

回归分析法评价 4 种麦类饲料原料的肉鸡有效能值

方成堃^{1,2} 禹琪芳^{1*} ADEOLA Olayiwola^{1,2} 贺建华^{1**}

(1.湖南农业大学动物科技学院,长沙 410128;2.美国普渡大学动物科学系,西拉法叶 IN 47906)

摘要: 本试验旨在评价大麦、黑小麦、小麦和黑麦 4 种麦类饲料原料在肉鸡上的有效能值,以期优化现有配方数据库,逐步实现饲料营养的精准供给。采用回归分析法,试验分 2 批进行,试验 1 评价大麦和黑小麦的肉鸡回肠消化能(IDE)、代谢能(ME)、氮校正代谢能(MEn),试验 2 评价小麦和黑麦的肉鸡 IDE、ME、MEn。每个批次试验均选用 320 只 1 日龄雄性罗斯 708 肉鸡为试验动物,将其随机分为 5 个组,每组设 8 个重复,每个重复 8 只鸡。1~20 日龄为预试期,饲喂基础饲料;21~28 日龄为试验期,分别饲喂基础饲料和试验饲料。试验 1 的 5 个组 21~28 日龄所喂饲料如下:基础饲料、含 250 g/kg 大麦的饲料、含 500 g/kg 大麦的饲料、含 250 g/kg 黑小麦的饲料、含 500 g/kg 黑小麦的饲料。试验 2 的 5 个组 21~28 日龄所喂饲料如下:基础饲料、含 250 g/kg 小麦的饲料、含 500 g/kg 小麦的饲料、含 250 g/kg 黑麦的饲料、含 500 g/kg 黑麦的饲料。结果表明:在饲料中添加大麦、黑小麦、小麦和黑麦对肉鸡生长性能均无显著影响($P > 0.05$)。大麦替代量与干物质、能量的回肠消化率以及干物质、氮、能量的全肠道代谢率,以及 IDE、ME、MEn 存在极显著的线性降低关系($P < 0.01$);黑小麦替代量与氮全肠道代谢率、IDE、ME、MEn 存在极显著的线性降低关系($P < 0.01$),且与干物质、能量回肠消化率、IDE 存在显著或极显著的二次曲线关系($P < 0.05$ 或 $P < 0.01$);小麦替代量与干物质、氮、能量、氮校正能量的全肠道代谢率显著或极显著的线性降低关系($P < 0.05$ 或 $P < 0.01$),且与干物质、能量的回肠消化率和 IDE 存在显著或极显著的二次曲线关系($P < 0.05$ 或 $P < 0.01$);黑麦替代量与干物质、能量的回肠消化率以及干物质、氮的全肠道代谢率存在显著或极显著线性降低关系($P < 0.05$ 或 $P < 0.01$);且与干物质、能量的回肠消化率和干物质、氮、能量、氮校正代谢能的全肠道代谢率以及 IDE、ME、MEn 存在显著或极显著的二次曲线关系($P < 0.05$ 或 $P < 0.01$)。通过回归分析得出大麦的肉鸡 IDE、ME 和 MEn 分别为 9.31、10.50、10.29 MJ/kg,黑小麦分别为 10.99、11.80、11.43 MJ/kg,小麦分别为 10.59、11.81、11.28 MJ/kg,黑麦分别为 11.97、12.56、11.83 MJ/kg。

关键词: 麦类饲料原料;肉鸡;回归分析;有效能

中图分类号:S816

文献标识码:A

文章编号:1006-267X(2021)02-0811-11

高效、高质量动物产品的生产主要依赖饲料营养的精准供给。正确的理解动物对饲料的消化特性和需求数量可以帮助饲料企业合理的配制饲料;饲料能量的精准供给是高效生产非常重要的一环,我国自 20 世纪 70 年代开始对家禽饲料能量

利用效率的评定体系进行研究^[1]。目前常规的能量饲料原料无法充分满足动物的生产需求,准确评估饲料原料的营养价值和动物的营养需要量,实现精准营养配方,是提高动物生产效率的重要手段。麦类饲料原料在全球饲料领域使用广泛,

收稿日期:2020-10-18

基金项目:湖南省双一流建设专项(KXK201801004)

作者简介:方成堃(1990—),男,湖南益阳人,硕士研究生,研究方向为饲料资源开发和新饲料添加剂的应用。E-mail: 21361124@qq.com

* 同等贡献作者

** 通信作者:贺建华,教授,博士生导师,E-mail: jianhua@hunau.net

大麦、黑小麦、小麦和黑麦是非常重要的家禽能量饲料原料,然而在国内鲜见对其能量利用的研究报道。在欧洲大麦是广泛使用的动物饲料原料,然而,由于其能值较低以及易引起黏性粪便等原因,限制了其在家禽上的使用^[2]。黑小麦是小麦和黑麦的基因组合的一种杂交谷物,并由此得名^[3],其在动物饲料中应用的较少。小麦是常见的饲料原料之一,小麦的营养价值既受品种的影响,又受环境的影响,但造成小麦营养价值不同的内在原因尚未完全清楚。已有研究证明,小麦的代谢能与可溶性纤维的抗营养作用有关^[4]。王永伟^[5]评价了14种小麦在肉仔鸡上的有效能,得出小麦的代谢能(metabolizable energy, ME)为12.64 MJ/kg,回肠消化能(ileal digestible energy, IDE)为12.40 MJ/kg,氮校正代谢能(nitrogen-corrected metabolizable energy, MEN)为12.01 MJ/kg。黑麦是中欧重要的粮食作物,早有人将其作为动物饲料原料,但因其含有高浓度的抗营养因子,导致未能大量使用^[6]。Bolarinwa等^[7]研究评价了小麦和大麦在肉鸡上的有效能,结果表明大麦的有效能比小麦的低约4.19 MJ/kg。国内有关麦类饲料原料在家禽方面的能值数据非常有限。鉴于目前饲料行业的成本挑战和饲料配方中使用替代原料对动物生长等方面的优势,而麦类原料的有效能数据研究较少,需要更多的关于IDE、ME和

