

谷物及其副产品中添加非淀粉多糖酶对肉鸭养分利用率的影响

张旭¹ 张艳国² 蒋桂韬¹ 张建华³ 王向荣¹ 胡艳¹ 戴求仲^{1*}

(1. 湖南省畜牧兽医研究所动物营养与饲养技术研究室, 长沙 410131; 2. 东北农业大学实验室管理处, 哈尔滨 150030; 3. 湖南农业大学动物科学技术学院, 长沙 410128)

摘要: 本试验旨在研究 14 种谷物及其副产品中加入非淀粉多糖(NSP)酶对肉鸭养分利用率的影响。试验选用 56 只体重 2.0 kg 左右的成年肉用公麻鸭, 随机分为 7 组, 每组 8 个重复, 采用“绝食强饲-全收粪法”进行代谢试验, 测定 14 种谷物及其副产品加酶前后的干物质(DM)、粗蛋白质(CP)、粗脂肪(EE)和粗纤维(CF)的表观利用率和真利用率。结果表明: 添加 NSP 酶后, 14 种谷物及其副产品[玉米、玉米糖渣、干酒糟及其可溶物(DDGS)、稻谷(皮)、碎米、米糠、米糠粕、小麦(裸)、次面粉、次粉、小麦麸、大麦(皮)、燕麦麸、白酒糟]中的大部分能够提高肉鸭对 DM、CP、EE 和 CF 的表观利用率和真利用率。其中, 玉米的 DM、CP、EE、CF 表观利用率分别提高了 6.69% ($P < 0.01$)、24.73% ($P < 0.05$)、7.40% ($P > 0.05$) 和 9.95% ($P < 0.05$), 稻谷的 CP 和 CF 表观利用率分别提高了 14.20% 和 4.55% ($P > 0.05$), DDGS 的 EE 和 CF 表观利用率分别提高了 12.57% 和 4.99% ($P > 0.05$), 次粉的 DM 和 CP 表观利用率分别提高了 1.26% 和 13.87% ($P > 0.05$)。添加 NSP 酶可以使 14 种谷物及其副产品中的大部分释放出额外的有效营养成分, DM 的有效营养改进值(ENIV) 范围为 0.09 ~ 46.92 g/kg, CP 的 ENIV 范围为 0.49 ~ 9.55 g/kg, EE 的 ENIV 范围为 0.13 ~ 8.85 g/kg, CF 的 ENIV 范围为 0.31 ~ 7.78 g/kg。由此得出, 在谷物及其副产品中添加 NSP 酶能够不同程度地提高肉鸭的养分利用率。

关键词: 谷物及其副产品; 非淀粉多糖酶; 肉鸭; 养分利用率; ENIV

中图分类号: S816

文献标识码: A

文章编号: 1006-267X(2013)12-2888-09

非淀粉多糖(non-starch polysaccharides, NSP)是由若干单糖通过糖苷键连接成的多聚体, 包括除 α -葡聚糖以外的大部分多糖分子, 通常含有纤维素、半纤维素、果胶和抗性淀粉。按照水溶性的不同, NSP 又可分为可溶性 NSP(包括木聚糖、 β -葡聚糖、甘露聚糖、半乳聚糖等)和不可溶性 NSP(包括纤维素等)。NSP 是存在于饲料中的主要抗营养因子, 是饲料纤维的主要成分, 这些纤维将饲料的营养物质包围在细胞壁里面, 部分纤维可溶解于水并产生黏性物质, 这些黏性物质会降低食

糜的消化速度, 抑制消化酶活性, 降低动物的正常消化功能, 妨碍动物吸收营养。谷物及其副产品中均含有大量的 NSP, 在其中加入 NSP 酶, 可降解可溶性 NSP, 降低食糜黏度, 水解细胞壁, 使被细胞结构包围的淀粉和蛋白质等营养成分释放出来, 并减少动物肠道内有害菌的繁殖, 从而提高饲料代谢能和营养物质的利用率^[1]。将谷物及其副产品中各养分含量与相应表观利用率或真可利用率相乘即得到表观可利用养分或真可利用养分值, 有效营养改进值(effective nutrient improvement

收稿日期: 2013-07-01

基金项目: 国家水禽产业技术体系建设专项资金资助(CARS-43)

作者简介: 张旭(1979-), 女, 黑龙江齐齐哈尔人, 助理研究员, 硕士, 主要从事禽营养和畜产品品质研究工作。E-mail: zh_x.f2002@163.com

* 通讯作者: 戴求仲, 研究员, 博士生导师, E-mail: daiqiuzhong@gmail.com

value, ENIV) 为加酶后与加酶前的表观可利用养分值之差^[2]。本研究拟通过代谢试验比较肉鸭对谷物及其副产品加酶前后的养分利用情况, 通过测定谷物及其副产品加酶前后养分的表观利用率和真可利用率, 评价谷物及其副产品加酶后的 ENIV, 旨在为谷物及其副产品在鸭饲料中的应用和配方的制订提供可靠的数据, 并为 NSP 酶在鸭饲料中的使用提供依据。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

