

白酒糟酵母培养物对肉仔鸡生长性能、血清抗氧化指标和肠道形态结构的影响

周建民¹ 马友彪¹ 张海军^{1*} 王 晶¹ 武书庚^{1*} 齐广海¹ 刘建忠² 吕 亮²

(1. 中国农业科学院饲料研究所, 农业部饲料生物技术重点开放实验室, 北京 100081;

2. 路德生物环保技术(古蔺)有限公司, 泸州 646509)

摘 要: 本试验旨在研究白酒糟酵母培养物(DGYC)对肉仔鸡生长性能、血清抗氧化指标和肠道形态结构的影响,以确定肉仔鸡饲料中DGYC的适宜添加水平。选取525只1日龄健康的爱拔益加肉仔鸡公雏,随机分为5个组,每组7个重复,每个重复15只鸡。对照组饲喂基础饲料,试验组在基础饲料基础上分别添加0.25%、0.50%、1.00%和2.00%的DGYC。试验期42 d。结果表明:1)与对照组相比,饲料添加1.00%DGYC提高了肉仔鸡生长后期(22~42日龄)平均日增重($0.05 \leq P < 0.10$),显著降低了料重比($P < 0.05$),且均随DGYC添加水平提高呈二次曲线变化($P < 0.05$)。2)与对照组相比,饲料添加0.25%DGYC显著降低了肉仔鸡21日龄腹脂率($P < 0.05$),显著提高了42日龄腿肌率($P < 0.05$);饲料添加0.50%和1.00%DGYC有降低肉仔鸡42日龄胸肌滴水损失的趋势($0.05 \leq P < 0.10$)。3)饲料添加DGYC线性提高了肉仔鸡21和42日龄血清谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)、超氧化物歧化酶(SOD)活性和总抗氧化能力(T-AOC)($P < 0.05$);饲料添加DGYC二次性提高了肉仔鸡21日龄血清GSH-Px活性以及42日龄血清SOD活性和T-AOC($P < 0.05$)。与对照组相比,饲料添加1.00%DGYC显著提高了肉仔鸡21日龄血清GSH-Px活性($P < 0.05$);饲料添加0.50%、1.00%和2.00%DGYC显著提高了肉仔鸡21日龄血清SOD活性($P < 0.05$),显著提高了肉仔鸡21和42日龄血清T-AOC($P < 0.05$);饲料添加0.50%和1.00%DGYC显著提高了肉仔鸡42日龄血清SOD活性($P < 0.05$)。4)1.00%DGYC添加组肉仔鸡21日龄空肠绒毛高度和42日龄绒毛高度/隐窝深度(V/C)显著高于对照组($P < 0.05$),且均随DGYC添加水平提高呈二次性升高($P < 0.05$)。5)肉仔鸡生长性能、血清抗氧化指标和空肠形态结构随DGYC添加水平升高存在二次曲线效应。二次曲线拟合结果表明,DGYC添加水平为0.9%~1.1%时,空肠形态结构最佳;添加水平为1.1%~1.2%时,生长性能和血清抗氧化能力最佳。由此可见,饲料添加DGYC能提高肉仔鸡血清抗氧化能力,改善空肠黏膜形态结构,从而改善生长性能。以肉仔鸡生长性能、血清抗氧化指标和肠黏膜形态结构为判断指标,推荐肉仔鸡基础饲料中DGYC添加水平为0.9%~1.2%。

关键词: 白酒糟酵母培养物; 生长性能; 抗氧化指标; 肠道形态结构

中图分类号:S816

文献标识码:A

文章编号:1006-267X(2019)05-2357-10

自欧盟2006年起全面禁止在食品动物生产中使用饲用抗生素,禁用饲用抗生素已经成为各

国的共同关注,绿色、安全、无公害的抗生素替代性添加物的开发和利用成为饲料行业的研究和应

收稿日期:2018-10-24

基金项目:北京市家禽创新团队(BAIC04-2018);中国农业科学院重大产出科研选题(CAAS-ZDXT2018008-1)

作者简介:周建民(1993—)男,山东威海人,硕士研究生,从事单胃动物营养研究。E-mail: zjmspeed@163.com

* 通信作者:张海军,副研究员,硕士生导师,E-mail: fowlfeed@163.com;武书庚,研究员,博士生导师,E-mail: wushugeng@caas.cn

用热点。白酒糟酵母培养物(DGYC)是以白酒糟作为培养基,经过固态高密度培养、可控自溶、低温干燥等技术生产的一种新型饲料原料,富含粗蛋白质、寡糖、游离氨基酸、B族维生素、有益菌、小肽和消化酶等。研究表明,酵母培养物具有提高营养物质消化率^[1],促进动物生长^[2-3],改善肠黏膜结构、维持肠道菌群平衡^[4],提高机体免疫^[5]等作用。酵母培养物已在反刍动物饲料中成熟应用,在肉鸡上研究则较少。本团队前期研究表明,不同能量水平饲料添加0.5%和1.0%的DGYC均能提高肉仔鸡体增重,改善料重比^[6],但未能给出具体适宜添加水平,也未考察DGYC对肉仔鸡肠道形态结构的影响。因此,本试验旨在通过观测饲料中添加不同水平DGYC对肉仔鸡生长性能、肉品质、血清抗氧化指标和肠道形态结构的影响,以确定DGYC的适宜添加水平,为其在肉仔鸡饲料中的应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

爱拔益加(AA)肉仔鸡购自华都肉鸡公司。

DGYC由路德生物环保技术(古蔺)有限公司提供,主要成分含量:粗蛋白质26.80%、粗脂肪7.85%、粗纤维13.91%、粗灰分9.15%、水分10.60%、葡聚糖0.80%、甘露聚糖5.2%和禽表观代谢能10.82 MJ/kg。

