动物营养学报 2009,21(1):8-12
Chinese Journal of Animal Nutrition

doi: 10.3969/j.issn.1006-267x.2009.01.002

半纯合日粮法评定谷物淀粉在生长猪体内的消化率

黄　菊[1,2]　尹富贵[1,2]　柏美娟[1,2]　李铁军[1,2]　黄瑞林[1*]

(1. 中国科学院亚热带农业生态研究所动物生态营养与健康养殖联合实验室,农业生态工程重点实验室,长沙 410125;
2. 中国科学院研究生院,北京 100039)

摘　要: 本文旨在研究小米、糯米、籼米和玉米 4 种不同谷物类饲料原料中淀粉(总淀粉、直链和支链淀粉、抗性和非抗性淀粉)含量及其在生长猪回肠末端和全消化道(粪)消化率。选择体重为(25±2.72) kg 的杜×长×大三元杂交生长阉公猪 16 头,实施"T"型瘘管手术,随机分为 4 个处理(小米、玉米、糯米和籼米),每个处理 4 个重复,每个重复 1 头猪,分别直接饲喂小米、玉米、糯米和籼米单一日粮,试验期 7 d。结果显示,在回肠末端和全消化道内,各日粮总淀粉的消化率分别是:小米组 99.31%和 99.88%,糯米组 100%和 100%,籼米组 99.37%和 100%,均显著高于玉米组 98.26%和 99.80%($P<0.05$)。由结果得知,以上 4 种谷物淀粉因其回肠末端消化率高而具有较高的葡萄糖供给效率。

关键词: 半纯合日粮;生长猪;谷物类淀粉;消化率

淀粉是谷物类饲料碳水化合物的主要成分,是畜禽所需能量的重要来源(约 40%),占畜禽饲养成本的 50%以上[1]。我国饲料资源丰富,如禾谷类饲料就有玉米、大麦、燕麦、小麦、荞麦、大米、小米、糯米、高粱和黍子等,但除玉米之外,对其他饲料原料的利用仍不普遍。并且随着玉米需求量全球性增加导致其市场价格上涨。近年来,已经有许多相关领域的专家学者对于探索开发新的能量原料做了大量的工作,但大都局限于体外试验和某种或某几种原料的整体研究,与畜禽体内对原料中淀粉的真实利用情况还存在一定的差距。因此,本试验采用直接给生长猪饲喂单一谷物类饲粮(小米、玉米、糯米和籼米),以期获得其在动物体内真实的消化数据。进而建立能量饲料数据库,为饲料业和养殖业提供相关参考依据,降低生产成本。同时开发新的能量饲料资源,减少玉米的供需压力。

1　材料及方法

1.1　试验日粮

分别将小米(产自河北)、玉米(产自湖南长沙)、糯米(产自湖南长沙)和籼米(产自湖南长沙)配制成单一试验日粮,并添加 0.1%的氧化钛作为指示剂,日粮组成及营养水平见表 1。

1.2　试验动物及设计

选择 16 头日龄 60 d 左右、健康、体重(25±2.72) kg 杜×长×大三元杂交阉公猪,采用单因素试验设计,随机分为 4 个处理,每个处理 4 个重复,每个重复 1 头猪。

1.3　试验动物饲养管理

试验猪单独饲养在代谢笼内,室温控制在 24～28℃,其他按常规消化代谢试验程序进行,每天饲喂 3 次 (08:00,16:00 和 24:00),以采食后料槽中略有剩余为度,自由饮水。预饲 3 d 后,实施回肠末端"T"型瘘管手术[2],术前准备和术后护理按 Li 等[3]提供的方法进行。术后恢复 7 d,开始正式试验,试验期为 7 d。

1.4　样品的采集及制备

试验结束前 3 d 开始收集粪样,试验结束前 1 d 的 08:00～24:00 收集回肠末端食糜样。将各日粮原料和收集到的各试验猪粪样置于铝盒,在 60℃烘箱中烘干,再粉碎过 60 目筛,待分析。将各试验猪回肠食糜分装到塑料杯于真空冷冻干燥机中干燥,待分析。