1.1.1 饲料原料

从各地采集了 14 种谷物及其副产品, 名称(名称后面括号内为产地)如下: 玉米(吉林)、玉米糖渣(河南)、干酒糟及其可溶物(DDGS)(吉林)、稻谷(皮)(湖南)、碎米(湖南)、米糠(湖南)、米糠粕(湖南)、小麦(裸)(安徽)、次面粉(徐州)、次粉(徐州)、小麦麸(河南)、大麦(皮)(江苏)、燕麦麸(澳洲)及白酒糟(湖南)。将饲料原料粉碎, 过 40 目筛, 保存于样品瓶和封口袋中。试验中所用的淀粉为市售玉米淀粉。

1.1.2 试验用酶制剂

试验用酶制剂为复合 NSP 酶, 主要成分为纤维素酶(1 000 U/g)和木聚糖酶(12 000 U/g)。

1.2 试验动物与分组

选用体重 2.0 kg 左右、采食正常、无怪癖、强饲后没有异常反应的健康成年肉用公麻鸭作为试验鸭, 共 56 只, 随机分为 7 组, 每组 8 个重复, 每重复 1 只鸭, 试验分 5 个批次进行, 每批次每组强饲 1 种饲料原料, 同一原料进行加酶和未加酶 2 组试验, 加酶组进行试验前使用加酶饲料对试验鸭预饲 1 周。试验在湖南省畜牧兽医研究所水禽试验场的家禽代谢实验室进行, 自然光照, 自由饮水。

1.3 测定指标与方法

1.3.1 饲料原料中常规营养成分含量的测定

饲料原料中干物质(DM)含量的测定采用 105 ℃烘箱恒重法, 粗蛋白质(CP)含量的测定采用凯氏定氮法, 粗脂肪(EE)含量的测定采用索氏提取法, 粗纤维(CF)、中性洗涤纤维(NDF)和酸性洗涤纤维(ADF)含量的测定采用范氏洗涤纤维分析法, 粗灰分(Ash)含量的测定采用 550 ℃灼烧法, 钙(Ca)含量的测定采用高锰酸钾滴定法, 总磷(TP)含量的测定采用钼黄比色法^[3]。

1.3.2 养分利用率的测定

采用全收粪法测定每种饲料原料加酶前后的养分利用率。通过手术将排泄物收集瓶的瓶盖缝合于排泄腔口外围处, 以便收集粪尿, 手术后试验鸭恢复 5 d, 并作为预试期。正试期 4 d, 前 2 天(48 h)为禁食排空期, 禁食期间自由饮水并通过饮水每只鸭每日补充葡萄糖 50 g, 禁食结束后进行强饲, 通过强饲器对每只鸭强饲 60 g 饲料原料; 米糠粕、白酒糟、燕麦麸的纤维含量较高, 强饲 50 g 原料并以淀粉补足至 60 g; 内源组不进行强饲, 每日补充葡萄糖 50 g。及时按个体记录强饲时间, 随后分别收集排泄物 48 h, 每 100 g 鲜粪加 10 mL 10% HCl 和 3~5 滴甲苯搅拌均匀, 并立即保存于 -4 ℃冰箱。全部收集完成后将排泄物转入 60~65 ℃烘箱中鼓风干燥至恒重, 置室内回潮 24 h 后称重, 粉碎过 40 目筛制成风干样品, 密封保存于封口袋中备测粪样中 DM、CF、CP 和 EE 含量, 测定方法同 1.3.1。饲料原料中养分利用率的计算公式如下:

$$\text{养分表观利用率}(\%) = [(\text{养分摄入量} - \text{养分排泄量}) / \text{养分摄入量}] \times 100;$$

$$\text{养分真可利用率}(\%) = [(\text{养分摄入量} - \text{养分排泄量} + \text{内源养分量}) / \text{养分摄入量}] \times 100;$$

$$\text{表观可利用养分}(\text{g/kg}) = \text{养分表观利用率} \times \text{饲料中该养分含量} \times 1000;$$

$$\text{ENIV}(\text{g/kg}) = \text{加酶后表观可利用养分} - \text{加酶前表观可利用养分}。$$

1.4 数据统计与分析

采用 SPSS 19.0 统计软件作独立样本 *t* 检验, 显著水平为 $P < 0.05$ 。试验结果以“平均值 ± 标准差”表示。

2 结果与分析

2.1 谷物及其副产品中常规营养成分含量

由表 1 可知, 14 种原料的 DM 含量在 86.10%~93.25% 之间; CP 含量范围为 3.74%~24.52%, 其中玉米的 CP 含量为 6.95%, 低于中国饲料成分及营养价值表(第 17 版)^[4]中玉米的 7.80%, 其他原料与中国饲料成分及营养价值表(第 17 版)^[4]中同名原料相近; EE 含量范围为 1.45%~17.25%, 最高的是米糠, 最低的是碎米; CF 含量范围为 0.51%~37.83%, 燕麦麸最高, 白酒糟次之, 碎米最低; NDF 含量在 5.53%~

64.82% 之间, ADF 含量为 1.82% ~ 45.74% 不等, 燕麦麸的 NDF 含量最高, 白酒糟的 ADF 含量最高, 而碎米的 NDF 和 ADF 含量均最低。14 种原料中玉米的 Ash 含量最低, 仅为 1.05%, 而米糠粕的最高, 白酒糟次之, 分别为 9.86% 和 9.10%。

14 种原料的 Ca 和 TP 含量均与中国饲料成分及营养价值表(第 17 版)^[4] 中同名原料相近, 白酒糟的 Ca 含量最高, 其次是 DDGS 和玉米糖渣, 玉米和碎米的 Ca 含量最低; 米糠粕的 TP 含量最高, 其次是米糠。

