age	1.86	1.56	0.084	0.057 5
粪能 FE/[MJ/(kg W <sup>0.75</sup> ·d)]				
140 日龄 140 days of age	0.53 <sup>a</sup>	0.38 <sup>b</sup>	0.036	0.031 2
170 日龄 170 days of age	0.55 <sup>a</sup>	0.31 <sup>b</sup>	0.026	0.001 5
尿能 UE/[MJ/(kg W <sup>0.75</sup> ·d)]				
140 日龄 140 days of age	0.04	0.03	0.002	0.117 7
170 日龄 170 days of age	0.05 <sup>a</sup>	0.03 <sup>b</sup>	0.002	0.048 6
甲烷能 CH <sub>4</sub> E/[MJ/(kg W <sup>0.75</sup> ·d)]				
140 日龄 140 days of age	0.12 <sup>a</sup>	0.10 <sup>b</sup>	0.005	0.047 5
170 日龄 170 days of age	0.12	0.10	0.005	0.057 5
消化能 DE/[MJ/(kg W <sup>0.75</sup> ·d)]				
140 日龄 140 days of age	1.38	1.22	0.071	0.168 3
170 日龄 170 days of age	1.30	1.25	0.062	0.567 5
代谢能 ME/[MJ/(kg W <sup>0.75</sup> ·d)]				
140 日龄 140 days of age	1.21	1.13	0.064	0.198 6
170 日龄 170 days of age	1.18	1.10	0.058	0.776 1
总能表观消化率 Apparent digestibility of GE/%				
140 日龄 140 days of age	72.26	76.13	1.647	0.157 5
170 日龄 170 days of age	69.89 <sup>b</sup>	79.78 <sup>a</sup>	1.061	0.001 2
总能代谢率 Metabolic rate of GE/%				
140 日龄 140 days of age	63.63	67.43	1.558	0.145 3
170 日龄 170 days of age	60.70 <sup>b</sup>	70.67 <sup>a</sup>	1.167	0.001 8
消化能代谢率 Metabolic rate of DE/%				
140 日龄 140 days of age	88.03	88.54	0.237	0.189 1
170 日龄 170 days of age	86.81 <sup>b</sup>	88.55 <sup>a</sup>	0.417	0.031 4

### 2.4 不同 NDF 来源饲料对荷斯坦公犊牛氮代谢的影响

由表 6 可知,140 日龄时,SH 饲料组、AH 饲料组犊牛的摄入氮、尿氮、沉积氮和消化氮差异不显著 ( $P>0.05$ ),SH 饲料组的粪氮相比 AH 饲料组显著降低了 31.48% ( $P<0.05$ ),SH 饲料组的氮沉积率和氮表观消化率相比 AH 饲料组显著提高

28.14% 和 10.00% ( $P<0.05$ )。170 日龄时,SH 饲料组、AH 饲料组犊牛的摄入氮、尿氮、消化氮差异不显著 ( $P>0.05$ ),SH 饲料组的粪氮相比 AH 饲料组显著降低了 49.54% ( $P<0.05$ ),SH 饲料组的沉积氮、氮沉积率和氮表观消化率相比 AH 饲料组显著提高了 31.03%、41.07% 和 7.12% ( $P<0.05$ )。

表 6 不同 NDF 来源饲料对荷斯坦公犊牛氮代谢的影响

Table 6 Influence of dietary different NDF sources on nitrogen metabolism of Holstein male calves

