

糖化玉米秸秆对 22~42 日龄肉鸡生长性能、养分代谢率、屠宰性能及肉品质的影响

王 平¹ 刘梦洁¹ 常 娟¹ 尹清强^{1*} 刘超齐¹ 党晓伟² 高天增³

(1.河南农业大学牧医工程学院,郑州 450002;2.河南德邻生物制品有限公司,新乡 453000;

3.河南广安生物科技股份有限公司,郑州 450001)

摘 要: 本试验旨在探讨糖化玉米秸秆(SCS)对 22~42 日龄肉鸡生长性能、养分代谢率、屠宰性能及肉品质的影响。选择 22 日龄健康的雌性爱拔益加(AA)肉鸡 200 只,随机分为 4 个组,每组 5 个重复,每个重复 10 只鸡。对照组饲喂基础饲料,试验组分别在基础饲料中添加 4%(I 组)、8%(II 组)和 12%(III 组)的 SCS。试验期 21 d。结果表明:1) I、II 和 III 组肉鸡平均日采食量显著高于对照组($P<0.05$),II 组肉鸡末重和平均日增重显著高于对照组($P<0.05$)。各组之间料重比差异不显著($P>0.05$)。2) 各组之间能量、干物质、粗蛋白质、粗脂肪、钙、磷、中性洗涤纤维和半纤维素代谢率差异不显著($P>0.05$)。II 和 III 组酸性洗涤纤维、纤维素代谢率显著低于对照组($P<0.05$)。3) 各组之间屠宰率、腿肌率和腹脂率差异不显著($P>0.05$)。I、II 和 III 组全净膛率显著高于对照组($P<0.05$),I 组胸肌率显著高于对照组($P<0.05$)。4) I 和 III 组胸肌 45 min pH 显著低于对照组($P<0.05$)。III 组胸肌滴水损失显著低于 I 组($P<0.05$),III 组腿肌滴水损失显著低于其他各组($P<0.05$)。I、II 和 III 组腿肌熟肉率显著低于对照组($P<0.05$)。III 组胸肌剪切力显著高于其他各组($P<0.05$)。I 组胸肌红度(a^*)值显著低于对照组($P<0.05$),III 组腿肌 a^* 值显著低于对照组($P<0.05$)。由此可见,22~42 日龄肉鸡饲料中添加 SCS 能够促进肉鸡生长,提高全净膛率,但对肉品质有一定的影响,表明饲料中添加 4%~12% 的 SCS 替代能量饲料是可行的。

关键词: 糖化玉米秸秆;肉鸡;生长性能;养分代谢率;屠宰性能;肉品质

中图分类号: S831

文献标识码: A

文章编号: 1006-267X(2021)01-0248-09

随着我国饲料工业和畜牧业的迅速发展,饲料资源短缺问题成为限制畜牧业发展的重要因素,加强饲料资源开发显得尤为重要^[1]。农作物秸秆是自然界存在的数量巨大的可再生资源,富含丰富的结构性碳水化合物,通过有效地处理方法将秸秆中的结构性碳水化合物降解成葡萄糖和易消化利用的低分子碳水化合物进而转化成能量饲料,这将有助于解决畜牧生产中饲料短缺的问题。但是由于秸秆中纤维素、半纤维素和木质素

三者之间复杂的链接,使得纤维素和半纤维素的糖化过程要比其他碳水化合物原料困难得多,这是限制秸秆利用的主要原因^[2]。一直以来,积极开发秸秆资源,提高秸秆饲用量和饲用效率,推进秸秆饲料化利用是全国饲料工业发展的主要任务之一。

玉米秸秆直接作为饲料适口性差,难以被单胃动物消化利用,至今未实现在猪、鸡生产中的应用。大量试验证明,玉米秸秆经物理、化学及微生物

收稿日期:2020-06-18

基金项目:国家自然科学基金资助项目(31702148);河南省科技攻关资助项目(182102110062);河南省重大科技专项资助项目(171100110500)

作者简介:王 平(1985—),女,河南商丘人,博士研究生,从事动物营养与饲料生物技术研究。E-mail: wangping850516@163.com

* 通信作者:尹清强,教授,博士生导师,E-mail: qyq1964@126.com

物发酵等预处理和酶解后,纤维素、半纤维素可降解为葡萄糖、木糖、纤维二糖等小分子糖,这些小分子糖更易被动物消化吸收^[3-5]。目前,关于玉米秸秆在肉鸡生产中的应用研究较少,并且所得结果不一。有研究报道,在饲养后期肉鸡饲料中添加10%发酵玉米秸秆粉显著降低了平均日增重,增加了料重比^[6]。另有研究报道,在饲养后期肉鸡饲料中添加8%蒸汽爆破-米曲霉发酵联合处理玉米秸秆替代玉米是有效的^[7]。研究发现,在1~22日龄肉鸡饲料中添加4%糖化玉米秸秆(saccharification corn straw,SCS)是可行的^[8]。由此可见,秸秆饲喂效果主要取决于秸秆的处理方法、肉鸡饲养阶段以及在饲料中的添加量。本试验采用物理-化学联合法预处理玉米秸秆,并通过酶解使预处理玉米秸秆糖化。SCS作为一种新型的饲料原料,其还原糖、粗蛋白质、钙、磷、纤维素和半纤维素含量分别为575.11 mg/g、8.22%、3.30%、0.11%、3.11%和7.86%。因此,本试验通过研究SCS对22~42日龄肉鸡生长性能、养分代谢率、屠宰性能及肉品质的影响,旨在为SCS在饲养后期肉鸡生产中的应用提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 SCS 制备

