不同玉米粉碎粒度对蛋鸡生产性能、蛋品质及消化机能的影响[1]

张嘉琦[1] 秦玉昌[2] 李军国[1,3] 李 俊[1] 牛力斌[1] 于治芹[1]

（1.中国农业科学院饲料研究所，北京 100081；2.中国农业科学院畜牧兽医研究所，北京 100193；3.农业部饲料生物技术重点实验室，北京 100081）

摘 要：本试验旨在研究在同一配方条件下，不同玉米粉碎粒度对蛋鸡生产性能、蛋品质及消化机能影响。饲料原料使用锤片式粉碎机进行粉碎，其中玉米分别用 4.0、5.0、6.0、7.0、8.0 和 10.0 mm 的筛孔直径进行粉碎，其他饲料原料均采用 5.0 mm 的筛孔直径进行粉碎。选取 210 日龄的海兰褐蛋鸡 2 592 只，随机分为 6 组，每组 6 个重复，每个重复 72 只，各组蛋鸡分别饲喂不同玉米粉碎粒度的饲粮。试验期为 16 周。结果表明：1）玉米和全价饲粮的几何平均粒径随着筛孔直径的增大而增大，但全价饲粮的差异较小。随着筛孔直径的逐渐增大，粉碎能耗逐渐下降，从 3.93 kW•h/t 降低到 1.19 kW•h/t。2）随着玉米粉碎粒度的增大，平均蛋重呈先升高后降低的趋势，5.0 mm 筛孔直径组平均蛋重显著高于 10.0 mm 筛孔直径组（P＜0.05）。随着玉米粉碎粒度的增大，破蛋率、软蛋率呈先降低后升高的趋势，6.0 mm 筛孔直径组破蛋率显著低于 10.0 mm 筛孔直径组（P＜0.05），7.0 mm 筛孔直径组软蛋率显著低于 4.0 mm 筛孔直径组（P＜0.05）。3）7.0 mm 筛孔直径组蛋黄比率显著大于 5.0 mm 筛孔直径组（P＜0.05）。4）5.0 mm 筛孔直径组粗蛋白质的表观消化率显著高于 6.0、7.0、8.0、10.0 mm 筛孔直径组（P＜0.05），5.0 mm 筛孔直径组总能的表观消化率显著高于 4.0、7.0、10.0 mm 筛孔直径组（P＜0.05），7.0 mm 筛孔直径组干物质的表观消化率显著高于 4.0、10.0 mm 筛孔直径组（P＜0.05）。5）7.0 mm 筛孔直径组盲肠大肠杆菌的数量显著低于 4.0、10.0 mm 筛孔直径组（P＜0.05），5.0 mm 筛孔直径组的空肠指数显著

收稿日期：2017-08-25
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
作者简介：张嘉琦（1993—），男，河南济源人，硕士研究生，从事饲料加工与营养的研究。E-mail: zhanghaliluya@gmail.com
*通信作者：李军国，研究员，硕士生导师，E-mail: lijunguo@caas.cn

高于 6.0、7.0 和 8.0 mm 筛孔直径组（$P<0.05$），8.0 mm 筛孔直径组腺胃食糜的 pH 显著低于 4.0、5.0 mm 筛孔直径组（$P<0.05$），6.0 mm 筛孔直径组回肠食糜 pH 显著高于 4.0、5.0、7.0、10.0 mm 筛孔直径组（$P<0.05$）。由此可见，针对蛋鸡饲粮，粉碎玉米筛孔直径为 6.0 mm 时，蛋鸡的生产性能和蛋品质较佳，并有利于肠道健康。

关键词：玉米粉碎粒度；蛋鸡；粉碎能耗；生产性能；蛋品质；消化机能

中图分类号：S831　　　　　　文献标识码：　　　　　　　　文章编号：

粉碎是蛋鸡饲料加工的重要工段，玉米在饲粮中占 60%左右，占比很大，对玉米进行粉碎处理，使饲粮易于消化和吸收，可提高蛋鸡对饲粮营养的利用率，促进其生长以及降低消化道疾病[1-4]。蛋鸡采食量与饲粮的粉碎粒度有关，许多研究表明，粗的粉碎粒度可以提高蛋鸡的采食量，但对蛋鸡的生产性能无显著影响[5-7]。国内外有关蛋鸡配合原料中玉米最佳粉碎粒度的研究较少，我国蛋鸡配合饲料的国家标准中规定蛋鸡产蛋期配合饲料的粒度要求为：全部通过 4.00 mm 编织筛，2.00 mm 编织筛的筛上物含量不得大于 15%，但这一标准很难指导实际生产，蛋鸡配合饲料加工通常采用 5～8 mm 的筛孔直径。生产实践表明，粉碎工艺及粉碎参数直接关系到蛋鸡配合饲料加工成本及加工质量，直径较大的筛片得到的粒度均一性差，而直径较小的筛片粉碎粒度偏小，且能耗增加。蛋鸡配合饲料中各种原料颗粒的大小、形状和密度不同，差异较大，极易造成分级，导致料槽中的营养物质变得不均匀，不仅影响蛋鸡的蛋品质和生产性能，而且配合饲料中小颗粒部分也未被鸡只充分采食和利用[8-11]。本试验采用 4.0、5.0、6.0、7.0、8.0 和 10.0 mm 的 6 种筛孔直径对玉米进行粉碎，研究不同玉米粉碎粒度及分布对蛋鸡生产性能、蛋品质及消化机能的影响，以期找出蛋鸡产蛋高峰期的玉米最佳粉碎粒度，提高蛋鸡产蛋性能和饲料利用率，降低粉碎能耗，供蛋鸡饲料生产企业参考。

1　材料与方法

1.1　试验设计

试验采用单因子试验设计，选取 210 日龄的海兰褐蛋鸡 2 592 只，随机分为 6 组，每组 6 个重复，每个重复 72 只鸡。基础饲粮参照 NRC（1994）[12]和我国《鸡饲养标准》（NY/T 33—2004）配制，基础饲粮组成及营养水平见表 1。试验饲粮中玉米使用锤片式粉碎机进行粉碎，筛孔直径分别为 4.0、5.0、6.0、7.0、8.0 和 10.0 mm，试验饲粮中其他大宗原料均使用 5.0 mm 筛孔直径进行粉碎。试验在北京平谷双银养殖场进行，试验鸡饲养于 3 层立体笼，试验期试验鸡自由采食，自由饮水，保持鸡舍清洁和通风，控制室温并定期消毒。预饲喂 4 d，试验期为 16 周。

表 1　基础饲粮组成及营养水平（风干基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of the basal diet (air-dry basis)　　%

