

饲料直链/支链淀粉和淀粉酶对肉鸡生长性能的影响及其互作效应研究

马杰¹ 杨泰¹ 杨媚¹ 陈清华^{1*} 刘伟²

(1.湖南农业大学动物科学技术学院,长沙 410128;2.山东隆科特酶制剂有限公司,临沂 276400)

摘要: 本试验旨在研究饲料直链/支链淀粉和淀粉酶对肉鸡生长性能和营养物质表观消化率的影响。试验采用4×3双因子设计,选用1日龄爱拔益加(AA)肉仔鸡960只,随机分为12个组,每组5个重复,每个重复16羽肉鸡,饲料直链/支链淀粉分别为0.11、0.23、0.35、0.47,淀粉酶的添加量分别为0、3 000、6 000 U/kg。试验期为21 d。试验测定了肉鸡生长性能和营养物质表观消化率。结果表明:1)直链/支链淀粉为0.23的饲料组肉鸡的平均日增重显著提高($P < 0.05$),料重比以直链/支链淀粉为0.47的饲料组最高($P < 0.05$),其他组间差异不显著($P > 0.05$);饲料中添加6 000 U/kg淀粉酶显著降低肉鸡平均日增重($P < 0.05$),但对料重比影响不显著($P > 0.05$);二者的互作效应不显著($P > 0.05$)。2)能量、粗蛋白质、干物质、粗脂肪以及钙表观消化率以直链/支链淀粉为0.11的饲料组最高($P < 0.05$),直链/支链淀粉为0.47的饲料组最低($P < 0.05$);饲料中添加淀粉酶对营养物质表观消化率影响不显著($P > 0.05$);二者的互作效应对营养物质表观消化率影响显著($P < 0.05$)。综上所述,饲喂直链/支链淀粉为0.23和淀粉酶添加量为3 000 U/kg的饲料可提高肉鸡的生长性能。

关键词: 直链/支链淀粉;淀粉酶;肉鸡;生长性能;互作效应

中图分类号:S831

文献标识码:A

文章编号:1006-267X(2019)07-3086-09

能量是机体最重要的营养素之一,几乎参与机体所有的生命活动。淀粉是能量主要来源和存在形式,淀粉的利用率决定了能量的利用率^[1]。幼龄动物对淀粉的利用率较低且肠道内淀粉酶活性很低,导致很大一部分淀粉进入后肠发酵,造成浪费^[2]。研究表明,淀粉因其直链/支链淀粉不同导致在机体内消化速度和部位不同,因而其能量供应效率及对动物生长的影响存在差异^[3-4]。也有研究表明,外源添加淀粉酶可补充幼龄动物内源淀粉酶的不足,提高营养物质消化率,促进生长^[5-6]。但是关于饲料直链/支链淀粉和淀粉酶及其互作效应对肉鸡生长性能的影响尚未见报道。本试验选取1日龄爱拔益加(AA)肉仔鸡为试验

动物,研究饲料直链/支链淀粉和淀粉酶及其互作效应对肉鸡生长性能、营养物质表观消化率及内源消化酶活性的影响,为更准确配制肉仔鸡饲料、饲料资源的开发及淀粉酶的应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验中AA肉仔鸡购自湖南顺成实业有限公司;α-淀粉酶为山东隆科特酶制剂有限公司惠赠(活性为100 000 U/g),实际测定活性为102 200 U/g,测定方法参照GB 1886.174—2016 A.8。

收稿日期:2019-01-11

基金项目:湖南农业大学技术合作项目——酶制剂应用技术研发中心建设的研究(0115055)

作者简介:马杰(1993—),男,陕西汉中,硕士研究生,研究方向为动物营养与饲料科学。E-mail: 1030272902@qq.com

*通信作者:陈清华,教授,博士生导师,E-mail: chqh314@163.com

1.2 试验设计

试验采用 4×3 双因子设计,选择 960 羽 1 日龄健康、体重相近的 AA 肉仔鸡,随机分为 12 个组 (I ~ XII 组),每组 5 个重复,每个重复 16 羽,公母各占 1/2,混养。各组肉仔鸡分别饲喂直链/支链淀粉为 0.11、0.23、0.35、0.47 和添加 0、3 000、6000 U/kg 淀粉酶的饲料。试验设计见表 1。

表 1 试验设计
Table 1 Experimental design

组别 Groups	直链/支链淀粉 Amylose/amylopectin	淀粉酶 Amylase/(U/kg)
I	0.11	0
II	0.11	3 000
III	0.11	6 000
IV	0.23	0
V	0.23	3 000
VI	0.23	6 000
VII	0.35	0
VIII	0.35	3 000
IX	0.35	6 000
X	0.47	0
XI	0.47	3 000
XII	0.47	6 000

