

doi:10.7668/hbxb.2014.S1.051

日粮中不同比例小麦替代玉米对 奶牛氮代谢参数的影响

郭勇庆^{1,2}, 邹 杨¹, 徐晓锋¹, 杨占山¹, 曹志军¹, 李胜利¹

(1. 中国农业大学 动物科技学院, 北京 100193; 2. 石家庄市农林科学研究院, 河北 石家庄 050041)

摘要:为研究日粮中不同比例小麦替代玉米对奶牛氮代谢参数的影响,选择8头泌乳天数为 84 ± 17 d,体重为 569 ± 47 kg的经产中国荷斯坦奶牛作为试验动物,采用重复 4×4 拉丁方设计,分别饲喂含不同比例粉碎小麦(GW)和粉碎玉米(GC)的日粮,4个处理组分别为(DM基础):W0组(0% GW + 27.9% GC),W9.6组(9.6% GW + 19.2% GC),W19.2组(19.2% GW + 9.6% GC)和W28.8组(28.8% GW + 0% GC)。结果表明:奶牛的产奶量、乳蛋白率和乳蛋白产量未受影响;随着日粮中小麦比例的增加,奶牛的干物质采食量(DMI)呈二次曲线增加趋势($P=0.07$),牛奶尿素氮(MUN)浓度线性增加($P<0.01$),且W28.8组显著高于W0和W19.2组($P<0.01$);粪氮排出量未受日粮影响,尿氮排出量呈线性增加趋势($P=0.08$);尿氮($P=0.02$)和总排出氮(粪氮+尿氮)($P=0.05$)占食入氮的比例呈二次曲线降低;尿素氮产量($P<0.01$)及其占总尿氮的比例($P=0.03$)线性增加,且W19.2和W28.8组的尿素氮产量显著高于($P=0.01$)其他2组;尿中尿囊素($P=0.05$)和总嘌呤($P=0.09$)产量呈线性降低趋势,W9.6组的微生物氮产量显著($P=0.02$)高于W28.8组。结果提示:泌乳盛期奶牛日粮中用9.6%的粉碎小麦替代玉米效果最佳,高比例的小麦替代玉米(W28.8组)时能够增加尿氮及奶和尿中尿素氮的排出量,降低微生物氮的合成。

关键词:奶牛;小麦;玉米;氮代谢;微生物氮

中图分类号:S823 文献标识码:A 文章编号:1000-7091(2014)增刊-0273-07

Effect of Different Levels of Wheat as Replacements for Corn in Diets on Metabolic Parameters of Nitrogen in Dairy Cows

GUO Yong-qing^{1,2}, ZOU Yang¹, XU Xiao-feng¹, YANG Zhan-shan¹, CAO Zhi-jun¹, LI Sheng-li¹

(1. College of Animal Science & Technology, China Agricultural University, Beijing 100193, China;

2. Shijiazhuang Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Shijiazhuang 050041, China)

Abstract: Eight multiparous Holstein cows (569 ± 47) kg of BW; (84 ± 17) DIM, were used in a replicated 4×4 Latin square design to evaluate the effects of different levels of ground wheat (GW) as replacements for ground corn (GC) in diets on metabolic parameters of nitrogen in dairy cows. The cows were allocated to the dietary treatments as follows (DM basis): W0 diet: total mixed ration (TMR) containing 0% GW and 27.9% GC; W9.6 diet: TMR containing 9.6% GW and 19.2% GC; W19.2 diet: TMR containing 19.2% GW and 9.6% GC; W28.8 diet: TMR containing 28.8% GW and 0% GC. The results indicated that milk production, percentage and yield of milk protein not affected by treatments; However, increasing dietary levels of GW, DM intake tended to increase quadratically ($P=0.07$), concentration of milk urea nitrogen (MUN) increased linearly ($P<0.01$), and significantly increased ($P<0.01$) in cows fed the W28.8 diet compared with the cows fed the W0 and W19.2 diets; Excretion of fecal nitrogen (N) not affected by diets, however, excretion of urinary N increased linearly ($P<0.08$); as a proportion of N intake, urinary N losses and total (urinary plus fecal) N losses tended to decrease quadratically ($P=0.08$); urinary urea N loss ($P<0.01$) and as a proportion of urinary N loss ($P=0.03$) increased linearly, and

收稿日期:2014-10-08

基金项目:国家重点基础研究发展计划项目(“973”计划)(2011CB100801)

作者简介:郭勇庆(1981-),男,河北邯郸人,博士,主要从事反刍动物营养研究。

通讯作者:李胜利(1965-),男,教授,博士,博士生导师,主要从事反刍动物营养研究。

urinary urea N loss significantly increased ($P=0.01$) in cows fed the W19.2 and W28.8 diets, compared with other two diets; Urinary allantoin ($P=0.05$) and purines derivatives ($P=0.09$) tended to decrease linearly, microbial N synthesis significantly increased ($P=0.02$) in cows fed the W9.6 diet compared with the cows fed the W28.8 diet. Results from this experiment indicated that 9.6% of GW substitution for GC appeared to be an appropriate level in diet for early lactation dairy cows, a great amount of GW (28.8%) in the diets could increase the excretion of urinary N and urea N loss from the milk and urinary, and decrease microbial N supply.

