

发酵菜籽粕替代豆粕饲喂生长猪对其生长性能、血清生化指标、抗氧化能力和免疫功能的影响

孙佩佩¹ 周晓容^{2*} 宋代军^{1*} 刘作华² 刘志云² 钟晓霞²

(1. 西南大学动物科技学院, 重庆 400715; 2. 重庆市畜牧科学院, 重庆 402460)

摘要: 本试验旨在研究不同比例发酵菜籽粕(FRSM)替代豆粕饲喂生长猪对其生长性能、血清生化指标、抗氧化能力和免疫功能的影响。选择同一批次、体重为(42.35±1.65) kg的健康“杜×长×大”生长猪96头,随机分成4组,每组6个重复,每个重复4头。I组饲喂玉米-豆粕型基础饲料,II组饲喂含8.4%菜籽粕(RSM)的等氮替代饲料,III组饲喂含12% FRSM的等氮替代饲料,IV组饲喂含16% FRSM的等氮替代饲料。试验期7周。结果表明:1) 各组的平均日增重、平均日采食量和料重比差异不显著($P>0.05$),但III、IV组优于II组。2) 各组血清中葡萄糖、总蛋白和尿素氮的含量差异不显著($P>0.05$); III、IV组血清中总胆固醇的含量显著低于I、II组($P<0.05$); II组血清中三碘甲状腺原氨酸(T_3)、甲状腺素(T_4)的含量最高,并且 T_3 的含量极显著高于其他3组($P<0.01$), T_4 的含量显著高于IV组($P<0.05$),其余各组间差异不显著($P>0.05$)。3) 各组血清中谷胱甘肽过氧化物酶活性和总抗氧化能力差异不显著($P>0.05$); III组血清中超氧化物歧化酶活性极显著高于I、II组($P<0.01$),丙二醛含量显著低于I、II组($P<0.05$),III、IV组间差异不显著($P>0.05$)。4) 各组血清中免疫球蛋白(Ig) A、IgG、IgM的含量均差异不显著($P>0.05$); III组血清中肿瘤坏死因子- α 的含量显著高于IV组($P<0.05$),其余各组间差异不显著($P>0.05$)。综上所述,添加FRSM可在一定程度上改善生长猪的生长性能,降低血清中 T_3 、 T_4 和总胆固醇的含量,提高抗氧化能力,同时对免疫功能没有负面影响,并且提高了RSM在生长猪饲料中的添加量,使FRSM用量提高到16%,即RSM用量提高到11.2%。

关键词: 生长猪; 发酵菜籽粕; 生长性能; 血清生化指标; 抗氧化能力; 免疫功能

中图分类号: S828

文献标识码: A

文章编号: 1006-267X(2019)02-0874-09

菜籽粕(rapeseed meal, RSM)是世界第二大产量的蛋白质饼粕,2017年全球产量为4 051万t^[1],我国年产量约700万t^[2]。RSM含有34%~38%的粗蛋白质,且必需氨基酸平衡良好^[3],与大豆蛋白质以及联合国粮农组织(FAO)和世界卫生组织(WHO)的推荐值非常接近^[4]。目前,RSM价格仅为豆粕的60%左右,用RSM替代一部分豆粕,不但可以缓解豆粕资源紧缺,还可以降低饲料成本。但RSM含有硫代葡萄糖苷

(glucosinolate, GS)、单宁、植酸等抗营养因子,会影响饲料的适口性,降低采食量和营养物质利用率,特别是GS的降解产物异硫氰酸酯、噻唑烷硫酮等会损害肝脏和肾脏功能,并干扰碘的可用性,引起甲状腺功能紊乱^[5-6],因而限制了其在畜禽饲料中的使用。研究表明微生物固态发酵技术不仅可以有效减少RSM中GS、单宁、植酸等抗营养因子,而且可以提高饲料中粗蛋白质的含量,使其氨基酸组成更加合理,并产生小分子质量的肽类物

收稿日期: 2018-07-13

基金项目: 重庆市农发基金项目(15401); 现代农业产业技术体系建设专项资金(CARS-35); 农业部饲料资源开发与利用创新团队(16202)

作者简介: 孙佩佩(1992—),女,陕西延安人,硕士研究生,专业为动物营养与饲料科学。E-mail: 1510465858@qq.com

* 通信作者: 周晓容,研究员,硕士生导师, E-mail: zhouxiaorong429@163.com; 宋代军,副教授,硕士生导师, E-mail: djsong@swu.edu.cn

质和益生菌,改善适口性,提高营养物质消化率,同时提高抗氧化能力和免疫功能^[7-9]。但目前发酵菜籽粕(FRSM)在猪上的添加量较低,其饲用价值并没有充分体现出来,还有待进一步深入研究。吴东等^[10]用FRSM等营养替代4%豆粕饲喂生长猪,其生长性能与对照组差异不显著,而用FRSM等营养替代8%豆粕饲喂生长猪,其平均日增重(ADG)显著降低,料重比(F/G)显著增加。丁小玲^[11]研究结果表明,用FRSM等氮替代饲料中豆粕,生长猪饲料中FRSM应不超过8%,育肥猪饲料中FRSM应不超过10%。因此,本研究旨在考察不同比例FRSM替代豆粕饲喂生长猪对其生长性能、血清生化指标、抗氧化能力和免疫功能的影响,以期为提高生长猪饲料中RSM用量提供科学依据。

