

韩志刚,何明忠,何丽雯,等. 富硒米糠代替有机硒对实验仔兔生长性能和抗氧化功能的影响[J].中国实验动物学报, 2019,27(5):637-643.

Han ZG,He MZ,He LW, et al. Using selenium-enriched rice bran to replace organic selenium and its effect on growth performance and antioxidant function in weaned rabbits [J]. Acta Lab Anim Sci Sin,2019,27(5):637-643.

Doi:10. 3969/j.issn.1005-4847. 2019. 05. 014

# 富硒米糠代替有机硒对实验仔兔生长性能和抗氧化功能的影响

韩志刚,何明忠,何丽雯,曹科,谭毅,谭冬梅\*

(重庆医科大学实验动物中心, 重庆 400016)

**【摘要】 目的** 研究富硒米糠代替有机硒添加对仔兔生长性能和抗氧化功能的影响。**方法** 将 60 只 35 日龄断奶仔兔随机分为普通米糠组、有机硒组、富硒米糠组,每组 20 只,雌雄各半,分别饲喂普通米糠饲料、普通米糠加有机硒饲料、富硒米糠饲料,共饲喂 30 d,记录每日饲料消耗量。分别于实验第 0、5、10、15、20、25、30 天称量实验兔体重,计算每组实验兔料重比。饲喂结束后,采集各组实验兔血清,检测血糖、尿酸、总蛋白、白蛋白、球蛋白含量、白蛋白/球蛋白比及血清谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)活性、超氧化物歧化酶活性(SOD)、过氧化氢酶(CAT)活性和丙二醛(MDA)含量;采集各组实验兔肝、脾、肾并称重,计算各组脏器指数,并检测肾硒含量。**结果** 有机硒组和富硒米糠组的日增重、料重比、脏器指数、肾硒含量以及上述血液生化指标同普通米糠组相比,差异均无显著性( $P>0.05$ ),但富硒米糠组的 GSH-Px 和 SOD 活性、有机硒组的 GSH-Px 和 CAT 活性较普通米糠组均有显著增加( $P<0.05$ ),两组的 MDA 含量较普通米糠组均有明显降低( $P<0.05$ ),且富硒米糠组和有机硒组的抗氧化能力相当。**结论** 富硒米糠对仔兔生长性能和抗氧化功能的促进作用与有机硒相当,可代替有机硒作为仔兔饲料硒的来源。

**【关键词】** 硒;富硒米糠;仔兔;生长性能;抗氧化

**【中图分类号】**      **【文献标识码】**      **【文章编号】** 1005-4847(2019) 05-0637-07

## Using selenium-enriched rice bran to replace organic selenium and its effect on growth performance and antioxidant function in weaned rabbits

HAN Zhigang, HE Mingzhong, HE Liwen, CAO Ke, TAN Yi, TAN Dongmei\*

(Laboratory Animal Center, Chongqing Medical University, Chongqing 400016, China)

Corresponding author: TAN Dongmei. E-mail:dongmei\_tan@126.com

**【Abstract】 Objective** To investigate the effects of selenium-enriched rice bran on the growth performance and antioxidant function in weaned rabbits. **Methods** Sixty 35-day-old weaned rabbits were randomly divided into three groups ( $n=20$ , 1:1 male:female) and were fed with feed added ordinary rice bran, ordinary rice bran plus selenium-enriched yeast or selenium-enriched rice bran for 30 days. Feed consumption was recorded daily and the rabbits were weighed at 0 d, 5 d, 10 d, 15 d, 20 d, 25 d and 30 d, respectively. After 30 days, serum was collected and the content of blood glucose, uric acid, total protein, albumin, globulin, and albumin/globulin ratio were measured by the IDEXX Catalyst Dx Analyzer. The activity of glutathione peroxidase (GSH-Px), superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT) and the content of