Key words: Dairy cows; Wheat; Corn; Nitrogen metabolism; Microbial nitrogen

玉米是我国奶牛生产中常用的谷物类饲料,在精料补充料中应用比例通常高达 50%~60%,但随着生物燃料和淀粉工业的快速发展,其需求总量日益增加,迫切需要寻找可以替代玉米的淀粉类能量饲料。其中,小麦作为我国传统的种植谷物,产量仅次于玉米和稻谷^[1]。近年来,由于国内外玉米市场价格的持续高位运行及部分地区存在质量较次的小麦不适于人们食用,使得小麦替代玉米成为可能。

瘤胃中微生物合成的蛋白产量占反刍动物蛋白总需要量的 60%~70%^[2],其合成量的高低可反应瘤胃中微生物蛋白(MCP)的合成效率和微生物的数量^[3],主要取决于瘤胃中碳水化合物和氮的利用效率。小麦淀粉含量与玉米相似,但在瘤胃中的降解速率大于玉米^[4],小麦淀粉在瘤胃中 24 h 降解率为 98.47%,而玉米为 61.49%^[5]。研究表明,日粮中用适量快速降解淀粉(小麦)替代玉米时,能够增加瘤胃可利用能量,促进瘤胃降解蛋白(RDP)在瘤胃中的利用和增加微生物蛋白产量^[6];但大量增加日粮中快速降解淀粉时,会引起瘤胃 pH 值下降和渗透压升高,诱发急性或亚急性瘤胃酸中毒(SARA)^[7]。此外,保持瘤胃能氮平衡,能够提高饲料总氮向奶氮的转换,降低氮的排泄^[8]。用日粮中快速降解淀粉来代替慢速降解淀粉,是否能够促进奶牛的瘤胃能氮平衡,改善氮代谢,目前研究相对较少。因此,本试验用不同比例的小麦替代玉米,探讨线性增加日粮中小麦比例时泌乳盛期奶牛的氮利用、排出和瘤胃微生物氮合成变化,从氮代谢的角度来评估小麦替代玉米的适宜比例。

1 材料和方法

1.1 试验动物与饲养管理

试验选择 8 头泌乳天数为(84±17) d,体重为(569±47) kg 的经产中国荷斯坦奶牛作为试验动物。试验地点为中国农业大学延庆试验基地,奶牛单独拴系饲喂(铺有橡胶床垫),自由饮水。日等量饲喂 2 次(7:00 和 19:00),保证 5%~10% 的剩料量;机械挤奶 2 次(6:30 和 18:30)。

1.2 试验设计与试验日粮

试验采用重复 4×4 拉丁方设计,分别饲喂含不同比例粉碎小麦(GW)和玉米(GC)的日粮,4 个处理组分别为:W0 组(0% 小麦+27.9% 玉米),W9.6 组(9.6% 小麦+19.2% 玉米),W19.2 组(19.2% 小麦+9.6% 玉米)和 W28.8 组(28.8% 小麦+0% 玉米)。每期 21 d,其中预试期 14 d,采样期 7 d。每期的头 3 d 逐步替换下一期日粮,以使奶牛适应新的日粮。根据 NRC^[9] 饲养标准,日粮按照体重为 600 kg、产奶量 28 kg/d 和 4% 乳脂率的经产荷斯坦奶牛营养需要进行配制。全混合日粮(TMR)饲喂,精粗比为 53:47(DM 基础)。小麦和玉米用多腔锤式粉碎机粉碎(分别过 3.0,3.5 mm 筛),其几何平均粉碎粒度分别为 1 139,666 μm^[10]。通过调整日粮中的豆粕和过瘤胃脂肪比例使日粮的蛋白和能量水平一致。TMR 的颗粒分布由宾州饲料分级筛测定^[11],TMR 在筛孔直径为 19.0,8.0,1.18 mm 的 3 层及其底层的分布分别为 32.5%,19.6%,29.0%,18.9% (鲜样基础),各组日粮颗粒分布相似。日粮组成和营养成分见表 1。

1.3 检测指标及测定方法

1.3.1 饲料样品的采集与分析 每周采集 1 次饲料样品,包括玉米青贮、苜蓿干草、羊草、全棉籽、精料和 TMR,用于测定日粮营养成分;采样期每天测定 TMR 饲喂量和剩料量,并采样,用于计算干物质采食量(DMI)和氮的摄入量。所有饲料样品在 65℃ 烘箱中烘干制备风干样品,粉碎后保存待测。根据 AOAC^[12]所描述的方法测定饲料样品中的干物质(DM)、有机物(OM)、粗蛋白(CP)、粗脂肪(EE)、钙(Ca)、磷(P)等指标,中性洗涤纤维(NDF)和酸性洗涤纤维(ADF),根据 Van Soest 等^[13]的方法进行测定,淀粉采用比色法进行测定^[14],TMR 及剩料中酸不溶灰分(AIA)含量根据 Van Keulen 和 Young^[15]的方法进行测定。