项目 Items	饲料 Diets		SEM	P 值 P-value
	AH	SH		
摄入氮 N intake/[g/(kg W <sup>0.75</sup> ·d)]				
140 日龄 140 days of age	2.84	2.64	0.133	0.345 1
170 日龄 170 days of age	2.75	2.58	0.134	0.410 1
粪氮 Fecal N/[g/(kg W <sup>0.75</sup> ·d)]				
140 日龄 140 days of age	1.08 <sup>a</sup>	0.74 <sup>b</sup>	0.091	0.046 9
170 日龄 170 days of age	1.11 <sup>a</sup>	0.56 <sup>b</sup>	0.031	<0.000 1
尿氮 Urine N/[g/(kg W <sup>0.75</sup> ·d)]				
140 日龄 140 days of age	0.52	0.42	0.042	0.142 8
170 日龄 170 days of age	0.49	0.50	0.031	0.815 8
沉积氮 Retained N/[g/(kg W <sup>0.75</sup> ·d)]				
140 日龄 140 days of age	1.23	1.47	0.094	0.125 4
170 日龄 170 days of age	1.16 <sup>b</sup>	1.52 <sup>a</sup>	0.091	0.037 9
消化氮 Digestible N/[g/(kg W <sup>0.75</sup> ·d)]				
140 日龄 140 days of age	1.76	1.90	0.126	0.460 9
170 日龄 170 days of age	1.65	2.02	0.116	0.073 6
氮沉积率 N deposition rate/%				
140 日龄 140 days of age	43.45 <sup>b</sup>	55.68 <sup>a</sup>	2.109	0.009 4
170 日龄 170 days of age	41.80 <sup>b</sup>	58.97 <sup>a</sup>	1.784	0.001 1
氮表观消化率 Apparent digestibility of N/%				
140 日龄 140 days of age	70.39 <sup>b</sup>	77.48 <sup>a</sup>	1.322	0.012 8
170 日龄 170 days of age	69.93 <sup>b</sup>	74.91 <sup>a</sup>	0.907	0.011 7

## 2.5 不同 NDF 来源饲料对荷斯坦公犊牛血清生化指标的影响

由表 7 可知,SH 饲料组、AH 饲料组犊牛的血清 GH、TP、ALB 和 GLB 含量及 ALB/GLB 无显著

差异( $P>0.05$ ),SH 饲料组的血清 BHBA 含量显著低于 AH 饲料组( $P<0.05$ ),SH 饲料组的血清 IGF-1 和 GLU 含量相比 AH 饲料组分别有降低和提高的趋势( $0.05\leq P<0.10$ )。

表 7 不同 NDF 来源饲料对荷斯坦公犊牛血清生化指标的影响

Table 7 Influence of dietary different NDF sources on serum biochemical indexes of Holstein male calves

项目 Items	饲料 Diets		SEM	P 值 P-value
	AH	SH		
胰岛素样生长因子-1 IGF-1/(ng/mL)	64.12	61.64	0.865	0.057 0
$\beta$ -羟丁酸 BHBA/(mmol/L)	1.05 <sup>a</sup>	0.97 <sup>b</sup>	0.022	0.019 4
生长激素 GH/(ng/mL)	4.79	4.52	0.130	0.150 7
葡萄糖 GLU/(mmol/L)	5.23	5.71	0.184	0.080 1
总蛋白 TP/(g/L)	62.06	61.18	1.021	0.530 6
白蛋白 ALB/(g/L)	36.65	36.74	0.091	0.298 7
球蛋白 GLB/(g/L)	26.15	24.99	1.025	0.438 3
白蛋白/球蛋白 ALB/GLB	1.44	1.39	0.081	0.683 2

