

## 日粮中添加不同水平的酵母硒对围产后期奶牛抗氧化能力和免疫机能的影响

辛杭书 雒国斌 赵洪波 王志博 张永根\*

(东北农业大学 动物科技学院, 哈尔滨 150030)

**摘要** 研究在日粮中添加不同水平的酵母硒对围产后期奶牛抗氧化性能和免疫机能的影响, 选用 20 头体况和预产期相近的奶牛, 随机分为 4 组, 对照组为基础日粮, 3 个处理组在基础日粮中分别添加 3.2、6.4 和 9.6 g/d 的酵母硒。试验结果表明: 添加酵母硒显著提高了全血硒和乳硒的含量 ( $P < 0.05$ ), 在产后第 7 和 14 天, 随着酵母硒添加量的增加, 谷胱甘肽过氧化物酶 (GSH-px) 活性表现分别由 78.44 和 101.04 U/mL 逐渐上升到 149.69 和 152.90 U/mL, 而在产后 21 d, GSH-px 活性表现为先升高后降低趋势, 当添加 6.4 g/d 酵母硒时, 其活性达到最高点 (132.19 U/mL); 血清总抗氧化能力 (T-AOC)、超氧化物歧化酶 (SOD) 和外周血淋巴细胞刺激指数 (SI) 都有不同程度的提高 ( $P < 0.05$ ), 并随着添加水平的增加, 有先升高后下降的趋势; 而且酵母硒的添加显著影响了血清中的免疫球蛋白 IgM、IgG 和 IgA 的含量, 当添加量为 3.2 g/d 时, 产后 7 d 的血清 IgM、IgG 和 IgA 均处于最高水平 (0.86、1.35 和 0.13 g/L;  $P < 0.05$ ), 产后 14 d 的免疫球蛋白 (IgM、IgG 和 IgA) 含量并不受影响, 而在产后 21 d, 9.6 g/d 的酵母硒添加水平具有最高的血清 IgM、IgG 和 IgA 浓度 ( $P < 0.05$ ), 对照组和添加 6.4 g/d 组最低 ( $P < 0.05$ )。由此得出结论, 日粮中添加酵母硒显著改善了围产后期奶牛抗氧化能力及免疫机能, 综合考虑, 在基础日粮中添加 6.4 g/d 的酵母硒效果较明显。

**关键词** 奶牛; 酵母硒; 围产后期; 抗氧化能力; 免疫机能

中图分类号 S 823; S 852.2

文章编号 1007-4333(2011)04-0095-07

文献标志码 A

## Effects of dietary Se-Yeast supplementation at different levels on anti-oxidation performance and immune response in postpartum dairy cows

XIN Hang-shu, LUO Guo-bin, ZHAO Hong-bo, WANG Zhi-bo, ZHANG Yong-gen\*

(College of Animal Science and Technology, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

**Abstract** This trial was conducted to investigate the effects of dietary Se-Yeast supplementation at different levels on anti-oxidation performance and immune response in dairy cows during postpartum period. A total of 20 Chinese Holstein dairy cows with similar body condition and calving date were randomly assigned to four different treatments. The four treatments were: 1) basal diet (the control, without any Se addition); 2) basal diet + 3.2 g/d Se-Yeast; 3) basal diet + 6.4 g/d Se-Yeast; and 4) basal diet + 9.6 g/d Se-Yeast. The results showed that compared with the control group, the supplement of Se-Yeast increased selenium concentration in both blood and milk significantly ( $P < 0.05$ ); Glutathione peroxidase capacity (GSH-px) was increased from 78.44 and 101.04 U/mL to 149.69 and 152.90 U/mL when the inclusion level of Se-Yeast increased to 9.6 g/d in 7 and 14 d after calving and was firstly enhanced and then declined in 21 d after calving (the capacity reached 132.19 U/mL when added 6.4 g/d Se-Yeast to the ration); Serum total anti-oxidative capacity (T-AOC), superoxide dismutase (SOD) and lymphoid transformation were in the similar tendency with GSH-px; IgM, IgG and IgA were altered by treatment significantly. Seven days after calving, cows fed

收稿日期: 2010-11-30

基金项目: 现代农业产业技术体系(奶牛)项目(nycyt-x-0202)

第一作者: 辛杭书, 讲师, 博士, 主要从事反刍动物营养调控研究, E-mail: xinhangshu@163.com

通讯作者: 张永根, 教授, 博士生导师, 主要从事反刍动物营养研究, E-mail: zhangyonggen@sina.com

basal diet with 3.2 g/d had the highest concentration of IgM, IgG and IgA (0.86, 1.35 and 0.13 g/L;  $P < 0.05$ ). However, the content of IgM, IgG and IgA were respectively in the highest and lowest levels in 21d after calving as the supplementation level was 9.6 and 6.4 g/d ( $P < 0.05$ ). It was concluded that supplementation with Se-Yeast improved anti-oxidation performance and immune response in postpartum dairy cows, where the treatment with basal diet of 6.4 g/d Se-Yeast had the best performance.

