

低蛋白质饲料中添加构树全株发酵饲料对育肥猪生长性能、胴体性状和肉品质的影响

宋 博¹ 郑昌炳^{1,2} 仲银召¹ 田梦丽¹ 吴买生³ 杨 旗⁴ 朱少中⁴

张 兴⁵ 李凤娜¹ 段叶辉^{1*} 印遇龙^{1,2*}

(1.中国科学院亚热带农业生态研究所,动物营养生理与代谢过程湖南省重点实验室,长沙 410125;2.华南农业大学

动物科学学院,广州 510642;3.湘潭市农业农村局,湘潭 411104;4.湘潭华阳构树产业

发展有限公司,湘潭 411228;5.湘潭市家畜育种站,湘潭 411104)

摘 要: 本试验旨在研究低蛋白质饲料中添加构树全株发酵饲料对育肥猪生长性能、胴体性状和肉品质的影响。选用 28 头体重 $[(63.53 \pm 0.40) \text{ kg}]$ 相近的健康三元杂交育肥猪,随机分为 4 组(每组 7 头):正常蛋白质饲料组(饲料粗蛋白质含量为 16%)、低蛋白质饲料组(饲料粗蛋白质含量为 13%)、构树干粉组(饲料中添加 10% 构树全株干粉,且其粗蛋白质含量为 13%)、发酵构树组(饲料中添加 10% 构树全株发酵饲料,且其粗蛋白质含量为 13%)。预试期 7 d,正试期为 45 d。结果表明:1) 不同饲料处理对育肥猪生长性能无显著影响($P > 0.05$)。2) 与正常蛋白质饲料组相比,低蛋白质饲料组育肥猪的瘦肉率无显著变化($P > 0.05$),但平均背膘厚和脂肪率分别增加了 18.18% 和 23.48% ($P < 0.05$),而在低蛋白质饲料中添加 10% 构树全株干粉或构树全株发酵饲料后可使其恢复至正常蛋白质饲料组水平。3) 与低蛋白质饲料组相比,构树干粉组育肥猪的瘦肉率显著降低($P < 0.05$),而发酵构树组则无显著变化($P > 0.05$)。4) 与正常蛋白质饲料组相比,低蛋白质饲料组和发酵构树组育肥猪的肝脏重量均显著降低($P < 0.05$),而心脏重量和脾脏重量在各组之间差异不显著($P > 0.05$)。5) 与正常蛋白质饲料组相比,发酵构树组血清尿素氮含量(-35.63%)有降低的趋势($P = 0.07$)。6) 与正常蛋白质饲料组相比,构树干粉组背最长肌红度(a^*)值降低了 22.52% ($P < 0.05$),剪切力升高了 22.85% ($P < 0.05$),而发酵构树组肌肉脂肪含量提高了 24.53% ($P < 0.05$)。7) 与正常蛋白质饲料组相比,构树干粉组比目鱼肌中异亮氨酸、蛋氨酸、酪氨酸和 α -氨基己二酸含量分别降低了 18.62%、35.62%、23.76% 和 35.38% ($P < 0.05$),而发酵构树组背最长肌中组氨酸、精氨酸、甘氨酸、牛磺酸和 β -氨基异丁酸含量分别提高 45.20%、30.87%、43.00%、20.64% 和 40.52% ($P < 0.05$),同时比目鱼肌中丙氨酸含量提高了 31.42% ($P < 0.05$)。综上所述,低蛋白质饲料中添加 10% 构树全株发酵饲料对育肥猪的生长性能无负面影响,可降低血清尿素氮含量和平均背膘厚,并可提高肌肉中游离氨基酸和肌肉脂肪含量,从而改善肉的风味和营养价值,且其饲喂效果优于构树全株干粉。

关键词: 构树全株发酵饲料;低蛋白质饲料;育肥猪;生长性能;胴体性状;肉品质

中图分类号:S816

文献标识码:A

文章编号:1006-267X(2020)10-4841-11

收稿日期:2020-04-26

基金项目:国家重点研发计划课题(2018YFD0500405);国家自然科学基金项目(U19A2037);湖南省科技领军人才项目“猪生理代谢与机体健康创新团队”(2019RS3022);湖南创新型省份建设专项经费资助(2019NK2193);广西省自然科学基金项目(2018JJB130239)

作者简介:宋 博(1995—),男,湖北咸宁人,硕士研究生,从事单胃动物营养和肉品质调控研究。E-mail: 756927597@qq.com

* 通信作者:段叶辉,副研究员,E-mail: duanyehui@isa.ac.cn;印遇龙,院士,博士生导师,E-mail: yinyulong@isa.ac.cn

随着畜牧业的快速发展,对饲料原料(尤其是蛋白质饲料原料)的需求量不断增长。然而我国人多地少,蛋白质饲料资源严重短缺并引发“人畜争粮”,已成为畜牧业快速发展的瓶颈。因此,寻找新的蛋白质饲料资源,开发利用非常规饲料原料已刻不容缓^[1]。

