

# 脂肪添加水平及不同脂肪源添加比例对荷斯坦牛养分表观消化率及血清生化指标的影响

曹名玉<sup>1</sup> 杨致玲<sup>1</sup> 谭亚楠<sup>1,2</sup> 王亚茹<sup>1</sup> 许鹏<sup>1</sup> 段增亮<sup>1</sup>

张拴林<sup>1\*</sup> 刘强<sup>1</sup> 郭刚<sup>1</sup>

(1.山西农业大学动物科学学院,太谷 030801;2.山西省文水县农业农村局,文水 032101)

**摘要:** 本试验旨在研究脂肪添加水平及不同脂肪源添加比例对荷斯坦牛养分表观消化率及血清生化指标的影响。选取4头装有永久性瘤胃瘘管、年龄为(2.50±0.17)岁、体重为(580±50) kg的荷斯坦公牛,采用3×4两因素试验设计,在基础饲料中添加过瘤胃不饱和脂肪和整粒胡麻籽2种脂肪源,脂肪添加水平分别占饲料干物质的4%、5%和6%,2种脂肪源添加比例分别为100/0、85/15、70/30、55/45,以脂肪添加水平/脂肪源添加比例表示12个组,分别为4/100、4/85、4/70、4/55、5/100、5/85、5/70、5/55、6/100、6/85、6/70、6/55组。试验分为12个阶段,每个阶段预试期14 d,正试期5 d。结果表明:1)4%和5%脂肪组粗蛋白质和酸性洗涤纤维表观消化率极显著高于6%脂肪组( $P<0.01$ )。2)5%和6%脂肪组血清脂肪酸甘油三酯脂肪酶、肉毒碱棕榈酰转移酶-I和3-羟基-3-甲基戊二酸单酰辅酶A还原酶的活性极显著高于4%脂肪组( $P<0.01$ )。6%脂肪组血清总蛋白和极低密度脂蛋白胆固醇含量分别极显著( $P<0.01$ )和显著( $P<0.05$ )高于4%脂肪组,70/30比例组的血清总蛋白含量显著高于其余比例组( $P<0.05$ ),5%和6%脂肪组的血清高密度脂蛋白胆固醇含量极显著高于4%脂肪组( $P<0.01$ ),4%脂肪组的血清低密度脂蛋白胆固醇含量显著高于6%脂肪组( $P<0.05$ )。综上所述,从养分表观消化率和血清生化指标综合来看,脂肪添加水平以4%~5%、不同脂肪源添加比例(过瘤胃不饱和脂肪/胡麻籽)以70/30最为适宜。

**关键词:** 过瘤胃不饱和脂肪;胡麻籽;表观消化率;血清生化指标

中图分类号:S823

文献标识码:A

文章编号:1006-267X(2021)03-1523-11

泌乳前期奶牛饲料中添加脂肪不仅可满足高产对能量的需要,可避免体重快速下降对健康的负面影响<sup>[1]</sup>。胡麻籽已被广泛用作奶牛的脂肪补充物,因为能量和n-3脂肪酸(FA),尤其是 $\alpha$ -亚麻酸(ALA)的含量很高<sup>[2]</sup>,当奶牛饲喂胡麻籽时,牛奶中n-3 FA和共轭亚油酸(CLA)含量升高<sup>[2-5]</sup>。研究表明,n-3 FA和CLA对人类健康有诸多有益之处,例如调节免疫和炎症反应、改善大脑和视力发育以及预防心血管疾病和癌症<sup>[6-8]</sup>。

人们也越来越倾向于购买含有多不饱和脂肪酸的奶产品<sup>[9]</sup>。但是,添加过多植物油对瘤胃微生物有毒并且会影响纤维的消化率<sup>[10]</sup>,有研究发现,与饲喂不添加胡麻籽饲料相比,饲喂添加10%胡麻籽饲料的奶牛产奶量和养分表观消化率显著降低,而饲喂添加5%胡麻籽饲料的奶牛的养分表观消化率和产奶量保持不变或稍微降低,并且提高了牛奶中n-3 FA和CLA含量<sup>[3,11]</sup>。Palmquist等<sup>[12]</sup>发现,奶牛饲料中脂肪的适宜添加水平为

收稿日期:2020-08-18

基金项目:健康功能畜产品生产技术研究与应用(201703D211001-05-04);山西现代农业牛产业技术体系(20-05);山西省科技攻关项目(20140311022-2)

作者简介:曹名玉(1995—),男,山西翼城人,硕士研究生,研究方向为反刍动物营养。E-mail: 851971682@qq.com

\*通信作者:张拴林,教授,硕士生导师,E-mail: shuanlinzhang@126.com

6.0%,当脂肪添加水平超过9.0%时,中性洗涤纤维(NDF)和酸性洗涤纤维(ADF)表观消化率显著降低。新的研究表明,植物油适宜的添加水平为4%左右<sup>[13]</sup>。通过给反刍动物饲喂过瘤胃脂肪(RPF),可以减少对瘤胃微生物的影响。RPF可以分为过瘤胃饱和脂肪(RPSF)和过瘤胃不饱和脂肪(RPUF)。Park等<sup>[14]</sup>研究发现,添加RPUF可以减少瘤胃中甲烷的产生,从而提高能量利用效率,还可提高ADF、NDF、粗脂肪(EE)和粗蛋白质(CP)表观消化率<sup>[15]</sup>。但在育肥肉牛饲料中添加RPUF不能生产含CLA的牛肉<sup>[16]</sup>,由于CLA来自于瘤胃微生物中溶纤维丁酸弧菌对饲料中亚油酸的异构化,而过瘤胃脂肪不能提供合成CLA的底物,虽然胡麻籽能提供底物,但其用量却受到了限制,如果把RPUF和胡麻籽结合起来使用,既能满足高产奶牛对泌乳净能的需要,又能提供合成CLA的底物。然而目前对于胡麻籽和RPUF混合添加的适宜水平和比例还未见研究。因此,本试验通过研究不同脂肪添加水平及不同脂肪源添加比例对荷斯坦牛养分表观消化率和血清生化指标的影响,探究饲料中混合脂肪源的最佳添加水平及比例。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料、试验动物与试验设计

RPUF以胡麻油为原料,以不饱和脂肪酸钙皂形式添加,由山西农业大学动物科学学院研制。其干物质含量为97.00%,以干物质为基础,脂肪含量为83.14%,其中C12:0、C14:0、C16:0、C16:1含量均为0,C18:0含量为3.00%,C18:1含量为27.77%,C18:2含量为26.83%,C18:3含量为24.93%,其余长链脂肪酸含量为0.61%,24和48h瘤胃平均消失率分别为5.15%和8.63%。胡麻籽购自山西某饲料有限公司,其干物质含量为90.70%,以干物质为基础,脂肪含量为34.76%,其中C12:0、C14:0和C16:1含量均为0,C16:0、C18:0、C18:1、C18:2和C18:3含量分别为2.80%、1.93%、8.92%、5.31%和18.84%,其余长链脂肪酸含量为0.30%。

选取4头装有永久性瘤胃瘘管、年龄为(2.50±0.17)岁、体重为(580±50)kg的荷斯坦公牛,采用3×4两因素试验设计,在基础饲料中添加RPUF和整粒胡麻籽2种脂肪源组成的混合脂肪

