

高立鹏,白云峰,涂远璐,等. 发芽小麦替代玉米对断奶仔猪矿物质元素消化率的影响[J]. 江苏农业科学,2014,42(12):247-249.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2014.12.085

# 发芽小麦替代玉米对断奶仔猪矿物质元素消化率的影响

高立鹏,白云峰,涂远璐,崔超,冯国兴,郑建初

(江苏省农业科学院六合动物科学基地,江苏南京 210014)

**摘要:**选取 40 头体质量约 20 kg 的断奶仔猪,随机分为 4 组,对照组饲喂基础日粮,试验组分别用 20% (T1 组)、30% (T2 组)、40% (T3 组) 发芽小麦同等营养水平下替代全价日粮中的玉米和豆粕,采用内源指示剂法 (AIA),研究不同比例发芽小麦替代玉米对断奶仔猪矿物质元素利用的影响。结果表明,与对照组相比,发芽小麦替代玉米能显著提高 Ca、P 消化率 ( $P < 0.05$ ),其中 T1 组 P 消化率最高,T2 组 Ca 消化率最高。除此之外,与对照相比,发芽小麦替代玉米试验组显著提高了断奶仔猪粪便中微量元素的消化率 ( $P < 0.05$ ),T2 组 Fe、Cu、Mn、Zn 消化率最高。

**关键词:**发芽小麦;猪;矿物质;消化率

**中图分类号:** S828.5      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1002-1302(2014)12-0247-03

随着养猪业的发展,养殖者一味追求畜禽生长速度,在饲料中过量添加矿物质元素如 Cu、Zn 等,大量未消化的矿物质元素经畜禽粪尿排泄出来,严重污染环境<sup>[1]</sup>。在猪日粮中添加植酸酶可以有效提高植酸磷的利用率,促进植酸水解,使被植酸络合的金属元素如 Ca、Zn 游离出来供动物利用。迄今为止,国内外已有很多在猪饲料中添加植酸酶改进 P、Ca 及微量元素消化利用的报道<sup>[2-5]</sup>。许多作物籽实特别是麦类及其加工副产品中含有天然植酸酶,但其酶活性较低,种子萌发初期能显著提高植酸酶活性,小麦中植酸酶活性为 1 255 U/kg,发芽后酶活性提高 4 倍,在全价饲料中添加 6%~10% 的发芽小麦,饲料中植酸酶活性即可达到 300~500 U/kg<sup>[6]</sup>。采用发芽小麦替代日粮中的部分玉米,一方面可以作为植物植酸酶来源;另一方面,在小麦发芽过程中,蛋白质水解为氨基酸、酰胺,营养价值得到提高<sup>[7]</sup>。吴庆伟等研究了发芽小麦替代玉米对肉鸡生产、屠宰性能、肉质的影响,发现发芽小麦可提高肉鸡的屠宰性能、改善肉质<sup>[8]</sup>。目前,发芽小麦替代玉米对断奶仔猪矿物质元素利用率影响尚未见报道。本研究探讨不同比例发芽小麦替代玉米对断奶仔猪矿物质元素利用的影

响,旨在为促进养猪业健康发展提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

选择初始体质量为 30~40 kg 的苏钟猪阉割公猪(江苏省农业科学院畜牧研究所太湖猪为母本,与国外长白猪杂交的新品种)40 头,随机分为 4 组,每组 10 头,单圈饲养。

### 1.2 饲养管理

试验预饲期 10 d,正式试验期 3 d。每日饲喂 2 次,以猪吃饱后食槽中略有余料为原则,自由饮水。观察试验猪采食等行为是否正常,是否出现腿骨发育畸形、跛行等情况,饲养管理措施、免疫接种程序均按猪场的常规程序进行。

### 1.3 小麦发芽处理

采用山东青州富民箱式全自动发芽机进行小麦发芽处理,首先筛选小麦籽粒,除去杂质、霉变籽粒,用温水浸泡 12 h,待小麦充分膨胀后,将小麦捞出后摊在豆芽机滤水筛盘内,厚 3~5 cm。随着发芽时间延长,小麦纤维含量增加,游离氨基酸、部分维生素达到最大值后逐步减少,因此本试验以小麦发芽长度为指标,芽长 0.5 cm 时终止发芽,通常需 1.5 d。