1.2 试验设计与饲料

采用单因素试验设计,选取525只体重相近、健康的1日龄AA肉仔鸡雏鸡,随机分为5组(每组7个重复,每个重复15只鸡),对照组饲喂基础饲料,试验组饲喂在基础饲料中分别添加0.25%、0.50%、1.00%和2.00%DGYC的饲料。基础饲料参照《鸡饲养标准》(NY/T 33—2004),结合《AA肉仔鸡饲养手册》配制,饲料组成及营养水平见表1。试验期42 d。

1.3 饲养管理

试鸡自由采食、饮水,24 h光照。试验前3 d室温33℃,此后每周降低2℃,直到24℃,并维持在24℃。按照《AA肉仔鸡饲养管理指南》防疫和消毒,试验鸡舍良好通风。试验过程中,每天08:30和14:30分别记录鸡舍温度和湿度,清洁卫生,记录死淘鸡数。

表1 饲料组成及营养水平(风干基础)

Table1 Composition and nutrient levels of diets (air-dry basis)

%

项目 Items	1~21日龄 1 to 21 days of age					22~42日龄 22 to 42 days of age				
	对照 Control	0.25% DGYC	0.50% DGYC	1.00% DGYC	2.00% DGYC	对照 Control	0.25% DGYC	0.50% DGYC	1.00% DGYC	2.00% DGYC
原料 Ingredients										
玉米 Corn	56.410	56.198	55.935	55.422	54.700	60.120	59.900	59.742	59.521	58.894
豆粕 Soybean meal	32.500	32.450	32.430	32.380	32.050	27.350	27.280	27.180	26.880	26.480
菜籽粕 Rapeseed meal	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500
棉籽粕 Cottonseed meal	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500
大豆油 Soybean oil	2.930	2.950	2.980	3.030	3.100	3.780	3.820	3.820	3.830	3.860
磷酸氢钙 CaHPO ₄	1.910	1.910	1.910	1.905	1.890	1.640	1.640	1.640	1.635	1.619
石粉 Limestone	1.230	1.222	1.222	1.220	1.210	1.140	1.140	1.140	1.138	1.129
食盐 NaCl	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300
DL-蛋氨酸 DL-Met	0.220	0.220	0.221	0.230	0.230	0.130	0.130	0.133	0.136	0.141
L-赖氨酸盐酸盐 L-Lys·HCl	0.140	0.140	0.141	0.150	0.150	0.160	0.160	0.163	0.173	0.183
L-苏氨酸 L-Thr	0.040	0.040	0.041	0.043	0.050	0.060	0.060	0.062	0.067	0.074
维生素预混料 Vitamin premix ¹⁾	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020

续表 1

项目 Items	1~21 日龄 1 to 21 days of age					22~42 日龄 22 to 42 days of age				
	对照 Control	0.25% DGYC	0.50% DGYC	1.00% DGYC	2.00% DGYC	对照 Control	0.25% DGYC	0.50% DGYC	1.00% DGYC	2.00% DGYC
矿物质预混料 Mineral premix ²⁾	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200
氯化胆碱 Choline chloride	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
白酒糟酵母培养物 DGYC		0.250	0.500	1.000	2.000		0.250	0.500	1.000	2.000
合计 Total	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
营养水平 Nutrient levels ³⁾										
代谢能 ME/(MJ/kg)	12.34	12.34	12.34	12.34	12.34	12.76	12.76	12.76	12.76	12.76
粗蛋白质 CP	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	20.15	20.15	20.15	20.15	20.15
钙 Ca	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
可利用磷 AP	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
赖氨酸 Lys	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
蛋氨酸 Met	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
蛋氨酸+半胱氨酸 Met+Cys	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
苏氨酸 Thr	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69
色氨酸 Try	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20

¹⁾ 维生素预混料为每千克饲料提供 Vitamin premix provided the following per kg of diets: VA 12 500 IU ,VD₃ 2 500 IU , VE 18.75 mg ,VK₃ 2.65 mg ,VB₁ 2 mg ,VB₂ 6 mg ,VB₁₂ 0.025 mg ,生物素 biotin 0.032 5 mg ,叶酸 folic acid 1.25 mg ,泛酸 pantothenate 12 mg ,烟酸 niacin 50 mg。

²⁾ 矿物质预混料为每千克饲料提供 Mineral premix provided the following per kg of diets: Cu 8 mg ,Zn 75 mg ,Fe 80 mg , Mn 100 mg ,Se 0.15 mg ,I 0.35 mg。

³⁾ 营养水平均为计算值。Nutrient levels were calculated values.

1.4 测定指标与方法

1.4.1 生长性能

分别于肉仔鸡 21 和 42 日龄,以重复为单位,早晨空腹称重鸡只,计算平均体重(ABW)和平均日增重(ADG);试验期间以重复为单位记录耗料量,计算试验前期(1~21 日龄)、后期(22~42 日龄)和全期(1~42 日龄)的平均日采食量(ADFI)和料重比(F/G)。