1 材料与amp;方法

1.1 试验材料

RSM: 购自御康农业科技有限公司。FRSM: 将RSM与麦麸按7:3的比例混合,然后接种10%的微生物混合菌液(菌液活菌数 $\geq 1 \times 10^9$ CFU/mL),加1%红糖,料水比1.0:1.2。将上述物质混合均匀后,装至发酵桶密封,厌氧发酵72 h以上,得到FRSM。发酵菌种: 短乳杆菌

(*Lactobacillus brevis*)和短小芽孢杆菌(*Bacillus pumilus*)均为本实验室保藏菌种,菌种比例为1:2。FRSM相比于RSM其pH下降了1.68,营养物质粗蛋白质、水溶性蛋白、酸溶性蛋白和粗脂肪的含量与RSM相比分别提高了1.91%、52.88%、44.40%和24.27%;抗营养因子中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维的含量分别降低了5.21%、0.38%,异硫氰酸酯降解率达到91.92%,噁唑烷硫酮降解率达到100.00%。RSM发酵前后营养物质和抗营养因子含量变化见表1。

1.2 试验设计及饲料

选择同一批次、体重为(42.35 \pm 1.65) kg的健康“杜 \times 长 \times 大”生长猪96头,随机分成4组,每组6个重复,每个重复4头,每重复为1圈。I组饲喂玉米-豆粕型基础饲料,II组饲喂含8.4% RSM的等氮替代饲料,III组饲喂含12% FRSM的等氮替代饲料(本研究FRSM由RSM与麦麸按7:3的比例混合发酵,RSM的实际含量为12% \times 70%,即8.4% FRSM),IV组饲喂含16% FRSM的等氮替代饲料(同III组,RSM的实际含量为16% \times 70%,即11.2% FRSM)。试验饲料参照NRC(2012)生长猪营养需要,按等能等氮的原则配制,其组成及营养水平见表2。

表1 菜籽粕发酵前后营养物质和抗营养因子含量和降解率变化(干物质基础)

Table 1 Content and degradation rate changes of nutrients and anti-nutritional factors in rapeseed meal and fermented rapeseed meal (DM basis) %

项目 Items	菜籽粕 RSM	发酵菜籽粕 FRSM
pH	5.60	3.92
干物质 DM	100.00	100.00
粗蛋白质 CP	36.16	36.85
水溶性蛋白 WSP	3.12	4.77
酸溶性蛋白 ASP	2.68	3.87
粗脂肪 EE	1.03	1.28
中性洗涤纤维 NDF	44.69	42.36
酸性洗涤纤维 ADF	31.42	31.30
噁唑烷硫酮降解率 OZT degradation rate	—	100.00
异硫氰酸酯降解率 ITC degradation rate	—	91.92

1.3 饲养管理

动物试验在重庆市畜牧科学院双河实验基地进行,采用常规饲养管理,严格执行消毒制度。试验期间,试验猪自由采食、自由饮水,试验期7周。

1.4 样品采集与测定指标

1.4.1 生长性能的测定

试验猪在试验开始和结束时分别于早晨空腹称重,试验期间记录每个重复的饲料消耗,计算平均日采食量(ADFI)、ADG和F/G。

表 2 试验饲料组成及营养水平(88%干物质基础)
Table 2 Composition and nutrient levels of experimental diets (88% DM basis)

%

项目 Items	组别 Groups			
	I	II	III	IV
原料 Ingredients				
玉米 Corn	70.95	69.94	67.08	68.45
小麦麸 Wheat bran	5.00	4.00	3.00	
豆粕 Soybean meal	20.74	13.94	13.43	11.13
发酵菜籽粕 Fermented rapeseed meal			12.00	16.00
菜籽粕 Rapeseed meal		8.40		
植物油 Vegetable oil		0.50	1.20	1.10
石粉 Limestone	0.50	0.45	0.50	0.50
磷酸氢钙 CaHPO ₄	1.20	1.09	1.00	0.97
L-赖氨酸盐酸盐 L-Lys·HCl	0.41	0.50	0.53	0.57
DL-蛋氨酸 DL-Met	0.13	0.10	0.17	0.19
L-苏氨酸 L-Thr	0.07	0.08	0.09	0.09
预混料 Premix ¹⁾	1.00	1.00	1.00	1.00
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels ²⁾				
消化能 DE/(MJ/kg)	13.77	13.77	13.77	13.77
粗蛋白质 CP	16.93	16.14	16.54	15.75
粗纤维 CF	3.42	3.93	4.24	3.76
钙 Ca	0.68	0.68	0.70	0.71
总磷 TP	0.51	0.55	0.54	0.51
粗脂肪 EE	2.63	3.00	3.37	3.39
赖氨酸 Lys	1.08	1.08	1.08	1.08
蛋氨酸+半胱氨酸 Met+Cys	0.63	0.63	0.63	0.63
苏氨酸 Thr	0.70	0.70	0.70	0.70