玉米秸秆经粉碎机(9FQ-420型,郑州千鼎机

械设备有限公司)粉碎后(80%过16目筛),经饲料膨化机(DGP40-I型,邢台裕工科技开发公司)膨化,然后置于超声波中药处理槽(RHTQ-2000w,济宁荣汇超声设备有限公司)中按照液固比13:1加入水,1 000 W、80℃超声波处理30 min;再加入6%(质量分数)氧化钙、2%(质量分数)氢氧化钠,84℃水浴处理6 h;降温至室温加入3%(体积分数)双氧水,处理4 h,风干。将上述预处理秸秆置于发酵罐(BIOGM-301Ts1000L,上海高盟生物工程设备有限公司)酶解,按照液固比10:1,用盐酸和硫酸调pH至4.3,加入纤维素酶32.30 FPU/g(包含木聚糖酶50 U/g),50℃酶解82 h,按照酶解液与玉米(4.5:1.0)和豆粕(3:1)的比例吸附,风干。

1.2 试验动物及试验设计

选择22日龄健康的雌性爱拔益加(AA)肉鸡200只,平均体重(725±8)g,随机分为4个组,每组5个重复,每个重复10只鸡。对照组饲喂基础饲料,试验组分别在基础饲料中添加4%(I组)、8%(II组)和12%(III组)的SCS。试验期21 d。试验饲料营养水平参照NRC(1994)配制,试验饲料组成及营养水平见表1。通过差量法测定得出SCS在肉鸡饲料中添加4%、8%和12%时表观代谢能分别为15.85、15.81和14.38 MJ/kg^[9]。

表1 试验饲料组成及营养水平(风干基础)

Table 1 Composition and nutrient levels of experimental diets (air-dry basis)				%
项目 Items	组别 Groups			
	对照 Control	I	II	III
原料 Ingredients				
玉米 Corn	64.96	61.58	58.28	55.80
豆粕 Soybean meal	27.58	27.20	26.93	27.01
糖化玉米秸秆 SCS		4.00	8.00	12.00
鱼粉 Fish meal	1.00	1.00	1.00	1.00
豆油 Soybean oil	3.00	2.40	1.90	1.70
石粉 Limestone	1.30	0.96	0.56	0.18
磷酸氢钙 CaHPO ₄	1.43	1.38	1.40	1.45
DL-蛋氨酸 DL-Met	0.08	0.09	0.09	0.10
L-赖氨酸 L-Lys		0.01	0.02	0.02
食盐 NaCl	0.35	0.25	0.16	0.06
小麦麸 Wheat bran		0.83	1.36	0.38
预混料 Premix ¹⁾	0.30	0.30	0.30	0.30
总计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00

续表 1

项目 Items	组别 Groups			
	对照 Control	I	II	III
营养水平 Nutrient levels ²⁾				
代谢能(计算值) ME (calculated value)/(MJ/kg)	12.74	12.74	12.74	12.74
代谢能(实测值) ME (measured value)/(MJ/kg)	12.77	12.76	12.76	12.71
粗蛋白质 CP	19.31	19.60	19.60	19.37
脂肪 EE	5.14	2.53	3.44	3.35
钙 Ca	0.97	1.13	0.90	0.90
总磷 TP	0.57	0.59	0.56	0.57
有效磷 AP	0.23	0.24	0.22	0.23
赖氨酸 Lys	1.00	1.00	1.00	1.00
蛋氨酸 Met	0.40	0.40	0.40	0.40
蛋氨酸+半胱氨酸 Met+Cys	0.73	0.73	0.73	0.73
苏氨酸 Thr	0.73	0.74	0.74	0.75
色氨酸 Try	0.24	0.24	0.24	0.24

1) 预混料为每千克饲料提供 The premix provided the following per kg of diets: VA 12 000 IU, VD₃ 3 000 IU, VE 20 IU, VK₃ 1.0 mg, VB₁ 2.0 mg, VB₂ 6 mg, 烟酸 nicotinic acid 35 mg, 胆碱 choline 1.3 g, 泛酸钙 calcium pantothenate 10 mg, VB₆ 3.5 mg, VB₁₂ 0.01 mg, 生物素 biotin 0.15 mg, 叶酸 folic acid 1.25 mg, Cu (as copper sulfate) 8 mg, Fe (as ferrous sulfate) 100 mg, Mn (as manganese sulfate) 80 mg, Zn (as zinc oxide) 60 mg, I (as calcium iodate) 0.45 mg, Se (as sodium selenite) 0.35 mg。

2) 赖氨酸、蛋氨酸、蛋氨酸+半胱氨酸、苏氨酸和色氨酸为计算值,其余为实测值。Lys, Met, Met+Cys, Thr and Try were calculated values, while the others were measured values.