1.5　测定指标及方法

1.5.1　样品中氧化钛的测定,参照王京善等方法[4]。

收稿日期:2008-05-27

基金项目:国家自然科学基金重点项目(30671517)及中国科学院创新重要方向项目(KSCX2-SW-323)

作者简介:黄　菊(1983-),女,重庆人,动物营养及饲料学专业在读硕士,E-mail: Jincheng527@yahoo.com.cn

* **通讯作者:**黄瑞林,研究员,E-mail: huangrl@isa.ac.cn

表 1　日粮配方及营养成分(干物质基础)

Table 1　Composition and nutrient levels of the diets　　(DM basis, %)

项目 Items	小米组 Millet group	玉米组 Corn group	糯米组 Sticky rice group	籼米组 Long-shaped rice group
组成 Ingredients				
小米 Millet	96.99	–	–	–
玉米 Corn	–	96.99	–	–
糯米 Sticky rice	–	–	96.99	–
籼米 Long-shaped rice	–	–	–	96.99
氧化钛 TiO_2	0.10	0.10	0.10	0.10
奇力酸 Acidifier[1)]	1.00	1.00	1.00	1.00
磷酸二氢钙 CaH_2PO_4	0.60	0.60	0.60	0.60
碳酸钙 $CaCO_3$	0.74	0.74	0.74	0.74
多维 Compound vitamin[2)]	0.04	0.04	0.04	0.04
氯化胆碱 Chloride choline	0.08	0.08	0.08	0.08
微量元素 Trace mineral[3)]	0.15	0.15	0.15	0.15
食盐 NaCl	0.25	0.25	0.25	0.25
甜味剂 Edulcorant	0.05	0.05	0.05	0.05
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels[4)]				
干物质 DM	88.26	88.60	87.12	87.30
总淀粉 Total starch	83.25	76.69	92.20	88.71
粗蛋白质 CP	12.22	8.92	8.17	8.73
消化能 DE (MJ/kg)	14.02	14.27	14.41	14.39
总钙 Total calcium	0.89	0.93	0.90	0.87
总磷 Total phosphorus	0.54	0.54	0.53	0.55

[1)] 购自广州天科科技有限公司 Commercially available from *Guangzhou Tianke* Industry Co., *Guangzhou*, *Guangdong*, China。

[2)] 每千克多维添加剂含 Per kg compound vitamin premix contains: VA 2 000 000 IU; VD 4 000 000 IU; VE 300 mg; VK 700 mg; VB_2 200 mg; VB_6 3 mg; VB_{12} 8 mg; 叶酸 folic acid 800 mg; 烟酸 nicotinic acid 2 400 mg。

[3)] 每千克微量元素添加剂含 Per kg trace mineral premix contains: Zn ($ZnSO_4$) 165 mg; Fe ($FeSO_4$) 165 mg; Mn ($MnSO_4$) 33 mg; Cu ($CuSO_4$) 16.5 mg; I (CaI_2) 297 μg; Se (Na_2SeO_3) 297 μg。

[4)] 分析值 Analyzed data。

1.5.2　样品直链淀粉和支链淀粉含量参照国标分析法,用分光光度仪测定。

1.5.3　样品干物质、灰分、总淀粉、非抗性淀粉(NRS)和抗性淀粉(RS)含量分析参照 AOAC[5] 和张平等[6]的方法进行。

1.6　计算方法

1.6.1　氧化钛含量计算

$$TiO_2(g/kg) = 100\ A/(B \times DM)$$

其中 A 为从标准曲线上读得的 TiO_2 浓度,B 为样品重量(g),DM 为干物质含量(%)。

1.6.2　消化率含量计算

$$SID_i = (S_{fi} - S_{di}) \times (TiO_{2f}/TiO_{2d})/S_{fi}$$

其中 i 为变量,可代表总淀粉,支链淀粉,直链淀粉,抗性淀粉以及非抗性淀粉;SID 表示淀粉消化率;S_f 粪便中淀粉的含量;S_d 表示食糜中淀粉含量。

1.7　数据处理

试验数据用 SPSS 软件进行统计分析。数据用平均值±标准表示,进行邓肯氏多重比较。

2　结　果

2.1　饲料中淀粉含量和组成成分

表 2 结果显示,按直链和支链淀粉分类,籼米中直链淀粉的含量最高(20.57%),而糯米中的支链淀粉含量最高(95.05%),未检测到直链淀粉;按抗性和非抗性淀粉来分类,玉米中抗性淀粉含量(6.42%)极显著高于籼米(0.61%)和小米(0.23%)($P<0.01$),糯米中未检测出抗性淀粉;就总淀粉含量看,糯米中最高(95.05%),其次为籼米