源,脂肪添加水平分别占饲料干物质的4%、5%和6%,2种脂肪源添加比例分别为100/0、85/15、70/30、55/45,以脂肪添加水平/脂肪源添加比例表示12个组,分别为4/100、4/85、4/70、4/55、5/100、5/85、5/70、5/55、6/100、6/85、6/70、6/55组。试验分为12个阶段,每个阶段预试期14d,正试期5d。每个阶段开始前对试验牛进行称重,在固定饲料精粗比的前提下,根据体重并按照维持营养需要调整采食量。

### 1.2 试验饲料及饲养管理

根据试验牛维持能量需要的1.1倍设计基础饲料<sup>[17]</sup>,其精粗比为40:60,饲料采取等氮设计,4%、5%、6%脂肪水平下的4个脂肪源添加比例(100/0、85/15、70/30和55/45)间以100/0为基础的基础饲料组成及营养水平见表1,综合净能按照上述4个比例顺序依次降低,平均分别相差0.08、0.10和0.12MJ/kg,NDF和ADF按照上述4个比例顺序下降,平均分别相差1.52%、1.90%、2.29%和1.32%、1.66%、1.99%。试验牛采食量采取限制方式,除增重净能外,试验组其他养分供给量相似。试验期日喂2次(07:00、19:00),单槽饲养,自由饮水。

### 1.3 样品采集、测定指标与方法

#### 1.3.1 采食量的测定和饲料、剩料的采集

每阶段试验前采集基础精补料样品,试验中逐日采集玉米青贮样品,正试期每天记录每头牛的采食量以及剩料量。每天对每头牛剩料按一定的比例进行取样,饲料样和剩料样采集后在65℃烘箱中烘至恒重,将每头牛每天采集的剩料样分别粉碎和贮存,用于养分分析。

#### 1.3.2 粪样的采集

在每个阶段的正试期,采用全收粪法测定每头牛每天的排粪量,按照五点取样法采集每天排粪量总重的1/10,然后将100g/L的酒石酸溶液(粪重的1/4)和粪样混合。将正试期每头牛每天采集的粪样混合,在65℃烘箱中烘至恒重、粉碎、混合和保存,用于养分分析。

#### 1.3.3 血液的采集

在每个正试期最后2d晨饲前采集血样,使用采血管通过颈静脉采集血样,每头牛采集20mL,采集后在3000r/min下离心15min制备血清,冷冻在-20℃下保存备用待测。

#### 1.3.4 常规养分的测定

采用GB/T 6435—2006<sup>[18]</sup>方法测定水分含

量;采用凯氏定氮法(GB/T 6432—1994)<sup>[19]</sup>测定 CP 含量;分别采用 GB/T 20806—2006<sup>[20]</sup>和 NY/T 1459—2007<sup>[21]</sup>方法测定 NDF 和 ADF 含量;采

用 GB/T 6433—2006<sup>[22]</sup>方法测定 EE 含量;采用 GB/T 6438—2007<sup>[23]</sup>方法测定粗灰分含量。

表 1 饲料组成及营养水平(干物质基础)

Table 1 Composition and nutrient levels of diets (DM basis)

%

项目 Items	基础饲料 Basal diet	脂肪添加水平 Fat addition level/%		
		4	5	6
原料 Ingredients				
玉米青贮 Corn silage	60.00	57.60	57.00	56.40
玉米 Corn	32.57	31.27	30.94	30.62
麸皮 Wheat bran	2.33	2.24	2.21	2.19
豆粕 Soybean meal	1.74	1.67	1.65	1.64
棉籽粕 Cottonseed meal	1.51	1.45	1.43	1.42
过瘤胃不饱和脂肪和胡麻籽 Rumen undegradable unsaturated fat and flaxseed		4.00	5.00	6.00
磷酸氢钙 CaHPO <sub>4</sub>	0.35	0.34	0.33	0.33
食盐 NaCl	0.70	0.67	0.67	0.66
预混料 Premix <sup>1)</sup>	0.80	0.77	0.76	0.75
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels <sup>2)</sup>				
综合净能 NE <sub>mf</sub> /(MJ/kg)	8.63	9.37	9.55	9.74
粗蛋白质 Crude protein	10.25	10.25	10.25	10.25
粗脂肪 Ether extract	3.29	6.49	7.29	8.08
中性洗涤纤维 Neutral detergent fiber	36.15	34.70	34.34	33.98
酸性洗涤纤维 Acid detergent fiber	20.44	19.62	19.42	19.22
钙 Calcium	0.38	0.41	0.41	0.42
总磷 Total phosphorus	0.33	0.32	0.31	0.31

1) 预混料为每千克饲料提供 The premix provided the following per kilogram of diets: VA 3 000 IU, VD 300 IU, VE 15 IU, Fe 30 mg, Cu 8 mg, Zn 30 mg, Mn 40 mg, I 0.25 mg, Se 0.1mg, Co 0.1 mg。

2) 综合净能根据原料组成计算所得,其中过瘤胃不饱和脂肪的 NE<sub>mf</sub>按照 27.14 MJ/kg 计算,其余为实测值。NE<sub>mf</sub> was a calculated value according to ingredient composition (the NE<sub>mf</sub> of rumen undegradable unsaturated fat was regarded as 27.14 MJ/kg), while the other nutrient levels were measured values.

### 1.3.5 血清生化指标的测定

按照相应的试剂盒说明书(南京建成生物工程研究所),使用酶标仪(Synergy H1,美国伯腾)测定血清中葡萄糖(Glu)、总蛋白(TP)、丙二醛(MDA)、总胆固醇(T-CHO)、甘油三酯(TG)含量及谷丙转氨酶(ALT)和谷草转氨酶(AST)活性。血清高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)、低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)、极低密度脂蛋白胆固醇(VLDL-C)、胰岛素(INS)、胰高血糖素(GC)、生长激素(GH)含量及肉碱棕榈酰转移酶-I(CPT-I)、脂肪酸甘油三酯脂肪酶(ATGL)、乙酰辅酶A羧化酶(ACC)、脂肪酸酸性合成酶(FAS)、 $\beta$ -羟基- $\beta$ -甲基戊二酸单酰辅酶A还原

酶(HMGR)和 $\beta$ -羟基- $\beta$ -甲基戊二酸单酰辅酶A合成酶(HMGS)活性采用相应的酶联免疫吸附试验(ELISA)试剂盒(上海都马生物科技有限公司),用相同的酶标仪进行测定。

### 1.4 数据统计处理方法

数据用DPS 7.05版统计软件按两因素随机区组设计进行方差分析,用Duncan氏法进行多重比较。 $P < 0.05$ 为差异显著, $P < 0.01$ 为差异极显著。

## 2 结果

### 2.1 脂肪添加水平及不同脂肪源添加比例对荷斯坦牛养分表观消化率的影响

由表2可知,除EE和NDF表观消化率之外,

脂肪添加水平对其他养分表观消化率有极显著的影响 ( $P < 0.01$ ), 脂肪添加水平与不同脂肪源添加比例的交互作用对各养分表观消化率均没有显著影响 ( $P > 0.05$ )。4%和5%脂肪组 CP 表观消化率极显著高于6%脂肪组 ( $P < 0.01$ ), 4/100组 CP 表观消化率极显著高于6/100和6/55组 ( $P < 0.01$ ), 显著高于6/85和6/70组 ( $P < 0.05$ ), 4/70、4/55和5/70组极显著高于6/55组 ( $P < 0.01$ ), 显著高