1.3 测定指标及方法

1.3.1 生长性能

每天记录采食量,回收抛洒料;观察肉鸡的健康状况,记录死亡情况。在试验第 21 天 19:00 断料供水,次日 07:00 以重复为单位空腹称重,计算平均日采食量(ADFI)、平均日增重(ADG)、料重比(F/G)和死亡率。

1.3.2 养分代谢率

采用全收粪法,在鸡笼下设粪盘,收集试验第 16~18 天的排泄物,称重。在 60~65 ℃烘干至恒重,自然状态下回潮 24 h,称重记录,粉碎后过 40 目筛备用。饲料和粪样中粗蛋白质含量用凯氏定氮法测定,粗脂肪含量用乙醚浸提法测定,钙含量用乙二胺四乙酸二钠络合滴定法测定,磷含量用钼黄法测定^[10]。饲料和粪中总能测定采用全自动氧弹测热计(IKA-C2000,德国 IKA 公司)。采用 Van Soest 等^[11]滤袋法测定中性洗涤纤维(NDF)、酸性洗涤纤维(ADF)、酸性洗涤木质素(ADL)含量,并计算纤维素和半纤维素含量:

纤维素=ADF-ADL-粗灰分;
半纤维素=NDF-ADF。

1.3.3 屠宰性能

在试验结束时,各组每个重复选取接近平均体重的 1 只鸡,进行屠宰指标的测定。称量宰前活重、屠体重、全净膛重、胸肌重、腿肌重、腹部脂肪重,计算屠宰率、全净膛率、胸肌率、腿肌率、腹脂率。各指标的计算公式如下:

屠宰率(%)=(屠体重/活重)×100;
全净膛率(%)=(全净膛重/活体重)×100;
胸肌率(%)=(胸肌重/全净膛重)×100;
腿肌率(%)=(腿肌重/全净膛重)×100;
腹脂率(%)=(腹脂重/全净膛重)×100。

1.3.4 肉品质

各组每个重复取胸肌和腿肌,进行肉品质的测定。

pH:用直插式 pH 计测定屠宰后胸肌和腿肌 45 min pH(pHi)和 24 h pH(pHu)。

滴水损失:屠宰后胸肌和腿肌各取 2 块,称重(m_1),置于充气的封口袋中,4 ℃吊挂 24 h 后,用滤纸吸干表面水分,再次称重(m_2),计算肉样滴水损失。

滴水损失(%)=100×(m_1-m_2)/ m_1 。

熟肉率:胸肌和腿肌在 4 ℃放置 24 h 熟化后,称重(m_1),随后 100 ℃煮沸 30 min,取出挂于阴凉处 20 min,用滤纸吸干表面水分,称重(m_2),计算肉样熟肉率。

熟肉率(%) = $100 \times m_2 / m_1$ 。

剪切力:将胸肌和腿肌平放于 4 ℃冰箱经 48 h 熟化后取出,在室温下放置 1 h,将温度计插入肌肉中心部位,在 80 ℃水浴中加热至肌肉中心温度达 70 ℃时立即取出,冷却,将肉样沿着肌纤维的方向修剪,胸肌修剪成为 3 cm×2 cm×1 cm 的长条,腿肌修剪成 2.0 cm×1.0 cm×0.5 cm 的长条,在室温条件下,将肉样置于 TMS-Pro 型质构仪上进行剪切,测定剪切力。

肉色:在屠宰后 12 h 内用 WSC-S 色度仪立即测定仪胸肌和腿肌的亮度(L^*)、红度(a^*)和黄度

(b^*)值。
1.4 数据统计与分析
试验数据采用 SPSS 20.0 统计软件进行单因素方差分析,并用 Duncan 氏法进行多重比较, $P<0.05$ 表示差异显著,结果用平均值±标准差表示。

2 结 果

2.1 SCS 对肉鸡生长性能的影响

由表 2 可知,Ⅰ、Ⅱ和Ⅲ组肉鸡 ADFI 显著高于对照组($P<0.05$);随着 SCS 添加量的增加,ADFI 呈增加趋势,以Ⅲ组最高,并显著高于其他各组($P<0.05$)。Ⅱ组肉鸡末重和 ADG 显著高于对照组($P<0.05$),且Ⅰ、Ⅱ和Ⅲ组之间差异不显著($P>0.05$)。各组之间料重比差异不显著($P>0.05$)。

表 2 SCS 对肉鸡生长性能的影响
Table 2 Effects of SCS on growth performance of broilers

项目 Items	组别 Groups			
	对照 Control	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ
初重 Initial weight/g	727.70±12.35	725.40±3.49	723.80±7.64	728.30±10.99
末重 Final weight/g	2 293.56±95.84 ^b	2 361.00±50.41 ^{ab}	2 414.40±94.96 ^a	2 395.80±69.44 ^{ab}
平均日采食量 ADFI/g	145.92±1.39 ^c	151.12±3.31 ^b	154.72±4.04 ^b	160.17±2.84 ^a
平均日增重 ADG/g	74.56±4.52 ^b	77.89±2.31 ^{ab}	80.50±4.30 ^a	79.40±2.83 ^{ab}
料重比 F/G	1.96±0.12	1.94±0.05	1.92±0.06	2.02±0.07

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.