### 1.4 试验日粮组成

试验日粮分为 4 组,以不添加小麦的常规玉米-豆粕日粮为对照组 PC,试验组 T1(在基础日粮中用 20% 发芽小麦代替部分玉米、豆粕),试验组 T2(在基础日粮中用 30% 发芽小麦代替部分玉米、豆粕),试验组 T3(在基础日粮中用 40% 发芽小麦代替部分玉米、豆粕),补充少量赖氨酸、石粉等,保持

收稿日期:2014-03-17

基金项目:江苏省农业科技自主创新资金[编号:CX(13)3041];公益性行业(农业)科研专项(编号:201203050-4)。

作者简介:高立鹏(1981—),男,江苏徐州人,研究实习员,从事家畜营养与生态研究。E-mail:gaolipeng0856@163.com。

通信作者:白云峰,研究员,从事家畜营养与生态研究。E-mail:Blinkeye@126.com。

[4] 杨承剑,黄兴国. 微生态制剂及其在畜牧生产中的应用[J]. 饲料博览,2006(2):9-12.

[5] 侯海锋,李茜,史万玉,等. 微生态制剂在养殖生产中的应用现状与展望[J]. 中国畜牧兽医,2011,38(7):27-30.

[6] 孔令勇,盛祖勋,杨雪林,等. 微生态制剂对樱桃谷肉鸭生长性能、屠宰性能及免疫器官发育的影响[J]. 动物营养学报,2012,24(8):1577-1582.

[7] 赵丽,崔恒敏,杨帆,等. 日粮中添加高水平铜对雏鸭血液指

标的影响[J]. 中国家禽,2008,30(5):24-28.

[8] 姜卫星,李伟,唐松元,等. 日粮中添加微生态制剂对豪猪生产性能及血液生化指标影响的研究[J]. 经济动物学报,2011,15(1):14-17.

[9] 李超,边连全,刘显军,等. 几种微生态制剂对生长猪生产性能和血清生化指标影响的比较研究[J]. 黑龙江畜牧兽医,2012,5(9):66-68.

[10] 霍妍明. 微生态制剂及纳米活化水对蛋鸡生产性能、蛋品质和血液生化指标的影响[D]. 保定:河北农业大学,2008:27-28.

各试验组营养水平相同(表1)。采用湿拌料饲喂,将发芽后的小麦晾 30 min 后破碎,与精料一起用搅拌机混匀后饲喂,以改善小麦发芽后的适口性。

1.5 方法

饲料样采集:试验开始前按四分取样、粉碎,置于自封袋保存。粪样采集:试验开始后连续 3 d 收集粪样,充分剔除毛发、污垢后,用 20% 盐酸喷粪样表面固氮,于 65 ℃ 烘至恒重,干燥后粉碎,过 40 目筛,自封袋保存备用。参照 GB/T 6437—2002《饲料中总磷的测定 分光光度法》规定的方法测定 P 元素含量。使用上海光谱 SP-3803AA 原子吸收分光光度计,参照 GB/T 13885—2003《动物饲料中钙、铜、铁、镁、锰、钾、钠和锌含量的测定 原子吸收光谱法》规定的方法测定 Ca、Cu、Fe、Mn、Zn 元素含量,测试条件见表 2。采用上海新拓 XT-9912 型智能微波消解/萃取系统进行样品前处理,称取 0.2 g 样品,置于微波消解罐中,分别加 8 mL 硝酸、2 mL 过氧化氢,消解程序见表 3,最后赶酸定容。采用盐酸不溶灰分(AIA)内源指示剂法测定微量元素消化率,测定方法参见 GB/T 23742—2009《饲料中盐酸不溶灰分的测定》,表观消化率计算公式如下:

养分消化率 =  $[(A_1 \times F_2)/(A_2 \times F_1)] \times 100\%$ 。  
式中: $A_1$  为饲料中 AIA 含量, $A_2$  为粪中 AIA 含量, $F_1$  为饲料中养分含量, $F_2$  为粪中该养分含量。

1.6 数据处理

采用 SAS 9.1 软件的 GLM 过程,对数据进行方差分析。

表 2 原子吸收分光光度计工作条件

元素	波长 (nm)	带宽 (nm)	电流强度 (mA)	电压 (V)	空气流量 (L/min)	乙炔流量 (L/min)	燃烧器高度 (mm)
Ca	422.7	1.4	4	283.0	6	1.5	7.5
Fe	248.3	0.2	4	229.2	6	1.5	7.5
Cu	328.1	0.2	4	229.0	6	1.5	7.5
Mn	279.5	0.2	4	300.0	6	1.5	7.5
Zn	213.9	0.7	4	250.0	6	1.5	7.5

表 3 微波消解工作程序

步骤	压力 (kg/cm <sup>2</sup> )	温度 (℃)	微波功率 (W)	时间 (s)
1	5	80	1 800	120
2	10	100	2 000	120
3	20	150	2 000	120
4	30	180	2 000	120
5	40	180	2 000	600
6	45	220	2 000	180

2 结果与分析

试验猪只在整个试验期的健康状况正常,未出现生长缓慢、佝偻病等现象。

2.1 断奶仔猪粪便中 Ca、P 消化率

断奶仔猪粪便中 Ca、P 消化率如表 4 所示,与对照组相比,发芽小麦替代玉米能显著提高 Ca、P 消化率( $P < 0.05$ ),其中 T1 组 P 消化率最高,T2 组 Ca 消化率最高。

2.2 断奶仔猪粪便中微量元素消化率

表 1 试验日粮组成及营养水平(风干基础)

项目	日粮组成(%)			
	PC	T1	T2	T3
玉米	64.8	47.9	39.5	31.2
喷浆玉米皮	5.0	5.0	5.0	5.0
豆粕	19.2	16.0	14.5	13.0
麦麸	9.2	9.3	9.2	9.0
小麦	0	20.0	30.0	40.0
赖氨酸	0.1	0.2	0.2	0.2
磷酸氢钙	0.4	0	0	0
石粉	0.7	1.0	1.0	1.0
盐	0.3	0.3	0.3	0.3
预混料	0.3	0.3	0.3	0.3
合计	100.0	100.0	100.0	100.0
Price(元/kg)	2.862	2.753	2.701	2.649
消化能(MJ/kg)	13.4	13.4	13.4	13.4
CP(%)	16.4	16.4	16.4	16.4
Ca(%)	0.53	0.56	0.56	0.56
总 P(%)	0.38	0.40	0.41	0.42
有效 P(%)	0.19	0.13	0.13	0.13
CF(%)	3.7	3.4	3.3	3.2

注:预混料为 1 kg 饲料提供 Fe 63 mg、Cu 112 mg、I 0.1 mg、Zn 126 mg、Mn 2.7 mg、Se 0.3 mg、维生素 A 8 000 IU、维生素 D<sub>3</sub> 1 800 IU、维生素 E 16 IU、维生素 K 2 mg、维生素 B<sub>1</sub> 1.7 mg、维生素 B<sub>2</sub> 5 mg、维生素 B<sub>6</sub> 1.4 mg、维生素 B<sub>12</sub> 0.02 mg、烟酸 20 mg、泛酸钙 11 mg、维生素 B<sub>11</sub> 1.2 mg、生物素 0.1 mg。

如表 5 所示,与对照相比,发芽小麦替代玉米试验组显著提高了断奶仔猪粪便中微量元素的消化率( $P < 0.05$ ),T2 组 Fe、Cu、Mn、Zn 消化率最高,分别比对照组提高 44.02%、82.31%、53.68%、100.01%。由此可见,仔猪日粮中使用发芽小麦对 Cu、Zn 利用率提高作用最显著。各试验组之间微量元素的消化率由高到低依次为 T2 > T3 > T1。