1.4.2 胴体性能和肉品质

分别于试验第 21 和 42 天,每重复选取 1 只接近平均体重试鸡,记录活重,颈静脉放血致死,称重全净膛、胸肌、腿肌和腹脂重。并计算全净膛率、胸肌率、腿肌率和腹脂率。计算公式如下:

$$\text{全净膛率}(\%) = \text{全净膛重} / \text{宰前体重} \times 100;$$

$$\text{胸肌率}(\%) = \text{两侧胸肌重} / \text{全净膛重} \times 100;$$

$$\text{腿肌率}(\%) = \text{两侧腿净肌肉重} / \text{全净膛重} \times 100;$$

$$\text{腹脂率}(\%) = \text{腹脂重} / (\text{全净膛重} + \text{腹脂重}) \times 1000。$$

试验第 42 天,每重复选取 1 只接近平均体重的试鸡,颈静脉放血致死,剥离右侧胸肌,测定肌

肉滴水损失、蒸煮损失、剪切力和 pH。测量方法参考文献[7]。

1.4.3 血清抗氧化指标

分别于试验的第 21 和 42 天,每组随机选取 1 只接近平均体重的试鸡,空腹无菌翅静脉采血 5 mL,室温静置 2 h,3 000 r/min 离心 10 min,分离血清置于-20℃冷冻贮存。

血清抗氧化指标:比色法测定谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)活性和总抗氧化能力(T-AOC),黄嘌呤氧化酶法测定超氧化物歧化酶(SOD)活性,硫代巴比妥酸法测定丙二醛(MDA)含量。测定所用试剂盒购自南京建成生物工程研究所,按照试剂盒说明操作。

1.4.4 肠道形态结构

分别于试验的第 21 和 42 天,每重复随机选取 1 只鸡,宰杀后取空肠(胆管后麦克尔憩室前的中部)5 cm,用 Tris 缓冲液漂洗,切成 5 个相等部分,在 10%中性福尔马林中固定。常规方法制作石蜡切片,即经过组织脱水、透明、包埋、切片、展片、苏木精-伊红(HE)染色和封片等程序,光学显微镜

下测定绒毛高度和隐窝深度,并计算绒毛高度/隐窝深度(V/C)。每个切片随机抽取5个非连续性视野,每个视野统计3组数据,绒毛长度指绒毛顶端到绒毛基部的长度,隐窝深度是指肠腺底部到2根绒毛之间基部开口处的距离。

1.5 数据处理

采用SPSS 16.0软件的one-way ANOVA程序进行方差分析,采用Duncan氏法进行组间多重比较,用Contrast命令检验DGYC的线性和二次效应,以 $P < 0.05$ 为差异显著性标准, $0.05 \leq P < 0.10$ 为有差异显著性趋势标准。

2 结果

2.1 DGYC对肉仔鸡生长性能的影响

由表2可知,试验前期(1~21日龄),饲料添加DGYC对肉仔鸡ABW、ADG、ADFI和F/G均无显著影响($P > 0.05$)。试验后期(22~42日龄),肉仔鸡ADG和F/G随DGYC添加水平提高呈二次曲线变化($P < 0.05$),其中,1.00%DGYC添加组

肉仔鸡ADG较对照组有提高趋势($0.05 \leq P < 0.10$),0.50%和1.00%DGYC添加组F/G显著低于对照组($P < 0.05$)。DGYC添加组肉仔鸡试验后期ADFI均低于对照组,但差异不显著($P > 0.05$)。试验全期(1~42日龄),饲料添加DGYC对肉仔鸡ABW、ADG、ADFI和F/G均无显著影响($P > 0.05$)。

2.2 DGYC对肉仔鸡胴体性能和肉品质的影响

由表3可知,饲料添加DGYC未见显著影响肉仔鸡21和42日龄全净膛率和胸肌率($P > 0.05$)。与对照组相比,0.25%DGYC添加组肉仔鸡21日龄腹脂率显著降低($P < 0.05$),且腹脂率随DGYC添加水平提高呈二次曲线变化($P < 0.05$),并以0.25%DGYC添加组最低。0.25%DGYC添加组肉仔鸡42日龄腿肌率显著高于对照组($P < 0.05$)。饲料添加DGYC也未见显著影响肉仔鸡42日龄胸肌的滴水损失、蒸煮损失、剪切力和pH($P > 0.05$),饲料添加1.00%DGYC有降低肉仔鸡42日龄胸肌滴水损失的趋势($0.05 \leq P < 0.10$)。

表2 DGYC对肉仔鸡生长性能的影响

Table 2 Effects of DGYC on growth performance of broilers

项目 Items	DGYC 添加水平 DGYC supplemental level/%					SEM	P 值 P-value		
	0	0.25	0.50	1.00	2.00		处理 Treatment	线性 Linear	二次 Quadratic
1~21 日龄 1 to 21 days of age									
平均体重 ABW/g	874.27	879.92	883.21	886.24	870.81	6.828	0.856	0.982	0.500
平均日增重 ADG/g	40.14	39.39	39.13	39.22	38.95	0.295	0.712	0.288	0.669
平均日采食量 ADFI/g	51.98	53.59	53.51	53.14	52.41	0.326	0.360	0.727	0.055
料重比 F/G	1.34	1.36	1.37	1.36	1.35	0.006	0.171	0.390	0.135
22~42 日龄 22 to 42 days of age									
平均体重 ABW/g	2 814.65	2 831.83	2 869.33	2 915.79	2 800.48	18.926	0.235	0.651	0.534
平均日增重 ADG/g	87.69	86.32	88.11	90.86	86.94	0.517	0.059	0.296	0.002
平均日采食量 ADFI/g	192.39	181.59	176.10	177.29	178.76	1.206	0.124	0.226	0.233
料重比 F/G	2.19 ^c	2.11 ^{bc}	2.05 ^{ab}	1.94 ^a	2.06 ^{abc}	0.026	0.013	0.057	0.003
1~42 日龄 1 to 42 days of age									
平均日增重 ADG/g	61.61	60.36	60.68	62.28	61.37	0.362	0.524	0.940	0.236
平均日采食量 ADFI/g	114.92	113.13	112.68	113.39	111.95	0.578	0.307	0.263	0.841
料重比 F/G	1.87	1.88	1.86	1.79	1.82	0.117	0.353	0.347	0.306