2.2 SCS 对肉鸡养分代谢率的影响

由表 3 可知,各组之间能量、干物质、粗蛋白质、粗脂肪、钙、磷、NDF 和半纤维素代谢率差异不显著($P>0.05$)。Ⅱ和Ⅲ组 ADF、纤维素代谢率显著低于对照组($P<0.05$),Ⅰ组 ADF、纤维素代谢率与其他各组差异不显著($P>0.05$)。

2.3 SCS 对肉鸡屠宰性能的影响

由表 4 可知,各组之间屠宰率、腿肌率和腹脂率差异不显著($P>0.05$)。Ⅰ、Ⅱ和Ⅲ组全净膛率显著高于对照组($P<0.05$),且Ⅰ、Ⅱ和Ⅲ组之间差异不显著($P>0.05$)。Ⅰ组胸肌率显著高于对照组、Ⅲ组($P<0.05$);Ⅱ组胸肌率与其他各组差异不显著($P>0.05$)。

2.4 SCS 对肉鸡肉品质的影响

由表 5 可知,Ⅰ和Ⅲ组胸肌 pH_i 显著低于对照组($P<0.05$),Ⅰ、Ⅱ和Ⅲ组之间胸肌 pH_i 差异不显

著($P>0.05$);各组之间胸肌 pH_u 及腿肌 pH_i、pH_u 差异不显著($P>0.05$)。Ⅲ组胸肌滴水损失显著低于Ⅰ组($P<0.05$),对照组与Ⅰ、Ⅱ和Ⅲ组差异不显著($P>0.05$)。Ⅲ组腿肌滴水损失显著低于其他各组($P<0.05$)。各组之间胸肌熟肉率差异不显著($P>0.05$);Ⅰ、Ⅱ和Ⅲ组腿肌熟肉率显著低于对照组($P<0.05$)。Ⅲ组胸肌剪切力显著高于其他各组($P<0.05$),其他各组之间差异不显著($P>0.05$);腿肌剪切力随着 SCS 添加量的增加逐渐增加,各组之间差异不显著($P>0.05$)。各组之间胸肌和腿肌的 L^* 和 b^* 值差异均不显著($P>0.05$);Ⅰ组胸肌 a^* 值显著低于对照组($P<0.05$),Ⅰ、Ⅱ和Ⅲ组之间差异不显著($P>0.05$);Ⅲ组腿肌 a^* 值显著低于对照组($P<0.05$),其他各组之间差异不显著($P>0.05$)。

表 3 SCS 对肉鸡养分代谢率的影响
Table 3 Effects of SCS on nutrient metabolic rates of broilers %

项目 Items	组别 Groups			
	对照 Control	I	II	III
能量 Energy	76.19±1.80	76.24±2.45	75.48±0.94	74.82±1.14
干物质 DM	70.95±1.39	71.67±2.92	71.03±0.95	70.54±1.01
粗蛋白质 CP	52.72±2.02	56.26±4.97	53.24±3.51	52.92±2.29
粗脂肪 EE	76.68±2.53	73.62±4.38	75.03±2.08	77.71±1.73
钙 Ca	33.08±2.71	32.32±4.91	29.97±3.90	33.72±3.14
磷 P	39.93±2.15	41.08±6.21	38.66±4.32	41.17±2.34
中性洗涤纤维 NDF	74.77±1.43	72.89±2.76	74.73±1.13	73.01±0.89
酸性洗涤纤维 ADF	32.23±3.06 ^a	26.48±8.02 ^{ab}	20.27±2.47 ^b	20.44±5.29 ^b
半纤维素 Hemicellulose	81.70±1.13	83.59±2.31	82.54±0.97	81.06±0.46
纤维素 Cellulose	18.87±3.66 ^a	17.28±6.84 ^{ab}	10.35±3.49 ^b	11.05±4.97 ^b

表 4 SCS 对肉鸡屠宰性能影响
Table 4 Effects of SCS on slaughter performance of broilers %

项目 Items	组别 Groups			
	对照 Control	I	II	III
屠宰率 Dressing percentage	93.23±0.39	93.51±0.52	93.52±1.26	92.98±1.03
全净膛率 Eviscerated percentage	72.95±0.50 ^b	74.83±0.86 ^a	74.69±0.68 ^a	74.01±0.99 ^a
胸肌率 Breast muscle percentage	28.48±1.91 ^b	30.88±1.43 ^a	29.30±1.33 ^{ab}	27.92±1.15 ^b
腿肌率 Leg muscle percentage	21.66±1.58	21.85±0.86	21.36±0.89	22.35±0.67
腹脂率 Abdominal fat percentage	1.11±0.49	1.26±0.35	1.29±0.39	1.18±0.13

