

# 葡萄糖氧化酶对饲喂含霉变饲料小鼠体重和肠道微生物的影响

赵艳姣<sup>1</sup> 崔亚利<sup>1\*</sup> 陈宝江<sup>2</sup> 孙海云<sup>2</sup> 李三吓<sup>2</sup> 李同洲<sup>2</sup>

(1. 河北农业大学动物医学院, 保定 071001; 2. 河北农业大学动物科技学院, 保定 071001)

**摘要:** 本试验旨在研究葡萄糖氧化酶(GOD)缓解霉变饲料对小鼠平均日增重和肠道菌群变化的影响。18~22 g 昆明小鼠 130 只, 随机分为 13 组。分别饲喂添加 0、10%、20%、30% 霉变玉米面和 0、0.1%、0.3%、0.5% GOD 的饲料, 试验期为 60 d。结果表明: 1) 不同霉变玉米添加量的饲料饲喂小鼠 60 d, 与试验对照组比较, 0.3% GOD 能显著或极显著改善小鼠平均日增重( $P < 0.05$  或  $P < 0.01$ )。2) 添加 10% 霉变玉米面, 0.3% 和 0.5% GOD 组与试验对照组比较, 极显著降低了大肠杆菌的数量( $P < 0.01$ ), 增加了乳酸杆菌数量( $P < 0.01$ ); 添加 20% 霉变玉米面, 饲喂 60 d 时, 3 种不同浓度的 GOD 极显著降低了大肠杆菌数量( $P < 0.01$ ), 提高了乳酸杆菌数量( $P < 0.01$ ); 添加 30% 霉变玉米面, 3 种不同浓度的 GOD 显著或极显著减少了肠道大肠杆菌数量( $P < 0.05$  或  $P < 0.01$ ), 0.3% GOD 效果较好, 饲喂 60 d 时, 0.3% 和 0.5% 的 GOD 添加量极显著提高了肠道乳酸杆菌数量( $P < 0.01$ )。结果提示, GOD 能够缓解霉变饲料对小鼠生长造成的影响。饲料中黄曲霉毒素 B<sub>1</sub> 含量低于 67.77 μg/kg 时, 添加 0.3% 的 GOD 效果较好。

**关键词:** 葡萄糖氧化酶; 小鼠; ADG; 肠道微生物

中图分类号: S859.79

文献标识码: A

文章编号: 1006-267X(2014)11-3531-06

玉米是畜禽能量饲料的主要原料, 在畜禽饲料中占有较高比例。玉米保管不当很容易发霉, 产生黄曲霉毒素(AFB<sub>1</sub>)、赤霉烯酮及呕吐毒素(DON)等<sup>[1]</sup>, 危害动物的生长、生产和繁殖, 并具有剂量和时间依赖关系。唐雨蕊<sup>[2]</sup>通过给小鼠灌服 250 μg/kg 体重的 AFB<sub>1</sub> 进行攻毒处理, 发现 AFB<sub>1</sub> 攻毒组小鼠肠道中的乳酸菌数量均下降, 而肠杆菌总数均上升, 表明肠道菌群的正常生态环境已遭到破坏, 灌服乳杆菌组的双歧杆菌数量显著上升, 肠杆菌数量则恢复为正常值, 与对照组差异不显著, 提示 AFB<sub>1</sub> 可通过损伤肝脏功能, 影响肠肝循环系统而破坏盲肠的微生态平衡, 而灌服乳杆菌则可改善此影响。宋海彬等<sup>[3]</sup>通过对葡萄糖氧化酶的研究称葡萄糖氧化酶系统名称为 β-

