

猪对钙磷营养代谢研究进展

何姝颖 万 荣

(中化云龙有限公司动物营养研究所)

[中图分类号]S816.79

[文献标识码]A

[文章编号]1002-8358(2016)01-28-4

摘要:钙、磷作为猪不可或缺的矿物营养元素,具有重要生物学功能,极大地影响着养猪的经济效益。本文介绍了钙磷营养、猪的钙磷营养需求和影响钙磷吸收的因素,旨在为钙磷在猪生产中得以合理应用作一简述。

关键词:猪;钙;磷

据 FAO 统计,2013 年世界生猪存栏量为 9.7 亿头,其中中国占 4.8 亿头,稳居世界第一。中国是全球最大的养猪市场,然而与发达国家相比,中国猪业还较为落后,如美国大型猪企,每头母猪平均年产肥猪 26 头以上,猪出栏均重 130kg,产肉 90kg 以上,与我国相比成本节约了 40%~50%^[1]。近年来畜牧产品中对钙磷营养的重视比较不够,本文拟就近年来对猪方面的钙磷营养研究进展作一简述。

1 猪对钙、磷的吸收与代谢

1.1 猪对钙的吸收与代谢

钙的吸收主要在动物 pH 较低的十二指肠和空肠进行,吸收通过被动扩散和需能的主动转运进行。主要吸收途径有:(1)跨细胞主动转运,在 VD 介导下,钙离子通过细胞膜上打开钙通道与 CaBP 结合,在基底膜侧通过钠钙交换泵排除^[2]。(2)旁细胞被动扩散,在钙离子浓度足够高的时候,可通过浓度梯度进行无耗能的被动扩散。(3)细饮、胞吐,钙离子在小肠上皮细胞依靠电化学梯度,以钙离子小泡囊的胞饮和胞吐方式释放。而未被吸收的钙主要通过粪便、尿液和汗排出,以粪钙为主,尿钙是未

被肠道吸收的非结合钙在通过肾小球时,在近端小管和远端小管被重新吸收,进入细胞内部的钙,在通过 $3\text{Na}^+-\text{Ca}^+$ 系统转运出胞外,受血钙水平调节,反映着钙的存留和利用情况^[3]。

1.2 猪对磷的吸收与代谢

超过 70% 的磷在小肠吸收,其主要吸收场所同样为十二指肠和空肠,吸收方式为自由扩散和主动运输两种方式。其中,主动运输为 Na^+ 依赖型的磷酸盐转运,依靠在细胞膜上无机磷的电化学浓度梯度为动力,通过 $\text{Na}^+-\text{K}^+-\text{ATP}$ 酶来实现对磷浓度梯度的维持。该吸收方式在低磷日粮中占了 75%~90%,在正常日粮中占了 50%~70%^[4]。因此,磷的吸收与小肠液 pH 和 Na^+ 浓度相关,当 pH 一定时磷吸收随 Na^+ 浓度升高而增加^[5]。动物对血磷的吸收调控主要通过肾脏的重吸收进行,肾脏通过 LLC-PK1 细胞磷转运系统在近端小管对磷进行重吸收,该过程饱和时依赖 Na^+ 转运^[6]。

2 钙磷的生理功能及猪对其营养需求

2.1 钙、磷生理功能

钙为机体含量最高矿物质,99% 的钙在动物体内以羟基磷灰石晶体形式组成动物牙齿及骨骼,并作为钙的储备池。而剩余的 1% 钙元素以游离或结合态存于动物血液、组织液和软体组织中,作用如下:(1)作为第二信使,调节体内细胞效应或肌肉收缩。(2)通过钙调控调节神经冲动的传导,而体内缺钙

时,神经钙将参与到骨骼牙齿形成中,即生物钙化^[7]。(3)对细胞膜功能维持、细胞粘着等有着重要意义。如体内钙缺乏,会导致机体无力、骨骼发育迟缓。

磷在动物体内含量仅次于钙,除开为动物骨骼和牙齿的重要组成部分,也是遗传物质和大部分酶的重要构成,其生物学功能在矿物质元素中最多,主要包括:(1)参与骨骼和牙齿构成。(2)构成 ATP 和磷酸肌酸,参与机体能量代谢。(3)以磷脂方式促进脂类和脂溶性维生素吸收,并保证生物膜完整性。(4)为 DNA, RNA 等遗传物质重要组成部分并参与构成大部分酶。(5)组成 $\text{Na}_2\text{HPO}_4/\text{Na}_2\text{H}_2\text{PO}_4$ 缓冲对,调节酸碱平衡。