¹⁾ 预混料为每千克饲料提供 The premix provided the following per kg of diets: Fe 80 mg ,Cu 10 mg ,Zn 80 mg ,Mn 30 mg , I 0.30 mg ,Se 0.30 mg ,VA 10 500 IU ,VD₃ 2 400 IU ,VE 15 mg ,VK₃ 1.35 mg ,VB₁ 1.2 mg ,VB₂ 4.5 mg ,VB₆ 1.8 mg ,VB₁₂ 0.015 mg ,烟酰胺 nicotinamide 21 mg ,泛酸钙 calcium pantothenate 10.5 mg ,生物素 biotin 0.03 mg ,叶酸 folic acid 0.6 mg。

²⁾ 消化能、赖氨酸、蛋氨酸+半胱氨酸和苏氨酸为计算值,其余营养水平为实测值。DE, Lys, Met+Cys and Thr were calculated values, while the other nutrient levels were measured values.

1.4.2 血清生化指标的测定

试验结束空腹称重后,以各组别每个重复为单位,每组选取6头猪进行前腔静脉采血。血样经3 500 r/min离心10 min,分离所得血清分装于Eppendorf管中,置于-20℃冷冻保存,待测。

血清葡萄糖(GLU)、总胆固醇(T-CHOL)、总蛋白(TP)、尿氮(UN)、甲状腺素(T₄)和三碘甲状腺原氨酸(T₃)含量由重庆市荣昌县永荣医院协助检测,试剂盒购自南京建成生物工程研究所,测定仪器为Glamour 2000全自动生化分析仪。

1.4.3 抗氧化能力指标的测定

血清超氧化物歧化酶(SOD)活性用黄嘌呤氧化酶法测定,血清谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)活性用比色法测定,血清总抗氧化能力(T-AOC)用Fe³⁺还原法测定,血清丙二醛(MDA)含量用硫代巴比妥酸法测定。试剂盒购自南京建成生物工程研究所,测定仪器为U-3900型分光光度计,具体操作步骤按试剂盒说明书进行。

1.4.4 免疫功能指标的测定

血清免疫球蛋白(Ig)A、IgG、IgM和肿瘤坏死因子-α(TNF-α)含量均采用酶联免疫吸附试验

(ELISA) 试剂盒测定。试剂盒购自南京建成生物工程研究所, 测定仪器为华东电子 DG5033A 酶标仪, 具体操作步骤按试剂盒说明书进行。

1.5 数据处理

试验结果用 Excel 2010 对数据进行初步处理, 再用 SPSS 22.0 统计软件进行单因素方差分析, 若有显著差异则用 Duncan 氏法进行多重比较, $P < 0.05$ 表示差异显著, $P < 0.01$ 表示差异极显著。试验结果采用平均值 \pm 标准误表示。

2 结果

2.1 FRSM 替代豆粕对生长猪生长性能的影响

由表 3 可知, 各组的 ADFI、ADG 和 F/G 均差异不显著 ($P > 0.05$), I、III、IV 组的 ADFI 分别比 II 组提高了 6.11%、0.56% 和 2.22%, ADG 分别比 II 组提高了 12.54%、5.54% 和 5.67%, F/G 分别比 II 组下降了 8.54%、7.12% 和 6.05%。

表 3 FRSM 替代豆粕对生长猪生长性能的影响

Table 3 Effects of FRSM to replace soybean meal on growth performance of growing pigs

项目 Items	组别 Groups			
	I	II	III	IV
始重 IBW/kg	42.3 \pm 1.6	42.3 \pm 1.6	42.4 \pm 1.7	42.4 \pm 1.7
末重 FBW/kg	78.3 \pm 1.3	74.6 \pm 2.8	75.1 \pm 1.8	75.9 \pm 2.0
平均日采食量 ADFI/(kg/d)	1.91 \pm 0.02	1.80 \pm 0.08	1.81 \pm 0.03	1.84 \pm 0.03
平均日增重 ADG/(g/d)	742.04 \pm 28.55	659.35 \pm 40.44	695.85 \pm 18.47	696.74 \pm 14.22
料重比 F/G	2.57 \pm 0.10	2.81 \pm 0.11	2.61 \pm 0.05	2.64 \pm 0.04

同行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 ($P < 0.05$), 相同字母或无字母表示差异不显著 ($P > 0.05$)。下表同。

In the same row, values with different capital letter superscripts mean very significant difference ($P < 0.01$), and 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 FRSM 替代豆粕对生长猪血清生化指标的影响

