动物营养学报 2020,32(8):3732-3741
Chinese Journal of Animal Nutrition

doi:10.3969/j.issn.1006-267x.2020.08.032

饲粮能量水平对围产期肉牛营养物质表观消化率和血清生化指标的影响

曾　磊[1]　王之盛[1*]　康　坤[1]　薛　白[1]　王立志[1]　彭全辉[1]　邹华围[1]
胡　瑞[1]　张翔飞[1]　王雪莹[1]　袁　梅[1]　欧锡均[2]

(1.四川农业大学动物营养研究所,牛低碳养殖与安全生产四川省重点实验室,成都 611130;
2.云南三江并流农业科技股份有限公司,昆明 650403)

摘　要: 本试验旨在研究饲粮能量水平对围产期肉牛营养物质表观消化率和血清生化指标的影响。选取体重[(335.7±21.6) kg]相近的妊娠后期健康西门塔尔杂交牛(西门塔尔公牛×云南本地黄牛母牛)初产母牛21头,随机分为3组(每组7个重复,每个重复1头牛),饲粮能量水平分别为1.06×NRC(高能组)、1.00×NRC(中能组)和0.94×NRC(低能组)能量需要,等氮不等能。正式试验期为产前30 d至产后30 d,共计60 d。结果表明:1)低能组饲粮可显著提高母牛围产期平均干物质采食量(ADMI)($P<0.05$)。3组母牛的单位体重代谢能摄入量随着饲粮能量水平的提高而显著提高($P<0.05$)。产后30 d高能组母牛比中能组和低能组少失重12.9和13.9 kg($P<0.05$)。2)产前高能组母牛的中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维、钙、磷表观消化率显著高于低能组($P<0.05$)。3)产后低能组和中能组母牛血清非酯化脂肪酸(NEFA)和β-羟基丁酸(BHBA)的含量显著高于高能组($P<0.05$)。综上所述,本试验中,高能饲粮(1.06×NRC)显著提高产前营养物质消化率和能量摄入量,减少肉牛产后30 d的失重;降低母牛产后血清NEFA和BHBA含量。因此,提高围产期饲粮能量水平(1.06×NRC)缓解了肉牛产后能量负平衡,有利于初产母牛的产后体重增加和体况恢复。

关键词: 能量水平;围产期肉牛;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(2020)08-3732-10

围产期(perinatal period),又称为过渡期(transition period),一般指母牛分娩前后3周这段时间,是母牛生产周期中最为重要的时期[1-2]。在这个时期,母牛经历了妊娠、分娩、泌乳等生理和代谢状态变化,直接或间接导致了母牛采食量减少且能量需求量迅速提高。有研究表明,奶牛产后2 d时的能量需要约为产前2 d时的2倍;奶牛产后4 d时,其对葡萄糖、氨基酸和脂肪酸的需求量分别是干奶前期时的3、2和5倍[3-4]。这一矛盾导致母牛进入能量负平衡(NEB)的营养应激状态。体脂动员是产后奶牛在葡萄糖(GLU)严重不足时补充能量的重要形式,围产期奶牛若长期处于NEB状态将导致奶牛体脂的大量动员进而诱发奶牛酮病和脂肪肝等疾病[5]。

提高围产期母牛的能量摄入量是解决围产期NEB的主要措施。NRC(2001)[6]奶牛营养需要标准推荐提高围产前期奶牛饲粮能量水平,认为产前高能饲粮能有效缓解奶牛产后的NEB,减少体重损失和营养代谢病的发生。有学者在研究中分别使用150%、100%和80%能量需要量饲喂围

收稿日期:2020-02-23
基金项目:国家重点研发计划(2017YFD0502005);四川省科技计划重点研发项目(2018NZ0002);四川省高等学校重点实验室项目
作者简介:曾　磊(1994—),男,河南信阳人,硕士研究生,从事反刍动物营养研究。E-mail: 784318257@qq.com
* **通信作者:**王之盛,教授,博士生导师,E-mail: wangzs67@163.com

产前期奶牛,研究发现围产期低能饲粮有利于提高产后奶牛的食欲,干物质采食量(DMI)恢复更快,更有利于缓解产后 NEB[7-8]。肉牛不同于奶牛之处在于肉牛以产犊为主要生产指标,具有泌乳量少、泌乳时长短、饲养管理较奶牛粗放等特点。而泌乳量和泌乳时长则是影响母牛围产期 NEB 的重要因素[9]。初产母牛不但体重尚未达到成年体重,还需要面临分娩、泌乳和自身进一步生长发育等问题,因此,初产母牛的围产期营养研究是国际上近年来的热点课题。本研究选择体重和体况相近的妊娠 9 月龄西门塔尔杂交牛初产母牛为试验动物,探究饲粮能量水平对围产期初产肉牛营养物质表观消化率和血清生化指标的影响,旨在为提高我国围产期肉牛饲养管理水平、完善肉牛母子一体化培育技术提供数据支撑和试验依据。