2.2 猪对钙磷营养需要

猪为最易出现钙磷缺乏的动物之一,不同阶段的猪对钙磷需求也不尽相同。母猪妊娠期第 15~20d,全窝胎儿体内的总矿物质(包括钙磷)含量以接近两倍的速度增加,胎儿体内超过总需求 50% 的矿物质是在妊娠最后两周沉积的^[8],此外钙离子对分娩时子宫肌肉的收缩和曲张有重要影响。而磷作为多种酶的组成成分,在调节母猪妊娠过程中发挥着多种作用,此时钙磷缺乏,往往会导致母猪由于分娩时间过长而使死胎数目上升,产生不孕和流产现象,并出现产后瘫痪,所以在制定母猪钙磷需求标准时,往往在母猪不同妊娠期推荐钙磷需求不同,如 NRC(11 版)将母猪妊娠天数的钙磷需要按 90d 划分为妊娠前期和后期,妊娠后期饲料中总钙需要至少比妊娠前期高 0.22%,而总磷则至少高出 0.14%。胎儿出生后,由于泌乳需要,母猪钙磷需求会进一步增加,此时钙磷缺乏母猪会动员致密骨组织中钙磷,从而造成骨质疏松症,导致跛行和骨骼疾病而被淘汰^[9]。

仔猪生长发育迅速,而快速生长使得仔猪的营养需求极大,如仔猪每千克体重需要钙 7.9g,磷 4~5g^[10]。然而这种需求会随着仔猪的生长逐渐平缓,NRC 中,仔猪从 5kg 增长到 75kg 推荐饲料的总钙的百分比从 0.85% 降至 0.59%,总磷的需要量也从 0.70% 降至 0.52%。钙磷缺乏会导致仔猪食欲降低,出现异食癖、生长减慢、生产性能下降,骨骼发育异

常,最终导致仔猪佝偻病,成猪的骨软化症和骨松症。生长育肥猪在生长阶段主要是骨骼和肌肉的生长,此阶段对钙磷需求依然较大,而育肥阶段猪的脂肪组织生长旺盛,骨骼和肌肉生长较为缓慢,对钙磷需求趋于平缓,钙磷缺乏危害猪只健康,同时过量的钙对猪产业也有极大的损害,过量的钙会抑制其他矿物质的吸收,如导致仔猪缺锌缺磷,使仔猪皮肤角质化,并会导致尿酸盐沉积,最终导致仔猪患上高钙血症、低磷血症、代谢碱中毒,甚至尿石症^[2]。由于磷矿较贵,且动物对其有一定耐受能力,直接磷过量造成的中毒很少见,但长期摄入过量的磷,会导致血钙降低,进而引起甲状腺机能亢进。

3 钙、磷代谢影响因素

3.1 维生素

VD 是肠道钙吸收的必需营养素,VD 的代谢产物,1,25-二羟维生素 D 可促进钙结合蛋白增加并提高钙泵关键酶 PMCA 活性^[11],24,25-二羟维生素 D、1,25-二羟维生素 D、24,25-二羟维生素 D 在成骨过程中发挥着关键作用^[12]。VD 还可促进小肠对钠依赖型磷吸收^[13],其机制目前有两种观点:一部分研究认为 VD 是通过改变 Na/Pi-IIIb 基因,提高 Na/Pi-IIIb 蛋白表达量来影响无机磷的转运效率^[14];另一种观点则认为 VD 主要通过促进小肠上皮细胞对磷的转运,从而提高了对无机磷的吸收。

