

本栏目由北京挑战生物技术有限公司协办



## 木聚糖酶在肉鸡

# 小麦型日粮中的作用机理

谭会泽 王修启 左建军 邹仕庚 冯定远

**摘要** 小麦作为主要能量作物之一在粮食工业中已得到广泛应用,其在饲料工业上的应用也越来越受到人们重视,但其含有的抗营养因子在一定程度上限制了其在饲料工业中的应用。小麦中主要的抗营养因子是阿拉伯木聚糖,而向小麦型基础日粮中添加木聚糖酶是消除其抗营养特性的有效办法。文中介绍了小麦型基础日粮中木聚糖的抗营养特性及其对肉鸡生产性能的负面影响,木聚糖酶的作用机理及在肉鸡小麦型日粮中添加木聚糖酶的作用效果,期为小麦合理地应用于肉鸡日粮提供参考。

**关键词** 木聚糖酶;小麦;肉鸡;作用机理

中图分类号 Q814.4

Mechanism of xylanase in broiler fed wheat-based diets

Tan Huize, Wang Xiuqi, Zuo Jianjun, Zou Shigeng, Feng Dingyuan

**Abstract** Wheat is widely used as one of the major dietary energy grains in food industry. Although feed industry uses more and more wheat, antinutritional factors contained in wheat restrict the application of wheat in feed industry. The major antinutritional factor in wheat is xylan. The supplementation of xylanase is considered to be an effective way to reduce the antinutritional factor in broiler fed wheat-based diets. Firstly, this paper introduced the antinutritional characteristics of xylans in wheat-based diets and the negative effect of xylans on performance of broilers. Then the paper discussed the mechanism of xylanase and the effect of adding xylanase on performance of broilers fed wheat-based diets. The objective of this paper is to provide scientific information to optimize the application of wheat in broilers.

**Key words** xylanase; wheat; broiler; mechanism

小麦是一种重要的粮食作物,也是重要的饲料原料。小麦作为饲料原料具有较高的营养价值,但由于小麦中非淀粉多糖(Non-starch polysaccharides, NSP)含量较高,限制了其在畜禽饲料中的应用。根据在水中溶解性的不同,NSP可分为水溶性NSP和不溶性NSP。水溶性NSP是小麦类日粮中含有的一类抗营养因子,主要包括阿拉伯木聚糖和-葡聚糖<sup>[1]</sup>。水溶性NSP增加了动物消化道食糜的粘度,降低饲料的利用

率,从而给动物生产带来一系列的负面影响<sup>[2]</sup>。小麦中的抗营养因子主要是阿拉伯木聚糖,其次是-葡聚糖。这些粘性多糖主要存在于小麦的糊粉层和胚乳中,尤其是胚乳细胞壁中,小麦加工之后则主要存留在其副产品中。

谷物中的阿拉伯木聚糖(Arabinoxylan)主要是由两种戊糖——阿拉伯糖和木糖组成,其分子主链是由吡喃木糖残基以-1,4糖苷键连接成的直线结构,一些取代基与木糖残基C-2或者C-3发生取代反应。主要的取代基是阿拉伯糖残基分子,也有少数己糖和己糖醛酸<sup>[3]</sup>。

阿拉伯木聚糖的水溶性和持水性由其分子的大小和结构决定。大多数木聚糖的溶解性都很差,但是当木聚糖的侧链发生阿拉伯糖取代时,则增加了木聚糖分子与水的接触面积,就会使阿拉伯木聚糖的水溶性大大增加,其抗营养作用就更为突出。阿拉伯木聚糖的水溶性还受到阿拉伯糖和木糖组成比例的影响。

谭会泽,新希望集团南宁国雄科技有限公司,博士,530003,广西南宁市科园路50号。

王修启、左建军、邹仕庚、冯定远(通讯作者),华南农业大学动物科学学院。

收稿日期:2007-05-14

国家重点基础研究发展计划项目(2004CB117501);广东省科技计划项目(2005B20201016)