MEN的数据来优化配方。

本试验拟用大麦、黑小麦、小麦和黑麦分别替代豆粕-玉米型基础饲料中部分供能原料,采用外源指示剂法和回归分析法研究其在肉鸡体内的IDE、ME、MEN,旨在为肉鸡生产中非常规能量饲料原料的合理使用提供试验依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计与分组

试验采用单因素随机区组设计,分2批进行,试验1用于评价大麦和黑小麦的有效能,试验2用于评价小麦和黑麦的有效能。每个批次试验均选用320只20日龄雄性罗斯708肉鸡,将其随机分为5个组,每组设8个重复,每个重复8只鸡。试验1的5个组21~28日龄所喂饲料如下:基础饲料(对照组)、含250 g/kg大麦的饲料、含500 g/kg大麦的饲料、含250 g/kg黑小麦的饲料、含500 g/kg黑小麦的饲料。试验2的5个组21~28日龄所喂饲料如下:基础饲料(对照组)、含250 g/kg小麦的饲料、含500 g/kg小麦的饲料、含250 g/kg黑麦的饲料、含500 g/kg黑麦的饲料。各组饲料均参照NRC(1994)^[8]家禽营养需要配制,并均添加0.5%的三氧化二铬(Cr₂O₃)作为指示剂,试验1和试验2的饲料组成及营养水平分别见表1和表2。

表1 试验1的饲料组成及营养水平(风干基础)

Table 1 Composition and nutrient levels of diets for experiment 1 (air-dry basis)

%

项目 Items	基础饲料 Basal diet	大麦饲料 Barley diets		黑小麦饲料 Triticale diets	
		250 g/kg	500 g/kg	250 g/kg	500 g/kg
原料 Ingredients					
玉米 Corn	52.02	37.82	23.52	37.82	23.52
豆粕 Soybean meal	36.00	26.50	17.10	26.50	17.10
豆油 Soybean oil	5.00	3.70	2.40	3.70	2.40
食盐 NaCl	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
DL-蛋氨酸 DL-Met	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38
赖氨酸 Lys	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
苏氨酸 Thr	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
石粉 Limestone	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
磷酸氢钙 CaHPO ₄	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
维生素和矿物质预混料 Vitamin and mineral premix ¹⁾	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
三氧化二铬预混料 Cr ₂ O ₃ premix ²⁾	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
大麦 Barley		25.00	50.00		

续表 1

项目 Items	基础饲料 Basal diet	大麦饲料 Barley diets		黑小麦饲料 Triticale diets	
		250 g/kg	500 g/kg	250 g/kg	500 g/kg
黑小麦 Triticale				25.00	50.00
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels ³⁾					
代谢能 ME/(MJ/kg)	13.35	13.88	14.41	13.15	12.95
粗蛋白质 CP	22.77	19.59	16.41	20.47	18.16
钙 Ca	0.93	0.93	0.93	0.91	0.89
总磷 TP	0.69	0.65	0.61	0.67	0.64
非植酸磷 NPP	0.44	0.42	0.39	0.43	0.42
植酸磷 PP	0.25	0.24	0.22	0.24	0.22
钙磷比 Ca/P ratio	1.30	1.40	1.50	1.40	1.40
可消化氨基酸 Digestible AA					
精氨酸 Arg	1.34	1.08	0.83	1.58	1.83
组氨酸 His	0.52	0.41	0.30	0.58	0.63
异亮氨酸 Ile	0.85	0.72	0.59	0.92	1.00
亮氨酸 Leu	1.74	1.44	1.14	1.75	1.77
赖氨酸 Lys	1.08	0.86	0.63	1.04	1.00
蛋氨酸 Met	0.69	0.64	0.59	0.77	0.85
蛋氨酸+半胱氨酸 Met+Cys	0.99	0.89	0.80	1.10	1.21
苯丙氨酸 Phe	0.96	0.80	0.63	1.07	1.18
苯丙氨酸+酪氨酸 Phe+Tyr	1.71	1.43	1.16	1.81	1.92
苏氨酸 Thr	0.72	0.63	0.53	0.78	0.83
色氨酸 Trp	0.26	0.22	0.17	0.29	0.31
缬氨酸 Val	0.92	0.77	0.62	1.06	1.21

1) 维生素和矿物质预混料为每千克饲料提供 The vitamin and mineral premix provides the following per kg of diets: VA 5 484 IU, VD₃ 2 643 IU, VE 11 IU, VB₂ 5.49 mg, VB₃ 11 mg, VB₅ 44.1 mg, 氯化胆碱 choline chloride 771 mg, VB₁₂ 13.2 mg, 生物素 biotin 55.2 μg, VB₂ 2.2 mg, 叶酸 folic acid 990 μg, VB₆ 3.3 mg, VK₃ 4.38 mg, I (as potassium iodide) 1.11 mg, Mn (as manganese sulfate) 66.06 mg, Cu (as copper sulfate) 4.44 mg, Fe (as ferrous sulfate) 44.1 mg, Zn (as zinc sulfate) 44.1 mg, Se (as sodium selenite) 300 μg。表 2 同 The same as Table 2。

2) 三氧化二铬预混料是由三氧化二铬与玉米粉以 1:4 的比例混合而成。表 2 同。Cr₂O₃ premix is a mixture of chromium oxide and corn flour in a ratio of 1:4. The same as Table 2.

3) 可消化氨基酸、粗蛋白质、钙、磷的含量为测定值,其余指标为计算值。表 2 同。The contents of digestible AA, CP, Ca and P are measured values, while the other indexes are calculated values. The same as Table 2.