**Key words** Se-Yeast; postpartum period; anti-oxidation performance; immune response

奶牛在围产期具有极差的代谢状况,特别是在围产后期尤为明显,动物机体对能量负平衡的适应使脂质过氧化速度加快,影响抗氧化和氧化系统的平衡<sup>[1]</sup>。硒是动物机体保持健康、维持正常稳定的免疫和繁殖性能不可缺少的微量元素,它参与了谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-px)的合成<sup>[2]</sup>,并可清除细胞质内的自由基<sup>[3]</sup>,保护机体组织免受氧化损伤<sup>[4]</sup>;缺硒不但会影响机体的氧化还原状态,还会引起细胞DNA损伤<sup>[5]</sup>。在肉鸡生长过程中,全期补充有机硒可明显改善肌肉中硒的沉积<sup>[6]</sup>;在反刍动物日粮中添加硒,可提高机体的抗氧化性能<sup>[7]</sup>,并可以有效减少牛奶中的体细胞数,从而降低乳房炎的发病率<sup>[8]</sup>。但日粮中硒的添加是否对处于围产后期的奶牛产生影响,还未见相关报道。

当前在动物日粮中添加的硒分为无机硒(如亚硒酸钠)和有机硒(如富硒酵母),有研究表明<sup>[8-9]</sup>,与无机硒相比,有机硒能更好的被反刍动物机体所吸收利用。与硒酸钠相比,在产前日粮中添加酵母硒可使初乳的含硒量及初生犊牛的血硒含量分别提高40%和80%<sup>[10]</sup>。因此,本试验选用酵母硒作为添加剂,研究其在日粮中的不同添加水平是否能明显改善围产后期奶牛机体的抗氧化性能和免疫机能,旨在为酵母硒在奶牛养殖业中的应用提供理论基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验动物

试验在黑龙江省大庆市庆新奶牛养殖场进行。选取20头处于围产后期,体况评分相近(3.25分~3.75分),胎次相近(3~4胎),预产期相近的中国荷斯坦奶牛。

### 1.2 试验设计及试验日粮

采用完全随机试验设计,将20头奶牛随机分为4组(5头/组),4组日粮分别为:对照组为基础日粮(未添加酵母硒,硒含量0.42 mg/kg(DM));试验1组为基础日粮+酵母硒3.2 g/d(硒含量0.62 mg/kg(DM));试验2组为基础日粮+酵母硒6.4 g/d(硒含量0.83 mg/kg(DM))和试验3组为基础日粮

+酵母硒9.6 g/d(硒含量1.03 mg/kg(DM))。所用的酵母硒(商品名为赛乐硒,SEL-PLEX)中硒的含量为1000 mg/kg(由北京奥特奇生物制品有限公司提供)。试验期从分娩当天持续到产后21 d。

### 1.3 饲养管理

基础日粮组成及营养水平见表1。酵母硒与适量日粮充分混合进行饲喂,以保证准确采食。每天3次分别于06:00、15:00和20:00集中饲喂,饲后进入挤奶厅挤奶,然后进入运动场自由活动、自由饮水。

表1 日粮组成及营养水平(干物质基础)  
Table 1 Ingredients and chemical composition of diets (DM basis)

项目	指标	含量
日粮组成	$w$ (青贮玉米)/%	21.7
	$w$ (羊草)/%	23.5
	$w$ (全棉籽)/%	11.5
	$w$ (精料)/% <sup>①</sup>	43.3
营养指标	$w$ (DM)/%	50.24
	NE <sub>L</sub> /(MJ/kg) <sup>②</sup>	7.13
	$w$ (CP)/%	14.56
	$w$ (NDF)/%	45.65
	$w$ (ADF)/%	22.78
	$w$ (Ca)/%	0.71
	$w$ (P)/%	0.42
	$w$ (Se)/(mg/kg)	0.42
	$w$ (Cu)/(mg/kg)	27.25
	$w$ (Zn)/(mg/kg)	150.62
$w$ (Cr)/(mg/kg)	2.50	
$w$ (VE)/(mg/kg)	54.90	