项目 Items	含量 Content
原料 Ingredients	
玉米 Corn	57.00
干酒糟及其可溶物 DDGS	6.00
豆粕 Soybean meal	25.00
石粉 Limestone	8.00
预混料 Premix[1)]	4.00
合计 Total	100.00
营养水平 Nutrient levels[2)]	
代谢能 ME/(MJ/kg)	10.95
粗蛋白质 CP	18.52
粗脂肪 EE	4.22
粗灰分 Ash	2.21
钙 Ca	3.39
总磷 TP	0.35
有效磷 AP	0.12
赖氨酸 Lys	0.99
蛋氨酸 Met	0.29

1）预混料为每千克饲粮提供 Premix provided the following per kilogram of the diet: Cu 8 mg，Zn 40 mg，Fe 70 mg，Mn 30 mg，I 0.175 mg，Se 0. 075 mg，VA 10 800 IU，VD_3 2 160 IU，VK 31. 0 mg，VE 4. 6 mg，VB_1 5 mg，VB_{12} 6 mg，泛酸钙 calcium pantothenate 5 mg，烟酸 niacin 7 mg，叶酸 folic acid 0.1 mg。

2) 代谢能、粗蛋白质和粗灰分为实测值，其余为计算值。ME, CP and Ash were measured values, while the others were calculated values.

1.2 检测指标与方法

1.2.1 粉碎粒度

饲粮加工过程中，玉米和豆粕各粉碎粒度分别取样 3 份，各组取混合样品 3 份，自封袋密封保存备用，样品的几何平均粒径采用国家标准 GB 6971-1986《饲粮粉碎机试验方法》中的十四层筛分法测定。

1.2.2 粉碎能耗

粉碎能耗（kW•h/t）=1.732×cosφ×U×I×T。

式中：U 为电压；I 为电流；cosφ取 0.8；T 为时间。

12.3 生产性能

试验期间以重复为单位，每日记录蛋鸡采食量、产蛋数、蛋重、破蛋数、软蛋数和病死数，并计算期内平均蛋重(AEW)、产蛋率、料蛋比(F/E)、破蛋率和软蛋率。

1.2.4 蛋品质

在试验期的第 4、8、12 和 16 周末，分别从每个重复随机选 10 枚当日产蛋，测定蛋重、蛋形指数、蛋壳强度、蛋黄颜色、哈夫单位、蛋黄指数及蛋壳厚度。

蛋壳厚度的测量方法：分别取蛋的大头、小头、中间部分的蛋壳，用镊子剔除内壳膜，用蛋壳厚度测定仪分别测其厚度，再取 3 点的平均值。

蛋形指数=蛋的长径/短径。

浓蛋白高度的测量方法：取蛋黄边缘与浓蛋白边缘的中点间的均匀分布的 3 个等距离点（避开蛋白系带），用蛋白高度测定仪测量浓蛋白高度，计算平均值。

哈氏单位=100×log(H－1.7$W^{0.37}$+7.57)。

式中：H 为浓蛋白高度(mm)，W 为蛋重(g)。

蛋黄颜色的测量方法：采用 Lab Scan XE 色差仪测定蛋黄颜色的亮度（L^*）、红度（a^*）、黄度（b^*）值。

1.2.5 营养物质表观消化率

在试验期的第 16 周末，收集蛋鸡排泄物，采用盐酸不溶灰分法测定并计算饲粮和排泄物中粗蛋白质、干物质和总能的表观消化率。其中，粗蛋白质含量测定方法参考 GB/T 6432—1994，通过凯氏定氮法测定；总能采用 IKAc2000 标准型氧弹量热仪测定；干物质含量参照 GB/T 6435—2014 测定。

1.2.6 盲肠微生物数量

试验结束后，每个重复分别屠宰 2 只试验鸡，结扎盲肠的开口端，剪下盲肠后，用酒精棉球消毒结扎口，放入已灭菌的塑料袋中，装入冰盒，立即送到微生物实验室进行盲肠大肠杆菌、乳酸杆菌和沙门氏菌数量的检测。

盲肠大肠杆菌、乳酸杆菌和沙门氏菌数量测定方法均参考 GB/T 4789—2010。将盲肠食糜用灭菌生理盐水稀释后，漩涡振荡 3~5 min，逐级进行 10^3~10^9 倍比稀释，各稀释度分设 6 个重复，吸取 100 uL 稀释液接种于选择性培养基平皿上。沙门氏菌使用 TPY 琼脂培养基，37 ℃厌氧培养 48～72 h；乳酸杆菌使用乳酸杆菌培养基，37 ℃厌氧培养 48 h；大肠杆菌使用伊红美兰（EMB）培养基，37 ℃有氧培养 24 h。平皿培养结束后，根据菌落形态、革兰氏染色进行细菌鉴定，然后选择最适宜的稀释梯度，对这 3 种细菌进行平板菌落计数，求其平均值，以每克食糜所含的细菌数的对数值（lgCFU/g）表示。

1.2.7 肠道黏膜组织结构

试验期结束后，对每个重复屠宰的 2 只蛋鸡取十二指肠、空肠和回肠，浸泡于固定液中，制作石蜡切片后在光学显微镜下进行观察和拍照。

绒毛高度：绒毛顶端至绒毛与腺窝生发细胞的交汇处，通常形成锐角，重复 10 个绒毛，取平均值。

隐窝深度：肠腺底部至两绒毛之间基部开口处的距离，重复 10 个隐窝，取平均值。

肠壁厚度：肠外部至肌层与黏膜下层交接处的距离（浆膜厚度加肌层厚度），重复 10 点，取平均值。

1.2.8　消化道食糜 pH 和体重指数

试验期结束后，每个重复选取 2 只试验鸡，屠宰后，分别称量蛋鸡的肌胃、腺胃、十二指肠、空肠和回肠重量，并测量肌胃、腺胃、十二指肠、空肠和回肠中的食糜 pH，计算各部分消化道相对体重的重量即为消化器官指数。

消化器官指数＝器官重量（g）/蛋鸡活体重（kg）。

1.3　数据处理

试验数据采用 SPSS 18.0 和 SAS 9.2 进行单因子方差分析，数据以“平均值±标准差”表示，各组间的平均值采用 Duncan 氏多重比较法进行差异显著性检验，以 $P<0.05$ 作为差异显著性的标准。图形采用 Excel 2016 和 SAS 9.2 进行绘图分析。

2　结　果

2.1　玉米及全价饲粮的几何平均粒径及粒度分布

由表 2、图 1 可知，随着筛孔直径的增大，玉米的几何平均粒径差异逐渐增大，直径在 2 360 μm 以上大颗粒的百分比明显增大，占比分别为 13.77%、22.42%、42.69%、49.10%、50.36%和 59.15%。

表 2　玉米的几何平均粒径

Table 2　Geometric mean diameter of corn

筛孔直径 Sieve diameter/mm	几何平均粒径 Geometric mean diameter/μm	几何标准差 Geometric standard deviation
4.0	1 236.36±89.49[a]	2.23±0.05
5.0	1 329.52±52.85[a]	2.3±0.09
6.0	1 737.22±103.89[b]	2.26±0.07
7.0	1 872.52±272.37[b]	2.36±0.16

8.0	1 907.97±127.56^{b}	2.23±0.12
10.0	2 188.93±110.01^{c}	2.17±0.10

同列数据肩标不同小写字母表示差异显著（P<0.05），相同或无字母表示差异不显著（P>0.05）。表3 同。

In the same column, values with different small 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 Table 3.

