Iranian Journal of Animal Science
Vol 51, No 2, Summer 2020 (151-161)
DOI: 10.22059/ijas.2020.252051.653615

علوم دامی ایران
دورهٔ ۵۱، شمارهٔ ۲، تابستان ۱۳۹۹ (ص ۱۶۱-۱۵۱)

اثر اندازه ذرات ذرت و منابع مختلف فیبر نامحلول بر عملکرد و خصوصیات لاشه و دستگاه گوارش جوجه‌های گوشتی

سودابه مرادی[1*]، آرش مرادی[2]، وحید عطابیگی علمی[2] و رضا عبداللهی[3]
۱ و ۲. استادیار و دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم دامی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
۳. استادیار، مرکز تحقیقات تک‌معده‌ای‌ها، گروه کشاورزی و محیط زیست، دانشگاه مسی، پالمرسون نورت، نیوزیلند
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۲۰ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/٤/۳۱)

چکیده

این پژوهش به‌منظور مطالعه اثر اندازه ذرات ذرت و منابع مختلف فیبر نامحلول بر عملکرد، خصوصیات لاشه و دستگاه گوارش در جوجه‌های گوشتی از سن ۱ تا ۲۱ روزگی انجام شد. تعداد ٦٦٠ قطعه جوجه گوشتی نر به‌صورت آزمایش فاکتوریل ۳×۲ با شش تیمار و پنج تکرار استفاده شدند. عوامل مورد مطالعه شامل دو اندازه ذرات ذرت (۲ و ٦ میلی‌متر) و سه منبع فیبر نامحلول (لیگنوسلولز، پوسته برنج و پوسته آفتابگردان) بودند. اثر اصلی منبع فیبر بر افزایش وزن بدن و ضریب تبدیل غذایی، معنی‌دار بود به‌طوری‌که پرندگان تغذیه‌شده با جیره حاوی پوسته آفتابگردان، افزایش وزن بیشتر (P<۰/۰۱) و ضریب تبدیل غذایی بهتری (P<۰/۰۱) نسبت به پرندگان تغذیه‌شده با دو منبع دیگر فیبر داشتند. به‌کاربردن لیگنوسلولز (P<۰/۰۵) و اندازه ذرات ریز (P<۰/۰۱) منجر به افزایش وزن لاشه، به‌ترتیب در مقایسه با دو منبع دیگر فیبر و اندازه ذرات درشت گردید. وزن روده کوچک در پرندگانی که جیره حاوی لیگنوسلولز دریافت کردند بالاتر از دو منبع دیگر فیبر بود (P<۰/۰۱). تیمارهای آزمایشی تأثیر معنی‌داری بر طول قسمت‌های مختلف روده باریک نداشتند. آسیاب درشت ذرت و به‌کاربردن پوسته آفتابگردان، pH سنگدان را به ترتیب در مقایسه با ذرات ریز و لیگنوسلولز کاهش داد (P<۰/۰۵). وزن سنگدان در پرندگانی که با جیره حاوی لیگنوسلولز و پوسته آفتابگردان تغذیه شدند بالاتر (P<۰/۰۱) از جوجه‌های تغذیه‌شده با جیره حاوی پوسته برنج بود. براساس نتایج این تحقیق، به کار بردن ۳ درصد پوسته آفتابگردان در جیره از طریق بهبود وزن و کاهش pH سنگدان، عملکرد رشد را بهبود می‌دهد و می‌تواند در صنعت جوجه‌های گوشتی به‌صورت کاربردی مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: **اندازه ذرات، جوجه‌های گوشتی، خصوصیات لاشه، دستگاه گوارش، عملکرد، فیبر نامحلول.**

The effect of corn particle sizes and different insoluble fiber sources on growth performance and carcass and gastrointestinal tract characteristics of broiler chickens

Soudabeh Moradi[1*], Arash Moradi[2], Vahid Atabaigi Elmi[3] and Reza Abdollahi[4]
1, 2. Assistant Professor and Former M.Sc. Student, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran
3. Monogastric Research Center, School of Agriculture and Environment, Massey University, Palmerston north 4442, New Zealand
(Received: Mar. 11, 2018 - Accepted: Jul. 21, 2020)

ABSTRACT

This study was conducted to evaluate the effect of corn particle size and different insoluble fiber sources on performance and carcass and gastrointestinal tract characteristics of broilers from 1 to 21 days of age. A total of 660 male broilers were used in a 2×3 factorial arrangement with 6 treatments and five replicates per treatment. The factors of interest were two corn particle sizes (2 and 6 mm) and three insoluble fiber sources (lignocellulose, rice hull, RH and sunflower hull, SFH). The main effect of fiber source was significant for the body weight gain (P<0.01) and feed conversion ratio, with SFH inclusion improved BWG (P<0.01) and FCR (P<0.01) compared to OH and lignocellulose. The supplementation of lignocellulose (P<0.05) and fine particles (P<0.01) resulted in higher carcass weight compared to other fiber sources and coarse particles, respectively. Feeding lignocellulose increased (P<0.01) the weight of the small intestine than the other two fiber sources. The Experimental treatments had no significant effect on the relative length of small intestinal segments. Coarse grinding of corn and SFH inclusion reduced gizzard pH when compared to fine grinding and lignocellulose inclusion, respectively (P<0.05). The Gizzard weight of birds fed a diet containing lignocellulose and SFH was significantly higher (P<0.01) those fed RH. Generally, the dietary inclusion of 3% SFH improves growth performance through improved weight and reduced pH of gizzard and can be practically used in the broiler industry.

Keywords: Broilers, carcass characteristics, gastrointestinal tract, insoluble fiber, particle size, performance.

* Corresponding author E-mail: s.moradi@razi.ac.ir

مقدمه

استفاده از جیره‌هایی با غلظت بالای مواد مغذی و همچنین مواد خوراکی با قابلیت هضم بالا، منجر به کاهش مقدار فیبر خام در جیره جوجه‌های گوشتی شده است که تأثیر منفی بر رشد و نمو و عملکرد سیستم گوارشی به‌خصوص سنگدان دارد (Gonzalez-Alvarado *et al*., 2008) و منجر به افزایش ابتلا به ورم نکروتیک روده می‌شود (Montagne *et al*., 2003). امروزه چندین استراتژی تغذیه‌ای از جمله تغذیه دانه کامل غلات (Biggs & Parsons, 2009)، اندازه ذرات درشت غلات پایه (Amerah *et al*., 2008) و افزایش میزان فیبر جیره برای افزایش فعالیت سنگدان (Gonzalez-Alvardo *et al*., 2007, 2008) پیشنهاد شده است.

در گذشته، افزودن منابع فیبری به جیره به‌عنوان رقیق کننده مواد مغذی، با اثر منفی بر مصرف اختیاری خوراک و قابلیت هضم مواد مغذی همراه بوده است (Mateos *et al*., 2002)، در نتیجه، جیره‌های تجاری بخصوص در جوجه‌های جوان، حاوی کمتر از سه درصد فیبر خام می‌باشند. امروزه نتایج تحقیقات نشان داده‌اند که گنجاندن مقدار مناسبی از منابع مختلف فیبر در جیره، رشد و نمو اندام‌های گوارشی را بهبود می‌دهد (Gonzalez-Alvardo *et al*., 2007) و ترشح اسید کلریدریک، اسیدهای صفراوی و آنزیم‌ها افزایش می‌یابد (Svihus, 2011). این تغییرات ممکن است منجر به بهبود قابلیت هضم مواد مغذی و عملکرد رشد گردد (Amerah *et al*., 2009).