于6/100、6/85和6/70组 ( $P < 0.05$ ), 4/85和5/55组显著高于6/85和6/70组 ( $P < 0.05$ )。

4%脂肪组 NFE 表观消化率极显著高于6%脂肪组 ( $P < 0.01$ ), 而其他添加水平组之间差异不显著 ( $P > 0.05$ )。4%和5%脂肪组 ADF 表观消化率极显著高于6%脂肪组 ( $P < 0.01$ ), 而4%和5%脂肪组之间养分表观消化率差异不显著 ( $P > 0.05$ )。

表2 脂肪添加水平及不同脂肪源添加比例对荷斯坦牛养分表观消化率的影响

Table 2 Effects of fat addition level and different ratios of fat sources on nutrient apparent digestibility of Holstein steers

项目 Items	粗蛋白质 CP	粗脂肪 EE	无氮浸出 物 NFE	酸性洗涤 纤维 ADF	中性洗涤 纤维 NDF
组别 Groups					
4/100	72.05±11.02 <sup>Aa</sup>	83.12±9.75	79.45±8.25 <sup>a</sup>	45.34±3.56 <sup>Aa</sup>	46.26±3.56
4/85	67.54±3.01 <sup>ABCab</sup>	77.75±7.21	76.70±2.21 <sup>ab</sup>	40.43±3.64 <sup>ABab</sup>	43.00±1.99
4/70	70.21±3.05 <sup>ABa</sup>	79.95±8.41	78.53±4.11 <sup>ab</sup>	44.14±3.69 <sup>Aa</sup>	45.78±4.77
4/55	69.92±8.06 <sup>ABa</sup>	77.74±14.53	78.21±6.84 <sup>ab</sup>	42.03±3.74 <sup>Aa</sup>	45.77±3.75
5/100	64.31±0.80 <sup>ABCabc</sup>	76.30±7.76	71.64±1.50 <sup>abc</sup>	35.45±3.82 <sup>ABab</sup>	43.00±5.47
5/85	64.81±4.08 <sup>ABCabc</sup>	77.98±10.39	73.62±2.76 <sup>abc</sup>	38.01±4.76 <sup>ABab</sup>	45.97±5.75
5/70	69.69±3.40 <sup>ABa</sup>	79.43±3.52	77.04±2.26 <sup>ab</sup>	37.25±3.27 <sup>ABab</sup>	47.18±4.39
5/55	66.92±1.47 <sup>ABCab</sup>	81.77±5.04	72.52±1.58 <sup>abc</sup>	31.67±2.35 <sup>ABbc</sup>	45.25±3.73
6/100	55.46±4.28 <sup>BCc</sup>	76.99±4.20	71.41±6.73 <sup>abc</sup>	27.69±2.07 <sup>Bbc</sup>	32.18±2.72
6/85	58.01±8.54 <sup>ABCbc</sup>	71.93±6.53	69.21±6.70 <sup>bc</sup>	27.20±2.46 <sup>Bbc</sup>	32.72±2.26
6/70	58.33±11.46 <sup>ABCbc</sup>	75.57±12.64	71.11±6.68 <sup>abc</sup>	28.10±2.29 <sup>ABbc</sup>	31.67±2.00
6/55	54.49±9.83 <sup>Cc</sup>	68.55±11.25	66.83±7.23 <sup>c</sup>	26.91±3.55 <sup>Bbc</sup>	29.19±3.08
脂肪添加水平 Fat addition levels/%					
4	69.93±6.61 <sup>Aa</sup>	79.64±9.54	78.22±5.33 <sup>Aa</sup>	42.99±3.60 <sup>Aa</sup>	45.20±2.32
5	66.43±3.32 <sup>Aa</sup>	78.87±6.74	73.71±2.82 <sup>ABb</sup>	35.60±3.77 <sup>Aa</sup>	45.35±4.49
6	56.57±8.17 <sup>Bb</sup>	73.26±8.99	69.64±7.13 <sup>Bb</sup>	27.48±2.51 <sup>Bb</sup>	31.44±2.58
P 值 P-value					
P <sub>1</sub>	0.000 3	0.052 3	0.001 4	0.000 4	0.053 6
P <sub>2</sub>	0.461 7	0.576 8	0.262 0	0.582 8	0.786 3
P <sub>1</sub> ×P <sub>2</sub>	0.888 9	0.824 1	0.889 2	0.813 8	0.995 4

同列数据肩标不同大写字母表示差异极显著 ( $P < 0.01$ ), 不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ ), 相同小写字母或无字母表示差异不显著 ( $P > 0.05$ )。P<sub>1</sub> 为脂肪添加水平; P<sub>2</sub> 为脂肪源添加比例; P<sub>1</sub>×P<sub>2</sub> 为 P<sub>1</sub> 与 P<sub>2</sub> 的交互作用。下表同。

In the same column, values with different capital letter superscripts mean significant difference ( $P < 0.01$ ), and with different small letter superscripts mean significant difference ( $P < 0.05$ ), while with the same small letter or no letter superscripts mean non-significant difference ( $P > 0.05$ ); P<sub>1</sub> was fat addition level; P<sub>2</sub> was fat source addition ratio; P<sub>1</sub>×P<sub>2</sub> was the interaction between P<sub>1</sub> and P<sub>2</sub>. The same as below.

## 2.2 脂肪添加水平及不同脂肪源添加比例对荷斯坦牛血清中脂肪动员和合成相关酶活性的影响

由表3可知, 脂肪添加水平及不同脂肪源添加比例对血清脂肪动员和合成相关酶活性交互作用没有显著影响 ( $P > 0.05$ ), 5%和6%脂肪组的血清 ATGL、CPT- I 和 HMGR 活性显著高于4%脂

肪组 ( $P < 0.05$ ), 5%和6%脂肪组之间差异不显著 ( $P > 0.05$ ), 脂肪添加水平对其余血清酶活性没有显著影响 ( $P > 0.05$ )。与血清体脂合成有关的 ACC 和 FAS 活性在不同脂肪添加水平组间差异不显著 ( $P > 0.05$ ), 但 FAS 活性随着脂肪添加水平的提高而下降。

表 3 脂肪添加水平及不同脂肪源添加比例对荷斯坦牛血清中脂肪动员和合成相关酶活性的影响  
Table 3 Effects of fat addition level and different ratios of fat sources on activities of enzymes related to fat mobilization and synthesis in serum of Holstein steers