阿拉伯木聚糖的粘度主要是由大分子量的可溶性聚合物引起的。Bedford等(1992)分析饲喂小麦和黑麦日粮的肉鸡肠道内容物后发现,大于500 000道尔顿的可溶性非淀粉多糖占总多糖的10%,但却是构成肠道粘度来源的80%<sup>[1]</sup>。

## 1 木聚糖的抗营养特性

### 1.1 阿拉伯木聚糖的抗营养机理

动物肠道不能分泌降解阿拉伯木聚糖的消化酶,阿拉伯木聚糖溶于水后具有很高的粘性,因而小麦型日粮可增加动物肠道食糜的粘性,这一特性被认为是木聚糖具有抗营养作用的主要原因。较高的粘性能显著改变食糜的物理特性和肠道的生理功能<sup>[4]</sup>。Ikegami等(1990)也指出<sup>[5]</sup>,可溶性非淀粉多糖的高粘性是其影响畜禽肠道功能的主要因素。食糜粘性提高,一方面减少了肠道消化酶与饲料中各种营养物质的接触机会<sup>[6]</sup>;另一方面还降低了已消化的养分向小肠壁的扩散速度,从而减少了养分的吸收<sup>[5,7]</sup>。加拿大Saskatoon大学的研究证实,雏鸡的日增重和料重比与前肠食糜粘度的对数之间存在线性关系。高亲水性的阿拉伯木聚糖与肠粘膜表面的脂类微团和多糖蛋白复合物相互作用,导致粘膜表面水层厚度增加,表面水层厚度是养分吸收的限制因素,从而降低了营养物质的吸收<sup>[8]</sup>。Schneeman等(1982)在小鼠上的试验证实,麸皮可促进小肠粘液的分泌,而这种粘液使肠道静止的水层增厚。阿拉伯木聚糖具有较高的持水性,可通过其网状结构吸收超过自身重量数倍的水分,其物理特性也会随之改变,降低肠道的蠕动和消化能力<sup>[9]</sup>。

阿拉伯木聚糖在水溶液中是表面带负电荷的表面活性物质,极易与带正电荷的养分结合,从而影响养分的吸收<sup>[4]</sup>。阿拉伯木聚糖能吸附Ca<sup>2+</sup>、Zn<sup>2+</sup>、Na<sup>+</sup>等金属离子以及有机物质,造成这些物质的利用受阻。日粮中粘性多糖可直接结合消化道中的多种消化酶,使其不能与底物发生反应<sup>[10]</sup>。通过对肉鸡的试验证实,大麦日粮降低了肠内容物中淀粉酶和脂肪酶的活性<sup>[11]</sup>。阿拉伯木聚糖可使胆酸呈束缚状态,限制其发挥作用,显著增加粪中胆汁酸的排出量;粘性多糖还能与胆固醇、脂肪相结合,显著降低脂肪的消化吸收<sup>[12,13]</sup>,特别是使饱和脂肪酸的消化吸收明显减少,而对不饱和脂肪酸无显著影响<sup>[14]</sup>。粘性环境还能阻碍脂肪乳糜微粒的形成,进而影响脂肪吸收<sup>[12]</sup>。

肠道中营养物质消化率的改变,导致肠道微生物的数量和种类发生显著的变化。阿拉伯木聚糖等粘性多糖使养分吸收减少,而在肠道中的蓄积增加,这为

肠道微生物的繁殖提供了良好的环境。Choct等(1996)研究表明<sup>[15]</sup>,肉鸡日粮中添加可溶性NSP显著提高了小肠的发酵作用。阿拉伯木聚糖等NSP也可以与消化道后段微生物区系相互作用,肠道微生物的厌氧发酵,产生大量的生孢梭菌等分泌的某些毒素,可抑制动物的生长;同时微生物也会竞争性地消耗大量的营养物质,从而降低营养物质的利用率<sup>[16,17]</sup>。Choct等(1992)研究认为,戊聚糖对肉鸡生长的负面影响,部分是由肠道微生物增殖引起的<sup>[14]</sup>。