1　材料与方法

1.1　试验动物和试验设计

本试验采用完全随机试验设计,选取 21 头体重[(335.7±21.6) kg]和体况相近的妊娠后期健康西门塔尔杂交牛(西门塔尔公牛×云南本地黄牛母牛)初产母牛,分为 3 组,每组 7 个重复,每个重复 1 头牛,分别饲喂不同能量水平饲粮。试验包括预试期和正试期。预试期为产前 45 d 至产前 30 d,共计 15 d;正试期为产前 30 d 至产后 30 d,共计 60 d。在产前 7~5 d 和产后 0(当天)~2 d 进行消化代谢试验。

1.2　试验饲粮

试验饲粮参照肉牛 NRC(1996)推荐公式,按照 350 kg、妊娠 9 月肉牛营养需要量进行配制,3 组饲粮按照等氮不等能原则,分别配制 0.94×NRC(低能组)、1.00×NRC(中能组)和 1.06×NRC(高能组)推荐能量水平饲粮。试验期间各组均按照精粗比 40∶60 投喂全混合日粮,粗料为全株玉米青贮和干稻草。饲粮组成及营养水平见表 1。

1.3　饲养管理

本试验于 2018 年 9—12 月在云南省昆明市富民县散旦镇三江并流农业科技股份有限公司养殖基地进行。试验前对试验牛进行统一编号,试验前对圈舍进行消毒。试验牛单栏饲养,每个栏位配有独立食槽和饮水碗,试验期间每天 09:00 和 16:00 进行饲喂,自由采食和饮水。

表 1　饲粮组成及营养水平(干物质基础)

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

项目 Items	组别 Groups		
	低能 LE	中能 ME	高能 HE
原料 Ingredients			
全株玉米青贮 Whole corn silage	25.00	35.00	40.00
干稻草 Dry rice straw	35.00	25.00	20.00
玉米 Corn	6.00	14.00	20.50
麦麸 Wheat bran	18.00	12.90	4.00
豆粕 Soybean meal	1.00	1.50	5.45
菜籽饼 Rapeseed meal	2.00	2.00	1.50
棉籽粕 Cottonseed meal	1.00	2.75	1.00
酒糟蛋白粉 Distiller's grains protein powder	8.00	2.70	1.70
碳酸钙 $CaCO_3$	0.40	0.55	0.45
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	0.45	0.45	0.75
小苏打 $NaHCO_3$	0.45	0.45	0.45
氯化钠 NaCl	0.50	0.50	0.50
活性干酵母 Active dry yeast	0.20	0.20	0.20
预混料 Premix[1)]	2.00	2.00	2.00
脂肪粉 Fatty powder			1.50
合计 Total	100.00	100.00	100.00

续表 1

项目 Items	组别 Groups		
	低能 LE	中能 ME	高能 HE
营养水平 Nutrient levels[2)]			
代谢能 ME/(MJ/kg)	8.76	9.47	10.18
总可消化养分 TDN	63.43	66.01	69.74
粗蛋白质 CP	10.16	10.17	10.18
酸性洗涤纤维 ADF	27.91	24.84	22.51
中性洗涤纤维 NDF	45.72	40.53	35.74
钙 Ca	0.60	0.59	0.60
磷 P	0.40	0.40	0.40

1)预混料为每千克饲粮提供 The premix provided the following per kg of diets: VA 3 000 IU, VD 500 IU, VE 50 IU, Cu (as copper sulfate) 10 mg, Fe (as ferrous sulfate) 50 mg, Mn (as manganese sulfate) 40 mg, Zn (as zinc sulfate) 30 mg, I (as potassium iodide) 0.5 mg, Se (as sodium selenic) and 0.1 mg, Co (as cobalt chloride) 0.1 mg。

2)代谢能为计算值,其余为实测值。ME was a calculated value, while the others were measured values.

1.4 样品采集与指标测定

1.4.1 母牛体重和采食量测定

在产前 30 d、产前 1 d、产后 30 d 晨饲前对母牛进行空腹称重并记录,母牛分娩后立即称重并记录为产后 0 d 体重,计算母牛产犊失重和产后 30 d 失重,计算公式如下:

母牛产犊失重=产前 1 d 体重-产后 0 d 体重;

母牛产后 30 d 失重=产后 0 d 体重-产后 30 d 体重。

试验期间根据母牛体重预估采食量,饲喂时记录每日每头母牛的饲粮饲喂量,并在第 2 天晨饲前对余料进行清理、称重和记录,计算各组母牛的平均干物质采食量(ADMI),计算公式如下:

DMI=饲喂量-余料量;

ADMI=每组总 DMI/每组重复数。

1.4.2 营养物质摄入量及表观消化率测定

分别计算各组试验牛围产前期、围产后期的每日平均单位代谢体重营养物质摄入量,计算公式如下:

单位代谢体重营养物质摄入量=ADMI×饲粮中营养物质含量/母牛单位代谢体重。

在产前 7~5 d 和产后 0~2 d 每天每 6 h 收集 1 次粪便,采集完成后,混合均匀缩样为 2 份 500 g 粪样[10],按照样品总重 5%加入浓度为 10%的稀硫酸,装入无菌样品袋,混匀后-20 ℃保存。按四分法收集各组饲粮和饲料原料。参照张丽英[11]的方法测定各组饲粮及粪便中有机物(OM)、粗蛋白质(CP)、中性洗涤纤维(NDF)、酸性洗涤纤维(ADF)、粗脂肪(EE)、钙(Ca)和磷(P)的含量;用氧弹式热量计测定总能(GE)。使用盐酸不溶灰分(AIA)法测定各组营养物质表观消化率。计算公式如下:

饲粮某营养物质表观消化率(%)=100-(饲粮中指示剂含量/粪中指示剂含量)×(粪中营养物质含量/饲粮中营养物质含量)×100。

1.4.3 血样采集与测定

分别于产前 21、14、7 d,产后 7、14、21 d 晨饲前以及分娩后 1 h 内用一次性真空采血管于颈静脉各采集血样 10 mL,静置后 3 500 r/min,离心 10 min分离血清,并分装于 1.5 mL 的 EP 管中,于-20 ℃中冷藏待测。

血清中的总蛋白(TP)、GLU、甘油三酯(TG)、非酯化脂肪酸(NEFA)、尿素氮(UN)、β-羟基丁酸(BHBA)、钙(Ca)和磷(P)含量使用全自动生化分析仪(Cobas8000 C702 型)进行测定。血清中极低密度脂蛋白(VLDL)含量采用酶联免疫吸附(ELISA)法测定,所需试剂盒购于南京建成生物工程研究所。检测时,严格按照试剂盒说明书中的方法进行。

1.5 数据分析

体重、采食量、营养物质摄入量和表观消化率等试验数据用 Excel 2016 初步计算和整理后,用 SPSS 22.0 统计软件进行 one-way ANOVA 方差分析,并以 Duncan 氏法进行多重比较,结果以平均

值±标准误表示,$P \leqslant 0.05$ 为差异显著。

血清生化指标数据在整理后,用 SPSS 22.0 统计软件对饲粮能量水平和重复采样时间点进行双因素重复测量方差分析,在不同组间进行多重比较,结果以平均值±标准误表示,$P \leqslant 0.05$ 为差异显著。

2　结果与分析

2.1　饲粮能量水平对围产期肉牛体重变化的影响

如表 2 所示,3 组间初体重、产前 1 d 体重、产后 0 d 体重和末体重均无显著差异($P>0.05$)。高能组母牛产犊失重显著高于低能组和中能组($P<0.05$)。高能组母牛产后30 d失重显著低于中能组和低能组($P<0.05$),中能组和低能组间不存在显著差异($P>0.05$)。

2.2　饲粮能量水平对围产期肉牛平均干物质采食量和营养物质摄入量的影响

如表 3 所示,产前 21~8 d,各组母牛 ADMI 随饲粮能量水平上升而显著下降($P=0.05$);产前7 d至分娩,低能组母牛 ADMI 显著高于中能组和高能组($P<0.05$),高能组和中能组母牛 ADMI 无显著差异($P>0.05$)。分娩至产后 7 d,低能组和中能组母牛 ADMI 显著高于高能组($P<0.05$);产后 8~21 d,低能组 ADMI 最高,且各组母牛 ADMI 随饲粮能量水平上升而显著下降($P=0.05$)。

表 2　饲粮能量水平对围产期肉牛体重变化的影响

Table 2　Effects of dietary energy levels on BW change of beef cattle during transition period　　kg

项目 Items	组别 Groups			SEM	*P* 值 *P*-value
	低能 LE	中能 ME	高能 HE		
初体重 Initial BW	332.8	328.3	334.1	4.68	0.88
产前 1 d 体重 BW of prepartum 1 d	386.7	384.4	390.7	7.59	0.95
产后 0 d 体重 BW of postpartum 0 d	348.8	352.3	347.4	5.85	0.95
产犊失重 Calving weight loss	37.9^{b}	32.1^{c}	43.3^{a}	1.29	<0.01
末体重 Final BW	340.3	344.8	352.8	6.28	0.73
产后 30 d 失重 Postpartum 30 d weight loss	8.5^{a}	7.5^{a}	−5.4^{b}	1.25	<0.01

同行数据肩标无字母或相同字母表示差异不显著($P>0.05$),不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。下表同。

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

表 3　饲粮能量水平对围产期肉牛平均干物质采食量的影响

Table 3　Effects of dietary energy levels on ADMI of beef cattle during transition period　　kg/d

项目 Items	组别 Groups			SEM	*P* 值 *P*-value
	低能 LE	中能 ME	高能 HE		
产前 Prepartum					
21~8 d	8.0^{a}	7.6^{ab}	7.4^{b}	0.10	0.05
7~0 d	6.5^{a}	6.0^{b}	5.9^{b}	0.09	0.01
产后 Postpartum					
0~7 d	10.9^{a}	10.2^{a}	9.6^{b}	0.17	<0.01
8~21 d	12.3^{a}	11.6^{ab}	11.1^{b}	0.20	0.05

如表 4 所示,在产前,低能组母牛单位代谢体重代谢能摄入量显著低于高能组($P<0.05$),中能组处于二者之间但和其他 2 组差异不显著($P>0.05$)。3 组母牛单位代谢体重 NDF 和 ADF 摄入量随着饲粮能量水平的提高而显著降低($P<0.05$)。高能组母牛单位代谢体重 CP、Ca 和 P 摄入量显著低于低能组($P<0.05$)。