[基金项目] 重庆市科委社会事业与民生保障科技创新专项(cstc2016shmszx120006)。  
Funded by Science and Technology Innovation Project from Chongqing Science and Technology Committee(cstc2016shmszx120006).  
[作者简介] 韩志刚(1977—),男,高级实验师,研究方向:实验动物生产管理与动物实验。Email:5753891@qq.com  
[通信作者] 谭冬梅(1976—),女,副研究员,研究方向:实验动物教学、科研及管理。Email:dongmei\_tan@126.com

malondialdehyde (MDA) were detected by assay kits. The liver, spleen and kidney were weighed, organ index was calculated, and the selenium content in the kidney was determined. **Results** There were no significant differences in daily weight gain, feed conversion ratio, organ index, kidney selenium content and the blood biochemical indexes among the three groups ( $P>0.05$ ). However, the activity of GSH-Px and SOD in the selenium-enriched rice bran group and the activity of GSH-Px and CAT in the organic selenium group were significantly higher than that in the ordinary rice bran group ( $P<0.05$ ). The MDA content in these two groups was significantly lower than that of the ordinary rice bran group ( $P<0.05$ ). In addition, the antioxidant capacity was comparable between the selenium-enriched rice bran group and organic selenium group. **Conclusions** Selenium in selenium-enriched rice bran plays a positive role in promoting growth and resisting oxidation in weaned rabbits, which is similar to the selenium in yeast. These findings indicate selenium-enriched rice bran can be used as a selenium source of feed for weaned rabbits.

**[Keywords]** selenium; selenium-enriched rice bran; weaned rabbit; growth performance; antioxidation  
**Conflicts of Interest:** The authors declare no conflict of interest.

硒是家兔繁育、生长必不可少的一种微量元素,且不能在动物体内合成,必须通过食物摄入。缺硒会严重影响家兔的繁殖,阻碍幼兔的生长发育,甚至造成死亡<sup>[1]</sup>。在饲料中添加无机硒(如亚硒酸钠)或有机硒(如酵母硒),均能有效促进家兔的生长发育,并提高其免疫力<sup>[2-3]</sup>。然而,无机硒却存在毒性大、吸收率低、使用剂量不易掌握的缺点,而有机硒虽毒性小、生物利用率高,但价格较昂贵<sup>[4]</sup>。作者所在地区盛产富硒大米,其米糠中硒含量也较高,而且价格低廉。本研究用富硒米糠代替实验仔兔饲料中有机硒的添加,研究其对实验仔兔生长性能及抗氧化功能等的影响,旨在明确富硒米糠作为兔饲料硒来源的可行性,并为其在仔兔饲料生产中的推广应用提供实验基础。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 实验动物

普通级新西兰断奶仔兔 60 只,35 日龄,雌雄各半,由重庆市中药研究院实验动物研究所提供【SCXK(渝)2017-0003】。动物实验在重庆医科大学实验动物中心普通动物实验室进行【SYXK(渝)2017-0023】。

1.1.2 实验日粮

富硒米糠(硒含量 1.00 mg/kg)和普通米糠(硒含量 0.606 mg/kg)由江津区农委提供。酵母硒(法国乐斯福工业公司)由四川省医学科学院动物所提供,其硒含量为 0.3%。米糠、饲料和组织中的硒含量以及饲料营养成分的检测均委托重庆出入境检验检疫局检验检疫技术中心完成。

按实验兔营养需求配制,经检测,符合 GB 14924.3-2010 要求。普通米糠饲料、有机硒饲料和富硒米糠饲料配方和营养成分分别见表 1、表 2。

表 1 三组饲料主要配方表(每 100 kg 配方)  
Table 1 Rabbit feed formula in different groups (per 100 kg)

| 原料<br>Ingredients                    | 普通米糠饲料<br>Feed with rice bran | 有机硒饲料<br>Feed with selenium-enriched yeast | 富硒米糠饲料<br>Feed with selenium-enriched rice bran |
|--------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| 小麦(kg) Wheat                         | 10                            | 10                                         | 10                                              |
| 玉米(kg) Maize                         | 19                            | 19                                         | 19                                              |
| 草粉(kg) Grass meal                    | 25                            | 25                                         | 25                                              |
| 麦麸(kg) Wheat bran                    | 8                             | 8                                          | 8                                               |
| 豆饼(kg) Soybean cake soybean cake soy | 8                             | 8                                          | 8                                               |
| 鱼粉(kg) Fish meal                     | 5                             | 5                                          | 5                                               |
| 骨粉(kg) Bone meal                     | 2                             | 2                                          | 2                                               |
| 酵母粉(kg) Yeast powder                 | 2                             | 2                                          | 2                                               |
| 食盐(kg) Sodium chloride               | 1                             | 1                                          | 1                                               |
| 多维(g) Multi-vitamins                 | 50                            | 50                                         | 50                                              |
| 普通米糠(kg) Rice bran                   | 20                            | 20                                         | /                                               |
| 富硒米糠(kg) Selenium-enriched rice bran | /                             | /                                          | 20                                              |
| 酵母硒(g) Selenium yeast                | /                             | 6.67                                       | /                                               |

