

# 半胱胺和过瘤胃蛋氨酸不同组合对奶牛产奶性能、瘤胃微生物蛋白产量和氮排泄的影响

张仔堃<sup>1</sup> 张玉利<sup>2</sup> 高许雷<sup>3</sup> 孙国强<sup>1\*</sup>

(1. 青岛农业大学动物科技学院, 青岛 266109; 2. 济南市畜牧技术推广站, 济南 250306;

3. 青岛市崂山区农业农村局, 青岛 266061)

**摘要:** 本试验旨在研究半胱胺(CS)和过瘤胃蛋氨酸(RPMet)不同组合对奶牛产奶性能、瘤胃微生物蛋白(MCP)产量和氮排泄的影响。选取年龄、体重、胎次、产奶量、乳成分及泌乳天数相近的荷斯坦奶牛40头,随机分为10组,每组4头。对照(C)组饲喂基础饲料,试验组添加不同水平的CS和RPMet。CS添加水平分别为13(L)、15(M)、17 g/(d·头)(H),RPMet添加水平分别为23(L)、25(M)、27 g/(d·头)(H),共组成9个不同组合,分别为LL、LM、LH、ML、MM、MH、HL、HM、HH组(第1个字母为CS添加水平,第2个字母为RPMet添加水平)。预试期15 d,正试期60 d。结果表明:1)在产奶量方面,各试验组均显著或极显著高于C组( $P<0.05$ 或 $P<0.01$ ),其中HL组提高幅度最大,较C组提高了19.76%。2)在乳成分方面,LL、LH、ML、MM、MH、HL、HM、HH组乳脂率极显著高于C组( $P<0.01$ ),LH、HL、HH组乳蛋白率极显著高于C组( $P<0.01$ ),ML、HH组乳体细胞数极显著低于C组( $P<0.01$ )。3)在瘤胃MCP产量方面,HL组极显著高于C组( $P<0.01$ )。4)在氮总排泄量方面,各试验组均极显著低于C组( $P<0.01$ );在氮表观消化率方面,各试验组均极显著高于C组( $P<0.01$ )。综合考虑上述指标,以17 g/(d·头)CS+23 g/(d·头)RPMet为最佳组合。

**关键词:** 半胱胺;过瘤胃蛋氨酸;产奶性能;瘤胃微生物蛋白;氮排泄

中图分类号:S816.7

文献标识码:A

文章编号:1006-267X(2020)06-2690-10

随着奶牛养殖业的发展,蛋白质饲料利用率低、瘤胃内氨氮损失过高的现象十分严重。提高蛋白质饲料的利用率,改善畜产品质量,并在一定程度上减轻排泄物对环境的污染是目前研究的热点。饲料添加剂是配合饲料原料的三大支柱之一,饲料添加剂的应用可以提高奶牛产奶量、改善乳成分、提高瘤胃内氨氮的利用。在饲料中添加饲料添加剂进而调控奶牛的生产性能,对我国奶牛业健康发展意义重大。半胱胺(cysteamine, CS)又称 $\beta$ -巯基乙胺,是构成辅酶A(CoA)分子的成分,是存在于生物体内的生理调节剂,其在动物体

内代谢迅速,最终转化为对动物体无害的胱胺、半胱胺酸、谷胱甘肽等<sup>[1]</sup>。近年来,CS作为一种新型饲料添加剂,在生产上得到广泛应用<sup>[2]</sup>。饲喂CS可改善奶牛乳品质,提高奶牛产奶量<sup>[3]</sup>。王玲等<sup>[4]</sup>研究表明,CS(含量30%)添加量为20 g/(d·头)时对提高奶牛瘤胃微生物蛋白(MCP)产量和产奶量、降低氮排泄的效果显著。蛋氨酸(methionine, Met)是奶牛主要限制性氨基酸之一,能调节蛋白质合成与代谢,提高生产性能。奶牛瘤胃系统复杂,如果直接在饲料中添加Met容易被瘤胃内的各种微生物大量降解,降低了

收稿日期:2019-12-02

基金项目:山东省现代农业产业技术体系牛产业创新团队(SDAIT-09-08);山东省绿色低碳畜牧业技术协同创新中心

作者简介:张仔堃(1996—),女,辽宁营口人,硕士研究生,研究方向为反刍动物营养。E-mail: 1244220115@qq.com

\*通信作者:孙国强,教授,硕士生导师,E-mail: qdnydxsgq@126.com

奶牛对 Met 的利用效率<sup>[5]</sup>,因此,饲料中常常添加过瘤胃蛋氨酸 (rumen-protected methionine, RPMet)。补充 RPMet 可以改善奶牛的整体生产性能和健康状况。Zhou 等<sup>[6]</sup>研究表明,补充 RPMet 对奶牛的生产性能有积极影响。张成喜等<sup>[7]</sup>研究发现,RPMet 添加量为 25 g/(d·头)时对奶牛瘤胃 MCP 产量、产奶量和氮排泄的影响显著。迄今为止,本课题组仅就 CS 和 RPMet 单独应用于奶牛生产进行了研究,尚未将 CS 和 RPMet 联合应用于奶牛生产,也未见相关报道。因此,本试验在前期 CS 和 RPMet 单独添加的基础上,研究 CS 和 RPMet 组合添加对奶牛产奶性能、瘤胃 MCP 产量及氮排泄的影响,旨在探究其适宜添加水平组合,为 CS 和 RPMet 的联合使用提供理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料和试验设计

试验所用 CS 组成为半胱胺盐酸盐、棕榈油、淀粉等,含量为 40%,过瘤胃率为 50%;RPMet 组成为 DL-蛋氨酸、棕榈油、二氧化硅,含量为 60%,过瘤胃率为 85%。CS 和 RPMet 均购自青岛润博特生物科技有限公司。

试验在烟台荷牧园牧业有限责任公司进行,选取 40 头年龄(4±1)岁、体重(650±20) kg、2~3 胎、产奶量为(28.27±0.81) kg、泌乳期为(90±10) d 的荷斯坦奶牛,随机分为 10 组,每组 4 头。对照(C)组饲喂基础饲料,试验组添加不同水平的 CS 和 RPMet,CS 的添加水平分别为 13、15、17 g/(d·头);RPMet 的添加水平分别为 23、25、27 g/(d·头),共 9 个不同组合,试验设计见表 1。

表 1 试验设计

Table 1 Experimental design g/(d·头)

组别 Groups	半胱胺 CS	过瘤胃蛋氨酸 RPMet
C	0	0
LL	13	23
LM	13	25
LH	13	27
ML	15	23
MM	15	25
MH	15	27
HL	17	23
HM	17	25
HH	17	27