表 5 SCS 对肉鸡肉品质的影响
Table 5 Effects of SCS on meat quality of broilers

项目		组别 Groups			
Items		对照 Control	I	II	III
胸肌 Breast muscle	pHi	6.85±0.21 ^a	6.55±0.26 ^b	6.64±0.08 ^{ab}	6.56±0.14 ^b
	pHu	6.17±0.13	6.15±0.06	6.18±0.15	6.15±0.13
	滴水损失 Drip loss/%	8.14±3.01 ^{ab}	9.55±1.50 ^a	7.09±2.27 ^{ab}	5.87±0.62 ^b
	熟肉率 Cooked meat rate/%	57.67±5.01	59.83±4.38	59.83±1.06	57.59±2.48
	剪切力 Shear force/N	19.71±5.98 ^b	19.21±1.99 ^b	24.60±3.13 ^b	31.99±6.14 ^a
	亮度 L [*]	51.88±4.15	54.89±1.26	53.89±3.53	54.55±0.50
	红度 a [*]	3.51±1.34 ^a	1.76±0.13 ^b	2.19±0.79 ^{ab}	2.80±0.12 ^{ab}
	黄度 b [*]	11.72±1.33	11.77±1.09	12.36±1.20	12.15±1.61
	pHi	6.80±0.19	6.67±0.07	6.67±0.07	6.76±0.08
	pHu	6.55±0.07	6.55±0.10	06.58±0.11	6.51±0.09
腿肌 Leg muscle	滴水损失 Drip loss/%	3.77±0.65 ^a	4.25±0.38 ^a	4.21±1.36 ^a	2.26±0.43 ^b
	熟肉率 Cooked meat rate/%	61.84±2.93 ^a	57.80±1.47 ^b	57.41±2.18 ^b	55.80±1.85 ^b
	剪切力 Shear force/N	11.25±3.42	12.25±3.54	13.77±2.91	14.54±4.78
	亮度 L [*]	52.21±4.08	52.87±1.50	52.59±2.75	54.60±2.39
	红度 a [*]	6.58±1.57 ^a	5.21±1.80 ^{ab}	6.47±0.58 ^a	3.81±0.94 ^b
	黄度 b [*]	10.61±0.69	9.64±0.09	11.11±0.67	9.72±0.96

3 讨 论

3.1 SCS 对肉鸡生长性能的影响

采食量是动物维持需要和生产的重要指标。本试验结果显示,随着 SCS 添加量的增加,ADFI 呈增加趋势,以Ⅲ组 ADFI 最高。分析原因为玉米秸秆经过物理(挤压膨化和超声波)、化学(氧化钙、氢氧化钠和过氧化氢)及酶解联合处理后,使玉米秸秆的物理性状发生变化^[4]。SCS 体积小、容重大,易溶于水,相同重量的饲料中 SCS 添加量越多容积就越小,重量越大这种空间的差别就越显著;同时由于在肉鸡后期饲养中采食量逐渐增大,特别在 35 日龄以后采食量达 250 g/d 左右,在同样采食量条件下,添加 SCS 组空间饱感降低,以至于随着 SCS 添加量的增加,肉鸡通过增加采食量来增加饱感。Ⅰ、Ⅱ和Ⅲ组 ADG 均高于对照组,料重比与对照组差异不显著,Ⅰ、Ⅱ和Ⅲ组之间 ADG 和料重比差异不显著。Ⅲ组料重比略高于Ⅰ和Ⅱ组,其原因为饲料代谢能较Ⅰ和Ⅱ组低。陈秀为等^[12]报道,在肉鸡后期饲喂用复合菌发酵的秸秆粉代替 10% 的混合饲料,ADG 显著降低。郭乐乐^[6]研究表明,添加 10% 发酵玉米秸秆粉于饲养后期鸡全价料中,会显著降低 ADG 和饲料效率。王平等^[8]研究表明,在肉鸡饲料中添加 4% 的 SCS 是可行的。常娟^[7]报道在饲养后期肉鸡饲料中添加 8% 蒸汽爆破-米曲霉发酵联合处理玉米秸秆替代玉米是有效的。本研究是国内外首次报道将 SCS 以大于 10% 的添加量加到肉鸡饲料中来减少玉米和豆油的添加量,结果表明其可提高肉鸡生长性能。

3.2 SCS 对肉鸡养分代谢率的影响

养分代谢率与饲料的营养价值密切相关。研究表明,高纤维饲料可降低单胃动物养分代谢率^[13-14]。张晓谦^[15]研究表明,在体外模拟消化试验中,添加 8% 秸秆生物饲料代替玉米,可显著提高钙、磷代谢率,对粗蛋白质和粗脂肪代谢率没有显著影响。本研究显示,饲料中添加 4%、8% 和 12% 的 SCS 对干物质、能量、粗蛋白质、粗脂肪、钙、磷、NDF 和半纤维素代谢率无显著影响。前人大量研究证明高纤维素秸秆能够降低粗蛋白质、粗脂肪、钙、磷等代谢率^[16-17]。这说明玉米秸秆经过本方法处理后高结晶度和聚合度的纤维素被分解成小分子的还原糖和少量低结晶度和聚合度的

纤维素,降低了对动物养分消化吸收的负面影响。本试验结果显示,Ⅱ和Ⅲ组 ADF 和纤维素代谢率显著低于对照组,其原因是 SCS 中仍含有 7.86% 的纤维素^[8],并且这 2 组的肉鸡采食量较大,饲料中秸秆纤维素含量相对较高,食进的秸秆纤维素超出了机体的消化和代谢能力。