表 2 三组饲料营养成分表

Table 2 Rabbit feed nutrients in different groups

| 原料<br>Ingredients       | 普通米糠饲料<br>Feed with rice bran | 有机硒饲料<br>Feed with selenium-<br>enriched yeast | 富硒米糠饲料<br>Feed with selenium-<br>enriched rice bran |
|-------------------------|-------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| 水分 (%) Water            | 13.0                          | 13.0                                           | 11.6                                                |
| 粗蛋白 (%) Crude protein   | 6.8                           | 7.1                                            | 17.0                                                |
| 粗脂肪 (g/kg) Crude fat    | 57                            | 54                                             | 49                                                  |
| 粗纤维 (%) Crude fiber     | 11.2                          | 10.3                                           | 10.4                                                |
| 粗灰分 (%) Crude ash       | 9.1                           | 9.3                                            | 9.1                                                 |
| 钙 (%) Calcium           | 1.31                          | 1.33                                           | 1.34                                                |
| 总磷 (%) Total phosphorus | 0.81                          | 0.80                                           | 0.79                                                |
| 硒 (mg/kg) Selenium      | 0.118                         | 0.214                                          | 0.222                                               |

1.1.3 实验试剂

血清谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)活性、超氧化物歧化酶(SOD)活性、过氧化氢酶(CAT)活性和丙二醛(MDA)含量测定所用的试剂盒,由南京建成生物研究所提供。

1.1.4 实验仪器

全自动生化分析仪及配套试剂盒(IDEXX Catalyst Dx Analyzer, 美国);全波长酶标仪(Multiskan GO, Thermo Fisher, 美国)。

1.2 实验方法

1.2.1 实验分组及饲养管理

将 60 只仔兔随机分成 3 组:普通米糠组、有机硒组、富硒米糠组,每组 20 只,雌雄各半,分别饲喂普通米糠饲料、有机硒饲料、富硒米糠饲料。适应性饲养 5 d 后,每天定量投食,自由采食、饮水,实验周期 30 d。

1.2.2 生长性能指标检测

实验开始前称量每只兔初重,并于实验第 5、10、15、20、25、30 天称量各组兔的体重。每日投食前称量前日所剩饲料量,准确记录各组饲料的消耗量。平均日增重=试验期间总增重/试验天数;料重比=总饲料消耗量/总增重量。在实验第 30 天,将兔安乐死,取其肝、脾、肾分别称重,脏器指数(mg/g)=脏器重/活兔重。

1.2.3 血清抗氧化指标及生化指标测定

实验第 30 天,兔耳缘静脉采血,3000 r/min,离心 10 min,分离血清,并按说明书进行谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)活性、超氧化物歧化酶(SOD)活性、过氧化氢酶(CAT)活性和丙二醛(MDA)含量检测,用全自动生化分析仪测定血糖(GLU)、尿酸(UA)、总蛋白(TP)、白蛋白(ALB)、球蛋白(GLOB)、白蛋白/球蛋白比。

1.2.4 肾硒含量检测

实验第 30 天,从三组实验兔中,各随机抽取 8 只,雌雄各半,检测肾组织的硒含量。

1.3 统计学分析

采用 SPSS 软件对数据进行单因素方差分析,组间比较采用 Tukey's *t*-test,所有数据采用“ $\bar{x} \pm s$ ”表示。当  $P < 0.05$  时,认为其差异具有显著性。当  $P < 0.01$  时,其差异具有极显著性。

2 结果

2.1 三组实验仔兔的生长性能情况

由表 3 和图 1 可知,实验期间,富硒米糠组和有机硒组的仔兔体重增长规律几乎完全一致,但与普通米糠组比较,富硒米糠组和有机硒组仔兔的平均日增重、平均日消耗饲料量与料重比差异均无显著性( $P > 0.05$ )。从表 4 可知,三组实验仔兔的肝指数、脾指数和肾指数差异均无显著性( $P > 0.05$ )。

表 3 三组实验兔的平均日增重及料重比( $\bar{x} \pm s$ )