表 2 试验 2 的饲料组成及营养水平(风干基础)

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

%

项目 Items	基础饲料 Basal diet	小麦饲料 Wheat diets		黑麦饲料 Rye diets	
		250 g/kg	500 g/kg	250 g/kg	500 g/kg
原料 Ingredients					
玉米 Corn	52.00	37.80	23.50	37.80	23.50
豆粕 Soybean meal	36.00	26.50	17.10	26.50	17.10
豆油 Soybean oil	5.00	3.70	2.40	3.70	2.40
食盐 NaCl	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
DL-蛋氨酸 DL-Met	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
赖氨酸 Lys	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29

续表 2

项目 Items	基础饲料 Basal diet	小麦饲料 Wheat diets		黑麦饲料 Rye diets	
		250 g/kg	500 g/kg	250 g/kg	500 g/kg
苏氨酸 Thr	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
石粉 Limestone	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
磷酸氢钙 CaHPO ₄	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
维生素和矿物质预混料 Vitamin and mineral premix	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
三氧化二铬预混料 Cr ₂ O ₃ premix	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
小麦 Wheat		25.00	50.00		
黑麦 Rye				25.00	50.00
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels					
代谢能 ME/(MJ/kg)	13.35	13.88	14.41	13.15	12.95
粗蛋白质 CP	22.77	19.59	16.41	20.47	18.16
钙 Ca	0.93	0.93	0.93	0.91	0.89
总磷 TP	0.69	0.65	0.61	0.67	0.64
非植酸磷 NPP	0.44	0.42	0.39	0.43	0.42
植酸磷 PP	0.25	0.24	0.22	0.24	0.22
钙磷比 Ca/P ratio	0.13	0.14	0.15	0.14	0.14
可消化氨基酸 Digestible AA					
精氨酸 Arg	1.34	1.08	0.83	1.58	1.83
组氨酸 His	0.52	0.41	0.30	0.58	0.63
异亮氨酸 Ile	0.85	0.72	0.59	0.92	0.10
亮氨酸 Leu	1.74	1.44	1.14	1.75	1.77
赖氨酸 Lys	1.08	0.86	0.63	1.04	0.10
蛋氨酸 Met	0.69	0.64	0.59	0.77	0.85
蛋氨酸+半胱氨酸 Met+Cys	0.99	0.89	0.80	1.10	1.21
苯丙氨酸 Phe	0.96	0.80	0.63	1.07	1.18
苯丙氨酸+酪氨酸 Phe+Tyr	1.71	1.43	1.16	1.81	1.92
苏氨酸 Thr	0.72	0.63	0.53	0.78	0.83
色氨酸 Trp	0.26	0.22	0.17	0.29	0.31
缬氨酸 Val	0.92	0.77	0.62	1.06	1.21

1.2 饲养管理

饲养试验在美国普渡大学家禽试验场进行。试验鸡饲喂于电子控温育雏笼中,分别于 1~8 日龄、9~15 日龄、16~28 日龄调整温度为 35、31 和 27 °C。1~20 日龄为预试期,饲喂基础饲料;21~28 日龄为试验期,分别饲喂基础饲料和试验饲料。试验期间鸡只自由采食、自由饮水。

1.3 样品采集及处理

收集第 25~28 天的粪样。将蜡纸置于每个笼(重复)的粪盘上,每天 08:00 和 18:00 各收集 1 次粪样于样品盒,置于 -20 °C 冰箱保存。试验结束后在将粪样于 55 °C 烘箱中烘干,粉碎过 0.5 mm

筛,制成分析样待测。

于试验第 28 天将鸡逐只称重后,用二氧化碳窒息死亡,从梅克尔憩室后约 2 cm 至回盲连接处取肠道,用蒸馏水冲洗出回肠食糜。采用前述方法制成分析样,待测。

1.4 测定指标与方法

分别于试验第 21 天和第 28 天清晨逐只空腹称重,计算 21~28 日龄的增重、采食量和料重比。

饲料、粪样和食糜样均置于 105 °C 烘箱(Precision Scientific Co., 美国)中 24 h,测定干物质含量;采用凯氏定氮仪(Tecator Inc., 美国)测定分析样中氮的含量;以苯甲酸作为标准样品,使用氧弹

热量仪 (Model 1261, Parr Instrument Co., 美国) 测定分析样中总能; 根据 Fenton (1979)^[9] 方法使用分光光度计 (Spectronic 21D, Milton Roy Co., 美国) 测定分析样中铬的含量。

1.5 计算公式

饲料养分和能量消化 (代谢) 率根据公式计算:

$$C = 100 \times [1 - (Cd/Co) \times (Eo/Ed)]$$

式中: C 表示饲料养分和能量消化 (代谢) 率; Cd 表示饲料中铬的含量; Co 表示回肠食糜或粪中铬的含量; Eo 表示回肠食糜或粪中养分含量或总能; Ed 表示饲料中养分含量或总能。

$$\text{饲料 ME (MJ/kg)} = C \times GE$$

式中: GE 表示饲料中总能。

ME_n (MJ/kg) 根据下列公式^[5]计算。

$$ME_n = ME - (8.22 \times N_{ret})$$

式中: N_{ret} 表示沉积氮 (g/kg DM), 其计算公式为:

$$N_{ret} = Ni - (No \times Cd/Co)$$

式中: Ni 表示摄入饲料中氮含量 (g/kg DM); No 表示粪中氮含量 (g/kg DM)。

待测原料 ME 消化率根据下列公式^[7]计算:

$$Cti = Crd + (Ctd - Crd) / Pti$$

式中: Cti 表示待测原料 ME 消化率; Crd 表示基础饲料 ME 消化率; Ctd 表示试验饲料 ME 消化率; Pti 表示待测原料对试验饲料 ME 贡献比率。

1.6 数据处理与统计分析

用 Excel 2016 软件对数据进行初步处理, 之后用统计分析软件 SAS 9.4 中的 GLM 程序进行方差分析和回归分析。参照 Bolarinwa 等^[7] 的方法进行多元线性回归, 以千克为单位, 将与待测原料相关的 IDE、ME、ME_n 与每笼鸡采食的原料量进行回归; 显著性水平设为 $P < 0.05$, 极显著水平设为 $P < 0.01$ ^[10]。