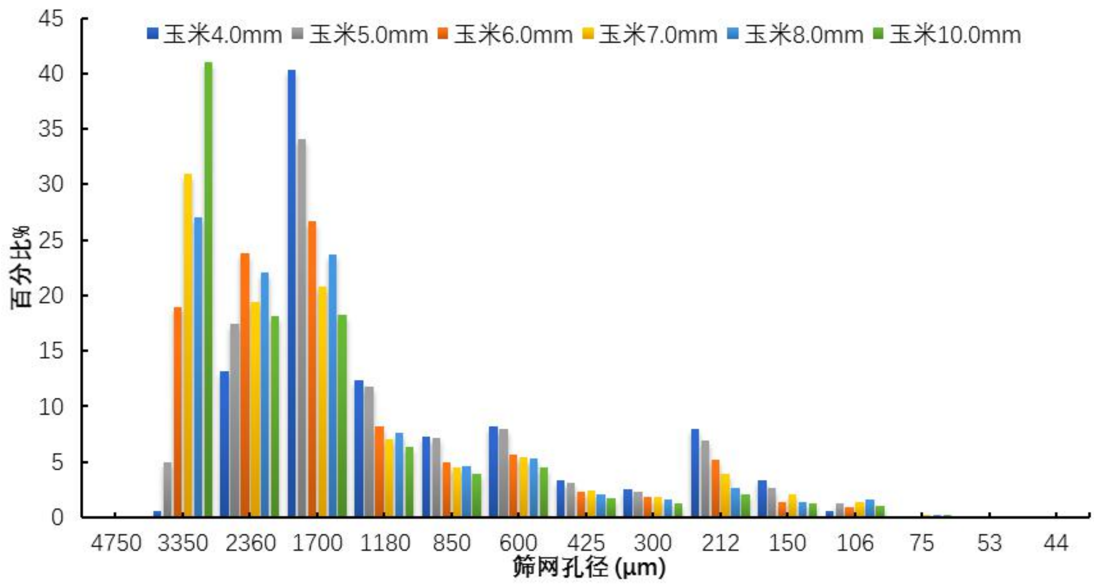

图 1　玉米的粉碎粒度分布

Fig.1　Grinding particle size distribution of corn

由表 3、图 2 可知，随着筛孔直径的增大，全价饲粮的几何平均粒径逐渐增大，与粉碎玉米的几何平均粒径趋势一致，但差异明显缩小，粒度分布范围更宽，易产生分级。

表 3　全价饲粮的几何平均粒径

Table 2　Geometric mean diameter of complete diet

筛孔直径 Sieve diameter/mm	几何平均粒径 Geometric mean diameter/μm	几何标准差 Geometric standard deviation
4.0	993.85±32.25^{a}	2.26±0.02^{a}
5.0	996.13±19.69^{a}	2.35±0.02^{ab}
6.0	1 115.72±78.80^{a}	2.34±0.03^{ab}
7.0	1 178.10±62.52^{ab}	2.35±0.02^{ab}
8.0	1 185.03±47.21^{ab}	2.40±0.05^{b}
10.0	1 351.44±241.21^{b}	2.38±0.10^{b}

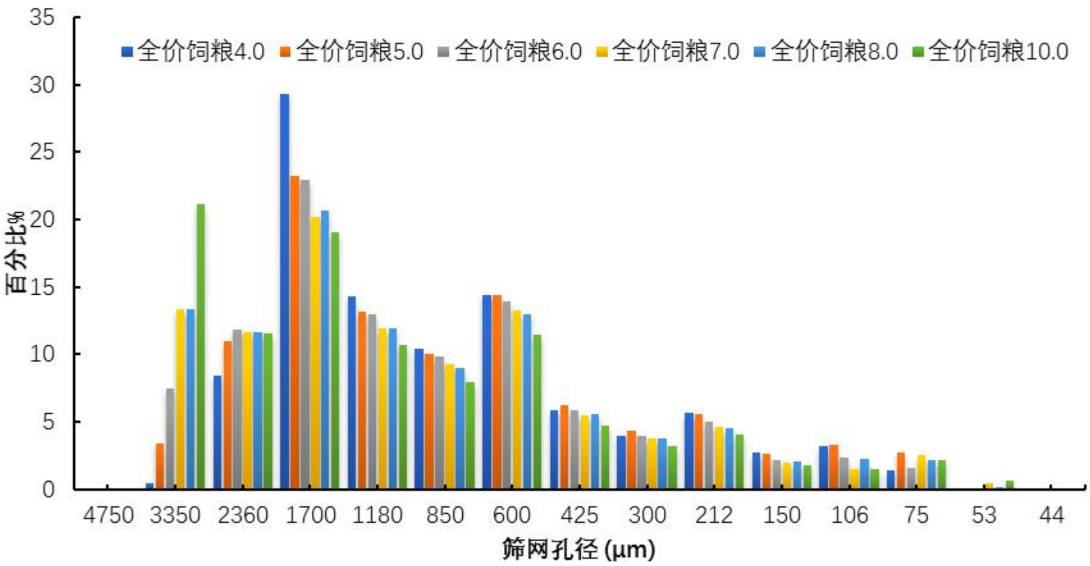

图 2　全价饲粮的粉碎粒度

Fig.2　Grinding particle size distribution of complete diet

2.2　不同玉米粉碎粒度对粉碎能耗的影响

由图 3 可知，随着筛孔直径的增大，每吨玉米的粉碎能耗逐渐降低，呈非线性关系，对二者进行非线性回归分析，得出回归方程 y=7.479 2e$^{-0.193x}$ （R^2=0.947），经 F 检验，P＜0.000 1，显示方程极显著。