在产后,3 组间母牛单位代谢体重代谢能摄入量不存在显著差异($P>0.05$),但随着饲粮能量水平的提高,单位代谢体重代谢能摄入量逐渐提高。3 组母牛单位代谢体重 NDF、ADF 和 P 摄入量随着饲粮能量水平的提高而显著降低($P<0.05$)。低

能组母牛单位代谢体重 Ca 摄入量显著高于中能组和高能组($P<0.05$),中能组和高能组母牛单位代谢体重 Ca 摄入量差异不显著($P>0.05$)。

表 4 饲粮能量水平对围产期肉牛营养物质摄入量的影响

Table 4 Effects of dietary energy levels on nutrient intake of beef cattle during transition period

项目 Items	组别 Groups			SEM	*P* 值 *P*-value
	低能 LE	中能 ME	高能 HE		
单位代谢体重代谢能摄入量 ME intake per kg $BW^{0.75}$/[MJ/(kg·d)]					
产前 Prepartum	0.79^{b}	0.82^{ab}	0.84^{a}	0.008	0.04
产后 Postpartum	1.24	1.25	1.27	0.012	0.64
单位代谢体重粗蛋白质摄入量 CP intake per kg $BW^{0.75}$/[g/(kg·d)]					
产前 Prepartum	9.20^{a}	8.81^{ab}	8.41^{b}	0.104	<0.01
产后 Postpartum	14.41^{a}	13.46^{b}	12.68^{c}	0.198	<0.01
单位代谢体重酸性洗涤纤维摄入量 ADF intake per kg $BW^{0.75}$/[g/(kg·d)]					
产前 Prepartum	25.26^{a}	21.51^{b}	18.61^{c}	0.636	<0.01
产后 Postpartum	39.58^{a}	32.86^{b}	28.04^{c}	0.195	<0.01
单位代谢体重中性洗涤纤维摄入量 NDF intake per kg $BW^{0.75}$/[g/(kg·d)]					
产前 Prepartum	41.28^{a}	35.10^{b}	29.55^{c}	1.121	<0.01
产后 Postpartum	64.84^{a}	53.62^{b}	44.52^{c}	1.913	<0.01
单位代谢体重钙摄入量 Ca intake per kg $BW^{0.75}$/[mg/(kg·d)]					
产前 Prepartum	544.4^{a}	510.7^{b}	494.2^{b}	6.44	<0.01
产后 Postpartum	853.1^{a}	780.1^{b}	744.5^{b}	12.27	<0.01
单位代谢体重磷摄入量 P intake per kg $BW^{0.75}$/[mg/(kg·d)]					
产前 Prepartum	359.5^{a}	345.0^{a}	328.3^{b}	4.110	<0.01
产后 Postpartum	563.3^{a}	527.0^{b}	494.5^{c}	7.810	<0.01

2.3 饲粮能量水平对围产期肉牛营养物质表观消化率的影响

如表 5 所示,在产前,各组间母牛的 CP 和 EE 表观消化率并没有显著差异($P>0.05$);低能组母牛的 NDF 表观消化率显著低于高能组($P<0.05$),中能组母牛的 NDF 表观消化率和其他 2 组间差异并不显著($P>0.05$)。低能组母牛的 ADF 表观消化率显著低于中能组和高能组($P<0.05$)。低能组母牛的 Ca 表观消化率显著低于中能组和高能组($P<0.05$),中能组和高能组母牛 Ca 表观消化率差异不显著($P>0.05$)。高能组母牛 P 表观消化率显著高于低能组和中能组($P<0.05$),中能组和低能组母牛 Ca 表观消化率差异不显著($P>0.05$)。在产后,EE、Ca 和 P 表观消化率相对产前有所提高,而 NDF 和 ADF 表观消化率相对产前有所下降。各组间母牛的营养物质消化率差异并不显著($P>0.05$)。

2.4 饲粮能量水平对围产期肉牛血清生化指标的影响

如表 6 所示,在产前,围产期 3 组间母牛血清 GLU 含量差异不显著($P>0.05$),受时间影响显著($P<0.05$)。3 组间母牛血清 PA 含量差异不显著($P>0.05$),血清 PA 含量变化有受饲粮能量水平影响的趋势($P=0.07$)。3 组间母牛血清 TG 含量差异不显著($P>0.05$),血清 TG 含量变化受时间影响显著($P<0.05$)。高能组母牛血清 NEFA 含量显著低于低能组和中能组($P<0.05$),其变化受饲粮能量水平影响显著($P<0.05$)。3 组间母牛血清 BHBA 含量差异不显著($P>0.05$),血清 BHBA 含量变化受时间影响显著($P<0.05$)。3 组间母牛血清 VLDL 含量差异不显著($P>0.05$),血清 VLDL 含量变化受时间影响显著($P<0.05$)。3 组间母牛血清 TP 含量差异未达到显著水平($P>0.05$)。3 组间母牛血清 UN 含量差异未达到显著水平($P>0.05$)。

表 5　饲粮能量水平对围产期肉牛营养物质表观消化率的影响

Table 5　Effects of dietary energy levels on nutrient apparent digestibility of beef cattle during transition period　%