表 4 断奶仔猪粪便中 Ca、P 消化率

组别	消化率(%)	
	Ca	P
PC 组	75.63 ± 5.69b	41.15 ± 16.32b
T1 组	85.55 ± 1.84a	80.64 ± 8.20a
T2 组	87.62 ± 3.47a	75.39 ± 3.83a
T3 组	87.55 ± 3.83a	70.82 ± 3.93a

注:同列数据后不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。

2.3 发芽小麦替代玉米对断奶仔猪 P 消化率的影响

在典型的玉米豆粕型猪生长日粮中,P 多以植酸磷形式存在,由于缺乏对应的酶水解植酸磷,猪仅能利用玉米中 P 的 40%~50%,豆饼中 P 的 25%~35%,这意味着近一半的 P

表 5 断奶仔猪粪便中微量元素消化率

组别	消化率(%)			
	Fe	Cu	Mn	Zn
PC 组	55.56 ± 6.29c	37.53 ± 7.64c	51.83 ± 6.27c	34.04 ± 7.53d
T1 组	75.88 ± 2.98b	55.54 ± 5.46b	70.32 ± 2.63b	52.89 ± 4.20c
T2 组	80.02 ± 4.06a	68.42 ± 3.38a	79.65 ± 2.83a	68.11 ± 3.30a
T3 组	77.06 ± 2.39ab	63.37 ± 5.07a	71.24 ± 4.27b	61.89 ± 3.86b

注:同列数值后不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。

随粪便排出<sup>[9]</sup>。为了提高日粮中 P 元素的利用率,目前生产中通常采用添加植酸酶的方法,利用植酸酶水解植酸磷释放磷。本试验利用小麦发芽过程中产生的大量天然植酸酶来提高仔猪日粮中 P 元素消化率,取得了较好的效果。添加发芽小麦后试验组 P 元素消化率均显著高于对照组( $P < 0.05$ ),T1 组 P 元素消化率最高,为 80.64%,接近于猪日粮中添加植酸酶 15 000 FTU/kg 时的最大值 84%<sup>[10]</sup>,优于生长猪玉米-豆粕日粮中添加植酸酶 1 000 U/kg 时的最大值 43%<sup>[11]</sup>。一方面小麦发芽后植酸酶活性大幅提高,小麦中植酸酶活性为 1 255 U/kg,在全价饲料中添加 20% 的发芽小麦,饲料中植酸酶活性即可达到 1 000 U/kg,足以满足动物营养所需。另一方面 pH 值、温度、日粮组成、酸酶活性、植酸酶种类都会影响植酸酶的使用效果。本试验结果说明,随着发芽小麦替代比例增加,P 的利用率降低,过高的发芽小麦替代量并不能进一步提高水解植酸的反应速度、程度。从“节磷减排”角度考虑,玉米豆粕型仔猪日粮中发芽小麦最佳替代比例为 20%。

#### 2.4 发芽小麦替代玉米对断奶仔猪粪便中 Ca、Fe、Cu、Mn、Zn 消化率的影响

植物性饲料中的植酸除影响动物对 P 的消化吸收,还能与其他矿物质元素(Ca、Fe、Cu、Mn、Zn 等)螯合成植酸-矿物复合物,矿物质元素与植酸的络合能力依次为  $Cu > Zn > Mn > Fe > Ca$ ,高含量的植酸可使猪对 Ca 的吸收率降低,尤其是幼畜,植酸过多对 Ca 吸收的抑制作用表现更明显,可导致佝偻症。本试验结果表明,发芽小麦替代玉米后,断奶仔猪矿物质元素(Fe、Cu、Mn、Zn、Ca)消化率均得到有效提高,这与前人研究结论<sup>[12]</sup>基本一致。T2 组(发芽小麦 30% 替代)矿物质元素消化率最高,Zn 消化率比对照组高 100.09%,由于 Cu、Zn 与植酸的亲和力最强,饲喂发芽小麦后大量 Cu、Zn 游离出来为猪所消化利用。T2 组 Ca 元素消化率最高,达 87.62%。董国忠等指出,添加植酸酶能显著提高生长猪对 Cu、Zn 的消化率以及肥育猪对 P、Cu、Zn 的消化率,说明植酸酶的作用效果受到日粮组成、动物种类的影响<sup>[13]</sup>。