同行数据肩标无字母或相同字母表示差异不显著($P > 0.05$),不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。下表同。

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

表 3 DGYC 对肉仔鸡屠宰性能和肉品质的影响

Table 3 Effects of DGYC on slaughter performance and meat quality of broilers

项目 Items	DGYC 添加水平 DGYC supplemental level/%					SEM	P 值 P-value		
	0	0.25	0.50	1.00	2.00		处理 Treatment	线性 Linear	二次 Quadratic
21 日龄 21 days of age									
全净膛率 Dressing percentage/%	78.35	78.04	76.73	77.22	77.39	0.361	0.644	0.291	0.385
胸肌率 Breast muscle rate/%	21.88	22.37	22.21	21.06	21.00	0.267	0.348	0.115	0.342
腿肌率 Leg muscle rate/%	17.59	17.85	17.82	18.70	17.42	0.213	0.439	0.864	0.358
腹脂率 Abdominal fat rate/%	15.79 ^a	11.92 ^b	13.81 ^{ab}	15.09 ^a	15.90 ^a	0.418	0.014	0.511	0.019
42 日龄 42 days of age									
全净膛率 Dressing percentage/%	67.82	67.86	68.41	67.47	66.77	0.267	0.452	0.233	0.201
胸肌率 Breast muscle rate/%	30.80	29.83	30.27	31.71	31.56	0.587	0.849	0.459	0.605
腿肌率 Leg muscle rate/%	21.96 ^b	24.73 ^a	22.24 ^b	23.63 ^{ab}	22.11 ^b	0.357	0.043	0.801	0.096
腹脂率 Abdominal fat rate/%	21.86	19.72	18.92	21.13	20.53	0.720	0.749	0.783	0.349
42 日龄 42 days of age									
滴水损失 Drip loss/%	7.81	7.14	6.70	5.74	7.03	0.259	0.060	0.117	0.110
蒸煮损失 Cooking loss/%	7.83	6.73	6.68	7.14	8.43	0.349	0.463	0.516	0.084
剪切力 Shear force/N	18.52	16.49	17.89	18.18	19.85	0.652	0.625	0.624	0.778
pH _{45 min}	6.18	6.26	6.39	6.30	6.26	0.034	0.180	0.137	0.268
pH _{24 h}	6.22	6.38	5.91	6.04	5.88	0.034	0.608	0.672	0.586

2.3 DGYC 对肉仔鸡血清抗氧化指标的影响

由表 4 可知, 饲料添加 DGYC 普遍改善肉仔鸡血清抗氧化状况。21 日龄时, 肉仔鸡血清 GSH-Px 活性随 DGYC 添加水平提高呈线性和二次提高 ($P < 0.05$), 其中 1.0% DGYC 添加组显著高于对照组 ($P < 0.05$); 与对照组相比, 0.50%、1.00% 和 2.00% DGYC 添加组肉仔鸡血清 SOD 活性和 T-AOC 均显著提高 ($P < 0.05$), 且均随 DGYC 添加水平提高而线性升高 ($P < 0.05$)。42 日龄时, 与对照组相比, 1.00% DGYC 添加组肉仔鸡血清 GSH-Px 活性有提高的趋势 ($0.05 \leq P < 0.10$), 且随着 DGYC 添加水平的提高线性升高 ($P < 0.05$); 饲料 DGYC 添加水平线性和二次提高了肉仔鸡血清 SOD 活性和 T-AOC ($P < 0.05$), 其中, 0.50% 和 1.00% DGYC 添加组肉仔鸡血清 SOD 活性显著高于对照组 ($P < 0.05$); 饲料添加 DGYC 显著提高了肉仔鸡血清 T-AOC ($P < 0.05$)。饲料添加 DGYC 对肉仔鸡 21 和 42 日龄血清 MDA 含量无显著影响 ($P > 0.05$)。

2.4 DGYC 对肉仔鸡肠道形态结构的影响

由表 5 可知, 与对照组相比, 饲料添加 1.00%

DGYC 显著提高了肉仔鸡 21 日龄空肠绒毛高度 ($P < 0.05$), 且空肠绒毛高度随饲料 DGYC 添加水平提高呈二次曲线变化 ($P < 0.05$)。饲料添加 DGYC 对肉仔鸡 21 日龄空肠隐窝深度和 V/C 影响不显著 ($P > 0.05$)。随饲料 DGYC 添加水平的提高, 肉仔鸡 42 日龄空肠隐窝深度和 V/C 呈线性和二次曲线变化 ($P < 0.05$), 其中, 0.50% 和 1.00% DGYC 添加组肉仔鸡 42 日龄空肠隐窝深度较对照组有降低趋势 ($0.05 \leq P < 0.10$), 空肠 V/C 显著高于对照组 ($P < 0.05$)。

2.5 肉仔鸡饲料中 DGYC 的适宜添加水平

由表 6 可知, 对 ADG 和 F/G 进行二次曲线拟合, 以 ADG 和 F/G 为判断依据, 肉仔鸡饲料中 DGYC 的适宜添加水平分别为 1.121% 和 1.206%; 对存在二次效应的肉仔鸡血清抗氧化指标拟合二次曲线, 以血清 GSH-Px (21 日龄)、SOD (42 日龄) 活性和 T-AOC (42 日龄) 为判断指标, 肉仔鸡饲料中 DGYC 的适宜添加水平分别为 1.148%、1.138% 和 1.245%; 以回肠绒毛高度 (21 日龄)、隐窝深度 (42 日龄) 和 V/C (42 日龄) 为判断指标, 二次曲线拟合结果表明肉仔鸡饲料中 DGYC 的适宜添加水平分别为 1.118%、0.910% 和 0.966%。