پژوهش‌گران اثر گنجاندن سه درصد پوسته یولاف و پوسته سویا درجیره‌های بر پایه ذرت دارای ۲/۵ درصد فیبر خام یا جیره‌ای بر پایه برنج دارای ۱/۵ درصد فیبر خام را مطالعه و گزارش کردند که از سن یک تا ۲۱ روزگی، گنجاندن منابع فیبر برمصرف خوراک اثری نداشت ولی افزایش وزن روزانه و ضریب تبدیل خوراک را بهبود داد (Gonzalez-Alvarado *et al*., 2007). همچنین، در مطالعه دیگری اثر پوسته نخود (صفر تا ۷/۵ درصد) بر عملکرد، بازده مصرف انرژی و قابلیت هضم مواد مغذی بررسی و گزارش شد که گنجاندن ۲/۵ درصد پوسته نخود عملکرد جوجه‌های گوشتی را بهبود داد (Jimenez-Moreno *et al*., 2011). گزارش شده است که به کار بردن مقدار مناسبی از منابع مختلف فیبرهای نامحلول مانند پوسته برنج، آفتابگردان و پوسته یولاف بر نمو قسمت‌های بالای دستگاه گوارش و عملکرد، تأثیر مثبتی دارد (Mateos *et al*., 2012). به‌طور معمول دانه‌های غلات قبل از وارد شدن به جیره، آسیاب می‌شوند. در گذشته اعتقاد عمومی بر این بوده است که ذرات ریز غلات، سطح تماس بیشتری با آنزیم‌های گوارشی دارند، در نتیجه عمل هضم آنها بهتر انجام می‌شود (Goodband *et al*., 2002)، اما با کاهش اندازه ذرات، سنگدان تکامل پیدا نکرده و به یک اندام عبوری تبدیل می‌شود. در مقابل، در پرندگان تغذیه شده با جیره‌های آردی دارای اندازه ذرات درشت، خوراک مدت بیشتری در سنگدان باقی می‌ماند که منجر به بهبود تکامل سنگدان می‌شود (Engberg *et al*., 2002; Svihus & Hetland, 2001). نتایج مطالعات در زمینه اثر اندازه ذرات خوراک بر عملکرد، متناقض می‌باشند. در جوجه‌های تغذیه شده با خوراک آردی با اندازه ذرات درشت یا خیلی درشت ذرت در مقایسه با آنهایی که با اندازه ذرات ریز تغذیه شده‌اند، افزایش وزن بدن گزارش شده است (Proudfoot & Hulan, 1989). در مطالعه دیگری با افزایش اندازه ذرات ذرت، مصرف خوراک افزایش و بازده خوراک کاهش یافت (Parsons *et al*., 2006)، همچنین، استفاده از اندازه ذرات ذرت با میانگین قطر هندسی (GMD) ۶۸۰ در برابر ۱۲۹۰ میلی‌متر بر عملکرد تأثیری نداشته است (Reece *et al*., 1985). علاوه بر این، گزارش شده است که افزایش اندازه ذرات از۷۱۶ به ۱۱۹۶ میلی‌متر، وزن بدن و بازده خوراک را کاهش داد (Lott *et al*., 1992). لذا اندازه ذرات غله پایه در جیره بر خصوصیات فیزیکی مواد هضمی، نمو دستگاه گوارش و استفاده از مواد مغذی می‌تواند مؤثر باشد. فرضیه این آزمایش این بود که گنجاندن مقدار ۳ درصد فیبر نامحلول در جیره‌های آسیاب شده با الک ریز، رشد و نمو اندام‌های گوارشی را بهبود می‌دهد و افزودن فیبر نامحلول به جیره آسیاب شده با الک درشت منجر به رشد و نمو بیشتر دستگاه گوارش و عملکرد می‌شود. این آزمایش به منظور مطالعه اثر اندازه ذرات ذرت و منابع مختلف فیبر نامحلول بر عملکرد رشد، خصوصیات لاشه و

رشد و نمو دستگاه گوارش در جوجه‌های گوشتی از سن ۱ تا ۲۱ روزگی انجام شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق با استفاده از ۶۶۰ قطعه جوجه گوشتی نر یک روزه سویه تجاری راس ۳۰۸ با میانگین وزن اولیه ۱±۴۳ گرم در یک دوره ۲۱ روزه در قالب طرح کامل تصادفی و به‌صورت آزمایش فاکتوریل ۳×۲ با شش تیمار، پنج تکرار و ۲۲ قطعه جوجه در هر تکرار در سالن پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه رازی کرمانشاه انجام شد. عوامل مورد مطالعه شامل دو اندازه ذرات ذرت (ریز، آسیاب‌شده با الک ۲ میلی‌متر و درشت، آسیاب شده با الک ۶ میلی‌متر) و سه درصد از سه منبع مختلف فیبر نامحلول شامل لیگنوسلولز (Arbocel RC Fine- JRS Co. Inc., Rosenberg, Germany)، پوسته برنج و پوسته آفتابگردان بودند. لیگنوسلولز بر اساس آنالیز شرکت تولیدکننده، حاوی ۶۵ درصد فیبر خام و ۲۰ درصد لیگنین می‌باشد و بدون آسیاب کردن، با همان شکل مورد استفاده قرار گرفت. جوجه‌های گوشتی روی بستر پوشال (پن‌بندی‌شده، هر پن یک تکرار در نظر گرفته شد) به‌مدت ۲۱ روز پرورش یافتند. یک جیره برای دوره آغازین (سن ۱-۲۱ روزگی) بر اساس احتیاجات مواد مغذی توصیه شده توسط کاتالوگ سویه راس ۳۰۸ (Ross, 2014) به‌عنوان راهنما تنظیم شد که حاوی ۳ گرم فیبر در هر کیلوگرم جیره بود (جدول ۱) که از لیگنوسلولز، پوسته آفتابگردان و پوسته برنج تأمین گردید. جیره‌های آزمایشی به شکل آردی تهیه شدند. پوسته برنج و پوسته آفتابگردان با آسیاب چکشی با الک ۲ میلی‌متر، آسیاب شدند. ذرت نیز از منابع تجاری تهیه و به‌وسیله آسیاب چکشی با الک ۲ و ۶ میلی‌متر آسیاب شد.

دمای سالن در روز اول ۳۲ درجه بود و به تدریج تا ۲۲ درجه در روز ۲۱ دوره پرورش کاهش داده شد. در طول دوره پرورش، دسترسی به آب و خوراک به‌صورت آزاد بود. رطوبت نسبی سالن در محدوده ۴۵ تا ۵۰ درصد حفظ گردید. برنامه نوردهی سالن بدین صورت بود که ۷۲ ساعت اول، روشنایی کامل، سپس ۱ ساعت تاریکی از سن ۴ تا ۷ روزگی، ۴ ساعت تاریکی از سن ۸ تا ۲۱ روزگی اعمال گردید.