1.3.2 奶样的采集与分析 采样期每天记录每头奶牛产奶量,并于每期的第 18~20 天进行样品采集,早晚奶样各保存 2 份,一份加重铬酸钾防腐,及

表 1 试验日粮的组成和营养水平

Tab.1 Ingredient and nutrient levels of experimental diets

| 项目 Item | 日粮处理 Dietary treatments | | | |
|----------------------------|-------------------------|------|-------|-------|
| | W0 | W9.6 | W19.2 | W28.8 |
| 原料 Ingredients, % DM | | | | |
| 玉米青贮 Corn silage | 27.0 | 27.0 | 27.0 | 27.0 |
| 苜蓿干草 Alfalfa hay | 14.0 | 14.0 | 14.0 | 14.0 |
| 羊草 Chinese wildrye | 6.0 | 6.0 | 6.0 | 6.0 |
| 玉米 Corn | 27.9 | 19.2 | 9.6 | 0 |
| 小麦 Wheat | 0 | 9.6 | 19.2 | 28.8 |
| 豆粕 Soybean meal | 10.4 | 9.1 | 7.2 | 5.8 |
| 棉籽粕 Cottonseed meal | 3.4 | 3.4 | 3.4 | 3.4 |
| DDGS | 4.3 | 4.3 | 4.3 | 4.3 |
| 麦麸 Wheat bran | 0 | 0.3 | 2.0 | 3.2 |
| 全棉籽 Whole cottonseed | 4.0 | 4.0 | 4.0 | 4.0 |
| 过瘤胃脂肪 Ruminally inert fat | 0.1 | 0.3 | 0.5 | 0.7 |
| 预混料 Mineral-vitamin premix | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| 磷酸氢钙 Dicalcium phosphate | 0.6 | 0.5 | 0.4 | 0.3 |
| 石粉 Limestone | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 |
| 碳酸氢钠 Sodium bicarbonate | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| 氧化镁 Magnesium oxide | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 |
| 盐 Salt | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 |
| 营养水平 Chemical levels, % DM | | | | |
| 粗蛋白 CP | 15.9 | 16.1 | 16.2 | 16.4 |
| 产奶净能 NEL, Mcal/kg | 1.59 | 1.59 | 1.59 | 1.59 |
| 中性洗涤纤维 NDF | 35.2 | 35.8 | 36.8 | 37.4 |
| 酸性洗涤纤维 ADF | 20.0 | 20.9 | 20.9 | 21.4 |
| 淀粉 Starch | 31.7 | 31.6 | 31.4 | 31.2 |
| 粗脂肪 Ether extract | 3.4 | 3.4 | 3.4 | 3.4 |
| 粗灰分 Ash | 7.6 | 8.0 | 7.9 | 7.7 |
| 钙 Ca | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 |
| 总磷 Total P | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 |

注:过瘤胃脂肪. 颗粒状氢化棕榈油(Ecolex Sdn. Bhd, Malaysia); 泌乳牛预混料. 每千克预混料(DM 基础)含:维生素 A 1 000 000 IU, 维生素 D 65 000 IU, 维生素 E 5 000 IU, 铁 2 000 mg, 锰 2 550 mg, 锌 5 500 mg, 铜 1 750 mg, 碘 70 mg, 钴 40 mg, 硒 75 mg; 产奶净能(NEL). 根据 NRC (2001)^[9] 计算。

Note: RumiFat (R100). Prilled hydrogenated palm FA distillate (Ecolex Sdn. Bhd, Malaysia); Contained (/kg of premix; DM basis). 1 000 000 IU vitamin A, 65 000 IU vitamin D, 5 000 IU vitamin E, 2 000 mg Fe, 2 550 mg Mn, 5 500 mg Zn, 1 750 mg Cu, 70 mg I, 40 mg Co, 75 mg Se; Calculated using NEL values of feedstuffs from NRC (2001).

时送至北京市奶牛中心用多功能乳品分析仪(MilkoScan 605; Foss Electric, Hillerød, Denmark)测定乳蛋白率;另一份-20℃冷冻保存,用于测定牛奶尿素氮(MUN)浓度。MUN 浓度采用 Ekinci 和 Broderick^[16]描述的比色法,在紫外可见光分光光度计(UV3600, Daojin Corp, Japan)上测定。

1.3.3 粪、尿的采集与分析 每期的第 18~20 天,采用直肠取粪法连续采集粪样(300~500 g)12 次(分别为第 18 天的 4:00, 09:00, 14:00, 19:00, 第 19 天的 5:00, 10:00, 15:00, 20:00, 第 20 天的 6:00, 11:00, 17:00, 22:00),将每头牛的粪样均匀混合后取样 400 g 左右,按照 1/4 粪重加入 10% 的酒石酸,混匀并于 65℃烘干回潮,粉碎后保存待测,粪氮的

