

玉米和豆粕不同粉碎粒度组合对颗粒加工质量和肉鸡生长性能的影响

赵丹阳¹ 李军国^{1,2} 秦玉昌³ 谷旭^{1,2} 杨洁^{1,2}
董颖超^{1,2} 薛勇⁴ 李复煌⁵ 李征⁶ 李俊^{1,2*}

(1.中国农业科学院饲料研究所,饲料加工创新团队,北京 100081;2.农业部动物产品质量安全饲料源性因子风险评估实验室,北京 100081;3.中国农业科学院北京畜牧兽医研究所,北京 100193;4.北京市昌平区动物疫病防控中心,北京 102200;5.北京市畜牧总站,北京 100107;6.北京市饲料监察所,北京 100107)

摘要: 本试验旨在研究玉米、豆粕不同粉碎粒度组合对肉鸡饲料加工质量及肉鸡生长性能的影响。试验饲粮中玉米分别采用 2.0、2.5 和 3.0 mm 3 种筛片孔径进行粉碎,豆粕分别采用 1.5、2.0 和 2.5 mm 3 种筛片孔径进行粉碎,不同筛片孔径粉碎的玉米和豆粕两两组合成 9 个不同粉碎粒度处理组合,采用同一饲粮配方和制粒参数进行加工调制。试验选用 22 日龄的肉鸡 900 只,随机分为 9 个组,分别采食 9 个不同粒度组合处理的饲粮,每个组 5 个重复,每个重复 20 只鸡,进行为期 21 d 的肉鸡饲养试验。结果表明:1) 玉米、豆粕分别采用 3.0 和 1.5 mm 筛片孔径粉碎处理,颗粒饲料的颗粒耐久性指数和颗粒硬度最大;玉米、豆粕分别采用 2.5 和 1.5 mm 筛片孔径粉碎处理,颗粒饲料的颗粒耐久性指数和颗粒硬度最小。2) 玉米、豆粕均采用 2.5 mm 筛片孔径粉碎处理,肉鸡的平均末重和平均日增重最高,料重比最低。3) 玉米和豆粕的粉碎粒度及二者的交互作用对肉鸡粗蛋白质、能量和干物质的表观消化率以及肉鸡的全净膛率、肌胃相对重量和腺胃相对重量的影响均不显著($P>0.05$)。由此可见,22~42 日龄肉鸡饲粮中玉米和豆粕都采用 2.5 mm 筛片孔径粉碎,即玉米和豆粕几何平均粒径分别为 348.38 和 450.46 μm 时,肉鸡的生长性能最佳。

关键词: 筛片孔径;粉碎粒度;颗粒加工质量;生长性能

中图分类号: S816

文献标识码: A

文章编号: 1006-267X(2019)10-4553-10

原料粉碎是饲料加工工艺中非常重要的环节,很大程度上,原料的粉碎粒度直接影响着饲料的加工质量、营养价值以及畜禽的消化吸收^[1-2]。当饲料原料的粉碎粒度减小时,谷物的表面积会增加,这会增强谷物与消化酶之间的作用,进而提高饲料的转化率^[3]。适宜的粉碎粒度不仅可以最大化饲料的营养价值,提高饲料的转化率,进而提高肉鸡的生长性能,还可以提高饲料的加工质量,降低加工能耗。我国肉鸡饲料主要是玉米-豆粕

型饲粮,玉米是主要的能量饲料来源,豆粕是主要的蛋白质饲料来源。关于玉米和豆粕单一原料粉碎粒度对肉鸡生长性能的研究已有文献报道,而有关 2 种原料不同粉碎粒度组合对肉鸡生长性能影响的研究未见报道。目前,针对玉米、豆粕 2 种饲料原料,饲料企业一般会采用相同的筛片孔径即 2.5 mm 对原料进行粉碎。本研究选用不同筛片孔径对玉米和豆粕分别进行粉碎,研究玉米和豆粕不同粉碎粒度组合饲粮以及不同粉碎粒度下

收稿日期:2019-03-22

基金项目:现代农业产业技术体系北京市家禽创新团队项目(BAIC04-2019);中国农业科学院创新工程项目(CAAS-ASTIP-2017-FRI-08);国家重点研发计划项目“畜禽养殖绿色安全饲料饲养新技术研发(2018YFD0500600)”

作者简介:赵丹阳(1994—),女,河北沧州人,硕士研究生,从事动物营养与饲料加工研究。E-mail: zhaodanyang0912@163.com

*通信作者:李俊,研究员,硕士生导师,E-mail: lijun08@caas.cn

玉米和豆粕的交互作用对22~42日龄肉鸡生长性能、营养物质表观消化率、屠宰性能和消化系统的影响,确定肉鸡饲料中玉米和豆粕的最佳粉碎粒度组合以及不同粉碎粒度玉米和豆粕交互作用的影响,供饲料生产企业参考。