وزن بدن و مصرف خوراک به‌صورت هفتگی اندازه‌گیری و ضریب تبدیل غذایی محاسبه شد. تعداد و وزن تلفات به‌صورت روزانه ثبت و داده‌های مصرف خوراک و ضریب تبدیل بر اساس تلفات تصحیح شدند. به منظور تشریح لاشه و اندازه‌گیری قسمت‌های مختلف دستگاه گوارش، در روز ۲۱ دوره آزمایش، به‌صورت تصادفی دو پرنده از هر تکرار با وزن نزدیک به میانگین هر پن انتخاب، کشتار و وزن زنده، وزن لاشه، وزن پیش معده، سنگدان، قسمت‌های مختلف روده کوچک و لوزالمعده اندازه‌گیری شدند. همچنین، طول قسمت‌های مختلف روده شامل دوازدهه، تهی‌روده، ایلئوم و کل روده اندازه‌گیری شد. pH سنگدان (در ۳ نقطه از محتویات سنگدان اندازه‌گیری و مقدار میانگین محاسبه شد) و روده کور با استفاده از pH متر دیجیتال (Scichem Tech®, SCT-pH –PEN-5) مورد اندازه‌گیری قرار گرفت.

ترکیب شیمیایی منابع فیبر بر اساس روش‌های متداول AOAC (2005) اندازه‌گیری و مقدار ماده خشک (روش ۱۵-۹۳۰)، خاکستر (روش ۰۵-۹۴۲)، پروتئین خام (روش ۱۳-۹۸۴)، چربی خام (روش ۳۹-۹۲۰) و فیبر خام (روش ۱۷-۹۵۶) تعیین شد. همچنین مقدار الیاف نامحلول در شوینده خنثی (NDF: Neutral detergent fiber) و فیبر نامحلول در شوینده اسیدی (ADF: Acid detergent fiber) به روش ون سوست (۱۹۹۱) تعیین شدند (Baker & Herrman, 2002).

برای تعیین اندازه ذرات منابع فیبر، ذرت خردشده و جیره‌ها از روش الک کردن در سه تکرار استفاده شد. بدین صورت که مقدار ۱۰۰ گرم از هر نمونه به‌صورت دقیق وزن و با استفاده از شیکر الک‌دار با اندازه مختلف الک با قطر منافذ ۲۰۰۰، ۱۰۰۰، ۵۰۰، ۲۵۰ و ۱۰۶ میکرومتر (μm) به‌مدت ۱۰ دقیقه الک شد. سپس مقدار باقی‌مانده روی هر الک وزن و به‌صورت نسبتی از کل نمونه اولیه بیان شد. در نهایت، میانگین قطر هندسی (GMD) و انحراف استاندارد هندسی (GSD: Geometric standard deviation) منابع فیبر، ذرت خردشده و جیره محاسبه شد (Baker & Herrman, 2002).

جدول ۱. اجزای تشکیل‌دهنده و ترکیب مواد مغذی جیره‌های آزمایشی
Table 1. The ingredients and nutrients composition of experimental diets

ngredients, g/kg	Lignocellulose	Rice hulls	Sunflower hulls
Corn	494.6	494.6	494.6
Soybean meal, 44%	375.4	375.4	375.4
Corn gluten	30	30	30
Lignocellulose	30	0	0
Rice Hulls	0	30	0
Sunflower Hulls	0	0	30
Soybean oil	26.07	26.07	26.07
Dicalcium Phosphate	21.06	21.06	21.06
Limestone	9.62	9.62	9.62
L-Lysine HCL	3.08	3.08	3.08
DL-Methionine	3.05	3.05	3.05
Na Bicarbonate	2.17	2.17	2.17
Common salt	2.06	2.06	2.06
Vitamin and mineral premix1	2	2	2
L-Threonine	0.89	0.89	0.89
Calculated analysis			
AME_n (Kcal/kg)	2900	2900	2900
CP, %	22	22	22
Crude fiber, %	5.16	4.15	4.24
Calcium, %	0.99	0.99	0.99
Available phosphorus, %	0.49	0.49	0.49
Lys, %	1.37	1.37	1.37
Met, %	0.64	0.64	0.64
Met+ Cys, %	1	1	1
Thr, %	0.91	0.91	0.91
Analyzed value			
Gross energy (Kcal/kg)	4315	4290	4280
Dry matter, %	92.51	92.48	92.20
CP, %	21.74	21.57	22
Ether Extract, %	5.85	5.63	6.20
Calcium, %	1.29	1.33	1.22
Total phosphorus, %	9.2	9.5	9.8

1. Provided the following amounts per kilogram of diet: vitamin A, 14,000 IU; vitamin D_3, 6,000 IU; vitamin E, 55 mg; vitamin K_3, 5.5 mg; thiamin, 3 mg; riboflavin, 6 mg; pantothenic acid, 20 mg; niacin, 50 mg; pyridoxine, 5 mg; folic acid, 2 mg; biotin, 8 mg; vitamin B12, 15 µg; Se, 0.25 mg; I, 1 mg; Cu, 15 mg; Fe, 97.5 mg; Mn, 100 mg; Zn , 100 mg; choline, 800 mg, antioxidant: 100 mg.

برای تعیین ظرفیت نگهداری آب (WHC: Water Holding Capacity)، یک گرم نمونه خشک‌شده به‌مدت ۱۸ ساعت در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر به حالت معلق درآمد و سپس با استفاده از کروسیبل شیشه‌ای فیلتردار، صاف گردید و پس از ۱۰ دقیقه قرار گرفتن در هوای آزاد، نمونه‌های فیلتر شده وزن شدند (Giger-Reverdin, 2000). ظرفیت نگهداری آب به‌صورت مقدار آب باقی مانده در نمونه و به‌صورت لیتر در کیلوگرم ماده خشک بیان شد. برای تعیین ظرفیت تورم آب (SWC: Swelling water capacity) مقدار یک گرم از هر نمونه (سه تکرار از هر نمونه) در ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر در یک استوانه مدرج خیسانده شد. سپس با استفاده از یک همزن به‌مدت پنج دقیقه به آرامی با آب مقطر مخلوط گردید و بعد از آن به‌مدت ۱۸ ساعت به حالت ساکن در دمای اتاق نگهداری و پس از متعادل کردن نمونه، حجم آن ثبت و به‌صورت لیتر به‌ازای کیلوگرم ماده خشک نمونه اصلی بیان شد (Valencia & Roman, 2006).

این تحقیق در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۶ تیمار آزمایشی و ۵ تکرار به‌ازای هر تیمار به‌صورت آزمایش فاکتوریل ۳×۲ انجام شد. داده‌های حاصل با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۴ و رویه مدل‌های خطی عمومی (GLM) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. مقایسه میانگین‌ها با آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ انجام شد.