杂交构树在我国各地被广泛种植,其适应性、抗逆性极强,且生长迅速、生物产量高。采用密植状态栽种(每亩1 000~2 000株,1亩≈666.7 m²),第1年亩产鲜枝叶可达3.0~4.5 t,自第2年起亩产量可达8 t以上,可制构树干粉饲料2 t以上,可连续收割20年以上^[2]。此外,杂交构树营养价值高,其树叶粗蛋白质含量约为26%(以干物质计),高于玉米、小米、大米;粗脂肪含量是小麦和大米的2倍,仅次于大豆;氨基酸和矿物质含量丰富,且氨基酸组成结构合理,钙、锰含量远高于大豆、苜蓿和玉米^[3-4]。据报道,杂交构树叶粗蛋白质含量仅次于豆粕,比苜蓿草粉高出了6.7%,故有望替代饲料中一部分豆粕^[5]。因此,杂交构树资源和营养均丰富,可作为一种蛋白质饲料的替代原料进行开发利用,不仅可解决我国饲料原料特别是蛋白质饲料资源短缺的问题,还可大大降低饲料成本,为养殖业的发展带来新机遇,具有重要现实意义。然而,既往关于构树在生猪养殖中的研究主要集中在构树叶的饲喂效果^[6-8],对构树全株饲喂生猪的研究还寥寥无几,且构树全株以干粉还是发酵的形式饲喂效果更佳亦不得而知。此外,低蛋白质饲料亦可缓解蛋白质饲料资源短缺,但其会使育肥猪脂肪率过高,故而降低胴体品质^[9]。有趣的是,研究发现饲料中添加植物性饲料对育肥猪胴体品质和肉质具有改善作用^[10-11]。因此,本试验拟在低蛋白质饲料中添加构树全株干粉(*Broussonetia papyrifera* powder, BPP)或构树全株发酵饲料(fermented *Broussonetia papyrifera*, FBP),旨在研究其对育肥猪生长性能、胴体性状和肉品质的影响,以期为构树全株发酵饲料在生猪养殖中的应用提供参考。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

构树全株干粉和构树全株发酵饲料:由湘潭某构树产业发展有限公司提供。

试验用构树全株干粉(风干基础)主要营养成分:消化能15.98 MJ/kg,粗蛋白质含量13.20%,

粗脂肪含量3.59%,粗纤维含量22.61%,粗灰分含量6.10%。

试验用构树全株发酵饲料(风干基础)主要营养成分为:总能14.40 MJ/kg,粗蛋白质含量15.99%,粗脂肪含量2.55%,粗纤维含量9.63%,粗灰分含量15.28%。具体见张兴等^[12]的测定结果。

1.2 试验设计

试验于2019年9月30日至2019年11月15日在中国科学院亚热带农业生态研究所动物试验基地进行,预试期7 d,正试期为45 d。选择28头健康、体重[(63.53±0.40) kg]相近的三元杂交育肥公猪,随机分为4组,每组7头:正常蛋白质饲料组(A组,饲料粗蛋白质含量为16%)、低蛋白质饲料组(B组,饲料粗蛋白质含量为13%)、构树干粉组(C组,饲料中添加10%构树全株干粉,且其粗蛋白质含量为13%)、发酵构树组(D组,饲料中添加10%构树全株发酵饲料,且其粗蛋白质含量为13%)。所有饲料均参照NRC(2012)育肥猪营养需要量配制而成,饲料组成及营养水平见表1。

1.3 饲养管理

试验期间,试验猪在漏缝地板式猪床上单栏饲养,按照常规饲养管理,自由饮水,自由采食,每日饲喂3次。于试验开始当天08:00—09:00空腹称重,试验期间记录采食量,试验结束当天08:00—09:00再次空腹称重,用于计算平均日增重(average daily gain, ADG)、平均日采食量(average daily feed intake, ADFI)和料重比(feed/gain, F/G)。

1.4 样品采集与制备

试验结束时,将所有试验猪禁食12 h,颈静脉采血后屠宰采样。血液样品于4℃、3 500 r/min条件下离心10 min以分离血清,所得血清于-20℃保存以供后续检测使用。在褪毛、去头和内脏后,胴体被沿中线分割为左右两半。同时,称取心脏、肝脏和脾脏重并记录。左半边胴体被用于胴体分割并检测胴体性状,右半边胴体分离部分背最长肌和比目鱼肌样品用于肉质检测和游离氨基酸组成分析。

1.5 测定指标和方法

1.5.1 生长性能

$ADG(g/d) = \text{每头猪的增重}(g) / \text{试验天数}(d)$;

$ADFI(g/d) = \text{每头猪的总采食量}(g) / \text{试验天数}(d)$;

$F/G = ADFI(g/d) / ADG(g/d)$ 。

表 1 饲料组成及营养水平(风干基础)

Table 1 Composition and nutrient levels of diets (air-dry basis)

%

项目 Items	组别 Groups			
	A	B	C	D
原料 Ingredients				
玉米 Corn	70.50	77.15	68.85	68.00
豆粕 Soybean meal	25.00	16.60	14.70	15.55
大豆油 Soybean oil	0.50	1.90	1.13	1.22
构树全株干粉 BPP			10.00	
构树全株发酵饲料 FBP				10.00
赖氨酸 Lysine		0.27	0.22	0.22
蛋氨酸 Methionine			0.04	0.04
苏氨酸 Threonine		0.08	0.04	0.04
色氨酸 Tryptophan			0.03	0.03
磷酸氢钙 CaHPO ₄			0.99	0.90
预混料 Premix ¹⁾	4.00	4.00	4.00	4.00
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels ²⁾				
消化能 DE/(MJ/kg)	14.18	14.29	14.15	14.05
粗蛋白质 Crude protein	15.91	13.19	13.06	13.07
赖氨酸 Lysine	0.74	0.76	0.73	0.72
蛋氨酸+半胱氨酸 Methionine+cysteine	0.49	0.41	0.42	0.42
苏氨酸 Threonine	0.52	0.49	0.46	0.45
色氨酸 Tryptophan	0.17	0.13	0.14	0.14
钙 Calcium	0.20	0.18	0.47	0.47
总磷 Total phosphorus	0.33	0.30	0.45	0.44

1) 预混料为每千克饲料提供 The premix provided the following per kg of diets: VK₃ 5 mg, VB₁ 2 mg, VB₂ 15 mg, VB₁₂ 30 μg, VA 5 400 IU, VD₃ 110 IU, VE 18 IU, 氯化胆碱 choline chloride 80 mg, 抗氧化剂 antioxidants 20 mg, Cu (as copper sulfate) 19.8 mg, Fe (as ferrous sulfate) 400 mg, Se (as sodium selenite) 0.56 mg, Zn (as zinc sulfate) 359 mg, Mn (as manganese sulfate) 10.2 mg。

2) 营养水平为计算值。Nutrient levels were calculated values.