NSP可引起动物消化道生理和形态发生变化<sup>[10,17,18]</sup>。日粮中添加NSP可以显著增加水分、电解质和脂类的内源性分泌<sup>[19]</sup>。增加大鼠饲喂含有粘性多糖日粮的时间,则大鼠的消化系统会作出相应的适应性变化,表现为消化器官变大,消化液分泌增加,同时伴随营养物质消化率降低<sup>[9]</sup>。阿拉伯木聚糖引起的小麦型日粮回肠蛋白质表观消化率的降低,一方面是因为蛋白质的消化和氨基酸的吸收降低所致;另一方面可能是由于内源性蛋白质的分泌量增加所致。于旭华(2004)研究表明,在小麦型饲料中添加木聚糖酶,使肉鸡小肠绒毛变短,而且绒毛顶端变细,说明木聚糖酶降低了小肠绒毛的代偿性增生<sup>[9]</sup>。Southon等(1985)报道,用含有75 g/kg的非纤维素NSP和24 g/kg的纤维素日粮饲喂大鼠,结果发现,试验大鼠肠道粘膜细胞的分裂速度比饲喂只含有纤维素作为唯一NSP来源的半纯合日粮大鼠的快<sup>[20]</sup>。

### 1.2 阿拉伯木聚糖对动物生产性能的影响

对于动物生产而言,小麦日粮中的阿拉伯木聚糖最重要的作用就是降低了饲料的表观代谢能(AME)。Choct等(1990)研究发现<sup>[21]</sup>,小麦、黑麦、大麦、高粱、大米和玉米等饲料的AME和各种原料中的阿拉伯木聚糖含量之间存在着强的负相关关系,这说明阿拉伯木聚糖能显著降低饲料的AME。Annisson(1991)在3周龄肉仔鸡的高粱—豆粕型日粮中分别添加5、10、20、40 g/kg的小麦木聚糖提取物后,饲料的AME从15.05 MJ/kg分别下降到15.0、14.7、13.3、12.48 MJ/kg,且日粮中小麦木聚糖提取物含量与饲料的AME之间有很好的线性关系<sup>[4]</sup>。

在动物生产中,阿拉伯木聚糖的另外一个突出表现就是降低了动物对饲料中各种营养物质的消化率。Choct等(1992)分别用水和NaOH(0.2 mol/l)浸提小麦细胞壁<sup>[14]</sup>,得到水溶性阿拉伯木聚糖(WEP)和碱可溶性阿拉伯木聚糖(AEP,溶于水),然后按照不同剂量添加到高粱型日粮中,结果发现,随着日粮中木聚糖含

量的升高,肉鸡的生产性能(日增重、采食量)都逐渐下降,同时,AME、氮存留率、淀粉、蛋白质和脂肪的回肠消化率也逐渐下降。

## 2 木聚糖酶在小麦型日粮中的作用机理

### 2.1 木聚糖酶对木聚糖的分解作用

消除饲料中木聚糖的抗营养作用,最为有效可行的办法就是向饲料中添加外源性的木聚糖酶。木聚糖的彻底分解需要以内切 1,4-β-D 木聚糖酶(EC3.2.1.8)为主的多种酶协同作用来完成<sup>[2]</sup>。首先,由内切 1,4-β-D 木聚糖酶随机裂解木聚糖的骨架,产生木寡糖,降低了木聚糖的聚合度。然后由外切-木糖苷酶(EC3.2.1.37)将木聚寡糖和木二糖降解为木糖。由于侧链阿拉伯糖等取代基的存在能够影响木聚糖酶的作用,需要有不同的糖苷酶来分解木糖与侧链取代基之间的糖苷键,如-β-L-阿拉伯糖苷酶、-β-D-葡聚糖醛酸酶等,通过以上这些酶的协同作用才能彻底分解木聚糖。在实际应用中,考虑到五碳糖对动物生产的作用不是很大,木聚糖不需要被彻底降解。裂解木聚糖的主链,降低其粘性是首要目标。在降低木聚糖的抗营养作用方面,起关键作用的是内切 1,4-β-D 木聚糖酶。日粮中所添加的木聚糖酶一般是以内切木聚糖酶为主,含多种相关酶的复合酶体系。