3.3 SCS 对肉鸡屠宰性能的影响

饲养肉鸡的目的是为了获得更多的可食用肉质^[18],屠宰性能反映养分在动物组织中的沉积^[19]。屠宰率和全净膛率是衡量肉鸡产肉性能的主要指标,屠宰率>80%、全净膛率>60% 认为是家禽产肉性能良好^[20]。本试验结果显示,各组屠宰率>92%、全净膛率>73%,表明肉鸡产肉性能良好。Shirzadegan 等^[21]研究显示,饲料中添加不溶性纤维对肉鸡的屠宰性能没有显著影响。蔺淑琴等^[22]研究表明,高营养水平的饲料可以增加半净膛和胸肌的重量。Mandey 等^[23]提出,饲料能量水平不同,对肉鸡屠宰性能的影响不同;当饲料能量水平较低时,会降低肉鸡屠宰性能。本试验结果显示,饲料中添加 4%、8%、12% 的 SCS 显著提高了全净膛率,但屠宰率、腿肌率和腹脂率无显著变化,这表明在饲料中添加 4%、8%、12% 的 SCS 不会降低养分在动物组织中沉积。

3.4 SCS 对肉鸡肉品质的影响

肉品质是评定饲料营养和食品加工的重要指标。肌肉的 pH_i 和 pH_u 的下降速度可以衡量肉质的优劣。刚屠宰肉鸡的肌肉 pH 在 6~7,随后由于糖酵解 pH 下降至 5.4~5.6,后缓缓回升^[24]。本试验结果显示,各组之间胸肌 pH_u 和腿肌 pH_i、pH_u 差异均不显著;Ⅰ和Ⅱ组胸肌 pH_i 显著低于对照组,但该值也在正常的 pH 范围内(6~7)。这表明饲料中添加 SCS 对肉鸡的肌肉 pH 无影响。

肌肉系水力表示肌肉组织保持水分的能力,多采用失水率、滴水损失和熟肉率等指标评定^[25]。滴水损失和熟肉率不仅直接影响肉的多汁性、营养和嫩度等食用品质,还具有重要的经济意义。Allen 等^[26]研究表明,肉样滴水损失和烹煮损失越低,则系水力越高。本试验结果显示,饲料中添加 12% 的 SCS 显著降低腿肌滴水损失;饲料中添加 SCS 对胸肌熟肉率无影响,但显著降低了腿肌熟肉率。这表明在饲料中添加 SCS 可增加肉质系水力,降低腿肌熟肉率。其原因可能与 SCS 中钠离子(Na⁺)、钙离子(Ca²⁺)、氯离子(Cl⁻)替代饲

粮中部分石粉和食盐,改变了机体的离子代谢有关。

肌肉剪切力是嫩度的主观评定。传统饮食观念认为剪切力越小,肉质就越鲜嫩,肉品质就越好。目前,随着传统观念的改变以及快大型肉鸡的选育,鸡肉嫩度已不再是当前人们追求的质量,鲜嫩多汁有嚼劲是人们所渴望的。本研究显示,饲料中添加 SCS 能够提高胸肌和腿肌的剪切力,其中饲料中添加 12% 的 SCS 可显著提高胸肌的剪切力,表明 SCS 能增加肌肉剪切力,增加肌肉嚼劲。

肉色与食用品质无直接关系,它是动物的生理状态、肉质内部生物化学变化的一种外部表现,主要由肌红蛋白决定。肌红蛋白与氧发生氧合反应,使肌肉呈鲜红色^[27],是消费者偏爱的色泽。本试验结果显示,饲料中添加 4%、8% 和 12% 的 SCS 对胸肌和腿肌 L* 和 b* 值无显著影响,饲料中添加 4% 的 SCS 显著降低了胸肌 a* 值,饲料中添加 12% 的 SCS 显著降低了腿肌 a* 值。这说明 SCS 影响了肌肉中肌红蛋白的氧化,具体机理有待探究。

4 结 论

21~42 日龄肉鸡饲料中添加 SCS 能够促进肉鸡生长,提高全净膛率;对干物质、能量、粗蛋白质、粗脂肪、钙、磷的代谢率没有显著影响;降低胸肌和腿肌 a* 值,降低腿肌熟肉率和滴水损失。这表明在 22~42 日龄肉鸡饲料中添加 4%~12% 的 SCS 在促进肉鸡生长方面是可行的,但对肉品质有一定的影响。

参考文献:

- [1] MAKKAR H P S. Review: Feed demand landscape and implications of food-not feed strategy for food security and climate change[J]. *Animal: An International Journal of Animal Bioscience*, 2017, 12 (08): 1744-1754.
- [2] DOHERTY W O S, MOUSAVIOUN P, FELLOWS C M. Value-adding to cellulosic ethanol: Lignin polymers [J]. *Industrial Crops and Products*, 2010, 33 (2): 259-276.
- [3] GUO H W, CHANG J, YIN Q Q, et al. Effect of the combined physical and chemical treatments with microbial fermentation on corn straw degradation [J]. *Bioresource Technology*, 2013, 148: 361-365.
- [4] WANG P, LIU C Q, CHANG J, et al. Effect of physicochemical pretreatments plus enzymatic hydrolysis on the composition and morphologic structure of corn straw [J]. *Renewable Energy*, 2019, 138: 502-508.
- [5] LIU J P, LIU B Q, ZHAN L Y, et al. Solid-state fermentation of ammoniated corn straw to animal feed by *pleurotus ostreatus* PL-5 [J]. *BioResources*, 2017, 12 (1): 1723-1736.
- [6] 郭乐乐. 发酵玉米秸秆营养成分分析及其对鸡饲喂效果的研究 [D]. 硕士学位论文. 保定: 河北农业大学, 2013: 1-29.
- GUO L L. Analysis of fermented corn stalks nutrients and study effects of its chicks feeding [D]. Master's Thesis. Baoding: Hebei Agricultural University, 2013: 1-29. (in Chinese)
- [7] 常娟. 高效玉米秸秆生物饲料的研制及其在肉鸡生产中的应用研究 [D]. 博士学位论文. 郑州: 河南农业大学, 2011: 57-79.
- CHANG J. Study on high-efficient biological corn stalk feed and its application in broiler production [D]. Ph.D. Thesis. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2011: 57-79. (in Chinese)
- [8] 王平, 常娟, 刘超齐, 等. 糖化玉米秸秆对肉仔鸡生长性能、养分代谢率、器官指数、血清指标及肠道菌群的影响 [J]. *动物营养学报*, 2019, 31 (8): 3843-3852.
- WANG P, CHANG J, LIU C Q, et al. Effects of saccharified corn straw on growth performance, nutrient metabolic rates, organ indices, serum indices and intestinal microflora of broilers [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2019, 31 (8): 3843-3852. (in Chinese)
- [9] 王平, 刘梦洁, 常娟, 等. 不同处理玉米秸秆营养成分及其肉鸡表现代谢能评定 [J]. *中国畜牧杂志*, 2019, 55 (8): 85-90.
- WANG P, LIU M J, CHANG J, et al. Evaluation of nutrient components and apparent metabolizable energy of different treated corn straw for broilers [J]. *Chinese Journal of Animal Science*, 2019, 55 (8): 85-90. (in Chinese)
- [10] 张丽英. 饲料分析及饲料质量检测技术 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2007: 49-75.
- ZHANG L Y. Feed analysis and quality test technology [M]. Beijing: China Agricultural University Press, 2007: 49-75. (in Chinese)
- [11] VAN SOEST P J, ROVERTSON J B, LEWIS B A.

- Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition [J]. *Journal of Dairy Science*, 1991, 74:3583-3597.
- [12] 陈秀为, 张克强, 周可, 等. 一组复合菌发酵秸秆的理化效应及饲喂效果 [J]. *农业环境科学学报*, 2004, 23(2):345-347.
- CHEN X W, ZHANG K Q, ZHOU K, et al. The physico-chemical characters and feeding effect of fermented straw by a composite fungi system [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2004, 23(2):345-347. (in Chinese)
- [13] 植石全, 蓝文康, 郑力维, 等. 统糠和大豆皮对 47~67 日龄马岗鹅生长性能、养分代谢率及肠道消化酶活性的影响 [J]. *动物营养学报*, 2019, 31(1):167-174.
- ZHI S Q, LAN W K, ZHENG L W, et al. Effects of unite bran and soybean hulls on growth performance, nutrient metabolic rates and intestinal digestive enzyme activities of *Magang* geese aged from 47 to 67 days [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2019, 31(01):167-174. (in Chinese)
- [14] DEVINDER D, MONA M, HRADESH R, et al. Dietary fibre in foods; a review [J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2012, 49(3):255-266.
- [15] 张晓谦. 一种新型秸秆生物饲料的制备 [D]. 硕士学位论文. 长春: 吉林农业大学, 2014:33-38.
- ZHANG X Q. Preparation of a new type of straw biological feed [D]. Master's Thesis. Changchun: Jilin Agricultural University, 2014:33-38. (in Chinese)
- [16] EHLE F R, JERACI J L, ROBERTSON J B, et al. The influence of dietary fiber on digestibility, rate of passage and gastrointestinal fermentation in pigs [J]. *Journal of Animal Science*. 1982, 55(5):1071-1706.
- [17] SNTISTS C H M. Viscosity of dietary fibre in relation to lipid digestibility in broiler chickens [D]. Ph. D. Thesis. Netherlands: Wageningen Agricultural University. 1996.
- [18] KARAOGLU M, DURDAG H. The Influence of dietary probiotic (*Saccharomyces cerevisiae*) supplementation and different slaughter age on the performance, slaughter and carcass properties of broilers [J]. *International Journal of Poultry Science*, 2005, 4(5):309-316.
- [19] NIU Y, WAN X L, ZHANG X H, et al. Effect of supplemental fermented ginkgo biloba leaves at different levels on growth performance, meat quality, and antioxidant status of breast and thigh muscles in broiler chickens [J]. *Poultry Science*, 2017, 96(4):869-877.
- [20] 张红, 张军, 万建洪, 等. 溧阳鸡屠宰性能研究 [J]. *中国家禽*, 2004, 26(19):31-32.
- ZHANG H, ZHANG J, WAN J H, et al. Study on slaughter performance of *Liyang* chicken [J]. *China Poultry*, 2004, 26(19):31-32. (in Chinese)
- [21] SHIRZADEGAN K, TAHERI H. Insoluble fibers affected the performance, carcass characteristics and serum lipid of broiler chickens fed wheat-based diet [J]. *Iranian Journal of Applied Animal Science*, 2017, 7(1):109-117.
- [22] 蔺淑琴, 李金录, 史兆国, 等. 日粮不同营养水平对黄羽肉鸡屠宰性能及肉品质的影响 [J]. *中国畜牧兽医*, 2008, 35(8):9-13.
- LIN S Q, LI J L, SHI Z G, et al. Effects of dietary nutrient level on slaughter performance and partial meat quality indices of yellow-feathered broiler [J]. *China Animal Husbandry & Veterinary Medicine*, 2008, 35(8):9-13. (in Chinese)
- [23] MANDEY J, KOWEL Y, REGAR M, et al. Effect of different level of energy and crude fiber from sawdust in diets on carcass quality of broiler [J]. *Journal of Indonesian Tropical Animal Agriculture*, 2017, 42(4):240-246.
- [24] 章薇, 钱坤, 许月英, 等. 饲料营养对母鸡屠宰性能与鸡肉品质的影响 [J]. *粮食与饲料工业*, 2014, 4:57-61.
- ZHANG W, QIAN K, XU Y Y, et al. Effects of feedstuff nutrition on slaughter performance and meat quality of hen [J]. *Cereal & Feed Industry*, 2014, 4:57-61. (in Chinese)
- [25] 周磊. 不同品种畜禽肉品质参数的比较研究 [D]. 硕士学位论文. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2007:8-9.
- ZHOU L. The comparison study of meat quality parameter on different domestic livestock and poultry breeds [D]. Master's Thesis. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2007:8-9. (in Chinese)
- [26] ALLEN C D, FLETCHER D L, NORTH CUTT J K, et al. The relationship of broiler breast color to meat quality and shelf-life [J]. *Poultry Science*, 1998, 77(2):361-366.
- [27] 程志斌, 苏子峰, 廖启顺, 等. 肌红蛋白影响畜禽活体肌肉和宰后鲜肉肉色的研究进展 [J]. *中国畜牧杂志*, 2009, 45(21):56-59.
- CHENG Z B, SU Z F, LIAO Q S, et al. Advances in the influence of myoglobin chemistry on livestock or poultry muscle and fresh meat color [J]. *Chinese Journal of Animal Science*, 2009, 45(21):56-59. (in Chinese)