项目 Items	乙酰辅酶 A 羧化酶 ACC/(U/mL)	三酰基甘 油酯酶 ATGL/(U/L)	肉毒碱棕榈 酰转移酶 CPT- I/(U/L)	脂肪酸 合成酶 FAS/(U/L)	$\beta$ -羟- $\beta$ -甲戊二 酰辅酶 A 还原酶 HMGR/(U/L)	$\beta$ -羟- $\beta$ -甲戊 二酰辅酶 A 合成酶 HMGS/(U/L)	谷草转氨酶 AST/(U/L)	谷丙转氨酶 ALT/(U/L)
组别 Groups								
4/100	1.15±0.12	53.54±2.35 <sup>ab</sup>	13.97±1.01 <sup>bc</sup>	56.99±5.97	41.78±3.42 <sup>ab</sup>	41.21±3.29	3.96±1.57	15.73±1.16
4/85	0.78±0.07	37.68±4.70 <sup>c</sup>	12.74±1.55 <sup>bc</sup>	70.06±6.72	34.64±3.75 <sup>c</sup>	45.61±3.25	6.41±2.59	11.12±1.61
4/70	0.95±0.06	40.85±4.03 <sup>bc</sup>	14.73±1.46 <sup>bc</sup>	56.49±5.04	35.42±2.89 <sup>c</sup>	40.08±2.92	5.31±0.97	16.00±1.23
4/55	0.85±0.08	39.96±3.49 <sup>bc</sup>	10.49±1.94 <sup>c</sup>	54.86±7.18	32.65±4.72 <sup>c</sup>	38.62±3.07	5.03±0.92	15.06±1.62
5/100	0.84±0.17	48.70±5.52 <sup>ab</sup>	14.13±1.74 <sup>bc</sup>	52.46±3.32	42.63±1.31 <sup>ab</sup>	40.08±3.70	3.92±2.02	14.29±1.05
5/85	1.20±0.12	73.94±5.37 <sup>a</sup>	24.60±1.57 <sup>a</sup>	60.51±4.77	55.17±5.65 <sup>ab</sup>	35.19±1.66	5.59±1.23	12.34±2.72
5/70	1.02±0.25	55.02±4.62 <sup>ab</sup>	24.47±2.45 <sup>a</sup>	62.79±2.81	62.90±5.20 <sup>a</sup>	57.13±5.34	5.17±4.54	14.85±0.73
5/55	1.12±0.16	61.99±2.36 <sup>ab</sup>	16.46±1.14 <sup>ab</sup>	54.84±3.90	43.40±4.84 <sup>ab</sup>	46.44±3.70	4.29±0.60	20.02±1.80
6/100	1.13±0.12	65.36±5.87 <sup>ab</sup>	22.06±1.57 <sup>ab</sup>	56.46±5.68	58.95±5.27 <sup>ab</sup>	53.06±3.30	5.20±1.33	15.56±0.73
6/85	0.96±0.09	64.12±6.96 <sup>ab</sup>	17.29±1.50 <sup>ab</sup>	54.67±1.36	50.77±5.32 <sup>ab</sup>	59.39±1.52	6.43±1.33	15.27±1.24
6/70	0.79±0.01	69.12±5.31 <sup>a</sup>	18.04±1.95 <sup>ab</sup>	50.20±6.14	57.22±3.96 <sup>ab</sup>	51.05±7.17	4.24±0.54	17.34±1.34
6/55	1.10±0.06	70.94±4.24 <sup>a</sup>	19.53±1.96 <sup>ab</sup>	54.44±5.55	63.99±5.44 <sup>a</sup>	60.98±3.73	6.62±1.87	18.41±1.03
脂肪添加水平 Fat addition levels/%								
4	0.88±0.09	43.01±5.31 <sup>b</sup>	12.98±1.70 <sup>b</sup>	59.60±5.32	36.12±3.18 <sup>b</sup>	41.38±3.16	5.18±1.73	14.48±1.39
5	1.04±0.18	59.91±5.26 <sup>a</sup>	19.42±1.65 <sup>a</sup>	57.65±3.83	50.93±3.87 <sup>a</sup>	44.71±3.82	4.74±1.46	15.38±2.12
6	1.00±0.07	67.36±3.26 <sup>a</sup>	19.23±1.70 <sup>a</sup>	53.94±5.29	57.73±4.59 <sup>a</sup>	56.12±4.32	5.62±1.57	16.65±1.13
P 值 P-value								
P <sub>1</sub>	0.221 6	0.043 6	0.039 4	0.398 8	0.048 3	0.538 3	0.260 3	0.373 0
P <sub>2</sub>	0.725 0	0.946 7	0.623 1	0.462 2	0.808 4	0.975 8	0.240 7	0.238 6
P <sub>1</sub> ×P <sub>2</sub>	0.142 4	0.292 3	0.300 0	0.654 8	0.366 2	0.152 7	0.411 8	0.489 1

### 2.3 脂肪添加水平及不同脂肪源添加比例对荷斯坦牛血清中相关激素含量的影响

由表4可知,脂肪添加水平及不同脂肪源添加比例对血清INS、GC和GH含量影响不显著

表4 脂肪添加水平及不同脂肪源添加比例对荷斯坦牛血清中激素含量的影响

Table 4 Effects of fat addition level and different ratios of fat sources on hormone contents in serum of Holstein steers

项目 Items	胰岛素 INS/(mIU/L)	胰高血糖素 GC/(ng/L)	生长激素 GH/( $\mu$ g/L)
组别 Groups			
4/100	25.86 $\pm$ 1.03	26.37 $\pm$ 1.50	12.55 $\pm$ 1.54
4/85	31.66 $\pm$ 1.17	16.06 $\pm$ 1.31	14.74 $\pm$ 1.68
4/70	28.38 $\pm$ 2.77	19.93 $\pm$ 1.32	12.55 $\pm$ 1.20
4/55	25.36 $\pm$ 1.94	23.57 $\pm$ 1.19	11.42 $\pm$ 1.83
5/100	23.89 $\pm$ 1.66	26.24 $\pm$ 2.23	8.43 $\pm$ 1.40
5/85	27.76 $\pm$ 1.57	37.37 $\pm$ 2.90	12.82 $\pm$ 1.42
5/70	31.80 $\pm$ 1.03	33.46 $\pm$ 2.08	13.18 $\pm$ 1.99
5/55	30.32 $\pm$ 1.36	17.28 $\pm$ 1.36	8.84 $\pm$ 1.18
6/100	23.39 $\pm$ 1.00	23.34 $\pm$ 1.16	7.09 $\pm$ 0.35
6/85	20.58 $\pm$ 1.45	16.26 $\pm$ 1.30	14.41 $\pm$ 0.98
6/70	20.33 $\pm$ 1.95	32.77 $\pm$ 2.51	10.70 $\pm$ 1.07
6/55	24.35 $\pm$ 1.26	33.47 $\pm$ 2.34	12.99 $\pm$ 1.56
脂肪添加水平 Fat addition levels/%			
4	27.82 $\pm$ 1.86	21.48 $\pm$ 1.30	12.82 $\pm$ 1.57
5	28.44 $\pm$ 1.32	28.59 $\pm$ 2.12	13.32 $\pm$ 1.65
6	22.16 $\pm$ 1.39	26.46 $\pm$ 1.53	8.80 $\pm$ 0.87
P值 P-value			
$P_1$	0.058 3	0.383 7	0.278 5
$P_2$	0.824 6	0.882 5	0.613 7
$P_1 \times P_2$	0.626 3	0.247 8	0.263 5