2 结果与分析

2.1 不同饲料对肉鸡生长性能的影响

大麦和黑小麦、小麦和黑麦饲料对 21~28 日龄肉鸡生长性能的影响分别见表 3 和表 4。与对照组相比, 用大麦、黑小麦分别替代饲料中部分供能饲料对 21~28 日龄肉鸡的增重有提高的趋势, 但差异均不显著 ($P > 0.05$)。与对照组相比, 用小麦和黑麦分别替代饲料中部分能量饲料后, 21~28 日龄肉鸡的增重有降低趋势, 采食量有提高趋势, 但差异均不显著 ($P > 0.05$)。

表 3 不同饲料对 21~28 日龄肉鸡生长性能的影响 (试验 1)

Table 3 Effects of different diets on growth performance of broilers aged from 21 to 28 days (Exp.1)¹⁾

项目 Items	基础饲料 Basal diet	大麦饲料 Barley diets		黑小麦饲料 Triticale diets		SD	P 值 P-value			
		250 g/kg	500 g/kg	250 g/kg	500 g/kg		L ²⁾	Q ²⁾	L ³⁾	Q ³⁾
初重 Initial BW/g	785.6	647.9	706.8	838.9	891.4	51.9	—	—	—	—
末重 Final BW/g	1 200.9	1 078.1	1 165.6	1 265.1	1 329.3	107.7	0.518	0.032	0.024	0.999
增重 Weight gain/g	415.3	430.1	459.3	426.4	438.1	96.4	0.369	0.866	0.639	0.994
采食量 Feed intake/g	702.5	667.8	717.0	686.0	757.3	83.8	0.732	0.257	0.202	0.237
料重比 F/G	1.69	1.55	1.56	1.61	1.73	0.12	0.292	0.494	0.731	0.481

1) 表中数据为 8 个重复 (笼) 的平均值, 每笼 8 只鸡。下表同。Data in table are means of 8 replicates (cages) with 8 birds per cage. The same as below.

2) L 和 Q 分别表示各指标与大麦替代量的线性和二次曲线关系。表 5 同。L and Q mean linear and quadratic relationships between each index and barley substitution amount, respectively. The same as Table 5.

3) L 和 Q 分别表示各指标与黑小麦替代量的线性和二次曲线关系。表 5 同。L and Q mean linear and quadratic relationships between each index and triticale substitution amount, respectively. The same as Table 5.

2.2 肉鸡对不同饲料养分和能量的消化 (代谢) 率

由表 5 可知, 使用大麦替代部分供能饲料时, 随着大麦替代量的增加, 肉鸡对饲料干物质、能量的回肠消化率和全肠道代谢率, 以及 IDE、ME、

ME_n 均极显著线性降低 ($P < 0.01$); 使用黑小麦替代部分能量饲料时, 肉鸡的氮全肠道代谢率、IDE、ME、ME_n 均随着黑小麦替代量的增加而极显著线性降低 ($P < 0.01$); 此外, 黑小麦替代量与肉鸡的干物质、能量回肠消化率呈现极显著的二次曲线关

系 ($P < 0.01$), 与 IDE 呈现显著的二次曲线关系 ($P < 0.05$)。

表 4 不同饲料对 21~28 日龄肉鸡生长性能的影响 (试验 2)

Table 4 Effects of different diets on growth performance of broilers aged from 21 to 28 days (Exp.2)

项目 Items	基础饲料 Basal diet	小麦饲料 Wheat diets		黑麦饲料 Rye diets		SD	P 值 P-value			
		250 g/kg	500 g/kg	250 g/kg	500 g/kg		L ¹⁾	Q ¹⁾	L ²⁾	Q ²⁾
初重 Initial BW/g	886.9	818.1	886.6	784.5	689.0	111.1	—	—	—	—
末重 Final BW/g	1 356.3	1 265.6	1 355.3	1 218.5	1 124.1	118.0	0.987	0.160	0.002	0.693
增重 Weight gain/g	469.4	447.5	468.7	434.0	435.1	79.3	0.990	0.605	0.465	0.626
采食量 Feed intake/g	725.7	751.4	761.3	730.1	734.4	76.3	0.371	0.847	0.681	0.128
料重比 F/G	1.55	1.68	1.62	1.68	1.69	0.23	0.529	0.490	0.243	0.129

1) L 和 Q 分别表示各指标与小麦替代量的线性和二次曲线关系。表 6 同。L and Q mean linear and quadratic relationships between each index and wheat substitution amount, respectively. The same as Table 6.

2) L 和 Q 分别表示各指标与黑麦替代量的线性和二次曲线关系。表 6 同。L and Q mean linear and quadratic relationships between each index and rye substitution amount, respectively. The same as Table 6.

表 5 肉鸡对不同饲料干物质、能量的回肠消化率和干物质、氮及能量全肠道代谢率 (试验 1)

Table 5 Ileal digestibility of DM, energy and total tract metabolizability of DM, nitrogen and energy for broiler chickens fed different diets (Exp.1)