每头奶牛每天预留 0.5 kg 精料,作为载体与 CS 和 RPMet 混合,剩余精料与粗饲料混合均匀后制成全混合日粮(TMR)。TMR 组成及营养水平见表 2。CS 和 RPMet 与精料混合后再随 TMR 一起饲喂。试验期 75 d,其中预试期 15 d,正试期 60 d。

表 2 TMR 组成及营养水平(干物质基础)

Table 2 Composition and nutrient levels of the TMR (DM basis)

项目 Items	含量 Content
原料 Ingredients	
玉米 Corn	16.00
麦麸 Wheat bran	4.00
豆粕 Soybean meal	7.00
玉米干酒精糟及其可溶物 Corn DDGS	3.00
全棉籽 Whole cottonseed	7.00
全株玉米青贮 Whole-plant corn silage	29.00
玉米胚芽粕 Corn germ meal	1.00
小麦次粉 Once the wheat powder	0.50
石粉 CaCO <sub>3</sub>	1.00
啤酒糟 Brewer's grains	8.00
苜蓿草 Alfalfa hay	15.00
羊草 <i>Leymus chinensis</i>	6.00
脂肪酸钙 Calcium soap of fatty acid	0.25
食盐 NaCl	0.30
小苏打 NaHCO <sub>3</sub>	0.30
预混料 Premix <sup>1)</sup>	1.45
生物脱霉素 Biological mycotoxin removement agent <sup>2)</sup>	0.20
合计 Total	100.00
营养水平 Nutrient levels <sup>3)</sup>	
粗蛋白质 CP	15.94
产奶净能 NE <sub>L</sub> /(MJ/kg)	6.47
中性洗涤纤维 NDF	41.86
酸性洗涤纤维 ADF	21.68
钙 Ca	0.87
磷 P	0.43

1) 预混料为每千克 TMR 提供 The premix provided the following per kg of the TMR: VA 8 000 IU, VD<sub>3</sub> 1 600 IU, VE 30 mg, Fe 20 mg, Cu 16 mg, Zn 100 mg, Mn 35 mg, I 1 mg, Se 0.5 mg, Co 0.5 mg。

2) 生物脱霉素主要成分含量 Main component contents of biological mycotoxin removement agent:甘露寡糖 mannan oligosaccharide ≥14%,β-葡聚糖 β-glucan 15%~40%,粗蛋白质 crude protein ≤35%,水分 moisture ≤6%。

3) 产奶净能为计算值,是将各原料的产奶净能<sup>[8]</sup>分别与其所占 TMR 的百分比相乘,然后相加,其余营养水平为实测值。NE<sub>L</sub> was a calculated value which was the sum of NE<sub>L</sub><sup>[8]</sup> of different ingredients multiplied by their percentages in the TMR, while the other nutrient levels were measured values.

## 1.2 饲养管理

每天采用全自动挤奶器(丹麦 SAC 公司)在 03:30、11:30、18:30 时各挤奶 1 次,每天在 03:30、13:00 时各饲喂 TMR 1 次,试验过程中保证每天每头奶牛接触到 TMR 的时间在 20 h 以上,自由采食和饮水。

## 1.3 样品采集

### 1.3.1 TMR 样

采用五点取样法在预试期第 1 天及正试期第 28、58 天时连续收集 3 d 试验牛 TMR 样。

### 1.3.2 奶样

在正试期第 15、30、45、60 天挤奶时采集 3 次奶样。

### 1.3.3 尿样

尿样采集采用朱雯<sup>[9]</sup>的点收尿法,并结合人工接尿和膀胱取尿。尿样采集时间为预试期的第 1~3 天及正试期的第 28~30 天、第 58~60 天。

### 1.3.4 粪样

采用直肠采粪法在预试期第 1 天及正试期第 28、58 天时连续收集 3 d 试验牛粪样。

## 1.4 测定指标与方法

### 1.4.1 采食量与日排粪量

预试期的第 1、5、9、13 天记录采食量,每次连续记录 3 d 的 TMR 投料量及剩料量,据此计算出每头试验牛在预试期内的平均采食量。正试期 10 d 记录 1 次,方法同预试期。通过 4 mol/L 盐酸不溶灰分法结合采食量测定奶牛的日排粪量。

### 1.4.2 主要养分含量

收集的 TMR 样放入 65 °C 烘箱中烘干,粉碎待用。粪样加硫酸进行固氮,硫酸浓度为 10%,每 100 g 样品中加 25 mL 硫酸,并于 -20 °C 冷冻保存。样品中干物质(DM)、粗蛋白质(CP)、中性洗涤纤维(NDF)、钙(Ca)、磷(P)含量分别参照 GB/T 6435—2006<sup>[10]</sup>、GB/T 6432—2018<sup>[11]</sup>、GB/T 20806—2006<sup>[12]</sup>、GB/T 6436—2002<sup>[13]</sup>、GB/T 6437—2002<sup>[14]</sup>测定。酸性洗涤纤维(ADF)含量参照《饲料中酸性洗涤纤维的测定》(NY/T 1459—2007)<sup>[15]</sup>测定。

### 1.4.3 产奶量

试验期间,每 5 d 记录 1 次产奶量,连续记录 3 d,于每日挤奶时记录。牛场使用全自动挤奶机每天挤奶 3 次(03:30、11:30、18:30),自动显示产奶量。

### 1.4.4 乳成分

在正试期第 15、30、45、60 天挤奶时采集 3 次

奶样,按 4:3:3 混合,共 50 mL,加入 30 mg  $K_2Cr_2O_7$  防腐处理后 4 °C 保存。奶样在青岛市畜牧兽医研究所进行测定,使用 CombiFoss FT+分析仪(丹麦 Foss 公司)测定乳脂率、乳蛋白率、乳糖率和乳体细胞数。

### 1.4.5 尿酸和尿囊素含量

尿样中加入浓度为 10% 的硫酸调整 pH,使  $pH < 3$ , -20 °C 保存。尿中尿酸含量测定采用 UV-1800 PC 型紫外可见分光光度计(上海美谱达仪器有限公司),尿中尿囊素含量测定采用 Infinite F50 酶标仪(瑞士 Tecan 公司)。