1.3 试验饲料

试验饲料参照《肉鸡饲养标准》(NY/T 33—2004)和 NRC(1994)肉鸡营养需要标准,以蜡质玉米淀粉(含支链淀粉 95%)(购自佛山市国农淀粉有限公司)和 99%直链玉米淀粉(购自江苏金河源生物工程有限公司)作为淀粉源配制而成,各组饲料总能、总淀粉及其他营养成分水平基本一致。试验饲料组成及营养水平见表 2。

1.4 饲养管理

试验在湖南农业大学耘园实验基地进行,日常管理参照商品肉鸡生产技术规程(GB/T 19664—2005),先饮水后开食,自由采食和饮水。饲养过程中,注意监测环境空气质量,注意通风换气,保持良好的鸡舍环境;每天打扫鸡舍清洁卫生,并定期用专用消毒剂对鸡舍进行喷雾消毒。参照常规免疫程序进行免疫接种。

1.5 测定指标及方法

1.5.1 生长性能指标

分别于试验第 1 天和 21 天 08:00 对所有试验鸡空腹称重,试验开始记时,记录各料桶重,试验期间准确记录鸡耗料量、鸡只生长状况和死亡情况,试验结束时准确称量余料重和料桶重,并计算各组的平均日增重(ADG)、平均日采食量(ADFI)及料重比(F/G)。

表 2 试验饲料组成及营养水平(风干基础)

Table 2 Composition and nutrient levels of trial diets (air-dry basis)

项目 Items	直链/支链淀粉 Amylose/amylopectin				%
	0.11	0.23	0.35	0.47	
原料 Ingredients					
玉米 Corn	34.00	58.00	52.50	51.00	
豆粕 Soybean meal	36.10	31.84	34.30	32.70	
鱼粉 Fish meal	3.00	2.80	1.90	3.10	
磷酸氢钙 CaHPO ₄	0.61	0.61	0.78	0.65	
石粉 Limestone	1.31	1.26	1.30	1.00	
蛋氨酸 Met (98%)	0.09	0.10	0.11	0.10	
豆油 Soybean oil	5.30	4.30	4.92	4.37	
食盐 NaCl	0.30	0.30	0.30	0.30	
植酸酶 Phytase	0.01	0.01	0.01	0.01	
预混料 Premix ¹⁾	0.15	0.15	0.15	0.15	
氯化胆碱 Choline chloride	0.13	0.13	0.13	0.13	
二氧化钛 TiO ₂	0.50	0.50	0.50	0.50	
蜡质玉米淀粉 Waxy corn starch	18.50				
直链玉米淀粉 Amylose corn starch			3.10	5.99	

续表 2

项目 Items	直链/支链淀粉 Amylose/amylopectin			
	0.11	0.23	0.35	0.47
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels ²⁾				
代谢能 ME/(MJ/kg)	12.43	12.43	12.43	12.42
粗蛋白质 CP	20.76	20.25	20.23	19.92
干物质 DM	0.94	0.94	0.94	0.93
粗脂肪 EE	6.53	7.00	6.96	6.67
粗纤维 CF	4.20	3.96	3.97	3.84
钙 Ca	0.89	0.88	0.91	0.89
总磷 TP	0.68	0.69	0.70	0.69
赖氨酸 Lys	1.26	1.22	1.23	1.24
蛋氨酸 Met	0.50	0.51	0.51	0.51
蛋氨酸+半胱氨酸 Met+Cys	0.91	0.90	0.90	0.90
苏氨酸 Thr	0.26	0.25	0.26	0.26
总淀粉 Total starch	37.73	34.42	34.84	35.97
直链淀粉 Amylose	3.75	6.40	9.04	11.50
支链淀粉 Amylopectin	33.98	28.02	25.80	24.47
直链/支链淀粉 Amylose/amylopectin	0.11	0.23	0.35	0.47

¹⁾ 预混料为每千克饲料提供 The premix provided the following per kilogram of diets: 二氧化钛 TiO₂ 5 000 mg, VA 8 000 IU, VD 1 000 IU, VE 20 IU, VK 0.5 mg, VB₁ 2.0 mg, VB₂ 8.0 mg, VB₆ 3.5 mg, VB₁₂ 0.01 mg, 烟酸 niacin 35 mg, 叶酸 folic acid 0.55 mg, 泛酸 pantothenic acid 10.0 mg, 生物素 biotin 0.18 mg, 泛酸 pantothenic acid 10.0 mg, Fe 100 mg, Zn 100 mg, Mn 120 mg, Cu 8 mg, I 0.7 mg, Se 0.3 mg。

²⁾ 除氨基酸外,所有值为实测值。All values except the amino acids were measured values.