项目 Items	基础饲料 Basal diet	大麦饲料 Barley diets		黑小麦饲料 Triticale diets		SD	P 值 P-value			
		250 g/kg	500 g/kg	250 g/kg	500 g/kg		L	Q	L	Q
回肠消化率 Ileal digestibility/%										
干物质 DM	68	67	63	68	65	0.029	<0.001	0.315	0.768	0.006
能量 Energy	73	70	66	71	65	0.028	<0.001	0.59	0.054	0.008
回肠消化能 IDE/(MJ/kg DM)	14.60	13.53	12.87	14.49	13.21	0.129	<0.001	0.395	<0.001	0.018
全肠道代谢率 Total tract metabolizability/%										
干物质 DM	69	68	65	66	63	0.026	<0.001	0.285	0.473	0.703
氮 Nitrogen	61	58	51	54	50	0.043	<0.001	0.828	<0.001	0.597
能量 Energy	74	72	69	68	61	0.022	<0.001	0.643	0.367	0.926
氮校正能量 N-corrected energy	69	68	66	64	58	0.021	0.001	0.570	0.883	0.884
代谢能 ME/(MJ/kg DM)	14.83	13.88	13.43	14.23	13.33	0.103	<0.001	0.194	<0.001	0.744
氮校正代谢能 ME _n /(MJ/kg DM)	13.92	13.17	12.86	13.42	12.70	0.096	<0.001	0.218	<0.001	0.581

由表 6 可知, 使用小麦替代部分供能饲料时, 随着小麦替代量的增加, 肉鸡对饲料氮的全肠道代谢率极显著线性降低 ($P < 0.01$), 干物质、能量、氮校正能量的全肠道代谢率显著线性降低 ($P < 0.05$); 此外, 小麦替代量与饲料干物质、能量的回肠消化率存在极显著的二次曲线关系 ($P < 0.01$), 与 IDE 存在显著的二次曲线关系 ($P < 0.05$)。使用黑麦替代部分供能饲料时, 黑麦替代量与肉鸡

对饲料能量的回肠消化率存在显著线性降低关系 ($P < 0.05$), 与干物质回肠消化率以及干物质和氮的全肠道代谢率存在极显著线性降低关系 ($P < 0.01$); 此外, 黑麦替代量与饲料干物质、能量的回肠消化率和干物质、氮、能量、氮校正代谢能的全肠道代谢率以及 ME、ME_n 均存在极显著的二次曲线关系 ($P < 0.01$), 与 IDE 存在显著的二次曲线关系 ($P < 0.05$)。

表 6 肉鸡对不同饲料干物质、能量的回肠消化率和干物质、氮及能量全肠道代谢率(试验 2)

Table 6 Ileal digestibility of DM, energy and total tract metabolizability of DM, nitrogen and energy for broiler chickens fed different diets (Exp.2)

项目 Items	基础饲料 Basal diet	小麦饲料 Wheat diets		黑麦饲料 Rye diets		SD	P 值 P-value			
		250 g/kg	500 g/kg	250 g/kg	500 g/kg		L	Q	L	Q
回肠消化率 Ileal digestibility/%										
干物质 DM	68	65	66	67	64	0.065	0.287	0.008	<0.001	0.008
能量 Energy	76	73	68	78	72	0.051	0.728	0.009	0.035	0.007
回肠消化能 IDE/(MJ/kg DM)	14.87	12.89	11.75	13.32	12.42	0.221	0.694	0.042	0.387	0.012
全肠道代谢率 Total tract metabolizability/%										
干物质 DM	63	62	61	63	61	0.044	0.003	0.100	<0.001	<0.001
氮 Nitrogen	64	67	71	72	74	0.058	<0.001	0.108	<0.001	<0.001
能量 Energy	74	71	73	71	72	0.038	0.049	0.186	0.121	<0.001
氮校正能量 N-corrected energy	65	69	69	71	70	0.035	0.029	0.227	0.128	<0.001
代谢能 ME/(MJ/kg DM)	15.11	14.62	14.5	14.29	13.76	0.164	0.329	0.657	0.809	<0.001
氮校正代谢能 ME _N /(MJ/kg DM)	14.43	13.88	13.55	13.47	12.63	0.149	0.243	0.769	0.733	<0.001

2.3 4 种麦类饲料原料的肉鸡 IDE、ME、ME_N

由表 7、表 8 可知,通过对大麦、黑小麦、小麦和黑麦的采食量及其能量摄入量进行测定,采用回归分析法计算其在肉鸡体内的 IDE、ME、ME_N,

得出大麦分别为 9.31、10.50、10.29 MJ/kg,黑小麦分别为 10.99、11.80、11.43 MJ/kg,小麦分别为 10.59、11.81、11.28 MJ/kg,黑麦分别为 11.97、12.56、11.83 MJ/kg。

表 7 大麦和黑小麦的肉鸡 IDE、ME、ME_N 回归方程Table 7 Regression equations of IDE, ME and ME_N of barley and triticale for broiler chickens

项目 Items	回归方程 Regression equation	r ²	SD
回肠消化能 IDE	$Y=0.12(0.08)+9.31(0.45)\times\text{大麦}+10.99(0.42)\times\text{黑小麦}$	0.95	0.30
代谢能 ME	$Y=0.01(0.06)+10.5(0.33)\times\text{大麦}+11.8(0.31)\times\text{黑小麦}$	0.97	0.22
氮校正代谢能 ME _N	$Y=0.01(0.06)+10.29(0.31)\times\text{大麦}+11.43(0.29)\times\text{黑小麦}$	0.98	0.21

括号内的值为标准误差。表 8 同。

Values in parentheses are SE. The same as Table 8.

表 8 小麦和黑麦的肉鸡 IDE、ME、ME_N 回归方程Table 8 Regression equations of IDE, ME and ME_N of wheat and rye for broiler chickens

项目 Items	回归方程 Regression equations	r ²	SD
回肠消化能 IDE	$Y=0.46(0.16)+10.59(0.70)\times\text{小麦}+11.97(0.71)\times\text{黑麦}$	0.90	0.53
代谢能 ME	$Y=0.39(0.15)+11.81(0.64)\times\text{小麦}+12.56(0.65)\times\text{黑麦}$	0.92	0.49
氮校正代谢能 ME _N	$Y=0.35(0.13)+11.28(0.59)\times\text{小麦}+11.83(0.60)\times\text{黑麦}$	0.92	0.45