D-葡萄糖氧化酶(glucose oxidase, GOD), 饲料中添加一定量的 GOD, 可以抑制蛋鸡盲肠内大肠杆菌的增殖, GOD 在催化反应过程中生成的 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 同时消耗大量的氧气, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 可以抑制霉菌的生长和增殖, 降低霉菌毒素的含量, 同时低氧的环境对乳酸菌的生长和繁殖有促进作用。GOD 在催化肠道内的葡萄糖发生反应的过程中其反应产物葡萄糖酸还可以降低胃肠内 pH, 为乳酸杆菌的生长创造了酸性环境, 乳酸杆菌的大量生长又有利于饲料的消化, 对小鼠的平均日增重(ADG)有显著提高的效果。同时, 反应生成的 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 还具有灭菌的作用, 当 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 积累到一定的浓度时, 可直接抑制大肠杆菌等有害菌的生长繁殖<sup>[4]</sup>。赵国先等<sup>[5]</sup>研究表明 GOD 能显著降低肉鸡空肠、回肠 pH, 具有

收稿日期: 2014-05-05

基金项目: 国家十二五支撑计划项目(2012BAD39B01); 石家庄科技研究与发展计划课题(08150322A)

作者简介: 赵艳姣(1987—)女, 河北邯郸人, 硕士研究生, 从事基础兽医学研究。E-mail: yanjiaozhao0814@126.com

\* 通讯作者: 崔亚利, 副教授, 硕士生导师, E-mail: cuiyalidk@hebau.edu.cn

明显抑制大肠杆菌生长、促进盲肠中乳酸杆菌和双歧杆菌增殖的作用。但有研究认为 GOD 可显著提高断奶仔猪、断奶仔兔的 ADG 和饲料转化率,但不影响仔兔免疫器官的发育<sup>[6-7]</sup>。

GOD 发挥作用的机理之一是能够解除肠道霉菌毒素中毒及药物中毒。饲料霉变是困扰饲料业和畜牧业的一个全球性难题,如何有效去除和降低霉菌毒素污染对动物的危害已成为人们研究的重点。目前,关于 GOD 的研究多集中在对畜禽生产性能、肠道微生物和血清生化指标的影响方面,对 GOD 缓解霉变饲料所引起慢性中毒的研究较少。本试验通过在昆明小鼠饲料中添加不同浓度霉变玉米面,旨在研究 GOD 制剂对 ADG、肠道菌群变化的影响,为 GOD 制剂应用于缓解霉变玉米所致畜禽中毒提供一定的理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验动物和饲料

从北京大学医学部购入雄性清洁级昆明鼠 130 只,体重 18~22 g,4 周龄左右[试验动物生产许可证号: SCXK(京) 2011-0012]。从北京科澳协力饲料有限公司购入小鼠粉状维持料和颗粒料。

### 1.2 霉变玉米面的制作和检测

#### 1.2.1 霉变玉米面制备

恒温培养箱温度设定为  $(29 \pm 1) ^\circ\text{C}$ ,湿度 80%~85%,以利于霉菌的生长。内有蒸馏水的搪

瓷盘置于培养箱内以保持湿度。将盛有玉米面的灭菌搪瓷盘置于培养箱内,每日观察温湿度和玉米面的发霉程度。

#### 1.2.2 霉菌培养

取霉变 8 d 的玉米,采用高盐察氏培养基进行培养。经中国农业科学院测定 AFB<sub>1</sub> 含量为 225.9  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,DON 含量为 1 023.10  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。

#### 1.2.3 小鼠颗粒饲料的制作

根据试验设计,在小鼠粉状维持料中加入相应比例的 GOD 制剂和霉变玉米,加水搅拌。水与料的比大概为 1:2,待混合料能握成团但稍微一握还能松散时比较适宜。使用塑料漏斗制成柱状颗粒料,50  $^\circ\text{C}$  5~6 h 烘干。