1.5.2 胴体性状

试验结束后,将所有试验猪进行屠宰测定。试验猪空腹 12 h,宰前称重,按 TY/T 825—2004《瘦肉型猪胴体性状测定技术规范》进行胴体性状测定。测定的胴体性状主要包括胴体直长、平均背膘厚、瘦肉率、脂肪率、眼肌面积、心脏重量、肝脏重量、脾脏重量等。

胴体直长:由枕寰关节底部前缘至耻骨联合前缘中线的距离。

平均背膘厚度:用游标卡尺分别垂直测定肩部(第 1 根肋骨处)、腰部(最后 1 根肋骨处)及臀部(腰荐结合处)3 处的背膘厚度,记录数据并求出平均背膘厚度。

瘦肉率(%)=总肌肉重(kg)/胴体总重(kg);

脂肪率(%)=总脂肪重(kg)/胴体总重(kg);

眼肌面积(cm²)=背最长肌横截面的宽度(cm)×背最长肌横截面的高度(cm)×0.7。

1.5.3 血清生化指标

使用全自动生化分析仪(Beckman CX4)和相应试剂盒(北京利德曼生物科技有限公司)检测血清中总蛋白(total protein, TP)、白蛋白(albumin, ALB)、尿素氮(urea nitrogen, UN)、葡萄糖(glucose, GLU)和免疫球蛋白 M (immunoglobulin M, IgM) 含量以及碱性磷酸酶(alkaline phosphatase, ALP)活性。

1.5.4 肉品质

肉色:采用便携式色差仪(CR-410,柯尼卡美能达公司,日本)测定宰后第 10~11 肋骨处背最长

肌的亮度(L^*)、红度(a^*)和黄度(b^*)值。

$pH_{45\text{ min}}$ 和 $pH_{24\text{ h}}$: 采用便携式手持专用 pH 计 (pH-STAR, 德国) 测定宰后第 10~11 肋骨处背最长肌 45~60 min 内的 $pH_{45\text{ min}}$ 和宰后 24 h 的 $pH_{24\text{ h}}$ 。

失水率: 采用无限压缩仪测定宰后第 10~11 肋骨处背最长肌的失水率。

剪切力(嫩度): 采用质构仪测定宰后第 10~11 肋骨处背最长肌的剪切力。

背最长肌和比目鱼肌的游离氨基酸组成由离子交换氨基酸分析仪(日立 L8800, 日本)检测, 上机前处理依照 Liu 等^[11]提供的方法进行。

背最长肌和比目鱼肌的肌肉脂肪含量参考陈

亚静等^[13]研究中所用索氏抽提法检测。

1.6 数据处理与分析

试验数据用 Excel 2010 进行初步处理, 用 SAS 8.2 软件进行单因素方差分析(one-way ANOVA), 并用 Duncan 氏法进行多重比较检验, 试验数据以平均值和均值标准误表示, 当 $P < 0.05$ 作为差异显著性判断标准, 当 $0.05 < P < 0.10$ 时表示有显著性差异趋势。

2 结果与分析

2.1 不同饲料处理对育肥猪生长性能的影响

如表 2 所示, 不同饲料处理对育肥猪的 ADFI、ADG 和 F/G 均无显著影响 ($P < 0.05$)。

表 2 不同饲料处理对育肥猪生长性能的影响

Table 2 Effects of different dietary treatments on growth performance of finishing pigs ($n=7$)

项目 Items	组别 Groups				均值标准误 SEM	P 值 P-value
	A	B	C	D		
初始重 Initial weight/kg	63.05	63.33	63.88	63.84	0.87	0.986 5
终末重 Final weight/kg	99.80	103.43	104.88	105.04	1.11	0.597 8
平均日采食量 ADFI/kg	2.51	2.55	2.76	2.89	0.28	0.475 6
平均日增重 ADG/kg	0.82	0.89	0.91	0.92	0.16	0.652 5
料重比 F/G	3.10	2.89	3.24	3.20	0.35	0.835 7

同行数据肩标不同小写字母表示显著差异 ($P < 0.05$), 相同或无字母表示差异不显著 ($P > 0.05$)。下表同。

Values in the same row 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 不同饲料处理对育肥猪胴体品质的影响

由表 3 可知, 与正常蛋白质饲料组相比, 低蛋白质饲料组平均背膘厚和脂肪率分别提高了 18.18% 和 23.48% ($P < 0.05$)。与低蛋白质饲料组相比, 低蛋白质饲料中添加 10% 构树全株发酵饲料使育肥猪的平均背膘厚显著降低 ($P < 0.05$), 并达到正常蛋白质饲料组水平, 而添加 10% 构树全株干粉则对其无显著影响 ($P > 0.05$)。育肥猪的脂肪率以低蛋白质饲料组最高, 以正常蛋白质饲料组最低, 其他 2 组居中。与正常蛋白质饲料组相比, 构树干粉组和发酵构树组瘦肉率均显著降低 ($P < 0.05$)。与低蛋白质饲料组相比, 构树干粉组瘦肉率显著降低 ($P < 0.05$), 而发酵构树组与之差异不显著 ($P > 0.05$)。与正常蛋白质饲料组相比, 低蛋白质饲料组和发酵构树组肝脏重量显著降低 ($P < 0.05$), 而构树干粉组与之差异不显著 ($P > 0.05$)。不同饲料处理对育肥猪的胴体直长、眼肌

面积、心脏重量和脾脏重量均无显著影响 ($P > 0.05$)。

2.3 不同饲料处理对育肥猪血清生化指标的影响

由表 4 可知, 与正常蛋白质饲料组相比, 发酵构树组血清 UN 含量有降低的趋势 (-35.63% , $P = 0.07$)。血清 TP 含量以低蛋白质饲料组最低, 以构树干粉组最高, 其他 2 组居中。不同饲料处理对血清 ALB、GLU 和 IgM 含量以及 ALP 活性均无显著影响 ($P > 0.05$)。