表 1 谷物及其副产品中常规营养成分含量(风干基础)

Table 1 Conventional nutrient contents of cereals and cereal by-products (air-dry basis)

| 项目 Items | 干物质 DM | 粗蛋白质 CP | 粗脂肪 EE | 粗纤维 CF | 粗灰分 Ash | 中性洗 涤纤维 NDF | 酸性洗 涤纤维 ADF | 钙 Ca | 总磷 TP |
|-------------------------|-----------|------------|-----------|-----------|------------|-------------------|-------------------|---------|----------|
| 玉米 Corn | 86.10 | 6.95 | 3.45 | 1.71 | 1.05 | 9.16 | 2.48 | 0.03 | 0.26 |
| 玉米糖渣 Corn sugar residue | 91.71 | 20.15 | 8.29 | 10.20 | 8.72 | 41.01 | 14.36 | 0.21 | 0.75 |
| 干酒糟及其可溶物 DDGS | 90.75 | 24.52 | 9.25 | 6.29 | 5.08 | 40.89 | 15.32 | 0.25 | 0.81 |
| 稻谷 Paddy | 89.49 | 8.32 | 1.80 | 5.88 | 3.01 | 15.46 | 7.18 | 0.04 | 0.33 |
| 碎米 Broken rice | 86.52 | 8.67 | 1.45 | 0.51 | 1.36 | 5.53 | 1.82 | 0.03 | 0.32 |
| 米糠 Rice bran | 90.88 | 13.62 | 17.25 | 6.41 | 8.25 | 20.60 | 11.30 | 0.10 | 1.49 |
| 米糠粕 Rice bran meal | 90.42 | 14.93 | 1.65 | 8.36 | 9.86 | 28.33 | 15.75 | 0.18 | 1.76 |
| 小麦 Wheat | 86.66 | 14.07 | 1.48 | 1.73 | 2.12 | 13.34 | 3.61 | 0.08 | 0.35 |
| 次面粉 Secondary flour | 87.54 | 15.12 | 1.86 | 0.53 | 1.43 | 21.20 | 5.35 | 0.07 | 0.57 |
| 次粉 Wheat middling | 89.48 | 12.50 | 2.04 | 4.47 | 3.13 | 35.38 | 10.83 | 0.11 | 0.75 |
| 小麦麸 Wheat bran | 88.76 | 17.15 | 3.44 | 9.56 | 3.86 | 36.24 | 12.18 | 0.13 | 0.92 |
| 大麦 Barley | 87.72 | 10.45 | 1.54 | 5.66 | 2.52 | 15.78 | 6.25 | 0.07 | 0.32 |
| 燕麦麸 Oat bran | 93.25 | 3.74 | 2.23 | 37.83 | 3.79 | 64.82 | 35.55 | 0.12 | 0.98 |
| 白酒糟 Brewers dried grain | 92.40 | 15.73 | 7.60 | 30.15 | 9.10 | 49.45 | 45.74 | 0.32 | 1.12 |

2.2 谷物及其副产品加酶前后的养分利用率

表 2 和表 3 分别给出了谷物及其副产品加酶前后养分的表观利用率和真可利用率。与不添加酶相比, 添加 NSP 酶后 14 种原料的 DM 表观利用率均有提高, 其中玉米提高了 6.69% ($P < 0.05$), 燕麦麸和白酒糟分别提高了 9.02% 和 5.94% ($P > 0.05$), 次粉、DDGS、小麦、米糠粕、大麦和次面粉提高了 1.26% ~ 1.88% ($P > 0.05$); CP 表观利用率也均有提高, 其中玉米提高了 24.73% ($P < 0.05$), 稻谷和次粉分别提高了 14.20% 和 13.87% ($P > 0.05$), 小麦麸、燕麦麸和米糠粕分别提高了 5.65%、6.48% 和 7.54% ($P > 0.05$), 其他原料有小幅提高 ($P > 0.05$); EE 表观利用率有升有降, 其中 DDGS 和次面粉分别提高了 12.57% 和 12.54% ($P > 0.05$), 玉米和小麦分别提高了 7.40% 和 9.70% ($P > 0.05$), 稻谷和米糠略有下降 ($P > 0.05$), 其他原料有小幅提高 ($P > 0.05$); 由于次面粉和碎米中 CF 含量低于 1%, 未对其进行 CF 表观利用率的分析, 剩余的 12 种原料中 CF 表观利用率有升有降, 其中玉米提高了 9.95% ($P <$

0.05), 米糠、DDGS 和稻谷分别提高了 5.45%、4.99% 和 4.55% ($P > 0.05$), 玉米糖渣和小麦麸略有下降 ($P > 0.05$), 其他原料有小幅提高 ($P > 0.05$)。加酶前后谷物及其副产品的养分真可利用率与表观利用率呈现相同的变化趋势。