### 3 结论

本研究表明,发芽小麦替代玉米在改善仔猪矿物质元素消化率上可能优于添加植酸酶方法。这一方面可能是由于小麦发芽后产生的天然植酸酶有效性高,植酸酶对植酸、植酸盐进行水解,释放出磷酸根离子,同时打开植酸与蛋白质之间的键,增加蛋白质的水溶性,矿物质元素被释放出来;另一方面,小麦发芽后总淀粉含量、灰分含量、粗脂肪含量、千粒质量呈下降趋势,还原糖含量、部分矿物质含量则有不同程度的升高,其中还原糖含量比未发芽小麦高 1.34%,粗蛋白含量先

增后减,功能因子  $\gamma$ -氨基酸含量显著升高<sup>[14]</sup>。需要说明的是,本试验中矿物质元素消化率数值与其他文献相比偏高,这可能是由于内源指示剂法的测定值比全收粪法偏高<sup>[15]</sup>。

#### 参考文献:

- [1]方热军,汤少勋.生态营养学理论在环保型饲料生产的应用[J].中国生态农业学报,2003,11(1):162-164.
- [2]Lei X G,Ku P K,Miller E R,et al. Supplementing corn-soybean meal diets with microbial phytase linearly improves phytate phosphorus utilization by weanling pigs[J]. Journal of Animal Science,1993,71(12):3359-3367.
- [3]蔡青和,计成,岳洪源.玉米豆粕型日粮中添加植酸酶对断奶仔猪生产性能、养分消化率及血清生化指标的影响[J].动物营养学报,2004,16(2):15-21.
- [4]Adeola O,Lawrence B V,Sutton A L,et al. Phytase-induced changes in mineral utilization in zinc-supplemented diets for pigs[J]. Journal of Animal Science,1995,73(11):3384-3391.
- [5]Goehl J. Phytase effects on mineral utilization in weaning pigs explored[J]. Feedstuffs,1996,22:15.
- [6]韩延明,周安国,杨凤.常用植物性饲料中的植酸酶活性及加热温度的影响[J].动物营养学报,1995,7(3):21-26.
- [7]黄国平.萌发对粮食主要营养成分的影响及其断奶食品的工艺研究[D].武汉:华中农业大学,2001.
- [8]吴庆伟,张勇,刘来亭,等.发芽小麦替代玉米对肉鸡生产性能、屠宰性能及肉品质的影响[J].饲料工业,2010,31(3):13-16.
- [9]蒋守群,吴天星.植酸酶的研究进展[J].动物营养学报,1999,1(3):1-11.
- [10]Kies A K,Kemme P A,Sebek L B,et al. Effect of graded doses and a high dose of microbial phytase on the digestibility of various minerals in weaner pigs[J]. Journal of Animal Science,2006,84(5):1169-1175.
- [11]Cromwell G L,Stahly T S,Coffey R D,et al. Efficacy of phytase in improving the bioavailability of phosphorus in soybean meal and corn-soybean meal diets for pigs[J]. Journal of Animal Science,1993,71(7):1831-1840.
- [12]张丽英.日粮中添加植酸酶对断奶仔猪矿物元素利用的影响[J].饲料与畜牧,1997(1):13-14.
- [13]董国忠,张翥,王小晶,等.饲料中添加植酸酶对生长肥育猪矿物元素利用和排泄的影响[J].中国饲料,2007(12):8-11.
- [14]张钟,程美林,王丽,等.发芽对小麦品质的影响[J].中国粮油学报,2014,29(1):11-16.
- [15]刘记强,曹向阳,亢娟娟,等.全收粪和指示剂法测定固始鸡粗纤维消化率的差异性比较[J].广东农业科学,2010,37(6):173-175.