نتایج و بحث

داده‌های حاصل از تجزیه اندازه ذرات نشان دادند که آسیاب درشت ذرت، درصد نسبی ذرات بالای ۱۰۰ میکرومتر را افزایش (۴۹/۵۵ در برابر ۳۵/۷۹ درصد) و درصد نسبی ذرات زیر ۱۰۶ میکرومتر (۱/۳ در برابر ۱/۸۶ درصد) را کاهش داد. همچنین، تجزیه شیمیایی و فیزیکی منابع فیبر نشان دادند که لیگنوسلولز حاوی میزان بالاتری فیبر خام (۸۱/۰۸ در برابر ۵۰/۷۴ و ۴۵/۵۷ درصد)، NDF (۹۳/۹۹ در برابر ۷۹/۲۲ و ۷۰/۰۵ درصد) و ADF (۷۵/۱۲ در برابر ۴۷/۲۷ و ۴۳/۵۳ درصد) نسبت به پوسته برنج و پوسته آفتابگردان بود (جدول ۲). میانگین قطر هندسی ذرت آسیاب شده با الک ۲ و ۶ میلی متر، به ترتیب ۶۵۳ و

۸۴۶ میکرومتر بود که GSD برای هر دو اندازه الک، ۲/۲ بود. به کار بردن پوسته برنج در جیره‌های حاوی ذرت ریز و ذرت درشت، درصد نسبی ذرات بالای ۱۰۰۰ میکرومتر را کاهش و درصد نسبی ذرات زیر ۱۰۶ میکرومتر را در جیره‌ها افزایش داد. میزان ظرفیت نگهداری آب به ترتیب در پوسته آفتابگردان (۴/۶۸)، پوسته برنج (۳/۶۵) و لیگنوسلولز (۳/۵۵) لیتر در کیلوگرم بود اما ظرفیت تورم در آب برای پوسته آفتابگردان در حدواسط لیگنوسلولز و پوسته برنج بود (جدول ۲).

تعداد تلفات و درصد زنده‌مانی در گروه‌های آزمایشی، تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند (جدول ۴). بین اندازه ذرت خرد شده و منابع فیبر برای هیچ یک از پارامترهای عملکرد، اثر متقابل مشاهده نشد اما منابع فیبر بر افزایش وزن بدن و ضریب تبدیل خوراک تأثیر معنی‌داری داشتند، به‌طوری‌که پرندگان تغذیه شده با جیره حاوی پوسته آفتابگردان نسبت به پرندگان دریافت‌کننده لیگنوسلولز و پوسته برنج افزایش وزن بالاتر (P<۰/۰۱) و ضریب تبدیل غذایی (P<۰/۰۱) بهتری داشتند (جدول ۴).

اثر سودمند جیره‌های حاوی فیبر بر عملکرد جوجه‌های گوشتی جوان به‌وسیله پژوهش‌گران زیادی گزارش شده است (Hetland & Svihus, 2001; Jimenez-Moreno *et al*., 2016; Mateos *et al*., 2012; Barekatain *et al*., 2017). اگر چه نتایج در مورد منابع مختلف فیبر متقاوت می‌باشد. در مطالعه Jimenez-Moreno *et al*. (2010)، از تفاله چغندرقند به‌عنوان فیبر محلول و پوسته یولاف و سلولز به‌عنوان فیبر نامحلول در جیره استفاده و گزارش شد که وزن بدن و ضریب تبدیل خوراک در سن ۲۱ روزگی بهبود یافت.

جدول ۲. ترکیب مواد مغذی (درصد هوا خشک) و خصوصیات فیزیکی منابع فیبر

Table 2. Nutrients composition (%, as fed basis) and physical properties of the fiber sources

	Fiber sources		
Item	Lignocelloluse	Rice Hulls	Sunflower Hulls
Dry matter	92.99	94.96	93.71
Crude protein	0.9	2.8	6.8
Ash	1.7	19.18	3.57
Ether extract	0	2.03	5.5
Crude fiber	81.08	50.74	47.57
Neutral detergent fiber	93.99	79.27	70.05
Acid detergent fiber	75.12	47.27	43.53
Physico-chemical properties			
Screen size, µm			
2000	3.01	0	2.12
1000	66.05	15.01	37.39
500	18.57	30.27	32.65
250	4.05	26.72	14.23
106	6.04	15.64	10.68
>106	2.28	12.36	2.93
Geometric mean diameter, (GMD±GSD, µm)	982±2	402±2.4	649±2.2
Water holding capacity, (L/kg of DM)	3.55±0.24	3.65±0.28	4.68±0.26
Swelling water capacity, (L/kg of DM)	5.6±0.2	2.1±0.17	5.07±0.11

جدول ۳. توزیع اندازه ذرات، میانگین قطر هندسی (میکرومتر)، ظرفیت نگهداری آب (لیتر در کیلوگرم ماده خشک) و ظرفیت تورم آب (لیتر در کیلوگرم ماده خشک) ذرت آسیاب شده و جیره‌های آزمایشی

Table 3. Particle size distribution, geometric mean diameter (GMD+GSD, µm), water holding capacity (WHC, L/kg of DM) and swelling water capacity (SWC, L/kg of DM) of ground corn and experimental diets

	Screen size (µm)						GMD+GSD	WHC	SWC
Ground corn	2000	1000	500	250	106	<106			
Fine	0	37.59	35.91	12.81	13.66	1.83	653±2.2	-	-
Coarse	16.33	33.22	30.35	8.85	9.95	1.3	846±2.2	-	-
Experimental diets									
Lignocelloluse	1.46	35.48	35	14.8	12.72	0.54	681±2.1	3.77±0.16	3.97±0.06
Fine, 2 mm									
Rice hull	1.06	32.9	34.74	16.52	13.23	1.55	639±2.2	2.88±0.07	3.57±0.12
Sunflower hull	1.63	34.43	32.53	16.29	14.23	0.89	651±2.2	2.3±0.11	3.67±0.06
Lignocelloluse	13.86	35.96	28.94	11.65	8.72	0.87	845±2.2	4.41±0.02	3.87±0.12
Coarse, 6 mm									
Rice hull	12.08	30.48	30.13	15.08	10.75	1.48	747±2.3	3.56±0.07	3.47±0.06
Sunflower hull	15.46	35.81	29.27	11.23	7.73	0.49	852±2.2	3.52±0.08	3.8±0.12

Fiber sources ground through a 2-mm screen, except lignocellulose.
Fine and coarse grades were achieved using screen sizes of 2.0 and 6.0 mm, respectively.