### 1.4.6 瘤胃 MCP 产量

参考 Chen 等<sup>[16]</sup>阐述的原理并结合王虎成等<sup>[17]</sup>的计算公式,通过尿中嘌呤衍生物(PD)估测出 MCP 产量。PD 含量为尿中尿酸和尿囊素的含量之和。计算公式如下:

$$MCP(g/d) = (6.25 \times 70 X) / (0.83 \times 0.116 \times 1\ 000) = 6.25 \times 0.727 X。$$

式中:  $X$  为小肠吸收外源性嘌呤的含量(mmol/d); 70 为每摩尔嘌呤的含氮量(mg/mol); 0.83 为微生物核酸嘌呤的消化率; 0.116 为瘤胃微生物总氮中嘌呤氮的比例; 6.25 为氮换算为蛋白质的平均系数。

小肠吸收外源性嘌呤的含量( $X$ )的计算公式为:

$$Y = 0.85 X + 0.385 BW^{0.75}。$$

式中:  $Y$  为尿中嘌呤衍生物的排出量(mmol/d); 0.85 为牛肠道吸收的嘌呤转化为尿中 PD 的回收率; 0.385 为当牛肠道吸收嘌呤的数量为 0 时,尿中排出内源性嘌呤衍生物的含量(mmol/d);  $BW^{0.75}$  为动物的代谢体重。

### 1.4.7 氮代谢指标

使用 Kjeltec<sup>TM</sup>8200 凯氏定氮仪(丹麦 Foss 公司)测定尿氮含量,采用苦味酸比色法并使用 UV-1800 PC 分光光度计测定尿肌酐含量,以尿肌酐(每头牛每天 1 kg 体重排出约 29 mg)标记测定奶牛的排尿量。试剂盒由南京建成生物工程研究所提供。

氮代谢指标计算公式:

$$\text{粪氮}(g/d) = \text{日排粪量} \times \text{粪中 CP 含量} \times 0.16;$$

$$\text{尿氮}(g/d) = \text{每日排尿量} \times \text{尿中氮含量};$$

$$\text{乳氮}(g/d) = \text{产奶量} \times \text{乳蛋白率} \times 0.16;$$

$$\text{氮沉积}(g/d) = \text{食入氮} - \text{粪氮} - \text{尿氮} - \text{乳氮};$$

$$\text{氮总排泄量}(g/d) = \text{粪氮} + \text{尿氮};$$

氮表观消化率(%) =  $[(\text{食入氮} - \text{粪氮}) / \text{食入氮}] \times 100$ 。

## 1.5 数据处理

使用 Excel 2010 软件对数据进行基本处理, 使用 SPSS 20.0 软件进行单因素方差分析, Duncan 氏法多重比较进行组间差异显著性检验, 以  $P < 0.01$  和  $P < 0.05$  分别表示差异极显著和显著, 结果

以平均值  $\pm$  标准误表示。

## 2 结果

### 2.1 CS 和 RPMet 不同组合对奶牛主要养分采食量的影响

由表 3 可知, 各试验组奶牛的主要养分采食量与 C 组之间差异不显著 ( $P > 0.05$ )。

表 3 CS 和 RPMet 不同组合对奶牛主要养分采食量的影响(干物质基础)

Table 3 Effects of different combinations of CS and RPMet on main nutrient intakes of

组别 Groups	dairy cows (DM basis)				kg/d
	干物质 DM	粗蛋白质 CP	中性洗涤纤维 NDF	酸性洗涤纤维 ADF	
C	21.34 $\pm$ 0.08	3.16 $\pm$ 0.01	13.31 $\pm$ 0.05	4.39 $\pm$ 0.02	
LL	21.42 $\pm$ 0.09	3.17 $\pm$ 0.01	13.36 $\pm$ 0.06	4.41 $\pm$ 0.02	
LM	21.52 $\pm$ 0.15	3.19 $\pm$ 0.02	13.42 $\pm$ 0.10	4.43 $\pm$ 0.03	
LH	21.53 $\pm$ 0.12	3.19 $\pm$ 0.02	13.43 $\pm$ 0.07	4.43 $\pm$ 0.02	
ML	21.41 $\pm$ 0.18	3.17 $\pm$ 0.03	13.35 $\pm$ 0.11	4.41 $\pm$ 0.04	
MM	21.44 $\pm$ 0.08	3.18 $\pm$ 0.01	13.37 $\pm$ 0.05	4.41 $\pm$ 0.02	
MH	21.63 $\pm$ 0.13	3.21 $\pm$ 0.02	13.49 $\pm$ 0.08	4.45 $\pm$ 0.03	
HL	21.65 $\pm$ 0.19	3.21 $\pm$ 0.03	13.50 $\pm$ 0.12	4.45 $\pm$ 0.04	
HM	21.48 $\pm$ 0.10	3.18 $\pm$ 0.01	13.39 $\pm$ 0.06	4.42 $\pm$ 0.02	
HH	21.56 $\pm$ 0.19	3.19 $\pm$ 0.03	13.44 $\pm$ 0.12	4.44 $\pm$ 0.04	

同列数据肩标不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ ), 不同大写字母表示差异极显著 ( $P < 0.01$ ), 相同或无字母表示差异不显著 ( $P > 0.05$ )。下表同。

In the same column, values with different small letter superscripts mean significant difference ( $P < 0.05$ ), and with different capital letter superscripts mean extremely significant difference ( $P < 0.01$ ), while with the same or no letter superscripts mean no significant difference ( $P > 0.05$ ). The same as below.

### 2.2 CS 和 RPMet 不同组合对奶牛产奶量的影响

由表 4 可知, LL、LM、LH、ML、MM、MH、HL、HM、HH 组产奶量分别比 C 组提高了 7.17% ( $P < 0.05$ )、12.88% ( $P < 0.01$ )、10.29% ( $P < 0.05$ )、

8.26% ( $P < 0.05$ )、8.48% ( $P < 0.05$ )、17.52% ( $P < 0.01$ )、19.76% ( $P < 0.01$ )、12.84% ( $P < 0.01$ )、13.85% ( $P < 0.01$ )。

表 4 CS 和 RPMet 不同组合对奶牛产奶量的影响

Table 4 Effects of different combinations of CS and RPMet on milk yield of dairy cows