2.4 不同饲料处理对育肥猪肉品质的影响

由表 5 可知, 与正常蛋白质饲料组相比, 构树干粉组背最长肌 a^* 值 (-22.52%) 显著降低 ($P < 0.05$)。与低蛋白质饲料组相比, 构树干粉组背最长肌 b^* 值 ($+28.15\%$) 显著增加 ($P < 0.05$)。与正常蛋白质饲料组相比, 构树干粉组背最长肌剪切力升高了 22.85% ($P < 0.05$), 而其他 2 组与之无显著差异 ($P > 0.05$)。与低蛋白质饲料组相比, 构树

干粉组失水率显著增加了 33.56% ($P < 0.05$), 而其他 2 组与之无显著差异 ($P > 0.05$)。与正常蛋白质饲料组相比, 发酵构树组背最长肌脂肪含量

提高了 24.53% ($P < 0.05$)。不同饲料处理对背最长肌 L^* 值、熟肉率、 $pH_{45 \text{ min}}$ 和 $pH_{24 \text{ h}}$ 均无显著影响 ($P > 0.05$)。

表 3 不同饲料处理对育肥猪胴体品质的影响

Table 3 Effects of different dietary treatments on carcass traits of finishing pigs ($n=7$)

项目 Items	组别 Groups				均值标准误 SEM	P 值 P-value
	A	B	C	D		
胴体直长 Carcass length/cm	95.42	92.86	94.50	94.25	0.66	0.384 9
平均背膘厚 Average backfat thickness/cm	1.98 ^b	2.34 ^a	2.26 ^{ab}	1.97 ^b	0.21	0.042 0
瘦肉率 Lean meat percentage/%	62.98 ^a	60.33 ^{ab}	57.06 ^c	59.92 ^{bc}	0.64	0.004 6
脂肪率 Fat percentage/%	11.69 ^b	14.46 ^a	12.89 ^{ab}	13.38 ^{ab}	0.56	0.096 9
眼肌面积 Loin-eye area/cm ²	38.20	41.69	46.54	43.39	1.13	0.326 5
心脏重量 Heart weight/kg	0.36	0.33	0.32	0.32	0.08	0.320 7
肝脏重量 Liver weight/kg	1.64 ^a	1.40 ^b	1.48 ^{ab}	1.43 ^b	0.15	0.034 8
脾脏重量 Spleen weight/kg	0.17	0.16	0.15	0.15	0.06	0.379 9

表 4 不同饲料处理对育肥猪血清生化指标的影响

Table 4 Effects of different dietary treatments on serum biochemical parameters of finishing pigs ($n=7$)

项目 Items	组别 Groups				均值标准误 SEM	P 值 P-value
	A	B	C	D		
总蛋白 TP/(g/L)	79.05 ^{ab}	72.53 ^b	84.10 ^a	79.55 ^{ab}	1.07	0.062 1
白蛋白 ALB/(g/L)	45.20	43.90	47.80	44.77	0.95	0.636 2
碱性磷酸酶 ALP/(U/L)	108.17	114.17	97.00	116.17	2.19	0.661 0
尿素氮 UN/(mmol/L)	5.08 ^a	4.47 ^{ab}	3.70 ^{ab}	3.27 ^b	0.44	0.066 9
葡萄糖 GLU/(mmol/L)	7.15	6.70	7.63	7.12	0.58	0.881 4
免疫球蛋白 M IgM/(g/L)	1.30	1.21	1.29	1.37	0.21	0.764 0

表 5 不同饲料处理对育肥猪肉品质的影响

Table 5 Effects of different dietary treatments on meat quality of finishing pigs

项目 Items	组别 Groups				均值标准误 SEM	P 值 P-value
	A	B	C	D		
亮度 L^*	35.37	35.32	34.99	34.88	0.49	0.918 9
红度 a^*	3.33 ^a	3.06 ^{ab}	2.58 ^b	2.91 ^{ab}	0.27	0.045 2
黄度 b^*	1.65 ^{ab}	1.35 ^b	1.73 ^a	1.47 ^{ab}	0.20	0.047 3
剪切力 Shear force/N	59.99 ^b	66.60 ^{ab}	73.70 ^a	72.05 ^{ab}	1.26	0.088 9
失水率 Water loss rate/%	25.67 ^{ab}	23.03 ^b	30.76 ^a	27.33 ^{ab}	0.83	0.029 3
熟肉率 Cooking percentage/%	45.21	41.86	44.43	44.74	0.71	0.258 1
$pH_{45 \text{ min}}$	6.45	6.30	6.40	6.29	0.19	0.443 4
$pH_{24 \text{ h}}$	5.49	5.47	5.45	5.51	0.11	0.523 5
肌内脂肪含量 IMF content/%	1.63 ^b	1.65 ^b	1.78 ^{ab}	2.03 ^a	0.19	0.015 2

2.5 不同饲料处理对育肥猪肌肉组织中游离氨基酸含量的影响

不同饲料处理对育肥猪背最长肌中游离氨基

酸含量的影响如表 6 所示。与正常蛋白质饲料组相比, 低蛋白质饲料中添加 10% 构树全株发酵饲料显著提高了背最长肌中组氨酸 (+45.20%)、精

氨酸(+30.87%)、甘氨酸(+17.35%)和 β -氨基异丁酸(+40.52%)含量($P<0.05$),而其他2组与之无显著差异($P>0.05$)。构树干粉组背最长肌中牛磺酸含量(+29.36%)显著高于正常蛋白质饲料组($P<0.05$),鹅肌肽含量(+22.49%)显著高于低蛋白质饲料组($P<0.05$)。不同饲料处理对育肥猪背最长肌中其他游离氨基酸含量无显著影响($P>0.05$)。

不同饲料处理对育肥猪比目鱼肌中游离氨基酸含量的影响如表7所示。与正常蛋白质饲料组相比,构树干粉组比目鱼肌中异亮氨酸(-18.62%)、蛋氨酸(-35.62%)、酪氨酸(-23.76%)和 α -氨基己二酸含量(-35.38%)显著降低($P<0.05$),但瓜氨酸含量(+51.73%)显著