(91.46%),而玉米最低(79.06%)。

表 2 谷物中碳水化合物组分(干物质基础)

Table 2 The components of carbohydrate in cereals (DM basis, %)

项目 Items	小米 Millet	玉米 Corn	糯米 Sticky rice	籼米 Long-shaped rice
干物质 DM	87.89±0.24	88.24±0.02	86.72±0.03	86.90±0.11
有机物 Organics	99.02±0.01	97.82±0.04	99.38±0.32	99.06±0.11
总淀粉 Total starch	85.83±1.39	79.06±1.96	95.05±0.32	91.46±0.71
直链淀粉 Amylose	20.22±0.32	15.81±0.32	-	20.57±0.95
支链淀 Amylin	65.60±1.71	62.74±2.01	95.05±0.32	70.89±1.66
抗性淀粉 Resistant starch	0.23 ± 0.01^{Aa}	6.42 ± 0.11^{Bb}	-	0.61 ± 0.04^{Ac}
非抗性淀粉 Anti-resistant starch	76.24±1.12	59.75±0.88	84.44±1.86	82.08±0.61

同行中上标有相同字母或无字母表示差异不显著($P>0.05$),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($P<0.01$)。In the same row, values with same letter or no letter superscripts mean no difference ($P>0.05$), with different small letter superscripts mean significant difference ($P<0.05$), with different capital letter superscripts mean significant difference ($P<0.01$). The same as below.

2.2 回肠末端淀粉消化率

4 种日粮淀粉在回肠末端的消化率如表 3 所示。其中各日粮之间回肠末端直链淀粉和支链淀粉消化率差异不显著($P>0.05$);玉米(88.06%)、糯米(96.38%)和籼米(93.32%)组之间回肠末端抗性淀粉消化率差异不显著($P>0.05$),但 3 组与小米组(85.27%)之间的差异显($P<0.05$);回肠末端非抗性淀粉消化率以糯米组最高(100%),并与小米(95.75%)、玉米(94.36%)和籼米(95.96%)组之间差异显著($P<0.05$),同时玉米组与小米和籼米组之间的差异也显著($P<0.05$);小米、糯米和籼米组回肠末端总淀粉消化率无显著性差异($P>0.05$),但都显著高于玉米组($P<0.05$)。

表 3 日粮淀粉回肠末端消化率(干物质基础)

Table 3 The dietary starch digestibility in terminal ileum (DM basis, %)

项目 Items	小米 Millet	玉米 Corn	糯米 Sticky rice	籼米 Long-shaped rice	SEM
直链淀粉 Amylose	100.00	100.00	100.00	100.00	0.000
支链淀粉 Amylin	99.09	98.18	100.00	99.91	0.390
抗性淀粉 Resistant starch	85.27^{b}	93.32^{a}	96.38^{a}	88.06^{a}	2.041
非抗性淀粉 Anti-resistant starch	95.75^{b}	94.36^{c}	100^{a}	95.96^{b}	0.643
总淀粉 Total starch	99.31^{a}	98.26^{b}	100^{a}	99.37^{a}	0.234

2.3 粪中淀粉消化率

表 4 所示,各日粮直链淀粉、支链淀粉和非抗性淀粉在粪中的消化率与其在回肠末端的消化率的差异水平一致;而玉米日粮抗性淀粉的消化率显著低于其他 3 组日粮($P<0.05$);糯米和籼米日粮的总淀粉都已 100%被消化,显著高于小米和玉米日粮总淀粉的消化率($P<0.05$),而玉米日粮总淀粉消化率又显著低于小米日粮($P<0.05$)。在小米组中支链淀粉、非抗性淀粉、抗性淀粉和总淀粉的总消化率分别较回肠末端消化率提高了 0.75%、4.07%、14.49%和 0.57%;玉米组中分别提高了 0.59%、4.35%、2.35%和 1.54%;在籼米组中分别提高了 0.09%、3.90%、11.78%和 0.63%。