### 2.4 脂肪添加水平及不同脂肪源添加比例对荷斯坦牛血清生化指标的影响

由表5可知,6%脂肪组的血清总蛋白含量极显著高于4%脂肪组( $P < 0.01$ ),70/30比例组显著高于其余比例(100/0、85/15和55/45)组( $P < 0.05$ ),6/70组极显著高于4/100组( $P < 0.01$ ),显著高于4/55和5/100组( $P < 0.05$ )。各组间血清T-CHO、TG、Glu和MDA含量差异不显著( $P > 0.05$ ),随着脂肪添加水平的提高,血清TG含量有下降趋势,而T-CHO含量随脂肪添加水平的升高而增加。5%和6%脂肪组的血清HDL-C含量极显著高于4%脂肪组( $P < 0.01$ ),5%和6%脂肪组之间差异不显著( $P > 0.05$ )。4%脂肪组的血清LDL-C含量显著高于6%脂肪组( $P < 0.05$ ),与5%脂肪组之间差异不显著( $P > 0.05$ )。6%脂肪组的血清VLDL-C含量显著高于4%脂肪组( $P < 0.05$ ),与

( $P > 0.05$ ),各组间血清激素含量差异也不显著( $P > 0.05$ ),但6%脂肪组的INS含量相比4%和5%脂肪组水平有下降的趋势。

5%脂肪组差异不显著( $P > 0.05$ )。

## 3 讨论

### 3.1 脂肪添加水平及不同脂肪源添加比例对荷斯坦牛养分表观消化率的影响

对反刍动物来说,饲粮养分在瘤胃的降解对表观消化率影响较大,饲喂脂肪后,油脂会吸附在微生物表面从而影响细胞膜的通透性,导致瘤胃微生物活性下降,而过瘤胃脂肪的应用可以缓解反刍动物饲粮中添加脂肪对瘤胃微生物发酵的影响。Ngidi等<sup>[24]</sup>研究发现,给育肥牛饲喂2%、4%和6%的过瘤胃脂肪,对ADF和NDF表观消化率没有显著影响。然而,较高含量的过瘤胃脂肪可能会对瘤胃微生物活性产生潜在的副作用。Haaland等<sup>[25]</sup>研究发现,给育肥牛饲喂8.7%过瘤胃脂肪组与饲喂4.8%过瘤胃脂肪组相比,8.7%过瘤胃

脂肪组的 ADF 和 NDF 表观消化率显著下降。在本试验中,6%脂肪组的 ADF 表观消化率极显著低于 4%和 5%脂肪组。除过瘤胃不饱和脂肪外,本

试验中还添加了未保护脂肪胡麻籽,较高水平脂肪的添加(6%)和胡麻籽的存在可能导致养分表观消化率的降低。

表 5 脂肪添加水平及不同脂肪源添加比例对荷斯坦牛血清生化指标影响

Table 5 Effects of fat addition level and different ratios of fat sources on biochemical indices in serum of Holstein steers

项目 Items	总胆固醇 T-CHO/ (mmol/L)	甘油三酯 TG/ (mmol/L)	葡萄糖 Glu/ (mg/dL)	丙二醛 MDA/ (nmol/mL)	高密度脂 蛋白胆固醇 HDL-C/ (mmol/L)	低密度脂蛋 白胆固醇 LDL-C/ (mmol/L)	极低密度脂 蛋白胆固醇 VLDL-C/ (mmol/L)	总蛋白 TP/ (mg/mL)
组别 Groups								
4/100	4.14±1.24	0.68±0.10	56.87±3.64	3.98±0.20	0.14±0.06 <sup>ABab</sup>	2.12±0.54 <sup>a</sup>	0.33±0.17 <sup>ab</sup>	50.89±2.09 <sup>Bb</sup>
4/85	4.60±0.68	0.68±0.07	54.02±2.24	5.21±1.85	0.14±0.06 <sup>ABab</sup>	1.35±0.25 <sup>ab</sup>	0.29±0.06 <sup>b</sup>	59.66±8.40 <sup>ABab</sup>
4/70	4.20±1.37	0.67±0.08	52.67±1.01	4.58±0.44	0.12±0.07 <sup>ABcd</sup>	1.53±0.30 <sup>ab</sup>	0.37±0.12 <sup>ab</sup>	59.43±7.36 <sup>ABab</sup>
4/55	4.65±1.15	0.65±0.11	54.30±5.01	4.55±1.35	0.11±0.03 <sup>Bc</sup>	2.11±0.44 <sup>a</sup>	0.30±0.23 <sup>b</sup>	54.85±8.66 <sup>ABb</sup>
5/100	4.36±0.44	0.62±0.09	52.92±4.81	4.35±0.73	0.18±0.03 <sup>ABab</sup>	1.63±0.68 <sup>ab</sup>	0.33±0.20 <sup>ab</sup>	56.21±0.53 <sup>ABb</sup>
5/85	5.68±0.60	0.62±0.08	46.10±4.21	4.77±0.73	0.22±0.06 <sup>ABab</sup>	1.12±0.48 <sup>b</sup>	0.57±0.19 <sup>ab</sup>	60.09±1.46 <sup>ABab</sup>
5/70	5.41±0.17	0.65±0.04	52.97±5.71	4.69±1.01	0.21±0.04 <sup>ABab</sup>	1.26±0.22 <sup>ab</sup>	0.32±0.13 <sup>ab</sup>	61.08±10.54 <sup>ABab</sup>
5/55	5.39±1.03	0.64±0.07	51.31±4.69	4.60±0.8	0.19±0.03 <sup>ABab</sup>	1.67±0.78 <sup>ab</sup>	0.35±0.22 <sup>ab</sup>	60.24±4.36 <sup>ABab</sup>
6/100	5.75±1.05	0.60±0.11	55.77±3.70	3.59±0.55	0.23±0.09 <sup>Aa</sup>	1.86±1.15 <sup>ab</sup>	0.37±0.17 <sup>ab</sup>	63.37±10.01 <sup>ABab</sup>
6/85	5.70±0.74	0.63±0.08	58.07±4.90	3.99±1.06	0.19±0.05 <sup>ABab</sup>	1.11±0.19 <sup>b</sup>	0.38±0.11 <sup>ab</sup>	63.20±4.03 <sup>ABab</sup>
6/70	5.83±1.38	0.60±0.07	56.83±6.00	4.17±0.41	0.19±0.05 <sup>ABab</sup>	1.13±0.33 <sup>b</sup>	0.59±0.14 <sup>a</sup>	70.20±12.34 <sup>Aa</sup>
6/55	5.50±0.24	0.61±0.01	54.29±4.13	4.05±0.83	0.21±0.05 <sup>ABab</sup>	1.26±0.33 <sup>ab</sup>	0.46±0.16 <sup>ab</sup>	61.79±2.70 <sup>ABab</sup>
脂肪添加水平 Fat addition levels/%								
4	4.40±1.05	0.67±0.08	54.47±2.7	4.58±1.14	0.13±0.05 <sup>Bb</sup>	1.77±0.50 <sup>a</sup>	0.33±0.14 <sup>b</sup>	56.21±7.40 <sup>Bb</sup>
5	5.21±0.52	0.63±0.07	50.83±4.91	4.60±0.77	0.20±0.04 <sup>Aa</sup>	1.42±0.57 <sup>ab</sup>	0.39±0.20 <sup>ab</sup>	59.40±8.54 <sup>ABab</sup>
6	5.70±0.86	0.61±0.07	56.24±4.32	3.95±0.71	0.21±0.06 <sup>Aa</sup>	1.34±0.64 <sup>b</sup>	0.45±0.16 <sup>a</sup>	64.64±8.16 <sup>Aa</sup>
脂肪源添加比例 Fat source addition ratio								
100/0	4.75±0.82	0.63±0.10	55.18±4.01	3.97±0.59	0.19±0.07	1.87±0.78	0.34±0.16	56.83±7.56 <sup>b</sup>
85/15	5.32±0.81	0.64±0.07	52.73±3.32	4.66±1.29	0.18±0.06	1.19±0.32	0.41±0.17	60.98±9.23 <sup>b</sup>
70/30	5.15±1.25	0.64±0.07	54.16±4.56	4.48±0.66	0.17±0.06	1.31±0.31	0.43±0.17	63.57±10.54 <sup>a</sup>
55/45	5.18±0.90	0.63±0.07	53.30±4.67	4.40±0.99	0.17±0.06	1.68±0.61	0.37±0.20	58.96±6.01 <sup>b</sup>
P 值 P-value								
P <sub>1</sub>	0.412 3	0.057 4	0.175 7	0.097 7	0.002 5	0.021 4	0.037 1	0.007 3
P <sub>2</sub>	0.510 1	0.850 1	0.891 4	0.150 7	0.714 2	0.067 7	0.724 7	0.041 6
P <sub>1</sub> ×P <sub>2</sub>	0.783 5	0.983 4	0.886 0	0.969 1	0.771 0	0.893 0	0.196 4	0.912 7