表 4 DGYC 对肉仔鸡血清抗氧化指标的影响

Table 4 Effects of DGYC on serum antioxidant indices of broilers

项目 Items	DGYC 添加水平 DGYC supplemental level/%					SEM	P 值 P-value		
	0	0.25	0.50	1.00	2.00		处理 Treatment	线性 Linear	二次 Quadratic
21 日龄 21 days of age									
谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/(U/mL)	652.63 ^b	666.23 ^b	688.51 ^{ab}	705.04 ^a	674.19 ^{ab}	5.979	0.046	0.042	0.046
超氧化物歧化酶 SOD/(U/mL)	65.81 ^b	67.53 ^b	73.35 ^a	76.19 ^a	75.16 ^a	0.868	<0.001	0.011	0.063
丙二醛 MDA/(nmol/mL)	3.31	3.53	3.58	3.27	3.14	0.064	0.145	0.163	0.057
总抗氧化能力 T-AOC/(U/mL)	7.58 ^c	8.02 ^{bc}	8.42 ^b	8.99 ^a	8.96 ^a	0.114	<0.001	<0.001	0.203
42 日龄 42 dasy of age									
谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/(U/mL)	663.65	680.36	736.08	800.16	716.55	16.093	0.054	0.039	0.129
超氧化物歧化酶 SOD/(U/mL)	72.26 ^b	74.15 ^{ab}	77.87 ^a	78.28 ^a	75.14 ^{ab}	0.730	0.035	0.042	0.021
丙二醛 MDA/(nmol/mL)	3.48	3.71	3.53	3.49	3.62	0.048	0.520	0.868	0.883
总抗氧化能力 T-AOC/(U/mL)	6.88 ^b	8.20 ^a	8.39 ^a	8.66 ^a	8.30 ^a	0.117	<0.001	<0.001	<0.001

表 5 DGYC 对肉仔鸡空肠绒毛高度、隐窝深度和 V/C 的影响

Table 5 Effects of DGYC on villus height , crypt depth and V/C in jejunum of broilers

项目 Items	DGYC 添加水平 DGYC supplemental level/%					SEM	P 值 P-value		
	0	0.25	0.50	1.00	2.00		处理 Treatment	线性 Linear	二次 Quadratic
21 日龄 21 days of age									
绒毛高度 Villus height/ μ m	691.96 ^b	708.23 ^b	912.63 ^{ab}	1026.29 ^a	776.70 ^b	40.031	0.026	0.063	0.045
隐窝深度 Crypt depth/ μ m	137.21	143.39	160.13	148.16	173.85	7.113	0.522	0.135	0.865
绒毛高度/隐窝深度 V/C	5.30	5.43	6.15	7.14	4.67	0.366	0.260	0.863	0.110
42 日龄 42 days of age									
绒毛高度 Villus height/ μ m	792.60	879.99	892.68	941.37	799.62	30.600	0.503	0.732	0.112
隐窝深度 Crypt depth/ μ m	181.01	178.63	145.48	143.96	205.50	8.194	0.076	0.792	0.018
绒毛高度/隐窝深度 V/C	4.61 ^b	5.17 ^{ab}	6.26 ^a	6.75 ^a	4.10 ^b	0.292	0.012	0.751	0.002

表 6 DGYC 的最适添加水平

Table 6 Optimal supplemental level of DGYC

项目 Items	日龄 Days of age	公式 Equation	P 值 P-value	R ²	最适添加水平 Optimal supplemental level/%
平均日增重 ADG/g	22~42	$y = -4.023x^2 + 9.017x + 85.131$	0.005	0.280	1.121
料重比 F/G	22~42	$y = 0.172x^2 - 0.415x + 2.198$	0.002	0.331	1.206
谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/(U/mL)	21	$y = -41.648x^2 + 95.609x + 649.865$	0.008	0.263	1.148
超氧化物歧化酶 SOD/(U/mL)	42	$y = -5.149x^2 + 11.723x + 72.217$	0.007	0.264	1.138
总抗氧化能力 T-AOC/(U/mL)	42	$y = -1.073x^2 + 2.672x + 7.192$	<0.001	0.631	1.245
绒毛高度 Villus height/ μ m	21	$y = -289.457x^2 + 647.49x + 645.094$	0.007	0.265	1.118
隐窝深度 Crypt depth/ μ m	42	$y = 51.704x^2 - 94.07x + 186.534$	0.019	0.219	0.910
绒毛高度/隐窝深度 V/C	42	$y = -2.406x^2 + 4.647x + 4.450$	0.002	0.333	0.966