2.3 添加 NSP 酶对谷物及其副产品表观可利用养分的 ENIV

由表 4 可知, 添加 NSP 酶可以使饲料原料释放出额外的有效营养成分, 使谷物及其副产品的表观可利用养分增加。14 种原料 DM 的 ENIV 范围为 0.09 ~ 46.92 g/kg, 其中玉米 DM 的 ENIV 范围为 46.92 g/kg, 白酒糟的范围为 25.59 g/kg, 小麦、次面粉、大麦和燕麦麸的范围为 11.14 ~ 17.25 g/kg, 其他原料均低于 10 g/kg; CP 的 ENIV 范围为 0.49 ~ 9.55 g/kg, 其中玉米最高, 其次是 DDGS 和次粉, 分别为 7.38 和 7.50 g/kg; EE 的 ENIV 范围为 0.13 ~ 8.85 g/kg, 以 DDGS 最高, 稻谷和米糠的表观可利用 EE 未见提高; CF 的 ENIV 范围为 0.31 ~ 7.78 g/kg, 以白酒糟最高, 玉米糖渣和麦麸的表观可利用 CF 未见提高。

表 2 谷物及其副产品加酶前后的养分表现观利用率

| 项目 Items | Table 2 Nutrient apparent utilization rates of cereals and cereal by-products before and after adding enzyme % | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|--|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------|-------|----------------|----------------|-----------|-------|-----------------------------|-----------------------------|-----------|-------|
| | 干物质表现观利用率 | | 粗蛋白质表现观利用率 | | 粗脂肪表现观利用率 | | 粗纤维表现观利用率 | | CP 表现观利用率 | | EE 表现观利用率 | | CF 表现观利用率 | |
| | - | + | - | + | - | + | - | + | - | + | - | + | - | + |
| 玉米 Corn | 81.49 ±2.92 ^B | 86.94 ±2.03 ^A | 55.93 ±5.90 ^b | 69.76 ±5.44 ^a | 0.009 | 0.042 | 79.05 ±8.21 | 84.90 ±2.91 | 0.177 | 0.580 | 52.24 ±5.39 ^b | 57.44 ±6.38 ^a | 0.177 | 0.025 |
| 玉米糖渣 Corn sugar residue | 67.74 ±6.58 | 68.11 ±9.25 | 75.30 ±8.10 | 76.46 ±6.72 | 0.943 | 0.856 | 87.30 ±3.30 | 87.47 ±1.32 | 0.925 | 0.062 | 63.20 ±5.54 | 63.19 ±5.43 | 0.925 | 0.616 |
| 干酒糟及其可溶物 DDGS | 54.73 ±4.26 | 55.57 ±8.07 | 65.49 ±9.22 | 68.50 ±7.19 | 0.841 | 0.580 | 76.15 ±9.16 | 85.72 ±3.71 | 0.062 | 0.856 | 36.70 ±4.58 | 38.53 ±4.23 | 0.062 | 0.812 |
| 稻谷 Paddy | 73.93 ±3.47 | 74.56 ±4.46 | 52.94 ±7.66 | 60.46 ±7.73 | 0.811 | 0.316 | 94.52 ±5.55 | 93.93 ±4.33 | 0.856 | 0.857 | 65.93 ±3.58 | 68.93 ±5.75 | 0.856 | 0.537 |
| 碎米 Broken rice | 86.72 ±1.61 | 87.26 ±0.43 | 64.51 ±10.09 | 64.70 ±13.39 | 0.486 | 0.940 | 67.09 ±5.30 | 68.94 ±6.69 | 0.857 | 0.857 | 67.09 ±5.30 | 68.94 ±6.69 | 0.857 | 0.857 |
| 米糠 Rice bran | 61.27 ±5.15 | 61.46 ±8.48 | 51.18 ±9.92 | 53.17 ±8.28 | 0.967 | 0.451 | 89.82 ±4.94 | 89.76 ±4.54 | 0.981 | 0.981 | 49.75 ±6.98 | 52.46 ±6.40 | 0.981 | 0.754 |
| 米糠粕 Rice bran meal | 45.37 ±4.54 | 46.18 ±7.81 | 40.04 ±8.97 | 43.06 ±3.20 | 0.846 | 0.179 | 49.19 ±4.09 | 51.02 ±5.46 | 0.724 | 0.724 | 46.05 ±5.96 | 46.73 ±5.88 | 0.724 | 0.905 |
| 小麦 Wheat | 80.70 ±1.82 | 82.08 ±2.66 | 65.05 ±4.09 | 66.49 ±9.27 | 0.367 | 0.743 | 47.40 ±5.63 | 52.00 ±6.77 | 0.150 | 0.150 | 60.50 ±3.56 | 62.49 ±7.55 | 0.150 | 0.609 |
| 次面粉 Secondary flour | 80.44 ±0.07 | 81.95 ±7.39 | 72.16 ±7.28 | 73.24 ±7.23 | 0.697 | 0.933 | 56.61 ±5.04 | 63.71 ±6.34 | 0.387 | 0.387 | 49.39 ±3.78 | 50.89 ±5.70 | 0.387 | 0.105 |
| 次粉 Wheat middling | 42.85 ±7.04 | 43.39 ±5.60 | 43.18 ±6.33 | 49.17 ±7.87 | 0.897 | 0.360 | 77.97 ±8.77 | 78.86 ±7.72 | 0.883 | 0.883 | 49.39 ±3.78 | 50.89 ±5.70 | 0.883 | 0.105 |
| 小麦麸 Wheat bran | 55.29 ±2.86 | 55.30 ±4.75 | 60.85 ±8.29 | 64.29 ±11.65 | 0.998 | 0.335 | 71.35 ±5.72 | 75.44 ±6.75 | 0.607 | 0.607 | 75.49 ±1.20 | 75.43 ±2.84 | 0.607 | 0.967 |
| 大麦 Barley | 67.77 ±5.42 | 69.04 ±10.42 | 58.08 ±7.69 | 60.31 ±9.86 | 0.315 | 0.130 | 62.21 ±4.94 | 63.08 ±5.55 | 0.918 | 0.918 | 57.60 ±8.43 | 58.14 ±4.68 | 0.918 | 0.945 |
| 燕麦麸 Oat bran | 20.50 ±6.47 | 22.35 ±6.67 | 21.91 ±4.28 | 23.33 ±5.14 | 0.668 | 0.224 | 75.47 ±9.01 | 76.70 ±6.32 | 0.323 | 0.323 | 59.32 ±4.88 | 60.12 ±2.52 | 0.323 | 0.752 |
| 白酒糟 Brewers dried grain | 46.64 ±5.60 | 49.41 ±7.45 | 48.82 ±12.15 | 50.02 ±12.59 | 0.525 | 0.878 | 79.97 ±4.59 | 83.41 ±4.98 | 0.288 | 0.288 | 78.68 ±1.02 | 81.26 ±4.94 | 0.288 | 0.286 |