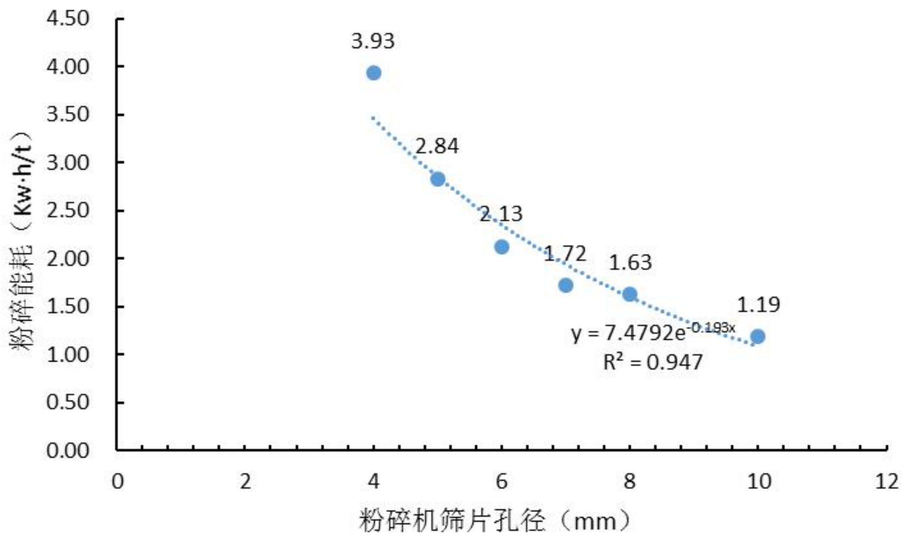

图 3　不同玉米粉碎粒度对粉碎能耗的影响

Fig.3　Effects of different grinding particle sizes of corn on grinding energy consumption

2.3　不同玉米粉碎粒度对蛋鸡生产性能的影响

由表 4 可知，随着玉米粉碎粒度的增大，平均蛋重呈先升高后降低的趋势，5.0 mm 筛

孔直径组平均蛋重最大，显著高于 10.0 mm 筛孔直径组（P＜0.05），与其他各组无显著差异（P＞0.05）。随着玉米粉碎粒度的增大，破蛋率、软蛋率呈先降低后升高的趋势，6.0 mm 筛孔直径组破蛋率最低，显著低于 10.0 mm 筛孔直径组（P＜0.05），与其他各组无显著差异（P＞0.05）；7.0 mm 筛孔直径组软蛋率最低，显著低于 4.0 mm 筛孔直径组（P＜0.05），与其他各组无显著差异（P＞0.05）。各组产蛋率和料蛋比没有显著差异（P＞0.05），但随着玉米粉碎粒度的增大，料蛋比呈先降低后升高的趋势，产蛋率呈先升高后降低的趋势，6.0 mm 筛孔直径组料蛋比最低、产蛋率最高。

表 4　不同玉米粉碎粒度对蛋鸡生产性能的影响

Table 4　Effects of different grinding particle sizes of corn on performance of laying hens

项目 Items	筛孔直径 Sieve diameter/mm 4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	10.0
产蛋率 Egg laying rate/%	82.36±2.04	82.70±4.48	83.52±2.87	82.42±1.55	82.04±3.10	80.09±3.68
平均蛋重 AEW/g	63.10±0.09^{ab}	63.37±0.52^{b}	63.16±0.68^{ab}	62.96±0.14^{ab}	62.72±0.35^{ab}	62.39±0.53^{a}
料蛋比 F/E	2.31±0.03	2.33±0.11	2.27±0.06	2.31±0.04	2.33±0.06	2.46±0.17
破蛋率 Broken egg rate/%	1.37±0.23^{ab}	1.37±0.29^{ab}	0.87±0.17^{a}	1.09±0.15^{a}	1.34±0.19^{ab}	1.67±0.32^{b}
软蛋率 Soft egg rate/%	0.29±0.16^{b}	0.25±0.13^{ab}	0.20±0.03^{ab}	0.08±0.10^{a}	0.26±0.10^{ab}	0.26±0.06^{ab}

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著（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 row, values with different small 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.

2.4　不同玉米粉碎粒度对蛋鸡蛋品质的影响

由表 5 可知，各组蛋壳强度、蛋壳厚度、蛋形指数、哈夫单位没有显著差异（P＞0.05）。随着玉米粉碎粒度的增大，蛋黄比率呈先升高后降低的趋势，7.0 mm 筛孔直径组蛋黄比率最大，显著大于 5.0 mm 筛孔直径组（P＜0.05），与其他各组无显著差异（P＞0.05）。随着

玉粉碎粒度的增大，蛋黄颜色的 L*、a*、b*值呈现不规律的变化趋势，8.0 mm 筛孔直径组 L*值最低，显著低于 4.0、5.0 mm 筛孔直径组（P<0.05），与其他各组无显著差异（P>0.05）；10.0 mm 筛孔直径组 a*值最高，显著高于 4.0、5.0、6.0 mm 筛孔直径组（P<0.05），与其他各组无显著差异（P>0.05）；7.0 mm 筛孔直径组 b*值最高，显著高于 4.0、5.0、6.0、10.0 mm 筛孔直径组（P<0.05），与 8.0 mm 筛孔直径组无显著差异（P>0.05）。

表 5　不同玉米粉碎粒度对蛋鸡蛋品质的影响

Table 5　Effects of different grinding particle sizes of corn on egg quality of laying hens

项目 Items	筛孔直径 Sieve diameter/mm					
	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	10.0
蛋壳强度 Eggshell strength/N	36.70±10.21	37.68±9.19	38.77±9.50	37.26±8.49	37.86±9.43	37.98±9.02
蛋壳厚度 Shell thickness/mm	38.37±2.76	38.85±2.39	38.63±2.64	38.15±3.34	38.25±2.66	38.37±2.92
蛋形指数 Shape index	1.30±0.04	1.30±0.04	1.30±0.04	1.29±0.04	1.30±0.04	1.30±0.05
蛋黄比率 Yolk ratio/%	25.05±1.66[ab]	25.15±1.52[a]	25.37±1.56[ab]	25.71±1.63[b]	25.65±1.59[b]	25.60±1.63[b]
哈夫单位 Haugh unit	86.58±9.23	86.35±8.53	84.18±8.40	85.84±8.71	84.16±9.31	85.60±8.97
亮度 L*	72.73±3.04[b]	72.51±1.23[b]	71.82±1.29[a]	71.84±1.15[a]	71.60±1.13[a]	71.71±1.28[a]
红度 a*	1.32±0.40[a]	1.36±0.59[a]	1.64±0.79[b]	1.95±1.20[c]	1.94±0.88[c]	2.11±0.95[c]
黄度 b*	8.69±1.82[a]	8.35±1.48[a]	8.57±1.20[a]	9.48±1.43[b]	9.30±1.37[b]	8.57±1.00[a]