分析同饲料样品。排粪总量根据粪和饲料中的酸不溶灰分(AIA)计算^[15]。

尿液采用 Krause 和 Combs^[17]描述的方法进行采集,每期的第 18 天(05:00, 13:00, 21:00)和第 19 天(01:00, 09:00, 17:00)共采集 6 次(100 mL/次),并用 1 mol/L 的盐酸进行酸化,使尿液 pH 值低于 3 (以减少氨损失),待每期尿液采样完毕后将 6 次采集的尿液混匀,置于-20℃冷冻保存待测。尿中的总氮用凯氏定氮法测定^[12]。排尿总量根据尿中的肌酐浓度来进行估测,估测公式为:排尿量(L/d) = (体重(kg) × 肌酐排出速率(mg/kg))/尿中肌酐浓度(mg/L),其中肌酐排出速率指奶牛每千克体重每天所排出的肌酐量,其值为 25.6 mg/kg^[18]。肌酐含

量采用苦味酸法测定,尿酸含量采用尿酸法^[19]测定,尿素氮含量采用二乙酰异肼法测定,试剂盒均购自南京建成生物工程研究所,按照说明书进行操作,使用紫外可见分光光度计(UV3600,Daojin Corp,Japan)测定。尿囊素浓度根据 Chen 和 Gomes^[20]描述的方法,采用比色法测定。测定肌酐、尿酸、尿囊素和尿素氮所需的尿液最终稀释倍数分别为 200,10,50,50 倍。根据通过尿中尿囊素和尿酸含量之和来估测小肠吸收外源性嘌呤数量和肠道微生物来源氮产量^[20]。微生物来源氮产量按以下公式计算:微生物氮(g/d) = $(X \times 70) / (0.83 \times 0.116 \times 1000) = 0.727X$ 。其中, X 为小肠吸收外源性嘌呤数量;70 指每毫摩尔嘌呤含 70 mg 氮;0.83 指微生物核酸嘌呤的消化率;0.116 指混合微生物中嘌呤氮与总氮的比例为 11.6:100。小肠吸收外源性嘌呤数量 X 由下式计算: $Y = bX + (cBW^{0.75})$ 。 Y 为尿中嘌呤衍生物排出量; b 为吸收嘌呤经尿中排出的比率(0.85),括号中的部分表示尿中内源 PD 的排出量; c 为吸收嘌呤的数量为零时尿中排出内源嘌呤的数量(0.385 mmol/kg)。

1.4 数据统计分析

试验按照重复拉丁方设计,采用 SAS 9.0 的

GLM 程序进行分析。采用以下分析模型: $Y_{ijkl} = \mu + P_i + C_j(l) + T_k + S_l + ST_{lk} + E_{ijkl}$,其中 Y_{ijkl} 为试验牛在不同日粮下的因变量值; μ 为总体均值; P_i 为试验期 i 效应($i = 1 \sim 4$); $C_j(l)$ 为第 l 拉丁方内第 j 试验牛的随机效应($j = 1 \sim 8$); T_k 为日粮 k 处理效应($k = 1 \sim 4$); S_l 为拉丁方效应($l = 1$ 或 2); ST_{lk} 为拉丁方 l 与日粮处理 k 的交互; E_{ijkl} 为随机误差。所有数据采用 Tukey 检验进行多重比较,并应用正交多项式模型分析线性增加日粮中小麦与各对应指标的关系(线性或二次曲线)。

2 结果与分析

2.1 日粮中不同比例小麦替代玉米对奶牛 DMI、产奶量和乳蛋白的影响

由表 2 可见,随着日粮中小麦比例的增加,奶牛的 DMI 呈二次曲线增加($P = 0.07$),即 DMI 在饲喂 W9.6 和 W19.2 日粮时增加,饲喂 W28.8 日粮时降低。产奶量未受日粮影响,但 W28.8 组的产奶量数值上低于其他组;各处理组间乳蛋白率、乳蛋白产量和氮利用效率未受影响,但 MUN 浓度线性增加($P < 0.01$),且 W28.8 组显著高于 W0 和 W19.2 组($P < 0.01$)。

表 2 日粮中小麦替代玉米对奶牛 DMI、产奶量和乳蛋白的影响

Tab.2 Effects of replacing dietary GC with GW on DMI,milk yield and milk protein of dairy cows