“-”表示不添加酶，“+”表示添加酶。同行同一指标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($P < 0.01$)。下表同。

“-” indicates no enzyme addition, and “+” indicates enzyme addition. In the same row, values in the same index with different small letter superscripts mean significant difference ($P < 0.05$), and with different capital letter superscripts mean extremely significant difference ($P < 0.01$). The same as below.

表 3 谷物及其副产品加酶前后养分的真可利用率
Table 3 Nutrient true utilization rates of cereals and cereal by-products before and after adding enzyme

| 项目 Items | 干物质表观利用率 | | | 粗蛋白质表观利用率 | | | 粗脂肪表观利用率 | | | 粗纤维表观利用率 | | |
|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------|
| | - | + | P 值 P-value | - | + | P 值 P-value | - | + | P 值 P-value | - | + | P 值 P-value |
| 玉米 Corn | 89.67 ±2.92 ^B | 95.09 ±2.05 ^A | 0.009 | 76.09 ±9.90 ^b | 89.83 ±5.45 ^a | 0.042 | 89.82 ±8.21 | 95.63 ±2.91 | 0.179 | 81.03 ±5.38 ^b | 86.13 ±6.83 ^a | 0.026 |
| 玉米糖渣 Corn sugar residue | 75.58 ±6.60 | 75.95 ±9.25 | 0.945 | 82.26 ±9.12 | 83.40 ±6.72 | 0.858 | 91.35 ±3.30 | 91.52 ±1.32 | 0.927 | 68.58 ±5.56 | 68.59 ±5.43 | 0.617 |
| 干酒糟及其可溶物 DDGS | 64.28 ±4.26 | 65.12 ±8.07 | 0.841 | 72.37 ±9.22 | 75.38 ±7.19 | 0.580 | 80.52 ±9.16 | 90.10 ±3.71 | 0.062 | 47.22 ±4.58 | 49.06 ±4.23 | 0.811 |
| 稻谷 Paddy | 81.98 ±3.46 | 82.60 ±4.46 | 0.811 | 69.78 ±7.66 | 77.30 ±7.73 | 0.316 | 97.71 ±5.55 | 97.12 ±4.33 | 0.856 | 70.99 ±3.58 | 73.99 ±5.75 | 0.537 |
| 碎米 Broken rice | 95.04 ±1.61 | 95.58 ±0.43 | 0.486 | 80.67 ±10.09 | 81.23 ±13.39 | 0.940 | 90.27 ±5.30 | 92.12 ±6.69 | 0.857 | | | |
| 米糠 Rice bran | 70.71 ±5.15 | 70.90 ±8.48 | 0.967 | 63.43 ±9.92 | 65.43 ±8.28 | 0.451 | 92.41 ±4.94 | 92.35 ±1.54 | 0.981 | 62.11 ±6.98 | 64.83 ±6.40 | 0.753 |
| 米糠粕 Rice bran meal | 55.02 ±4.58 | 55.85 ±7.84 | 0.843 | 51.43 ±9.00 | 54.43 ±3.25 | 0.174 | 88.04 ±4.22 | 89.85 ±5.61 | 0.717 | 52.01 ±5.99 | 52.69 ±5.88 | 0.906 |
| 小麦 Wheat | 88.82 ±1.82 | 90.19 ±2.66 | 0.367 | 74.81 ±4.09 | 75.33 ±9.27 | 0.743 | 80.29 ±5.63 | 85.89 ±6.78 | 0.150 | 77.69 ±3.56 | 79.69 ±7.55 | 0.607 |
| 次面粉 Secondary flour | 90.34 ±0.07 | 91.85 ±7.39 | 0.697 | 83.46 ±7.28 | 84.54 ±7.22 | 0.933 | 86.36 ±6.04 | 93.46 ±6.34 | 0.387 | | | |
| 次粉 Wheat middling | 50.90 ±7.04 | 51.43 ±5.60 | 0.897 | 54.38 ±6.33 | 60.38 ±7.87 | 0.360 | 85.53 ±8.77 | 86.43 ±7.72 | 0.883 | 54.52 ±3.78 | 56.01 ±5.70 | 0.105 |
| 小麦麸 Wheat bran | 63.40 ±2.86 | 63.41 ±4.75 | 0.998 | 69.02 ±8.29 | 72.46 ±11.65 | 0.335 | 81.12 ±5.72 | 85.21 ±6.75 | 0.607 | 79.17 ±1.19 | 79.12 ±2.84 | 0.969 |
| 大麦 Barley | 77.75 ±5.42 | 79.03 ±10.42 | 0.315 | 74.39 ±7.69 | 76.62 ±9.86 | 0.130 | 95.18 ±4.93 | 96.04 ±5.55 | 0.918 | 69.42 ±8.42 | 69.96 ±4.67 | 0.945 |
| 燕麦麸 Oat bran | 30.40 ±6.47 | 32.25 ±6.67 | 0.668 | 33.12 ±4.28 | 35.54 ±5.14 | 0.224 | 94.80 ±9.02 | 96.02 ±6.32 | 0.323 | 61.83 ±4.88 | 62.64 ±2.52 | 0.752 |
| 白酒糟 Brewers dried grain | 54.56 ±5.60 | 57.33 ±7.45 | 0.525 | 57.88 ±12.15 | 59.08 ±12.59 | 0.878 | 84.46 ±4.59 | 87.91 ±4.98 | 0.288 | 80.54 ±1.02 | 83.11 ±4.94 | 0.286 |