1 材料与方

1.1 试验设计与试验动物

试验选取典型肉鸡饲料类型,在相同的配方下,设计2因素、3水平(2×3)的肉鸡饲喂试验。玉米采用2.0、2.5和3.0 mm的筛片孔径进行粉

碎,豆粕采用1.5、2.0和2.5 mm的筛片孔径进行粉碎,两两组合,共有9个不同粒度组合(表1)。制粒机环模模孔直径3 mm、长径比10:1,调质温度75 ℃,调质时间约为30 s,对饲料进行颗粒加工。前期是破碎料,后期是颗粒料。试验选用900只22日龄的肉鸡,按照体重相近、性别比例一致原则分为9个组,分别采食9个粒度组合的饲料,每个组5个重复,每个重复20只鸡,进行为期21 d的饲养试验。动物试验在中国农业科学院南口中试基地进行。

表1 试验设计

Table 1 Design of experiment

玉米粉碎筛片孔径 Corn crushing sieve aperture/mm	豆粕粉碎筛片孔径 Soybean meal crushing sieve aperture/mm		
	1.5	2.0	2.5
2.0	组1	组2	组3
2.5	组4	组5	组6
3.0	组7	组8	组9

1.2 试验饲料

试验饲料组成及营养水平见表2。

表2 饲料组成及营养水平(风干基础)

Table 2 Composition and nutrient levels of the diet (air-dry basis)

项目 Items	含量 Content	%
原料 Ingredients		
玉米 Corn	62.95	
豆粕 Soybean meal	28.04	
玉米蛋白粉 Corn protein flour	3.05	
植物油 Vegetable oil	2.00	
石粉 Limestone	1.24	
磷酸氢钙 CaHPO ₄	1.29	
蛋氨酸 Met	0.13	
食盐 NaCl	0.30	
预混料 Premix ¹⁾	1.00	
合计 Total	100.00	
营养水平 Nutrient levels ²⁾		
代谢能 ME/(MJ/kg)	12.50	
粗蛋白质 CP	19.31	
钙 Ca	0.90	
有效磷 AP	0.40	

续表2

项目 Items	含量 Content
赖氨酸 Lys	0.90
蛋氨酸 Met	0.45

¹⁾预混料为每千克饲料提供 Premix provided the following per kg of the diet: VA 8 000 IU, VD 3 750 IU, VE 15 IU, VK 30.5 mg, VB₁ 2 mg, VB₂ 5 mg, VB₆ 3.5 mg, VB₁₂ 0.01 mg, 泛酸 pantothenic acid 10 mg, 烟酸 niacin 30 mg, 生物素 biotin 0.05 mg, 叶酸 folic acid 0.55 mg, 胆碱 choline 1 000 mg, Fe (as ferrous sulfate) 80 mg, Cu (as copper sulfate) 8 mg, Zn (as zinc sulfate) 80 mg, Mn (as manganese sulfate) 100 mg, I (as potassium iodide) 0.7 mg, Se 0.3 mg, 黄霉素 flavomycin 4 mg, 盐霉素 salinomycin 50 mg。

²⁾粗蛋白质为实测值,其他为计算值。CP was a measured value, while the others were calculated values.

1.3 饲养管理

试验前对鸡舍进行全面消毒,采用笼养的饲养方式,饲养管理参照《爱拔益加(AA)肉鸡饲养管理手册》,试验期间保持鸡舍清洁和通风,控制好光照和温度,定期消毒。肉鸡自由采食和自由饮水。专人负责饲养管理,按照免疫程序做好疫苗免疫工作,注意肉鸡的生长状况,做好肉鸡采食

和死淘记录。

1.4 饲料样品采集

采集不同粉碎筛片孔径下玉米、豆粕样品,每个粉碎粒度取 3 个样品,每个样品取样量不少于 2 kg;采集每个组合混合粉料样品,每个组合取 3 个样品,每个样品取样量不少于 2 kg;每个组合颗粒饲料样品在冷却器出料口取样,取样 3 次,每次取样时间间隔相同,每次取样量不少于 2 kg。分别将取得的样品均匀混合,采用四分法留存,保存于自封袋中贮备于 4 ℃ 冰箱中,用于粉碎料样品的几何平均粒径、颗粒饲料样品的颗粒耐久性指数(PDI)、颗粒硬度以及营养物质表观消化率指标的测定。

1.5 检测指标与方法

1.5.1 粉碎粒度

粉碎料样品的几何平均粒径的检测采用 GB/T 6971—2007《饲料粉碎机试验方法》^[4]中的十四层筛分法。

1.5.2 颗粒硬度

颗粒饲料样品的硬度检测参照《饲料检验化验员》^[5]中颗粒饲料硬度的测定方法。

1.5.3 PDI

将 500 g 已经过筛去除细粉的饲料样品放入颗粒耐久性测试装置中,翻转 10 min,取出饲料样品,过筛,称取剩余饲料样品的重量,按下列公式计算 PDI^[6]:

$$PDI(\%) = \frac{\text{翻转前饲料样品的重量}}{\text{翻转后饲料样品的重量}} \times 100。$$

1.5.4 生长性能

于肉鸡 41 日龄早晨起开始控料,使试验鸡空腹 24 h,期间鸡自由饮水,于 42 日龄早晨逐只称重,以重复为单位记录计算各组试验鸡的平均体重,准确记录每天耗料量,出现死鸡时结料称重,计算总耗料量。生长性能指标计算如下:

$$\text{平均日采食量(ADFI, g)} = \frac{\text{总耗料量}}{\text{(只数} \times \text{天数)}};$$

$$\text{平均日增重(ADG, g)} = \frac{\text{总增重}}{\text{(只数} \times \text{天数)}};$$

$$\text{料重比(F/G)} = \frac{\text{总耗料量}}{\text{总增重}}。$$

1.5.5 屠宰性能

饲养试验结束时,每个组选取健康肉鸡 4 只(2 公 2 母)进行屠宰,测定屠宰体重、全净膛重、腺胃重和肌胃重,并计算全净膛率、肌胃和腺胃相对重量。

1.5.6 营养物质表观消化率

采用全收粪法收集鸡排泄物,测定饲料中粗蛋白质、能量和干物质 3 种营养物质的表观消化率。试验结束前连续收粪 3 d,烘干粉碎后 4 ℃ 冰箱保存备用。添加 10% 盐酸(HCl),于 70 ℃ 烘箱中连续烘 72 h,待测。表观消化率的计算公式为:

$$\text{某营养物质表观消化率}(\%) = \frac{\text{食入该营养物质总量} - \text{粪中该营养物质总量}}{\text{食入该营养物质总量}} \times 100。$$

其中,饲料和粪样中粗蛋白质、能量和干物质含量的测定方法:粗蛋白质含量参照 GB/T 6432—1994,通过凯氏定氮法测定;能量值采用 IKA c2000 标准型氧弹量热仪测定;干物质含量参照 GB/T 6435—2014 测定。

1.6 数据处理

试验数据采用 SPSS 17.0 进行单因子方差和 SAS 9.2 进行 2×3 两因子方差分析,数据以“平均值±标准差”的形式表示,各组间的平均值采用 Duncan 氏法多重比较进行差异显著性检验,以 $P < 0.05$ 作为差异显著性的标准, $P < 0.01$ 作为差异极显著性的标准。

2 结果

2.1 玉米和豆粕不同粉碎粒度组合对颗粒饲料加工质量的影响

粉碎机不同筛片孔径对玉米和豆粕几何平均粒径的影响结果见表 3。由表可知,筛片孔径为 3.0 mm 时玉米平均几何粒径极显著大于筛片孔径为 2.0 和 2.5 mm 时($P < 0.01$);粉碎豆粕时,随着筛片孔径的增大,平均几何粒径呈极显著增加($P < 0.01$)。

玉米和豆粕不同粉碎粒度组合对颗粒饲料 PDI 和颗粒硬度的影响结果见表 4 和表 5。由表 5 可知,玉米和豆粕的粉碎粒度对颗粒饲料 PDI 有极显著影响($P < 0.01$),对颗粒硬度没有显著影响($P > 0.05$);玉米、豆粕粉碎粒度的交互作用对颗粒饲料 PDI 有极显著影响($P < 0.01$),对颗粒硬度有显著影响($P < 0.05$)。由表 4 可知,玉米、豆粕粉碎筛片孔径分别为 3.0 和 1.5 mm 时,颗粒饲料的 PDI 和颗粒硬度最大;玉米、豆粕粉碎筛片孔径分别为 2.5 和 1.5 mm 时,颗粒饲料的 PDI 和颗粒硬度最小。

表 3 不同筛片孔径对玉米和豆粕几何平均粒径的影响

Table 3 Effects of different sieve aperture on geometric mean particle diameter of corn and soybean meal μm

玉米粉碎筛片孔径 Corn crushing sieve aperture/mm	玉米几何平均粒径 Geometric mean particle diameter of corn	豆粕粉碎筛片孔径 Soybean meal crushing sieve aperture/mm	豆粕几何平均粒 Geometric mean particle diameter of soybean meal
2.0	331.35±5.32 ^{Aa}	1.5	333.06±7.61 ^A
2.5	348.38±13.81 ^{Ab}	2.0	413.53±4.85 ^B
3.0	443.51±4.16 ^{Bc}	2.5	450.46±8.13 ^C

同列数据肩标不同大写字母表示差异极显著 ($P<0.01$), 不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。

In the same column, values with different capital letter superscripts mean significant difference ($P<0.01$), while with different small letter superscripts mean significant difference ($P<0.05$).

不考虑豆粕粉碎粒度, 玉米粉碎筛片孔径为 2.5 mm 时, 颗粒饲料的 PDI 和颗粒硬度最小; 而玉米粉碎筛片孔径为 3.0 mm 时, 颗粒饲料的 PDI 较大、颗粒硬度最大。不考虑玉米粉碎粒度, 豆粕

粉碎筛片孔径为 2.0 mm 时, 颗粒饲料的 PDI 和颗粒硬度最大; 豆粕粉碎筛片孔径为 2.5 mm 时, 颗粒饲料的 PDI 和颗粒硬度最小。

表 4 玉米和豆粕不同粉碎粒度组合对颗粒饲料 PDI 和颗粒硬度的影响

Table 4 Effects of different crushing particle size combination of corn and soybean meal on PDI and particle hardness of pellet feed