提高($P<0.05$)。发酵构树组比目鱼肌中 β -氨基异丁酸含量(-49.51%)较正常蛋白质饲料组显著降低($P<0.05$),其他游离氨基酸含量与正常蛋白质饲料组无显著差异($P>0.05$)。发酵构树组比目鱼肌中蛋氨酸(+40.85%)、丙氨酸(+44.37%)、谷氨酸(+93.84%)和 α -氨基己二酸含量(+35.74%)显著高于构树干粉组($P<0.05$)。与低蛋白质饲料组相比,构树干粉组比目鱼肌中苏氨酸(-33.24%)和谷氨酸含量(-46.39%)显著降低($P<0.05$),而 β -氨基异丁酸含量(+45.66%)显著升高($P<0.05$)。发酵构树组比目鱼肌中蛋氨酸含量(+26.46%)显著高于低蛋白质饲料组($P<0.05$)。不同饲料处理对育肥猪比目鱼肌中其他游离氨基酸含量无显著影响($P>0.05$)。

表6 不同饲料处理对育肥猪背最长肌中游离氨基酸组成的影响(风干基础)

Table 6 Effects of different dietary treatments on free amino acid contents in *longissimus dorsi* muscle of finishing pigs (air-dry basis)

项目 Items	组别 Groups				均值标准误 SEM	P 值 P-value
	A	B	C	D		
必需氨基酸 EAA						
亮氨酸 Leucine	138.72	143.25	149.77	150.22	2.02	0.819 2
异亮氨酸 Isoleucine	91.38	101.22	94.14	92.95	1.60	0.701 0
缬氨酸 Valine	88.70	91.24	105.69	102.29	1.99	0.548 0
组氨酸 Histidine	30.84 ^b	37.80 ^{ab}	39.00 ^{ab}	44.78 ^a	1.17	0.048 7
赖氨酸 Lysine	98.45	101.81	98.91	108.85	1.75	0.744 8
蛋氨酸 Methionine	36.18	33.42	32.18	31.97	0.83	0.299 4
苯丙氨酸 Phenylalanine	108.44	111.75	119.10	105.17	1.69	0.544 0
苏氨酸 Threonine	101.76	85.76	90.25	98.03	1.71	0.397 3
必需氨基酸总量 Total EAA	694.47	706.25	729.03	734.24	4.33	0.917 1
非必需氨基酸 NEAA						
丙氨酸 Alanine	353.22	357.14	441.61	443.91	3.55	0.073 1
精氨酸 Arginine	68.42 ^b	74.49 ^{ab}	71.74 ^b	89.54 ^a	1.47	0.049 6
天冬氨酸 Aspartic acid	75.42	84.91	81.72	79.29	1.90	0.892 2
谷氨酸 Glutamic acid	129.59	135.46	119.19	115.95	1.77	0.270 1
甘氨酸 Glycine	167.65 ^b	178.57 ^{ab}	178.95 ^{ab}	196.74 ^a	1.81	<0.000 1
丝氨酸 Serine	84.53	79.44	77.26	89.78	1.62	0.535 1
酪氨酸 Tyrosine	95.70	101.28	96.80	97.61	1.43	0.871 3
脯氨酸 Proline	47.26	47.76	54.86	59.19	1.60	0.479 2
非必需氨基酸总量 Total NEAA	1 021.78	1 059.04	1 122.13	1 172.01	4.81	0.250 2
其他氨基酸 Other amino acids						
牛磺酸 Taurine	447.00 ^c	517.07 ^b	578.23 ^a	539.25 ^b	3.91	<0.000 1
α -氨基己二酸 α -aminoadipic acid	76.76	72.09	77.89	65.96	1.67	0.605 5
瓜氨酸 Citrulline	18.80	20.46	21.72	20.61	0.71	0.426 7
β -丙氨酸 β -alanine	123.28	136.87	124.70	101.04	2.16	0.201 1
β -氨基异丁酸 β -aminoisobutyric acid	47.31 ^c	56.02 ^b	64.11 ^a	66.48 ^a	0.99	<0.000 1
鹅肌肽 Anserine	529.38 ^c	494.28 ^d	605.46 ^a	563.57 ^b	1.84	<0.000 1
肌肽 Carnosine	16 786.15	16 946.29	15 775.44	16 523.48	17.20	0.679 0

表 7 不同饲料处理对育肥猪比目鱼肌中游离氨基酸含量的影响(风干基础)

Table 7 Effects of different dietary treatments on free amino acid contents in soleus muscle of finishing pigs (air-dry basis)