| 项目 Item | 日粮处理 Dietary treatments | | | | SEM | P 值 P value | | |
|---------------------------------|-------------------------|---------|--------|--------|------|-------------|-----------|--------------|
| | W0 | W9.6 | W19.2 | W28.8 | | 总体 All | 线性 Linear | 二次 Quadratic |
| DMI/(kg/d) | 19.14 | 20.10 | 20.02 | 19.74 | 0.19 | 0.44 | 0.40 | 0.07 |
| 产奶量/(kg/d) Milk yield | 27.16 | 27.55 | 27.10 | 26.64 | 0.49 | 0.69 | 0.28 | 0.66 |
| 乳蛋白率/% Protein | 3.34 | 3.33 | 3.36 | 3.35 | 0.03 | 0.87 | 0.98 | 0.81 |
| 乳蛋白产量/(kg/d) Protein yield | 0.90 | 0.91 | 0.91 | 0.89 | 0.01 | 0.37 | 0.30 | 0.33 |
| 尿素氮/(mg/dL) MUN | 10.98b | 11.71ab | 11.43b | 12.55a | 0.20 | <0.01 | <0.01 | 0.40 |
| 氮利用效率/(g/g) Nitrogen efficiency | 0.26 | 0.26 | 0.25 | 0.25 | 0.01 | 0.41 | 0.15 | 0.57 |

注:a,b.表示组间差异显著(Tukey's 检验, $P < 0.05$);氮利用效率(gN/gN) = (乳蛋白产量(kg/d) ÷ 6.38) / (粗蛋白采食量(kg/d) ÷ 6.25)。表 3,4 同。

Note:a,b. Means with different superscripts in the same row differ (Tukey's test; $P < 0.05$).; Nitrogen efficiency (gN/gN) = (milk protein yield(kg/d) / 6.38) / (crude protein intake (kg/d) / 6.25). The same as Tab. 3, 4.

2.2 日粮中不同比例小麦替代玉米对奶牛氮排出的影响

从表 3 可见,奶牛的食入氮呈先增加后降低的趋势,与 DMI 的变化相似,满足二次曲线关系($P = 0.02$)。排粪量和排尿量未受日粮影响,奶氮和粪氮产量及其占食入氮的比例各试验组间相似,但 W28.8 组的尿氮产量较高,呈线性增加的趋势($P = 0.08$);尿氮占食入氮的比例($P = 0.02$)及总氮排出量(粪氮 + 尿氮)占食入氮的比例($P = 0.05$)则随着日粮中小麦比例的增加先降低后增加,满足二次曲线关系;总氮排出量未受日粮影响;尿中尿素氮产量

线性增加($P < 0.01$),且 W19.2 和 W28.8 组显著高于($P = 0.01$) W0 和 W9.6 组,尿中尿素氮占总尿氮的比例线性增加($P = 0.03$)。

2.3 日粮中不同比例小麦替代玉米对奶牛微生物氮合成的影响

由表 4 可见,尿中的尿酸浓度未受日粮影响,但尿囊素($P = 0.05$)、总嘌呤(尿囊素与尿酸之和)($P = 0.09$)、小肠吸收的外源嘌呤($P = 0.02$)及微生物氮($P = 0.01$)产量均呈线性降低趋势,以 W9.6 组最高,W28.8 组最低;此外,W9.6 组的小肠吸收外源性嘌呤量($P = 0.04$)和微生物氮产量($P =$

0.02)显著高于 W28.8 组。

表 3 日粮中小麦替代玉米对奶牛氮排出的影响

Tab.3 Effects of replacing dietary GC with GW on nitrogen excretion of dairy cows

| 项目 Item | 日粮处理 Dietary treatments | | | | SEM | P 值 P value | | |
|--------------------------------------|-------------------------|---------|---------|---------|------|-------------|-----------|--------------|
| | W0 | W9.6 | W19.2 | W28.8 | | 总体 All | 线性 Linear | 二次 Quadratic |
| 食入氮/(g/d) N intake | 523.29 | 542.88 | 547.06 | 535.41 | 3.33 | 0.10 | 0.36 | 0.02 |
| 排尿量/(L/d) Urine volume | 26.32 | 26.85 | 25.68 | 25.12 | 0.81 | 0.19 | 0.07 | 0.67 |
| 排粪量/(kg/d) Feces DM | 7.01 | 6.96 | 7.17 | 7.16 | 0.13 | 0.85 | 0.50 | 0.88 |
| 奶氮 Milk N | | | | | | | | |
| 产量/(g/d) Output | 141.14 | 139.82 | 142.92 | 137.44 | 2.09 | 0.37 | 0.30 | 0.33 |
| 占食入氮比例/% Percentage of N intake | 27.00 | 25.77 | 26.11 | 25.69 | 0.36 | 0.30 | 0.17 | 0.41 |
| 尿氮 Urine N | | | | | | | | |
| 产量/(g/d) Output | 228.49 | 225.87 | 226.94 | 236.81 | 2.52 | 0.44 | 0.08 | 0.17 |
| 占食入氮比例/% Percentage of N intake | 42.93 | 42.62 | 41.27 | 44.64 | 3.89 | 0.60 | 0.17 | 0.02 |
| 粪氮 Feces N | | | | | | | | |
| 产量/(g/d) Output | 149.48 | 157.42 | 159.23 | 156.94 | 3.27 | 0.63 | 0.37 | 0.25 |
| 占食入氮比例/% Percentage of N intake | 28.62 | 28.88 | 29.09 | 29.31 | 0.51 | 0.93 | 0.53 | 0.88 |
| 粪氮尿氮总和 Total N loss | | | | | | | | |
| 产量/(g/d) Output | 377.97 | 383.28 | 386.17 | 393.75 | 4.28 | 0.60 | 0.10 | 0.92 |
| 占食入氮比例/% Percentage of N intake | 72.32 | 70.57 | 70.57 | 73.52 | 0.60 | 0.41 | 0.26 | 0.05 |
| 尿素氮 Urea N | | | | | | | | |
| 产量/(g/d) Output | 118.31b | 122.71b | 132.23a | 135.07a | 3.75 | 0.01 | <0.01 | 0.94 |
| 占总尿氮比例/% Percentage of total urine N | 51.21 | 52.28 | 56.92 | 55.94 | 0.69 | 0.09 | 0.03 | 0.21 |