### 2.2 木聚糖酶的作用机理

#### 2.2.1 降低了肠道内容物中水溶性木聚糖导致的粘性

阿拉伯木聚糖的水溶性和持水性由其分子的大小和结构决定。木聚糖酶裂解阿拉伯木聚糖,使其粘性降低,由食糜高粘性所导致的消化酶作用效果下降、营养物质吸收受阻、粪便水分增高等不利影响随着木聚糖酶的添加而降低甚至消除,从而使动物的生产性能大大提高。

#### 2.2.2 破碎植物细胞壁,释放出营养物质

不溶性 NSP 是细胞壁的重要组成部分,是动物消化酶与日粮营养物质接触的物理屏障之一。研究表明,在肉鸡的非粘性日粮中添加非淀粉多糖酶也可以提高肉鸡的生产性能<sup>[23]</sup>,这表明细胞壁中不溶性成分的分解,使得肉鸡肠道食糜中的底物在较短的滞留时间内与消化酶接触,从而提高细胞内营养物质的利用率。

#### 2.2.3 维持消化系统的正常发育

如前所述,木聚糖可使肉鸡消化系统代偿性增生和肥大及肠绒毛形态改变,内源性蛋白分泌增加,还导致肠粘膜细胞的分裂加速<sup>[24]</sup>。在肉鸡粘性日粮中添加 NSP 酶,可减少动物的代偿性增生,改善肠道绒毛形态<sup>[19]</sup>。

#### 2.2.4 减少动物肠道后段有害微生物的增殖

日粮的利用效率可以影响动物肠道微生物的种类和数量<sup>[19]</sup>。Choct 等(1996)研究证实,NSP 降低营养物质的消化率<sup>[16]</sup>,显著增加小肠内微生物的增殖和发酵,通过添加非淀粉多糖酶后,这种现象消失。Vahjen 等(1998)在肉鸡日粮中添加木聚糖酶<sup>[15]</sup>,显著降低了肠道的菌落数(如革兰氏阳性菌数),而乳酸菌的数量却显著增加,从而改善了肠道微生物的平衡。

### 2.3 肉鸡小麦型日粮中添加木聚糖酶的作用效果

绝大多数的试验证明,在动物以麦类为基础的饲料中添加木聚糖酶可以提高动物的生产性能<sup>[1,19]</sup>。Steenfeld 等(1998)的研究表明<sup>[24]</sup>,小麦型日粮中添加木聚糖酶可提高日增重 5%~6%,饲料转化率提高 7%~8%,且在雏鸡阶段的效果更为明显,对肉鸡的采食量没有影响。王修启(2003)在 AA 肉鸡的小麦型日粮中添加木聚糖酶<sup>[25]</sup>,提高了日增重、降低了料重比,同时也发现前期的添加效果更好。而于旭华(2004)在岭南黄肉鸡小麦型日粮中添加不同来源的木聚糖酶,对于 4~6 周龄肉鸡的生产性能没有显著影响,但显著提高了 7~9 周龄的饲料报酬,降低了采食量,大鸡阶段的效果要好于中鸡阶段<sup>[19]</sup>。