2.5　不同玉米粉碎粒度对蛋鸡营养物质表观消化率的影响

由表 6 可知，随着玉米粉碎粒度的增大，粗蛋白质、总能和干物质的表观消化率呈先升高后降低的趋势，5.0 mm 筛孔直径组粗蛋白质的表观消化率最高，显著高于 6.0、7.0、8.0、10.0 mm 筛孔直径组（P<0.05），与 4.0 mm 筛孔直径组无显著差异（P>0.05）；5.0 mm 筛孔直径组总能的表观消化率最高，显著高于 4.0、7.0、10.0 mm 筛孔直径组（P<0.05），与其他各组无显著差异（P>0.05）；7.0 mm 筛孔直径组干物质的表观消化率最高，显著高于 4.0、10.0 mm 筛孔直径组（P<0.05），与其他各组无显著差异（P>0.05）。

表 6　不同玉米粉碎粒度对蛋鸡营养物质表观消化率的影响

Table 6　Effects of different grinding particle sizes of corn on nutrient apparent digestibility of laying hens　%

项目	筛孔直径 Sieve diameter/mm					
Items	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	10.0
粗蛋白质 Crude protein	35.35±4.25[cd]	40.77±6.14[d]	34.30±2.85[bc]	31.76±3.60[abc]	27.51±5.24[a]	28.89±2.22[ab]
总能 Gross energy	73.77±2.36[a]	78.40±1.33[c]	77.47±0.54[bc]	75.34±2.29[ab]	76.03±1.36[abc]	73.48±2.58[a]
干物质 Dry matter	68.36±2.10[ab]	73.23±2.39[c]	73.30±0.82[c]	73.49±3.86[c]	70.89±1.55[bc]	65.82±5.32[a]

2.6 不同玉米粉碎粒度对蛋鸡消化机能的影响

2.6.1 盲肠微生物数量

由表 7 可知，各组盲肠乳酸杆菌数量没有显著差异（P>0.05）。随着玉米粉碎粒度的增大，盲肠大肠杆菌数量呈先降低后升高的趋势，7.0 mm 筛孔直径组盲肠大肠杆菌数量最少，显著低于 4.0、10.0 mm 筛孔直径组（P<0.05），与其他各组无显著差异（P>0.05）。各组盲肠中均未检测到沙门氏菌。

表 7 不同玉米粉碎粒度对蛋鸡盲肠微生物数量的影响

Table 7 Effects of different grinding particle sizes of corn on cecal microbes number of laying hens lgCFU/g

项目	筛孔直径 Sieve diameter/mm					
Items	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	10.0
乳酸杆菌 *Lactobacillus*	7.64±0.23	7.71±0.15	7.71±0.15	7.69±0.33	6.80±0.64	7.06±0.92
大肠杆菌 *Escherichia coli*	3.70±1.78[bc]	2.95±0.66[abc]	1.59±0.83[ab]	1.03±0.07[a]	2.17±1.78[abc]	4.28±2.00[c]
沙门氏菌 *Salmonella*	-	-	-	-	-	-

-：未检出 not detected。

2.6.2 肠道黏膜组织结构

由表 8 可知，各组十二指肠的绒毛高度、隐窝深度和绒毛高度/隐窝深度(V/C)值及空肠的隐窝深度没有显著差异（P>0.05）。5.0 mm 筛孔直径组空肠的绒毛高度最大，显著高于 8.0 mm 筛孔直径组（P<0.05），与其他各组无显著差异（P>0.05）；7.0 mm 筛孔直径组回肠的绒毛高度最大，显著高于 4.0 mm 筛孔直径组（P<0.05），与其他各组无显著差异（P>0.05）。7.0 mm 筛孔直径组回肠的隐窝深度最大，显著高于 4.0 mm 筛孔直径组（P<0.05），与其他各组无显著差异（P>0.05）。10.0 mm 筛孔直径组空肠的 V/C 值最低，显著低于 4.0 mm 筛孔直径组（P<0.05），与其他各组无显著差异（P>0.05）；8.0 mm 筛孔

直径组回肠的 V/C 值最低，显著低于 5.0、6.0、10.0 mm 筛孔直径组（$P<0.05$），与其他各组无显著差异（$P>0.05$）。

表 8　不同玉米粉碎粒度对蛋鸡肠道黏膜组织结构的影响

Table 8　Effects of different grinding particle sizes of corn on intestinal mucosa organization structure of laying hens

项目	筛孔直径 Sieve diameter/mm					
Items	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	10.0
绒毛高度 Villus height/μm						
十二指肠 Duodenum	798.47±53.85	789.13±49.12	773.78±72.76	835.60±75.05	859.17±62.28	847.47±105.67
空肠 Jejunum	619.33±63.39^{ab}	723.25±159.49^{b}	703.20±130.92^{b}	600.72±82.92^{ab}	539.80±25.33^{a}	651.72±83.54^{ab}
回肠 Ileum	286.61±31.76^{a}	346.61±14.22^{b}	344.13±12.34^{b}	352.08±44.62^{b}	352.00±31.40^{b}	312.67±50.75^{ab}
隐窝深度 Crypt depth/μm						
十二指肠 Duodenum	163.89±15.06	162.39±10.14	170.56±10.02	178.00±13.09	180.72±14.66	172.17±14.32
空肠 Jejunum	135.40±7.92	146.47±17.03	143.75±2.81	140.56±9.50	146.93±9.49	132.39±7.22
回肠 Ileum	97.39±9.64^{a}	100.00±7.53^{ab}	99.39±4.54^{ab}	108.25±5.80^{b}	107.06±7.30^{ab}	105.67±7.83^{ab}
绒毛高度/隐窝深度 V/C						
十二指肠 Duodenum	4.83±0.27	4.72±0.37	4.53±0.23	4.90±0.36	4.77±0.35	4.75±0.66
空肠 Jejunum	4.70±0.18^{b}	4.30±0.34^{ab}	4.36±0.52^{ab}	4.39±0.60^{ab}	4.31±0.32^{ab}	4.01±0.05^{a}
回肠 Ileum	2.95±0.23^{a}	3.49±0.33^{b}	3.47±0.11^{b}	3.29±0.25^{ab}	2.92±0.44^{a}	3.42±0.43^{b}