3 讨 论

3.1 不同来源淀粉的消化率

淀粉由于来源、组成及结构不同其在动物和人体内消化的速度和部位存在差异[7]。淀粉颗粒大小、直链淀粉和支链淀粉的数量和比例、淀粉的物理存在形式、非淀粉多糖、抗营养因子、日粮的油脂水平以及动物体内淀粉消化酶的活性、小肠对淀粉消化产物葡萄糖的吸收能力、饲料在消化道中停留的

时间和消化酶与淀粉的接触程度等[8]都对其消化率产生影响。本试验所用试验猪品种、年龄一致,并采用单一日粮饲喂,因而可以排除试验动物和油脂水平对淀粉消化率的影响。本实验中糯米在回肠末端的消化率最高,其次是籼米、小米和玉米。原因可能是几种日粮淀粉组成存在差异,小米、玉米、籼米和糯米日粮的直链淀粉、支链淀粉的量及其比值不同,其中玉米日粮中抗性淀粉的含量最高,而支链淀粉的含量则最低,糯米日粮全部为支链淀粉。由于直链淀粉分子较支链淀粉分子小,分子侧链较支链淀粉长,连接葡萄糖链的氢键也较强,因而直链淀粉难以接受消化酶的作用。另外直链淀粉的含量也影响淀粉的结晶程度,从而影响淀粉的消化性能[9]。这一结果与宾石玉等[10]在研究不同来源淀粉消化率时报道的结果相近。

表 4　日粮淀粉粪中表观消化率(干物质基础)

Table 4　The apparent digestibility of dietary starch in feces　　(DM basis, %)

项目 Items	小米 Millet	玉米 Corn	糯米 Sticky rice	籼米 Long-shaped rice	SEM
直链淀粉 Amylose	100.00	100.00	100.00	100.00	0.00
支链淀粉 Amylin	99.84	99.77	100.00	100.00	0.028
抗性淀粉 Resistant starch	99.76^{a}	95.67^{b}	100^{a}	99.84^{a}	0.200
非抗性淀粉 Anti-resistant starch	99.82^{b}	98.71^{c}	100^{a}	99.86^{b}	0.785
总淀粉 Total starch	99.88^{b}	99.80^{c}	100^{a}	100^{a}	0.024

3.2　淀粉在肠道不同部位的消化

日粮中的淀粉需要酶解成低分子量的葡萄糖才能被动物体吸收。这些酶主要是存在于唾液和胰液中的 α-淀粉酶以及小肠刷状缘存在的各种低聚糖酶、蔗糖酶和乳糖酶。除唾液淀粉酶以外的其他淀粉消化酶都存在于小肠内,况且唾液 α-淀粉酶在酸性条件下不稳定,在胃中可被快速降解。所以唾液 α-淀粉酶对淀粉的降解作用并不显著。因此饲料中碳水化合物特别是淀粉的消化主要在小肠内完成。本试验中几种谷物淀粉在回肠末端的消化率都达到了 99%以上。Hildebrandt 等[11]研究淀粉在老鼠消化道前端的生物利用率时也发现:在 12 h 内收集到的回肠食糜中,来自玉米、籼米等的淀粉利用率相当高,仅有 0.2～0.4%的未消化淀粉存在其中。

但是其中的抗性淀粉却很难被动物体自身分泌的淀粉酶所消化,因此一定程度上影响了淀粉总的消化率,但由于其可在大肠内被微生物发酵产生挥发性脂肪酸[12],同时又能预防肠道疾病、有效地预防畜禽便秘、拉稀等病症[13]。所以谷物中少量的抗性淀粉对于畜禽健康是有益的。

4　结　论

本试验中小米、糯米、籼米的淀粉含量和消化率都达到了 99%以上并且显著高于玉米淀粉,以上 4 种谷物淀粉因其回肠末端消化率高而具有较高的葡萄糖供给效率,是良好的能量原料。因此,在以上几种谷物产量丰富,价格低廉的地区,根据畜禽实际生产需求可以作为能量饲料原料部分或是完全替代饲料中的玉米,以降低饲料成本。

参考文献:

[1] 印遇龙. 动物营养、保健与添加剂国际学术研讨会论文集. 2002: 8-17.