Bhatt 等<sup>[15]</sup>发现补饲 2%和 4%的过瘤胃脂肪时,CP 表观消化率增加。然而,邢壮等<sup>[26]</sup>研究发现,补饲过多过瘤胃脂肪(饲料 EE 含量为 9.6%)会显著降低 CP 的消化率。本试验也发现,6%脂肪组的 CP 表观消化率极显著低于 4%和 5%脂肪组,可能是饲喂过多的脂肪会影响小肠蛋白质的消化。此外,随脂肪添加水平的增加,EE 表观消化率降低。Haresign<sup>[27]</sup>研究发现,饲喂 10%过瘤胃脂肪时,EE 表观消化率降低。Bayourth 等<sup>[28]</sup>研

究也发现,喂食 6%钙盐组的 EE 表观消化率高于喂食 12%钙盐组。Wiseman<sup>[29]</sup>认为,当牛的饲料中含有大量的钙皂时,脂肪消化率通常较低,这是由于小肠吸收脂肪的能力有限。因此,当喂食较高水平的脂肪时,EE 表观消化率降低。

### 3.2 脂肪添加水平及不同脂肪源添加比例对荷斯坦牛血清脂肪动员和合成相关酶活性的影响

ATGL 是反映体脂肪代谢时脂肪水解的关键酶和限速酶,参与并启动脂质代谢,CPT- I 是脂肪

酸  $\beta$  氧化的限速酶<sup>[30]</sup>。在 5% 和 6% 脂肪水平下, 血清 ATGL 和 CPT- I 的活性显著高于 4% 脂肪水平, 这表明在 5% 和 6% 的脂肪水平下, 奶牛体脂的分解代谢和脂肪酸的  $\beta$  氧化作用较强。本研究同时发现, 血清 VLDL-C、T-CHO 含量随着脂肪添加水平的提高而提高。VLDL-C 是把肝脏合成(内源性)的甘油三酯和载脂蛋白从肝脏运送到其他组织, 并被其他组织摄取利用其脂肪酸, 而后形成低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C), 这是机体脂肪组织动员后进入肝脏的信号。5% 和 6% 脂肪组的 EE 表观消化率虽然下降, 但消化吸收的 EE 总体是增加的(4%、5% 和 6% 添加水平每日可吸收的 EE 分别为 0.24、0.30 和 0.33 kg), 引起机体脂肪组织动员的原因可能是体内蛋白质代谢过程的影响, 即试验动物正处于生长阶段, 虽然按照维持状态的营养需要设计饲料, 但 CP 实际供给量略高于需要量(日需要量为 0.72 kg, 实际供给量为 0.75 kg), 且由于试验动物处于室内, 减少了逍遥运动所消耗的养分, 另外, 可能是胡麻籽中的亚油酸在瘤胃内异构化为 CLA, CLA 具有降低体脂沉积、增加瘦肉率和营养重分配的作用<sup>[31]</sup>, 这些多余的可利用能和 CP 使机体进入合成代谢, 引起体成分的变化。由于 CP 实际供给量与需要量之差较小的原因, 2 种脂肪合成酶 ACC 和 FAS 的活性差异不显著。

### 3.3 脂肪添加水平及不同脂肪源添加比例对荷斯坦牛血清生化指标的影响

Lake 等<sup>[32]</sup>发现, 补充脂肪不会影响泌乳牛的血清 Glu 含量。Kang 等<sup>[33]</sup>还指出, 血清 Glu 含量在较冷的天气通常较高, 但不受过瘤胃脂肪补充的影响。在许多其他研究中, 以亚麻籽或向日葵等种子的形式将脂肪添加到牛的饲料中, 也没有发现血清中 Glu 含量的增加或降低<sup>[34-35]</sup>。

尽管 4% 和 5% 脂肪组的碳水化合物表观消化率较高, 6% 脂肪组消化吸收的有效能值(在添加 4%、5% 和 6% 脂肪水平下, 每日可吸收的 EE 分别为 0.24、0.30 和 0.33 kg) 是增加的, 因此, 该组形成更多的挥发性脂肪酸, 在其代谢过程中可缓解饲料能量不足引起的蛋白质被能量化。因此, 随着 RPUF 添加水平的提高, 血清中 TP 含量同步提高; 随着胡麻籽添加水平增加, 养分消化率下降, 所以, 当 2 种脂肪源添加比例达到 70/30 时达到高峰。

MDA 的含量是反映机体抗氧化潜力的重要参数, 也间接反映组织过氧化损伤试验牛体内的活性氧会氧化细胞膜上的多不饱和脂肪酸的磷酸残基, 不饱和脂肪酸特异性减少, 保持膜坚硬状态的饱和脂肪酸相对增加, 引起膜结构被破坏<sup>[31]</sup>, 生成的脂质过氧化物分解时可产生 MDA。2 种脂肪源均可以提供必需脂肪酸, 因此, 6% 脂肪组的血清 MDA 含量较低。

在本研究中, 随着脂肪添加水平的提高, 血清中 T-CHO 含量也增加, 这与血清 HMGR 和 HMGS 活性较高结果相一致。Matras 等<sup>[36]</sup>发现, 饲喂含亚麻籽饲料的奶牛在哺乳期的血清平均 T-CHO 含量更高。另一项研究<sup>[37]</sup>也发现, 补充脂肪通常会增加反刍动物血清 T-CHO 含量。根据 Rabiee 等<sup>[38]</sup>研究报道, 血液中 T-CHO 含量的增加可能有助于改善动物的健康状况和生殖性能。脂肪分解代谢的产物是乙酰辅酶 A, 在 HMGS 催化下合成  $\beta$ -羟- $\beta$ -甲戊二酰辅酶 A, 在 HMGR 作用下还原为二甲羟基戊酸, 最终合成胆固醇, 本研究结果表明, 随着脂肪添加水平的提高, 5% 和 6% 脂肪组的血清 HMGR 活性显著高于 4% 脂肪组, 分别高出 8.05% 和 35.62%, 这可能是 5% 和 6% 脂肪组血清 T-CHO 含量更高的原因。