VA 在母猪钙磷代谢中扮演着重要的角色。VA 参与母猪繁殖和胚胎发育,VA 的缺乏会导致母猪流产、死胎或弱仔、畸形仔产生,其对钙磷代谢的调节主要原因:(1)VA 缺乏会导致视黄酸受体减少,从而抑制生长板软骨细胞增殖,并影响骨生长,最终影响钙磷代谢^[15]。(2)VA 缺乏可导致血液中 GH 和 IGF 下降,发生软骨内成骨障碍^[16]。(3)VA 与 VD 存在拮抗作用,过量的 VA 会抑制 VD 吸收^[17]。

3.2 钙磷比

钙的浓度与钙磷比例可显著影响动物对磷的吸收与沉积。Jongbloed^[18]研究表明,当磷水平满足生长需要并稳定在某一水平时,每提高 0.1% 的日粮钙浓度,磷吸收则会下降 1%,高于 0.9% 的钙浓度

则会抑制磷的沉积。此外,日粮中多余的钙可与 PO_4^{3-} 结合形成沉淀的 $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ^[19]。此外有研究表明过量的钙可通过竞争植酸酶的活性位点而降低植酸酶活性^[29],故而高钙日粮还会显著降低植酸磷的利用率。

3.3 离子浓度与 pH

磷的主要转运机制为 Na^+ 依赖型的转运,受 pH 和 Na^+ 调控,Yin^[19]在仔猪日粮中添加不同含量的 NaCl ,结果表明,当日粮中 NaCl 为0.4%时,磷表观消化率和标准消化率达到最大,分别为41.5%和53.3%。孙杰在体外培养猪小肠上研究表明,酸性 pH 会抑制 Na^+ 依赖型磷转运,而 pH 为7.4时无机磷摄入速度为396pmol/mg 蛋白/15s,远高于 pH6.5的195pmol/mg 蛋白/15s^[19]。然而,pH 对钙吸收影响与磷不同,由于摄入的钙源必需解离为离子钙才能被肠道吸收,而 pH 越低,钙解离度越大,吸收率越高,因此胃肠道 pH 对钙吸收亦有较大影响^[7,10]。

3.4 激素

影响钙磷吸收的主要激素包括甲状旁腺激素(PTH)和成纤维细胞生长因子23、降钙素(CT)三种。钙的消化吸收受 PTH 调节,当血钙降低时,PTH 释放增加,加强肾对钙的重吸收,促进血钙恢复正常;PTH 还可抑制肾脏刷状缘膜中 $\text{Na}/\text{Pi}-\text{II}$ 转运体的表达,从而降低近曲小管对磷的重吸收^[20]。成纤维细胞生长因子23活性增强时,可抑制 $\text{Na}/\text{Pi}-\text{II}$ 相关基因表达,从而抑制肾脏和小肠的磷吸收^[21]。

3.5 植酸酶

玉米-豆粕型日粮中有60%~90%的磷以植酸磷形式存在,猪对其消化有限,仅能利用10%~30%的植酸磷。同时植酸磷会与消化道中的钙结合,降低钙的利用率,导致大量钙磷不能被消化,并随粪便排出造成环境污染^[22]。植酸酶,又称为肌醇六磷酸酶,可以使植酸磷复合物中的磷变成可利用的磷。目前,植酸酶有植物、动物、微生物三种来源,在饲料中添加植酸酶一般为微生物来源。在仔猪饲料中,添加微生物来源植酸酶能显著改善磷的利用率^[23]。Bento(2012)在仔猪上的研究表明,植酸酶在250~2000FTU 范围内 ATTD 磷与之线性相关^[24]。虽然有

植酸酶不能完全取代无机磷,但在饲料中添加植酸酶可有效地分解植酸,提高钙、磷的利用率,降低环境污染并消除植酸的抗营养作用,对养殖业有较大的经济效益。然而植酸酶耐热性较差,不宜直接添加到日粮中制备颗粒料,故而提高植酸酶耐热性、稳定性和抗逆性具有极高的研究意义和商业价值。