1.5.2 常规养分和指示剂的测定

饲料中添加 0.5% 二氧化钛作为外源指示剂, 饲料用四分法取样, 每个组取 400 g; 代谢试验以外源指示剂法进行, 结束前 3 天早上开始收粪, 以每 1 笼为 1 个重复进行收粪, 粪便要求新鲜无污染, 收粪期为 3 d, 粪样烘干后粉碎制成风干样品, 用于测定能量、干物质、粗蛋白质、粗脂肪、粗纤维和钙含量。饲料和粪中常规养分参照贺建华^[7] 主编的《饲料分析与检测》中的方法测定; 二氧化钛含量参照邓雪娟等^[8] 的方法测定; 总淀粉含量参照淀粉含量测定试剂盒的方法测定, 试剂盒由上海优选生物提供; 直链淀粉含量参照 GB/T 15683—2008 测定。营养物质表观消化率计算公式如下:

$$\text{某营养物质表观消化率}(\%) = 100 - [100 \times (A \times b) / (a \times B)]。$$

式中: *A* 为每千克饲料中指示剂的含量; *a* 为每千克粪便中指示剂含量; *b* 为每千克粪便中该养分的含量; *B* 为每千克饲料中该养分的含量。

1.6 数据处理与分析

试验数据采用 SPSS 20.0 统计软件中一般线性模型 (GLM) 做双因素有重复方差分析, 用 Duncan 氏法进行多重比较, 平均值间差异用 SSR 法进行比较。显著性水平为 $P < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 饲料直链/支链淀粉和淀粉酶及其互作效应对肉鸡生长性能的影响

由表 3 可知, VIII 组的 ADG 显著高于 I、III、X、XI 和 XII 组 ($P < 0.05$), 且达到最高; 饲料直链/支链淀粉和淀粉酶的单独作用对 ADG 影响显著 ($P < 0.05$), 但是二者互作效应对 ADG 影响不显著 ($P > 0.05$)。III 和 IV 组的 F/G 显著低于 X、XI 和 XII 组 ($P < 0.05$), 饲料直链/支链淀粉对 F/G 影响显著 ($P < 0.05$), 淀粉酶对 F/G 的影响不显著 ($P > 0.05$); 二者的互作效应对 F/G 的影响不显著 ($P > 0.05$)。

表3 饲料直链/支链淀粉和淀粉酶及其互作效应对肉鸡生长性能的影响

Table 3 Effects of diet amylose/amylopectin, amylase and their interaction on growth performance of broilers

组别 Groups	<i>n</i>	初重 IBW/g	末重 FBW/g	平均日增重 ADG/(g/d)	平均日采食量 ADFI/(g/d)	料重比 F/G	
I	5	44.25	601.45 ^{bc}	26.53 ^b	37.60	1.42 ^{abc}	
II	5	44.65	625.27 ^{ab}	27.65 ^{ab}	37.39	1.35 ^{bc}	
III	5	44.87	595.46 ^{bcd}	26.22 ^{bc}	34.29	1.31 ^c	
IV	5	44.83	634.36 ^a	28.01 ^a	37.39	1.33 ^c	
V	5	44.78	634.58 ^a	28.09 ^a	38.72	1.38 ^{abc}	
VI	5	44.57	617.24 ^{abc}	27.27 ^{ab}	37.15	1.36 ^{abc}	
VII	5	44.44	621.89 ^{abc}	27.50 ^{ab}	37.80	1.37 ^{abc}	
VIII	5	44.33	635.12 ^a	28.13 ^a	38.76	1.38 ^{abc}	
IX	5	44.77	611.05 ^{abc}	26.97 ^{ab}	37.17	1.38 ^{abc}	
X	5	44.24	594.19 ^{cd}	26.19 ^{bc}	38.51	1.47 ^a	
XI	5	44.32	564.15 ^c	24.75 ^d	35.96	1.45 ^{ab}	
XII	5	44.45	571.12 ^{dc}	25.07 ^{cd}	36.45	1.45 ^{ab}	
	0.11	15	44.59	607.39 ^b	26.80 ^b	36.43	1.36 ^b
直链/支链淀粉	0.23	15	44.73	628.73 ^a	27.79 ^a	37.75	1.36 ^b
Amylose/amylopectin	0.35	15	44.51	622.69 ^{ab}	27.53 ^{ab}	37.91	1.38 ^b
	0.47	15	44.34	576.45 ^c	25.34 ^c	36.98	1.46 ^a
淀粉酶	0	20	44.44	612.97 ^a	27.06 ^a	37.83	1.40
Amylase/(U/kg)	3 000	20	44.52	614.78 ^a	27.16 ^a	37.71	1.39
	6 000	20	44.66	595.50 ^b	26.38 ^b	36.27	1.38
SEM			0.07	2.74	0.13	0.34	0.01
<i>P</i> 值	直链/支链淀粉		0.228	<0.001	<0.001	0.375	0.001
<i>P</i> -value	Amylose/amylopectin						
	淀粉酶 Amylase		0.380	0.040	0.041	0.120	0.635
	直链/支链淀粉×淀粉酶		0.549	0.171	0.182	0.516	0.483
	Amylose/amylopectin×amylase						

同列同一项目数据肩标不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$), 相同或无字母表示差异不显著 ($P > 0.05$)。下表同。

In the same column of the same item, values with different letter superscripts mean significant difference ($P < 0.05$), while with the same or no letter superscripts mean no significant difference ($P > 0.05$). The same as below.