%

表 4 谷物及副产品加酶前后的表现可利用养分和 ENIV

| 项目 Items | Table 4 Apparent available nutrients and ENIV of cereals and cereal by-products before and after adding enzyme | | | | | | | | | | | | g/kg | | | | |
|----------------------------|--|--------|-------|-------|--------------------|--------|------|------|--------------------|--------|-------|-------|--------|--------------------|-------|-------|----|
| | 表现可利用干物质 | | 干物质 | | 表现可利用粗蛋白质 | | 粗蛋白质 | | 表现可利用粗脂肪 | | 粗脂肪 | | | 表现可利用粗纤维 | | 粗纤维 | |
| | - | + | ENIV | DM | Apparent available | CP | ENIV | CP | Apparent available | EE | ENIV | EE | | Apparent available | CF | ENIV | CF |
| 玉米 Corn | 701.63 | 748.55 | 46.92 | 46.92 | 52.88 | 62.43 | 9.55 | 9.55 | 27.27 | 29.29 | 2.02 | 2.02 | 8.93 | 9.82 | 0.89 | 0.89 | |
| 玉米糖渣 Corn sugar residue | 621.24 | 624.64 | 3.39 | 3.39 | 165.75 | 168.05 | 2.30 | 2.30 | 72.37 | 72.51 | 0.14 | 0.14 | 64.46 | 64.45 | -0.01 | -0.01 | |
| 干酒糟及其可溶物 DDGS | 496.67 | 504.30 | 7.62 | 7.62 | 177.45 | 184.83 | 7.38 | 7.38 | 70.44 | 79.29 | 8.85 | 8.85 | 23.08 | 24.24 | 1.15 | 1.15 | |
| 稻谷 Paddy | 661.60 | 667.24 | 5.64 | 5.64 | 58.06 | 64.31 | 6.26 | 6.26 | 17.01 | 16.91 | -0.11 | -0.11 | 38.77 | 40.53 | 1.76 | 1.76 | |
| 碎米 Broken rice | 750.30 | 754.97 | 4.67 | 4.67 | 69.94 | 70.43 | 0.49 | 0.49 | 9.73 | 10.00 | 0.27 | 0.27 | | | | | |
| 米糠 Rice bran | 556.82 | 558.55 | 1.73 | 1.73 | 86.39 | 89.12 | 2.72 | 2.72 | 154.94 | 154.84 | -0.10 | -0.10 | 31.89 | 33.63 | 1.74 | 1.74 | |
| 米糠粕 Rice bran meal | 410.24 | 417.56 | 7.32 | 7.32 | 76.78 | 81.26 | 4.48 | 4.48 | 8.12 | 8.42 | 0.30 | 0.30 | 38.50 | 39.07 | 0.57 | 0.57 | |
| 小麦 Wheat | 699.35 | 711.31 | 11.96 | 11.96 | 105.26 | 105.99 | 0.73 | 0.73 | 7.02 | 7.70 | 0.68 | 0.68 | 10.47 | 10.81 | 0.34 | 0.34 | |
| 次面粉 Secondary flour | 704.17 | 717.39 | 13.22 | 13.22 | 126.19 | 127.82 | 1.63 | 1.63 | 10.53 | 11.85 | 1.32 | 1.32 | | | | | |
| 次粉 Wheat middling | 383.42 | 388.25 | 4.83 | 4.83 | 67.98 | 75.48 | 7.50 | 7.50 | 15.91 | 16.09 | 0.18 | 0.18 | 22.08 | 22.75 | 0.67 | 0.67 | |
| 小麦麸 Wheat bran | 490.75 | 490.84 | 0.09 | 0.09 | 118.37 | 124.27 | 5.90 | 5.90 | 24.54 | 25.95 | 1.41 | 1.41 | 72.17 | 72.11 | -0.06 | -0.06 | |
| 大麦 Barley | 594.48 | 605.62 | 11.14 | 11.14 | 77.74 | 80.07 | 2.33 | 2.33 | 9.58 | 9.71 | 0.13 | 0.13 | 32.60 | 32.91 | 0.31 | 0.31 | |
| 燕麦麸 Oat bran | 191.16 | 208.41 | 17.25 | 17.25 | 12.39 | 13.29 | 0.91 | 0.91 | 16.83 | 17.10 | 0.27 | 0.27 | 224.41 | 227.43 | 3.03 | 3.03 | |
| 白酒糟 Brewers dried grain | 430.95 | 456.55 | 25.59 | 25.59 | 91.05 | 92.93 | 1.89 | 1.89 | 60.78 | 63.39 | 2.61 | 2.61 | 237.22 | 245.00 | 7.78 | 7.78 | |