3 讨 论

3.1 DGYC 对肉仔鸡生长性能的影响

酵母培养物主要由破碎的酵母细胞、酵母细胞代谢物和变性培养基组成,富含粗蛋白质、氨基酸、核苷酸、B 族维生素、矿物质和微量元素等营养素及多肽、寡糖(β -葡聚糖与甘露寡糖)、增味剂、消化酶和未知生长因子等多种益生物质。研究表明,酵母培养物可改善动物生产性能,在蛋鸡饲料中添加 0.4% 和 0.6% 酵母培养物可显著改善蛋品质,提高饲料转化率^[8]。本研究表明,饲料添加 0.50% 和 1.00% DGYC 显著提高了肉仔鸡生长后期 F/G,有提高 ADG 的趋势,这与 Gao 等^[3]在肉仔鸡上的研究结果一致。关于酵母培养物促生长作用的机理尚无定论,但与其富含的各种营养素和益生成分的作用密不可分。蛋白质、葡萄糖、氨基酸和维生素等营养素可保障动物自身正常生长; β -葡聚糖、甘露聚糖和小肽等可维持肠黏膜完整性,改善肠道内环境,从而促进肠道健康;各种消化酶可促进营养物质的消化和吸收。此外,多级低温烘干等特殊工艺使本试验用的 DGYC 保留了部分活性酵母细胞,其具有调节肠道菌群,增加营养物质消化和吸收的功能^[9]。但 DGYC 成分复杂,含有未知生长因子,不能仅根据已知营养成分判定作用机理,且不同成分之间存在的协同作用与转化作用有待进一步探讨。

3.2 DGYC 对肉仔鸡胴体性能和肉品质的影响

胴体性能可反映营养物质在动物不同组织(内脏、肌肉、骨骼和表皮等)的沉积情况,关于酵母培养物对肉禽屠宰性能影响的报道尚不多见。本试验表明,饲料添加 DGYC 提高了肉仔鸡腿肌率、不改变胸肌产量,与于素红等^[10]的研究结果一致。家禽腿肌由红肌纤维组成,胸肌主要是白肌纤维^[11],猜测 DGYC 对肌纤维促生长刺激可能存在选择性。本试验中,DGYC 还不同程度地降低了试鸡腹脂率,可能与其中的酿酒酵母有关,研究证明,饲料中添加酵母菌可以减少肉鸡^[12-13]和蛋鸡^[14-15]体内的脂质沉积。滴水损失、剪切力和 pH 是衡量肉品质的重要指标,反映了肌肉的系水力、嫩度和肌糖原酵解速度。有研究报道,0.8% 酵母培养物可有效缓解育肥猪肌苷酸含量的下降,降低背最长肌 pH_{24h}^[16];0.1%~0.3% 的酵母培养物显著降低了肉仔鸡滴水损失,提高了肌肉系水

力^[17];除能减少滴水损失外,酵母培养物对降低肌肉剪切力的作用显著^[10]。本试验表明,DGYC 对肉仔鸡剪切力和 pH 影响不显著,0.50% 和 1.00% DGYC 有降低滴水损失的趋势,可能与酵母细胞成分能够提高机体氧化稳定性有关^[18],其能阻止过多自由基的产生,维持细胞膜的完整性,使细胞膜结构继续发挥充当半透膜屏障的功能,防止水分从肉中渗出,从而降低滴水损失^[10]。

3.3 DGYC 对肉仔鸡血清抗氧化指标的影响

GSH-Px、SOD 是抗氧化系统中重要的酶系,其活性与机体清除自由基的能力成正比;MDA 是细胞膜脂质过氧化的产物,其含量可间接反映组织氧化损伤程度;T-AOC 代表体内酶类和非酶类抗氧化物的总体水平,能全面反映动物机体的抗氧化状态。机体抗氧化能力可通过血液 GSH-Px、SOD、MDA 和 T-AOC 等指标体现。本试验表明,饲料添加 DGYC 显著提升了肉仔鸡血清 GSH-Px、SOD 和 T-AOC 的活性,说明 DGYC 具有抗氧化作用。肖曼^[4]报道,饲料中添加酵母培养物显著提高了血清 T-AOC,降低血清 MDA 含量,从而提高机体抗氧化能力,与本试验结果相似。针对酵母培养物影响肉鸡抗氧化性能的报道较少,作用机理也尚不明晰。可以肯定的是,酵母培养物中丰富的维生素 C、维生素 E、微量元素(锌和硒等)、谷胱甘肽(GSH)及辅酶 Q 等还原物质具有抗氧化作用。此外,酿酒酵母细胞壁中的 β -葡聚糖和甘露聚糖也可以改善肠黏膜结构^[19],促进锌、硒、铜等营养素吸收^[20],从而提高抗氧化性能^[21]。本试验还发现,DGYC 对肉仔鸡血清抗氧化指标的影响存在着日龄差异性,21 日龄的抗氧化提升效果优于 42 日龄。这可能是由于雏鸡的心血管、消化和免疫系统发育尚未完善,抗氧化应激的能力弱,所以 DGYC 在前期的作用效果更明显。

3.4 DGYC 对肉仔鸡肠道形态结构的影响

小肠是动物最主要的消化吸收场所,其黏膜结构与功能的完整性是动物体充分吸收营养物质的重要保障。绒毛高度、隐窝深度和 V/C 则是衡量肠黏膜正常功能的重要指标。绒毛增高,肠吸收表面积增大;隐窝变浅,肠上皮细胞成熟率上升;而 V/C 增大,则综合反映肠黏膜结构的完善,这些均能体现肠黏膜吸收功能的增强。马友彪等^[22]研究证实,饲料中添加 1% 酵母培养物可提高产蛋鸡空肠绒毛高度和 V/C。本试验结果显

示,饲料添加 0.25%、0.50% 和 1.00% 的 DGYC 不同程度地提高了肉仔鸡 21 日龄空肠绒毛高度和 42 日龄空肠 V/C,降低了 42 日龄空肠隐窝深度,与肖曼^[4]和于素红等^[10]在肉仔鸡上的研究结果基本一致,表明 DGYC 改善了肠黏膜结构,这可能是本试验提高 ADG、降低 F/G,生产性能得到改善的原因。酵母细胞和酵母细胞壁能够促进肠道发育,改善肠道内环境^[18,23]。Zhang 等^[18]报道,是酵母细胞壁,而非酵母提取物改善了肠黏膜形态结构。 β -葡聚糖与甘露聚糖是酵母细胞壁的主要成分,它们能吸附并破坏肠道内的有害菌和病毒等,减少胃肠道黏膜与抗原的结合,从而保护黏膜免受损伤^[19]。这可能是本试验中 DGYC 改善肠黏膜结构和机体抗氧化状况,提高生长性能的重要原因。