2.2 饲料直链/支链淀粉和淀粉酶及其互作效应对肉鸡营养物质表观消化率的影响

由表4可知, II和III组的能量表观消化率显著高于IV、V、X和XII组 ($P < 0.05$), 且达到最高; 饲料直链/支链淀粉对能量表观消化率影响显著 ($P < 0.05$), 淀粉酶对能量表观消化率影响不显著 ($P > 0.05$); 但是二者的互作效应对能量表观消化率影响显著 ($P < 0.05$)。II组的粗蛋白质表观消化率显著高于IV、X和XII组 ($P < 0.05$); 饲料直链/支链淀粉对粗蛋白质表观消化率影响显著 ($P < 0.05$), 淀粉酶对粗蛋白质表观消化率影响不显著 ($P > 0.05$); 但是二者的互作效应对能量表观消化率影响显著 ($P < 0.05$)。II组的干物质表观消化率显著高于IV、V、IX、X和XII组 ($P < 0.05$); 饲料直链/支

链淀粉对干物质表观消化率影响显著 ($P < 0.05$), 淀粉酶对干物质表观消化率影响不显著 ($P > 0.05$); 但是二者的互作效应对能量表观消化率影响显著 ($P < 0.05$)。II和III组的粗脂肪表观消化率显著高于I、V、X、XI和XII组 ($P < 0.05$); 饲料直链/支链淀粉对粗脂肪表观消化率影响显著 ($P < 0.05$), 淀粉酶对粗脂肪表观消化率影响不显著 ($P > 0.05$); 但是二者的互作效应对粗脂肪表观消化率影响显著 ($P < 0.05$)。饲料直链/支链淀粉和淀粉酶对粗纤维表观消化率影响均不显著 ($P > 0.05$), 但是二者的互作效应对粗纤维表观消化率影响显著 ($P < 0.05$)。II组的钙表观消化率显著高于I、IV、V、X和XII组 ($P < 0.05$), 且达到最大值; 饲料直链/支链淀粉对钙表观消化率影响显著 ($P <$

0.05), 淀粉酶对钙表观消化率影响不显著 ($P>0.05$); 但是二者的互作效应对钙表观消化率影响显著 ($P<0.05$)。

表4 饲料直链/支链淀粉和淀粉酶及其互作效应对肉鸡营养物质表观消化率的影响(风干基础)

Table 4 Effects of dietary amylose/amylopectin, amylose and their interaction on nutrient apparent digestibility of broilers (air-dry basis)

组别 Groups	<i>n</i>	能量 Energy	粗蛋白质 CP	干物质 DM	粗脂肪 EE	粗纤维 CF	钙 Ca	
I	5	79.44 ^{ab}	65.84 ^{abc}	75.19 ^{ab}	61.93 ^{cd}	22.10	63.04 ^{bcde}	
II	5	84.14 ^a	73.79 ^a	82.70 ^a	86.69 ^a	20.54	77.54 ^a	
III	5	82.09 ^a	70.60 ^{ab}	78.77 ^{ab}	84.30 ^a	20.41	70.18 ^{abc}	
IV	5	73.71 ^{bc}	60.25 ^{cd}	72.16 ^b	76.69 ^{abc}	20.49	59.73 ^{cdef}	
V	5	68.17 ^{cd}	70.01 ^{abc}	62.63 ^c	65.88 ^{bcd}	20.65	52.21 ^{ef}	
VI	5	80.65 ^{ab}	65.13 ^{abc}	77.35 ^{ab}	79.39 ^{ab}	23.70	74.35 ^{ab}	
VII	5	78.28 ^{ab}	65.16 ^{abc}	75.65 ^{ab}	72.22 ^{abcd}	25.53	68.35 ^{abc}	
VIII	5	78.20 ^{ab}	69.38 ^{abc}	74.89 ^{ab}	77.32 ^{abc}	26.08	70.11 ^{abc}	
IX	5	76.16 ^{ab}	65.46 ^{abc}	72.56 ^b	76.16 ^{abc}	19.58	66.45 ^{abcd}	
X	5	65.66 ^d	53.65 ^d	60.12 ^c	58.26 ^d	18.22	49.38 ^f	
XI	5	79.12 ^{ab}	64.33 ^{abc}	76.18 ^{ab}	64.09 ^{bcd}	30.32	71.83 ^{abc}	
XII	5	64.86 ^d	60.76 ^{bcd}	61.80 ^c	60.30 ^{cd}	33.84	53.54 ^{def}	
	0.11	15	81.02 ^a	69.02 ^a	78.52 ^a	77.37 ^a	20.95	68.03 ^a
直链/支链淀粉	0.23	15	76.26 ^a	63.12 ^{ab}	72.35 ^b	73.99 ^a	20.65	64.08 ^{ab}
Amylose/amylopectin	0.35	15	77.61 ^{ab}	66.78 ^a	74.54 ^{ab}	75.12 ^a	19.59	68.30 ^a
	0.47	15	69.51 ^c	60.77 ^b	67.63 ^c	61.21 ^b	22.19	59.61 ^b
淀粉酶	0	20	75.15	62.31	71.44	68.00	20.40	59.08
Amylase/(U/kg)	3 000	20	76.73	66.30	75.21	71.17	21.59	67.96
	6 000	20	76.30	68.63	73.92	76.00	20.64	66.76
SEM			0.79	1.01	0.78	1.47	1.58	1.37
<i>P</i> 值	直链/支链淀粉		<0.001	0.004	<0.001	0.002	0.619	0.016
<i>P</i> -value	Amylose/amylopectin							
	淀粉酶 Amylase		0.510	0.054	0.218	0.089	0.835	0.074
	直链/支链淀粉×淀粉酶		0.004	0.019	<0.001	0.048	0.049	0.004
	Amylose/amylopectin×amylase							