Table 3 Daily weight gain and feed conversion ratio of the rabbits in different groups( $\bar{x} \pm s$ )

| 组别<br>Groups                               | 数量( <i>n</i> )<br>Number | 平均日增重(g)<br>Daily weight gain | 平均日耗料(g)<br>Daily feed consumption | 料重比<br>Feed conversion ratio |
|--------------------------------------------|--------------------------|-------------------------------|------------------------------------|------------------------------|
| 普通米糠组<br>Rice bran group                   | 18                       | 25.65 ± 0.62                  | 87.46 ± 1.34                       | 3.44 ± 0.08                  |
| 有机硒组<br>Selenium-enriched yeast group      | 19                       | 26.14 ± 1.02                  | 89.44 ± 0.72                       | 3.52 ± 0.14                  |
| 富硒米糠组<br>Selenium-enriched rice bran group | 18                       | 25.93 ± 0.89                  | 85.15 ± 1.28                       | 3.33 ± 0.09                  |

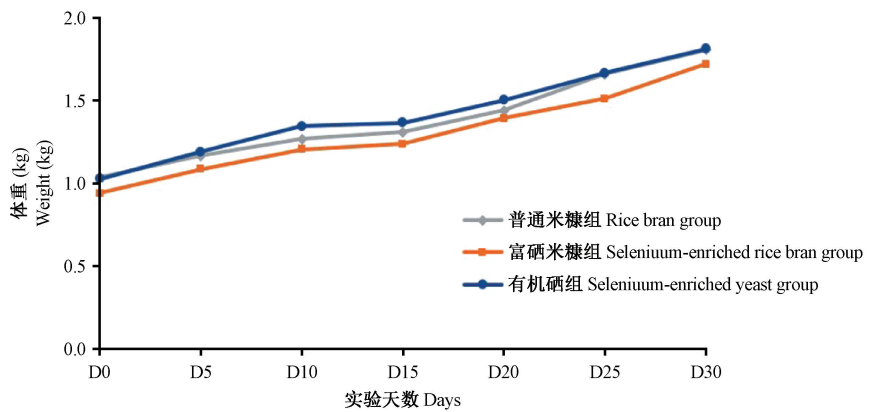


图 1 三组兔体重增长曲线

Figure 1 Weight gain curves of the rabbits in different groups

表 4 三组兔组内脏器指数检测结果(  $\bar{x} \pm s$  )

Table 4 Organ indexes of the rabbits in different groups(  $\bar{x} \pm s$  )

| 组别<br>Groups                               | 数量(n)<br>Number | 肝指数(mg/g)<br>Liver index | 脾指数(mg/g)<br>Spleen index | 肾指数(mg/g)<br>Kidney index |
|--------------------------------------------|-----------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 普通米糠组<br>Rice bran group                   | 18              | 31.84 ± 1.11             | 0.73 ± 0.06               | 6.44 ± 0.20               |
| 机硒组<br>Selenium-enriched yeast group       | 19              | 31.10 ± 1.39             | 0.75 ± 0.08               | 6.61 ± 0.21               |
| 富硒米糠组<br>Selenium-enriched rice bran group | 18              | 31.41 ± 1.26             | 0.74 ± 0.04               | 6.47 ± 0.22               |

2.2 三组实验仔兔的抗氧化功能情况

三组兔血清 GSH-Px、SOD、CAT 活性和 MDA 含量检测结果见图 2。与普通米糠组比较,富硒米糠组的 GSH-Px 和 SOD 活性分别有显著和极显著增加 ( $P < 0.05$ ,  $P < 0.01$ ),而 CAT 活性差异无显著性( $P > 0.05$ ),MDA 含量也有明显降低( $P < 0.05$ );有机硒组 GSH-Px 和 CAT 的活性明显高于普通米糠组,MDA 含量明显低于普通米糠组,差异均有极显著性( $P < 0.01$ ),而 SOD 活性无明显改变( $P > 0.05$ )。

与有机硒组比较,富硒米糠组的 GSH-Px 活性较低,但差异无显著性( $P > 0.05$ ),MDA 含量则较高,差异有显著性( $P < 0.05$ );富硒米糠组的 SOD 活性明显较高,但 CAT 活性明显较低,差异均有极显著性( $P < 0.01$ )。

2.3 三组实验仔兔血清生化功能情况

三组实验仔兔的血清生化指标 GLU、TP、ALB、GLOB、ALB/GLOB 和 UA 检测结果见表 5。与普通米糠组比较,有机硒组和富硒米糠组的各血液生化指标均无显著差异( $P > 0.05$ ),与有机硒组比较,富硒米糠组的各血液生化指标也均无显著差异( $P > 0.05$ )。