表 4 日粮中小麦替代玉米对奶牛嘌呤衍生物和微生物氮合成的影响

Tab.4 Effect of replacing dietary GC with GW on purine derivative and microbial N supply of dairy cows

| 项目 Item | 组别 Treatments | | | | SEM | P 值 P value | | |
|---------------------------|---------------|---------|----------|---------|-------|-------------|-----------|--------------|
| | W0 | W9.6 | W19.2 | W28.8 | | 总体 All | 线性 Linear | 二次 Quadratic |
| 尿酸/(mmol/d) Uric acid | 73.48 | 77.72 | 68.11 | 72.04 | 2.02 | 0.09 | 0.10 | 0.38 |
| 尿囊素/(mmol/d) Allantoin | 349.91 | 360.35 | 350.04 | 323.39 | 11.26 | 0.11 | 0.05 | 0.49 |
| 总嘌呤/(mmol/d) Total purine | 423.39 | 438.04 | 418.14 | 395.42 | 11.41 | 0.24 | 0.09 | 0.42 |
| 外源嘌呤/(mmol/d) Absorption | 445.91ab | 474.52a | 438.64ab | 408.02b | 9.52 | 0.04 | 0.02 | 0.40 |
| 微生物氮/(g/d) Microbial N | 324.18ab | 336.40a | 318.89ab | 299.64b | 9.67 | 0.02 | 0.01 | 0.60 |

3 结论与讨论

3.1 日粮中不同比例小麦替代玉米对奶牛 DMI、产奶量和乳蛋白的影响

小麦中含有高比例的易发酵淀粉^[9],在奶牛日粮中应用时通常认为会降低采食量;本试验的结果表明:用不同比例小麦饲喂奶牛时未显著影响 DMI。Doepel 等^[21]在日粮中用 20% 的蒸汽压片小麦替代 20% 的蒸汽压片大麦(DM 基础)时,奶牛的 DMI 基本相同;Faldet 等^[22]用占精料 60% 的小麦饲喂奶牛时也未影响其 DMI。但也有试验得出:在奶牛日粮中应用小麦时降低了 DMI^[6,23],这可能与基础日粮和试验动物不同有关。此外,本试验还得出 DMI 随着日粮中小麦比例的增加呈二次增加的趋势,表明小麦的适口性高于玉米,Nikkah 等^[24]研究表明,日

粮中含 18% 粉碎小麦时能促进围产期奶牛的 DMI 和能量平衡,但大量饲喂小麦时可增加瘤胃 pH 值的波动,从而降低 DMI。

本试验日粮中小麦比例未显著影响奶牛的产奶量,但 W28.8 组的产奶量数值上低于其他 3 组。Doepel 等^[21]用 20% 的蒸汽压片小麦代替大麦时也未影响奶牛的产奶量。日粮中高比例的小麦能够增加瘤胃 pH 值的波动,从而降低了奶牛的产奶量^[6]。尽管本试验小麦比例的不同影响了微生物来源氮合成量,但乳蛋白率、乳蛋白产量和氮利用效率未受影响,表明瘤胃微生物蛋白不是全部用于乳蛋白合成,一部分微生物蛋白可能用于机体的其他合成代谢。MUN 可用来评定奶牛日粮中蛋白质的利用效率及蛋白与能量的比例关系^[25]。日粮中部分蛋白质在瘤胃中降解生成氨,当降解的氨超过瘤胃细菌的利

用速度时,则多余的氨可经瘤胃壁吸收入血,并随着血液循环进入肝脏形成尿素,进一步通过尿液排出或唾液再次循环至瘤胃。经血液循环的尿素可通过扩散进入体组织和体液中。因此,MUN 水平也可用来反应血液中的尿素含量。本试验 W28.8 组的 MUN 含量高于其他 3 组,表明大量小麦饲喂奶牛时可降低瘤胃中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的利用效率。