4 钙磷营养源

目前饲料生产上所用的钙主要有无机钙和有机酸结合钙两种形式,其中无机钙包括矿物来源包括碳酸钙、磷酸钙、石灰石粉、方解石、白垩石,动物性来源包括贝壳粉、肉骨粉、蛋壳粉等^[2]。有机酸结合钙主要包括甲酸钙、柠檬酸钙、柠檬酸-苹果酸钙、乳酸钙等^[25]。虽然与无机钙相比,有机钙具有 pH 较低,消化率高,利于动物吸收利用等优点^[26],但由于有机钙价格较高,如甲酸钙市场价格约为4000元/t,远高于石粉(400元/t)价格,且我国无机钙源丰富产品质量稳定,故而有机钙在我国市场上的应用还处于推广阶段,仅在高档猪料或动物保健品中少量应用。同时,不同的钙源由于理化性质和生产工艺的差异,溶解度一般也不同^[8]。一般认为溶解度越高的钙源其生物学效价越好。董文彦^[27]分别给断乳大鼠饲喂超微颗粒80%的活性钙、脱脂奶粉和碳酸钙,4W 试验结果证明,活性钙和脱脂奶粉的利用率和吸收率远高于无机钙。此外,有学者研究认为,柠檬酸生物学效价高于碳酸钙的即是因为柠檬酸溶解度远大于碳酸钙,甚至能独立于胃肠道 pH 被有效吸收。

饲料中的常见磷元素主要来自磷酸氢钙,磷酸钙、骨粉和植物原料中固有的磷酸磷等,其中植酸磷虽然在饲料中大量存在,但单胃动物体内缺乏分解植酸磷的植酸酶和可产生植酸酶的微生物,对饲料本身存在的植酸磷利用率低下,仅能利用额外补充的磷源^[28]。如猪对玉米-豆粕型日粮中的植酸磷利用率仅为10%~30%,而植酸磷占该类日粮总磷含量的60%~90%^[39],剩余大量的植酸磷被浪费。同时,植酸磷的抗营养作用还会影响饲料钙、蛋白质、微量元素的吸收。解决这一问题的办法是,在饲料

中添加植酸酶。郭文文(2015)研究表明,在妊娠母猪中适量添加植酸酶可提高母猪养分消化率,并减少 1.27g/kg 磷添加^[29],但即使添加植酸酶,单胃动物仍需要额外添加无机磷源。

5 结语

中国作为全球最大的养猪市场和全球最大的猪肉消费市场,猪业的发展始终是中国畜牧人关注的重点。钙磷作为猪除蛋白和能量外第三类营养物质,其中磷还是除能量和蛋白外第三种最昂贵的饲料原料。了解猪的钙磷需要和标准制定的改变,通过调整钙磷比,饲料 pH,或添加维生素 D、植酸酶等手段来提高猪的对钙磷利用具有极高的研究价值。另外,积极的推广优质钙磷营养源,对猪业的发展和环境保护均有着巨大的实际意义。