2.4 三组实验仔兔肾硒含量情况

普通米糠组、有机硒组、富硒米糠组的肾硒含量检测结果分别为 ( $0.99 \pm 0.07$ ) mg/kg、( $1.25 \pm 0.08$ ) mg/kg、( $1.11 \pm 0.07$ ) mg/kg。与普通米糠组比较,有机硒组和富硒米糠组的肾硒含量均有增加,但其差异均无显著性( $P > 0.05$ )。有机硒组的肾硒含量高于富硒米糠组,但其差异也无显著性( $P > 0.05$ )。

表 5 三组兔血清 GLU、TP、ALB、GLOB、ALB/GLOB 比值及 UA 含量(  $\bar{x} \pm s$  )

Table 5 Blood biochemical indexes and blood glucose of the rabbits in different groups(  $\bar{x} \pm s$  )

| 组别<br>Groups                               | GLU<br>(mg/dL) | TP<br>(g/dL) | ALB<br>(g/dL) | GLOB<br>(g/dL) | ALB/GLOB    | UA<br>(mg/dL) |
|--------------------------------------------|----------------|--------------|---------------|----------------|-------------|---------------|
| 普通米糠组<br>Rice bran roup                    | 138.8 ± 5.02   | 5.81 ± 0.18  | 3.32 ± 0.15   | 2.49 ± 0.07    | 1.34 ± 0.06 | < 0.1         |
| 有机硒组<br>Selenium-enriched yeast group      | 135.8 ± 1.78   | 5.65 ± 0.14  | 3.17 ± 0.16   | 2.48 ± 0.08    | 1.34 ± 0.10 | < 0.1         |
| 富硒米糠组<br>Selenium-enriched rice bran group | 132.8 ± 1.73   | 5.55 ± 0.12  | 3.23 ± 0.10   | 2.32 ± 0.06    | 1.39 ± 0.05 | < 0.1         |

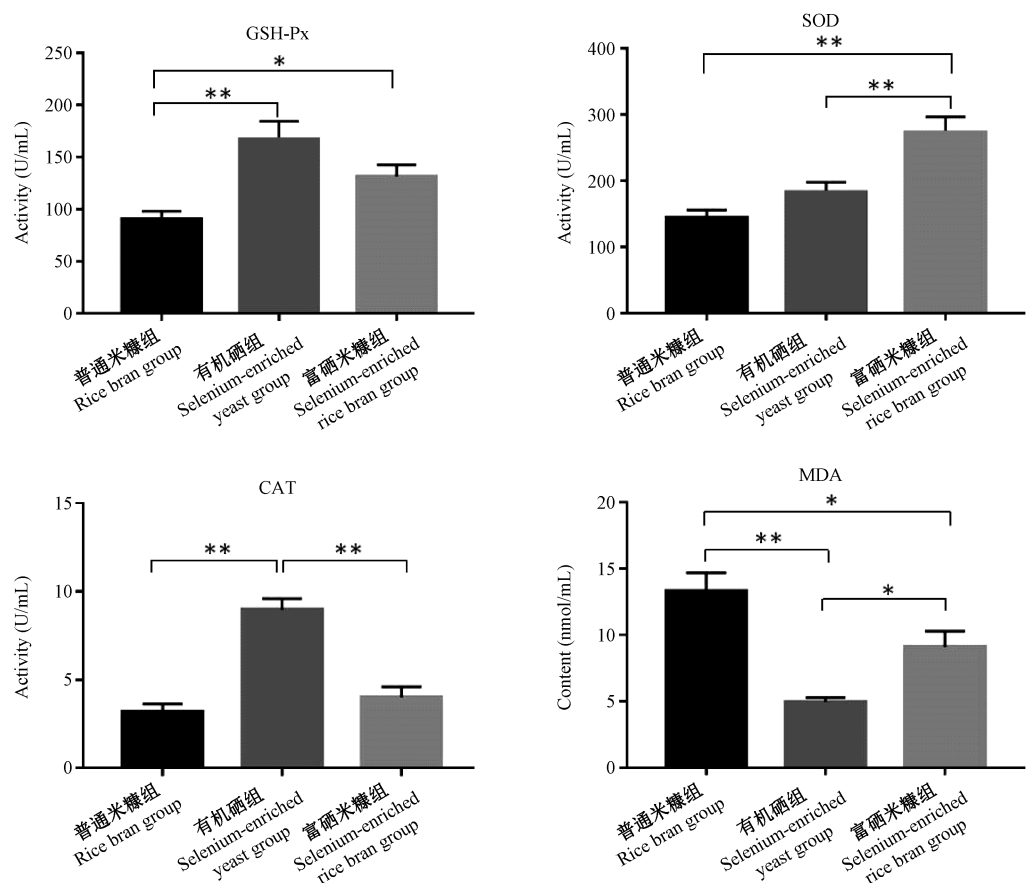


图 2 三组兔组内血清 GSH-Px、SOD、CAT 活性和 MDA 含量 (\* $P < 0.05$ , \*\* $P < 0.01$ )