3.2 日粮中不同比例小麦替代玉米对奶牛氮排出的影响

研究氮代谢是确定动物氮需要量的基础,深入了解饲料原料对动物氮代谢的影响有助于满足动物氮需要量和发挥最佳生产性能的同时,又尽可能地减少氮的排泄量。其中,奶牛氮排出的多少主要受日粮类型、蛋白与能量平衡等因素的影响。成年奶牛奶中氮含量占氮摄入量的比例为 25% ~ 35%,其余的氮在粪和尿中排出,其中尿氮排出量约占总氮排出量的 50%^[26]。本试验奶牛饲喂 W28.8 日粮时增加了尿氮排出量和尿中尿素氮产量,表明日粮中高比例的小麦替代玉米时增加了潜在的 NH_3 排出^[27]。Gozho 和 Mutsvangwa^[6]在其研究中也得出:小麦基础日粮的尿氮排出高于玉米基础日粮,但两者之间差异不显著;可能是由于高比例小麦日粮的蛋白在瘤胃中降解较快, $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度增加,多余的 NH_3 经肝脏合成尿素,使得尿中尿素氮和总氮含量增加。

3.3 日粮中不同比例小麦替代玉米对奶牛微生物氮合成的影响

增加日粮中快速降解淀粉含量能够促进瘤胃中 RDP 的利用,改善瘤胃能氮平衡,提高 MCP 合成效率^[28]。尿中嘌呤排出量与瘤胃 MCP 合成量高度相关,通过测定尿中嘌呤排出量可以估测瘤胃 MCP 的合成量^[20]。本试验结果表明:适量增加日粮中快速降解淀粉(W9.6 组)作为瘤胃微生物生长的能量前体物,可以促进瘤胃中微生物蛋白的合成,而不是快速降解淀粉越多越好^[29]。Cabrita 等^[30]在其综述中指出:增加奶牛日粮中快速降解淀粉时,有 2 个研究发现促进了微生物氮的合成,但有 5 个研究发现快速降解淀粉对微生物氮合成无影响;大量增加瘤胃内快速降解淀粉时,可降低瘤胃中的纤维消化率,对瘤胃发酵产生了负面作用,从而减少了瘤胃内可发酵有机物(FOM)的比例^[31],使瘤胃中的微生物氮合成效率降低;本试验 W28.8 组降低了瘤胃中微生物蛋白的合成也验证了以上观点。也有不同的结论,Krause 等^[32]在研究中用高湿度玉米作为快速降解淀粉来代替日粮中的破碎玉米,发现增加日粮中可

发酵能源时促进了瘤胃中微生物蛋白的合成;而 Gozho 和 Mutsvangwa^[6]得出:以大麦和玉米(慢速发酵淀粉)为基础的日粮饲喂奶牛时的微生物氮产量高于以小麦为基础的日粮。

3.4 结论

本试验结果表明,奶牛日粮中可用适当比例的粉碎小麦来替代玉米,以 9.6% (DM 基础)替代时最佳,可促进 DMI 和瘤胃中微生物蛋白的合成,且产奶量和氮排出量等均未受影响;日粮中高比例的小麦替代玉米时(W28.8 组),增加了 MUN、尿氮和尿中尿素氮的排出量。

参考文献:

- [1] 金善宝. 中国小麦学[M]. 北京:中国农业出版社,1996.
- [2] Church D C. The ruminant animal: Digestive physiology and nutrition. [M]. Prentice Hall,1988.
- [3] Cardozo P W, Calsamiglia S, Ferret A, *et al.* Effects of natural plant extracts on ruminal protein degradation and fermentation profiles in continuous culture [J]. Journal of Animal Science, 2004, 82(11): 3230 - 3236.
- [4] Herrera-Saldana R E, Huber J T, poore M H. Dry matter, crude protein, and starch degradability of five cereal grains[J]. Journal of Dairy Science, 1990, 73(9): 2386 - 2393.
- [5] 姜 虹, 谭支良, 王继成. 常用谷物饲料在瘤胃内的淀粉降解率研究[J]. 饲料广角, 2005(14): 27 - 28.
- [6] Gozho G N, Mutsvangwa T. Influence of carbohydrate source on ruminal fermentation characteristics, performance, and microbial protein synthesis in dairy cows [J]. Journal of Dairy Science, 2008, 91(7): 2726 - 2735.
- [7] Plaizier J C, Keunen J E, Walton J P, *et al.* Effect of subacute ruminal acidosis on in situ digestion of mixed hay in lactating dairy cows [J]. Canadian Journal of Animal Science, 2001, 81(3): 421 - 423.
- [8] 李秋凤, 曹玉凤, 李建国. 降低奶牛氮排泄的营养调控研究进展[J]. 畜牧与兽医, 2010, 42(7): 99 - 103.
- [9] National Research Council (NRC). Nutrient requirements of dairy cattle [M]. National Academies Press, 2001.
- [10] ASAE. Method of determining and expressing fineness of feed materials by sieving [M]. Michign: American Society of Agricultural Engineers. Am. Soc. Agric. Eng., St. Joseph, MI, 1983: 325.
- [11] Lammers B P, Buckmaster D R, Heinrichs A J. A simple method for the analysis of particle sizes of forage and total mixed rations [J]. Journal of Dairy Science, 1996, 79(5): 922 - 928.
- [12] AOAC. Official Methods of Analysis [M]. Washington, DC: Association of Official Analytical Chemists, 1990.