由表 4 可知, 各组血清中 GLU 的含量差异不显著 ($P > 0.05$), 但 II 组最低; I、II 组血清中 T-CHOL 的含量差异不显著 ($P > 0.05$), III、IV 组血清中 T-CHOL 的含量显著低于 I、II 组 ($P < 0.05$), III、IV 组间血清中 T-CHOL 的含量差异不显著 ($P > 0.05$); 各组血清中 TP 和 UN 的含量差异

不显著 ($P > 0.05$), 但 III、IV 组与 I、II 组相比提高了血清中 TP 的含量, 降低了 UN 的含量; II 组血清中 T_3 的含量极显著高于其他 3 组 ($P < 0.01$), 其余各组间差异不显著 ($P > 0.05$); I、II 组血清中 T_4 的含量差异不显著 ($P > 0.05$), II 组血清中 T_4 的含量显著高于 IV 组 ($P < 0.05$), III、IV 组血清中 T_4 的含量差异不显著 ($P > 0.05$)。

表 4 FRSM 替代豆粕对生长猪血清生化指标的影响

Table 4 Effects of FRSM to replace soybean meal on serum biochemical indexes of growing pigs

项目 Items	组别 Groups			
	I	II	III	IV
葡萄糖 GLU/(mmol/L)	3.61 \pm 0.42	3.14 \pm 0.29	3.33 \pm 0.33	3.45 \pm 0.34
总胆固醇 T-CHOL/(mmol/L)	2.94 \pm 0.10 ^a	2.90 \pm 0.12 ^a	2.52 \pm 0.10 ^b	2.58 \pm 0.03 ^b
总蛋白 TP/(g/L)	67.27 \pm 1.23	65.23 \pm 1.73	66.32 \pm 1.96	67.80 \pm 2.33
尿氮 UN/(mmol/L)	3.26 \pm 0.43	3.40 \pm 0.29	2.81 \pm 0.30	3.10 \pm 0.56
三碘甲状腺原氨酸 T_3 /(ng/mL)	0.94 \pm 0.01 ^{Bb}	1.51 \pm 0.11 ^{Aa}	1.15 \pm 0.08 ^{Bb}	1.05 \pm 0.07 ^{Bb}
甲状腺素 T_4 /(ng/mL)	50.18 \pm 3.75 ^{ab}	61.14 \pm 2.75 ^a	51.15 \pm 5.73 ^{ab}	45.32 \pm 3.92 ^b

2.3 FRSM 替代豆粕对生长猪抗氧化能力的影响

由表 5 可知, I、II 组血清中 SOD 的活性差异不显著 ($P>0.05$), III 组血清中 SOD 的活性极显著高于 I、II 组 ($P<0.01$), III、IV 组血清中 SOD 的活性差异不显著 ($P>0.05$); I、II 组血清中 MDA 的

含量差异不显著 ($P>0.05$), III 组血清中 MDA 的含量相比于 I、II 组显著降低 ($P<0.05$), III、IV 组血清中 MDA 的含量差异不显著 ($P>0.05$); 各组血清中 GSH-Px 活性和 T-AOC 均差异不显著 ($P>0.05$)。

表 5 FRSM 替代豆粕对生长猪抗氧化能力的影响

Table 5 Effects of FRSM to replace soybean meal on antioxidant ability of growing pigs

项目 Items	组别 Groups			
	I	II	III	IV
超氧化物歧化酶 SOD/(U/mL)	110.73±2.07 ^{Bb}	112.81±2.48 ^{Bb}	131.99±3.75 ^{Aa}	121.14±5.04 ^{ABab}
丙二醛 MDA/(nmol/mL)	2.00±0.20 ^a	2.03±0.15 ^a	1.45±0.17 ^b	1.85±0.16 ^{ab}
谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/(μ mol/L)	18.71±1.71	26.40±6.12	28.51±3.91	21.98±4.02
总抗氧化能力 T-AOC/(nmol/L)	1.56±0.02	1.55±0.03	1.50±0.03	1.54±0.06

2.4 FRSM 替代豆粕对生长猪免疫功能的影响

由表 6 可知, 各组血清中 IgA、IgG、IgM 的含量均差异不显著 ($P>0.05$), 但 II 组血清中 IgA 的

含量最低; III 组血清中 TNF- α 的含量相比于 IV 组显著升高 ($P<0.05$), 其余各组血清中 TNF- α 的含量均差异不显著 ($P>0.05$)。

表 6 FRSM 替代豆粕对生长猪免疫功能的影响

Table 6 Effects of FRSM to replace soybean meal on immunology function of growing pigs

项目 Items	组别 Groups			
	I	II	III	IV
免疫球蛋白 A IgA/(μ g/mL)	582.62±23.03	546.89±7.45	578.48±15.69	553.87±6.61
免疫球蛋白 G IgG/(mg/mL)	14.07±0.86	12.64±0.88	13.42±1.08	11.31±0.75
免疫球蛋白 M IgM/(mg/mL)	2.31±0.21	2.09±0.13	2.16±0.18	1.96±0.09
肿瘤坏死因子- α TNF- α /(ng/L)	107.15±2.12 ^{ab}	103.28±2.62 ^{ab}	114.45±5.71 ^a	97.36±2.48 ^b