در میان منابع مختلف فیبر، میزان افزایش وزن بدن جوجه‌های تغذیه‌شده با پوسته یولاف نسبت به تفاله چغندرقند بالاتر و مشابه با گروه تغذیه‌شده با سلولز بود اما ضریب تبدیل غذایی آنها مشابه بود. نتایج مشابهی در مورد اثرات مثبت منابع فیبر نامحلول از جمله پوسته یولاف (Jimenez-Moreno *et al.*, 2009) و پوسته یولاف و پوسته سویا (Gonzalez-Alvarado *et al.*, 2007) بر عملکرد جوجه‌های گوشتی گزارش شده است. در مطالعه Jimenez-Moreno *et al.* (2016) صرف‌نظر از شکل فیزیکی خوراک، استفاده از منابع فیبر نامحلول (پوسته یولاف، پوسته برنج و پوسته آفتابگردان به میزان ۲۵ و ۵۰ گرم در کیلوگرم جیره) عملکرد جوجه‌های گوشتی را بهبود دادند اما بین گروه‌های تغذیه‌شده با منابع مختلف فیبر، تفاوتی مشاهده نشد. در آزمایش حاضر، رقیق‌سازی جیره با پوسته آفتابگردان وزن بدن و ضریب تبدیل غذایی را در مقایسه با لیگنوسلولز و پوسته برنج بهبود داد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی فیبر بر آناتومی و فیزیولوژی دستگاه گوارش، مؤثر می‌باشد و یکی از شاخص‌های مهم در ارزیابی ارزش تغذیه‌ای جیره‌های حاوی فیبر در طیور می‌باشد. اندازه ذرات فیبر، ظرفیت نگهداری آب، ظرفیت تورم در آب، مقاوت در برابر خردشدن، میزان فیبر جیره پایه، قابلیت ارتجاعی دیواره سلول و سن پرنده از عوامل تأثیرگذار بر پاسخ پرنده به افزودن فیبر می‌باشند (Jimenez-Moreno *et al.*, 2019). پوسته آفتابگردان دارای بالاترین میزان ظرفیت نگهداری آب (۴/۶۸ در برابر ۳/۵۵ و ۳/۶۵) نسبت به دو منبع فیبر دیگر بود بنابراین، زمان ماندگاری محتویات هضمی به‌دلیل حجم بیشتر محتویات هضمی در ابتدای دستگاه گوارش، به ویژه سنگدان افزایش می‌یابد (Hetland *et al.*, 2005) که منجر به اتساع فیزیکی دیواره سنگدان، افزایش فعالیت و رشد و نمو بیشتر سنگدان، افزایش ترشح اسید کلریدریک در پیش معده و کاهش pH سنگدان می‌گردد (Gonzalez-Alvarado *et al.*, 2008) که به‌وسیله نتایج این تحقیق تأیید می‌گردد. وزن سنگدان در جیره‌های حاوی پوسته آفتابگردان (۱۱/۸درصد) و لیگنوسلولز (۷/۳ درصد) نسبت به جیره‌های حاوی پوسته برنج افزایش یافت. افزایش رفلکس‌های دوازدهه- سنگدان در نتیجه وجود یک سنگدان رشدیافته، منجر به ترشح بیشتر کوله سیستوکینین و تحریک ترشح آنزیم‌های لوزالمعده می‌گردد (Svihus *et al.*, 2002). به‌کاربردن پوسته آفتابگردان، pH سنگدان را در مقایسه با لیگنوسلولز و pH روده کور را در مقایسه با دو منبع دیگر فیبر کاهش داد بنابراین، بهبود عملکرد در پرنده‌هایی که جیره حاوی پوسته آفتابگردان دریافت کردند می‌تواند به اثر تحریک‌کنندگی پوسته آفتابگردان بر سنگدان، مرتبط باشد. در توافق با نتایج این تحقیق که پوسته آفتابگردان میزان pH سنگدان را در مقایسه با لیگنوسلولز کاهش داد، Mateos *et al.*, (2012) گزارش کردند که کاهش pH بخش‌های مختلف دستگاه گوارش در جیره‌های حاوی پوسته یولاف و تفاله چغندرقند در مقایسه با سلولز میکروکریستاله، مشاهده شد.

در تحقیق حاضر، میانگین قطر هندسی با استفاده از الک و به‌صورت خشک اندازه‌گیری شد. بالاترین مقدار میانگین قطر هندسی مربوط به جیره‌های حاوی لیگنوسلولز بود اما لیگنوسلولز به محض قرارگرفتن در محیط مرطوب یا آبی، بافت خود را از دست می‌دهد و مقدار میانگین قطر هندسی محتویات هضمی در پیش معده و سنگدان برای گروه دریافت‌کننده لیگنوسلولز، کمتر از مقدار واقعی می‌باشد. بنابراین، گنجاندن لیگنوسلولز به‌عنوان منبع فیبر به‌دلیل نبود ساختار فیزیکی، اثر کمی بر عملکرد دارد (Jimenez-Moreno *et al.*, 2010).

داده‌های تحقیق حاضر، نتایج Amerah *et al.* (2007, 2008) را تأیید می‌کنند که گزارش کردند اندازه ذرات تأثیری بر عملکرد و رشد و نمو دستگاه گوارش نداشت. به نظر می‌رسد که اختلاف از نظر توزیع اندازه ذرات در جیره‌های ریز و درشت در آزمایش حاضر، به اندازه‌ای نبوده که تأثیری بر رشد و نمو دستگاه گوارش و متعاقب آن عملکرد رشد داشته باشد.

تأثیر جیره‌های آزمایشی بر وزن نسبی لاشه و قسمت‌های مختلف دستگاه گوارش در جدول ۵

گزارش شده است. همان‌طورکه ملاحظه می‌شود، اثر اندازه ذرات ذرت و منابع فیبر نامحلول بر وزن لاشه، معنی‌دار بود، به‌طوری‌که به‌کاربردن ذرت ریز در جیره، وزن لاشه را نسبت به ذرت درشت افزایش داد. همچنین، جوجه‌های تغذیه‌شده با لیگنوسلولز، وزن لاشه بالاتری نسبت به دو منبع دیگر داشتند (P<۰/۰۵). موافق با نتایج پژوهش حاضر، وزن لاشه بالاتر در پرندگان تغذیه‌شده با ذرات ریز نسبت به ذرات درشت، قبلا نیز گزارش شده است (Santos *et al*., 2008)، پژوهش‌گران دیگر بیان کردند که اثر معنی‌داری بر وزن نسبی لاشه در جوجه‌های تغذیه شده با دانه کامل غلات و دانه غلات خردشده مشاهده نشد (Bennett *et al*., 2002)، در مطالعه Sadeghi *et al*. (2015) تأثیر افزودن پوسته برنج و تفاله چغندرقند و اثر ترکیبی آنها بررسی و گزارش شد که وزن لاشه در گروهی که به‌صورت ترکیبی از پوسته برنج و تفاله چقندرقند تغذیه شده بودند نسبت به گروه تغذیه شده با تفاله چغندر قند، بالاتر اما مشابه گروه شاهد بود.

وزن نسبی لوزالمعده و پیش معده تحت تأثیر اثرات متقابل و اصلی قرار نگرفت. اثر اصلی اندازه ذرات ذرت و اثر متقابل بر وزن سنگدان، معنی‌دار نبود. وزن سنگدان جوجه‌های دریافت‌کننده لیگنوسلولز و پوسته آفتابگردان، مشابه اما نسبت به پوسته برنج بالاتر بود (P<۰/۰۵). وزن نسبی روده کوچک در گروه تغذیه‌شده با پوسته برنج و پوسته آفتابگردان مشابه اما نسبت به گروه تغذیه‌شده با جیره حاوی لیگنوسلولز پایین‌تر بود (P<۰/۰۱). بالاترین و پایین‌ترین وزن روده کور به ترتیب مربوط به جوجه‌های تغذیه‌شده با لیگنوسلولز در ذرت خردشده با الک درشت و ریز بود. در نتیجه اثر متقابل برای این اندام تمایل به معنی‌دارشدن داشت (P=۰/۰۷). به‌خوبی اثبات شده است که گنجاندن مقدار مناسبی از فیبرهای نامحلول در جیره، زمان ابقای مواد هضمی در قسمت‌های بالای دستگاه گوارش را افزایش و رشد و نمو و عملکرد سنگدان و دیگر اندام‌های هضمی را بهبود می‌دهد (Barekatain *et al*., 2017).