- [13] Van Soest P J, Robertson J B, Lewis B A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition[J]. *Journal of Dairy Science*, 1991, 74(10): 3583 – 3597.
- [14] Bal M A, Shaver R D, Jirovec A G, *et al.* Crop processing and chop length of corn silage: Effects on intake, digestion, and milk production by dairy cows[J]. *Journal of Dairy Science*, 2000, 83(6): 1264 – 1273.
- [15] Van Keulen J, Young B A. Evaluation of acid-insoluble ash as a natural marker in ruminant digestibility studies[J]. *Journal of Animal Science*, 1977, 44(2): 282 – 287.
- [16] Ekinci C, Broderick G A. Effect of processing high moisture ear corn on ruminal fermentation and milk yield[J]. *Journal of Dairy Science*, 1997, 80(12): 3298 – 3307.
- [17] Krause K M, Combs D K. Effects of forage particle size, forage source, and grain fermentability on performance and ruminal pH in midlactation cows[J]. *Journal of Dairy Science*, 2003, 86(4): 1382 – 1397.
- [18] Valadares R, Goncalves L C, Sampaio I B, *et al.* Níveis de proteína em dietas de bovinos. 2. Consumo, digestibilidades e balanço de compostos nitrogenados[J]. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 1997, 26(6): 1259 – 1263.
- [19] Praetorius E, Poulsen H. Enzymatic determination of uric acid with detailed directions[J]. *Scandinavian Journal of Clinical & Laboratory Investigation*, 1953, 5(3): 273 – 280.
- [20] Chen X B, Gomes M J. Estimation of microbial protein supply to sheep and cattle based on urinary excretion of purine derivatives-an overview of the technical details[M]. *International Feed Resources Unit*, 1992.
- [21] Doepel L, Cox A, Hayirli A. Effects of increasing amounts of dietary wheat on performance and ruminal fermentation of Holstein cows[J]. *Journal of Dairy Science*, 2009, 92(8): 3825 – 3832.
- [22] Faldet M A, Nalsen T, Bush L J, *et al.* Utilization of wheat in complete rations for lactating cows[J]. *Journal of Dairy Science*, 1989, 72(5): 1243 – 1251.
- [23] Lechartier C, Peyraud J L. The effects of forage proportion and rapidly degradable dry matter from concentrate on ruminal digestion in dairy cows fed corn silage-based diets with fixed neutral detergent fiber and starch contents[J]. *Journal of Dairy Science*, 2010, 93(2): 666 – 681.
- [24] Nikkhah A, Ehsanbakhsh F, Zahmatkesh D, *et al.* Prepartal wheat grain feeding improves energy and Calcium status of periparturient Holstein heifers[J]. *Animal: an International Journal of Animal Bioscience*, 2011, 5(4): 522 – 527.
- [25] Jonker J S, Kohn R A, Erdman R A. Using milk urea Nitrogen to predict Nitrogen excretion and utilization efficiency in lactating dairy cows[J]. *Journal of Dairy Science*, 1998, 81(10): 2681 – 2692.
- [26] 娜仁花, 董红敏. 日粮类型对奶牛粪尿特性及氮排放的影响[J]. *畜牧与兽医*, 2012, 44(5): 26 – 30.
- [27] Burgos S A, Fadel J G, Depeters E J. Prediction of ammonia emission from dairy cattle manure based on milk urea Nitrogen: Relation of milk urea Nitrogen to urine urea Nitrogen excretion[J]. *Journal of Dairy Science*, 2007, 90(12): 5499 – 5508.
- [28] Kim K H, Choung J J, Chamberlain D G. Effects of varying the degree of synchrony of energy and Nitrogen release in the rumen on the synthesis of microbial protein in lactating dairy cows consuming a diet of grass silage and a cereal-based concentrate[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 1999, 79(11): 1441 – 1447.
- [29] Sinclair L A, Garnsworth P C, Newbold J R, *et al.* Effect of synchronizing the rate of dietary energy and Nitrogen release on rumen fermentation and microbial protein synthesis in sheep[J]. *The Journal of Agricultural Science*, 1993, 120(02): 251 – 263.
- [30] Cabrita A J, Dewhurst R J, Abreu J F, *et al.* Evaluation of the effects of synchronising the availability of N and energy on rumen function and production responses of dairy cows-a review[J]. *Animal Research*, 2006, 55(1): 1 – 24.
- [31] Beauchemin K A, Yang W Z, Rode L M. Effects of grain source and enzyme additive on site and extent of nutrient digestion in dairy cows[J]. *Journal of Dairy Science*, 1999, 82(2): 378 – 390.
- [32] Krause K M, Combs D K, Beauchemin K A. Effects of forage particle size and grain fermentability in midlactation cows. I. Milk production and diet digestibility[J]. *Journal of Dairy Science*, 2002, 85(8): 1936 – 1946.