3 讨论

3.1 FRSM 替代豆粕对生长猪生长性能的影响

Tripathi 等^[3] 研究表明, 猪饲料中添加含 GS 为 1.3~2.8 μ mol/g 的 RSM 影响采食量, 可能是因为 GS 引起的苦涩味降低了饲料的适口性, 并且 GS 及其降解产物异硫氰酸酯、噻唑烷硫酮等会引起甲状腺功能的减退, 进而降低动物的生长性能^[12-13]。研究表明, 通过微生物固态发酵 RSM 饲喂动物, 能够改善动物生长性能。Ashayerizadeh 等^[14] 分别用 50% 和 100% 的 RSM 和 FRSM 替代豆粕饲喂肉仔鸡, FRSM 组的体增重和饲料转化率相比于 RSM 组均显著提高, 死亡率显著降低。

Chiang 等^[15] 在基础饲料中添加 10% FRSM 饲喂肉鸡, 其 ADG 比添加 10% RSM 显著升高, ADFI 和饲料转化率有所提高。本研究结果表明, III、IV 组的 ADFI、ADG 和 F/G 与对照组差异不显著, ADFI、ADG 相比于 II 组均有所提高, F/G 有所下降, 与上述研究结果类似。这说明本研究通过微生物固态发酵 RSM, 基本消除了抗营养因子的不良影响, 一定程度上改善了生长猪的生长性能, 并且提高 RSM 在生长猪饲料中的添加量, 使 FRSM 用量提高为 16%, 即 RSM 的用量为 11.2%。

3.2 FRSM 替代豆粕对生长猪血清生化指标的影响

血清生化指标能够综合反映动物机体的新陈

代谢状况。血清中 GLU 含量是动物机体内能量平衡的重要指标, GLU 含量的高低反映了消化吸收作用的增强或减弱。本研究结果表明, II 组血清中 GLU 的含量相比于其他各组均有所降低, 但各组差异不显著。胆固醇稳态是通过调节胆固醇摄取、胆固醇生物合成、胆固醇向胆汁酸的转化和胆汁酸的排泄来实现的。血清胆固醇含量是饮食中胆固醇(外源性胆固醇)和从头合成胆固醇(内源性胆固醇)的结果^[16]。本试验结果表明, III、IV 组血清中 T-CHOL 的含量较 I、II 组显著降低, 可能是因为本研究通过微生物发酵提高了肠道内益生菌的浓度, 益生菌定植在肠道发酵食物中难消化的碳水化合物, 产生短链脂肪酸, 其中丙酸会抑制 3-羟基-3-甲基戊二酰辅酶 A (HMG-CoA) 还原酶的活性, 而 HMG-CoA 还原酶又是胆固醇合成的限速酶^[17-18], 因而起到抑制肝脏胆固醇合成或使胆固醇在血浆和肝脏中再分配, 降低血清胆固醇含量的作用。另外, 本研究发酵所用短乳杆菌具有较高的胆盐水解酶活性, De Smet 等^[19]用具有胆盐水解酶活性的短乳杆菌饲喂高胆固醇饮食的猪, 发现其血清中 T-CHOL 和低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C) 含量与对照组相比显著降低, 并且其粪便中总胆汁酸的排泄量也明显增加。这可能是因为胆盐水解酶能够降解胆酸盐, 使肠道内的胆盐被解离后, 溶解度降低, 不易被肠道回收, 促进体内胆汁酸向体外排泄, 机体为了弥补肝肠循环中胆汁酸的不足, 肝脏会利用血液中的胆固醇重新合成新的胆汁酸^[20-21], 从而降低血清中胆固醇含量。III、IV 组血清中 TP 的含量比 I、II 组升高, UN 含量下降, 可能是因为发酵 RSM 的益生菌可以利用蛋白质代谢过程中产生的非蛋白氮作为氮源合成菌体蛋白被动物吸收利用, 提高了氮的利用率, 并减少了粪氮的排放, 从而提高了 TP 的含量^[22]。而 UN 作为蛋白质、氨基酸代谢的终产物, 当氨基酸平衡良好时, UN 含量下降^[23], 这与 Hu 等^[7]在基础饲料中添加 9.41% FRSM 饲喂肉仔鸡, 其血清 TP 含量显著升高, 血清 UN 含量显著降低的结果一致。甲状腺激素是人和动物生长发育必不可少的内分泌激素。金邦荃等^[24]用高 RSM 饲料饲喂猪, 其甲状腺明显肿大, 血清中 T_4 的含量相比于对照组显著升高, T_4/T_3 异常。Mawson 等^[25]用含高 GS 的 RSM 饲喂猪, 其甲状腺肿大, 血清 T_3 和 T_4 含量升高。本研究结果表