جدول ۴. اثر اندازه ذرات ذرت و منابع فیبر نامحلول بر افزایش وزن بدن (گرم/پرنده)، مصرف خوراک (گرم/پرنده) و ضریب تبدیل غذایی (گرم خوراک/گرم افزایش وزن) جوجه های گوشتی از سن ۱ تا ۲۱ روزگی

Table 4. Effect of corn particle size and insoluble fiber sources on body weight gain (g/bird), feed intake (g/bird), feed conversion ratio (g of feed/g of weight gain) and livability (%) of broilers from 1 to 21 days of age

Corn particle size	Fiber source	Weight gain	Feed intake	Feed:gain ratio	Livability
	Lignocellulose	671	1151	1.717	99.10
Fine, 2 mm	Rice hulls	679	1139	1.677	98.18
	Sunflower hulls	725	1180	1.630	99.10
	Lignocellulose	683	1144	1.675	98.18
Coarse, 6 mm	Rice hulls	697	1160	1.665	100
	Sunflower hulls	713	1154	1.617	100
SEM		11.29	14.05	0.02	1.72
Main effects					
Corn particle size					
	Fine, 2mm	692	1157	1.675	98.79
	Coarse, 6mm	698	1152	1.652	99.39
	SEM	6.51	8.11	0.011	0.676
Fiber source					
	Lignocellulose	677[b]	1148	1.696[a]	98.64
	Rice hulls	688[b]	1150	1.671[a]	99.09
	Sunflower hulls	719[a]	1160	1.623[b]	99.55
	SEM	7.98	9.94	0.014	0.828
Probability,					
Corn particle size		0.508	0.73	0.19	0.53
Fiber source		0.004	0.32	0.007	0.74
Corn particle size * fiber source		0.407	0.26	0.7	0.50

Fiber source ground through a 2-mm screen, except lignocellulose.

Fine and coarse grades were achieved using screen sizes of 2.0 and 6.0 mm, respectively.

Means within each section of a column followed by the same letter are not significantly different at P > 0.05.

جدول ۵. اثر اندازه ذرات ذرت و منابع فیبر نامحلول بر وزن نسبی لاشه و قسمت‌های مختلف دستگاه گوارش (گرم/کیلوگرم وزن زنده) جوجه‌های گوشتی در سن ۲۱ روزگی

Table 5. Effect of corn particle size and insoluble fiber sources on relative weight of carcass and different parts of gastrointestinal tract (g/kg of live weight) of broilers at 21 day of age

Corn particle size	Fiber source	Carcass	Pancreas	Proventriculus	Gizzard	Small intestine	Ceca
	Lignocellulose	598.7	3.88	7.05	24.19	48.77	3.89
Fine, 2 mm	Rice hull	572.1	4.23	6.28	22.54	44.61	4.66
	Sunflower hull	577.0	3.90	6.25	25.25	44.91	4.45
	Lignocellulose	574.7	4.06	6.47	24.88	45.91	4.99
Coarse, 6 mm	Rice hull	560.1	3.96	6.97	23.15	45.05	4.35
	Sunflower hull	566.1	3.96	6.91	25.94	44.45	4.11
SEM		6.03	0.12		0.76	0.66	0.33
Main effects							
Corn particle size							
Fine, 2mm		583.8[a]	4.00	6.54	24.08	46.09	4.31
Coarse, 6mm		566.4[b]	3.99	6.68	24.65	45.08	4.45
SEM		3.48	0.07	0.189	0.442	0.386	0.19
Fiber source							
Lignocelloluse		588[a]	3.97	6.79	24.53[a]	47.49[a]	4.38
Rice hull		570.9[b]	4.09	6.63	22.84[b]	44.8[b]	4.52
Sunflower hull		565.4[b]	3.93	6.41	25.55[a]	44.68[b]	4.28
SEM		4.27	0.09	0.232	0.541	0.472	0.23
Probability							
Corn particle size		0.004	0.934	0.572	0.3	0.092	0.61
Fiber source		0.007	0.449	0.598	0.006	0.0009	0.78
Corn particle size * fiber source		0.505	0.223	0.159	0.99	0.063	0.07

Fiber source ground through a 2-mm screen, except lignocellulose.
Fine and coarse grades were achieved using screen sizes of 2.0 and 6.0 mm, respectively.
Means within each section of a column followed by the same letter are not significantly different at P > 0.05.

در مطالعه حاضر، ممکن است افزایش وزن سنگدان در اثر تغذیه جیره حاوی پوسته آفتابگردان ناشی از ظرفیت نگهداری بالای آب آن نسبت به دو منبع دیگر باشد، چرا که مواد خشبی موجود در جیره باید در سنگدان به اندازه مشخصی تبدیل شود. بنابراین، سنگدان نیاز به فعالیت بیشتری برای خردکردن دارد و در نتیجه اندازه آن افزایش می‌یابد (Sacranie *et al*., 2012) اما در تضاد با نتایج این تحقیق، وزن سنگدان بالاتر در پرندگانی که با لیگنوسلولز تغذیه شدند، مشاهده شد. (Jimenez-Moreno *et al*., 2010) گزارش کردند که گنجاندن سلولز به‌دلیل عدم داشتن ساختار فیزیکی، اثر کمی بر تکامل سنگدان دارد. وزن نسبی کل دستگاه گوارش، پیش معده، سنگدان و روده‌های کور در جوجه‌های دریافت‌کننده لیگنوسلولز، پایین‌تر از پوسته یولاف و تقاله چغندرقند بود. گنجاندن فیبر در جیره بر رشد و نمو اندام‌های گوارشی مؤثر است که این امر به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی منابع فیبر وابسته است. افزایش وزن نسبی سنگدان در آزمایش حاضر، ممکن است مرتبط با ظرفیت بالای تورم آب در جیره‌های حاوی لیگنوسلولز باشد. بالا بودن ظرفیت تورم در آب (WHC) لیگنوسلولز (۵/۶ لیتر در کیلوگرم ماده خشک) منجر به اتساع دیواره سنگدان شده و مقدار محتوبات هضمی در این اندام افزایش می‌یابد در نتیجه مواد هضمی برای مدت طولانی در سنگدان باقی مانده که منجر به افزایش وزن سنگدان و قسمت‌های پایین‌تر دستگاه گوارش می‌گردد (Gonzalez-Alvarado *et al*., 2008). در تأیید این فرضیه، وزن سنگدان در مطالعه حاضر در پرندگانی که لیگنوسلولز دریافت کردند، نسبت به پوسته برنج افزایش پیدا کرد.

هیچ‌کدام از آثار اصلی و متقابل اندازه ذرات ذرت و منابع فیبر نامحلول بر طول نسبی روده کوچک، اجزای آن و طول روده کور معنی‌دار نبود (جدول ۶). اثرات اصلی اندازه ذرات ذرت و منابع فیبر نامحلول بر pH سنگدان معنی‌دار بودند (P<۰/۰۵) به‌طوری‌که اندازه ذرات درشت در مقایسه با ریز منجر به کاهش pH سنگدان شدند که این کاهش pH با نتایج محققین قبلی، مطابقت دارد (Nir *et al*., 1994; Engberg *et al*., 2002; Naderinejad *et al*., 2016) که مربوط به زمان ماندگاری طولانی‌تر مواد هضمی در سنگدان و ترشح بیشتر اسید هیدروکلریدریک می‌باشد.