[2] Tester R F, Karkalas J. *Polysacccharides* Ⅱ. *Polysaccharides from eukaryotes*. In: Vandamme EJ, De BaetsS, Steinbuchel A, eds. Starch in Biopolymers. Weinheim: Wiley-VCH, 2002, 6: 381-438.

[3] Li S, Sauer W C, Fan M Z. The effect of dietary crude protein level on amino acid digestibility in early-weaned pigs. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 1993, 70: 26-37.

[4] 王京善, 孙秀鸾, 董国强. 食品中二氧化钛测定方法的探讨. 预防医学文献信息, 2001, 7(6): 662-663.

[5] A.O.A.C. *Official Methods of Analysis*, 17th *Edition*. Arlington, VA: Association of Official Analytical Chemists, 2003.

[6] 张　平, 印遇龙, 李铁军, 黄瑞林, 李丽立. 几种常见饲料原料中总淀粉含量的测定. 中国饲料, 2005, 15: 28-29.

[7] Weurding R E, Enting H, Verstegen M W A. The effect of site of starch digestion on performance of broiler chickens. *Animal Feed Science and Technology*, 2003, 110: 175-184.

[8] Cummings J H, Englyst H N. Gastrointestinal effects of food carbohydrate. *American Journal of*

Clinical Nutrition, 1995, 61: 938-945.
[9] Zobel H F. Molecules to granules: a compehensive starch review. *Starch*, 1988, 40(2): 44-50.
[10] 宾石玉, 赵 霞. 日粮淀粉来源对断奶仔猪小肠淀粉消化率的影响. 贺州学院学报, 2007, 23 (1): 141-144.
[11] Hildebrandt A . Starch bioavailability in the upper gastrointestinal tract of colectomized rats. *The Journal of Nutrition*, 1991, 121: 679-686.
[12] 杨月欣. 三种类型玉米淀粉在小肠中消化吸收的研究. 营养学报, 1999, 21(3): 284-287.
[13] 杨月欣.抗性淀粉的功能作用.中国食物与营养, 2000, 6: 45-46.

Determination of *in vivo* Digestibilities of Four Cereal Starches in Growing Pigs by Semi-purified Diet Method

HUANG Ju [1,2] YIN Fu-gui[1,2] BO Mei-juan[1,2] LI Tie-jun[1,2] HUANG Rui-lin[1*]

(1. *Laboratory of Animal Nutrition and Human Health and Key Laboratory of Agro-ecology, Institute of Subtropical Agriculture, the Chinese Academy of Sciences, Changsha* 410125, *China*; 2. *Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100039, *China*)

Abstract: This study was conducted to determine starch contents and the digestibilities of terminal ileum and total digestive tract for four starch sources from millet, corn, stick rice and long-shaped rice in growing pigs. Sixteen crossed-bred (Landrace × Yorkshire × Duroc) barrows with an average body weight (BW) of (25 ± 2.72) kg were randomly allocated to four dietary treatments on the basis of BW and litter origin in a randomized complete block design. The dietary treatments were millet group, corn group, stick rice group and long-shaped rice group, respectively. All pigs were surgically fitted with a simple T-cannula at the terminal ileum. The experiment lasted for 7 days. Results showed that the starch digestibilities of the terminal ileum and total digestive tract were 99.31% and 99.88% in millet group, 100% and 100% in stick rice group, 99.37% and 100% in the long-shaped rice group, which were all higher than 98.26% and 99.80% in the corn group ($P<0.05$). These results indicated that the four cereal starches could supply pigs with more glucose in the terminal ileum because of their high digestibilities. [***Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2009, 21(1): 8-12**]

Key words: Semi-purified Diet; Growing pigs; Cereal starches; Digestibility

* Corresponding author, professor, E-mail: huangrl@isa.ac.cn

(编辑 姚 琨)