项目 Items	豆粕粉碎筛片孔径 Soybean meal crushing sieve aperture/mm			平均值 Mean	
	1.5	2.0	2.5		
玉米粉碎筛片孔径 Corn crushing sieve aperture/mm					
2.0	颗粒耐久性指数 PDI/%	95.24±0.14 ^{CDde}	95.58±0.19 ^{Dc}	94.56±0.13 ^{BCcd}	95.13±0.52
	颗粒硬度 Particle hardness/g	2 158.33±144.40 ^{ab}	2 401.33±386.2 ^{bc}	2 113.53±49.93 ^{ab}	2 224.40±154.86
2.5	颗粒耐久性指数 PDI/%	91.63±1.07 ^{Aa}	94.46±0.07 ^{BCc}	94.70±0.25 ^{CDcd}	93.60±1.71
	颗粒硬度 Particle hardness/g	1 988.60±106.07 ^a	2 095.73±49.04 ^{ab}	2 274.10±142.66 ^{abc}	2 119.48±144.22
3.0	颗粒耐久性指数 PDI/%	96.70±0.20 ^{Ef}	94.89±0.18 ^{CDede}	93.64±0.15 ^{Bb}	95.08±1.54
	颗粒硬度 Particle hardness/g	2 530.13±312.61 ^c	2 383.03±64.54 ^{bc}	2 086.10±102.66 ^{ab}	2 333.09±226.19
平均值 Mean	颗粒耐久性指数 PDI/%	94.52±2.61	94.98±0.57	94.30±0.58	
	颗粒硬度 Particle hardness/g	2 225.69±276.98	2 293.36±171.40	2 157.91±101.55	

各组数据肩标无字母或相同小写字母表示差异不显著 ($P>0.05$), 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。

Among all groups, values with no letter or the same small letter superscripts mean no significant difference ($P>0.05$), while with different small letter superscripts mean significant difference ($P<0.05$), and with different capital letter superscripts mean significant difference ($P<0.01$). The same as below.

表 5 玉米和豆粕不同粉碎粒度组合对颗粒饲料 PDI 和颗粒硬度的影响显著性分析结果

Table 5 Significant analysis results of the effects of different crushing particle size combination of corn and soybean meal on PDI and particle hardness of pellet feed

P 值 P-value	颗粒耐久性指数 PDI	颗粒硬度 Particle hardness
玉米粉碎筛片孔径 Corn crushing sieve aperture	<0.001	0.081
豆粕粉碎筛片孔径 Soybean meal crushing sieve aperture	0.006	0.334
玉米粉碎筛片孔径×豆粕粉碎筛片孔径 Corn crushing sieve aperture×soybean meal crushing sieve aperture	<0.001	0.028

2.2 玉米和豆粕不同粉碎粒度组合对肉鸡生长性能的影响

玉米和豆粕不同粉碎粒度组合对肉鸡生长性能的影响结果见表 6 和表 7。由表 7 可知,玉米粉碎粒度对肉鸡平均末重有显著影响 ($P<0.05$),对平均日增重有极显著影响 ($P<0.01$),对平均日采食量和料重比影响不显著 ($P>0.05$)。豆粕粉碎粒度、玉米和豆粕粉碎粒度的交互作用都对肉鸡的生长性能没有显著影响 ($P>0.05$)。由表 6 可知,组合 6 即玉米粉碎筛片孔径为 2.5 mm、豆粕粉碎筛片孔径为 2.5 mm 时,肉鸡平均末重和平均日增

重最高,料重比最低。组合 7 即玉米粉碎筛片孔径为 3.0 mm、豆粕粉碎筛片孔径为 1.5 mm 时,肉鸡平均日采食量最高。

不考虑豆粕粉碎粒度,随着玉米粉碎粒度的增大,肉鸡平均末重、平均日增重以及平均日采食量均有增大的趋势。不考虑玉米粉碎粒度,豆粕粉碎筛片孔径为 2.0 mm 时,肉鸡平均末重、平均日增重以及平均日采食量均最高,且料重比最低。综上,组合 6 即玉米粉碎筛片孔径为 2.5 mm、豆粕粉碎筛片孔径为 2.5 mm 时,肉鸡的生长性能最佳。

表 6 玉米和豆粕不同粉碎粒度组合对肉鸡生长性能的影响

Table 6 Effects of different crushing particle size combination of corn and soybean meal on growth performance of broilers

项目 Items	豆粕粉碎筛片孔径 Soybean meal crushing sieve aperture/mm			平均值 Mean	
	1.5	2.0	2.5		
玉米粉碎筛片孔径 Corn crushing sieve aperture/mm					
	平均初重 Average IBW/g	824.15±15.15	820.82±12.12	824.44±10.09	823.14±2.01
	平均末重 Average FBW/g	2 425.26±83.77 ^a	2 531.95±59.01 ^{ab}	2 425.44±79.41 ^a	2 460.88±61.55
2.0	平均日增重 ADG/g	76.24±4.11 ^a	81.48±2.41 ^{ab}	76.24±3.47 ^a	77.99±3.03
	平均日采食量 ADFI/g	146.81±20.40	155.53±3.04	150.91±3.82	151.08±4.36
	料重比 F/G	1.92±0.20	1.91±0.08	1.98±0.07	1.94±0.04
	平均初重 Average IBW/g	822.22±22.57	812.22±16.39	827.26±26.18	820.57±7.65
2.5	平均末重 Average FBW/g	2 493.02±91.95 ^{ab}	2 543.20±64.18 ^{ab}	2 607.78±89.46 ^b	2 548.00±57.53
	平均日增重 ADG/g	79.56±3.81 ^{ab}	82.43±3.09 ^{ab}	84.79±3.12 ^b	82.26±2.62
	平均日采食量 ADFI/g	155.94±8.04	156.01±3.97	155.48±5.35	155.81±0.29
	料重比 F/G	1.96±0.14	1.90±0.10	1.83±0.03	1.90±0.06
3.0	平均初重 Average IBW/g	814.51±12.88	818.89±11.52	826.93±19.73	820.11±6.30
	平均末重 Average FBW/g	2 579.79±190.67 ^b	2 568.66±32.17 ^b	2 529.97±83.18 ^{ab}	2 559.47±26.15
	平均日增重 ADG/g	84.06±8.68 ^{ab}	83.32±1.90 ^{ab}	81.10±4.42 ^{ab}	82.83±1.54
	平均日采食量 ADFI/g	160.05±9.90	157.56±2.71	157.97±5.79	158.53±1.34
平均值 Mean	料重比 F/G	1.91±0.10	1.89±0.04	1.95±0.10	1.92±0.03
	平均初重 Average IBW/g	820.29±5.10	817.31±4.51	826.21±1.54	
	平均末重 Average FBW/g	2 499.36±77.46	2 547.94±18.81	2 521.06±91.50	
	平均日增重 ADG/g	79.96±3.92	82.41±0.92	80.71±4.29	
平均值 Mean	平均日采食量 ADFI/g	154.27±6.78	156.37±1.06	154.79±3.58	
	料重比 F/G	1.93±0.03	1.90±0.01	1.92±0.08	