جدول ۶. اثر اندازه ذرات ذرت و منابع فیبر نامحلول بر طول نسبی قسمت‌های مختلف روده (سانتی متر/کیلوگرم وزن زنده) و pH سنگدان و روده کور جوجه های گوشتی در سن ۲۱ روزگی

Table 6. Effect of corn particle size and insoluble fiber sources on relative length of intestine (cm/kg of live weight) and pH of gizzard and ceca of broilers at 21 day of age

Corn particle size	Fiber source	Relative length (cm/kg of live weight)				pH	
		Small intestine	Duodenum	Jejunum	Ileum	Gizzard	Ceca
Fine,2 mm							
	Lignocellulose	210.26	37.73	87.48	85.05	3.53	7.1
	Rice hull	211.83	36.14	89.03	86.66	3.47	6.9
	Sunflower hull	280.6	37.89	85.91	84.8	3.26	6.8
Coarse, 6 mm							
	Lignocellulose	203.99	36.91	84.05	83.04	3.38	7.01
	Rice hull	203.77	35.01	85.04	83.73	3.24	7.09
	Sunflower hull	202.31	34.96	84.66	82.69	3.1	6.58
SEM		5.79	1.4	3.1	2.3	0.09	0.14
Main effects							
Corn particle size							
Fine, 2mm		210.34	37.21	87.58	85.55	3.42a	6.93
Coarse, 6mm		203.31	35.53	84.62	83.15	3.23b	6.89
SEM		3.34	0.81	1.79	1.32	0.05	0.08
Fiber source							
	Lignocellulose	207.47	37.36	85.95	84.15	3.45^{a}	7.05^{a}
	Rice hull	207.8	35.57	87.03	85.19	3.35^{ab}	6.99^{a}
	Sunflower hull	205.1	36.26	85.21	83.62	3.18^{b}	6.7^{b}
	SEM	4.09	0.99	2.18	1.62	0.06	0.1
Probability							
Corn particle size		0.16	0.17	0.26	0.22	0.019	0.739
Fiber source		0.91	0.46	0.84	0.79	0.019	0.038
Corn particle size * fiber source		0.98	0.73	0.89	0.97	0.88	0.37

Fiber source ground through a 2-mm screen, except lignocellulose.
Fine and coarse grades were achieved using screen sizes of 2.0 and 6.0 mm, respectively.
Means within each section of a column followed by the same letter are not significantly different at $P > 0.05$.

به‌کاربردن پوسته آفتابگردان، pH سنگدان را در مقایسه با لیگنوسلولز کاهش داد (P<۰/۰۵) و pH روده کور در گروه تغذیه شده با جیره حاوی پوسته آفتابگردان در مقایسه با دو منبع دیگر فیبر، کاهش یافت (P<۰/۰۵). در مطالعات قبلی، کاهش pH سنگدان در پرندگان تغذیه شده با ۳ درصد پوسته آفتابگردان (Kimiaeitalab *et al*., 2017) و ۳ درصد پوسته یولاف (Barekatain *et al*., 2017) گزارش شده است. منابع فیبر حاوی مقادیر بالای لیگنین، برای مدت طولانی‌تری در سنگدان باقی می‌مانند در نتیجه فعالیت بیشتر سنگدان (Mateos *et al*., 2012) و افزایش زمان ابقای مواد هضمی در سنگدان (Sacranie *et al*., 2012)، تولید اسیدکلریدریک (HCL) توسط پیش‌معده افزایش می‌یابد که در نهایت به کاهش pH سنگدان منجر می‌شود.

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که اثر افزودن فیبر در جیره‌های آردی، بیشتر در جیره‌های حاوی پوسته آفتابگردان مشاهد شد که اثرات آن نسبت به لیگنوسلولز محسوس‌تر و هر دو بالاتر از پوسته برنج بود. بنابراین، استفاده از پوسته آفتابگردان به میزان ۳ درصد می‌تواند در صنعت برای بهبود عملکرد جوجه‌های گوشتی مورد استفاده قرار بگیرد. به کار بردن ذرت با اندازه درشت در جیره، تأثیر منفی بر عملکرد نداشت ولی pH سنگدان را کاهش داد که می‌تواند به بهبود عملکرد سنگدان کمک کند. با توجه به این‌که آسیاب با الک درشت (۶ میلی‌متر)، موجب صرفه جویی در مصرف انرژی می‌گردد لذا به‌کاربردن آن در ساخت جیره جوجه‌های گوشتی، توصیه می‌شود.

REFERENCES

1. Amerah, A. M., Ravindran, V. & Lentle, R. G. (2007). Influence of feed form on gizzard morphology and particle size spectra of duodenal digesta in broiler chickens, *Journal of Poultry Science*, 44, 175-181.
2. Amerah, A. M., Ravindran, V. & Lentle, R. G. (2009). Influence of insoluble fiber and whole wheat inclusion on the performance, digestive tract development and ileal microbiota profile of broiler chickens. *British Poultry Science*, 50, 366-375.
3. Amerah, A. M., Ravindran, V., Lentle, R. G. & Thomas, D. G. (2008). Influence of feed particle size on the performance, energy utilization, digestive tract development, and digesta parameters of broiler starters fed wheat- and corn-based diets. *Poultry Science*, 87, 2320-2328.