肉鸡小麦型日粮中添加木聚糖酶可以提高日粮的能量利用率。Annison(1992)在肉鸡麦类日粮中添加非淀粉多糖酶,发现可以提高小麦日粮的表观代谢能(AME)<sup>[26]</sup>。Hew 等(1998)在肉鸡小麦型日粮中添加两种木聚糖酶<sup>[27]</sup>,日粮的 AME 分别提高了 12.6%和 18.6%。Steenfeld 等(1998)在 3 周龄肉鸡小麦型日粮中添加粗酶制剂,日粮的平均 AME 由 13.86 MJ(按每千克干物质计)提高到 14.60 MJ<sup>[24]</sup>。于旭华(2004)在岭南黄肉鸡小麦型日粮中添加不同的木聚糖酶,发现表观代谢能有提高的趋势<sup>[19]</sup>。王修启(2003)在 AA 肉鸡的不同小麦型日粮中添加木聚糖酶,AME 提高了 6.53%~7.07%<sup>[25]</sup>。

肉鸡小麦型日粮中添加木聚糖酶还可以提高动物对营养物质的利用率。Hew 等(1998)的试验表明<sup>[27]</sup>,木聚糖酶可以使肉鸡小麦型日粮中各种氨基酸在粪中的消化率平均由 70%提高到 78%,使回肠末端氨基酸消化率由平均 78%提高到 85%。Steenfeld 等(1998)的试验表明<sup>[24]</sup>,酶制剂使小麦基础日粮的回肠蛋白质和脂肪的表观消化率分别提高 6%和 13%。于旭华(2004)的试验也发现木聚糖酶可以使岭南黄肉鸡小麦型饲料粗蛋白的真消化率提高 1.63%~4.36%<sup>[19]</sup>。王修启(2003)在 AA 肉鸡的不同小麦型饲料中添加木聚

糖酶,干物质的消化率提高了 7.10%~7.67%,有机物消化率提高了 6.07%~7.23%<sup>[25]</sup>。

小麦型日粮添加木聚糖酶可以改善肉鸡的胴体比例。由于饲料中非淀粉多糖可以使动物消化器官发生代偿性增生,而添加非淀粉多糖酶后,可以消除这种现象。Brenes 等(1993)在无壳大麦日粮中添加非淀粉多糖酶<sup>[26]</sup>,可以使肉鸡嗦囊和肌胃的重量分别降低 15%和 17%。于旭华(2004)的试验也表明,小麦型日粮中添加木聚糖酶对消化器官的相对重量有降低的趋势<sup>[19]</sup>。