注:①精料组成:玉米46.0%(质量分数,下同);麸皮4.5%;豆粕28.0%;豆饼2.0%;棉粕9.0%;脂肪粉3.3%;小苏打1.6%;氧化镁0.6%预混料5.0%(每kg预混料中含有:Fe 1.3 g;Cu 0.15~0.45 g;Mn  $\geq$  1.1 g;Zn  $\geq$  1.6 g;Se 4.5~13.5 mg(亚硒酸钠提供);VA  $\geq$  128.000 IU;VD<sub>3</sub>  $\geq$  38.000 IU;VE  $\geq$  650 mg;Ca 8.0%~24.0%;P 2.0%~9.0%;Salt 3.0%~18.0%;H<sub>2</sub>O  $\leq$  12.0%)。②为计算值。

## 1.4 采样与分析

### 1.4.1 饲料样品采集及分析

每周采集1次饲料样品,包括苜蓿干草、玉米青贮和羊草,精料混合料以及全混合日粮,在55℃烘干48h,测定干物质含量。以干物质质量为饲喂标准,根据饲料成分的干物质变化,对日粮配方不断进行适当调整。

每周采集的饲料样品烘干后用粉碎机粉碎,测定其干物质含量(105℃烘干8h)、粗蛋白质的分析采用凯氏定氮法,中性洗涤纤维(NDF)和酸性洗涤纤维(ADF)按Van Soest等的方法测定<sup>[11]</sup>。常量及微量元素含量的测定采用实验室常规方法<sup>[12]</sup>,日粮的泌乳净能根据NRC(2001)<sup>[13]</sup>。中的计算公式进行估算(表1)。

### 1.4.2 奶样采集及分析

分别在产后7、14和21d采集所有试验牛只的乳样进行乳硒含量测定,将奶样根据早、中、晚每次的泌乳量按比例混合后冷冻保存,用于乳硒含量的测定<sup>[14]</sup>。

### 1.4.3 血液生化指标的测定

分别于产后7、14和21d,对试验的所有牛只进行血液采集,在尾静脉采集血液20mL,其中10mL用真空负压抗凝管收集,用于测定全血硒含量<sup>[14]</sup>和淋巴细胞转化试验(CCK-8法,试剂盒购于日本同仁化学研究所);另10mL用真空负压无添加剂采

血管收集,3000r/min离心15min,分离制得血清,置于-20℃冷冻保存,用于测定血清中各项生化指标。其中谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-px)、总抗氧化能力(T-AOC)、超氧化物歧化酶(SOD)的活性和丙二醛(MDA)的含量选用南京建成生物工程研究所的商业诊断试剂盒进行测定;免疫球蛋白IgM、IgA和IgG采用免疫透射比浊法,通过全自动生化分析仪,选用浙江伊利康生物技术有限公司的商业诊断试剂盒进行测定。以上所有样本的测定均设有3个重复。

### 1.5 统计分析

应用SPSS 10.0统计分析软件进行方差分析,采用Duncan's方法进行多重比较,数据以平均数±标准差的形式表示。

## 2 结果

### 2.1 日粮中添加不同水平的酵母硒对围产后期奶牛抗氧化功能的影响

#### 2.1.1 奶牛全血硒和乳硒含量的变化

添加酵母硒各组都不同程度的提高了全血硒含量(表2)。在产后7d,与对照组相比,试验3组的血硒含量提高了0.05μg/mL( $P<0.01$ ),其余2组居中;在产后14d,添加酵母硒组的组间无显著差异( $P>0.05$ );在产后21d,与对照组相比,试验1组和试验2组都提高14.3%( $P<0.01$ ),试验3组提

表2 日粮中不同添加水平的酵母硒对围产后期奶牛全血硒及乳硒含量的影响

Table 2 Effects of dietary Se-Yeast supplementation at different levels on Se concentrations in both blood and milk in postpartum dairy cows