## 3 讨论

### 3.1 不同 NDF 来源饲料对荷斯坦公犊牛生长性能的影响

饲料的构成影响犊牛对营养物质的吸收与利用、生长发育和料重比,而 SH 饲料中的可消化纤维和不消化纤维与 AH 饲料存在较大的差异。本试验发现,SH 饲料组相比 AH 饲料组犊牛的体重有提高的趋势,120~135 日龄的 ADG 显著提高,主要是 SH 饲料中的较高的可溶性纤维和可消化纤维在瘤胃中快速的降解<sup>[7]</sup>,产生大量的乙酸、丙酸和丁酸,并通过糖异生等途径生成 GLU 为犊牛提供能量,同时 SH 饲料组犊牛的血清 GLU 含量有提高的趋势,使更多的能量用于代谢和生长,从而改善荷斯坦公犊牛的体重。本试验中,饲喂不同 NDF 来源饲料的犊牛 DMI 差异不显著,这与 Hill 等<sup>[16]</sup>发现以棉籽壳为非牧草来源 NDF 替代干草时的 DMI 结果一致,同时 Castells 等<sup>[17]</sup>发现犊牛阶段补饲 AH 相比燕麦干草、大麦秸秆显著提高了 DMI、ADG,表明 SH 饲料和 AH 饲料具有较好的适口性。F/G 是犊牛 DMI 与 ADG 的比值,能够反映该阶段不同饲料的利用情况,本试验中 SH 饲料组犊牛的 F/G 显著低于 AH 饲料组。一方面,SH 饲料含较高的可消化纤维和可溶性纤维以及较低的不消化纤维,提高了犊牛对 SH 饲料营养物质的消化利用;另一方面,SH 饲料显著提高了犊牛对能量和氮的利用率,将更多的能量和氮储存在新生的组织蛋白中,从而降低了 F/G。AH 饲料组犊牛的 ADG 随着日龄的增加逐渐增加,但在 151~165 日龄时 AH 饲料组和 SH 饲料组的 ADG 均降低,可能是此阶段气温的急剧降低造成冷应激,犊牛消耗更多的能量用于热增耗。

### 3.2 不同 NDF 来源饲料对荷斯坦公犊牛营养物质消化利用的影响

NDF 主要在瘤胃中降解并为反刍动物和瘤胃微生物提供能量,同时确保其他营养物质的消化<sup>[1]</sup>。本试验中,SH 饲料组犊牛 NDF 的表观消化率显著高于 AH 饲料组,一方面,SH 饲料较高的可溶性纤维和可消化纤维、较低的不消化纤维利于瘤胃微生物对饲料的降解<sup>[5]</sup>,改变了瘤胃微生物区系;另一方面,SH 饲料的物理有效纤维 (peNDF 1.18 mm) 粒度的比例粒度的比例增加,其粒度的降低可以增加细菌在饲料上的附着表面

积<sup>[18]</sup>,同时饲料中的淀粉在瘤胃中降解成麦芽糖,为其他瘤胃微生物提供碳源<sup>[19-20]</sup>,促使纤维降解菌分泌大量的纤维素酶、半纤维素酶和木聚糖酶,提高犊牛对 SH 饲料的 NDF 表观消化率,从而减少犊牛的粪排出量。ADF 主要由木质素、纤维素和矿物质组成<sup>[15]</sup>,本试验中 SH 饲料与 AH 饲料的 ADF 水平一致,但 SH 饲料木质素含量明显低于 AH 饲料,同时在 170 日龄时 SH 饲料组的犊牛 ADF 表观消化率达 63.61%,显著高于 AH 饲料组 (47.01%),同时也高于李岚捷等<sup>[21]</sup>以 AH 为粗饲料在 ADF 水平为 15.34% 时的 ADF 表观消化率 (49.50%)。犊牛对 DM 和 OM 的消化率可以衡量机体对饲料的利用效率、胃肠道结构和机能的发育<sup>[22]</sup>。本试验发现,170 日龄时犊牛的 OM 表观消化率相比 140 日龄时,SH 饲料组提高了 4.81%,而 AH 饲料组只提高了 1.79%,主要是 SH 饲料能够在犊牛瘤胃中发酵成大量的挥发性脂肪酸<sup>[7]</sup>,丙酸和丁酸刺激犊牛瘤胃的发育,提高瘤胃对营养物质的消化吸收。本试验 SH 饲料提高了犊牛营养物质表观消化率,这与薛红枫等<sup>[9]</sup>发现的幼龄反刍动物阶段饲喂 SH 饲料相比玉米秸秆饲料、Weidner 等<sup>[8]</sup>研究 SH 替代 AH 的 TMR 饲料显著提高 NDF 和 DM 表观消化率的结果相一致,表明犊牛阶段饲喂 SH 饲料能够促进瘤胃和肠道的发育,显著提高 NDF、ADF、OM 和 DM 的表观消化率。