项目 Items	组别 Groups			SEM	*P* 值 *P*-value
	低能 LE	中能 ME	高能 HE		
产前 Prepartum					
粗蛋白质 CP	54.81	55.67	56.94	0.616	0.38
粗脂肪 EE	58.64	56.77	54.87	0.798	0.16
中性洗涤纤维 NDF	53.56^{b}	55.89^{ab}	58.65^{a}	0.628	0.01
酸性洗涤纤维 ADF	41.25^{c}	46.51^{b}	52.65^{a}	0.825	<0.01
钙 Ca	35.24^{b}	40.66^{a}	41.65^{a}	0.768	<0.01
磷 P	33.70^{b}	37.93^{b}	42.57^{a}	1.077	<0.01
产后 Postpartum					
粗蛋白质 CP	54.80	54.95	53.63	0.725	0.74
粗脂肪 EE	64.47	67.45	71.10	1.335	0.13
中性洗涤纤维 NDF	51.22	46.54	49.60	1.318	0.33
酸性洗涤纤维 ADF	32.24	30.21	31.30	1.152	0.67
钙 Ca	59.10	59.57	62.57	0.802	0.16
磷 P	42.97	46.94	43.26	1.205	0.34

在产后,高能组母牛血清 PA 含量显著低于低能组和中能组($P<0.05$),低能组和中能组母牛血清 PA 含量差异不显著($P>0.05$),产后其含量变化受饲粮能量水平影响显著($P<0.05$)。高能组母牛血清 TG 含量显著高于低能组和中能组($P<0.05$),低能组和中能组母牛血清 TG 含量差异不显著($P>0.05$),其含量在产后的变化受饲粮能量水平影响显著($P<0.05$)。高能组母牛血清 NEFA 和 BHBA 含量显著低于低能组和中能组($P<0.05$),低能组和中能组母牛血清 NEFA 和 BHBA 含量差异不显著($P>0.05$),二者的含量在产后的变化受饲粮能量水平影响显著($P<0.05$)。3 组母牛血清 VLDL 含量差异未达到显著水平($P>0.05$),血清 VLDL 含量随时间影响显著变化($P<0.05$)。低能组母牛血清 TP 含量显著高于中能组和高能组($P<0.05$),中能组和高能组差异不显著($P>0.05$);3 组母牛血清 UN 含量随着饲粮能量水平的提高而显著降低($P<0.05$)。3 组母牛血清 TP 和 UN 含量受饲粮能量水平影响显著($P<0.05$)。

表 6　饲粮能量水平对围产期肉牛血清生化指标的影响

Table 6　Effects of dietary energy levels on serum biochemical indexes of beef cattle during transition period　mmol/L

项目 Items	组别 Groups			SEM	*P* 值 *P*-value		
	低能 LE	中能 ME	高能 HE		处理 Trt	处理×时间 Trt×Time	时间 Time
产前 Prepartum							
葡萄糖 GLU	3.52	3.53	3.60	0.036	0.70	0.99	<0.01
丙酸 PA	6.20	6.08	6.05	0.036	0.07	0.02	<0.01
甘油三酯 TG	0.28	0.28	0.26	0.007	0.39	0.17	<0.01
非酯化脂肪酸 NEFA	0.36^{a}	0.38^{a}	0.33^{b}	0.007	0.04	0.84	<0.01
β-羟基丁酸 BHBA	0.27	0.25	0.26	0.006	0.48	0.60	<0.01
极低密度脂蛋白 VLDL	8.06	8.08	8.17	0.075	0.80	0.98	<0.01
总蛋白 TP	69.83	67.99	69.30	0.639	0.51	0.99	0.11
尿素氮 UN	4.03	3.99	3.68	0.076	0.16	0.18	0.10

续表 6

项目 Items	组别 Groups			SEM	*P* 值 *P*-value		
	低能 LE	中能 ME	高能 HE		处理 Trt	处理×时间 Trt×Time	时间 Time
产后 Postpartum							
葡萄糖 GLU	3.40	3.46	3.55	0.034	0.19	0.99	<0.01
丙酸 PA	6.84[a]	6.66[a]	6.47[b]	0.049	0.02	0.01	<0.01
甘油三酯 TG	0.21[b]	0.20[b]	0.23[a]	0.004	0.03	0.06	<0.01
非酯化脂肪酸 NEFA	0.55[a]	0.56[a]	0.49[b]	0.008	<0.01	<0.01	<0.01
β-羟基丁酸 BHBA	0.41[a]	0.40[a]	0.35[b]	0.008	<0.01	<0.01	<0.01
极低密度脂蛋白 VLDL	11.91	11.55	11.50	0.107	0.27	0.14	<0.01
总蛋白 TP	77.06[a]	70.76[b]	73.40[b]	0.768	<0.01	0.02	<0.01
尿素氮 UN	4.89[a]	4.48[b]	3.75[c]	0.115	<0.01	<0.01	<0.01