3 讨论

3.1 饲料直链/支链淀粉和淀粉酶及其互作效应对肉鸡生长性能的影响

能量参与机体几乎所有生命活动, 淀粉的利用率决定了能量的利用率。直链/支链淀粉是体现淀粉结构的一个很重要的影响因素^[9-11], 与肠道内淀粉酶的活性共同影响着淀粉的消化利用, 从而影响其生长性能^[6,12]。宾石玉等^[13]研究发现, 直链/支链淀粉为 0.23 的饲料组断奶仔猪 ADG 和 F/G 均最佳, 直链/支链淀粉为 0.11 和 0.47 的饲料组其生长性能显著降低。戴求仲等^[14]

研究了饲料直链/支链淀粉对 29~56 日龄黄羽肉仔鸡生长性能的影响, 结果发现采食直链/支链淀粉为 0.11 的饲料组的 ADFI 显著高于其他组, 但是 F/G 却以直链/支链淀粉为 0.23 的饲料组最低。Jun 等^[15]对 16 头断奶仔猪分别饲喂直链/支链淀粉为 0.25 和 0.43 的饲料, 发现对仔猪生长性能影响不显著, 但影响仔猪的肝脏功能及脂肪代谢。Yang 等^[16]与 Camp 等^[3]也发现了相似的结果。这是因为淀粉能在小肠内被分解为葡萄糖, 一部分进入血液提供血糖, 还有一部分会在小肠上皮细胞转化为乳酸和丙酮酸, 乳酸通过乳酸循环再次转化为葡萄糖进入血液, 丙酮酸则通过糖异生

转化为葡萄糖^[17],当机体血糖浓度不足时为机体提供血糖,当机体血糖充足时则转化为脂肪酸。饲料中支链淀粉含量较高时,其消化速度快,短时间内能产生大量的葡萄糖,远远超出机体所需要的葡萄糖,多余部分则以脂肪酸的形式储存起来,同时会产生较高较快的血糖、胰岛素反应,影响氨基酸吸收^[2,18]。饲料中直链淀粉含量较高时,其消化速度较慢,分解的葡萄糖不足以以为机体提供血糖,即能量供应不足,机体则分解自身的蛋白质和脂肪补充机体需要,从而影响动物生长^[19]。因此,从本试验结果来看,饲喂直链/支链淀粉为0.23的饲料有利于动物生长性能的发挥。

淀粉酶可补充内源酶的不足,促进淀粉的消化吸收,从而改善动物的生长性能。Zhu等^[20]评估酶补充对1~21日龄肉鸡生长性能和消化参数的影响,淀粉酶添加组提高肉鸡ADG,降低肉鸡胰腺的相对重量。刘迎春等^[21]体外试验发现,饲料中添加低温 α -淀粉酶可以显著提高饲料在胃肠道的消化率,体内试验发现100 g/t低温 α -淀粉酶可显著提高肉鸡ADG,并降低F/G。Oliveira等^[22]研究结果表明外源 α -淀粉酶对肉鸡增重的影响不显著,但显著提高其采食量,降低饲料转化率。本试验结果表明,添加3 000 U/kg低温 α -淀粉酶对肉鸡ADG和F/G影响不显著,但是添加6 000 U/kg显著降低了肉鸡的ADG。原因可能是高剂量的淀粉酶的添加会抑制内源淀粉酶的分泌,从而影响动物的生长^[5]。