### 3.3 不同 NDF 来源饲料对荷斯坦公犊牛能量利用的影响

饲料中的能量主要来源于碳水化合物、脂肪和蛋白质,经胃肠道消化吸收进入体内,并通过代谢途径产生大量的 ATP 为机体供能,满足维持需要后才能够用于不同形式的生产,幼龄动物主要将能量贮存于新生的组织蛋白中,用于组织的生长和机体的发育<sup>[23]</sup>。犊牛瘤胃中的微生物将碳水化合物发酵生成挥发性脂肪酸、二氧化碳 (CO<sub>2</sub>) 和甲烷 (CH<sub>4</sub>),而乙酸的大量生成增加了降解过程中的氢离子,使瘤胃 CH<sub>4</sub> 的生成增加并造成能量的浪费<sup>[24]</sup>,本试验中 SH 饲料显著降低了犊牛的甲烷能,同时 AH 饲料和 SH 饲料随粪、尿和 CH<sub>4</sub> 排出的能量占摄入总能量的 38.71% 和 28.21%,表明 SH 饲料减少了能量的损失量,从而提高 SH 饲料的总能代谢率和消化能代谢率。提高能量的利用效率在于提高能量的代谢率<sup>[25]</sup>,犊牛 170 日

龄时 SH 饲料组的总能表观消化率达到 79.78%，这高于 Khan 等<sup>[26]</sup>报道的 71.70%，而 AH 饲料组的总能表观消化率只达到了 69.89%，表明 SH 饲料不仅能够满足营养物质的需要量，并能够提供充足的营养物质用于犊牛的生长发育和机体的生长。

### 3.4 不同 NDF 来源饲料对荷斯坦公犊牛氮代谢的影响

氮代谢是反刍动物蛋白质的主要利用途径<sup>[27]</sup>，饲料中的蛋白质在瘤胃中进行降解和微生物蛋白的合成，过瘤胃蛋白、微生物蛋白和脱落的肠黏膜细胞中的氮经小肠中的胰蛋白酶和糜蛋白酶消化，并通过肝脏代谢将多余的代谢氮通过尿酸的形式排出体外<sup>[28]</sup>。本试验中，SH 饲料组和 AH 饲料组犊牛的摄入氮相近，但 SH 饲料组的沉积氮显著高于 AH 饲料组，粪氮显著低于 AH 饲料组，从而使 SH 饲料组对氮的沉积在 140 和 170 日龄时分别提高了 25.21%、34.15%，表明 SH 饲料提高了犊牛的氮沉积。饲料中能量与蛋白质含量应该保持在适宜的水平才能提高犊牛对营养物质的利用率<sup>[29]</sup>，而本试验中 SH 饲料组氮的利用率相比 AH 饲料组显著提高，一方面，SH 饲料促进瘤胃微生物区系的发育，提高瘤胃微生物对氮的利用；另一方面，SH 饲料的纤维有利于犊牛肠道的发育，增强肠道对氮的吸收。这表明 SH 饲料的可利用能量和蛋白质水平更有利于犊牛的生长需要，更适合犊牛 120~180 日龄阶段对营养物质的消化利用。

### 3.5 不同 NDF 来源饲料对荷斯坦公犊牛血清生化指标的影响

动物机体的血清生化指标能够反映体内营养状况、部分组织器官机能的变化和饲料的利用情况<sup>[30]</sup>，同时受饲料的营养水平、发育阶段以及自身内分泌状况等因素的影响。本试验中，SH 饲料组犊牛血清中的 BHBA 含量低于 AH 饲料组，这与 Miron 等<sup>[18]</sup>的研究结果一致。GLU 是能量代谢的生化指标，能够反映能量水平的高低、机体内糖的生成和组织消耗之间的一个动态平衡，机体将多余的 GLU 转化为脂肪储存<sup>[31]</sup>，但随着日龄的增加犊牛的瘤胃逐渐发育完善，瘤胃 VFA 的吸收和肝脏糖异生能力增强，从而提高 GLU 的利用。