Matras 等<sup>[36]</sup>在饲料中添加富含 n-3 FA 的脂肪时, 发现血液中的 TG 含量降低, 本试验同样饲喂富含 n-3 FA 的亚麻籽, 血清 TG 含量随脂肪添加水平的提高而降低。这可能与 CLA 降低体脂沉积和营养重分配有关。在本研究中, 随着脂肪添加水平的提高, 血清中 HDL-C 和 LDL-C 含量分别增加和下降, 这与 CLA 功能有关, 因为 CLA 具有降低血清 LDL 含量和 LDL/HDL 比值的功能<sup>[31]</sup>。

INS、GC 一起维持机体内血糖平衡, 由于血清中 Glu 含量在各组间无显著差异, 所以 INS 和 GC 含量在不同脂肪组之间差异不显著。

## 4 结 论

使用过瘤胃不饱和脂肪和胡麻籽作为脂肪源, 按照 4%、5% 和 6% 3 个添加水平及 100/0、85/15、70/30 和 55/45 4 个比例研究其对荷斯坦牛养分表观消化率和血清生化指标影响, 结果表明, 脂肪添加水平以 4%~5%、不同脂肪源(瘤胃不饱和脂肪/胡麻籽)添加比例以 70/30 最为适宜。



## 参考文献:

- [ 1 ] 莫放.养牛生产学[M].2 版.北京:中国农业大学出版社,2010;162-163,219-222.  
MO F. Cattle production [ M ]. 2nd ed. Beijing: China Agriculture University Press, 2010: 162 - 163; 219 - 222. (in Chinese)
- [ 2 ] PETIT H V. Review: feed intake, milk production and milk composition of dairy cows fed flaxseed [ J ]. Canadian Journal of Animal Science, 2010, 90 ( 2 ): 115-127.
- [ 3 ] RESENDE T L, KRAFT J, SODER K J, et al. Incremental amounts of ground flaxseed decrease milk yield but increase n-3 fatty acids and conjugated linoleic acids in dairy cows fed high-forage diets [ J ]. Journal of Dairy Science, 2015, 98 ( 7 ): 4785-4799.
- [ 4 ] STERK A, JOHANSSON B E O, TAWHEEL H Z H, et al. Effects of forage type, forage to concentrate ratio, and crushed linseed supplementation on milk fatty acid profile in lactating dairy cows [ J ]. Journal of Dairy Science, 2011, 94 ( 12 ): 6078-6091.
- [ 5 ] FERLAY A, DOREAU M, MARTIN C, et al. Effects of incremental amounts of extruded linseed on the milk fatty acid composition of dairy cows receiving hay or corn silage [ J ]. Journal of Dairy Science, 2013, 96 ( 10 ): 6577-6595.
- [ 6 ] WILLIAMS C M. Dietary fatty acids and human health [ J ]. Annales de Zootechnie, 2000, 49 ( 3 ): 165-180.
- [ 7 ] MCCRORIE T A, KEAVENEY E M, WALLACE J M W, et al. Human health effects of conjugated linoleic acid from milk and supplements [ J ]. Nutrition Research Reviews, 2011, 24 ( 2 ): 206-227.
- [ 8 ] DILZER A, PARK Y. Implication of conjugated linoleic acid ( CLA ) in human health [ J ]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2012, 52 ( 6 ): 488-513.
- [ 9 ] KRISTINE S. Study shows consumers want more omega-3s [ EB/OL ]. <https://www.cargill.com/news/releases/2014/NA31701258.jsp>, 2014-10-6.
- [ 10 ] JENKINS T C. Lipid metabolism in the rumen [ J ]. Journal of Dairy Science, 1993, 76 ( 12 ): 3851-3863.
- [ 11 ] SODER K J, BRITO A F, RUBANO M D, et al. Effect of incremental flaxseed supplementation of an herbage diet on methane output and ruminal fermentation in continuous culture [ J ]. Journal of Dairy Science, 2012, 95 ( 7 ): 3961-3969.
- [ 12 ] PALMQUIST D L, JENKINS T C. Fat in lactation rations: review [ J ]. Journal of Dairy Science, 1980, 63 ( 1 ): 1-14.
- [ 13 ] YANG S L, BU D P, WANG J Q, et al. Soybean oil and linseed oil supplementation affect profiles of ruminal microorganisms in dairy cows [ J ]. Animal, 2009, 3 ( 11 ): 1562-1569.
- [ 14 ] PARK B K, CHOI N J, KIM H C, et al. Effects of amino acid-enriched ruminally protected fatty acids on plasma metabolites, growth performance and carcass characteristics of Hanwoo steers [ J ]. Asian-australasian Journal of Animal Sciences, 2010, 23 ( 8 ): 1013-1021.
- [ 15 ] BHATT R S, SAHOO A, SHINDE A K, et al. Change in body condition and carcass characteristics of cull ewes fed diets supplemented with rumen bypass fat [ J ]. Livestock Science, 2013, 157 ( 1 ): 132-140.
- [ 16 ] ANDRADE E N, POLIZEL NETO A, ROÇA R O, et al. Beef quality of young Angus×Nellore cattle supplemented with rumen-protected lipids during rearing and fattening periods [ J ]. Meat Science, 2014, 98 ( 4 ): 591-598.
- [ 17 ] 冯仰廉.肉牛营养需要和饲养标准[M].北京:中国农业大学出版社,2000;23.  
FENG Y L. Nutritional requirements and feeding standards of beef cattle [ M ]. Beijing: China Agricultural University Press, 2000: 23. (in Chinese)
- [ 18 ] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 6435—2006 饲料中水分和其他挥发性物质含量的测定 [ S ]. 北京: 中国标准出版社, 2007.  
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration. GB/T 6435—2006 Determination of moisture and other volatile substances in feed [ S ]. Beijing: Standards Press of China, 2007. (in Chinese)
- [ 19 ] 国家技术监督局. GB/T 6432—1994 饲料中粗蛋白测定方法 [ S ]. 北京: 中国标准出版社, 1994.  
State Bureau of Technical Supervision. GB/T 6432—1994 Determination of crude protein in diet [ S ]. Beijing: Standards Press of China, 1994. (in Chinese)
- [ 20 ] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 20806—2006 饲料中中性洗涤纤维(NDF)的测定 [ S ]. 北京: 中国标准出版社, 2007.  
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of