组别 Groups	预试期产奶量	正试期产奶量	产奶量提高幅度 Milk yield increase range/%
	Milk yield in pre-experimental period/(kg/d)	Milk yield in experimental period/(kg/d)	
C	28.19 $\pm$ 0.89	27.27 $\pm$ 0.61 <sup>Cd</sup>	
LL	28.22 $\pm$ 0.98	29.23 $\pm$ 0.38 <sup>BCc</sup>	7.17
LM	28.66 $\pm$ 0.41	30.79 $\pm$ 0.69 <sup>ABabc</sup>	12.88
LH	28.07 $\pm$ 0.56	30.08 $\pm$ 0.60 <sup>ABCbc</sup>	10.29
ML	28.32 $\pm$ 0.38	29.53 $\pm$ 0.70 <sup>BCc</sup>	8.26
MM	28.39 $\pm$ 0.57	29.59 $\pm$ 0.41 <sup>BCc</sup>	8.48
MH	28.13 $\pm$ 0.59	32.05 $\pm$ 0.73 <sup>ABab</sup>	17.52
HL	28.54 $\pm$ 0.48	32.66 $\pm$ 0.88 <sup>Aa</sup>	19.76
HM	28.57 $\pm$ 0.49	30.78 $\pm$ 0.77 <sup>ABabc</sup>	12.84
HH	28.25 $\pm$ 0.64	31.05 $\pm$ 0.71 <sup>ABabc</sup>	13.85

### 2.3 CS 和 RPMet 不同组合对奶牛乳成分的影响

由表 5 可知,在乳脂率方面,LL、LH、ML、MM、MH、HL、HM、HH 组极显著高于 C 组 ( $P <$

0.01);在乳蛋白率方面,LH、HL、HH 组极显著高于 C 组 ( $P < 0.01$ );在乳体细胞数方面,ML、HH 组极显著低于 C 组 ( $P < 0.01$ )。

表 5 CS 和 RPMet 不同组合对奶牛乳成分的影响

Table 5 Effects of different combinations of CS and RPMet on milk composition of dairy cows

组别 Groups	乳脂率 Milk fat Percentage/%	乳蛋白率 Milk protein Percentage/%	乳糖率 Milk lactose Percentage/%	乳体细胞数 Milk somatic cell count/( $\times 10^3$ 个/mL)
C	3.41±0.02 <sup>Ef</sup>	3.31±0.07 <sup>c</sup>	4.82±0.03	167.33±4.81 <sup>Aa</sup>
LL	3.57±0.04 <sup>CDde</sup>	3.39±0.05 <sup>abc</sup>	4.89±0.04	146.33±5.90 <sup>ABabc</sup>
LM	3.46±0.05 <sup>DEef</sup>	3.49±0.03 <sup>abc</sup>	4.80±0.04	154.33±6.57 <sup>ABabc</sup>
LH	3.72±0.03 <sup>BCb</sup>	3.69±0.04 <sup>a</sup>	4.88±0.06	140.33±6.06 <sup>ABbc</sup>
ML	3.59±0.04 <sup>CDcd</sup>	3.31±0.02 <sup>c</sup>	4.91±0.04	136.33±10.17 <sup>Bbc</sup>
MM	3.88±0.06 <sup>ABa</sup>	3.41±0.06 <sup>abc</sup>	4.89±0.05	150.00±8.62 <sup>ABabc</sup>
MH	3.71±0.04 <sup>BCbc</sup>	3.35±0.25 <sup>bc</sup>	4.93±0.09	157.33±5.70 <sup>ABab</sup>
HL	3.93±0.03 <sup>Aa</sup>	3.63±0.02 <sup>ab</sup>	4.97±0.05	146.33±4.06 <sup>ABabc</sup>
HM	3.91±0.06 <sup>Aa</sup>	3.53±0.02 <sup>abc</sup>	4.98±0.09	145.00±6.03 <sup>ABbc</sup>
HH	3.86±0.01 <sup>ABa</sup>	3.65±0.03 <sup>a</sup>	4.89±0.05	133.00±3.46 <sup>Bc</sup>

### 2.4 CS 和 RPMet 不同组合对奶牛瘤胃 MCP 产量的影响

由表 6 可知,在尿囊素排出量方面,HL 组极显著高于 C 组 ( $P < 0.01$ );在嘌呤衍生物排出量方面,HL 组极显著高于 C 组 ( $P < 0.01$ ),HM 组显著高于 C 组 ( $P < 0.05$ );在 MCP 产量方面,LL、LM、

LH、ML、MM、MH、HL、HM、HH 组分别比 C 组提高了 12.19% ( $P > 0.05$ )、21.89% ( $P > 0.05$ )、17.49% ( $P < 0.05$ )、14.04% ( $P > 0.05$ )、14.41% ( $P > 0.05$ )、29.78% ( $P < 0.05$ )、33.59% ( $P < 0.01$ )、21.83% ( $P < 0.05$ )、23.54% ( $P > 0.05$ )。

表 6 CS 和 RPMet 不同组合对奶牛瘤胃 MCP 产量的影响

Table 6 Effects of different combinations of CS on rumen MCP production of dairy cows

组别 Groups	尿酸排出量 Uric acid output/ (mmol/d)	尿囊素排出量 Allantoin output/ (mmol/d)	嘌呤衍生物排出量 PD output/ (mmol/d)	微生物蛋白产量 MCP production/ (g/d)	微生物蛋白产量 提高幅度 MCP production increase range/%
C	30.22±3.24	253.54±13.94 <sup>Bb</sup>	283.76±16.93 <sup>Bc</sup>	1 249.68±83.46 <sup>Bc</sup>	
LL	32.94±3.96	271.64±14.82 <sup>ABab</sup>	304.57±18.74 <sup>ABbc</sup>	1 361.53±83.51 <sup>ABbc</sup>	12.19
LM	31.19±4.21	275.57±13.05 <sup>ABab</sup>	306.77±9.06 <sup>ABbc</sup>	1 375.45±29.12 <sup>ABbc</sup>	21.89
LH	33.11±4.36	296.53±12.21 <sup>ABab</sup>	329.63±14.83 <sup>ABabc</sup>	1 484.30±88.85 <sup>ABab</sup>	17.49
ML	32.66±2.64	273.48±14.21 <sup>ABab</sup>	306.14±11.57 <sup>ABbc</sup>	1 370.23±50.16 <sup>ABbc</sup>	14.04
MM	36.10±3.51	283.59±11.08 <sup>ABab</sup>	319.69±13.82 <sup>ABabc</sup>	1 436.96±68.57 <sup>ABabc</sup>	14.41
MH	35.76±4.31	290.62±14.16 <sup>ABab</sup>	326.38±10.21 <sup>ABabc</sup>	1 482.77±55.91 <sup>ABab</sup>	29.78
HL	38.38±3.00	315.26±12.05 <sup>Aa</sup>	353.64±15.03 <sup>Aa</sup>	1 620.89±78.27 <sup>Aa</sup>	33.59
HM	33.96±1.61	306.70±13.04 <sup>ABa</sup>	340.66±12.85 <sup>ABab</sup>	1 545.53±66.43 <sup>ABab</sup>	21.83
HH	36.88±2.01	278.47±13.27 <sup>ABab</sup>	315.35±12.48 <sup>ABabc</sup>	1 415.81±70.18 <sup>ABabc</sup>	23.54