指标	分娩后时间/d	对照组	试验1组	试验2组	试验3组
血硒	7	0.13±0.01 C	0.15±0.01 B	0.15±0.01 B	0.18±0.01 A
	14	0.14±0.01 b	0.16±0.01 a	0.15±0.01 a	0.15±0.01 a
	21	0.14±0.01 Bb	0.16±0.01 Aa	0.16±0.01 Aa	0.15±0.01 ABa
乳硒	7	0.05±0.01 Bc	0.06±0.01 Bbc	0.07±0.01 ABab	0.08±0.01 Aa
	14	0.05±0.01 Bb	0.06±0.01 ABa	0.06±0.01 ABa	0.06±0.01 ABa
	21	0.03±0.01 Bc	0.04±0.01 ABbc	0.05±0.01 Aab	0.06±0.01 Aa

注: \* 同行小写字母不同表示差异显著( $P<0.05$ ),大写字母不同表示差异极显著( $P<0.01$ )。下表同。

高了7.1%( $P<0.05$ )。

日粮中随着酵母硒添加量的增加,乳硒的含量也随之升高(表2)。在产后第7天,与对照组相比,试验2组提高了40%( $P<0.05$ ),试验3组提高了

60%( $P<0.01$ );在产后第14天,酵母硒添加组都高于对照组( $P<0.05$ );在产后第21天,与对照组相比,试验2组和试验3组提高了0.02~0.03μg/mL( $P<0.01$ )。

### 2.1.2 奶牛抗氧化性能指标的变化

酵母硒对奶牛血清抗氧化能力和丙二醛含量的影响见表3。日粮中添加酵母硒提高了谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-px)活性。在产后第7和14天,随着酵母硒添加量的提高,GSH-px活性表现为升高趋势,在产后第21天,随着酵母硒添加量的提高,

GSH-px活性表现为先升高后降低趋势。在产后第7天,试验2组和试验3组分别比对照组提高67.7%和90.8%( $P<0.01$ );在产后第14天,试验3组的GSH-px活性最高( $P<0.01$ );在产后第21天,试验2组的GSH-px活性最高,对照组和试验1组最低,试验3组居中。

表3 日粮中不同添加水平的酵母硒对围产后期奶牛抗氧化性能的影响

Table 3 Effects of dietary Se-Yeast supplementation at different levels on anti-oxidation performance in postpartum dairy cows

指标	分娩后时间/d	对照组	试验1组	试验2组	试验3组
谷胱甘肽过氧化物酶/(U/mL)	7	78.44±15.80 Cb	94.69±13.23 BCb	131.0±15.16 ABa	149.69±18.09 Aa
	14	101.04±7.02 B	103.13±12.61 B	119.38±5.65 B	152.90±17.01 A
	21	103.84±13.86 b	104.90±6.67 b	132.19±8.81 a	122.50±13.73 ab
超氧化物歧化酶/(U/mL)	7	71.73±2.50 Bc	76.12±1.95 ABab	78.81±2.78 Aa	72.92±1.00 ABbc
	14	69.92±0.30 ab	71.67±1.80 ab	77.53±3.75 a	68.33±6.63 b
	21	63.79±3.83 Bbc	66.57±3.61 Bb	76.30±3.71 Aa	57.60±2.73 Bc
丙二醛/(nmol/mL)	7	5.41±0.89	4.09±0.81	4.75±0.39	5.24±0.72
	14	6.18±0.21 A	4.25±0.53 B	4.50±0.73 B	4.51±0.43 B
	21	5.69±0.69	5.17±0.19	5.31±0.84	5.62±0.38
总抗氧化能力/(U/mL)	7	3.64±0.12 Bb	3.95±0.42 Bb	5.27±0.80 Aa	4.81±0.59 ABa
	14	5.09±0.31 b	5.48±0.06 ab	5.87±0.70 a	5.40±0.55 ab
	21	5.45±0.39 Bb	5.61±0.62 ABb	6.72±0.47 Aa	5.92±0.54 ABb

围产后期奶牛日粮中添加不同水平的酵母硒,血清中超氧化物歧化酶(SOD)活性与T-AOC活性具有相似的变化趋势。酵母硒能够提高SOD的活性,添加酵母硒6.4 g/d效果最佳,随着添加量的提高SOD活性下降。

然而,日粮中酵母硒的添加并没有显著改变血清中丙二醛(MDA)的含量。但在产后14 d,与对照组相比,各酵母硒添加组MDA的含量下降了1.67~1.93 nmol/mL( $P<0.01$ ),但组间差异不显著( $P>0.05$ )。