3 讨论

3.1 4 种麦类饲料原料对肉鸡生长性能的影响

本研究中,以麦类饲料原料替代玉米-豆粕型

基础饲料中部分供能饲料对肉鸡的生长性能无显著影响。早期有学者发现,由于大麦的品种和收获季节不同,导致大麦品质的不稳定,容易产生幼鸡的水样便;其在肉鸡饲料中的使用限量为 200~

250 g/kg, 在蛋鸡饲料中的使用限量为 250 ~ 350 g/kg^[11]。Svihus 等^[12]在肉鸡饲料中分别添加大麦、小麦、燕麦后发现, 大麦的主要成分与肉鸡的生长性能均无明显相关性, 而小麦的主要成分与肉鸡的生长性能相关, 其脂肪、淀粉含量与 ME 呈显著正相关, 蛋白质含量与增重呈显著正相关, 而蛋白质含量与 ME 呈显著负相关。Vieira 等^[13]在 1~42 日龄肉鸡饲料中添加 10%~40% 的黑小麦进行饲养试验。结果发现添加黑小麦对肉鸡的采食量、增重、料重比均无显著影响。而在更早期 Proudfoot 等^[14]的试验发现, 肉鸡饲料中分别添加 15%、30%、45% 的黑小麦时, 黑小麦添加量与肉鸡 1~42 日龄的料重比存在线性关系, 添加高水平的黑小麦对料重比有不利影响。不同研究产生不同的结果, 其可能是动物品种和黑小麦品种的差异所致。在本次试验中, 饲料中添加黑麦对肉鸡的生长性能无显著影响; 但也有学者的研究结果显示饲料中添加黑麦会显著降低肉鸡的生长性能^[15]。此外, Boros 等^[16]发现, 使用黑麦-豆粕型饲料和黑麦-大麦-小麦-豆粕型饲料, 在黑麦的添加量超过 50% 时, 肉鸡的生长性能出现显著下降, 但添加适当的酶制剂后有明显改善, 但不能完全消除其不利影响。

3.2 4 种麦类饲料原料在肉鸡体内的有效能值评价

在试验 1 中, 大麦与黑小麦的肉鸡 IDE、ME 和 MEn 分别为 9.31、10.50、10.29 MJ/kg 与 10.99、11.80、11.43 MJ/kg, 与其他研究结果^[7,17]相比均较低。在饲料中添加大麦或黑小麦后, 随着大麦或黑小麦替代量的增加, 饲料的 IDE、ME、MEn 呈极显著线性下降。导致此结果的原因有很多, 而其中最重要原因可能是由于大麦籽粒胚乳中含有高浓度的 β -葡聚糖^[18], 其作为抗营养因子使肠道黏度增加。大麦和黑小麦在肉鸡体内的有效能值评价国内研究报道较少, 王红亮^[19]在生长猪体内测定了 19 种大麦的消化能 (DE) 和 ME, 结果显示大麦的 ME 为 14.37 MJ/kg, DE 为 14.67 MJ/kg。与 Villamide^[20]的报道相比, 本试验所得大麦的 MEn 较低, 同时也低于 INRA (2004) 和 NRC (1994) 中的参考值。造成这个结果的原因有可能是大麦的品种和产地差异, 以及动物的年龄差异。春季品种的大麦较其他品种具有更高的 ME, 这与其较高的淀粉含量和较低的粗纤维、非淀粉多糖

(NSP) 和 β -葡聚糖含量有关^[12]。Francesch 等^[21]在公鸡体内测定了 57 种大麦的 ME, 结果显示春季大麦比冬季大麦的 ME 高出 0.42 MJ/kg。虽然本试验未进行原料及饲料中 NSP 含量的测定, 但根据 Knudsen^[22]的研究, 大麦和黑小麦中的 NSP 含量分别约为 186 和 119 g/kg。据此计算, 在大麦和黑小麦添加量分别为 250 和 500 g/kg 的饲料中, NSP 的含量分别为 46.5、93.0 g/kg 和 29.8、59.5 g/kg。饲料中较高含量的 NSP 也是导致有效能值降低的原因之一。

试验 2 结果显示, 小麦与黑麦的肉鸡 IDE、ME 和 MEn 分别为 10.59、11.81、11.28 MJ/kg 与 11.97、12.56、11.83 MJ/kg。Farrell^[23]测定了 33 种小麦在鸡体内的 ME, 其范围在 12.78 ~ 15.80 MJ/kg, 与本试验结果差异较大。由于脂肪含量的原因, 非谷物类原料的能值往往高于小麦, 尤其是在肉鸡上, 会观察到低 ME 现象^[12]。此外, 造成小麦 ME 较低的另一个原因是淀粉消化率低, 其平均消化率仅为 79%^[24]。Adeola 等^[25]研究表明, 以小麦为主的高黏度饲料会显著降低鸭对脂肪、淀粉、氮和能量的回肠消化率。早期也有大量试验证明小麦低 ME 和低淀粉消化率之间存在联系^[26-28]。黑麦中含有较高的抗营养因子, 主要是 NSP 和烷基间苯二酚, 这也是黑麦在单胃动物饲料中较少使用的原因^[5]。由于 NSP 会导致凝胶的形成, 降低养分的利用率, 饲喂未添加外源酶的黑麦饲料会降低禽类的生产性能^[29]。烷基间苯二酚则是主要影响饲料的适口性, 随着杂交技术的更新, 新型杂交黑麦烷基间苯二酚含量已经从以前的超过 1 000 mg/kg 降低至 815 mg/kg, 甚至 401 mg/kg^[30]。随着常规饲料原料价格的提高, 人们尝试在禽类饲料中使用黑麦, 从而降低生产成本。在本试验中, 饲料中添加黑麦并未显著影响肉鸡的生长性能, 但是降低了养分的消化率, 其原因可能是本试验未添加额外的酶制剂所致。Friesen 等^[31]研究发现, 在肉鸡饲料中添加 10%~60% 的黑麦, 测定出其 MEn 为 10.03~12.06 MJ/kg, 与本试验结果基本一致。