2.6.3　消化器官指数

由表 9 可知，5.0 mm 筛孔直径组的空肠指数最高，显著高于 6.0、7.0 和 8.0 mm 筛孔直径组（$P<0.05$），与其他各组无显著差异（$P>0.05$）。各组肌胃指数、腺胃指数、十二指肠指数、回肠指数和肝脏指数没有显著差异($P>0.05$)。

表 9　不同玉米粉碎粒度对蛋鸡消化器官指数的影响

Table 9　Effects of different grinding particle sizes of corn on digestive organ index of laying hens　　g/kg

项目	筛孔直径 Sieve diameter/mm					
Items	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	10.0
肌胃指数 Gizzard index	18.29±1.31	19.25±1.41	16.13±0.50	16.28±1.96	16.29±2.40	17.02±3.56

腺胃指数 Proventriculus index	4.13±0.47	4.66±0.24	4.27±0.31	4.03±0.90	3.97±0.19	4.66±0.47
十二指肠指数 Duodenum index	6.30±1.04	6.97±0.93	5.55±1.60	6.15±0.85	5.50±1.19	6.04±1.89
空肠指数 Jejunum index	10.76±0.78[ab]	11.97±1.15[b]	10.05±0.36[a]	10.10±1.76[a]	10.03±1.83[a]	11.65±1.28[ab]
回肠指数 Ileum index	7.35±0.92	8.00±0.50	7.40±0.53	7.82±0.88	7.24±0.92	8.15±0.52
肝脏指数 Pancreas index	20.03±2.14	23.23±3.09	22.02±3.24	20.46±2.49	20.28±1.02	22.02±2.89

2.6.4 消化道食糜 pH

由表 10 可知，各组肌胃、十二指肠和空肠中食糜的 pH 没有显著差异（P＞0.05）。8.0 mm 筛孔直径组腺胃中食糜的 pH 最低，显著低于 4.0、5.0 mm 筛孔直径组（P＜0.05），与其他各组无显著差异（P＞0.05）；6.0 mm 筛孔直径组回肠中食糜的 pH 最高，显著高于 4.0、5.0、7.0、10.0 mm 筛孔直径组（P＜0.05），与其 8.0 筛孔直径组无显著差异（P＞0.05）。

表 10 不同玉米粉碎粒度对蛋鸡胃肠道 pH 的影响

Table 10 Effects of different grinding particle sizes of corn on digestive tract chyme pH of laying hens

项目 Items	筛孔直径 Sieve diameter/mm					
	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	10.0
肌胃 Gizzard	3.94±0.40	3.45±0.35	3.73±0.36	3.63±0.24	3.57±0.56	3.91±0.43
腺胃 Proventriculus	4.63±0.51[c]	4.39±0.37[bc]	3.88±0.26[a]	4.00±0.44[ab]	3.86±0.24[a]	4.13±0.36[ab]
十二指肠 Duodenum	6.39±0.38	6.28±0.17	6.25±0.19	6.16±0.16	6.21±0.20	6.28±0.08
空肠 Jejunum	6.21±0.22	6.01±0.27	6.17±0.25	6.06±0.27	6.21±0.34	6.09±0.42
回肠 Ileum	6.92±0.33[a]	6.97±0.34[a]	7.40±0.07[b]	6.81±0.40[a]	7.04±0.33[ab]	6.87±0.37[a]

3 讨 论

3.1 不同玉米粉碎粒度对蛋鸡生产性能的影响

我国蛋鸡配合饲料的国家标准中规定，蛋鸡产蛋期配合饲料的粒度要求为全部通过 4.00 mm 编织筛，2.00 mm 编织筛筛上物不得大于 15%。我国饲料厂在蛋鸡配合饲料生产中常使用筛孔直径为 5.0～8.0 mm 的筛片。王卫国等[13]使用 5.0、7.0 和 8.0 mm 的筛片对玉米基础饲粮进行粉碎，研究结果显示 3 种粉碎粒度对蛋鸡的生产性能无显著影响，对于干物质、粗蛋白质的消化吸收有一定的影响，但差异不显著。高天权等[14]的研究发现，随着玉米基础饲粮的粉碎粒度从 600 μm 增加到 1 500 μm，蛋鸡的采食量极显著增加，产蛋率

和平均蛋重有增加的趋势。张春兰[15]研究了玉米基础饲粮的不同粉碎粒度（671.56、824.97和 1001.7 μm）对蛋鸡生产性能的影响，结果表明，各组的产蛋率随着玉米粉碎粒度的增大显著增加，采食量和产蛋率均有极显著增加，料蛋比有先降低后升高的趋势，而玉米粉碎粒度对平均蛋重没有显著影响。本试验结果表明，随着玉米粉碎粒度的增大，产蛋率和平均蛋重呈先升高后降低的趋势，料蛋比、破蛋率和软蛋率大致呈先降低后升高的趋势。综合而言，当使用筛孔直径为 6.0 mm 的筛片时，能够改善蛋鸡各项生产性能。这与高天权等[14]和张春兰[15]的研究结果一致，并将它们的粉碎粒度范围进一步扩大进行了研究。粉碎粒度较大的饲粮能够改善蛋鸡的生产性能，这可能是因为鸡喜欢啄食较大颗粒的饲粮，大颗粒的饲粮进入肌胃后，对摄食行为产生机械刺激，增强了肌胃的消化活动，消化时间的延长也有利于营养物质的充分消化和吸收，从而改善蛋鸡的生产性能，而过细的饲粮对胃肠道蠕动刺激不足，影响消化。正是由于肌胃研磨功能的存在，没有必要将饲粮进行的过细粉碎。

3.2　不同玉米粉碎粒度对蛋鸡蛋品质的影响

蛋形指数与受精率、孵化率及运输安全性有直接关系，标准禽蛋蛋形指数在 1.30～1.35。蛋壳强度对运输储藏具有重要意义。蛋壳厚度与蛋壳强度呈正相关，良好的蛋壳厚度在一般在 0.33~0.35 mm。蛋黄色泽对蛋的商品价值和价格有很大影响。哈氏单位是衡量蛋白品质和蛋的新鲜程度的重要指标，新鲜蛋的哈夫指数在 80 以上，它是现在国际上对蛋品质评定的重要指标和常用方法。蛋黄比率能反映出蛋黄所占全蛋的比例，数值大者，表示蛋品质较好。Hamilton 等[16]和 Deaton 等[17]的研究显示，饲喂蛋鸡 814～873 μm 粒度的玉米基础饲粮，各组间鸡蛋哈夫单位和蛋壳强度没有显著差异，这与本试验结果一致，但 Saffa 等[18]用粒度为 774、922 和 1 165 μm 的 3 种玉米配成的饲粮饲喂罗曼蛋鸡，研究结果显示不同粉碎粒度对蛋黄比率没有显著影响，而张春兰等[19]的试验结果显示，较大的粉碎粒度可以提高蛋黄比率。本试验中结果显示，随着粉碎粒度的增大，蛋壳强度和蛋壳厚度