项目 Items	组别 Groups				均值标准误 SEM	P 值 P-value
	A	B	C	D		
必需氨基酸 EAA						
亮氨酸 Leucine	260.99	237.34	202.51	242.89	2.75	0.305 6
异亮氨酸 Isoleucine	143.27 ^a	130.18 ^{ab}	116.59 ^b	140.90 ^{ab}	1.67	0.096 9
缬氨酸 Valine	170.54	153.87	128.74	141.76	2.45	0.384 1
组氨酸 Histidine	81.48	90.85	66.89	72.32	1.94	0.427 8
赖氨酸 Lysine	226.09	263.54	167.43	195.72	3.26	0.171 4
蛋氨酸 Methionine	53.65 ^a	38.47 ^b	34.54 ^b	48.65 ^a	1.02	0.000 6
苯丙氨酸 Phenylalanine	171.07	141.83	138.88	165.88	1.94	0.104 7
苏氨酸 Threonine	193.81 ^{ab}	226.21 ^a	151.02 ^b	170.87 ^{ab}	2.58	0.060 4
必需氨基酸总量 Total EAA	1 300.90	1 282.29	1 006.60	1 178.99	6.35	0.280 0
非必需氨基酸 NEAA						
丙氨酸 Alanine	1 036.22 ^b	1 224.77 ^{ab}	943.27 ^b	1 361.80 ^a	6.12	0.045 1
精氨酸 Arginine	167.02	185.96	128.53	186.11	2.93	0.329 3
天冬氨酸 Aspartic acid	146.62	155.17	155.73	143.47	1.76	0.698 5
谷氨酸 Glutamic acid	212.97 ^{ab}	242.22 ^a	129.86 ^b	251.72 ^a	3.21	0.033 3
甘氨酸 Glycine	342.17	440.71	355.40	440.14	3.53	0.116 7
丝氨酸 Serine	244.90	259.00	180.30	213.13	3.32	0.322 6
酪氨酸 Tyrosine	161.52 ^a	123.15 ^b	127.09 ^b	142.24 ^{ab}	1.80	0.034 2
脯氨酸 Proline	197.80	168.39	154.13	167.44	2.76	0.554 2
非必需氨基酸总量 Total NEAA	2 509.22	2 799.36	2 174.30	2 906.04	8.72	0.110 0
其他氨基酸 Other amino acids						
牛磺酸 Taurine	2 011.95	2 682.68	2 250.50	2 512.15	11.42	0.606 8
α -氨基己二酸 α -aminoadipic acid	69.19 ^a	53.00 ^{bc}	44.71 ^c	60.69 ^{ab}	1.32	0.015 7
瓜氨酸 Citrulline	22.77 ^b	36.00 ^a	34.55 ^a	30.31 ^{ab}	1.03	0.024 0
β -丙氨酸 β -alanine	97.91	92.72	73.62	117.38	2.34	0.295 2
β -氨基异丁酸 β -aminoisobutyric acid	54.88 ^a	35.57 ^b	51.81 ^a	27.71 ^b	1.15	0.000 1
鹅肌肽 Anserine	597.70	686.92	658.32	712.24	4.24	0.449 0
肌肽 Carnosine	12 892.72	13 126.54	13 489.45	13 538.93	22.99	0.988 5

3 讨论

本试验所用构树全株干粉中粗蛋白质、粗脂肪、粗纤维的含量分别为 13.20%、3.59%、22.61%，该结果与黄新等^[14]的研究结果一致，其表明杂交构树全株年平均粗蛋白质含量为(14.80±2.13)% (风干基础)。本试验所用构树全株发酵饲料中粗蛋白质、粗脂肪和粗纤维的含量分别为 15.99%、2.55%、9.63%。由此可见，经过发酵的构树全株比其粉末营养价值更高，具体表现为粗蛋白质含量增加且粗纤维含量降低。张兴等^[12]研究发现，用 30% 的构树全株发酵饲料替代

部分全价料对湘沙猪配套系商品猪(育肥阶段)生长性能无显著影响。杨青春等^[8]研究发现，在基础饲料中添加 10% 构树叶粉对育肥猪生长性能无显著影响。本试验结果与上述研究结果类似，在本试验中，低蛋白质饲料中添加 10% 构树全株干粉或 10% 构树全株发酵饲料对育肥猪的生长性能无显著影响。但是，该研究结果与林萌萌等^[15]所得结果不同，其结果表明构树全株发酵饲料在育肥猪饲料中的添加量应控制在 3% 以下，添加量越高，育肥猪生长性能越差。上述研究结果的差异可能与构树全株的发酵工艺(如发酵剂的选择和发酵条件等)不同有关，具体原因尚需进一步分

析。综上所述,在本试验条件下,低蛋白质饲料中添加构树全株干粉或构树全株发酵饲料饲喂育肥猪是可行的。

血清生化指标可反映动物机体生理机能和代谢情况。血清中 TP 和 ALB 含量可反映机体对蛋白质吸收和代谢的情况^[16]。由本试验结果可知,低蛋白质饲料中添加 10% 构树全株干粉或构树全株发酵饲料对血清中 TP 和 ALB 含量均无显著影响,表明不同饲料处理对育肥猪的蛋白质代谢未产生显著影响。血清中 ALP 活性与动物生长速度呈正相关,且可反映肝脏和胆囊组织的健康状况^[17-18]。本试验发现育肥猪血清 ALP 活性不受饲料处理的影响,表明不同饲料处理对育肥猪的生长速度和肝脏健康无负面影响,该结果与生长性能结果相呼应。血清 UN 含量可反映机体蛋白质代谢和氨基酸平衡状态,UN 含量越高,机体蛋白质分解代谢越强;反之,UN 含量越低,蛋白质分解代谢越弱,蛋白质沉积增加^[18]。本试验发现,低蛋白质饲料中添加 10% 构树全株发酵饲料有降低血清中 UN 含量的趋势,说明机体蛋白质分解代谢得到一定程度地改善。血清 GLU 和 IgM 含量可分别反映机体能量代谢水平和免疫机能^[16]。本试验结果显示,不同饲料处理对血清 GLU 和 IgM 含量无显著影响,表明低蛋白质饲料中添加 10% 构树全株干粉或构树全株发酵饲料对育肥猪能量代谢和免疫力均无负面影响。

评价动物胴体品质的指标有平均背膘厚、脂肪率、瘦肉率、脏器重量等。研究表明,低蛋白质饲料会提高平均背膘厚和脂肪率,使猪只过肥^[19-20]。与该结果类似,在本试验中,低蛋白质饲料显著提高了育肥猪的平均背膘厚和脂肪率。有趣的是,在饲料中添加植物性饲料,如苕麻粉或桑叶粉,可降低育肥猪的背膘厚,提高眼肌面积,改善胴体性状^[10-11]。本试验结果亦表明低蛋白质饲料中添加 10% 构树全株干粉或构树全株发酵饲料均降低了育肥猪的平均背膘厚和脂肪率。此外,低蛋白质饲料中添加 10% 构树全株干粉还显著降低了瘦肉率。既往研究表明,生长猪饲料中添加适量发酵构树叶可增加其瘦肉率和眼肌面积,并可降低背膘厚度^[21]。与添加发酵构树叶不同,湘沙猪饲料中添加构树全株发酵饲料除有增加背最长肌大理石纹趋势外,对其他胴体性状无显著影响^[12]。上述研究结果不一致的原因可能与猪的品