Effects of Saccharified Corn Straw on Growth Performance, Nutrient Metabolic Rates, Slaughter Performance and Meat Quality of Broilers Aged from 22 to 42 Days

WANG Ping¹ LIU Mengjie¹ CHANG Juan¹ YIN Qingqiang^{1*} LIU Chaoqi¹

DANG Xiaowei² GAO Tianzeng³

(1. College of Animal Science and Veterinary Medicine, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China;

2. Henan Delin Biological Products Co., Ltd., Xinxiang 453000, China; 3. Henan Guangan Biotechnological

Co., Ltd., Zhengzhou 450001, China)

Abstract: The purpose of this study was to investigate the effects of saccharified corn straw (SCS) on growth performance, nutrient metabolic rates, slaughter performance and meat quality of broilers aged from 22 to 42 days. A total of 200 healthy 22-day-old female Arbor Acres (AA) broilers were randomly divided into 4 groups with 5 replicates per group and 10 broilers per replicate. Broilers in the control group were fed a basal diet, and others in experimental groups were fed basal diets supplemented with 4% (group I), 8% (group II) and 12% (group III) SCS, respectively. The experiment lasted for 21 days. The results showed as follows: 1) the average daily feed intake of groups I, II and III was significantly higher than that of the control group ($P<0.05$), and the final weight and average body gain of group II were significantly higher than those of the control group ($P<0.05$). There was no significant difference in feed to gain ratio among all groups ($P>0.05$). 2) There were no significant differences in metabolic rates of energy, dry matter, crude protein, ether extract, calcium, phosphorus, neutral detergent fiber and hemicellulose among all groups ($P>0.05$). The metabolic rates of acid detergent fiber and cellulose of groups II and III were significantly lower than those of the control group ($P<0.05$). 3) There were no significant differences in dressing percentage, leg muscle percentage and abdominal fat percentage among all groups ($P>0.05$). The eviscerated percentage of groups I, II and III was significantly higher than that of the control group ($P<0.05$), and the breast muscle percentage of group I was significantly higher than that of the control group ($P<0.05$). 4) The 45 min pH in breast muscle of groups I and III was significantly lower than that of the control group ($P<0.05$). The drip loss in breast muscle of group III was significantly lower than that of group I ($P<0.05$), and the drip loss in leg muscle of group III was significantly lower than that of other groups ($P<0.05$). The cooked meat rate in leg muscle of groups I, II and III was significantly lower than that of the control group ($P<0.05$). The shear force in breast muscle of group III was significantly higher than that of other groups ($P<0.05$). The redness (a^*) value in breast muscle of group I was significantly lower than that of the control group ($P<0.05$), and the a^* value in leg muscle of group III was significantly lower than that of the control group ($P<0.05$). In conclusion, dietary SCS supplementation of broilers aged from 22 to 42 days can improve the growth of broilers, increase the eviscerated percentage, but has a certain effect on meat quality, it is indicated that dietary supplementation of 4% to 12% SCS replace energy feed is feasible. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2021, 33(1):248-256]

Key words: saccharified corn straw; broilers; growth performance; nutrient metabolic rates; slaughter performance; meat quality

* Corresponding author, professor, E-mail: qqy1964@126.com

(责任编辑 武海龙)