大致呈先升高后降低的趋势，蛋黄比率大致呈先升高后降低的趋势，而蛋黄颜色变化无明显桂林，而各组间蛋形指数和哈夫单位没有显著差异，这可能是产蛋率相差较大或者是蛋鸡品种不同造成的。

3.3　不同玉米粉碎粒度对蛋鸡盲肠微生物数量和营养物质表观消化率的影响

蛋鸡的盲肠是一个重要的发酵场所，其中包含着大量的微生物菌群，正常情况下，微生物菌群中有益菌群如乳酸杆菌是优势菌群，而当蛋鸡机体遭到病原菌的侵扰时，盲肠中微生物菌群的比例就会发生改变。因此盲肠微生物菌群的比例对宿主营养物质的消化吸收和机体免疫能力都有重要影响。张现玲等[20]研究了不同粉碎粒度的饲粮对肉鸡氨基酸表观消化率的影响，发现随着粉碎粒度的增大，大多数氨基酸的表观消化率呈现先升高后降低的趋势。李清晓等[21]研究了不同粉碎粒度饲粮对肉鸡营养物质表观消化率的影响，发现与210、334 μm 相比，449 和 529 μm 的粉碎粒度能够提高肉鸡对粗蛋白质和干物质的表观消化率。Canibe 等[22]研究表明，与细粉碎的饲粮相比，粗粉碎的饲粮能够极大的刺激胃肠道中乳酸菌的生长。本试验表明，随着粉碎粒度的增加，粗蛋白质、总能和干物质的表观消化率均大致呈先升高后降低的趋势。随着粉碎粒度的增加，盲肠中乳酸杆菌数量呈先升高后降低的趋势，大肠杆菌数量呈先降低后升高的趋势，这与 Engberg 等[23]的研究结果一致。当蛋鸡采食适宜粉碎粒度的饲粮时，能够改善肠道微生物平衡，这可能是因为适宜粉碎粒度的饲粮能够刺激肌胃腺胃的消化活动，延长食物停留时间，改善消化道内的 pH 环境，那些经口进入消化道的病原菌由于肌胃、腺胃的酸性环境就会大大减少，而肠道内的病原菌和有益微生物呈竞争关系，病原菌的减少就会促进有益菌群的生长，从而改善肠道菌群。由于肌胃和腺胃消化时间的延长，流动速率相比过细粉碎粒度的饲粮较慢，可能消化更加充分，因而营养物质表观消化率得到提升。而过细的饲粮会减小对消化道的刺激，导致消化液分泌不足，影响盲肠微生物菌群，过粗的饲粮则会造成胃肠压力，消化不够充分，从而影响营养物质的消化率并可能削弱肌胃对病原菌的杀灭作用。

3.4 不同玉米粉碎粒度对蛋鸡消化机能的影响

本试验研究表明，饲喂蛋鸡不同粉碎粒度的玉米基础饲粮，对蛋鸡腺胃和回肠 pH 有影响，其中腺胃 pH 先降低后升高，回肠 pH 则 6.0 mm 筛孔直径组最高，其他的胃肠道 pH 均没有影响。饲喂蛋鸡不同粉碎粒度的玉米基础饲粮，对蛋鸡的大多数消化器官指数均没有影响。张春兰[15]分别使用 3.0、4.0 和 5.0 的筛片对玉米进行粉碎，研究发现玉米粉碎粒度对腺胃、肌胃、空肠和回肠食糜的 pH 没有显著影响，十二指肠食糜的 pH 先降低后升高。刘文博等[24]研究发现，在 1~21 日龄时饲喂肉鸡 1.5 mm 粉碎粒度的颗粒料能够促进十二指肠、空肠和回肠的发育，而在 22~42 日龄时饲喂肉鸡 2.5 mm 的颗粒料能够促进腺胃的发育，随着粉碎粒度的增大，肌胃和十二指肠发育也越完善。Healy[25]研究显示，900 μm 粉碎粒度的饲粮与 300 μm 粉碎粒度的饲粮相比，能够增大肉鸡肌胃、腺胃和肠道的重量。这与本试验结果存在差异，可能与称量各消化道时残留有食糜有关。饲喂粉碎粒度过细的饲粮会导致肌胃发育不良和腺胃的肥大，饲喂粉碎粒度较粗的饲粮能够增加肌胃尺寸，促进胃酸的分泌，可能是为了增加肌肉以适应肌胃的研磨作用，也可能是为了增加容量研磨更多的饲粮，饲喂粉碎粒度过粗的饲粮会加重消化器官的负担，对消化器官造成损伤。

4 结 论

① 随着筛孔直径的增大，玉米的几何平均粒径差异逐渐增大，粒度分布范围加宽，2360 μm 以上大颗粒所占百分比明显增大。

② 随着玉米粉碎粒度的增大，蛋鸡的部分生产性能、蛋品质和消化机能指标均呈先上升再下降趋势。综合考虑分析，建议蛋鸡饲粮玉米粉碎采用 6.0 mm 的筛孔直径，在该粉碎粒度下蛋鸡的生产性能表现较好，并能提高蛋品质和消化道健康。

参考文献：

[1] 周顺伍.动物生物化学[M].3 版.北京:中国农业出版社,2001:126–127.

[2] 张文丽.产蛋鸡饲料配方设计[J].黑龙江畜牧兽医,2014(3):112–114.

[3] 张燕鸣,杨秀娟,曹胜雄,等.饲料粉碎粒度及粒度分布对蛋鸡生产性能和蛋品质的影响[J].饲料工业,2015,36(17):18–22.

[4] 甘悦宁,宋志芳,王均良,等.玉米粉碎粒度对陕西略阳乌鸡生产性能及蛋品质的影响[J].饲料研究,2014(19):53–57.

[5] 李忠平.粉碎粒度对饲料加工生产性能的影响[J].饲料工业,2001,22(4):5–7.

[6] 王卫国,卢萍,王俊卿,等.7 种饲料原料粉碎粒度与蛋白质体外消化率及能耗的研究[J].中国畜牧杂志,2003,39(5):18–20.

[7] 田玉民,黄涛,吴颖,等.蛋鸡配合饲料玉米粉碎工艺的研究[J].中国饲料,2008(12):13–14.