本试验中,饲料直链/支链淀粉显著影响肉鸡的生长性能,高剂量的淀粉酶显著降低肉鸡的ADG,对F/G影响不显著,二者的互作效应对肉鸡生长性能影响不显著。这可能是因为淀粉酶的添加梯度设定太少,未达到最佳添加量。

3.2 饲料直链/支链淀粉和淀粉酶及其互作效应对营养物质表观消化率的影响

饲料中直链/支链淀粉不仅影响能量的利用率,对其他营养物质的利用率也有一定影响。淀粉中支链淀粉含量和淀粉酶活性是影响淀粉消化的重要因素,决定其淀粉的来源;体外试验表明,大米的快速消化淀粉(RDS)含量最高,大麦和玉米的缓慢消化淀粉(SDS)含量高于大米,豌豆中SDS含量更高,大米中抗性淀粉(RS)含量较高;体内试验表明,大麦的有机物表观消化率较高,粗蛋白

质表观消化率以大米组较高^[23]。张傲然^[24]研究发现,玉米的直链/支链淀粉与可消化淀粉(DS)含量呈显著的负相关,与RS含量呈显著正相关;且饲料中直链/支链淀粉显著影响仔猪回肠淀粉消化率、消化能及能量消化率。蒲俊宁等^[25]对育肥猪饲喂直链/支链淀粉分别为0.26、0.37、0.47和0.98的饲料,结果发现饲料总能、粗灰分、粗脂肪及粗蛋白质表观消化率随直链/支链淀粉的增加而显著降低。Liu等^[26]研究饲料直链淀粉/支链淀粉分别为0、0.14、0.32、0.56、0.92对鱼生长的影响,发现饲料直链淀粉/支链淀粉可影响其干物质、粗蛋白质、粗脂肪、淀粉以及能量消化率,且直链淀粉/支链淀粉为0.32时,生长性能达到最佳。本试验结果表明,随着饲料直链淀粉/支链淀粉的增加,饲料能量、粗蛋白质、干物质、粗脂肪和钙表观消化率呈显著降低,这与上述研究结果一致,可能是因为直链淀粉含量的增加,机体不易将其消化,导致淀粉、能量、粗蛋白质、粗脂肪和钙等营养物质表观消化率降低,从而影响动物的生长发育^[2,25]。

淀粉酶可催化淀粉分子中的 α -1,4-糖苷键和 α -1,6糖苷键^[27],最终产生葡萄糖、麦芽糖和糊精。外源淀粉酶的添加可以补充内源酶的不足,提高淀粉及其他营养物质的消化率。Amerah等^[28]在肉鸡饲料中添加淀粉酶,发现其氮消化率和表观回肠消化能均显著提高,且与木聚糖酶和蛋白酶的添加有协同作用。Yuan等^[29]研究了不同淀粉酶对肉鸡玉米淀粉利用率的影响,结果表明,1 500 U/kg的 α -1,4-淀粉酶显著提高了能量利用率并降低了饲料转化率;补充400 U/kg α -1,6-异淀粉酶显著降低了支链淀粉和总淀粉的消化率。但也有学者报道,外源添加淀粉酶对饲喂玉米饲料鸡的生长性能没有显著影响,但改善了饲喂粉状玉米饲料鸡的ADG、饲料转化率和表观氮校正代谢能^[30],可能是由于消化道中淀粉消化增加所致。提示外源淀粉酶的添加增强其胰腺淀粉酶的活性,从而导致营养物质消化率的提高^[6],淀粉酶会破坏细胞内淀粉和蛋白质的相互作用^[31],也可破坏淀粉与脂质形成的复合物^[32-33],提高淀粉的消化。本试验结果表明,淀粉酶的添加对营养物质表观消化率无显著影响,可能是由于淀粉酶的添加量梯度设定太少,因此未达到显著水平。

4 结论

① 饲料直链淀粉/支链淀粉为 0.23 时,可显著提高肉鸡的 ADG,降低肉鸡的 F/G;淀粉酶添加量为 3 000 U/kg 时,肉鸡的 ADG 达到最大。

② 随着饲料直链淀粉/支链淀粉的增加,肉鸡能量、粗蛋白质、干物质、粗脂肪和钙表观消化率逐渐降低,且当饲料直链淀粉/支链淀粉为 0.47 时,显著降低其营养物质表观消化率;淀粉酶对营养物质表观消化率无显著影响,但随着淀粉酶添加量的增加有提高的趋势,以 3 000 U/kg 为最佳。

③ 综上所述,饲料直链淀粉/支链淀粉和淀粉酶的添加可影响肉鸡的生长性能和营养物质表观消化率,且二者有显著的互作效应。在本试验下,饲料直链淀粉/支链淀粉为 0.23,淀粉酶添加量为 3 000 U/kg 时,对肉鸡的生长有最佳效果。

参考文献:

[1] YIN Y L, DENG Z Y, HUANG H L, et al. Nutritional and health functions of carbohydrate for pigs [J]. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 2004, 13 (4): 523-538.