4. AOAC. (2005). *Official Methods of Analysis of AOAC International*. 18th ed. AOAC Int., Gaithersburg, MD.
5. Archibald, J. G. (1924). The effect of sodium hydroxide on the composition, digestibility and feeding value of grain hulls and other fibrous materials. *Journal of Agriculture Research*, 27, 245-265.
6. Baker, S. & Herrman, T. (2002*). Evaluating Particle Size MF-2051 Feed Manufacturing.* Kansas State University, Manhattan, KS, US.
7. Barekatain, R., Swick, R. A., Toghyani, M. & de Koning, C. T. (2017). Interactions of full-fat canola seed, oat hulls as an insoluble fiber source and pellet temperature for nutrient utilization and growth performance of broiler chickens, *Poultry Science*, 96, 2233-2242.
8. Bennett, C.D., Classen, H.L. & Riddell, C. (2002). Feeding broiler chickens wheat and barley diets containing whole, ground and pelleted grain. *Poultry Science*, 81, 995-1003.
9. Biggs, P. & Parsons, C. M. (2009). The effect of whole grains on nutrient digestibility, growth performance, and cecal short-chain fatty acid concentrations in young chicks fed ground corn-soybean meal diets. *Poultry Science*, 88, 1893–1905.
10. Engberg, R. M., Hedemann, M. S. & Jensen, B. B. (2002). The influence of grinding and pelleting of feed on the microbial composition and activity in the digestive tract of broiler chickens. *British Poultry Science*, 44, 569-579.
11. Giger-Reverdin, S. (2000). Characterization of feedstuffs for ruminants using some physical parameters. *Animal Feed Science and Technology*, 86, 53-69.
12. Gonzalez-Alvarado, J. M., Jiménez-Moreno, E., Lázaro, R. & Mateos, G. G. (2007). Effects of type of cereal, heat processing of the cereal, and inclusion of fiber in the diet on productive performance and digestive traits of broilers, *Poultry Science*, 86, 1705-1715.
13. Gonzalez-Alvarado, J. M., Jimenez-Moreno, E., Valencia, D. G., Lazaro, R. & Mateos, G. G. (2008). Effects of fiber source and heat processing of the cereal on the development and pH of the gastrointestinal tract of broilers fed diets based on corn or rice. *Poultry Science*, 87, 1779-1795.
14. Goodband, R. D., Tokach, M. D. & Nellssen, J. L. (2002). The effects of diet particle size on animal performance. *MF-2050 Feed Manufacturing*, Department of Grain Science and Industry, Kansas State University.
15. Hetland, H. & Svihus, B. (2001). Effect of oat hulls on performance, gut capacity and feed passage time in broiler chickens. *British Poultry Science*, 42, 354-361.
16. Hetland, H., Svihus, B. & Choct, M. (2005). Role of insoluble fiber on gizzard activity in layers. *Journal of Applied Poultry Research*, 14, 38-46.
17. Jimenez-Moreno, E., Chamorro, S., Frikha, M., Safaa, H. M., Lázaro, R. & Mateos G. G. (2011). Effects of increasing levels of pea hulls in the diet on productive performance and digestive traits of broilers from one to eighteen days of age. *Animal Feed Science and Technology*, 168, 100-112.
18. Jimenez-Moreno, E., De Coca-Sinova, A., Gonzalez-Alvarado, J. & Mateos, G. G. (2016). Inclusion of insoluble fiber sources in mash or pellet diets for young broilers. 1. Effects on growth performance and water intake. *Poultry Science*, 95, 41-52.
19. Jimenez-Moreno, E., Gonzalez-Alvarado, J., de Coca-Sinova, A., Lazaro, R. P., Camara, L. & Mateos, G. G. (2019). Insoluble fiber sources in mash or pellets diets for young broilers. 2. Effects on gastrointestinal tract development and nutrient digestibility. *Poultry Science*, 0, 1-17.
20. Jiménez-Moreno, E., González-Alvarado, J. M., de Coca-Sinova, A., Lazaro, R. & Mateos, G. G. (2009). Effects of source of fibre on the development and pH of the gastrointestinal tract of broilers. *Animal Feed Science and technology*, 154, 93-101.
21. Jimenez-Moreno, E., Gonzalez-Alvarado, J. M., González-sanchez, D., Lazaro, R. & Mateos, G. G. (2010). Effects of type and particle size of dietary fiber on growth performance and digestive traits of broilers from 1 to 21 days of age. *Poultry Science*, 89, 2197-2212.
22. Kimiaeitalab, M. V., Camara, L., Goudarzi, S. M., Jiménez-Moreno, E. & Mateos G. G. (2017). Effects of the inclusion of sunflower hulls in the diet on growth performance and digestive tract traits of broilers and pullets fed a broiler diet from zero to 21 d of age. A comparative study. *Poultry Science*, 96, 581-592.
23. Lott, B. D., Day, E. J., Deaton, J. W. & May, J. D. (1992). The effect of temperature, dietary energy level and corn particle size on broiler performance. *Poultry Science*, 71, 618-624.
24. Mateos, G. G., Lazaro, R. & Gracia, M. I. (2002). The feasibility of using nutritional modifications to replace drugs in poultry feeds. *Journal of Applied Poultry Research*, 11, 437-452.
25. Mateos, G. G., Jimenez-Moreno, E., Serrano, M. & Lazaro, R. (2012). Poultry response to high levels of dietary fiber sources varying in physical and chemical characteristics. *Journal of Applied Poultry Research*, 21, 156-174.
26. Montagne, L., Pluske, J. & Hampson, D. (2003). A review of interactions between dietary fiber and the intestinal mucosa, and their consequences on digestive health in young non-ruminant animals. *Animal Feed Science and Technology*, 108, 95-117.

27. Naderinejad, S., Zaefarian, F., Abdollahi, M., Hassanabadi, A., Kermanshahi, H. & Ravindran, V. (2016). Influence of feed form and particle size on performance, nutrient utilisation, and gastrointestinal tract development and morphometry in broiler starters fed maize-based diets. *Animal Feed Science and Technology*, 215, 92-104.
28. Nir, I., Hillel, R., Shefet, G. & Nitsan, Z. (1994). Effect of grain particle size on performance. 2. Grain texture interactions. *Poultry Science*, 73, 781-791.
29. Parsons, A. S., Buchanan, N. P., Blemings, K. P., Wilson, M. E. & Mortiz, J. S. (2006). Effect of corn particle size and pellet texture on broiler performance in the growing phase. *Journal of Applied Poultry Research*, 15, 245-255.
30. Proudfoot, F. G. & Hulan, H. W. (1989). Feed texture effects on the performance of roaster chickens. *Canadian Journal of Animal Science*, 69, 801-807.
31. Reece, F. N., Lott, B. D. & Deaton, J. W. (1985). The effects of feed form, grinding method, energy level, and gender on broiler performance in a moderate environment. *Poultry Science*, 64, 1834-1839.
32. Ross. (2014). *Ross 308 Broiler: Nutrition Specification*. Ross Breeders Limited, New Bridge, Midlothian, Scotland, UK.
33. Sacranie, A., Svihus, B., Denstadli, V., Moen, B., Iji, P. A. & Choct, M. (2012). The effect of insoluble fiber and intermittent feeding on gizzard development, gut motility, and performance of broiler chickens. *Poultry Science*, 91, 693-700.
34. Sadeghi, A., Toghyani M. & Gheisari, A. (2015). Effect of various fiber types and choice feeding of fiber on performance, gut development, humoral immunity, and fiber preference in broiler chicks. *Poultry Science*, 94, 2734-2743.
35. Santos, F. B. O., Sheldon, B. W., Santos, J. R. & Ferket, P. R. (2008). Influence of housing system, grain type, and particle size on Salmonella colonization and shedding of broilers fed triticale or corn soybean meal diets. *Poultry Science*, 87, 405-420.
36. SAS Institute Inc. 2004. SAS STATs users guide. Version 9, SAS Institute Inc., Carry, N.C.
37. Svihus, B. (2011). The gizzard: Function, influence of diet structure and effects on nutrient availability. *World's Poultry Science Journal*, 67, 207-224.
38. Svihus, B. & Hetland, H. (2001). Ileal starch digestibility in growing broiler chickens fed on a wheat based diet is improved by mashing feeding, dilution with cellulose or whole wheat inclusion. *British Poultry Science*, 42, 633-637.
39. Svihus, B., Hetland, H., Choct, M. & Sundby, F. (2002). Passage rate through the anterior digestive tract of broiler chickens fed on diets with ground and whole wheat. *British Poultry Science*, 43, 662-668.
40. Valencia, G. E. & Roman, M. M. O. (2006). Caracterización fisicoquímica y funcional de tres concentrados comerciales de fibra dietaria. *Vitae Revisita DeLa Facultad De Química Farmaceutica*, 13, 54-60.
41. Van Soest, P. J. (1991). Methods of dietary fiber, neutral detergent fiber and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74, 3583-3597.