与对照组相比,添加酵母硒各组的总抗氧化能力(T-AOC)都有不同程度的提高。随着添加量的增加,均有先升高后下降的趋势。在产后第7天,试验2组和试验3组均显著高于对照组和试验1组;在产后第14和21天,试验2组均具有最高的T-AOC( $P<0.01$ ),其余2组的水平居中,但添加酵母硒各组的组间差异不显著( $P>0.05$ )。

## 2.2 日粮中添加不同水平的酵母硒对围产后期奶牛免疫机能的影响

### 2.2.1 外周血淋巴细胞转化能力的变化

围产后期奶牛日粮中添加不同水平酵母硒显著影响外周血淋巴细胞的转化能力(表4)。与对照组相比,添加酵母硒组能够提高外周血淋巴细胞刺激指数(SI),随着添加量的提高,SI表现为先升高后降低的趋势(产后14和21 d)。产后7 d,试验2组和试验3组的SI显著高于对照组和试验1组( $P<0.01$ );在产后14和21 d,SI随着酵母硒的添加而升高,并在增至6.4 g/d时达到最高,但继续增加后SI下降( $P<0.01$ )。这说明添加酵母硒改变了淋巴细胞转化能力,随着酵母硒添加量的提高,淋巴细胞转化能力先升高后下降。

### 2.2.2 血清中IgM, IgG和IgA含量的变化

日粮中添加不同水平酵母硒对奶牛血清免疫球蛋白含量的变化见表4。在产后7 d,酵母硒的添加

水平为 3.2 g/d 时, 奶牛血清中的免疫球蛋白 M (IgM) 水平最高, 试验 2 组最低, 其余 2 组居中; 产

后 21 d, 试验 3 组显著高于其他处理组, 对照组和 6.4 g/d 居中 ( $P < 0.01$ ); 酵母硒的添加对产后 7 d

表 4 日粮中不同添加水平的酵母硒对围产后期奶牛免疫机能的影响

Table 4 Effects of dietary Se-Yeast supplementation at different levels on immune response in postpartum dairy cows

指标	分娩后的时间/d	对照组	试验 1 组	试验 2 组	试验 3 组
外周血淋巴细胞	7	1.17±0.02 B	1.19±0.04 B	1.36±0.04 A	1.30±0.05 A
刺激指数(SI)	14	1.29±0.06 C	1.51±0.03 B	1.66±0.02 A	1.53±0.02 B
	21	1.56±0.05 Bb	1.68±0.06 ABa	1.75±0.05 Aa	1.55±0.05 Bb
IgM/(g/L)	7	0.68±0.11 ABb	0.86±0.06 Aa	0.56±0.10 Bb	0.71±0.05 ABab
	14	0.99±0.07	1.02±0.10	0.88±0.10	0.97±0.06
	21	0.78±0.03 C	1.13±0.05 B	0.87±0.07 C	1.30±0.05 A
IgG/(g/L)	7	1.20±0.03 B	1.35±0.02 A	1.01±0.06 C	1.06±0.05 C
	14	1.03±0.06	1.08±0.07	1.00±0.04	1.06±0.08
	21	1.02±0.08 B	1.32±0.07 A	1.02±0.03 B	1.34±0.04 A
IgA/(g/L)	7	0.12±0.01 ab	0.13±0.01 a	0.11±0.01 b	0.12±0.01 ab
	14	0.13±0.01	0.14±0.01	0.14±0.01	0.13±0.01
	21	0.14±0.01 b	0.15±0.01 ab	0.14±0.01 b	0.16±0.01 a

血清中的 IgM 的浓度无影响。

在产后 7 d, 随着酵母硒添加量的增加, 免疫球蛋白 G (IgG) 表现为先升高后降低的趋势。试验 1 组的 IgG 水平最高, 继续增加酵母硒添加量后呈现降低变化, 甚至低于对照组 ( $P < 0.01$ ); 产后 21 d, 试验 1 组和试验 3 组显著高于对照组和试验 2 组 ( $P < 0.01$ ); 而在产后 14 d, 酵母硒的添加对血清中 IgG 的水平无影响。

对于血清中 IgA 浓度的变化, 在产后第 14 天, 添加酵母硒各组与对照组相比无显著差异 ( $P > 0.05$ ); 而在产后第 21 天, 试验 3 组的 Ig A 水平比对照组提高了 0.02 g/L ( $P < 0.05$ )。