参考文献

- [1] 曾勇庆. 国内外母猪年生产力概况及其改进措施 [J]. 中国猪业. 2012(08): 10-11.
- [2] 刘禹含. 不同钙水平日粮对仔猪各肠段钙主动吸收影响的比较研究[D]. 吉林农业大学,2013.
- [3] 邹磊. 日粮不同钙水平对仔猪钙代谢及成骨细胞活性的影响[D]. 吉林农业大学,2014.
- [4] Radanovic T, Wagner C A, Murer H, et al. Regulation of intestinal phosphate transport. I. Segmental expression and adaptation to low-P (i) diet of the type IIb Na (+) -P (i) cotransporter in mouse small intestine [J]. Am J Physiol Gastrointest Liver Physiol. 2005, 288 (3): G496-G500.
- [5] Danisi G, Murer H, Straub R W. Effects of pH and sodium on phosphate transport across brush border membrane vesicles of small intestine [J]. Adv Exp Med Biol. 1984, 178: 173-180.
- [6] Escoubet B, Djabali K, Amiel C. Adaptation to Pi deprivation of cell Na-dependent Pi uptake: a widespread process [J]. Am J Physiol. 1989, 256(2 Pt 1): C322-C328.
- [7] 张群. 生物钙化作用 [J]. 安庆师范学院学报(自然科学版). 2002 (02): 49-51.
- [8] Mahan D C, Watts M R, St-Pierre N. Macro- and micromineral composition of fetal pigs and their accretion rates during fetal development [J]. J Anim Sci. 2009, 87(9): 2823-2832.
- [9] Hannon B G, Liu C T, Jensen A H, et al. Phosphorus requirements of sows during gestation and lactation [J]. J Anim Sci. 1975, 40 (4): 660-664.
- [10] 吴海波, 高福明. 对仔猪各种营养物质需求的探析 [J]. 畜牧兽医科技信息. 2014(01): 53-54.
- [11] 黄金明, 王根林, 杭苏琴. 钙的吸收和转运机制及其影响因素 [J]. 动物医学进展. 2001(04): 8-11.
- [12] Thiele I, Linseisen J, Meisinger C, et al. Associations between calcium and vitamin D supplement use as well as their serum concentrations and subclinical cardiovascular disease phenotypes [J]. Atherosclerosis. 2015, 241(2): 743-751.
- [13] Brown A J, Zhang F, Ritter C S. The vitamin D analog ED-71 is a potent regulator of intestinal phosphate absorption and NaPi-IIb [J]. Endocrinology. 2012, 153(11): 5150-5156.
- [14] 方热军, 贺佳, 曹满湖, 等. 日粮磷水平对肉鸡磷代谢及 Na/Pi-b 基因 mRNA 表达的影响 [J]. 畜牧兽医学报. 2011(02): 289-296.
- [15] De Luca F, Uyeda J A, Mericq V, et al. Retinoic acid is a potent regulator of growth plate chondrogenesis [J]. Endocrinology. 2000, 141 (1): 346-353.
- [16] 陈丽娜, 李廷玉, 瞿平, 等. 维生素 A 缺乏对初生大鼠脑发育的影响 [J]. 营养学报. 2002(04): 363-367.
- [17] 张海琴. 维生素 A、D 对肉鸡生长、免疫、钙磷代谢的影响及其交互作用的研究 [D]. 内蒙古农业大学, 2006.
- [18] Jongbloed A W. Phosphorus in the feeding of pigs. Effect of diet on the adsorption and retention of phosphorus by growing pigs. [J]. Prof. 1987.
- [19] Zyla K. Phytase applications in poultry feeding: Selected issues [J]. Journal of Animal & Feedences. 2001, 10(2): 247-258.
- [20] Inishi Y, Hase H. [Regulation of phosphate balance in the kidney] [J]. Clin Calcium. 2005, 15(7): 115-118.
- [21] Perwad F, Zhang M Y, Tenenhouse H S, et al. Fibroblast growth factor 23 impairs phosphorus and vitamin D metabolism in vivo and suppresses 25-hydroxyvitamin D-1alpha-hydroxylase expression in vitro [J]. Am J Physiol Renal Physiol. 2007, 293(5): F1577-F1583.
- [22] 李光辉. 微量元素间及其与营养素之间的协同与拮抗作用 [J]. 乳业科学与技术. 2005(02): 80-82.
- [23] 曹贵彬, 熊昊, 游金明, 等. 新型耐热植酸酶对断奶仔猪钙磷代谢及养分表现消化率的影响 [J]. 动物营养学报. 2014(07): 1900-1907.
- [24] Bento M H, Pedersen C, Plumstead P W, et al. Dose response of a new phytase on dry matter, calcium, and phosphorus digestibility in weaned piglets [J]. J Anim Sci. 2012, 90 Suppl 4: 245-247.
- [25] 姜海迪. 钙源和水平对断奶 SD 大鼠及断奶仔猪生产性能和钙磷利用率的影响 [D]. 四川农业大学, 2012.
- [26] 王继华, 刘伯. 甲酸钙、乳酸钙、柠檬酸钙和柠檬酸对断奶仔猪生长性能的影响 [J]. 饲料研究. 2015(08): 23-27.
- [27] 董文彦, 张东平, 孙元智. 超微颗粒钙在大鼠体内的吸收和利用 [J]. 营养学报. 1998(01): 34-39.
- [28] Guggenbuhl P, Wache Y, Simoes N C, et al. Comparative effects of three phytases on the phosphorus and calcium use in the weaned piglet [J]. J Anim Sci. 2012, 90 Suppl 4: 95-97.
- [29] 郭文文, 杨维仁, 郭宝林等. 不同磷水平和钙磷比饲料添加植酸酶对妊娠母猪养分表现消化率的影响 [J]. 动物营养学报. 2015(03): 893-901.