[2] 马杰,唐小懿,陈清华,等.动物饲料淀粉的消化特性及淀粉酶的应用 [J]. *动物营养学报*, 2018, 30 (8): 2925-2930.

[3] CAMP L K, SOUTHERN L L, BIDNER T D. Effect of carbohydrate source on growth performance, carcass traits, and meat quality of growing-finishing pigs [J]. *Journal of Animal Science*, 2003, 81 (10): 2488-2495.

[4] REGMI P R, METZLER-ZEBELI B U, GÄNZLE M G, et al. Starch with high amylose content and low *in vitro* digestibility increases intestinal nutrient flow and microbial fermentation and selectively promotes bifidobacteria in pigs [J]. *The Journal of Nutrition*, 2011, 141 (7): 1273-1280.

[5] 蒋正宇,周岩民,王恬.外源 α -淀粉酶对 21 日龄肉鸡消化器官发育、肠道内源酶活性的影响 [J]. *畜牧兽医学报*, 2007, 38 (7): 672-677.

[6] GRACIA M I, ARANÍBAR M J, LÁZARO R, et al. α -amylase supplementation of broiler diets based on corn [J]. *Poultry Science*, 2003, 82 (3): 436-442.

[7] 贺建华.饲料分析与检测 [M].北京:中国农业出版社, 2005.

[8] 邓雪娟,刘国华,蔡辉益,等.分光光度计法测定家禽

饲料和食糜中二氧化钛 [J]. *饲料工业*, 2008, 29 (2): 57-58.

[9] 李志伟,钟雨越,吴权明,等.高直链玉米淀粉的理化特性研究 [J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2014, 42 (7): 53-60.

[10] ZHANG G Y, AO Z H, HAMAKER B R. Slow digestion property of native cereal starches [J]. *Biomacromolecules*, 2006, 7 (11): 3252-3258.

[11] TESTER R F, KARKALAS J, QI X. Starch—composition, fine structure and architecture [J]. *Journal of Cereal Science*, 2004, 39 (2): 151-165.

[12] GRACIA M I, LÁZARO R, LATORRE M A, et al. Influence of enzyme supplementation of diets and cooking-flaking of maize on digestive traits and growth performance of broilers from 1 to 21 days of age [J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2009, 150 (3/4): 303-315.

[13] 宾石玉,印遇龙,黄瑞林,等.淀粉来源对断奶仔猪生产性能及血液生化指标的影响 [J]. *动物营养学报*, 2007, 19 (2): 99-104.

[14] 戴求仲,李湘,张石蕊,等.日粮直/支链淀粉比对黄羽肉仔鸡生产性能和养分利用率的影响 [J]. *动物营养学报*, 2008, 20 (3): 249-255.

[15] HE J, CHEN D W, YU B. Metabolic and transcriptomic responses of weaned pigs induced by different dietary amylose and amylopectin ratio [J]. *PLoS One*, 2010, 5 (11): e15110.

[16] YANG C, CHEN D W, YU B, et al. Effect of dietary amylose/amylopectin ratio on growth performance, carcass traits, and meat quality in finishing pigs [J]. *Meat Science*, 2015, 108: 55-60.

[17] MITHIEUX G. New data and concepts on glutamine and glucose metabolism in the gut [J]. *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care*, 2001, 4 (4): 267-271.

[18] WOLEVER T M S. Dietary carbohydrates and insulin action in humans [J]. *British Journal of Nutrition*, 2000, 83 (Suppl. 1): S97-S102.

[19] SO P W, YU W S, KUO Y T, et al. Impact of resistant starch on body fat patterning and central appetite regulation [J]. *PLOS One*, 2007, 2 (12): e1309.

[20] ZHU H L, HU L L, HOU Y Q, et al. The effects of enzyme supplementation on performance and digestive parameters of broilers fed corn-soybean diets [J]. *Poultry Science*, 2014, 93 (7): 1704-1712.