3.5 肉仔鸡饲料中 DGYC 的最适添加水平

本试验表明,饲料添加 DGYC 能提高肉仔鸡后期生长性能和血清抗氧化能力,能改善肉仔鸡空肠肠黏膜形态结构。在相关指标上存在 DGYC 的二次效应,二次曲线拟合结果表明,饲料 DGYC 添加水平为 1.1%~1.2% 时,能获得最佳生长性能和最高血清抗氧化能力;添加水平为 0.9%~1.1% 时,肉仔鸡空肠肠黏膜形态结构最佳。综上,推荐肉仔鸡饲料中 DGYC 添加水平为 0.9%~1.2%。

4 结 论

① 饲料添加 DGYC 能提高肉仔鸡回肠绒毛高度和 V/C,降低隐窝深度,提高肉仔鸡平均日增重,降低料重比,且在生长后期更加显著。

② 饲料添加 DGYC 能提高肉仔鸡血清抗氧化能力,能降低试鸡 21 日龄腹脂率,减少 42 日龄胸肌滴水损失。

③ 以生长性能、血清抗氧化指标和肠黏膜形态结构为综合评价指标,DGYC 在肉仔鸡饲料中适宜添加水平为 0.9%~1.2%。

参考文献:

[1] TRIPATHI M K, KARIM S A. Effect of individual and mixed live yeast culture feeding on growth performance, nutrient utilization and microbial crude protein synthesis in lambs [J]. *Animal Feed Science and Technology* 2010, 155(2/3/4): 163-171.

[2] 张海军, 齐广海, 武书庚. 酵母培养物在家禽中的应用[J]. 饲料工业, 2006, 27(11): 42-45.

[3] GAO J, ZHANG H J, WU S G, et al. Effects of yeast culture in broiler diets on performance and immunomodulatory functions [J]. *Poultry Science*, 2008, 87(7): 1377-1384.

[4] 肖曼. 酵母培养物对肉仔鸡生产性能、营养物质利用率及肠道相关指标的影响[D]. 硕士学位论文. 湛江: 广东海洋大学, 2013.

[5] GAO J, ZHANG H J, WU S G, et al. Effect of *Saccharomyces cerevisiae* fermentation product on immune functions of broilers challenged with *Eimeria tenella* [J]. *Poultry Science* 2009, 88(10): 2141-2151.

[6] 马友彪, 周建民, 张海军, 等. 不同能量水平饲料中添加白酒糟酵母培养物对肉仔鸡生长性能、胴体组成和血清生化指标的影响[J]. *动物营养学报*, 2017, 30(1): 274-283.

[7] 齐博. β -丙氨酸对肉仔鸡生产性能、肌肉品质和肌源活性肽的影响[D]. 硕士学位论文. 北京: 中国农业科学院, 2017.

[8] 张嘉琦, 秦玉昌, 李军国, 等. 酵母培养物对产蛋鸡生产性能、蛋品质及鸡蛋卫生指标的影响[J]. *动物营养学报* 2017, 29(9): 3331-3340.

[9] BRADLEY G L, SAVAGE T F, TIMM K I. The effects of supplementing diets with *Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii* on male poult performance and ileal morphology [J]. *Poultry Science*, 1994, 73(11): 1766-1770.

[10] 于素红, 魏涛, 初雷, 等. 酵母培养物对肉仔鸡屠宰性能及胴体品质的影响[J]. *西北农业学报*, 2008, 17(4): 23-27.

[11] 钱利纯, 孙建义, 许梓荣. 酶制剂对肉鸡胴体组成和钙磷代谢的影响[J]. *浙江大学学报(农业与生命科学版)* 2000, 26(6): 657-660.

[12] MENDONCA C X, TAKAHASHI K, Jr, JENSEN L S. Effect of fractions of fish meal and hepatic lipid deposition in estrogenized chicks [J]. *Poultry Science*, 1984, 63(5): 1020-1026.

[13] TAKAHASHI K, JENSEN L S. Effect of dietary composition and estradiol implants on hepatic microsomal mixed function oxidase and lipid deposition in growing chicks [J]. *Poultry Science*, 1984, 63(5): 2217-2224.

[14] BOLDE S L, JENSEN L S. The effect of marginal levels of calcium, fish meal, torula yeast and alfalfa meal on feed intake, hepatic lipid accumulation, plasma estradiol, and egg shell quality among laying hens [J]. *Poultry Science*, 1985, 64(5): 937-946.