2.3 玉米和豆粕不同粉碎粒度组合对肉鸡营养物质表观消化率的影响

玉米和豆粕不同粉碎粒度对肉鸡营养物质表观消化率的影响结果见表 8 和表 9。由表 9 可知,玉米和豆粕的粉碎粒度及二者的交互作用对肉鸡粗蛋白质、能量、干物质的表观消化率影响均不显著 ($P>0.05$)。由表 8 可知,玉米粉碎粒度最大(筛

片孔径 3.0 mm)同时豆粕粉碎粒度最小(筛片孔径 1.5 mm),或是玉米粉碎粒度中等(筛片孔径 2.5 mm)同时豆粕粉碎粒度中等(筛片孔径 2.0 mm),亦或是玉米粉碎粒度最小(筛片孔径 2.0 mm)同时豆粕粉碎粒度最大(筛片孔径 2.5 mm)时,肉鸡粗蛋白质、能量、干物质的表观消化率都相对较高。其中组 7 即玉米粉碎筛片孔径

选择 3.0 mm、豆粕粉碎筛片孔径选择 1.5 mm 时, 筛片孔径选择 2.5 mm、豆粕粉碎筛片孔径选择肉鸡粗蛋白质表观消化率最高;组 5 即玉米粉碎 2.0 mm 时,肉鸡能量和干物质的表观消化率最高。

表 7 玉米和豆粕不同粉碎粒度组合对肉鸡生长性能的影响显著性分析结果

Table 7 Significant analysis results of the effects of different crushing particle size combination of corn and soybean meal on growth performance of broilers

P 值 P-value	平均末重 Average FBW	平均日增重 ADG	平均日采食量 ADFI	料重比 F/G
玉米粉碎筛片孔径 Corn crushing sieve aperture	0.014	0.007	0.075	0.552
豆粕粉碎筛片孔径 Soybean meal crushing sieve aperture	0.386	0.291	0.792	0.659
玉米粉碎筛片孔径×豆粕粉碎筛片孔径 Corn crushing sieve aperture×soybean meal crushing sieve aperture	0.182	0.143	0.689	0.295

表 8 玉米和豆粕不同粉碎粒度对肉鸡养分表观消化率的影响

Table 8 Effects of different crushing particle size combination of corn and soybean meal on nutrient apparent digestibility of broilers

项目 Items	豆粕粉碎筛片孔径 Soybean meal crushing sieve aperture/mm			平均值 Mean
	1.5	2.0	2.5	
玉米粉碎筛片孔径 Corn crushing sieve aperture/mm				
2.0	粗蛋白质 CP 47.09±3.81	44.66±3.78	47.47±0.32	46.41±1.52
	能量 Energy 70.83±2.10	69.54±1.68	72.01±2.75	70.79±1.24
	干物质 DM 67.51±2.38	65.81±0.70	68.40±2.12	67.24±1.32
2.5	粗蛋白质 CP 46.62±4.78	49.11±1.30	43.47±6.80	46.40±2.83
	能量 Energy 70.18±2.60	73.89±0.35	67.93±4.27	70.67±3.01
	干物质 DM 66.51±2.37	69.36±0.66	63.90±3.79	66.59±2.73
3.0	粗蛋白质 CP 50.13±9.73	48.90±4.38	45.52±4.60	48.18±2.39
	能量 Energy 73.14±1.99	72.74±3.66	72.45±3.28	72.78±0.35
	干物质 DM 69.14±2.57	67.81±3.36	67.59±2.60	68.18±0.84
平均值 Mean	粗蛋白质 CP 47.95±1.91	47.56±2.51	45.49±2.00	
	能量 Energy 71.38±1.56	72.06±2.25	70.80±2.49	
	干物质 DM 67.72±1.33	67.66±1.78	66.63±2.40	