## 参考文献

- Bedford M R, Classen H L. Reduction of intestinal viscosity through manipulation of dietary rye and pentosanase concentration is effected through changes in the carbohydrate composition of the intestinal aqueous phase and results in improved growth rate and food conversion efficiency of broiler chicks [J]. *Journal of Nutrition*, 1992, 122: 560-569
- Antoniou T, Marquardt R R. Influence of rye pentosans on the growth of chicks[J]. *Poultry Science*, 1981, 60:1 898-1 904
- Annisson G. Relationship between the levels of soluble nonstarch polysaccharides and the apparent metabolizable energy of wheats assayed in broiler chickens[J]. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 1991, 39:1 252-1 256
- Ikegami S, Tsuchihashi F, Harada H, et al. Effect of viscous indigestible polysaccharides on pancreatic-biliary secretion and digestive organs in rats[J]. *Journal of Nutrition*, 1990, 120:353-360
- White W B, Bird H R, Sunde M L. Viscosity of  $\beta$ -glucan as a factor in the enzymatic improvement of barley for chicks [J]. *Poultry Science*, 1983, 62:853-862
- Edwards C A, Johnson I T, Read N W. Do viscous polysaccharides slow absorption by inhibiting diffusion or convection?[J]. *European Journal of Clinical Nutrition*, 1988, 42:306-312
- Johnson I T, Gee M. Effect of gel-forming gums on the intestinal unstirred layer and sugar transport in vitro[J]. *Gut*, 1981, 22:398-403
- Schneeman B O, Richter B D, Jacobs L R. Response to dietary wheat bran in the exocrine pancreas and intestine of rats [J]. *Journal of Nutrition*, 1982, 112:283-286
- Low A G. Secretory response of the pig gut to non-starch polysaccharides[J]. *Animal Feed Science and Technology*, 1989, 23:55-65
- Merce Almirall, Francesch M, Perez-Vendrell A M. The differences in intestinal viscosity produced by barley and  $\beta$ -glucanase alter digesta enzyme activities and ileal nutrient digestibilities more in broiler chicks than in cocks[J]. *Journal of Nutrition*, 1995, 125: 947-955
- Wang Linji, Newman R K, Wacter Newman. Barley  $\beta$ -glucans alter intestinal viscosity and reduce plasma cholesterol concentrations in chick[J]. *Journal of Nutrition*, 1992, 122:2 292-2 297
- Kiyoshi Ebihara, Schneeman B O. Interaction of bile acids, Phospholipids, cholesterol and triglyceride with dietary fibers in the small intestine of rats[J].*Journal of Nutrition*,1989,119:1 100-1 106
- Choct M, Annison G. The inhibition of nutrient digestion by wheat pentosans[J]. *British Journal of Nutrition*, 1992, 67:123-132
- Vahjen W, Gläser K, Schäfer K, et al. Influence of xylanase-supplemented feed on the development of selected bacterial groups in the intestinal tract of broiler chicks[J]. *Journal of Agricultural Science*, 1998, 130:489-500
- Choct M, Hughes R J, Wang J, et al. Increased small intestinal fermentation is partly responsible for the anti-nutritive activity of non-starch polysaccharides in chickens[J]. *British Poultry Science*, 1996, 37:609-621
- Marquardt R R, Ward A T, Misir R. The retention of nutrients by chicks fed rye diets supplemented with amino acids and penicillin [J]. *Poultry Science*, 1979, 58:631-640
- Cassidy M M, Lightfoot F G, Grau L E, et al. Effect of chronic intake of dietary fibers on the ultrastructural topography of rat jejunum and colon: a scanning electron microscopy study [J]. *American Journal of Clinical Nutrition*, 1981, 34:218-228
- 于旭华.真菌性和细菌性木聚糖酶对肉鸡生长性能的影响及机理研究[D].华南农业大学博士学位论文,2004
- Southon S, Livesey G, Gee J M, et al. Differences in intestinal protein synthesis and cellular proliferation in well-nourished rats consuming conventional laboratory diets[J]. *British Journal of Nutrition*, 1985, 53: 87-95
- Choct M, Annison G. Anti-nutritive of wheat pentosans in broiler diets[J]. *British Poultry Science*, 1990, 31:811-821
- Coughlan M P, Hazlewood G P. -1,4-D-Xylan-degrading enzyme systems: biochemistry, molecular biology and applications. *Biotechnology and Applied Biochemistry*, 1993, 17:259-289
- Cowan W D. The relevance of intestinal viscosity on performance of practical broiler diets. *Proceedings of the Australian Poultry Science Symposium 7*, 1995. 116-120
- Steenfeld S, Mullertz A, Jensen J F. Enzyme supplementation of wheat-based diets for broiler. Effect on growth performance and intestinal viscosity[J]. *Animal Feed Science and Technology*, 1998, 75:27-43
- 王修启.小麦中的抗营养因子及木聚糖酶提高小麦日粮利用效率的作用机理研究[J].南京农业大学博士论文,2003
- Annisson G. Commercial enzyme supplementation of wheat-based diet raises ileal glycanase activities and improve apparent metabolisable energy, starch and pentosan digestibilities in broiler chickens[J]. *Animal Feed Science and Technology*, 1992, 38: 104-121
- Hew L I, Ravindran V, Mollah Y, et al. Influence of exogenous xylanase supplementation on apparent metabolisable energy and amino acid digestibility in wheat for broiler chickens [J]. *Animal Feed Science and Technology*, 1998, 75:83-92
- Brenes A, Smith M, Guenter W, et al. Effect of enzyme supplementation on the performance and digestive tract size of broiler chickens fed wheat and barley diet[J]. *Poultry Science*, 1993, 72: 1 731-1 739

(编辑:高雁, snowyan78@tom.com)