3 讨论

3.1 谷物及其副产品中添加 NSP 酶对肉鸭养分利用率的影响

研究报道,饲料中的 NSP 难以被鸭消化吸收,鸭只能消化部分可溶性 NSP^[5];同时,食入的 NSP 还会增加食糜黏度,减少消化酶与食糜的接触机会,影响其他营养物质的消化吸收^[6],纤维素酶、木聚糖酶和 β -葡聚糖酶等 NSP 酶能够不同程度地提高肉鸭、猪、鸡等对营养物质的消化率^[7-8]。本研究得到与上述文献一致的结果,即在玉米及其副产品、稻谷及其副产品、小麦及其副产品中加入复合 NSP 酶能够不同程度的提高 DM、CP、EE 和 CF 的利用率。在所研究的 14 种谷物及其副产品中,以玉米 DM 的 ENIV 最高,这与过去一般认为的“玉米营养配比均衡,NSP 含量低,对 NSP 酶不敏感”的说法^[9]相悖。Pack 等^[10]在玉米-豆粕型饲料中使用复合酶制剂提高了玉米的营养价值,与本试验结果相一致。唐琼^[11]和严念东等^[12]也分别发现 NSP 酶能够提高肉鸭的养分表观利用率。

3.2 添加 NSP 酶对谷物及副产品营养价值的改善作用

ENIV 是一种评定饲料原料营养价值的参考方法,ENIV 代表了原料中可利用的潜在营养价值,体现了酶制剂从饲料原料中释放出额外有效营养成分的量和效率^[2]。小麦、大麦及其副产品 DM 的 ENIV 较高,而稻谷及其副产品 DM 的 ENIV 较低,可能是由于小麦及副产品中的黏性可溶性 NSP 较稻谷多,当小麦在饲料中所占比例高时,能量和营养物质的消化率会显著降低^[13],添加 NSP 酶后能够水解 NSP,降低食糜黏度,释放被包裹的蛋白质、脂肪等营养物质,提高消化酶与营养物质的接触范围,进而提高营养物质的利用率,所以小麦及其副产品 DM 的 ENIV 较稻谷及其副产品的高,很多文献也都得到了在小麦型饲料中添加 NSP 酶能够提高动物消化率的结果^[14-15]。

在所研究的 14 谷物及其副产品中,以米糠和 DDGS 的 EE 含量较高,加入 NSP 酶后 DDGS 中 EE 的 ENIV 最高,米糠中 EE 的 ENIV 却最低,可能是由于 DDGS 是玉米经发酵、干燥等处理后的糟渣,受工艺处理和高 CF 含量的影响,其中的 EE 有一部分不能被消化利用,而 NSP 酶的加入可以

使 DDGS 中的 EE 得到释放,提高了可利用 EE 的比例,而米糠是稻谷经过碾米等物理加工处理得到的副产品,其中的 EE 消化吸收率较高,因而可提升的空间不大。NSP 酶不仅能作用于可溶性 NSP,对纤维素同样具有水解作用^[6]。在所研究的 14 种谷物及其副产品中,燕麦麸和白酒糟这 2 个 CF 含量较高的原料 CF 的 ENIV 均较高。

本研究是对单一饲料原料进行试验得出的结果,证明了这几种谷物及其副产品的养分利用率具有可提升的空间,将 NSP 酶用于多种原料配制的配方饲料时,其 ENIV 是否能够简单地将几种原料的 ENIV 按比例计算后相加,还有待研究和验证。但 ENIV 体现了原料潜在的可利用营养价值,如何能够提高 ENIV 并将这些潜在可利用营养更多的转变成真正有效的营养价值还需更深入的研究。

4 结论

在谷物及其副产品中添加 NSP 酶能够不同程度地提高肉鸭的养分利用率。

参考文献:

- [1] SIMON O. Non starch polysaccharide (NSP) hydrolysing enzymes as feed additives: mode of action in the gastrointestinal tract [J]. Lohmann Information, 2000 (23): 7-13.
- [2] 冯定远,沈水宝. 饲料酶制剂理论与实践的新理念——加酶日粮 ENIV 系统的建立和应用 [J]. 饲料工业, 2005, 26(18): 1-7.
- [3] 张丽英. 饲料分析及饲料质量检测技术 [M]. 3 版. 北京: 中国农业大学出版社, 2007.
- [4] 中国农业科学院北京畜牧兽医研究所, 中国饲料数据库情报网研究中心, 动物营养学国家重点实验室. 中国饲料成分及营养价值表 (第 17 版) [J]. 中国饲料, 2006, 21: 34-39.
- [5] CHOCT M, DERSJANT-LI Y, MCLEISH J, et al. Soy oligosaccharides and soluble non-starch polysaccharides: a review of digestion, nutritive and anti-nutritive effects in pigs and poultry [J]. Asian-Australasian Journal of Animal Science, 2010, 23 (10): 1386-1398.
- [6] CHOCT M, ANNISON G, TRIMBLE R P. Soluble wheat pentosans exhibit different anti-nutritive activities in intact and cecectomized broiler chickens [J]. The Journal of Nutrition, 1995, 122 (12): 2457-