Figure 2 Activity of serum GSH-Px, SOD and CAT and MDA content of the rabbits in different groups (\* $P < 0.05$ , \*\* $P < 0.01$ )

### 3 讨论

硒是动物必需的微量元素之一,不同形式的硒大部分在十二指肠被吸收并转化,主要以硒代氨基酸、含硒蛋白质和硒蛋白两类有机硒化合物的形式分布于全身组织细胞中,最后通过粪、尿或呼吸的形式排出体外<sup>[5]</sup>。硒在体内的主要生物学作用包括抗氧化、促生长、增强机体免疫和提高动物繁殖性能等生物学功能<sup>[6-17]</sup>。家兔硒缺乏会出现被毛稀疏或无毛,食欲减退,成年兔体重下降,幼兔生长发育迟缓、精神不振,对外界刺激明显反应迟钝<sup>[1]</sup>,而硒过量则会引起急性中毒等不良后果。

家兔需要的硒来源于饲料,目前饲料中添加的硒有无机硒,如亚硒酸钠和有机硒,如酵母硒等。研究表明,饲料中添加 0.15 ~ 0.3 mg/kg 的硒有促进仔兔生长,增加 GSH-Px、SOD、CAT 的活性和降低 MDA 含量的作用,还能增强兔病毒性出血症灭活疫苗接种后的抗体产生等,且有机硒的效果优于无机

硒<sup>[4,18-19]</sup>。我国实验动物国家标准《实验动物 配合饲料营养成分》GB14924.3-2010 中规定,生长、繁殖饲料中的硒添加量为 0.1 ~ 0.2 mg/kg<sup>[20]</sup>。富硒酵母常作为美国和欧盟动物饲料的商品硒源。硒酵母中 70% ~ 90% 的硒以硒代蛋氨酸 (SeMet) 形式存在<sup>[21]</sup>。目前,我国实验动物饲料中硒的添加也以酵母硒为主。

作者所在地区有丰富的富硒资源,如富硒大米、富硒玉米等。经过检测,加工富硒大米产生的米糠也有 1 mg/kg 或以上的硒含量,且米糠有供应充足、价格低廉和就地取材方便等优点。因此,本研究充分利用当地资源优势,用富硒米糠代替饲料有机硒的添加,研究其对实验仔兔生长性能、抗氧化功能和血清生化指标的影响。

实验发现:与有机硒组比较,富硒米糠组有相似的平均日增重、料重比、脏器指数等生长性能指标。与普通米糠饲料比较,富硒米糠组和有机硒组的平均日增重、料重比、脏器指数并没有表现出明

显的优势,这与前述的文献报道不一致,分析原因可能与普通米糠饲料的含硒量较高有关。为了保证本实验有良好的对比性,我们选择了富硒地区非富硒地生产的普通米糠作为对照,尽管其土壤没有进行硒化处理,但因气候、水源流动等因素,使得这类土壤中也有一定的硒含量,因此,普通米糠饲料的硒含量达到 0.118 mg/kg。进一步的抗氧化指标检测发现,与普通米糠组比较,富硒米糠组的 GSH-Px 和 SOD 活性均有显著增加 ( $P < 0.05$ ),MDA 含量也有明显降低 ( $P < 0.05$ );富硒米糠组与有机硒组比较,二者 GSH-Px 活性相当 ( $P > 0.05$ ),富硒米糠组的 SOD 活性明显高于有机硒组 ( $P < 0.01$ ),但 CAT 活性明显低于有机硒组 ( $P < 0.01$ )。这与硒提高实验兔抗氧能力的报道一致。以上研究也提示,0.1 mg/kg 的有机硒即能提高实验仔兔的生长性能,但 0.2 mg/kg 的有机硒更能提高动物的抗氧化能力。