## 2.5 CS 和 RPMet 不同组合对奶牛氮表观消化率及氮排泄的影响

由表 7 可知,在粪氮方面,各试验组均极显著低于 C 组 ( $P < 0.01$ );在尿氮方面,LM、LH、ML、MM、MH、HL、HM、HH 组极显著低于 C 组 ( $P < 0.01$ );在乳氮方面,LM、LH、MH、HL、HM 组极显

著高于 C 组 ( $P < 0.01$ );在氮沉积方面,除 LL 组外各试验组均显著或极显著高于 C 组 ( $P < 0.05$  或  $P < 0.01$ );在氮总排泄量方面,各试验组均极显著低于 C 组 ( $P < 0.01$ );在氮表观消化率方面,各试验组均极显著高于 C 组 ( $P < 0.01$ )。

表 7 CS 和 RPMet 不同组合对奶牛氮表观消化率及氮排泄的影响

Table 7 Effects of different combinations of CS and RPMet on N apparent digestibility and N excretion of dairy cows

组别 Groups	食入氮 Intake N/ (g/d)	粪氮 Feces N/ (g/d)	尿氮 Urine N/ (g/d)	乳氮 Milk N/ (g/d)	氮沉积 N deposition/ (g/d)	氮总排泄量 N total excretion/ (g/d)	氮表观消化率 N apparent digestibility/ %
C	549.28 ±4.44	200.13 ±6.30 <sup>Aa</sup>	174.72 ±7.12 <sup>Aa</sup>	142.14 ±8.38 <sup>Cc</sup>	32.30 ±3.96 <sup>De</sup>	374.86 ±7.40 <sup>Aa</sup>	63.57 ±1.02 <sup>Ef</sup>
LL	544.17 ±2.65	178.86 ±3.50 <sup>Bb</sup>	169.15 ±3.56 <sup>ABa</sup>	149.79 ±4.98 <sup>BCc</sup>	46.37 ±3.42 <sup>CDde</sup>	348.01 ±3.58 <sup>Bb</sup>	67.13 ±0.54 <sup>Dc</sup>
LM	549.53 ±3.91	164.63 ±7.62 <sup>BCDbcde</sup>	150.22 ±5.46 <sup>bc</sup>	169.99 ±3.23 <sup>ABab</sup>	64.70 ±15.49 <sup>BCcd</sup>	314.85 ±2.36 <sup>CDc</sup>	70.03 ±1.48 <sup>ABCDbcd</sup>
LH	549.88 ±3.04	167.13 ±4.25 <sup>BCDbcd</sup>	152.90 ±4.12 <sup>BCa</sup>	175.40 ±7.41 <sup>Aa</sup>	54.44 ±5.61 <sup>CDcd</sup>	320.03 ±3.10 <sup>Cc</sup>	69.61 ±0.62 <sup>ABCDbcde</sup>
ML	545.02 ±3.03	174.97 ±3.04 <sup>BCbc</sup>	147.36 ±4.92 <sup>BCbc</sup>	149.48 ±6.26 <sup>BCc</sup>	74.37 ±3.54 <sup>BCbc</sup>	322.33 ±6.75 <sup>Cc</sup>	67.90 ±0.41 <sup>CDde</sup>
MM	543.92 ±2.29	158.04 ±2.29 <sup>CDde</sup>	151.30 ±2.97 <sup>BCbc</sup>	159.71 ±6.47 <sup>ABCabc</sup>	77.36 ±7.77 <sup>BCbc</sup>	309.34 ±4.78 <sup>CDEc</sup>	70.95 ±0.36 <sup>ABCabc</sup>
MH	554.90 ±2.00	161.66 ±4.00 <sup>BCDcde</sup>	130.67 ±5.5 <sup>Cd</sup>	169.25 ±3.85 <sup>ABab</sup>	93.32 ±13.84 <sup>ABab</sup>	292.33 ±3.23 <sup>DEde</sup>	70.86 ±0.83 <sup>ABCabc</sup>
HL	554.47 ±3.21	156.43 ±2.10 <sup>CDde</sup>	152.00 ±5.73 <sup>BCbc</sup>	169.14 ±4.40 <sup>ABab</sup>	75.70 ±6.58 <sup>BCbc</sup>	308.42 ±4.92 <sup>CDEcd</sup>	71.78 ±0.46 <sup>ABab</sup>
HM	548.51 ±2.44	171.02 ±5.75 <sup>BCDbcd</sup>	136.95 ±3.72 <sup>Cbcd</sup>	171.97 ±5.18 <sup>ABab</sup>	68.58 ±10.53 <sup>BCbcd</sup>	307.97 ±5.43 <sup>CDEcd</sup>	68.83 ±0.94 <sup>BCDcde</sup>
HH	550.47 ±4.80	150.65 ±4.07 <sup>De</sup>	135.65 ±5.01 <sup>Ccd</sup>	156.48 ±3.73 <sup>ABCbc</sup>	107.70 ±14.77 <sup>Aa</sup>	286.29 ±8.00 <sup>Ee</sup>	72.64 ±0.62 <sup>Aa</sup>

## 3 讨论

### 3.1 CS 和 RPMet 不同组合对奶牛主要养分采食量的影响

干物质采食量(DMI)是奶牛营养物质摄入量的直观体现。夏伦志等<sup>[18]</sup>将 CS 添加到泌乳奶牛中,发现 CS 对奶牛 DMI 无显著影响。芦娜等<sup>[19]</sup>在奶牛饲料中添加 RPMet 发现,试验组和对照组奶牛 DMI 无显著差异。本试验中,CS 和 RPMet 不同组合对奶牛 DMI 采食量无显著影响,这与夏伦志等<sup>[18]</sup>和芦娜等<sup>[19]</sup>的研究结果一致,表明 CS 和 RPMet 组合使用不会对奶牛主要养分采食量造成负面影响。