### 3 讨论

#### 3.1 日粮中添加不同水平的酵母硒对围产后期奶牛抗氧化功能的影响

血硒含量反映了硒在机体内的代谢状况及饲料硒的利用率。随着全血硒含量的增加, 动物机体内的中性粒细胞功能会增强, 从而降低了奶中的体细胞数以及乳房炎的发病率<sup>[10,15]</sup>。在围产后期奶牛日粮中添加不同水平的酵母硒, 均能提高全血硒的

含量。与前人的试验结果相一致<sup>[7-8,16]</sup>。Ortman 等<sup>[17]</sup>的研究也发现, 与对照组 (含硒量为 0.10~0.12 mg/kg) 相比, 饲喂酵母硒的泌乳奶牛全血硒含量提高了 61  $\mu\text{g/L}$  (165  $\mu\text{g/L}$  vs. 104  $\mu\text{g/L}$ )。同样, 在绵羊或水牛的日常中添加硒, 试验动物血液中的硒含量均有显著的提高<sup>[18-19]</sup>。

围产后期的奶牛日粮中添加酵母硒, 可以不同程度的提高乳硒含量。Ortman 等<sup>[17]</sup>研究不同来源的硒对泌乳奶牛乳硒及血液指标的影响时发现, 酵母硒添加组的乳硒水平比对照组提高了 122.9%, 说明饲喂酵母硒可以有效提高牛奶中的乳硒含量。Juniper 等报道<sup>[16]</sup>, 泌乳奶牛日粮中添加酵母硒, 显著提高了乳硒含量, 并随日粮硒水平的提高而呈显著的线性正相关。这与本试验的结果相吻合, 在分娩后第 7 和 21 天, 随着酵母硒添加量的提高, 乳硒含量也随之增加。

机体内自由基的生成与消除是一种动态平衡, 谷胱甘肽过氧化物酶 (GSH-px) 与其他酶类抗氧化剂协同共同清除机体细胞质内的自由基<sup>[3]</sup>, 从而防止体组织发生氧化损伤<sup>[4]</sup>。而硒通过直接结合的方式消除自由基, 并作为 GSH-px 的组分<sup>[2]</sup>, 其含量的

变化直接影响着 GSH-px 的活性。将酵母硒添加到围产后期的奶牛日粮中,明显提高了动物血清中的 GSH-px 活力。这与国外报道的研究结果相一致<sup>[7,17,19]</sup>。但许宗运等人将酵母硒梯度添加到泌乳奶牛的日粮中时发现,随着酵母硒添加水平的提高,动物血清中的 GSH-px 活性呈明显的下降趋势<sup>[8]</sup>。这可能与试验选用的日粮类型、酵母硒的添加水平或动物所处的生理时期不同有关。Puls 认为<sup>[20]</sup>,当全血硒含量水平在 160~1 200 ng/mL 范围内时,动物机体内的 GSH-px 活性及免疫性能处于最佳状态。从本试验的全血硒含量来看,添加酵母硒可以提高 GSH-px 活性,并接近于最佳状态。

超氧化物歧化酶(SOD)的作用是清除  $\cdot O_2^-$ , 并保护脱氢酶免受超氧自由基影响失活。在机体抗防御体系中,SOD 活性的高低可间接反映机体清除自由基能力的强弱。本试验发现酵母硒的添加能够提高 SOD 的活性,但随着其添加量的继续升高,SOD 呈下降趋势。与许宗运等<sup>[8]</sup>人的研究结果类似。这可能是由于:机体内硒的生物效应,氧自由基的含量与硒浓度三者的关系呈倒置 Weinberg 曲线型,即硒在低浓度范围内清除氧自由基,且清除效果随硒浓度增大而增强,使氧自由基含量不断减少,此时,硒的生物效应表现为营养作用;当继续增大硒浓度,使其处于高浓度范围内时,硒催化产生了活性氧(ROS),且随着硒浓度的不断增加,ROS 的产生量也随之增多,此时,硒的生物效应表现为毒性效应<sup>[21]</sup>。即高浓度的硒催化产生 ROS,使 SOD 消耗增多,从而导致 SOD 下降。