### 1.3 GOD 制剂

GOD 制剂为保定鲜尔康生物工程有限责任公司生产,酶活力为 150 000 U,麸皮作为载体。

### 1.4 试验设计和饲养管理

小鼠常规饲养 7 d 后开始试验,试验期为 40 和 60 d。小鼠随机分为 13 组,试验分组及处理见表 1。10% 霉变玉米面组饲料中 AFB<sub>1</sub> 含量为 22.59  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,DON 含量为 102.31  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。20% 霉变玉米面组饲料中 AFB<sub>1</sub> 含量为 45.18  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,DON 含量为 204.62  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。30% 霉变玉米面组饲料中 AFB<sub>1</sub> 含量为 67.77  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,DON 含量为 306.93  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。饲养在温度为  $(25 \pm 3) ^\circ\text{C}$ ,相对湿度为 55%,自然光照的环境中。

表 1 试验分组及处理

Table 1 Experiment grouping and treatment

组别 Groups	饲料 Diet
组 1(空白对照组) Group 1 (blank control group)	小鼠基础颗粒料
组 2(试验对照组) Group 2 (experimental control group)	90%基础料+10%霉变玉米面
组 3(试验对照组) Group 3 (experimental control group)	80%基础料+20%霉变玉米面
组 4(试验对照组) Group 4 (experimental control group)	70%基础料+30%霉变玉米面
组 5(试验组) Group 5 (experimental group)	89.9%基础料+10%霉变玉米面+0.1%葡萄糖氧化酶
组 6(试验组) Group 6 (experimental group)	79.9%基础料+20%霉变玉米面+0.1%葡萄糖氧化酶
组 7(试验组) Group 7 (experimental group)	69.9%基础料+30%霉变玉米面+0.1%葡萄糖氧化酶
组 8(试验组) Group 8 (experimental group)	89.7%基础料+10%霉变玉米面+0.3%葡萄糖氧化酶
组 9(试验组) Group 9 (experimental group)	79.7%基础料+20%霉变玉米面+0.3%葡萄糖氧化酶
组 10(试验组) Group 10 (experimental group)	69.7%基础料+30%霉变玉米面+0.3%葡萄糖氧化酶
组 11(试验组) Group 11 (experimental group)	89.5%基础料+10%霉变玉米面+0.5%葡萄糖氧化酶
组 12(试验组) Group 12 (experimental group)	79.5%基础料+20%霉变玉米面+0.5%葡萄糖氧化酶
组 13(试验组) Group 13 (experimental group)	69.5%基础料+30%霉变玉米面+0.5%葡萄糖氧化酶

## 1.5 测定指标和方法

### 1.5.1 体重测定

分别在饲喂发霉饲料的第 1 天、第 20 天、第 40 天、第 60 天时称重。

### 1.5.2 样品采集

在试验的第 40 天和第 60 天, 各组随机选取 5 只小鼠, 禁食 12 h 后称重, 颈椎脱臼法处死, 刮取肠道(空肠、回肠和结肠)混合物食糜置于 1.5 mL 离心管中,  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  冰冻保存。

### 1.5.3 肠道微生物检测

从  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  中取出食糜, 快速称取 0.2~0.3 g 放入试管内, 灭菌生理盐水 10 倍稀释, 涡旋混合仪混合 1~2 min, 逐级稀释, 取预期梯度及左右各 2 个梯度的稀释液 0.1 mL, 在培养基上涂布接种, 每个梯度设 2 个重复, 选取菌落数在 5~100 个的平皿进行计数。大肠杆菌采用麦康凯琼脂, 空气中

$37\text{ }^{\circ}\text{C}$  培养 18 h。乳酸杆菌用乳酸杆菌选择性琼脂, 厌氧环境  $37\text{ }^{\circ}\text{C}$  培养 24 h, 观察计数。所用培养基均购于青岛高科园海博生物技术有限公司。

## 1.6 数据处理与分析

采用 SPSS 16.0 的单因素方差分析( one-way ANOVA), 并用 LSD 法进行多重比较, 结果以平均值 $\pm$ 标准差表示。

## 2 结果

### 2.1 GOD 对小鼠 ADG 的影响

由表 2 可知, 饲喂 20 d 时, 添加 3 种不同浓度的 GOD, 对 10% 和 30% 霉变玉米面组小鼠 ADG 的影响不显著 ( $P>0.05$ )。20% 霉变玉米面饲料, 添加 0.1% 和 0.3% GOD 组 ADG 显著大于试验对照组 ( $P<0.05$ )。