4 结 论

在肉鸡玉米-豆粕型基础饲料中用大麦、黑小麦、小麦和黑麦替代一定比例的供能饲料是切实可行的。通过回归分析得出了 4 种麦类饲料原料

的肉鸡 IDE、ME 和 MEn, 其中大麦分别为 9.31、10.50、10.29 MJ/kg, 黑小麦分别为 10.99、11.80、11.43 MJ/kg, 小麦分别为 10.59、11.81、11.28 MJ/kg, 黑麦分别为 11.97、12.56、11.83 MJ/kg。

参考文献:

- [1] 赵峰, 张宏福. 对家禽饲料有效能评定理论及实践中若干问题的探讨 [J]. 中国家禽, 2009, 31 (15): 35-39.
ZHAO F, ZHANG H F. Discussion on the theory and practice of evaluating the effective energy of poultry feed [J]. China Poultry, 2009, 31 (15): 35-39. (in Chinese)
- [2] GOHL B, ALDÉN S, ELWINGER K, et al. Influence of β -glucanase on feeding value of barley for poultry and moisture content of excreta [J]. British Poultry Science, 1978, 19 (1): 41-47.
- [3] CHEN C H, BUSHUK W. Nature of proteins in triticale and its parental species: I. Solubility characteristics and amino acid composition of endosperm proteins [J]. Canadian Journal of Plant Science, 1970, 50 (1): 15-24.
- [4] CHOCT M, HUGHES R J, BEDFORD M R. Effects of a xylanase on individual bird variation, starch digestion throughout the intestine, and ileal and caecal volatile fatty acid production in chickens fed wheat [J]. British Poultry Science, 1999, 40 (3): 419-422.
- [5] 王永伟. 肉仔鸡小麦表现有效能值测定 [D]. 硕士学位论文. 北京: 中国农业科学院, 2009.
WANG Y W. The determination of apparent effective energy values of wheat in broilers [D]. Master's Thesis. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2009. (in Chinese)
- [6] MILCZAREK A, OSEK M, SKRZYPEK A. Effectiveness of using a hybrid rye cultivar in feeding broiler chickens [J]. Canadian Journal of Animal Science, 2020, 100 (3): 502-509.
- [7] BOLARINWA O A, ADEOLA O. Energy value of wheat, barley, and wheat dried distillers grains with solubles for broiler chickens determined using the regression method [J]. Poultry Science, 2012, 91 (8): 1928-1935.
- [8] NRC. Nutrient requirements of poultry [S]. Washington, D.C.: National Academy Press, 1994.
- [9] FENTON T W, FENTON M. An improved procedure for the determination of chromic oxide in feed and feces [J]. Canadian Journal of Animal Science, 1979, 59 (3): 631-634.
- [10] SAS Institute Inc. SAS/STAT user's guide [M]. Cary, NY: SAS Institute Inc., 1989.
- [11] GOHL B. Influence of water-treatment of barley on the digestion process in rats [J]. Zeitschrift Für Tierphysiologie Tierernahrung Und Futtermittelkunde, 1977, 39 (2): 57-67.
- [12] SVIHUS B, GULLORD M. Effect of chemical content and physical characteristics on nutritional value of wheat, barley and oats for poultry [J]. Animal Feed Science and Technology, 2002, 102 (1/2/3/4): 71-92.
- [13] VIEIRA S L, PENZ A M, Jr, KESSLER A M, et al. A nutritional evaluation of triticale in broiler diets [J]. Journal of Applied Poultry Research, 1995, 4 (4): 352-355.
- [14] PROUDFOOT F G, HULAN H W. Nutritive value of triticale as a feed ingredient for broiler chickens [J]. Poultry Science, 1988, 67 (12): 1743-1749.
- [15] VAN KRIMPEN M M, TORIKI M, SCHOKKER D. Effects of rye inclusion in grower diets on immune competence-related parameters and performance in broilers [J]. Poultry Science, 2017, 96 (9): 3324-3337.
- [16] BOROS D, MARQUARDT R R, GUENTER W. Rye as an alternative grain in commercial broiler feeding [J]. Journal of Applied Poultry Research, 1995, 4 (4): 341-351.
- [17] FUENTE J M, DE AYALA P P, FLORES A, et al. Effect of storage time and dietary enzyme on the metabolizable energy and digesta viscosity of barley-based diets for poultry [J]. Poultry Science, 1998, 77 (1): 90-97.
- [18] HENRY R J. Pentosan and (1 \rightarrow 3), (1 \rightarrow 4)- β -glucan concentrations in endosperm and wholegrain of wheat, barley, oats and rye [J]. Journal of Cereal Science, 1987, 6 (3): 253-258.
- [19] 王红亮. 大麦猪有效能预测方程及改善方法的研究 [D]. 博士学位论文. 北京: 中国农业大学, 2017.
WANG H L. Prediction equations and improving methods of available energy in barley fed to pigs [D]. Ph. D. Thesis. Beijing: China Agricultural University, 2017. (in Chinese)
- [20] VILLAMIDE M J, FUENTE J M, DE AYALA P P, et al. Energy evaluation of eight barley cultivars for poul-