IGF-1 经肝脏和骨髓基质细胞分泌进入血液，促进骨骼生长和蛋白质的合成<sup>[32]</sup>，IGF-1 和 GH 共

同促进氮沉积，在 140 和 170 日龄时，SH 饲料组的氮沉积率比 AH 饲料组显著提高了 43.54%、41.07%，而 AH 饲料组的血清 IGF-1 含量有高于 SH 饲料组的趋势，表明 AH 饲料组的犊牛体内蛋白质合成增强，但因 SH 饲料的结构对犊牛胃肠道的影 响，使 SH 饲料组的氮沉积率增强。同时不同 NDF 来源的饲料对犊牛血清激素指标的影响有待进一步的研究。

血清 TP 是机体蛋白质合成代谢的一个重要指标，是由 ALB 和 GLB 组成复杂混合物，具有维持血管内胶体正常渗透压和酸碱度、运输多种代谢物的功能，并间接反映机体的营养代谢状况<sup>[33]</sup>，GLB 能够提高犊牛的免疫力，而本试验中不同 NDF 来源饲料犊牛的血清 TP、ALB 和 GLB 含量差异不显著，表明 2 种饲料的营养水平均衡，能够促进犊牛的生长。同时血清生化指标受犊牛日龄、生理阶段和环境的影响，为犊牛的健康生长提供依据。

## 4 结 论

在生长性能和营养物质表观消化率方面，SH 饲料可以满足 120~180 日龄荷斯坦公犊牛对营养物质的需求，与 AH 饲料组相比，SH 饲料组犊牛 NDF、ADF、DM 和 OM 的表观消化率及能量、氮的利用率提高。

### 参考文献：

- [1] KHAN M A, BACH A, WEARY D M, et al. Invited review: transitioning from milk to solid feed in dairy heifers[J]. *Journal of Dairy Science*, 2016, 99(2): 885-902.
- [2] MONTORO C, MILLER-CUSHON E K, DEVRIES T J, et al. Effect of physical form of forage on performance, feeding behavior, and digestibility of Holstein calves[J]. *Journal of Dairy Science*, 2013, 96(2): 1117-1124.
- [3] BEIRANVAND H, GHORBANI G R, KHORVASH M, et al. Interactions of alfalfa hay and sodium propionate on dairy calf performance and rumen development[J]. *Journal of Dairy Science*, 2014, 97(4): 2270-2280.
- [4] 吕佳颖, 李发弟, 李飞. 幼龄反刍动物纤维营养需要与影响因素[J]. *动物营养学报*, 2017, 29(7): 2261-2268.