表 9 玉米和豆粕不同粉碎粒度对肉鸡营养物质表观消化率的影响显著性分析结果

Table 9 Significant analysis results of the effects of different crushing particle size combination of corn and soybean meal on nutrient apparent digestibility of broilers

P 值 P-value	粗蛋白质 CP	能量 Energy	干物质 DM
玉米粉碎筛片孔径 Corn crushing sieve aperture	0.699	0.219	0.413
豆粕粉碎筛片孔径 Soybean meal crushing sieve aperture	0.557	0.631	0.590
玉米粉碎筛片孔径×豆粕粉碎筛片孔径 Corn crushing sieve aperture×soybean meal crushing sieve aperture	0.656	0.158	0.120

2.4 玉米和豆粕不同粉碎粒度组合对肉鸡屠宰性能的影响

玉米和豆粕不同粉碎粒度对肉鸡屠宰性能的

影响结果见表 10 和表 11。由表 11 可知,玉米、豆粕的粉碎粒度及二者的交互作用对肉鸡的屠宰性能没有显著影响($P>0.05$)。

由表 10 可知,当玉米、豆粕的粉碎筛片孔径分别为 3.0 和 2.0 mm 时,肉鸡的全净膛率最高;当玉米、豆粕的粉碎筛片孔径分别为 2.5 和 1.5 mm

时,肉鸡的腺胃相对重量最高;当玉米、豆粕的粉碎筛片孔径分别为 3.0 和 2.0 mm 时,肉鸡的肌胃相对重量最高。

表 10 玉米和豆粕不同粉碎粒度对肉鸡屠宰性能的影响

Table 10 Effects of different crushing particle size combination of corn and soybean meal on slaughter performance of broilers

项目 Items	豆粕粉碎筛片孔径 Soybean meal crushing sieve aperture/mm	玉米粉碎筛片孔径 Corn crushing sieve aperture/mm			平均值 Mean
		1.5	2.0	2.5	
2.0	全净膛率 Eviscerated yield	72.05±1.62	72.61±0.27	71.88±1.72	72.18±0.38
	腺胃相对重量 Glandular stomach relative weight	0.56±0.13	0.68±0.34	0.72±0.14	0.65±0.08
	肌胃相对重量 Muscular stomach relative weight	0.95±0.15	0.99±0.19	0.96±0.17	0.97±0.02
2.5	全净膛率 Eviscerated yield	71.30±4.16	72.12±2.69	71.48±2.40	71.63±0.43
	腺胃相对重量 Glandular stomach relative weight	0.89±0.59	0.65±0.25	0.70±0.43	0.75±0.13
	肌胃相对重量 Muscular stomach relative weight	0.91±0.13	0.90±0.15	1.03±0.21	0.95±0.07
3.0	全净膛率 Eviscerated yield	71.33±2.21	72.71±2.09	72.35±1.57	72.13±0.72
	腺胃相对重量 Glandular stomach relative weight	0.60±0.21	0.59±0.13	0.54±0.23	0.58±0.19
	肌胃相对重量 Muscular stomach relative weight	0.95±0.24	1.11±0.21	0.91±0.10	0.99±0.11
平均值 Mean	全净膛率 Eviscerated yield	71.56±0.42	72.48±0.32	71.90±0.44	
	腺胃相对重量 Glandular stomach relative weight	0.68±0.18	0.74±0.13	0.65±0.10	
	肌胃相对重量 Muscular stomach relative weight	0.94±0.02	1.00±0.11	0.97±0.06	

表 11 玉米和豆粕不同粉碎粒度对肉鸡屠宰性能的影响显著性分析结果

Table 11 Significant analysis results of the effects of different crushing particle size combination of corn and soybean meal on slaughter performance of broilers

P 值 P-value	全净膛率 Eviscerated yield	腺胃相对重量 Glandular stomach relative weight	肌胃相对重量 Muscular stomach relative weight
玉米粉碎筛片孔径 Corn crushing sieve aperture	0.849	0.414	0.849
豆粕粉碎筛片孔径 Soybean meal crushing sieve aperture	0.608	0.946	0.681
玉米粉碎筛片孔径×豆粕粉碎筛片孔径 Corn crushing sieve aperture×soybean meal crushing sieve aperture	0.986	0.783	0.541

3 讨论

3.1 玉米和豆粕不同粉碎粒度组合对饲料加工质量的影响

粉碎是饲料加工工艺中非常重要的环节,对

饲料的加工质量及营养价值都有很重要的影响。就饲料加工而言,降低谷物的粉碎粒度能提高颗粒饲料的制粒质量,但同时也会增加锤片式粉碎机的能量消耗,影响生产,饲料的粉碎粒度也要结合饲喂动物的特点加以确定。从本试验的结果可

以看出,玉米粉碎粒度对PDI和颗粒硬度的影响大于豆粕粉碎粒度,这可能与饲料中玉米和豆粕的含量有关,玉米的含量远远高于豆粕,使得饲料中的不同原料成分对筛片孔径的作用产生了影响,故而玉米粉碎粒度的改变能更大程度上影响饲料的PDI和颗粒硬度。此外,玉米中淀粉含量高于豆粕,而豆粕中脂肪含量则高于玉米,故而玉米粉碎粒度对饲料稳定性的影响也高于豆粕。