- 2465.
- [7] 吕东海. 麸皮与纤维素酶对肉鸭生产性能与消化机能影响的研究[D]. 硕士学位论文. 南京:南京农业大学,2002.
- [8] 张辉华,叶伯方,刘杰,等. 木聚糖酶对肉鸭生长性能及营养物质回肠消化率的影响[J]. 中国饲料,2007(13):27-29,32.
- [9] SHEPPY C. 饲用酶制剂市场发展现状与趋势[C]//贝德福德,帕特里奇. 酶制剂在动物营养中的作用. 北京:中国农业科学技术出版社,2004:1-6.
- [10] PACK M,BEDFORD M R. Feed enzymes for maize-soybean broiler diets;a new concept to improve nutritional value and economics [J]. Afma Matrix,1997(12):18-21.
- [11] 唐琼. 酶制剂对肉鸭生产性能、消化器官和肠道内环境的影响[D]. 硕士学位论文. 雅安:四川农业大学,2009.
- [12] 严念东,丁斌鹰,李绍章. 复合酶制剂对樱桃谷肉鸭生长性能及营养物质表观消化率的影响[J]. 饲料博览,2009(11):3-5.
- [13] 余有贵,贺建华. 日粮中谷物组成和复合酶添加对生长猪生产性能和养分消化率的影响[J]. 动物营养学报,2005,17(1):25-29.
- [14] VAN DER KLIS J D, KWAKERNAAK C, DE WIT W. Effects of endoxylanase addition to wheat-based diets on physico-chemical chyme conditions and mineral absorption in broilers [J]. Animal Feed Science and Technology,1995,51(1):15-27.
- [15] STEENFELDT S, MULLERTZ A, FRIS JENSEN J. Enzyme supplementation of wheat-based diets for broilers: I. Effect on growth performance and intestinal viscosity[J]. Animal Feed Science and Technology,1998,75(1):27-43.

Effects of Cereals and Cereal By-Products Supplemented with Non-Starch Polysaccharides Enzyme on Nutrient Utilization Rates of Meat Ducks

ZHANG Xu¹ ZHANG Yanguo² JIANG Guitao¹ ZHANG Jianhua³

WANG Xiangrong¹ HU Yan¹ DAI Qiuzhong^{1*}

(1. *Animal Nutrition and Feeding Technology Department, Hunan Institute of Animal Science and Veterinary Medicine, Changsha 410131, China*; 2. *Laboratory Management Office, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China*; 3. *College of Animal Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China*)

Abstract: The aim of this experiment was to study the effects of cereals and cereal by-products supplemented with non-starch polysaccharides (NSP) enzyme on nutrient utilization rates of meat ducks. A total of 56 healthy adult male meat *Ma* ducks with the body weight about 2.0 kg were randomly divided into 7 groups and 8 replicates in each group. Metabolic test was carried out by ‘hunger strike-gavage method’ to determine apparent and true utilization rates of dry matter (DM), crude protein (CP), ether extract (EE) and crude fiber (CF) of 14 kinds of cereals and cereal by-products [corn, corn sugar residue, distiller dried grains with solubles (DDGS), paddy, broken rice, rice bran, rice bran meal, wheat, secondary flour, wheat middling, wheat bran, barley, oat bran, brewers dried grain] before and after adding NSP enzyme. The results showed that most of the 14 kinds of cereals and cereal by-products adding with NSP enzyme could improve the apparent and true utilization rates of DM, CP, EE and CF. Among them, the apparent utilization rates of DM, CP, EE and CF of corn were increased by 6.69% ($P < 0.01$), 24.73% ($P < 0.05$), 7.40% ($P > 0.05$) and 9.95% ($P < 0.05$), respectively; the apparent utilization rates of CP and CF of rice bran were increased by 14.20% and 4.55% ($P > 0.05$), respectively; the apparent utilization rates of EE and CF of DDGS were increased by 12.57% and 4.99% ($P > 0.05$), respectively; the apparent utilization rates of DM and CP of secondary flour were increased by 1.26% and 13.87% ($P > 0.05$), respectively. NSP enzyme addition could make most of the cereals and cereal by-products release additional effective nutrients. The effective nutrient improvement value (ENIV) range of DM was 0.09 to 46.92 g/kg, the ENIV range of CP was 0.49 to 9.55 g/kg, the ENIV range of EE was 0.13 to 8.85 g/kg and the ENIV range of CF was 0.31 to 7.78 g/kg. The results indicate that cereals and cereal by-products adding with NSP enzyme can improve the nutrient utilization rates of meat ducks in different extent. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2013, 25 (12):2888-2896]

Key words: cereals and cereal by-products; non-starch polysaccharides enzyme; meat duck; nutrient utilization rate; EVIN

* Corresponding author, professor, E-mail: daiqiuzhong@gmail.com