总抗氧化能力(T-AOC)的高低反映了机体抗氧化酶系统和非酶系统对外来刺激的代偿能力,是衡量机体抗氧化系统功能状况的综合指标。在产后 7、14 和 21 d 测定血清中的 T-AOC,其变化趋势与 SOD 的变化趋势相似,即随着酵母硒添加水平的提高,T-AOC 先升高后降低。有研究表明<sup>[8]</sup>,在日粮中比较不同添加量的酵母硒与亚硒酸钠对奶牛血液指标的影响时发现,酵母硒组的 T-AOC 显著高于亚硒酸钠组,但不同添加量的酵母硒组组间并无变化。与本试验结果不相一致的原因可能试验日粮中硒的添加水平相异所致。

丙二醛(MDA)是机体脂质过氧化的分解产物之一,其含量的高低直接反映出细胞膜被氧化的程度及

氧自由基损伤机体的程度<sup>[22]</sup>,是检测机体抗氧化功能的一个重要指标。本试验表明与对照组相比(产后 14 d),添加酵母硒各组 MDA 的含量都有不同程度的降低,但随着酵母硒添加量的升高,MDA 的含量并无明显变化。这说明,日粮中添加酵母硒后,动物机体清除自由基的能力增强,细胞受损的程度下降,但这种处理效应并不随添加剂量的增加而增强。

### 3.2 酵母硒对围产后期奶牛免疫机能的影响

淋巴细胞分裂增殖转化的能力在一定程度上反映了机体细胞免疫功能的强弱。有研究表明,奶牛补硒一段时间后可提高外周血淋巴细胞的转化能力,而且随着饲喂天数的增加,淋巴细胞的转化能力增强,T 淋巴细胞百分率增多<sup>[23]</sup>,这与本试验结果相同,说明在奶牛日粮中添加酵母硒能够提高奶牛围产后期外周血淋巴细胞的转化能力。

另外,本试验发现,随着酵母硒添加量的提高,淋巴转化能力先升高后降低,这一现象与徐辉碧等<sup>[21]</sup>在小鼠上的试验结果相似,当硒的水平处于低浓度时,促进了淋巴细胞的转化能力,并且处理效应随硒浓度的增大而增强;但在高浓度水平下时,则抑制了淋巴细胞的转化。但硒对免疫的机理尚未明确,可能是由于高浓度的硒催化产生 ROS 促进脂质过氧化作用,导致免疫细胞膜损伤,从而抑制了外周血淋巴细胞的转化<sup>[21]</sup>。

日粮中添加酵母硒不仅提高了动物机体的抗氧化能力,而且对体液免疫也有一定的激活作用,可以提高机体合成 IgG、IgM 等抗体的能力<sup>[24]</sup>,缺硒时动物的抗体水平降低<sup>[25]</sup>。其他报道也得出相似的结论<sup>[26]</sup>。但在围产后期的奶牛日粮中补饲 VE 和硒,均能显著提高产后 12 h 动物血清中的 IgM、IgG 的含量,但 IgA 的含量无显著变化<sup>[27]</sup>。从本试验的结果看来,日粮中酵母硒的添加对奶牛血清中的 IgM、IgG 和 IgA 含量影响随着时间和添加量的不同而不相一致,引起原因尚不清楚,可能与奶牛所处的时期属于生理应激期有关。