[21] 刘迎春,辛守帅,张相伦,等.低温 α -淀粉酶对饲料淀粉酶解及肉鸡生长性能的影响 [J]. *中国家禽*,

- 2016, 38(23):24-27.
- [22] OLIVEIRA H B, SILVA M I A, MESQUITA F R. Supplementation levels of exogenous alpha-amylase in broilers diets [J]. Genetics and Molecular Research, 2017, 16(3):gmr16038766
- [23] DOTI S, SUÁREZ-BELLOCH J, LATORRE M A, et al. Effect of dietary starch source on growth performances, digestibility and quality traits of growing pigs [J]. Livestock Science, 2014, 164:119-127.
- [24] 张邀然. 玉米中淀粉支/直比及膨化加工对淀粉和能量消化率影响的研究[D]. 硕士学位论文. 武汉:华中农业大学, 2010.
- [25] 蒲俊宁, 王华杰, 陈代文, 等. 饲料直链/支链淀粉比对育肥猪生长性能、营养物质表观消化率、肠道食糜菌群数量与挥发性脂肪酸浓度以及肌肉脂肪含量的影响[J]. 动物营养学报, 2018, 30(12):4874-4885.
- [26] LIU X H, YE C X, YE J D, et al. Effects of dietary amylose/amylopectin ratio on growth performance, feed utilization, digestive enzymes, and postprandial metabolic responses in juvenile obscure puffer *Takifugu obscurus* [J]. Fish Physiology and Biochemistry, 2014, 40(5):1423-1436.
- [27] VAN DER MAAREL M J E C, VAN DER VEEN B, UITDEHAAG J C M, et al. Properties and applications of starch-converting enzymes of the α -amylase family [J]. Journal of Biotechnology, 2002, 94(2):137-155.
- [28] AMERAH A M, ROMERO L F, AWATI A, et al. Effect of exogenous xylanase, amylase, and protease as single or combined activities on nutrient digestibility and growth performance of broilers fed corn/soy diets [J]. Poultry Science, 2017, 96(4):807-816.
- [29] YUAN J M, WANG X Y, YIN D F, et al. Effect of different amylases on the utilization of cornstarch in broiler chickens [J]. Poultry Science, 2017, 96(5):1139-1148.
- [30] KACZMAREK S A, ROGIEWICZ A, MOGIELNICKA M, et al. The effect of protease, amylase, and non-starch polysaccharide-degrading enzyme supplementation on nutrient utilization and growth performance of broiler chickens fed corn-soybean meal-based diets [J]. Poultry Science, 2014, 93(7):1745-1753.
- [31] AMERAH A M. Interactions between wheat characteristics and feed enzyme supplementation in broiler diets [J]. Animal Feed Science and Technology, 2015, 199:1-9.
- [32] JANE J L. Current understanding on starch granule structures [J]. Journal of Applied Glycoscience, 2006, 53(3):205-213.
- [33] SINGH N, SINGH S, ISONO N, et al. Diversity in amylopectin structure, thermal and pasting properties of starches from wheat varieties/lines [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2009, 45(3):298-304.

Effects of Dietary Amylose/Amylopectin and Amylase on Growth Performance of Broilers and Their Interaction Effect

MA Jie¹ YANG Tai¹ YANG Mei¹ CHEN Qinghua^{1*} LIU Wei²

(1. College of Animal Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; 2. Shandong Longkete Enzyme Preparation Co., Ltd., Linyi 276400, China)

Abstract: The purpose of this experiment was to study the effects of amylose/amylopectin and amylase on growth performance and nutrient apparent digestibility of broilers. The experiment used a 4×3 two factor design, and a total of 960 Arbor Acres (AA) broilers at 1 day of age were randomly divided into 12 groups with 5 replicats in each group and 16 broilers in each replicat. The dietary amylose/amylopectin were 0.11, 0.23, 0.35 and 0.47, and the addition amounts of amylase were 0, 3 000 and 6 000 U/kg, respectively. The test period was 21 d, and the growth performance and nutrient apparent digestibility of broilers were determined. The results showed as follows: 1) the average daily gain of broilers in the group with amylose/amylopectin of 0.23 significantly increased ($P<0.05$), and the feed/gain was the highest in the group with amylose/amylopectin of 0.47 ($P<0.05$), the other groups were not significantly different ($P>0.05$); the addition of 6 000 U/kg amylase in the diets significantly reduced the average daily gain of broilers ($P<0.05$), but the effect on the feed/gain was not significant ($P>0.05$); the interaction effect was not significant ($P>0.05$). 2) The apparent digestibility of energy, crude protein, dry matter, crude fat and calcium were the highest in the group with amylose/amylopectin of 0.11 ($P<0.05$), and the lowest in the group with amylose/amylopectin of 0.47 ($P<0.05$); the addition of amylase in diets had no significant effect on nutrient apparent digestibility ($P>0.05$); the interaction effect had significant effect on nutrient apparent digestibility ($P<0.05$). In conclusion, feeding diets with amylose/amylopectin of 0.23 and amylase addition of 3 000 U/kg can improve the growth performance of broilers. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2019, 31(7):3086-3094]

Key words: amylose/amylopectin; amylase; broiler; growth performance; interaction effect