明, II 组血清中 T_4 的含量相比于 IV 组显著升高, 血清 T_3 的含量相比于其他 3 组极显著升高, 与上述结果类似。这可能是因为 RSM 中抗营养因子 GS 的降解产物硫氰酸盐阴离子是碘的竞争者, 通过主动转运穿过细胞膜结合到甲状腺球蛋白的酪氨酸残基上, 阻碍甲状腺对碘的吸收, 干扰甲状腺球蛋白分解, 引起 T_3 和 T_4 分泌异常^[26-27], 诱发缺碘性甲状腺功能亢进。Anke 等^[28]以 RSM 为基础饲料饲喂生长猪, 饲料中补充碘(1 mg/kg) 降低了硫氰酸盐阴离子对甲状腺的影响, 从而改善了生长猪的生长性能。本研究结果表明, III、IV 组血清中 T_3 和 T_4 含量与 I 组差异不显著, 这与 Xu 等^[29]分别用 33%、67% 和 100% 的 FRSM 替代豆粕饲喂肉鸭, 其血清 T_3 和 T_4 的含量与对照组没有显著差异的报道一致, 说明通过微生物发酵有效降低异硫氰酸酯的含量, 缓解了甲状腺功能亢进。

3.3 FRSM 替代豆粕对生长猪抗氧化能力的影响

机体的抗氧化酶体系(如 SOD、GSH-Px、T-AOC 等)可在不同水平上清除体内多余的自由基, 恢复机体正常的细胞代谢和功能。MDA 是脂质过氧化作用的终产物, 测定血清中 MDA 含量能直接反映细胞膜被氧化的程度, 血清 MDA 含量显著升高意味着机体自由基增多, 细胞受损程度增强。Hu 等^[7]在肉仔鸡试验上的结果表明, FRSM 组相比于 RSM 组提高了血清 T-AOC 和 SOD 活性, 降低了 MDA 的含量, 这与本研究 III、IV 组血清中 SOD 的活性高于 I、II 组, 且 MDA 的含量低于 I、II 组的结果一致。本研究通过微生物固态发酵 RSM, 其水溶性蛋白和酸溶性蛋白含量相比于 RSM 分别提高了 52.88% 和 44.40%, 而酸溶性蛋白主要由游离氨基酸和小肽组成。有研究表明, 通过固态发酵 RSM 会产生具有较强还原力的小肽, 这些小肽对羟基自由基($\cdot OH$)和二苯基苦基苯肼(DPPH)自由基清除能力较强, 而且小肽的分子量越小, 其清除自由基的能力越强^[30], 即抗氧化活性越强。

3.4 FRSM 替代豆粕对生长猪免疫功能的影响

血液中的 IgG、IgA 和 IgM 含量的高低直接反映了动物机体全身的体液免疫状况^[31]。TNF- α 是由内毒素激活的巨噬细胞和淋巴细胞等分泌的一种多活性的细胞因子, 是机体免疫防护的重要介质, 正常水平的 TNF- α 可以调节免疫应答、抗感染、促进组织修复、引起肿瘤细胞凋亡等^[12]。吴东

等^[23]用 FRSM 等氮替代 7.5% 豆粕,生长猪血清中 IgA、IgG 和白细胞介素(IL)-2 的含量显著升高,IgM、IL-1、IL-6 和 TNF- α 含量无显著影响。王尚荣^[32]在基础饲料中添加 4%、6% 和 8% FRSM 饲喂樱桃谷鸭,45 日龄时血清中 IgG、IgA、IgM 含量均比对照组略有提高,但差异不显著,60 日龄时添加 8% FRSM 血清中 IgG、IgA、IgM 含量相比于对照组均显著升高。本研究结果表明,各组血清中 IgA、IgG、IgM 的含量差异不显著,IV 组血清中 TNF- α 的含量相比于 III 组显著降低,但与 I、II 组差异不显著,说明 IV 组免疫功能没有受到负面影响。

4 结 论

① FRSM 可在一定程度上改善生长猪的生长性能,并使 FRSM 在生长猪饲料中的添加量提高到 16%,即 RSM 的用量提高到 11.2%。

② 饲喂不同比例 FRSM 的等氮替代饲料提高了生长猪的抗氧化能力,同时对免疫功能没有负面影响。

参考文献:

- [1] USDA. Oilseeds: world markets and trade. US Department of Agriculture [Z]. Washington, D. C.: Foreign Agricultural Service, 2017.
- [2] 田刚,王乐成,余冰,等.比较研究固态发酵菜籽粕和菜籽粕对生长肉兔的营养价值[J].动物营养学报,2017,29(3):798-805.
- [3] TRIPATHI M K, MISHRA A S. Glucosinolates in animal nutrition: a review [J]. Animal Feed Science and Technology, 2007, 132(1/2):1-27.
- [4] 张宗舟.菜籽饼的营养价值与有毒成分[J].中国乳业,2001(4):9-10.
- [5] SHI C Y, HE J, WANG J P, et al. Effects of *Aspergillus niger* fermented rapeseed meal on nutrient digestibility, growth performance and serum parameters in growing pigs [J]. Animal Science Journal, 2016, 87(4):557-563.
- [6] ELANGO VAN A V, VERMA S V S, SASTRY V R B, et al. Effect of feeding high glucosinolate rapeseed meal to laying Japanese quail [J]. Asian Australasian Journal of Animal Sciences, 2001, 14(9):1304-1307.
- [7] HU Y N, WANG Y W, LI A K, et al. Effects of fermented rapeseed meal on antioxidant functions, serum biochemical parameters and intestinal morphology in broilers [J]. Food and Agricultural Immunology, 2016, 27(2):182-193.
- [8] HONG S, TANG J W, YAO X H, et al. Improvement of the nutritional quality of cottonseed meal by *Bacillus subtilis* and the addition of papain [J]. International Journal of Agriculture and Biology, 2012, 14(4):563-568.
- [9] CHIOU P W S, CHEN C, YU B. Effects of *Aspergillus oryzae* fermentation extract on *in situ* degradation of feedstuffs [J]. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences, 2000, 13(8):1076-1083.
- [10] 吴东,钱坤,徐鑫,等.发酵菜籽粕替代豆粕对生长肥育猪生长性能、血清生化指标和肠道菌群的影响[J].养猪,2014(6):49-51.
- [11] 丁小玲.发酵菜籽粕在畜禽生产中的应用研究[D].硕士学位论文.合肥:安徽农业大学,2011.
- [12] LEE P A, HILL R. Voluntary food intake of growing pigs given diets containing rapeseed meal from different types and varieties of rape, as the only protein supplement [J]. British Journal of Nutrition, 1983, 50(3):661-671.
- [13] SCHÖNE F, JAHREIS G, LANGE R, et al. Effect of varying glucosinolate and iodine intake via rapeseed meal diets on serum thyroid hormone level and total iodine in the thyroid in growing pigs [J]. Endocrinologia Experimentalis, 1990, 24(4):415-427.
- [14] ASHAYERIZADEH A, DASTAR B, SHARGH M S, et al. Fermented rapeseed meal is effective in controlling *Salmonella enterica* serovar Typhimurium infection and improving growth performance in broiler chicks [J]. Veterinary Microbiology, 2017, 201:93-102.
- [15] CHIANG G, LU W Q, PIAO X S, et al. Effects of feeding solid-state fermented rapeseed meal on performance, nutrient digestibility, intestinal ecology and intestinal morphology of broiler chickens [J]. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences, 2010, 23(2):263-271.
- [16] LU K M, LEE M H, PATEL S B. Dietary cholesterol absorption; more than just bile [J]. Trends in Endocrinology & Metabolism, 2001, 12(7):314-320.
- [17] BUSH R S, MILLIGAN L P. Study of the mechanism of inhibition of ketogenesis by propionate in bovine liver [J]. Canadian Journal of Animal Science, 1971, 51(1):121-127.
- [18] ROTTELMAN J, SHECHTER I. Studies on the catalyt-

- ic site of rat liver HMG-CoA reductase: interaction with CoA-thioesters and inactivation by iodoacetamide [J]. *Journal of Lipid Research*, 1989, 30(1): 97-107.
- [19] DE SMET I, DE BOEVER P, VERSTRAETE W. Cholesterol lowering in pigs through enhanced bacterial bile salt hydrolase activity [J]. *British Journal of Nutrition*, 1998, 79(2): 185-194.
- [20] TARANTO M P, MEDICI M, PERDIGON G, et al. Evidence for hypocholesterolemic effect of *Lactobacillus reuteri* in hypercholesterolemic mice [J]. *Journal of Dairy Science*, 1998, 81(9): 2336-2340.
- [21] DE RODAS B Z, GILLILAND S E, MAXWELL C V. Hypocholesterolemic action of *Lactobacillus acidophilus* ATCC 43121 and calcium in swine with hypercholesterolemia induced by diet [J]. *Journal of Dairy Science*, 1996, 79(12): 2121-2128.
- [22] ZHANG W J, XU Z R, ZHAO S H, et al. Development of a microbial fermentation process for detoxification of gossypol in cottonseed meal [J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2007, 135(1/2): 176-186.
- [23] 吴东, 徐鑫, 杨家军, 等. 发酵菜籽粕替代豆粕对肉鸡生长性能、肉品质及血清生化指标的影响 [J]. *中国畜牧兽医*, 2015, 42(10): 2676-2680.
- [24] 金邦荃, 易培智, 曹文杰, 等. 菜粕中硫代葡萄糖甙对猪血液常规指标、血清转氨酶和甲状腺素的影响 [J]. *江苏农业学报*, 1995, 11(1): 33-35.
- [25] MAWSON R, HEANEY R K, ZDUNCZYK Z, et al. Rapeseed meal-glucosinolates and their antinutritional effects Part 4. Goitrogenicity and internal organs abnormalities in animals [J]. *Molecular Nutrition & Food Research*, 1994, 38(2): 178-191.
- [26] 金晶, 徐志宏, 魏振承, 等. 菜籽粕中抗营养因子及其去除方法的研究进展 [J]. *中国油脂*, 2009, 34(7): 18-21.
- [27] MAWSON R, HEANEY R K, PISKULA A M, et al. Rapeseed meal-glucosinolates and their antinutritional effects Part 1. Rapeseed production and chemistry of glucosinolates [J]. *Molecular Nutrition & Food Research*, 2010, 37(2): 131-140.
- [28] ANKE M, SCHWARZ S, HENNIG A, et al. Einfluss zusätzlicher zink- und jodgaben auf rapsextraktionsschrothbedingte schaden beim schwein [J]. *Cadernos de Saúde Pública*, 1980, 20(5): 1249-1261.
- [29] XU F Z, LI L M, XU J P, et al. Effects of fermented rapeseed meal on growth performance and serum parameters in ducks [J]. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 2011, 24(5): 678-684.
- [30] 何荣, 鞠兴荣, 袁建, 等. 固态发酵生产菜籽肽及其清除自由基能力的研究 [J]. *食品科学*, 2009, 30(19): 259-262.
- [31] 余东游, 毛翔飞, 秦艳, 等. 枯草芽孢杆菌对肉鸡生长性能及其抗氧化和免疫功能的影响 [J]. *中国畜牧杂志*, 2010, 46(3): 22-25.
- [32] 王尚荣. 发酵菜籽饼对肉仔鸭免疫性能及血液生化指标的影响 [J]. *邵阳学院学报(自然科学版)*, 2015, 12(1): 33-37.