本研究还对三组兔血清 TP、ALB、GLU、UA、GLOB 含量及 ALB/GLOB 比值进行了测定,各指标在各组间均未发现显著差异 ( $P > 0.05$ ),其原因也可能与普通米糠组的硒含量较高有关。

有研究证实:不同形式的硒被机体吸收、转化,并以有机硒的形式存储,且肾、肝和肌肉中含量较高<sup>[22]</sup>。因此,本研究对各组肾组织中的硒含量进行了测定,结果发现,有机硒组的肾硒含量较富硒米糠组稍高 ( $1.25 \pm 0.23$ ) mg/kg *vs.* ( $1.11 \pm 0.19$ ) mg/kg,但二者差异无显著性 ( $P > 0.05$ ),普通米糠组肾硒含量也达到了 ( $0.99 \pm 0.21$ ) mg/kg,提示在农作物上进行硒的生物有机化,不仅降低了硒的毒性,还有较高的吸收和生物转化。

总之,富硒米糠对仔兔生长性能和抗氧化功能的促进作用与有机硒相当,可代替有机硒作为仔兔生长的硒源,这为富硒米糠在仔兔饲料生产中的推广应用提供实验基础。

### 参 考 文 献 (References)

- [1] 徐之勇,余燕,马金友. 家兔硒缺乏症[J]. 中国养兔, 2011, (10): 34-36.  
Xu ZY, Yu Y, Ma JY. Selenium deficiency in rabbits [J]. Chin J Rabbit Farm, 2011, (10): 34-36.
- [2] 华品忠,刘笑笑,魏春雁,等. 硒的功用及富硒动物产品研发进展[J]. 吉林畜牧兽医, 2016, 38(1): 19-21.  
Hua JZ, Liu XX, Wei CY, et al. Function of selenium and progress of research and development of selenium-enriched animal products[J]. Jilin Anim Husb Veter Med, 2016, 38(1): 19-21.
- [3] 陆壮. 硒在动物生产中应用的研究进展[J]. 粮食与饲料工业, 2016, 12(8): 61-65.  
Lu Z. Progress in the application of selenium in animal production [J]. Cereal Feed Industry, 2016, 12(8): 61-65.
- [4] 邱敏,周美琴,王莉娟,等. 不同硒源对断奶仔兔生产性能和抗氧化功能的影响[J]. 中国饲料, 2013, (19): 24-26.  
Qu M, Zhou MQ, Wang LJ, et al. Effects of different selenium sources on the growth performance and antioxidant function of weaned young rabbits [J]. Chin Feed, 2013, (19): 24-26.
- [5] 路燕,黄文峰,杨惠超. 微量元素硒的生物学作用[J]. 湖北畜牧兽医, 2012, (1): 7-9.  
Lu Y, Huang WF, Yang HC. Biological effects of trace element selenium [J]. Hubei J Anim Veter Sci, 2012, (1): 7-9.
- [6] 孟凡立,盛采杰,陈维多,等. 两种形式的硒对奶牛红细胞内几种抗氧化酶活力影响的研究[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2002, 26(3): 17-18.  
Meng FL, Sheng CJ, Chen WD, et al. Effects of two forms of selenium on antioxidant enzyme activity in erythrocytes of dairy cows [J]. Heilongjiang Anim Sci Veter Med, 2002, 26(3): 17-18.
- [7] 丁斌鹰,侯永清,王猛,等. 不同硒源对肥育猪背最长肌和血清中抗氧化指标的影响[J]. 畜牧与兽医, 2008, 40(6): 36-39.  
Ding BY, Hou YQ, Wang M, et al. Effects of different selenium sources on antioxidant indexes of the longest dorsal muscle and serum in fattening pigs [J]. Anim Husb Veter Med, 2008, 40(6): 36-39.
- [8] 何宏超,李彪. 酵母硒对猪机体硒含量、抗氧化能力和肉质的影响[J]. 饲料研究, 2011(4): 50-51+55.  
He HC, Li B. Effects of yeast selenium on selenium content, antioxidant capacity and meat quality in pigs [J]. Feed Res, 2011, (4): 50-51+55.
- [9] 何宏超,李彪. 不同硒源对生长肥育猪生产性能的影响[J]. 饲料与畜牧, 2009, (1): 43-44.  
He HC, Li B. Effects of different selenium sources on the growth performance of fattening pigs [J]. Feed Anim Husb, 2009, (1): 43-44.
- [10] Jianhua H, Ohtsuka A, Hayashi K. Selenium influences growth via thyroid hormone status in broiler chicken [J]. Brit J Nutr, 2000, 84(2): 727-732.
- [11] 王潍波,张骞,顾小卫. 富硒酵母对肉鸡生产性能的影响研究[J]. 饲料工业, 2009, 30(3): 23-24.  
Wang WB, Zhang Q, Gu XW. Effect of selenium-rich yeast on the growth performance of the broiler [J]. Feed Ind, 2009, 30(3): 23-24.
- [12] Arthur JR, McKenzie RC, Beckett GJ. Selenium in the immune system [J]. J Nutr, 2003, 133(5 Suppl 1): 1457S-1459S.
- [13] 吴峰洋,周松涛,李冲,等. 硒对兔免疫性能的影响及在兔体内的富积[J]. 中国饲料添加剂, 2015, (8): 8-11.  
Wu FY, Zhou ST, Li C, et al. Effect of selenium on the immune function and its accumulation in rabbits [J]. China Feed Addit, 2015, (8): 8-11.