表 2 GOD 对小鼠 ADG 的影响

Table 2 Effects of GOD on average daily gain of mice

g

试验期 Experimental days/d	霉变玉米面添加量 Addition of moldy maize meal/%	空白对照组 Blank control group	试验对照组 Experimental control group	0.1% GOD 组 0.1% GOD group	0.3% GOD 组 0.3% GOD group	0.5% GOD 组 0.5% GOD group
20	10	0.42 $\pm$ 0.08	0.34 $\pm$ 0.06	0.36 $\pm$ 0.04	0.40 $\pm$ 0.04	0.38 $\pm$ 0.06
	20	0.42 $\pm$ 0.08 <sup>a</sup>	0.35 $\pm$ 0.08 <sup>c</sup>	0.45 $\pm$ 0.06 <sup>ab</sup>	0.47 $\pm$ 0.04 <sup>a</sup>	0.42 $\pm$ 0.05 <sup>a</sup>
	30	0.42 $\pm$ 0.08	0.33 $\pm$ 0.04	0.35 $\pm$ 0.07	0.40 $\pm$ 0.08	0.36 $\pm$ 0.05
40	10	0.16 $\pm$ 0.08	0.14 $\pm$ 0.06	0.14 $\pm$ 0.02	0.16 $\pm$ 0.04	0.10 $\pm$ 0.04
	20	0.16 $\pm$ 0.08 <sup>BCbc</sup>	0.11 $\pm$ 0.04 <sup>Cc</sup>	0.24 $\pm$ 0.06 <sup>ABab</sup>	0.30 $\pm$ 0.07 <sup>Aa</sup>	0.19 $\pm$ 0.04 <sup>ABCabc</sup>
	30	0.16 $\pm$ 0.08 <sup>Bb</sup>	0.09 $\pm$ 0.03 <sup>Bb</sup>	0.13 $\pm$ 0.04 <sup>Bb</sup>	0.27 $\pm$ 0.04 <sup>Aa</sup>	0.17 $\pm$ 0.03 <sup>Bb</sup>
60	10	0.28 $\pm$ 0.08 <sup>Aa</sup>	0.15 $\pm$ 0.14 <sup>Bd</sup>	0.18 $\pm$ 0.04 <sup>BCDbed</sup>	0.24 $\pm$ 0.05 <sup>ABab</sup>	0.23 $\pm$ 0.05 <sup>ABCabc</sup>
	20	0.28 $\pm$ 0.08 <sup>Aa</sup>	0.13 $\pm$ 0.03 <sup>Bb</sup>	0.15 $\pm$ 0.04 <sup>Bb</sup>	0.30 $\pm$ 0.06 <sup>Ab</sup>	0.13 $\pm$ 0.04 <sup>Bb</sup>
	30	0.28 $\pm$ 0.08 <sup>Aa</sup>	0.13 $\pm$ 0.04 <sup>Bb</sup>	0.14 $\pm$ 0.04 <sup>Bb</sup>	0.24 $\pm$ 0.05 <sup>Aa</sup>	0.21 $\pm$ 0.04 <sup>ABab</sup>

同行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 ( $P<0.01$ ), 相同字母或未标字母者表示差异不显著 ( $P>0.05$ )。下表同。

In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference ( $P<0.05$ ), 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.