- try; effect of dietary enzyme addition [J]. Poultry Science, 1997, 76(6): 834-840.
- [21] FRANCESCH M, PEREZ-VENDRELL A, MOLINACANO J L, et al. Effects of variety, location and year of harvest on the nutritive value in poultry of Spanish barleys [poster] [C]. // ICC/SCF international symposium book. Uppsala: The Swedish University of Agricultural Sciences, 1992.
- [22] KNUDSEN K E B. Carbohydrate and lignin contents of plant materials used in animal feeding [J]. Animal Feed Science and Technology, 1997, 67 (4): 319-338.
- [23] FARRELL D J. An assessment of quick bioassays for determining the true metabolizable energy and apparent metabolizable energy of poultry feedstuffs [J]. World's Poultry Science Journal, 1981, 37 (2): 72-83.
- [24] SVIHUS B. Research note: a consistent low starch digestibility observed in pelleted broiler chicken diets containing high levels of different wheat varieties [J]. Animal Feed Science and Technology, 2001, 92 (1/2): 45-49.
- [25] ADEOLA O, BEDFORD M R. Exogenous dietary xylanase ameliorates viscosity-induced anti-nutritional effects in wheat-based diets for White Pekin ducks (*Anas platyrinchos domesticus*) [J]. British Journal of Nutrition, 2004, 92(1): 87-94.
- [26] MOLLAH Y, BRYDEN W L, WALLIS I R, et al. Studies on low metabolisable energy wheats for poultry using conventional and rapid assay procedures and the effects of processing [J]. British Poultry Science, 1983, 24(1): 81-89.
- [27] ROGEL A M, ANNISON E F, BRYDEN W L, et al. The digestion of wheat starch in broiler chickens [J]. Australian Journal of Agricultural Research, 1987, 38 (3): 639-649.
- [28] WISEMAN J. Correlation between physical measurements and dietary energy values of wheat for poultry and pigs [J]. Animal Feed Science and Technology, 2000, 84(1/2): 1-11.
- [29] SILVA S S P, SMITHARD R R. Effect of enzyme supplementation of a rye-based diet on xylanase activity in the small intestine of broilers, on intestinal crypt cell proliferation and on nutrient digestibility and growth performance of the birds [J]. British Poultry Science, 2002, 43(2): 274-282.
- [30] SCHWARZ T, KULETA W, TUREK A, et al. Assessing the efficiency of using a modern hybrid rye cultivar for pig fattening, with emphasis on production costs and carcass quality [J]. Animal Production Science, 2015, 55(4): 467-573.
- [31] FRIESEN O D, GUENTER W, ROTTER B A, et al. The effects of enzyme supplementation on the nutritive value of rye grain (*Secale cereale*) for the young broiler chick [J]. Poultry Science, 1991, 70 (12): 2501-2508.

Effective Energy Values of 4 Grains Feed Ingredients for Broiler Chickens Using Regression Analysis Method

FANG Chengkun^{1,2} YU Qifang^{1*} ADEOLA Olayiwola^{1,2} HE Jianhua^{1**}

(1. College of Animal Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; 2. Department of Animal Sciences, Purdue University, West Lafayette IN 47906, America)

Abstract: The objective of this experiment was to evaluate the effective energy values of barley, triticale, wheat and rye, optimize the existing formula database, and gradually realize the accurate supply of dietary nutrition. By using regression analysis method, and the experiment was divided into two batches, experiment 1 (Exp.1) evaluated the ileal digestibility (IDE), metabolic energy (ME) and nitrogen-corrected metabolic energy (MEn) of barley and triticale, experiment 2 (Exp.2) evaluated IDE, ME and MEn of wheat and rye. In each experiment, a total of 320 one-day-old male Ross 708 broiler chickens were randomly divided into 5 groups with 8 replicates per group and 8 chickens per replicate. 1 to 20 days old was the pre-test period, and broiler chickens were fed a basal diet; 21 to 28 days old was the experimental period, and broiler chickens were fed the diet and experimental diet, respectively. The 5 groups' diets at the age of 21 to 28 days in Exp.1 were as follows: basal diet, barley-containing diet (250 g/kg barley), barley-containing diet (500 g/kg barley), triticale-containing diet (250 g/kg triticale), triticale-containing diet (500 g/kg triticale). The 5 groups' diets at the age of 21 to 28 days in Exp.2 were as follows: basal diet, wheat-containing diet (250 g/kg wheat), wheat-containing diet (500 g/kg wheat), rye-containing diet (250 g/kg rye), rye-containing diet (500 g/kg rye). The results showed that the additions of barley, triticale, wheat and rye had no significant effects on the growth performance of broiler chickens ($P>0.05$). There was an extremely significant linear decrease relationship between the substitution amount of barley and the ileal digestibility of dry matter and energy, the total tract metabolizability of dry matter, nitrogen and energy, and IDE, ME, MEn ($P<0.01$). There was an extremely significant linear decrease relationship between the substitution amount of triticale and the total tract metabolizability of nitrogen, and IDE, ME, MEn ($P<0.01$), and there was a significant or extremely significant quadratic curve relationship between the substitution amount of triticale and the ileal digestibility of dry matter, energy and IDE ($P<0.05$ or $P<0.01$). There was a significant or extremely significant linear decrease relationship between the substitution amount of wheat and the total tract metabolizability of dry matter, nitrogen, energy and nitrogen-corrected energy ($P<0.05$ or $P<0.01$), and there was a significant or extremely significant quadratic curve relationship between the substitution amount of wheat and the ileal digestibility of dry matter and energy, and IDE ($P<0.05$ or $P<0.01$). There was a significant or extremely significant linear decrease relationship between the substitution amount of rye and the ileal digestibility of dry matter and energy, and the total tract metabolizability of dry matter and nitrogen ($P<0.05$ or $P<0.01$), and there was a significant or extremely significant quadratic curve relationship between the substitution amount of rye and the ileal digestibility of dry matter and energy, and the total tract metabolizability of dry matter and nitrogen, energy and nitrogen-corrected energy, and IDE, ME, MEn ($P<0.05$ or $P<0.01$). According to the regression analysis, the IDE, ME and MEn of broiler chickens in barley are 9.31, 10.50 and 10.29 MJ/kg, those in triticale are 10.99, 11.80 and 11.43 MJ/kg, those in wheat are 10.59, 11.81 and 11.28 MJ/kg, and those in rye are 11.97, 12.56 and 11.83 MJ/kg, respectively. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2021, 33(2):811-821]

Key words: grains feed ingredients; broiler chickens; regression analysis; effective energy

* Contributed equally

** Corresponding author, professor, E-mail: jianhuahy@hunau.net