- [14] 于东. 硒蛋白 W 对鸡免疫机能的影响 [D]. 东北农业大学, 2013.  
Yu D. Effect of selenoprotein W on chicken immune function [D]. Northeast Agricultural University, 2013.
- [15] 张建新, 岳文斌, 董玉珍. 硒对公鸡睾丸前期发育的影响 [J]. 兽药与饲料添加剂, 2003, 8(3): 5-6.  
Zhang JX, Yue WB, Dong YZ. Effect of selenium on prophase development of cock testis [J]. Vet Pharmaceut Feed Add, 2003, 8(3): 5-6.
- [16] 庄惠君, 卢素琳, 陈立, 等. 富硒蘑菇对小鼠脂质过氧化一氧化氮含量和精子质量的研究 [J]. 微量元素与健康研究, 2004, 21(3): 3-6.  
Zhuang HJ, Lu SL, Chen L, et al. Effect of selenium-enriched mushroom on the content of nitric oxide and sperm quality in mice [J]. Stud Trace Elem Health, 2004, 21(3): 3-6.
- [17] 周沛, 饶骏. 促性腺激素、V D3、VE 亚硒酸钠对母兔繁殖力的影响 [J]. 四川畜牧兽医学院学报, 2002, 16(3): 21-24.  
Zhou P, Rao J. Effect of gonadotropic hormones, vitamin D3, vitamin E and NazSeO3 on female rabbit's reproductive capacity [J]. Acta Sichuan Inst Anim Sci Vet Med, 2002, 16(3): 21-24.
- [18] 张华, 黄克和, 薛家宾, 等. 不同硒源对兔体液免疫及抗氧化能力影响的研究 [J]. 营养学报, 2006, 28(3): 209-212.  
Zhang H, Huang KH, Xue JB, et al. Effects of different selenium sources on the function of humoral immunity and antioxidant capacity of rabbits in vivo [J]. Acta Nutr Sin, 2006, 28(3): 209-212.
- [19] 邱敏, 周美琴, 王莉娟, 等. 不同硒源对家兔消化性能和血液生化指标的影响 [J]. 中国饲料, 2011, (16): 22-24.  
Qu M, Zhou MQ, Wang LJ, et al. Effects of different selenium sources on digestive performance and blood biochemical indexes in rabbits [J]. Chin Feed, 2011, (16): 22-24.
- [20] 中国医学科学院医学实验动物研究所编, 实验动物标准汇编 [M]. 北京: 中国标准出版社, 2011: 350.  
Institute of Laboratory Animal Sciences, Chinese Academy of Medical Sciences, Compilation of standards for laboratory animals [M]. Beijing: China Standards Press, 2011: 350.
- [21] Block E, Glass RS, Jacobsen NE, et al. Identification and synthesis of a novel selenium-sulfur amino acid found in selenized yeast: Rapid indirect detection NMR methods for characterizing low-level organoselenium compounds in complex matrices [J]. J Agric Food Chem, 2004, 52(12): 3761-3771.
- [22] 陈会良, 鲍广刚, 蔡汉乔. 中国白兔血液和器官组织中硒含量的测定 [J]. 营养学报, 2006, 28(3): 19-20.  
Chen HL, Bao GG, Cai HQ. Determination of the content of selenium in China white rabbit's blood and tissue organs [J]. Acta Nutr Sin, 2006, 28(3): 19-20.

[收稿日期] 2019-04-01