饲喂 40 d 时, 10% 霉变玉米面饲料, 添加 GOD 各组差异不显著 ( $P<0.05$ )。20% 霉变玉米面饲料, 添加 0.1% 和 0.3% GOD 组 ADG 极显著高于试验对照组 ( $P<0.01$ )。30% 霉变玉米面饲料, 添加 0.3% GOD 组与其他各组比较 ADG 极显著提高 ( $P<0.01$ )。

饲喂 60 d 时, 10% 霉变玉米面饲料, 试验对照组 ADG 与空白对照组比较极显著降低 ( $P<$

0.01), 添加 0.3% 和 0.5% GOD 组与试验对照组比较 ADG 显著增加 ( $P<0.05$ ), 添加 GOD 3 组之间差异不显著 ( $P>0.05$ )。20% 霉变玉米面饲料, 试验对照组与空白对照组比较极显著降低 ( $P<0.01$ ), 添加 0.3% GOD 组与试验对照组、0.1% GOD 组和 0.5% GOD 组比较, ADG 极显著增加 ( $P<0.01$ )。30% 霉变玉米面饲料, 试验对照组与空白对照组比较极显著降低 ( $P<0.01$ ), 添加 0.3%

GOD 组与试验对照组和 0.1% GOD 组比较 ADG 极显著增加 ( $P<0.01$ )。

## 2.2 GOD 对小鼠肠道微生物菌群的影响

### 2.2.1 GOD 对小鼠大肠杆菌的影响

由表 3 可知,小鼠饲料中添加霉变玉米面的试验对照组,肠道内大肠杆菌数量与空白对照组比较极显著增加 ( $P<0.01$ )。添加 10% 霉变玉米面 3 种不同浓度的 GOD 组与试验对照组比较都极显著降低了大肠杆菌数量 ( $P<0.01$ )。添加

0.3% 的 GOD, 饲喂 60 d 时大肠杆菌数量与饲喂 40 d 时比较极显著降低 ( $P<0.01$ )。添加 20% 霉变玉米面 3 种不同浓度的 GOD 组与试验对照组比较也都极显著降低了大肠杆菌数量 ( $P<0.01$ )。0.3% 和 0.5% 的 GOD 添加量抑菌效果较好。添加 30% 霉变玉米面, 除饲喂 40 d 时 0.1% GOD 组与试验对照组差异不显著 ( $P>0.05$ ) 外, GOD 显著或极显著减少了肠道大肠杆菌的数量 ( $P<0.05$  或  $P<0.01$ )。0.3% GOD 添加效果较好。

表 3 GOD 对小鼠肠道微生物的影响

Table 3 Effects of GOD on intestinal microflora of mice

lg(CFU/g)