3 讨 论

3.1 饲粮能量水平对围产期肉牛体重变化的影响

围产后期的母牛由于泌乳量迅速提高和产后 DMI 不足,因此极易出现 NEB。在围产后期,体重下降越多代表 NEB 越严重[12]。同时,初产母牛体重一般只有成年体重的 65%左右,当其处于围产期时将面临既要满足自身增重的需要,也要满足泌乳和尽快恢复体况进入下一个情期的需要。为了满足这些需要,母牛在围产期需大量动员体储。因此,提高有效能量的摄入显得更为重要。本试验结果表明,提高饲粮能量水平,有助于提高单位代谢体重代谢能摄入,虽然增加了产犊失重,但是减少了产后 30 d 失重并在围产后期获得了增重。Rabelo 等[13]报道,产前低能饲喂的初产母牛相对于高能饲喂,产后体重下降幅度更高。这与本文的研究结果相同。本试验中,低能组和中能组母牛产后 30 d 失重分别为 8.5 和 7.5 kg,而高能组母牛产后 30 d 失重则为-5.4 kg,即该组母牛在产后 0~30 d 平均增重 5.4 kg。这提示了产后高能组母牛相对中能组和低能组有更好的能量平衡状态。在近年的研究中,奶牛整个围产后期的平均失重分别是 20、28 和 68 kg[14-16],平均失重占体重比分别为 2.9%、4.1%和 10.8%,对比本试验中母牛产后 30 d 平均失重 3.5 kg,平均失重占体重比为 1%。这也提示了肉牛产后因哺乳动员的体储较奶牛少,围产期能量平衡情况优于奶牛,这与肉牛母牛较低的泌乳量有关。

3.2 饲粮能量水平对围产期肉牛平均干物质采食量和营养物质摄入量的影响

前人的研究已经证明,围产期饲粮的原料和营养物质结构对围产期母牛的 DMI、体重变化、泌乳性能和能量平衡等具有显著的影响[13]。本试验中,低能组母牛 ADMI 在各个时期均显著高于高能组。在产后 0~7 d,低能组母牛的 ADMI 相较于高能组提高了 13.5%,产后 8~14 d 低能组母牛的 ADMI 相较于高能组提高了 10.8%。该结果提示了围产期低能饲喂,其 ADMI 更高、产后恢复更快且提升的幅度更高。Kunz 等[17]报道称,产前低能饲喂母牛产后 DMI 恢复更快。这也与本试验的结果相一致。

围产期母牛的营养物质摄入量受到了 DMI、饲粮营养物质含量和体重等因素的影响[18]。在本试验中,高能组母牛的围产期单位代谢体重代谢能摄入量相对于中能组和低能组分别提高了 0.4 和 0.8 MJ/(kg·d),而高能组母牛的产后单位代谢体重其他营养物质摄入量相对于中能组和低能组均显著减少,这主要受到了等氮不等能的各组饲粮中营养物质组分不同和低能组母牛较高的 ADMI 的影响。据《肉牛饲养标准》[19]推荐,300 kg、每天 9 kg 标准乳的肉牛母牛 CP 需要量约为 1 100 g/d。在本试验中,根据试验饲粮中 CP 含量和 3 组母牛产后 ADMI 推算,试验母牛的平均 CP 摄入量远超过 1 100 g/d。而实际生产中,肉牛母牛的泌乳量远远低于 9 kg 标准乳,因此 3 组母牛的 CP 摄入量均能满足泌乳的需要量。而低能组和中能组摄入的更多 CP 可能主要参与糖

异生活动生成 GLU 参与供能,以满足低能组和中能组母牛乳腺对能量和 GLU 更多的需求。

3.3　饲粮能量水平对围产期肉牛营养物质表观消化率的影响

本试验以盐酸不溶灰分作为内源指示剂测定了产前、产后 2 个时期 3 组母牛的营养物质表观消化率后发现:在产前,高能组母牛的 NDF、ADF、Ca 和 P 表观消化率相对于低能组均有显著的提高。研究表明,在适宜的饲养水平上,随着 DMI 的增加,食糜在消化道中的停留时间变短,营养物质表观消化率将会下降[20]。而在产后,各组间营养物质表观消化率差异并不显著。导致这种情况发生的原因尚需要进一步研究。

3.4　饲粮能量水平对围产期肉牛血清生化指标的影响

牛代谢所需的 GLU 主要来自于瘤胃发酵产生的 PA 经糖异生活动生成,仅有少量 GLU 来自于肠道吸收。在围产期,由于初乳的分泌和母牛产后泌乳量的快速提升,乳腺对于 GLU 的需求量迅速提升,而仅仅依靠摄入饲粮难以满足其对于 GLU 的需求,故产后母牛的血清 GLU 含量往往处于较低水平,需通过脂肪酸和氨基酸参与糖异生活动来弥补 GLU 的不足[21-22]。本试验中,产前 3 组母牛血清 GLU 含量随着分娩的来临缓慢下降,且各组间差异不显著;血清 GLU 含量在分娩时达到峰值,之后缓缓下降,在产后,3 组母牛血清 GLU 含量同样不存在显著差异。血清 GLU 含量随时间变化的趋势与前人研究结果[15]相似。