种、发酵构树使用的阶段和添加量等有关。综上所述,低蛋白质饲料可使猪只过肥,而添加构树全株干粉或构树全株发酵饲料均可改善猪只过肥的现象,但添加构树全株干粉亦会显著降低瘦肉率,具体作用机制有待进一步研究。

肉质一直以来都是养猪生产的重要经济性状,它与肉类加工、储存有效性和零售质量等息息相关,其评价指标包括肉色、剪切力、失水率、pH、肌内脂肪含量等^[22]。肉色是消费者直观评价肉品好坏的重要指标,剪切力和失水率是评价肌肉嫩度的指标^[23]。研究表明,饲料中添加植物性饲料可以提高猪肉嫩度,改善肉色^[10-11]。在猪禽饲料中用构树发酵饲料代替部分常规饲料,可改善猪肉和鸡蛋的质量及风味^[1]。李海新^[21]研究表明,在生长猪饲料中添加 10% 的发酵构树叶可提高肌内脂肪含量,有改善肉色的趋势。肌内脂肪含量是重要的肉质指标,与肉的嫩度、多汁性和风味呈正相关^[24-25]。与李海新^[21]的研究结果一致的是,本试验发现低蛋白质饲料中添加 10% 构树全株发酵饲料可显著提高育肥猪背最长肌中肌内脂肪含量,从而改善猪肉品质。唐亮^[26]研究表明,生长育肥猪饲料中添加 4%~12% 的构树叶粉可增加猪肉剪切力,降低猪肉嫩度。在本试验中,添加 10% 构树全株干粉的低蛋白质饲料降低了猪肉的 a^* 值,增加了 b^* 值,并提高了剪切力和失水率。肉的剪切力与其嫩度呈负相关^[27],而水分流失会带走肉中的营养物质、风味物质、血红素等,对肉的营养价值、风味和肉色造成损害^[28]。由此可见,低蛋白质饲料中添加 10% 构树全株干粉对肉品质产生了不利影响,其原因可能是未经处理的构树全株干粉中粗纤维和抗营养因子含量较高^[29]。因此,从肉品质角度分析,构树全株在低蛋白质饲料中以发酵饲料的形式添加更为适宜。

猪肉氨基酸含量及其组成比例对猪肉的营养价值有重要影响,某些氨基酸还是重要的风味物质^[30]。据报道,饲料中添加植物性饲料可提高猪肉中游离氨基酸含量,改善氨基酸组成。例如,湘村黑猪饲料中添加桑叶粉提高了其背最长肌中蛋氨酸、苯丙氨酸、色氨酸和谷氨酸等游离氨基酸的含量^[11]。李海新^[21]研究表明,生长育肥猪饲料中添加 10% 发酵构树枝叶或构树鲜叶可显著提高肌肉中游离氨基酸和谷氨酸钠的含量。杨青春等^[8]研究亦表明,饲料中添加 10% 构树叶粉可使育肥

猪背最长肌中游离氨基酸和谷氨酸钠含量分别提高 8.25% 和 13.62%。本试验结果表明,低蛋白质饲料中添加 10% 构树全株发酵饲料提高了育肥猪背最长肌中组氨酸、精氨酸和甘氨酸等游离氨基酸的含量,而低蛋白质饲料中添加 10% 构树全株干粉降低了比目鱼肌中异亮氨酸、丙氨酸、蛋氨酸、酪氨酸、苏氨酸和谷氨酸等游离氨基酸的含量。谷氨酸、甘氨酸、异亮氨酸和丙氨酸是肉香味的必需前体氨基酸,尤其是谷氨酸,是猪肉中的主要鲜味物质^[31];苏氨酸有甜味,且经加热后,可与糖分发生反应,产生重要的挥发性味道成分^[31]。综上所述,低蛋白质饲料中添加 10% 构树全株干粉或构树全株发酵饲料对育肥猪肉品质的影响具有肌纤维特异性,具体表现为构树全株发酵饲料可提高背最长肌(以 II 型肌纤维为主)的营养价值,改善其风味,而对比目鱼肌(以 I 型肌纤维为主)中游离氨基酸含量没有负面影响;而构树全株干粉对背最长肌中游离氨基酸含量影响较小,但会减少比目鱼肌中游离氨基酸的含量。

4 结 论

① 低蛋白质饲料中添加 10% 构树全株干粉或构树全株发酵饲料对育肥猪生长性能无负面影响,但可降低平均背膘厚和脂肪率。

② 低蛋白质饲料中添加 10% 构树全株干粉会提高育肥猪背最长肌的失水率,降低其嫩度,使肉色偏黄,从而降低猪肉品质,并减少比目鱼肌中游离氨基酸含量,从而损害其风味和营养价值;而低蛋白质饲料中添加 10% 构树全株发酵饲料可提高育肥猪背最长肌中肌肉脂肪和游离氨基酸的含量,改善肌肉风味和营养价值。

③ 综上可知,低蛋白质饲料中添加 10% 构树全株发酵饲料饲喂育肥猪,效果优于添加 10% 构树全株干粉。

参考文献:

[1] 蔡玉,陈国顺,支喜军,等.构树发酵饲料在猪禽养殖中的应用研究进展[J].畜牧兽医杂志,2019,38(1):41-45.

[2] 彭皓,赵婉雨.杂交构树产业技术分析报告[J].高科技与产业化,2019(4):48-66.

[3] 李兰海,王自蕊,游金明,等.构树叶在畜禽生产中的应用研究进展[J].饲料工业,2018,39(1):24-26.

[4] 刘兆阳.杂交构树的营养功能及其在畜禽中的应用[J].饲料研究,2019,42(1):121-122.

[5] 屠焰,刁其玉,张蓉,等.杂交构树叶的饲用营养价值分析[J].草业科学,2009,26(6):136-139.

[6] 王永树,江浩,谢先中.构树叶饲喂巴马香猪的效果试验[J].黑龙江畜牧兽医,2016(20):194-195.