菌群 Flora	霉变玉米面 添加量	试验期 Experimental days/d	空白对照组 Blank control group	试验对照组 Experimental control group	0.1% GOD 组 0.1% GOD group	0.3% GOD 组 0.3% GOD group	0.5% GOD 组 0.5% GOD group
	Addition of moldy maize meal/%						
大肠 杆菌 <i>E. coli</i>	10	40	5.13±0.21 <sup>Bbc</sup>	6.08±0.16 <sup>Aa*</sup>	5.54±0.29 <sup>Bb</sup>	5.02±0.25 <sup>Bc**</sup>	4.65±0.32 <sup>Bc</sup>
		60	5.06±0.28 <sup>BCbc</sup>	7.23±0.44 <sup>Aa</sup>	5.32±0.30 <sup>Bb</sup>	4.33±0.34 <sup>Cc</sup>	4.35±0.39 <sup>Cc</sup>
	20	40	5.13±0.21 <sup>Cc</sup>	7.08±0.29 <sup>Aa</sup>	5.85±0.38 <sup>Bb</sup>	5.32±0.48 <sup>BCc</sup>	5.40±0.25 <sup>BCbc</sup>
		60	5.06±0.28 <sup>Bc</sup>	7.48±0.53 <sup>Aa</sup>	5.65±0.39 <sup>Bb</sup>	5.11±0.29 <sup>Bbc</sup>	5.05±0.32 <sup>Bc</sup>
	30	40	5.13±0.21 <sup>Bb</sup>	7.23±0.28 <sup>Aa*</sup>	6.50±0.40 <sup>ABa</sup>	5.83±0.58 <sup>Bb</sup>	6.11±0.70 <sup>Bb</sup>
		60	5.06±0.28 <sup>Cc</sup>	7.92±0.51 <sup>Aa</sup>	6.21±0.51 <sup>Bb</sup>	5.44±0.48 <sup>BCbc</sup>	5.76±0.54 <sup>BCbc</sup>
乳酸杆菌 <i>Laetobacil-</i> <i>lus</i>	10	40	9.13±0.21 <sup>ABabc</sup>	8.49±0.36 <sup>Bc</sup>	8.79±0.81 <sup>ABbc</sup>	9.55±0.41 <sup>Aa</sup>	9.23±0.24 <sup>Aab</sup>
		60	9.55±0.31 <sup>Aab</sup>	8.13±0.32 <sup>Bb</sup>	8.99±0.76 <sup>ABa</sup>	9.70±0.61 <sup>Aa</sup>	9.25±0.37 <sup>Aa</sup>
	20	40	9.13±0.21 <sup>Aa</sup>	8.25±0.32 <sup>Bc*</sup>	8.43±0.36 <sup>ABc</sup>	9.01±0.38 <sup>ABab</sup>	8.58±0.40 <sup>ABCbc</sup>
		60	9.55±0.31 <sup>Aa</sup>	7.54±0.63 <sup>Bc</sup>	8.62±0.54 <sup>Ab</sup>	9.42±0.41 <sup>Aa</sup>	8.85±0.61 <sup>Aa</sup>
	30	40	9.13±0.21 <sup>Aa</sup>	7.76±0.61 <sup>Bb</sup>	8.12±0.42 <sup>Bb</sup>	8.33±0.61 <sup>ABb</sup>	8.12±0.38 <sup>Bb</sup>
		60	9.55±0.31 <sup>Aa</sup>	7.18±0.42 <sup>Cc</sup>	8.48±0.38 <sup>ABab</sup>	9.15±0.32 <sup>ABab</sup>	8.33±0.41 <sup>Ab</sup>

试验不同天数间\*表示差异显著 ( $P<0.05$ ), \*\*表示差异极显著 ( $P<0.01$ )。

\* and \*\* mean significant difference ( $P<0.05$ ) and extremely significant difference ( $P<0.01$ ) separately between experimental days.

### 2.2.2 GOD 对小鼠乳酸杆菌的影响

由表 3 可知,小鼠饲料中添加 20% 或 30% 霉变玉米面的试验对照组,肠道内乳酸杆菌数量与空白对照组比较极显著降低 ( $P<0.01$ )。添加 10% 霉变玉米面, 0.3% 和 0.5% GOD 组与试验对照组比较都极显著增加了乳酸杆菌数量 ( $P<0.01$ )。2 组之间差异不显著 ( $P>0.05$ )。饲喂 60 d 时 0.1% GOD 组与试验对照组比较显著增加了乳酸杆菌的数量 ( $P<0.05$ )。添加 20% 霉变玉米面, 饲喂 40 d 时, 与试验对照组比较, 0.3% GOD 显著提高了乳酸杆菌的数量 ( $P<0.05$ )。60 d 时, 3 种不同浓度的 GOD 组与试验对照组比较都极显著提高了乳酸杆菌数量 ( $P<0.01$ )。添加 30% 霉变玉米面, 饲喂 60 d 时, 与试验对照组比较, 0.1%、

0.3% 和 0.5% 的 GOD 添加量极显著提高了肠道乳酸杆菌数量 ( $P<0.01$ )。

## 3 讨论

### 3.1 GOD 对小鼠 ADG 的影响

GOD 在催化反应过程中生成  $H_2O_2$  同时消耗大量的氧气,  $H_2O_2$  可以抑制霉菌, 降低霉菌毒素的含量, 同时低氧的环境可减少饲料营养的损失<sup>[3]</sup>。研究表明, GOD 可提高断奶仔猪、断奶仔兔的日增重和饲料转化率, 不影响仔兔免疫器官的发育<sup>[6-7]</sup>。Yunus 等<sup>[8]</sup> 研究表明霉变饲料能造成动物多方面的危害已成为共识, 不同动物对 AFB<sub>1</sub> 的敏感性也不同, 兔子的敏感性最强, 依次为幼鸭、猪、狗、豚鼠、绵羊、小鼠、鸡和大鼠。张