- [5] FIRKINS J L. Effects of feeding nonforage fiber sources on site of fiber digestion[J]. *Journal of Dairy Science*, 1997, 80(7): 1426-1437.
- [6] MOVAHEDI B, FOROOZANDEH A D, SHAKERI P. Effects of different forage sources as a free-choice provision on the performance, nutrient digestibility, selected blood metabolites and structural growth of Holstein dairy calves[J]. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 2017, 101(2): 293-301.
- [7] 闵晓梅, 孟庆翔, 鲁琳, 等. 大豆皮替代奶牛日粮中玉米与小麦麸对瘤胃干物质与纤维消化的影响[J]. *中国农业大学学报*, 2000, 5(5): 81-87.
- [8] WEIDNER S J, GRANT R J. Soyhulls as a replacement for forage fiber in diets for lactating dairy cows[J]. *Journal of Dairy Science*, 1994, 77(2): 513-521.
- [9] 薛红枫, 孟庆翔, 熊易强, 等. 大豆皮替代羔羊饲料中玉米或纤维成分对瘤胃消化率和生长性能的影响[J]. *中国畜牧杂志*, 2005, 41(1): 17-20.
- [10] DANESHVAR D, KHORVASH M, GHASEMI E, et al. The effect of restricted milk feeding through conventional or step-down methods with or without forage provision in starter feed on performance of Holstein bull calves[J]. *Journal of Animal Science*, 2015, 93(8): 3979-3989.
- [11] NRC. Nutrient requirements of dairy cattle[M]. 7th ed. Washington D. C.: National Academy of Sciences Press, 2001.
- [12] IPCC. 2006年 IPCC 国家温室气体清单指南[M]. Hayama, Kanagawa: 日本全球环境战略研究所, 2006.
- [13] AOAC. Official methods of analysis of the association of official analytical chemists[M]. 17th ed. Arlington: AOAC, 2000.
- [14] KONONOFF P J, HEINRICHS A J, BUCKMASTER D R, et al. Modification of the Penn State forage and total mixed ration particle separator and the effects of moisture content on its measurements[J]. *Journal of Dairy Science*, 2003, 86(5): 1858-1863.
- [15] VAN AMBURGH M E, COLLAO-SAENZ E A, HIGGS R J, et al. The Cornell net carbohydrate and protein system: updates to the model and evaluation of version 6.5[J]. *Journal of Dairy Science*, 2015, 98(9): 6361-6380.
- [16] HILL T M, BATEMAN II H G, ALDRICH J M, et al. Effects of the amount of chopped hay or cottonseed hulls in a textured calf starter on young calf performance[J]. *Journal of Dairy Science*, 2008, 91(7): 2684-2693.
- [17] CASTELLS L, BACH A, ARAUJO G, et al. Effect of different forage sources on performance and feeding behavior of Holstein calves[J]. *Journal of Dairy Science*, 2012, 95(1): 286-293.
- [18] MIRON J, YOSEF E, BEN-GHEDALIA D. Composition and *in vitro* digestibility of monosaccharide constituents of selected byproduct feeds[J]. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 2001, 49(5): 2322-2326.
- [19] SVIHUS B, UHLEN A K, HARSTAD O M. Effect of starch granule structure, associated components and processing on nutritive value of cereal starch: a review[J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2005, 122(3/4): 303-320.
- [20] HARMON D L, YAMKA R M, ELAM N A. Factors affecting intestinal starch digestion in ruminants: a review[J]. *Canadian Journal of Animal Science*, 2004, 84(3): 309-318.
- [21] 李岚捷, 成述儒, 刁其玉, 等. 饲料非纤维性碳水化合物/中性洗涤纤维对肉犊牛生长性能和营养物质消化代谢的影响[J]. *动物营养学报*, 2017, 29(6): 2143-2152.
- [22] 许贵善, 刁其玉, 纪守坤, 等. 不同饲喂水平对肉用绵羊能量与蛋白质消化代谢的影响[J]. *中国畜牧杂志*, 2012, 48(17): 40-44.
- [23] 崔祥, 刁其玉, 张乃锋, 等. 日粮能量水平对断奶犊牛生长性能及营养物质消化代谢的影响[J]. *畜牧兽医学报*, 2014, 45(11): 1815-1823.
- [24] 郭嫣秋, 胡伟莲, 刘建新. 瘤胃甲烷菌及甲烷生成的调控[J]. *微生物学报*, 2005, 45(1): 145-148.
- [25] 穆阿丽, 吴乃科, 杨在宾, 等. 4~6月龄杂交犊牛能量需要量及其代谢规律的研究[J]. *家畜生态学报*, 2007, 28(1): 23-26.
- [26] KHAN M A, LEE H J, LEE W S, et al. Starch source evaluation in calf starter: II. Ruminant parameters, rumen development, nutrient digestibilities, and nitrogen utilization in Holstein calves[J]. *Journal of Dairy Science*, 2008, 91(3): 1140-1149.
- [27] 张卫兵, 刁其玉, 张乃锋, 等. 日粮蛋白能量比对8-10月龄后各犊牛生长性能和养分消化的影响[J]. *中国农业科学*, 2010, 43(12): 2541-2547.
- [28] ZERVAS S, ZIJLSTRA R T. Effects of dietary protein and oat hull fiber on nitrogen excretion patterns and postprandial plasma urea profiles in grower pigs[J]. *Journal of Animal Science*, 2002, 80(12): 3238-3246.
- [29] 张蓉. 能量水平及来源对早期断奶犊牛消化代谢的影响研究[D]. 硕士学位论文. 北京: 中国农业科学院, 2008.
- [30] NKRUMAH J D, SHERMAN E L, LI C, et al. Primary genome scan to identify putative quantitative trait loci for feedlot growth rate, feed intake, and feed efficiency of beef cattle[J]. *Journal of Animal Science*, 2007, 85(12): 3170-3181.
- [31] STANLEY C C, WILLIAMS C C, JENNY B F, et al.