[8] 廖峰.玉米粉碎后颗粒大小不影响蛋鸡的生产性能[J].中国饲料,1990(5):42.

[9] 王卫国.典型锤片粉碎机的饲料粉碎粒度的初步研究[J].饲料工业,2001,22(9):6–8.

[10] 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.

[11] RODGERS N J,CHOCT M,HETLAND H,et al.Extent and method of grinding of sorghum prior to inclusion in complete pelleted broiler chicken diets affects broiler gut development and performance[J].Animal Feed Science and Technology,2012,171(1):60–67.

[12] NRC.Nutrient requirements of poultry[S].9th ed.Washington,D.C.:National Academy Press,1994.

[13] 王卫国,朱礼海,廖国平.产蛋鸡饲料的粉碎粒度研究[J].饲料工业,2002,23(2):5–7.

[14] 高天权.玉米粉碎粒度对产蛋鸡生产性能的影响[D].硕士学位论文.雅安:四川农业大学,2007:13–17.

[15] 张春兰.玉米粒度对产蛋鸡生产性能及消化道生理的影响[D].硕士学位论文.雅安:四川农业大学,2010:15–20

[16] HAMILTON R M G,PROUDFOOT F G.Effects of ingredient particle size and feed form on the performance of Leghorn hens[J].Canadian Journal of Animal Science,1995,75(1):109–114.

[17] DEATON J W,LOTT B D,SIMMONS J D,et al.Hammer mill versus roller mill grinding of corn for commercial egg layers[J].Poultry Science,1989,68(10):1342–1344.

[18] SAFFA H M,JIMÉNEZ-MORENO E,VALENCIA D G,et al.Effect of main cereal of the diet and particle size of the cereal on productive performance and egg quality of brown egg-laying hens in early phase of production[J].Poultry Science,2009,88(3):608–614.

[19] 张春兰,张克英,丁雪梅,等.玉米粒度对蛋鸡消化道生理及饲料流通速率的影响[J].动物营养学报,2010,22(5):1271–1278.

[20] 张现玲,秦玉昌,李俊,等.调质温度对肉鸡颗粒饲料质量影响的实验研究[J].饲料工业,2013,34(21):24–28.

[21] 李清晓,李忠平,颜培实,等.豆粕粉碎粒度对肉鸡日粮养分利用率的影响[J].家畜生态学报,2006,27(5):20–25.

[22] CANIBE N,JENSEN B B.Fermented and nonfermented liquid feed to growing pigs:effect on aspects of gastrointestinal ecology and growth performance[J].Journal of Animal Science,2003,81(8):2019–2031.

[23] 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.

[24] 刘文博.饲料粒度和料型对肉仔鸡生产性能和体组成的影响[D].硕士学位论文.北京:中国农业科学院,2014:14–20.

[25] HEALY B J.Nutritional value of selected sorghum grain for swine and poultry and effect

of particle size on performance and intestinal morphology in young pigs and broiler chicks[D].MSc Thesis.Manhattan,KS:Kansas State University,1992.

Effects of Different Grinding Particle Sizes of Corn on Performance, Egg Quality and Digestive Function of Laying Hens

ZHANG Jiaqi[1] QIN Yuchang[2] LI Junguo[1,3] LI Jun[1] NIU Libin[1] YU Zhiqin[1]

(1. *Feed Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing* 100081, *China*; 2. *Institute of Animal Science, Chinese Academy of Agricultural Science, Beijing* 100193, *China;* 3. *Key Laboratory of Feed Biotechnology of the Ministry of Agriculture, Beijing* 100081, *China*)

Abstract: This study was conducted to study the effect of different grinding particle sizes of corn on performance, egg quality and digestive function of laying hens with the same formula. The feed ingredients was ground with a hammer mill, corn was ground with 4.0, 5.0, 6.0, 7.0, 8.0 and 10.0 mm sieve diameter, respectively, and the other feed ingredients were ground with 5.0 mm sieve diameter. A total of 2 592 Roman brown laying hens at 210-day-old were randomly allocated into 6 groups with 6 replicates per group and 72 laying hens per replicate. Different groups were fed different grinding particle sizes diets. The experiment lasted for 16 weeks. The results showed as follows: 1) the geometric mean diameter of corn and complete diet was increased with the sieve diameter increased, but the difference of complete diet was smaller. With the sieve diameter increased, the grinding energy consumption was decreased from 3.93 kW•h/t to 1.19 kW•·h/t. 2) With the grinding particle size of corn increased, the average egg weight firstly increased and then decreased, the average egg weight of 5.0 mm sieve diameter group was significantly higher than that of 10.0 mm sieve diameter group (P<0.05). With the grinding particle size of corn increased, the broken egg rate and soft egg rate firstly decreased and then increased, the broken egg rate of 6.0 mm sieve diameter group was significantly lower than that of 10.0 mm sieve diameter group (P<0.05), the soft egg rate of 7.0 mm sieve diameter group was significantly lower than that of 4.0 mm sieve diameter group (P<0.05). 3) The yolk ratio of 7.0 mm sieve diameter group was significantly higher than that of 5.0 mm sieve diameter group (P<0.05). 4) The crude protein apparent digestibility of 5.0 mm sieve diameter group was significantly higher than that of 6.0, 7.0, 8.0 and 10.0 mm sieve diameter groups (P<0.05), the gross energy apparent digestibility of 5.0 mm sieve diameter group was significantly higher than that of 4.0, 7.0 and 10.0 mm sieve diameter groups (P<0.05), the dry matter apparent digestibility of 7.0 mm sieve diameter group was significantly higher than that of 4.0 and 10.0 mm sieve diameter groups (P<0.05). 5) The caecal *Escherichia coli* number of 7.0 mm sieve diameter group was significantly lower than that of 4.0 and 10.0 mm sieve diameter groups (P<0.05), the jejunum index of 5.0 mm sieve diameter group was significantly higher than that of 6.0, 7.0 and 8.0 mm sieve diameter groups (P<0.05), the chyme pH in proventriculus of 8.0 mm sieve diameter group was significantly lower than that of 4.0 and 5.0 mm sieve diameter groups (P<0.05), the chyme pH in ileum of 6.0 mm sieve diameter group was significantly higher than that of 4.0, 5.0, 7.0 and 10.0 mm sieve diameter groups (P<0.05). It can be concluded that aims at the diet of laying hens, 6.0 mm sieve diameter for grinding corn can get the better performance

and egg quality, and it is good for intestinal health of laying hens.
Key words: corn grinding particle size; laying hens; grinding energy consumption; performance; egg quality; digestive function;

*Corresponding author, professor, E-mail: lijunguo@caas.cn（责任编辑　武海龙）