血清 NEFA 含量升高是奶牛 NEB 和体脂动员的重要标志[23]。脂肪酸在肝脏的代谢过程中产生的酮体包括乙酰乙酸、BHBA 和丙酮。BHBA 也是一个监测 NEB 和体脂动员公认的敏感指标[24]。VLDL 主要由肝脏合成,主要功能是向血液运输肝脏利用酮体等合成的内源性 TG[25]。在本试验中,3 组产前的血清 NEFA、VLDL 和 BHBA 含量均较低,随着母牛分娩发动,产后的血清 NEFA、VLDL 和 BHBA 含量迅速攀升,且低能组的 3 项指标均显著高于高能组。这说明产后低能组和中能组母牛 NEB 情况较严重,对于体脂的动员明显强于高能组。与产后 3 组母牛血清 TG 含量显著降低,低能组的血清 TG 含量显著低于高能组的试验结果相吻合。

对于处于 NEB 状态中的动物,血清中的 TP 和 UN 是评价蛋白质代谢的常用指标。Chikhou 等[26]指出,UN 是反映动物蛋白质平衡状态指标。奶牛血清 UN 含量最低,泌乳早期较高,随后在泌乳期间较高[27]。也有研究指出,母牛分娩后血清 UN 含量的增加与采食量的增加有关[28]。在本试验中,3 组母牛血清 TP 和 UN 含量在产前不存在显著差异,在产后,低能组母牛血清 TP 和 UN 含量显著高于高能组。这提示了低能组母牛的蛋白质动员更为剧烈。

4　结　论

本试验中,高能饲粮显著提高产前营养物质表观消化率和能量摄入量,减少肉牛产后 30 d 失重,降低血清 NEFA 和 BHBA 含量。因此,提高围产期饲粮能量水平(1.06×NRC)缓解了肉牛产后 NEB,有利于初产母牛的产后增重和体况恢复。

参考文献:

[1] GRUMMER R R. Impact of changes in organic nutrient metabolism on feeding the transition dairy cow [J]. Journal of Animal Science, 1995, 73(9): 2820-2833.

[2] DRACKLEY J K. ADSA foundation scholar award. Biology of dairy cows during the transition period: the final frontier? [J]. Journal of Dairy Science, 1999, 82(11): 2259-2273.

[3] HORST R L, GOFF J P, REINHARDT T A, et al. Strategies for preventing milk fever in dairy cattle[J]. Journal of dairy Science, 1997, 80(7): 1269-1280.

[4] BELL A W. Regulation of organic nutrient metabolism during transition from late pregnancy to early lactation [J]. Journal of Animal Science, 1995, 73(9): 2804-2819.

[5] MAYASARI N, CHEN J, FERRARI A, et al. Effects of dry period length and dietary energy source on inflammatory biomarkers and oxidative stress in dairy cows[J]. Journal of Dairy Science, 2017, 100(6): 4961-4975.

[6] NRC. Nutrition requirement of dairy cattle[S]. 7th ed. Washington, D.C.: National Academies Press, 2001.

[7] DOUGLAS G N, OVERTON T R, BATEMAN Ⅱ H G, et al. Prepartal plane of nutrition, regardless of dietary energy source, affects periparturient metabolism and dry matter intake in holstein cows[J]. Journal of Dairy Science, 2006, 89(6): 2141-2157.

[8] JANOVICK N A, BOISCLAIR Y R, DRACKLEY J K. Prepartum dietary energy intake affects metabolism and health during the periparturient period in primiparous and multiparous Holstein cows[J]. Journal of Dairy Science, 2011, 94(3): 1385-1400.

[9] GRUMMER R R. Nutritional and management strategies for the prevention of fatty liver in dairy cattle[J]. The Veterinary Journal, 2008, 176(1): 10-20.

[10] SUN K, KUSMINSKI C M, SCHERER P E. Adipose tissue remodeling and obesity[J]. Journal of Clinical Investigation, 2011, 121(6): 2094-2101.

[11] 张丽英. 饲料分析及饲料质量检测技术[M]. 2 版. 北京: 中国农业大学出版社, 2003.

[12] FAULKNER A, POLLOCK H T. Metabolic responses to euglycaemic hyperinsulinaemia in lactating and non-lactating sheep *in vivo*[J]. Journal of Endocrinology, 1990, 124(1): 59-66.

[13] RABELO E, REZENDE R L, BERTICS S J, et al. Effects of transition diets varying in dietary energy density on lactation performance and ruminal parameters of dairy cows[J]. Journal of Dairy Science, 2003, 86(3): 916-925.

[14] 陈子宁, 李妍, 高艳霞, 等. 围产前期日粮能量水平对荷斯坦奶牛产后生产性能和血液指标的影响[J]. 畜牧兽医学报, 2015, 46(11): 2002-2009.

[15] HUANG W M, TIAN Y J, LI S L, et al. Reduced energy density of close-up diets decrease ruminal pH and increase concentration of volatile fatty acids postpartum in Holstein cows[J]. Animal Science Journal, 2017, 88(11): 1700-1708.

[16] 马书林, 张峰, 吴占军, 等. 能量水平对初产母牛围产期生产性能的影响[J]. 中国奶牛, 2013(3): 32-38.