### 3.2 CS 和 RPMet 不同组合对奶牛产奶量的影响

本试验条件下,在奶牛饲料中添加 CS 和 RPMet 后,奶牛的产奶量均显著或极显著高于 C 组。王玲等<sup>[4]</sup>在奶牛饲料中添加 CS,试验组奶牛产奶量较对照组提高了 19.58%。CS 能有效降低下丘脑、胃和十二指肠中生长抑素(SS)的免疫活性,解除 SS 对生长激素(GH)的抑制作用<sup>[20]</sup>。CS 对 SS 具有抑制作用是由于 CS 分子内含有巯基和氨基等活性基团,能与 SS 分子直接作用,导致 SS 分子构型改变,使其免疫活性和生物活性遭到破坏,因此减弱了对 GH 的抑制,促进了垂体前叶分泌 GH,使血液内 GH 水平升高,从而提高奶牛产奶量<sup>[21-22]</sup>。甘佳等<sup>[23]</sup>指出,奶牛饲料中添加

RPMet可有效解决氨基酸平衡问题,提高蛋白质的利用率,从而使产奶量提高。张成喜等<sup>[7]</sup>在奶牛饲料中添加 RPMet,产奶量较对照组提高13.32%。Xu等<sup>[24]</sup>报道,在奶牛饲料中添加 RPMet能增加小肠 Met 的供给,满足泌乳奶牛对限制性氨基酸的需要,为奶牛产奶提供充足的 Met,从而促进奶牛的产奶性能。本试验中,联合使用 CS 和 RPMet,奶牛产奶量最高可提高19.76%,与王玲等<sup>[4]</sup>单独使用 CS 的提高幅度几乎一致,其原因可能是由于本试验的时间为夏季,奶牛正处于热应激期间;此外,试验牛群及饲料成分不同,也或许还有其他一些未知因素所致。但本试验结果高于张成喜等<sup>[7]</sup>单独使用 RPMet 的提高幅度,这说明 CS 和 RPMet 联合使用优于单独使用的效果,这可能是由于 CS 和 RPMet 联合使用不仅提高了奶牛体内 GH 水平<sup>[20]</sup>,而且促进了氨基酸平衡<sup>[24]</sup>,改善瘤胃发酵,促进机体对营养物质的消化吸收,有利于产奶量的提高。

### 3.3 CS 和 RPMet 不同组合对奶牛乳成分的影响

乳脂率、乳蛋白率、乳糖率和乳体细胞数是衡量乳品质的标准。Zhang等<sup>[25]</sup>研究发现,饲料添加 CS 的试验组乳蛋白率和乳脂率显著提高。韩新燕等<sup>[26]</sup>研究发现,CS 能促进乳腺细胞增殖,促进动物体内 GH 水平上升。夏伦志等<sup>[18]</sup>研究发现,CS 通过提高动物体内 GH 水平,促进胰岛素(INS)分泌,从而增加体内胰岛素样生长因子-1(IGF-1)含量,进一步促进乳蛋白、乳糖和乳脂的合成。毕晓华等<sup>[27]</sup>指出,饲料添加 RPMet 能提高牛奶中总脂肪、乳蛋白和乳脂含量。李海霞等<sup>[28]</sup>研究证明,RPMet 能增加瘤胃内乙酸、丙酸、丁酸、总挥发性脂肪酸的浓度,从而提高乳品质。RPMet 作为奶牛第一限制性氨基酸,能增加小肠可消化氨基酸数量,提高小肠可消化蛋白质(IDCP)含量,有利于乳蛋白的合成。本试验结果表明,CS 和 RPMet 联合使用对提高奶牛奶中乳蛋白率、乳脂率有积极影响。

乳体细胞数升高很大程度上预示着奶牛乳房患有疾病。本试验中,饲料添加 CS 和 RPMet 后,各试验组乳体细胞数较 C 组均有降低,说明 CS 和 RPMet 联合使用对维持奶牛乳房健康有积极作用。CS 能促进淋巴细胞增殖,提高外周血淋巴细胞转化率,并能提高血清白细胞介素-2(IL-2)含量,提高机体免疫力,减少发病几率,降低乳体细

胞数<sup>[29]</sup>。RPMet 能促进谷胱甘肽(GSH)等抗氧化物质的合成,降低细胞的氧化损伤,缓解奶牛能量负平衡,降低非酯化脂肪酸、 $\beta$ -羟基丁酸的含量,减少对细胞的损伤,增强机体的免疫功能,维持奶牛乳房健康,有利于降低乳体细胞数<sup>[30]</sup>。这可能是 CS 和 RPMet 联合使用降低乳体细胞数的原因。

### 3.4 CS 和 RPMet 不同组合对奶牛瘤胃 MCP 产量的影响

MCP 是反刍动物生命活动中氮的主要来源,能为反刍动物的生命活动提供大量蛋白质<sup>[6]</sup>。尿嘌呤衍生物法是估测瘤胃 MCP 产量的有效方法<sup>[16]</sup>,本试验采用该方法计算试验奶牛的瘤胃 MCP 产量。王玲等<sup>[4]</sup>试验发现,饲料添加 CS 能增加奶牛瘤胃 MCP 产量。刘贵莲等<sup>[31]</sup>研究发现,CS 能增加瘤胃微生物活性,使瘤胃 MCP 的合成速度加快。给反刍动物饲喂 CS,能增强小肠蠕动,加快肠道消化,提高瘤胃稀释率,有利于加快氨态氮( $\text{NH}_3\text{-N}$ )代谢速度,提高 MCP 的产量<sup>[32]</sup>。CS 的活性基团可对 SS 进行化学修饰,抑制 SS 的免疫活性和生物活性<sup>[33]</sup>,使体内 GH 水平增多,消化功能相关激素活性增强,促进肠道运动,改善瘤胃内环境,加快瘤胃内微生物对  $\text{NH}_3\text{-N}$  的利用,有利于加快  $\text{NH}_3\text{-N}$  向 MCP 的转化<sup>[34]</sup>。张成喜等<sup>[7]</sup>研究表明,奶牛饲料中添加 RPMet 能明显提高 MCP 产量。密士恒等<sup>[35]</sup>研究表明,饲料添加 RPMet 能提高  $\text{NH}_3\text{-N}$  的利用率。Met 能促进纤维分解菌的分泌和 MCP 的合成,促进瘤胃发酵,降低  $\text{NH}_3\text{-N}$  含量,从而提高 MCP 的产量<sup>[36]</sup>。本试验条件下,奶牛瘤胃 MCP 产量得到提高,一方面可能是因为 CS 和 RPMet 的添加可以提高奶牛体内激素水平,促进瘤胃发酵,加快瘤胃 MCP 的生成;另一方面可能是因为添加 CS 和 RPMet 使瘤胃微生物活性增强,瘤胃内环境得到改善,提高了奶牛体内  $\text{NH}_3\text{-N}$  的利用率,这可能是本试验中联合使用 CS 和 RPMet 能提高奶牛瘤胃 MCP 产量的原因。