## 4 结论

1) 在围产后期奶牛的日粮中添加酵母硒,提高了全血硒和乳硒的含量。

2) 日粮中添加不同水平的酵母硒,不同程度的提高了围产后期奶牛的机体抗氧化能力以及免疫机能。

3)综合考虑,在基础日粮中添加 6.4 g/d 的酵母硒效果较好。

### 参 考 文 献

- [1] Turk R, Juretić D, Gereš D, et al. Bovine platelet activating factor acetylhydrolase (PAF-AH) activity related to fertility [J]. *Anim Reprod Sci*, 2008, 105: 344-353
- [2] Rotruck J T, Pope A L, Ganther H E, et al. Selenium: biochemical role as a component of glutathione peroxidase [J]. *Science*, 1973, 179: 588-590
- [3] MacPherson A. Selenium, Vitamin E and Biological Oxidation [M]// Garnsworthy P C, Cole D J A, eds. *Recent Advances in Animal Nutrition*. Nottingham: Nottingham University Press, 1994: 3-30
- [4] Levander O A, Ager A L, Beck M A. Vitamin E and selenium, contrasting and interacting nutritional determinants of host resistance to parasitic and viral infections [J]. *Proc Nutr Soc*, 1995, 54: 475-487
- [5] 宋志刚, 冯于明. 日粮硒碘添加剂量对蛋鸡淋巴细胞氧化应激的影响 [J]. *中国农业大学学报*, 2006, 11 (1): 69-74
- [6] 李建慧, 冯于明. 日粮蛋白质水平及有机硒补给时间对肉鸡生长性能及肌肉硒沉积的影响 [J]. *中国农业大学学报*, 2008, 13 (5): 81-87
- [7] Gunter S A, Beck P A, Phillips J M. Effects of supplementary selenium source on the performance of blood measurements in beef cows and their calves [J]. *J Anim Sci*, 2003, 81: 856-864
- [8] 许宗运, 张丽娟, 韩俊文. 不同水平酵母硒对奶牛血液抗氧化能力的影响 [J]. *动物营养学报*, 2007, 19 (6): 753-757
- [9] Guyot H, Spring P, Andrieu S, et al. Comparative responses to sodium selenite and organic selenium supplements in Belgium Blue cows and calves [J]. *Livest Sci*, 2007, 111: 259-263
- [10] Weiss W P, Hogan J S. Effect of selenium sources on selenium status, neutrophil function, and response to intramammary endotoxin challenge of dairy cows [J]. *J Dairy Sci*, 2005, 88: 4366-4374
- [11] Van Soest P J, Robertson J B, Lewis B A. Methods of dietary fibre, neutral detergent fibre and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition [J]. *J Dairy Sci*, 1991, 74: 3583-3587
- [12] 杨胜. 饲料分析及饲料质量检测技术 [M]. 北京: 中国农业大学出版社, 1999: 16-63
- [13] National Research Council (NRC). *Nutrient requirements of dairy cattle* [M]. 7th ed. Washington DC: Natl Acad Sci, 2001
- [14] GB5009.93—2010. 食品中硒的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2010
- [15] Cebra C K, Heidel J R, Crisman R O, et al. The relationship between endogenous cortisol, blood micromutrients, and neutrophil function in postparturient Holstein cows [J]. *J Vet Intern Med*, 2003, 17: 902-907
- [16] Juniper D T, Phipps R H, Jone A K, et al. Selenium supplementation of lactation dairy cows; effect on selenium concentration in blood, milk, urine and feces [J]. *J Dairy Sci*, 2006, 89: 3544-3551
- [17] Ortman K, Pehrson B. Effect of selenate as a feed supplement to dairy cows in comparison to selenite and selenium yeast [J]. *J Anim Sci*, 1999, 77: 3365-3370
- [18] Mudgal V, Garg A K, Dass R S, et al. Effect of selenium and copper supplementation on blood metabolic profile in male buffalo (*Bubalus bubalis*) calves [J]. *Biol Trace Element Res*, 2008, 121: 31-38
- [19] Kumar N, Garg A K, Dass R S, et al. Selenium supplementation influences growth performance, antioxidant status and immune response in lambs [J]. *Anim Feed and Tech*, 2009, 153: 77-87
- [20] Puls R. *Mineral Levels in Animal Health: Diagnostic Data* [M]. Clearbrook B C: Serpa International, 1989
- [21] 徐辉碧, 杨祥良, 刘琼, 等. 硒的生物效应的两面性 [C/OL]// 中国营养学会. 中国营养学会第七届微量元素营养学术会议论文摘要汇编 (2001-10-01) [2010-12-06] <http://epub.edu.cnki.net/grid2008/detail.aspx?QueryID=4&CurRec=1>
- [22] 黄克和, 陈万芳. 硒对雏鸡 T 淋巴细胞转化和自然杀伤细胞活力的影响 [J]. *南京农业大学学报*, 1999, 22(2): 76-79
- [23] 黄志坚, 林藩平, 邱承亮, 等. 富硒酵母对奶牛抗氧化能力和免疫功能的影响 [J]. *营养学报*, 2004(1): 27-30
- [24] 孙恩杰. 硒资源综合利用 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1993
- [25] Finch J M, Turher R J. Effects of selenium and vitamin E on the immune responses of domestic animals [J]. *Res in Vet Sci*, 1996, 60: 97-106
- [26] Rock M J, Kincaid R L, Carstens G E. Effects of prenatal source and level of dietary selenium on passive immunity and thermometabolism of newborn lambs [J]. *Small Rumin Res*, 2001, 40(2): 129-138
- [27] 王传蓉, 王加启, 赵国琦, 等. 母牛补饲维生素 E 和硒对新生犊牛生长和免疫的影响 [J]. *中国兽医学报*, 2009(12): 1625-1628

(责任编辑: 苏燕)