磊<sup>[9]</sup>提出雏鸡饲喂含黄曲霉毒素不是很高的霉玉米,临床上虽无典型中毒表现,但是会使机体免疫功能下降,生长发育受阻,体重增长显著减慢且参差不齐,饲料报酬率降低。王凯等<sup>[10]</sup>提出45日龄昆明小鼠饲喂自制霉变玉米饼4周后,小鼠体重都有不同程度的下降,而且影响小鼠的免疫功能,造成T、B淋巴细胞计数的改变。本试验测定结果显示,添加20%或30%霉变玉米面组,饲喂20、40和60d后,0.3%的GOD对提高小鼠ADG效果较好,能显著改善由于霉变玉米对ADG造成的不良效果,说明GOD能够有效改善霉菌中毒对小鼠消化系统产生的直接毒害作用,促进营养物质吸收。

### 3.2 GOD对小鼠肠道微生物的影响

李焰<sup>[11]</sup>研究表明在父母代蛋种鸡育成料中添加GOD对由大肠杆菌等引起的肠道腹泻有明显的预防作用,对大肠杆菌病有明显的预防及治疗作用。杨久仙等<sup>[6]</sup>研究表明饲料中添加GOD可降低仔猪胃肠道内大肠杆菌数量,增加乳酸杆菌的数量。由于GOD可催化葡萄糖酸的生成,所以可提供胃肠道的酸性环境。诸多研究表明,酸性条件可以抑制大肠杆菌等有害菌的生长繁殖,而有利于乳酸菌的生长繁殖。Franco等<sup>[12]</sup>认为添加磷酸型酸化剂A和乳酸型酸化剂B对体外培养的大肠杆菌、金黄色葡萄球菌和沙门氏菌都有明显抑制作用,不同比例的富马酸和乳酸使肠道大肠杆菌数明显减少。本试验结果显示,饲喂添加不同比例的霉变饲料后,GOD能显著减少肠道内大肠杆菌的数量,大肠杆菌的数量与GOD的添加量没有明显的剂量依赖关系;添加0.3%GOD提高乳酸菌数量的效果较好,而且随着饲喂时间的延长,效果更好。GOD可能通过降低小鼠肠道内大肠杆菌的数量,提高肠道乳酸杆菌的数量,从而提高饲料的转化率和吸收率,促进小鼠的生长。

## 4 结 论

GOD能够降低小鼠肠道内大肠杆菌的数量,提高乳酸杆菌的数量,使小鼠ADG增加。饲料中AFB<sub>1</sub>含量低于67.77 μg/kg时,添加0.3%的