### 3.5 CS 和 RPMet 不同组合对奶牛氮表观消化率及氮排泄的影响

氮是维持动物正常生长所需的营养元素,奶牛养殖过程中大量未被机体利用的氮流失到环境中,造成环境污染<sup>[37]</sup>。提高氮的表观消化率,可降低氮排泄对环境造成的污染。本试验中,各试验

组粪氮排出量均极显著低于C组,尿氮排出量(除LL组外)均极显著低于C组,氮总排泄量均极显著低于C组,氮表观消化率均极显著高于C组。刘月琴等<sup>[38]</sup>在绵羊饲料中添加CS,提高了氮的表观消化率,促进了氮的吸收利用。饲料中添加CS能促进动物机体对营养物质的吸收和利用,提高机体的消化代谢水平,加速蛋白质沉积,提高氮利用率<sup>[39-40]</sup>。密士恒等<sup>[35]</sup>指出,饲料添加RPMet能改善肉羊体内氨基酸水平,促进氨基酸的利用,提高氮利用效率。饲料添加RPMet可以增强瘤胃微生物活性,增强微生物降解NH<sub>3</sub>-N的能力<sup>[41]</sup>。在奶牛饲料中添加RPMet能促进小肠对各种氨基酸的利用,Met缺乏会造成奶牛体内氨基酸不平衡,利用率低,未被利用的氨基酸在肝脏中以氨的形式排出体外,增加了尿氮排出量<sup>[42]</sup>。在奶牛饲料中添加RPMet能平衡小肠内氨基酸的组成,促进小肠对氨基酸的利用,尿氮排出量减少<sup>[7]</sup>。饲料添加瘤胃保护的限制性氨基酸,增加了MCP产量,平衡了小肠中氨基酸数量,减少氮损失,减少对环境的污染,而对动物的生长不会造成负面影响<sup>[43]</sup>。本试验中,饲喂CS和RPMet后能够显著提高氮表观消化率,降低粪氮和尿氮的排出量,印证了刘月琴等<sup>[38]</sup>、密士恒等<sup>[35]</sup>的研究结论,说明CS和RPMet联合使用对奶牛氮表观消化率及氮排泄有积极影响。

## 4 结论

奶牛饲料中添加CS和RPMet,能提高奶牛产奶性能和瘤胃MCP产量,减少氮排泄。综合考虑上述指标,在本试验条件下,以17 g/(d·头)CS + 23 g/(d·头)RPMet为最佳组合。

## 参考文献:

- [1] 刘威,李发弟,赵圃毅,等.半胱胺盐酸盐对泌乳奶牛血液抗氧化能力的影响[J].甘肃农业大学学报,2015,50(3):16-22.
- [2] 沈赞明,张荣飞,解红梅,等.半胱胺盐酸盐对泌乳20~42周奶牛产奶性能和部分免疫指标的影响[J].畜牧兽医学报,2005,36(7):667-673.
- [3] 沈赞明,张荣飞,陈峰,等.复合半胱胺盐酸盐对泌乳后期奶牛产奶性能的影响[J].中国畜牧兽医,2004,31(8):9-10.
- [4] 王玲,孙友德,刘锡武,等.半胱胺对奶牛瘤胃微生物蛋白产量、产奶性能和氮排泄的影响[J].动物营养学报,2015,27(4):1262-1269.
- [5] 孙博非,余超,曹阳春,等.过瘤胃蛋氨酸对围产期奶牛代谢及健康的调控作用及机理[J].动物营养学报,2018,30(3):829-836.
- [6] ZHOU Z, BULGARI O, VAILATI-RIBONI M, et al. Rumen-protected methionine compared with rumen-protected choline improves immunometabolic status in dairy cows during the periparturition period[J]. Journal of Dairy Science, 2016, 99(11):8956-8969.
- [7] 张成喜,孙友德,刘锡武,等.过瘤胃蛋氨酸对奶牛瘤胃微生物蛋白产量、产奶性能和氮排泄的影响[J].动物营养学报,2017,29(5):1759-1766.
- [8] 任相全,毛一鹏.山东配合饲料资源应用商务章典[M].济南:山东人民出版社,2012.
- [9] 朱雯.粗料来源对奶牛乳蛋白前体物生成与生产性能的影响与机制研究[D].博士学位论文.杭州:浙江大学,2013.
- [10] 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.
- [11] 国家市场监督管理总局,国家标准化管理委员会.GB/T 6432—2018 饲料中粗蛋白的测定 凯氏定氮法[S].北京:中国标准出版社,2018.
- [12] 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.
- [13] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.GB/T 6436—2002 饲料中钙的测定[S].北京:中国标准出版社,2002.
- [14] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.GB/T 6437—2002 饲料中总磷的测定 分光光度法[S].北京:中国标准出版社,2002.
- [15] 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.
- [16] CHEN X B, MEJIA A T, KYLE D J, et al. Evaluation of the use of the purine derivative: creatinine ratio in spot urine and plasma samples as an index of microbial protein supply in ruminants: studies in sheep[J]. The Journal of Agricultural Science, 1995, 125(1):137-143.
- [17] 王虎成,龙瑞军,马亚玲,等.尿嘌呤衍生物估测瘤胃微生物蛋白产量的原理及研究进展[J].饲料工业,2008,29(1):47-51.
- [18] 夏伦志,蔡东,熊国远,等.半胱胺补饲模式对奶牛生产性能及血清胰岛素水平的影响[J].中国畜牧杂