3.2 玉米和豆粕不同粉碎粒度组合对肉鸡生长性能的影响

适宜的粉碎粒度不仅能最大化饲料的营养价值,还能提高饲料的转化率进而使肉鸡的生长性能达到最佳。石湛粤等^[2]的研究发现,玉米粉碎粒度对肉鸡的平均日增重、平均日采食量及料重比均无显著影响,这与本研究结果相似。这可能是因为对于不同生长阶段的肉鸡,所适宜的粉碎粒度有所不同,一般而言,雏鸡的消化器官尚未发育完全,不能破碎较大的颗粒,故而粉碎粒度会影响幼龄禽类的生长性能。而本试验的鸡为肉大鸡,此时鸡的消化器官发育完全,所以饲料的粉碎粒度可能对肉大鸡的生长性能没有显著影响^[7]。但本试验中,当玉米和豆粕筛片粉碎孔径为2.5 mm时,相对于其他组,22~42日龄的肉鸡生长性能相对较好,这与葛春雨等^[8]的研究结果一致。本试验选用中等筛片孔径粉碎饲料原料,粉碎粒度适中,避免了因粉碎粒度过大使得饲料在肌胃中停留时间过长,而在肠道中停留时间过短,导致营养物质吸收不充分不利于生长;同时也避免了粉碎粒度过细,使得鸡因挑食或黏附在鸡喙上导致浪费,造成营养摄入不均匀而影响生长。

3.3 玉米和豆粕不同粉碎粒度组合对肉鸡营养物质表观消化率的影响

适宜的粉碎粒度可以提高饲料中营养物质的利用率,因为颗粒饲料被鸡采食后,会先进入肌胃,被肌胃破碎成均匀一致的食糜,而后进入消化道。粉碎粒度越小,饲料颗粒表面积越大,则与消化酶或微生物接触机会越大,有利于动物对饲料中养分的消化吸收,提高饲料的消化利用率^[9]。本试验中,采用的是2种不同原料的不同粉碎粒度之间的组合处理,结果表明玉米和豆粕的粉碎粒度及二者的交互作用对各个组之间肉鸡粗蛋白质、能量、干物质的表观消化率没有显著影响,但可以看出玉米粉碎粒度最大同时豆粕粉碎粒度最

小,或是玉米粉碎粒度中等同时豆粕粉碎粒度中等,亦或是玉米粉碎粒度最小同时豆粕粉碎粒度最大时,肉鸡粗蛋白质、能量、干物质的表观消化率都相对较高,这可能是因为粉碎粒度过大或过细都会影响饲料中营养物质的利用率,所以应结合饲料配方中玉米和豆粕的含量同时考虑原料本身的特性均衡粉碎粒度。

3.4 玉米和豆粕不同粉碎粒度组合对肉鸡屠宰性能的影响

张亮等^[10]的研究表明,不同粉碎粒度(378、430、516和590 μm)对肉鸡的屠宰性能没有显著影响,这与本研究中玉米和豆粕的粉碎粒度及二者的交互作用对肉鸡的屠宰性能没有显著影响的结果一致。但不同粉碎粒度下的肉大鸡的肌胃和腺胃也有差异,因此玉米和豆粕的粉碎粒度可以影响肉大鸡消化器官的大小。许多研究表明,饲料的颗粒大小即粉碎粒度对家禽消化道的发育有重要影响^[10-13],维持家禽生长所需要的营养物质的消化吸收都是在消化道进行的。孔祥玲等^[13]的综述中提到,饲喂颗粒大的饲料能促进家禽肌胃的发育,而饲喂粉状料的家禽肌胃发育较慢,且发育不完全的肌胃会影响其对饲料的破碎功能,进而影响了饲料在肌胃中的通过时间和在小肠中的停留时间,影响其在小肠中的营养物质的消化吸收,从而影响鸡的生长性能。Jones等^[14]的研究表明,细粉状的颗粒料会使家禽的肌胃发育不完全,导致腺胃的扩张。这是因为粉状料或粉碎粒度小的饲料饲喂家禽时,饲料进入肌胃后不需要肌胃磨碎而快速通过肌胃,肌胃只是起到了一个传送的作用,得不到很好地利用,进而发育受到抑制。而本试验中,鸡为肉大鸡,理论上前期肌胃应该完全发育,这也解释了后期饲料的粉碎粒度对肌胃和腺胃的影响没有显著差异这一结果。

4 结论

① 玉米、豆粕的粉碎粒度及其交互作用对肉鸡颗粒饲料的耐久性影响显著,对营养物质表观消化率和屠宰性能影响不显著;玉米粉碎粒度对肉鸡的平均末重和平均日增重影响显著,对肉鸡的平均日采食量和料重比影响不显著,豆粕粉碎粒度及其与玉米粉碎粒度的交互作用对肉鸡的生长性能影响不显著。

② 综合考虑玉米、豆粕不同粉碎粒度组合对颗粒饲料质量和肉鸡生长性能的影响,建议玉米、豆粕粉碎都采用 2.5 mm 的筛片孔径,即玉米和豆粕几何平均粒径分别为 348.38 和 450.46 μm 时,肉鸡的生长性能最佳。

参考文献:

- [1] 吕明斌,燕磊,吕尊,等.粉碎粒度和调质温度对肉鸡养分消化率及生产性能的影响[C]//中国畜牧兽医学动物营养学分会第七届中国饲料营养学术研讨会论文集.郑州:中国畜牧兽医学动物营养学分会,2014.
- [2] 石湛粤,邓红成,王鸣,等.玉米粉碎粒度对肉鸡生产性能和消化道指标的影响[J].中国畜牧杂志,2017,53(11):70-74.
- [3] DEN HARTOG L A, SIJTSMA S R. Influence of feed processing technology on pig performance [C] // Proceedings of the 3rd University of Nottingham Feed Conference. Nottingham, UK: Nottingham University Press, 2009.
- [4] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. GB/T 6971—2007 饲料粉碎机试验方法[S].北京:中国标准出版社,2008.
- [5] 顾君华.饲料检验化验员[M].北京:中国农业出版社,2010:89-90.
- [6] 韩广振.颗粒饲料耐久性指数测试仪及其在饲料品质检测中的应用[J].饲料与畜牧,2011(3):26-30.
- [7] JURGENS M H. Methods of feedstuff preparation. animal feeding and nutrition [M]. 7th ed. Dubuque, IA: Kendall/Hunt Publ. Co., 1993:220-225.
- [8] 葛春雨,李军国,段海涛,等.前后期饲粮不同粉碎粒度组合对肉鸡生长性能的影响[J].动物营养学报,2017,29(12):4342-4348.
- [9] 杨洁,张嘉琦,李军国,等.玉米破碎粒度对蛋鸡生产性能、蛋品质及消化器官指数的影响[J].动物营养学报,2018,30(2):531-541.
- [10] 张亮,杨在宾,杨维仁,等.不同料型和粉碎粒度对肉鸡生产性能、屠宰性能和消化道发育的影响[J].山东农业大学学报(自然科学版),2016,47(1):139-146.
- [11] PÉRON A, BASTIANELLI D, OURY F X, et al. Effects of food deprivation and particle size of ground wheat on digestibility of food components in broilers fed on a pelleted diet [J]. British Poultry Science, 2005,46(2):223-230.
- [12] ENGBERG R M, HEDEMANN M S, JENSEN B B. The influence of grinding and pelleting of feed on the microbial composition and activity in the digestive tract of broiler chickens [J]. British Poultry Science, 2002,43(4):569-579.
- [13] 孔祥玲,王志跃.饲料颗粒大小对家禽消化道发育及营养物质利用率的影响[J].中国饲料,2008(13):9-11.
- [14] JONES G P D, TAYLOR R D. The incorporation of whole grain into pelleted broiler chicken diets: production and physiological responses [J]. British Poultry Science, 2001,42(4):477-483.

Effects of Different Crushing Particle Size Combination of Corn and Soybean Meal on Processing Quality of Granules and Growth Performance of Broilers

ZHAO Danyang¹ LI Junguo^{1,2} QIN Yuchang³ GU Xu^{1,2} YANG Jie^{1,2}

DONG Yingchao^{1,2} XUE Yong⁴ LI Fuhuang⁵ LI Zheng⁶ LI Jun^{1,2*}

(1. Feed Processing Innovation Team, Feed Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China; 2. Agriculture and Rural Ministry Quality and Safety Risk Evaluation Laboratory of Feed and Feed Additives for Animal Husbandry, Beijing 100181, China; 3. Institute of Animal Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China; 4. Changping District Animal Disease Control Center, Beijing 102200, China; 5. Beijing Animal Husbandry Station, Beijing 100107, China; 6. Beijing Feed Inspection Institute, Beijing 100107, China)

Abstract: The purpose of this experiment was to study the effects of different crushing particle size combination of corn and soybean meal on the processing quality of broiler feed and growth performance of broilers. The corn in the test diet was pulverized by using three sieve apertures of 2.0, 2.5 and 3.0 mm, respectively. And the soybean meal was crushed by using three sieve apertures of 1.5, 2.0 and 2.5 mm, respectively. The two groups of corn and soybean meal were combined into 9 different crushing particle size treatment combination, and processed and modulated by the same diet formula and granulation parameters. A total of 900 broilers of 22-day-old were randomly divided into 9 groups, and 9 diets with different particle size combination were used for each group, 5 repetitions for each group and 20 chickens for each repetition. The broiler feeding experiment lasted for 21 d. The results showed as follows: 1) the particle durability index and particle hardness of the pellets treated with 3.0 mm sieve for corn and 1.5 mm sieve for soybean meal were the largest, while the particle durability index and particle hardness of the pellets treated with 2.5 mm sieve for corn and 1.5 mm sieve for soybean meal were the smallest. 2) Both corn and soybean meal were treated with a 2.5 mm sieve aperture crushing treatment, the average final weight and average daily gain of broilers were the highest, and the feed to gain ratio was the lowest. 3) The crushing particle sizes of corn and soybean meal and the interaction between the two had no significant effects on the apparent digestibility of crude protein, energy and dry matter, the eviscerated yield, and the relative weight of muscular stomach and glandular stomach of broilers ($P>0.05$). It is concluded that the corn and soybean meal in the 22 to 42 days old broiler diets are both crushed by the 2.5 mm sieve, when the geometric average particle sizes of corn and soybean meal are 348.38 and 450.46 μm respectively, the growth performance of broilers is the best. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2019, 31(10): 4553-4562]

Key words: sieve aperture; crushing particle size; particle processing quality; growth performance