[17] KUNZ P L, BLUM J W, HART I C, et al. Effects of different energy intakes before and after calving on food intake, performance and blood hormones and metabolites in dairy cows[J]. Animal Science, 1985, 40(2): 219-231.

[18] WOODS V B, KILPATRICK D J, GORDON F J. Development of empirical models to describe the response in lactating dairy cattle to changes in nutrient intake as defined in terms of metabolisable energy intake[J]. Livestock Production Science, 2003, 80(3): 229-239.

[19] 冯仰廉, 王加启, 杨红建, 等. NY/T 815—2004 肉牛饲养标准[S]. 北京: 中国农业出版社, 2004.

[20] 王之盛, 李胜利. 反刍动物营养学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2016.

[21] 卢德勋. 系统动物营养学导论[M]. 北京: 中国农业出版社, 2004.

[22] GAÁL T, RIBICZEYNÉ-SZABÓ P, STADLER K, et al. Free radicals, lipid peroxidation and the antioxidant system in the blood of cows and newborn calves around calving[J]. Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology, 2006, 143(4): 380-396.

[23] CANFIELD R W, BUTLER W R. Energy balance and pulsatile LH secretion in early postpartum dairy cattle[J]. Domestic Animal Endocrinology, 1990, 7(3): 323-330.

[24] KELLY J M. Changes in serum B hydroxybutyrate concentrations in dairy cows kept under commercial farm conditions[J]. Veterinary Record, 1977, 101(25): 499-502.

[25] GLASCOCK R F, WELCH V A. Contribution of the fatty acids of three low density serum lipoproteins to bovine milk fat[J]. Journal of Dairy Science, 1974, 57(11): 1364-1370.

[26] CHIKHOU F H, MOLONEY A P, ALLEN P, et al. Long-term effects of cimaterol in Friesian steers: Ⅰ. Growth, feed efficiency, and selected carcass traits[J]. Journal of Animal Science, 1993, 71(4): 906-913.

[27] PETERSON R G, WALDERN D E. Repeatabilities of serum constituents in Holstein-Friesians affected by feeding, age, lactation, and pregnancy[J]. Journal of Dairy Science, 1981, 64(5): 822-831.

[28] BAUCHART D. Lipid absorption and transport in ruminants[J]. Journal of Dairy Science, 1993, 76(12): 3864-3881.

Effects of Dietary Energy Levels on Nutrient Apparent Digestibility and Serum Biochemical Indexes of Beef Cattle during Transition Period

ZENG Lei[1]　WANG Zhisheng[1*]　KANG Kun[1]　XUE Bai[1]　WANG Lizhi[1]　PENG Quanhui[1]
ZOU Huawei[1]　HU Rui[1]　ZHANG Xiangfei[1]　WANG Xueying[1]　YUAN Mei[1]　OU Xijun[2]
(1. *Key Laboratory of Low Carbon Culture Production in Cattle in Sichuan*, *Animal Nutrition Institute*, *Sichuan Agricultural University*, *Chengdu* 611130, *China*; 2. *Three Parallel Rivers Agricultural Science and Technology Co.*, *Ltd.*, *Kunming* 650403, *China*)

Abstract: The objective of present study was to investigate the effect of dietary energy levels on nutrient apparent digestibility and serum biochemical indexes of beef cattle during transition period. Twenty-one healthy late pregnant Chinese Simmental crossbred cattle (Simmental bull×*Yunnan* yellow cattle) with body weight of (335.7±21.6) kg were selected and divided into 3 groups randomly. Each group was fed a high energy diet (HE) with 1.06×NRC energy requirement, medium energy diet (ME) with 1.00×NRC energy requirement or low energy diet (LE) with 0.94×NRC energy requirement, respectively. Experimental period for each cattle was from prepartum 30 d to postpartum 30 d, amounted to 60 d. Results showed as follows: 1) cattle consumed LE diet had greater average dry matter intake (ADMI) when compared with ME and HE diets during transition period ($P<0.05$). The metabolic energy intake (MEI) per kg metabolic body weight (MBW) was significantly improved with the increasing of dietary energy ($P<0.05$). Body weight loss of cattle in HE group was 12.9 and 13.9 kg significantly less than those in ME and LE groups ($P<0.05$). 2) Neutral detergent fibers (NDF), acidic detergent fibers (ADF), Ca and P apparent digestibility of cattle in HE group were significantly higher than those in LE group during prepartum period ($P<0.05$). 3) The serum non-esterified fatty acid (NEFA) and beta-hydroxybutyric acid (BHBA) contents in LE and ME groups were significantly more than those in HE group after calving ($P<0.05$). In conclusion, cattle fed the high energy diet (1.06×NRC) have higher prepartum nutrient apparent digestibility, energy intake and lower postpartum body weight loss. Meanwhile, serum NEFA, BHBA contents of cattle during postpartum period can be reduced by high energy diet. In this study, the results suggest that heifers consume high energy diet (1.06×NRC) have more weight gain, better energy balance and body condition after calving. [***Chinese Journal of Animal Nutrition***, **2020**, **32**(**8**): **3732-3741**]

Key words: energy levels; transition beef cattle; apparent digestibility; serum biochemical indexes

* Corresponding author, professor, E-mail: wangzs67@163.com

(责任编辑　陈　鑫)