- 志,2005,41(2):27-29.
- [19] 芦娜,潘振亮,陈龙宾,等.日粮添加过瘤胃氨基酸对高产奶牛生产性能、乳成分和经济效益的影响[J].饲料工业,2019,40(5):44-47.
- [20] 黄红英,贺建华.半胱胺在养猪生产中的应用[J].中国饲料,2007(17):18-21.
- [21] 郭冬生,司国利.半胱胺的生物学功能与作用机制[J].养殖与饲料,2010(8):63-69.
- [22] 肖玉梅,唐明红.日粮中添加吡啶羧酸铬与半胱胺复合剂对肥育猪生产性能和胴体品质的影响[J].饲料工业,2011,32(11):21-24.
- [23] 甘佳,付茂忠,王巍,等.日粮中添加过瘤胃脂肪和过瘤胃蛋氨酸对荷斯坦奶牛生产性能的影响[J].四川畜牧兽医,2017,44(11):32-34.
- [24] XU S, HARRISON J H, CHALUPA W, et al. The effect of ruminal bypass lysine and methionine on milk yield and composition of lactating cows[J].Journal of Dairy Science,1998,81(4):1062-1077.
- [25] ZHANG Y N, BALA V, MAO Z H, et al. A concise review of quantification methods for determination of vitamin K in various biological matrices[J].Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis,2019,169:133-141.
- [26] 韩新燕,汪以真.半胱胺对动物的作用及应用效果[J].饲料工业,2000,21(12):29-30.
- [27] 毕晓华,张晓明.过瘤胃保护蛋氨酸对奶牛氨基酸代谢和血液生化指标的影响[J].饲料研究,2014(21):48-53.
- [28] 李海霞,杨美英,吴文海,等.过瘤胃蛋氨酸对黔北麻羊生长性能、养分表观消化率、血浆生化指标及瘤胃发酵的影响[J].动物营养学报,2019,31(6):2933-2940.
- [29] 沈赞明,解红梅.半胱胺盐酸盐和蛋氨酸赖氨酸对山羊细胞免疫的影响[J].中国兽医科技,2004,34(11):29-34.
- [30] 朱佳丽,李元晓,陈欣,等.过瘤胃蛋氨酸对奶牛免疫功能的影响[J].饲料研究,2018(5):58-61.
- [31] 刘贵莲,王之盛,周安国.新型饲料添加剂——半胱胺[J].饲料工业,2006,27(22):4-8.
- [32] 刘宗柱,沈延法,韩正康.半胱胺对绵羊消化代谢的影响[J].畜牧兽医学报,1996,27(3):212-219.
- [33] 任延利.半胱胺在养猪生产中的应用[J].养殖与饲料,2014(10):32-35.
- [34] 韦学玉,阎宏,魏智清.新型饲料添加剂——半胱胺的研究进展[J].畜牧与饲料科学,2006,27(5):69-71.
- [35] 密士恒,王晓凤,马慧.瘤胃保护性蛋氨酸对肉羊氮代谢及生长性能的影响[J].中国畜牧杂志,2010,46(7):43-45.
- [36] 张成喜,滕乐帮,刘晓,等.过瘤胃蛋氨酸和肉桂醛对奶牛瘤胃微生物蛋白产量和养分消化率的影响[J].中国畜牧杂志,2017,53(9):92-96.
- [37] CHACHER B, ZHU W, YE J A, et al. Effect of dietary N-carbamoylglutamate on milk production and nitrogen utilization in high-yielding dairy cows[J].Journal of Dairy Science,2014,97(4):2338-2345.
- [38] 刘月琴,张英杰,杨庆华,等.不同剂量半胱胺对绵羊消化代谢和生长发育的影响[J].黑龙江畜牧兽医,2006(10):50-51.
- [39] 王忠艳.半胱胺在调节动物生长中的应用[J].中国畜牧兽医,2005,32(5):8-11.
- [40] 陈丛亮,杨磊,杨洪勋,等.半胱胺盐酸盐对家禽营养物质消化、吸收和利用率的研究[J].饲料研究,2009(5):19-21.
- [41] ABBASI I H R, ABBASI F, LIU L H, et al. Rumen-protected methionine a feed supplement to low dietary protein; effects on microbial population, gases production and fermentation characteristics [J]. AMB Express,2019,9(1):93.
- [42] 杨志强.日粮氨基酸配比对奶牛产奶性能和氮利用的影响[D].硕士学位论文.杭州:浙江大学,2009.
- [43] SINCLAIR K D, GARNSWORTHY P C, MANN G E, et al. Reducing dietary protein in dairy cow diets: implications for nitrogen utilization, milk production, welfare and fertility [J]. Animal,2014,8(2):262-274.

# Effects of Different Combinations of Cysteamine and Rumen-Protected Methionine on Lactation Performance, Rumen Microbial Protein Production and Nitrogen Excretion of Dairy Cows

ZHANG Zikun<sup>1</sup> ZHANG Yuli<sup>2</sup> GAO Xulei<sup>3</sup> SUN Guoqiang<sup>1\*</sup>

(1. College of Animal Science and Technology, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109 China; 2. Jinan Animal Husbandry Technology Extension Station, Jinan 250306, China; 3. Agricultural and Rural Bureau of Laoshan, Qingdao 266061, China)

**Abstract:** This experiment was conducted to determine the effects of different combinations of cysteamine (CS) and rumen-protected methionine (RPMet) on lactation performance, rumen microbial protein (MCP) production and nitrogen excretion of dairy cows. Forty Holstein lactating cows with similar age, body weight, parity, milk yield, milk composition and lactation days were selected and randomly divided into 10 groups with 4 cows in each group. Cows in the control group (C) was fed a basic diet, and cows in experimental groups was supplemented with different combinations of CS and RPMet. The supplemental levels of CS were 13 (L), 15 (M) and 17 (H) g/(d·head), respectively; and the supplemental levels of RPMet were 23 (L), 25 (M), 27 (H) g/(d·head), respectively. A total of 9 experimental groups were designed, which were named as LL, LM, LH, ML, MM, MH, HL, HM and HH groups (first letter indicated CS supplemental level, and the second letter indicated RPMet supplemental level), respectively. The pre-experiment lasted for 15 days, and the experiment lasted for 60 days. The results showed as follows: 1) in terms of the milk yield, all experimental groups were significantly higher than the C group ( $P<0.05$  or  $P<0.01$ ), the HL group had the largest increase range, which was 19.76% higher than the C group. 2) In terms of the milk composition, the milk fat rate of LL, LH, ML, MM, MH, HL, HM and HH groups was significantly higher than that of the C group ( $P<0.01$ ), the milk protein rate of LH, HL and HH groups was significantly higher than that of the C group ( $P<0.01$ ), and the milk somatic cell count of ML and HH groups was significantly lower than that of the C group ( $P<0.01$ ). 3) In terms of the rumen MCP production, the HL group was significantly higher than the C group ( $P<0.01$ ). 4) In terms of the total nitrogen excretion, all experimental groups were significantly lower than the C group ( $P<0.01$ ); in terms of the apparent digestibility of nitrogen, all experimental groups were significantly higher than the C group ( $P<0.01$ ). In combination with various test indicators, the 17 g/(d·head) CS +23 g/(d·head) RPMet is the best combination. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2020, 32(6):2690-2699]

**Key words:** cysteamine; rumen-protected methionine; lactation performance; rumen microbial protein; nitrogen excretion