[15] BRENES A, JENSEN L S, TAKAHASHI K, et al. Di-

- etary effects on content of hepatic lipid ,plasma minerals and tissue ascorbic acid in hens and estrogenized chicks [J]. *Poultry Science* ,1985 ,64(5) : 947-954.
- [16] 路则庆,熊海涛,宋德广,等.大麦-高粱型饲料中添加酵母培养物对肥育猪生长性能及肉品质的影响[J]. *动物营养学报* ,2016 ,28(4) : 1160-1167.
- [17] 郭小华,刘明,杨凤娟,等.日粮中添加酵母培养物对肉仔鸡生长性能、肉品质和肠道菌群的影响[J]. *中国畜牧兽医* ,2017 ,44(6) : 1673-1679.
- [18] ZHANG A W ,LEE B D ,LEE S K ,et al. Effects of yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) cell components on growth performance ,meat quality ,and ileal mucosa development of broiler chicks [J]. *Poultry Science* , 2005 ,84(7) : 1015-1021.
- [19] SIMS M D ,DAWSON K A ,NEWMAN K E. Effects of dietary mannan oligosaccharide bacitracin methylene disalicylate ,or both on the live performance and intestinal microbiology of turkeys [J]. *Poultry Science* ,2004 ,83(7) : 1148-1154.
- [20] NEWMAN K E ,SPRING P ,SNITZER S. Effect of thermal treatment on the ability of mannan oligosaccharide to absorb enteric bacteria [J]. *Animal Science* , 1995 ,73(1) : 325-329.
- [21] TSIAOALI E ,WHALEY S ,KALBFLEISCH J ,et al. Glucans exhibit weak antioxidant activity ,but stimulate macrophage free radical activity [J]. *Free Radical Biology and Medicine* ,2001 ,30(4) : 393-402.
- [22] 马友彪,周建民,张海军,等.白酒糟酵母培养物对产蛋鸡生产性能、免疫机能和肠黏膜结构的影响[J]. *动物营养学报* ,2017 ,29(3) : 890-897.
- [23] SANTIN E ,MAIORKA A ,MACARI M ,et al. Performance and intestinal mucosa development of broiler chickens fed diets containing *Saccharomyces cerevisiae* cell wall [J]. *The Journal of Applied Poultry Research* ,2001 ,10(3) : 236-244.

Effects of Yeast Culture Using Distiller's Grains on Growth Performance , Serum Antioxidant Indices and Intestinal Morphology of Broilers

ZHOU Jianmin¹ MA Youbiao¹ ZHANG Haijun^{1*} WANG Jing¹ WU Shugeng^{1*} QI Guanghai¹
LIU Jianzhong² LYU Liang²

(1. Key Laboratory of Feed Biotechnology of Ministry of Agriculture , Feed Research Institute , The Chinese Academy of Agricultural Sciences , Beijing 100081 , China; 2. LOAD Biological Environmental Technology (Gulin) Co. , Ltd. , Luzhou 646509 , China)

Abstract: The experiment was to investigate the effects of yeast culture using distiller's grains (DGYC) on growth performance , serum antioxidant indices and intestinal morphology of broilers. A total of 525 one-day-old Arbor Acres (AA) male broilers were randomly allotted into 5 groups with 7 replicates of 15 birds each. The chicks in the control group were fed a basal diet , and those in experimental groups were fed the basal diet supplemented with 0.25% , 0.50% , 1.00% and 2.00% DGYC , respectively. The trial lasted for 42 days. The results showed as follows: 1) compared with the control group , dietary 1.00% DGYC increased the average daily gain of broilers during later growth period (22 to 42 days of age) ($0.05 \leq P < 0.10$) , significantly decreased the ratio of feed to gain of broilers ($P < 0.05$) , and dietary DGYC had a quadratic effect on both above indices ($P < 0.05$) . 2) Compared with the control group , dietary 0.25% DGYC significantly decreased the abdominal fat rate of broilers at 21 days of age ($P < 0.05$) , and significantly increased the leg muscle rate of broilers at 42 days of age ($P < 0.05$) ; dietary 0.50% and 1.00% DGYC tended to decreased the drip loss in breast muscle of broilers at 42 days of age ($0.05 \leq P < 0.10$) . 3) Dietary DGYC linearly improved the activities

* Corresponding authors: ZHANG Haijun , associate professor , E-mail: fowfeed@163.com; WU Shugeng , professor , E-mail: wushugeng@caas.cn

of glutathione peroxidase (GSH-Px) and superoxide dismutase (SOD) and the total antioxidant capacity (T-AOC) in serum of broilers at both 21 and 42 days of age ($P<0.05$), and had a quadratic effect on the serum GSH-Px activity of broilers at 21 days of age and the SOD activity and T-AOC in serum of broilers at 42 days of age ($P<0.05$). Compared with the control group, dietary 1.00% DGYC significantly increased the serum GSH-Px activity of broilers at 21 days of age ($P<0.05$); dietary 0.50%, 1.00% and 2.00% DGYC significantly increased the serum SOD activity of broilers at 21 days of age ($P<0.05$), and significantly increased the serum T-AOC of broilers at both 21 and 42 days of age ($P<0.05$); dietary 0.50% and 1.00% DGYC significantly increased the serum SOD activity of broilers at 42 days of age ($P<0.05$). 4) The villus height at 21 days of age and the villus height to crypt depth ratio at 42 days of age in jejunum of broilers in 1.00% DGYC supplementation group were significantly higher than those in the control group ($P<0.05$), and all of them increased quadratically with DGYC supplemental level increasing ($P<0.05$). 5) Dietary DGYC caused quadratic effects on growth performance, serum antioxidant indices and jejunum morphology of broilers. The predicted optimal DGYC supplemental level for the best jejunum morphology was 0.9% to 1.1%, and for the best growth performance and serum antioxidant capacity was 1.1% to 1.2%. These results indicate that dietary DGYC can increase serum antioxidant capacity, improve morphology of jejunal mucosa, and enhance the growth performance of broilers. Based on the growth performance, serum antioxidant indices and intestinal mucosal morphology of broilers, the DGYC supplemental level in the basal diet for broilers is recommended to be 0.9% to 1.2%. [Chinese Journal of Animal Nutrition, 2019, 31(5): 2357-2366]

Key words: yeast culture using distiller's grains; growth performance; antioxidant indices; intestinal morphology

(责任编辑 田艳明)