GOD效果较好。这说明GOD能够缓解霉变饲料对小鼠生长造成的影响。

### 参考文献:

- [1] 赵志军.霉变玉米对畜禽的危害及其防治[J].畜禽业,2012(3):36-37.
- [2] 唐雨蕊.吸附黄曲霉毒素B<sub>1</sub>乳杆菌的筛选、吸附特性及对攻毒小鼠的影响[D].硕士学位论文.雅安:四川农业大学,2009:39-41.
- [3] 宋海彬,赵国先,李娜,等.葡萄糖氧化酶及其在畜牧生产中的应用[J].饲料与畜牧,2008(7):37-39.
- [4] 赵晓芳,张宏福.葡萄糖氧化酶的功能及在畜牧业中的应用[J].广东饲料,2007,16(1):34-35.
- [5] 赵国先,宋海彬,马可为,等.葡萄糖氧化酶制剂对肉鸡肠道pH及盲肠微生物的影响[J].河北农业大学学报,2009,32(4):83-87.
- [6] 杨久仙,张荣飞,张金柱,等.葡萄糖氧化酶对仔猪胃肠道微生物区系及血液生化指标的影响[J].畜牧与兽医,2011,43(6):53-55.
- [7] 吴艳芳,吕景智,戴小丹,等.葡萄糖氧化酶对断奶仔兔生产性能和免疫器官发育的影响[J].中国饲料,2012(14):35-39.
- [8] YUNUS A W,RAZZAZI-FAZELI E,BOHM J.Aflatoxin B<sub>1</sub> in affecting broiler's performance,immunity,and gastrointestinal tract:a review of history and contemporary issues[J].Toxins,2011,3(6):566-590.
- [9] 张磊.霉玉米饲喂雏鸡试验[J].安徽农业科学,2007,35(11):3255-3257.
- [10] 王凯,杨丽梅,霍星华,等.霉玉米对小鼠体重和外周血淋巴细胞数量的影响[J].动物医学进展,2006,27(3):81-84.
- [11] 李焰.鲜尔康在肉鸡饲养中替代抗生素的效果试验[J].中国畜牧业通讯,2005(10):70-71.
- [12] FRANCO L D,FONDEVILA M,LOBERA M B,et al.Effect of combinations of organic acids in weaned pig diets on microbial species of digestive tract contents and their response on digestibility[J].Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition,2005,89(3/4/5/6):88-93.

## Glucose Oxidase: Effects on Body Weight and Intestinal Flora of Mice with Moldy Feed

ZHAO Yanjiao<sup>1</sup> CUI Yali<sup>1\*</sup> CHEN Baojiang<sup>2</sup> SUN Haiyun<sup>2</sup>  
LI Sanxia<sup>2</sup> LI Tongzhou<sup>2</sup>

(1. College of Veterinary Medicine, Agricultural University of Hebei, Baoding 071001, China; 2. College of Animal Science and Technology, Agricultural University of Hebei, Baoding 071001, China)

**Abstract:** This paper was aimed to study the effects of glucose oxidase on average daily gain and intestinal flora in mice with moldy feed. A total of 130 KM mice, 18 to 22 g, were randomly assigned to 13 groups. The diet was added by 0, 10%, 20% and 30% moldy maize flour and 0, 0.1%, 0.3% and 0.5% GOD, respectively, and the experiment lasted for 60 days. The results showed as follows: compared with experimental control group, the average daily gain of mice fed with the diet added by moldy maize flour and 0.3% GOD for 60 days was significantly increased ( $P < 0.05$  or  $P < 0.01$ ). Addition of 0.3% and 0.5% GOD to the diet with 10% moldy maize flour significantly decreased the amount of bacterium *E. coli* ( $P < 0.01$ ), and increased the amount of *Laetobacillus* ( $P < 0.01$ ). When the mice were fed for 60 days with the diet added 10% moldy maize flour, GOD significantly decreased the amount of bacterium *E. coli*, and increased the amount of *Laetobacillus* ( $P < 0.01$ ). GOD decreased the amount of bacterium *E. coli* in mice fed with 30% moldy maize flour diet ( $P < 0.05$  or  $P < 0.01$ ), and 0.3% GOD was proper. Addition of 0.3% and 0.5% GOD increased the amount of *Laetobacillus* in mice fed for 60 days ( $P < 0.01$ ). This study demonstrates that GOD can ameliorate the effects of moldy diet on the growth of mice. Addition of 0.3% GOD is suggested on the condition that aflatoxin B<sub>1</sub> dose in diets is not more than 67.77  $\mu\text{g}/\text{kg}$ . [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2014, 26(11): 3531-3536]

**Key words:** glucose oxidase; mouse; average daily gain; intestinal flora

\* Corresponding author, associate professor, E-mail: cuiyalidk@hebau.edu.cn