Effects of feeding milk replacer once versus twice daily on glucose metabolism in Holstein and jersey calves[J]. *Journal of Dairy Science*, 2002, 85(9):2335-2343.

[32] 闫云峰, 杨华, 杨永林, 等. 日粮不同蛋白质水平对绵羊 IGF-1 和 GH 分泌及基因表达的影响[J]. *畜牧兽*

医学报, 2015, 46(1):85-95.

[33] 王建红, 刁其玉, 许先查, 等. 日粮 Lys、Met 和 Thr 添加模式对 0—2 月龄犊牛生长性能、消化代谢与血清学生化指标的影响[J]. *中国农业科学*, 2011, 44(9):1898-1907.

## Effects of Dietary Different Neutral Detergent Fiber Sources on Growth Performance, Digestion and Metabolism and Serum Biochemical Indexes of Holstein Male Calves

MA Manpeng<sup>1,2</sup> WANG Bing<sup>1,3</sup> TU Yan<sup>1\*</sup> BI Yanliang<sup>1</sup> FU Tong<sup>4</sup> CHENG Shuru<sup>2</sup> DIAO Qiyu<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Feed Biotechnology of Ministry of Agriculture, Feed Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China; 2. College of Animal Science and Technology, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China; 3. College of Animal Science and Technology, China Agricultural University, Beijing 100193, China; 4. College of Animal Husbandry and Veterinary Science, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China)

**Abstract:** The aim of this study was to investigate the effects of total mixed ration with different neutral detergent fiber (NDF) sources of alfalfa hay (AH) and soybean hulls (SH) on growth performance, digestion and metabolism and serum biochemical indexes of Holstein male calves at the same dietary NDF level. Thirty Holstein male calves at 105 days of age were selected and divided into 2 groups according to the randomized block design, and with 15 calves in each group, feeding total mixed ration with AH and SH as NDF source, respectively. The pre-experimental period lasted for 15 days, and the experimental period lasted for 60 days. The results showed as follows: 1) during the whole experimental period (120 to 180 days of age), the ratio of feed to gain of calves of SH diet group was significantly lower than that of AH diet group ( $P < 0.05$ ); during 120 to 135 days of age, the average daily gain of calves of SH diet group was significantly higher than that of AH diet group ( $P < 0.05$ ). 2) On 170 days of age, the fecal output, fecal energy, urine energy, methane energy and fecal nitrogen of calves of SH diet group were significantly lower than those of AH diet group ( $P < 0.05$ ), the apparent digestibilities of dry matter, organic matter, NDF and acid detergent fiber of calves of SH diet group were significantly higher than those of AH diet group ( $P < 0.05$ ), the gross energy apparent digestibility, gross energy metabolism rate, digestive energy metabolic rate, retained nitrogen, nitrogen deposition rate and nitrogen apparent digestibility of calves of SH diet group were significantly higher than those of AH diet group ( $P < 0.05$ ). 3) On 180 days of age, the serum  $\beta$ -hydroxybutyric acid content of calves of SH diet group was significantly lower than that of AH diet group ( $P < 0.05$ ). In summary, the SH is a good source of NDF for Holstein male calves during 120 to 180 days of age, compared with AH diet, SH diet can promote the nutrient apparent digestibility and utilization rate of energy and nitrogen of calves. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2019, 31(6):2682-2692]

**Key words:** Holstein male calves; neutral detergent fiber; soybean hull; alfalfa hay; digestion and metabolism; serum biochemical indexes