- China, Standardization Administration. GB/T 20806—20064 Determination of neutral detergent fiber in feed [S]. Beijing: Standards Press of China, 2007. (in Chinese)
- [21] 中华人民共和国农业部. NY/T 1459—2007 饲料中酸性洗涤纤维的测定[S]. 北京: 农业出版社, 2008. The ministry of agriculture of the People's Republic of China. NY/T 1459—2007 Agricultural industry standard for determination of acid detergent fiber in feed[S]. Beijing: Agricultural Press, 2007. (in Chinese)
- [22] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 6433—2006 饲料中粗脂肪的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006. General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration. GB/T 6433—2006 Determination of crude fat in feed[S]. Beijing: Standards Press of China, 2006. (in Chinese)
- [23] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 6438—2007 饲料中粗灰分的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007. General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration. GB/T 6438—2007 Determination of crude ash in feed[S]. Beijing: Standards Press of China, 2007. (in Chinese)
- [24] NGIDI M E, LOERCH S C, FLUHARTY F L, et al. Effects of calcium soaps of long-chain fatty acids on feedlot performance, carcass characteristics and ruminal metabolism of steers [J]. *Journal of Animal Science*, 1990, 68(8): 2555–2565.
- [25] HAALAND G L, MATSUSHIMA J K, JOHNSON D E, et al. Effect of replacement of corn by protected tallow in a cattle finishing diet on animal performance and composition [J]. *Journal of Animal Science*, 1981, 52(4): 696–702.
- [26] 邢壮, 张微, 莫放, 等. 肉牛过瘤胃脂肪进食量对营养物质消化、氮沉积和嘌呤衍生物排出量的影响[J]. *中国农学通报*, 2008, 24(3): 24–29. XING Z, ZHANG W, MO F, et al. Influence of supplemental prilled fat on total tract nutrient digestion, nitrogen retain and urinary excretion of purine derivatives in steers [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2008, 24(3): 24–29. (in Chinese)
- [27] HARESIGN W. Recent advances in animal nutrition [M]. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1981: 3–33.
- [28] BAYOURTHE C, VERNAY M, MONCOULON R, et al. Effect of calcium salts of fatty acids on rumen function and the digestibility of rations by sheep [J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 1994, 64(3): 341–347.
- [29] WISEMAN J. Fats in Animal Nutrition [M]. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1984: 357–381.
- [30] 周顺伍. 动物生物化学 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2008: 134–139. ZHOU S W. Animal biochemistry [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2008: 134–139. (in Chinese)
- [31] 计成. 动物营养学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2008: 77–86. JI C. Animal nutrition [M]. Beijing: Higher Education Press, 2008: 77–86. (in Chinese)
- [32] LAKE S L, SCHOLLJEGERDES E J, ATKINSON R L, et al. Body condition score at parturition and postpartum supplemental fat effects on cow and calf performance [J]. *Journal of Animal Science*, 2005, 83(12): 2908–2917.
- [33] KANG H J, PIAO M Y, PARK S J, et al. Effects of ambient temperature and rumen-protected fat supplementation on growth performance, rumen fermentation and blood parameters during cold season in Korean cattle steers [J]. *Asian-australasian Journal of Animal Sciences*, 2019, 32(5): 657–664.
- [34] AMBROSE D J, KASTELIC J P, CORBETT R, et al. Lower pregnancy losses in lactating dairy cows fed a diet enriched in  $\alpha$ -linolenic acid [J]. *Journal of Dairy Science*, 2006, 89(8): 3066–3074.
- [35] HADDAD S G, YOUNIS H M. The effect of adding ruminally protected fat in fattening diets on nutrient intake, digestibility and growth performance of Awassi lambs [J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2004, 113(1/2/3/4): 61–69.
- [36] MATRAS J, KOWALCZUK-VASILEV E, KLEBAN-IUK R, et al. Influence of flaxseed of two varieties, differing in fatty acid profile, in dairy cow diets on selected blood indices and reproduction [J]. *Medycyna Weterynaryjna*, 2014, 70(7): 422–427.
- [37] GARCIA-BOJALIL C M, STAPLES C R, RISCO C A, et al. Protein degradability and calcium salts of long-chain fatty acids in the diets of lactating dairy cows: productive responses [J]. *Journal of Dairy Science*, 1998, 81(5): 1374–1384.
- [38] RABIEE A R, LEAN I J. Uptake of glucose and cho-

lesterol by the ovary of sheep and cattle and the influence of arterial LH concentrations[J]. *Animal Repro-*

*duction Science*, 2000, 64(3/4): 199-209.

## Effects of Fat Addition Level and Different Ratios of Fat Sources on Nutrient Apparent Digestibility and Serum Biochemical Indices of Holstein Steers

CAO Mingyu<sup>1</sup> YANG Zhiling<sup>1</sup> TAN Yanan<sup>1,2</sup> WANG Yaru<sup>1</sup> XU Peng<sup>1</sup> DUAN Zengliang<sup>1</sup>  
ZHANG Shuanlin<sup>1\*</sup> LIU Qiang<sup>1</sup> GUO Gang<sup>1</sup>

(1. *College of Animal Science, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China*; 2. *Bureau of Rural and Agriculture of Wenshui County, Wenshui 032101, China*)

**Abstract:** The objective of present research was to study the effects of fat addition level and different ratios of fat sources on nutrient apparent digestibility and serum biochemical indices of Holstein steers. Four (2.50 ± 0.17)-year-old Holstein steers [average body weight of (580 ± 50) kg] with permanent rumen fistula were fed a basal diet consisting of corn silage and concentrate supplement, which was added with 2 sources of fat (calcium salts of flaxseed fatty acids vs. whole flaxseed) at 3 addition levels (4%, 5% and 6%) and with 4 different ratios (100/0, 85/15, 70/30 and 5/45) in a 3 × 4 two-factorial design. Fat addition level/ratio in the twelve groups were 4/100, 4/85, 4/70, 4/55, 5/100, 5/85, 5/70, 5/55, 6/100, 6/85, 6/70 and 6/55, respectively. The experiment was divided into 12 stages, and the first 14 d of each stage was an adjustment period and the following 5 d was for sample collection. The results showed as follows: 1) the apparent digestibilities of crude protein and acid detergent fiber in 4% and 5% fat group were very significantly higher than those in the 6% fat group ( $P < 0.01$ ). 2) The activities of serum fatty acid triglyceride lipase, carnitine palmitoyl transferase- I and 3-hydroxy-3-methyl-glutaryl coenzyme A reductase in 5% and 6% fat groups were very significantly higher than those in the 4% fat group ( $P < 0.01$ ). The contents of serum total protein and very low density lipoprotein cholesterol in 6% fat group were significantly higher than those in 4% fat group ( $P < 0.01$  or  $P < 0.05$ ). The content of serum total protein in 70/30 ratio group was significantly higher than that in other ratio groups ( $P < 0.05$ ). The content of serum high density lipoprotein cholesterol (HDL-C) in the 5% and 6% fat groups was significantly higher than that in the 4% fat group ( $P < 0.01$ ), the content of serum low density lipoprotein cholesterol (LDL-C) in the 4% fat group was significantly higher than that in the 6% fat group ( $P < 0.05$ ). In conclusion, based on data of nutrient apparent digestibility and serum biochemical indices, the optimum fat addition level is 4% to 5%, and the optimum of different fat source ratios (rumen undegradable unsaturated fat / flaxseed) is 70/30. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2021, 33(3): 1523-1533]

**Key words:** rumen undegradable unsaturated fat; flaxseed; apparent digestibility; serum biochemical indices