Effects of Fermented Rapeseed Meal to Replace Soybean Meal in Diets on Growth Performance , Serum Biochemical Indexes , Antioxidant Ability and Immunology Function of Growing Pigs

SUN Peipei¹ ZHOU Xiaorong^{2*} SONG Daijun^{1*} LIU Zuohua² LIU Zhiyun² ZHONG Xiaoxia²

(1. College of Animal Science and Technology , Southwest University , Chongqing 400715 , China;

2. Chongqing Academy of Animal Sciences , Chongqing 402460 , China)

Abstract: This experiment was conducted to evaluate the effects of different proportions of fermented rapeseed meal (FRSM) to replace soybean meal in the diet on the growth performance , serum biochemical indexes , antioxidant ability and immunology function of growing pigs. A total of 96 healthy crossbred (Duroc×Landrace×Large White) barrows (the same batch) with an initial body weight of (42.35±1.65) kg were randomly allotted to 4 groups with 6 replicates per group and 4 pigs in each replicate. Pigs in group I were fed a corn-soybean meal diet , those in group II were fed an iso-nitrogen replacement diet with 8.4% rapeseed meal (RSM) , those in group III were fed the iso-nitrogen replacement diet with 12% FRSM , and those in group IV were fed the iso-nitrogen replacement diet with 16% FRSM. The experiment lasted for 7 weeks. The results showed as follows: 1) there were no significant differences in average daily gain (ADG) , average daily feed intake (AD-FI) and feed/gain (F/G) among all groups ($P>0.05$) , but groups III , IV were better than group II. 2) There were no significant differences in serum glucose (GLU) , total protein (TP) and urea nitrogen (UN) contents among all groups ($P>0.05$) ; the content of total cholesterol (T-CHOL) in serum in groups III and IV was significantly lower than that in groups I and II ($P<0.05$) ; the contents of triiodothyronine (T_3) and thyroxine (T_4) in serum in group II were the highest among all groups , the content of T_3 in serum was significantly higher than that in the other three groups ($P<0.01$) , the content of T_4 in serum was significantly higher than that in group IV ($P<0.05$) , and there were no significant differences among the other three groups ($P>0.05$) . 3) There were no significant differences in glutathion peroxidase (GSH-Px) activity and total antioxidant capacity (T-AOC) in serum among all groups ($P>0.05$) ; the activity of superoxide dismutase (SOD) in serum in group III was significantly higher than that in groups I and II ($P<0.01$) , and the content of malonaldehyde (MDA) in serum was significantly lower than that in groups I and II ($P<0.05$) , and there were no significant differences between groups III and IV ($P>0.05$) . 4) The contents of immunoglobulin (Ig) A , IgG and IgM in serum were no significant differences among all groups ($P>0.05$) . The serum tumor necrosis factor- α (TNF- α) content in group III was significantly higher than that in group IV ($P<0.05$) , and there were no significant differences among the other three groups ($P>0.05$) . In summary , the microbial solid state fermentation of RSM can improve the growth performance of growing pigs , reduce the contents of serum T_3 , T_4 and T-CHOL , improve the antioxidant ability , and have no negative impact on immune function. The amount of FRSM added to the growing pigs diet is increased to 16% , that is , the amount of RSM is increased to 11.2%. [*Chinese Journal of Animal Nutrition* , 2019 , 31(2) : 874-882]

Key words: growing pigs; fermented rapeseed meal; growth performance; serum biochemical indexes; antioxidant ability; immunology function

* Corresponding authors: ZHOU Xiaorong , professor , E-mail: zhouxiaorong429@163.com; SONG Daijun , associate professor , E-mail: djsong@swu.edu.cn

(责任编辑 陈 鑫)