[7] 夏中生,何国英,廖志超,等.构树叶粉用作生长肥育猪饲料的营养价值评价[J].粮食与饲料工业,2008(12):37-38.

[8] 杨青春,陈绍红,刘铀.构树叶对育肥猪生产性能、肉品质及营养物质表观消化率的影响[J].河南农业科学,2014,43(7):133-137.

[9] 宋博,尹杰,郑昌炳,等.低蛋白质日粮在畜禽生产中的应用研究进展[J].中国饲料,2020(3):8-15.

[10] LI Y H, LIU Y Y, LI F N, et al. Effects of dietary ramie powder at various levels on carcass traits and meat quality in finishing pigs[J]. Meat Science, 2018, 143: 52-59.

[11] LIU Y Y, LI Y H, PENG Y L, et al. Dietary mulberry leaf powder affects growth performance, carcass traits and meat quality in finishing pigs[J]. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition, 2019, 103(6): 1934-1945.

[12] 张兴,朱少中,杨旗,等.构树发酵饲料对湘沙猪配套系商品猪生长性能、胴体品质和肌肉品质的影响[J].动物营养学报,2019,31(12):5760-5771.

[13] 陈亚静,付雪林,倪德斌,等.猪肌肉内脂肪测定方法的比较[J].华中农业大学学报,2015,34(4):84-88.

[14] 黄新,郑开之,郑会超,等.杂交构树的生物产量、营养动态及生态价值[J].粮食与饲料工业,2019(9):44-48.

[15] 林萌萌,何振刚,郑爱华,等.全株发酵杂交构树替代蛋白饲料对育肥猪生长性能、粪污排放量及养分表观消化率的影响[J].饲料研究,2019,42(4):29-32.

[16] 王宇波,许豆豆,何鑫,等.低蛋白饲料缬氨酸水平对肥育猪生长性能、胴体性状和肉品质的影响[J].畜牧兽医学报,2019,50(9):1832-1840.

[17] 沈斐斐,陆伦根.肝脏碱性磷酸酶:胆汁淤积和胆道损伤的标志物[J].临床肝胆病杂志,2016,32(5):1026-1030.

[18] 胡新旭,周映华,卞巧,等.无抗发酵饲料对生长育肥猪生产性能、血液生化指标和肉品质的影响[J].华中农业大学学报,2015,34(1):72-77.

[19] KERR B J, MCKEITH F K, EASTER R A. Effect on performance and carcass characteristics of nursery to

- finisher pigs fed reduced crude protein, amino acid-supplemented diets [J]. *Journal of Animal Science*, 1995, 73(2):433-440.
- [20] SUÁREZ-BELLOCH J, LATORRE M A, GUADA J A. The effect of protein restriction during the growing period on carcass, meat and fat quality of heavy barrows and gilts [J]. *Meat Science*, 2016, 112:16-23.
- [21] 李海新. 发酵构树叶对生长猪营养物质消化率、肥育性能、屠宰性能及肉质的影响 [D]. 硕士学位论文. 湛江: 广东海洋大学, 2010.
- [22] ROSENVOLD K, ANDERSEN H J. Factors of significance for pork quality—a review [J]. *Meat Science*, 2003, 64(3):219-237.
- [23] 尹靖东. 动物肌肉生物学与肉品科学 [M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2011.
- [24] FLORES M, ARMERO E, ARISTOY M C, et al. Sensory characteristics of cooked pork loin as affected by nucleotide content and post-mortem meat quality [J]. *Meat Science*, 1999, 51(1):53-59.
- [25] WOOD J D, BROWN S N, NUTE G R, et al. Effects of breed, feed level and conditioning time on the tenderness of pork [J]. *Meat Science*, 1996, 44(1/2):105-112.
- [26] 唐亮. 饲料中构树叶粉对生长肥育猪生产性能、胴体品质、血清生化指标及养分消化率的影响 [D]. 博士学位论文. 南宁: 广西大学, 2008.
- [27] EBARB S M, PHELPS K J, DROUILLARD J S, et al. Effects of anabolic implants and ractopamine-HCl on muscle fiber morphometrics, collagen solubility, and tenderness of beef *longissimus lumborum* steaks [J]. *Journal of Animal Science*, 2017, 95(3):1219-1231.
- [28] LUCIANO G, MONAHAN F J, VASTA V, et al. Dietary tannins improve lamb meat colour stability [J]. *Meat Science*, 2009, 80(7):120-125.
- [29] 彭海龙, 江书忠, 罗平成. 构树在养猪生产上的应用研究 [J]. *饲料博览*, 2018(12):52-58.
- [30] LI Y H, LI F N, DUAN Y H, et al. Low-protein diet improves meat quality of growing and finishing pigs through changing lipid metabolism, fiber characteristics, and free amino acid profile of the muscle [J]. *Journal of Animal Science*, 2018, 96(8):3221-3232.
- [31] 陈国顺. 子午岭野家杂种猪和合作猪肉质特性比较及风味挥发性成分的提取与分析 [D]. 博士学位论文. 兰州: 甘肃农业大学, 2004.

Effects of Low-Protein Diet Supplemented with Fermented *Broussonetia papyrifera* on Growth Performance, Carcass Traits and Meat Quality of Finishing Pigs

SONG Bo¹ ZHENG Changbing^{1,2} ZHONG Yinzhao¹ TIAN Mengli¹ WU Maisheng³ YANG Qi⁴
ZHU Shaozhong⁴ ZHANG Xing⁵ LI Fengna¹ DUAN Yehui^{1*} YIN Yulong^{1,2*}

(1. Key Laboratory of Animal Nutritional Physiology and Metabolic Process of Hunan, Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Changsha 410125, China; 2. College of Animal Science, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 3. Xiangtan Agricultural and Countryside of Bureau, Xiangtan 411104, China; 4. Xiangtan Huayang *Broussonetia Papyrifera* Industry Development Limited Company, Xiangtan 411228, China; 5. Animal Breeding Station of Xiangtan, Xiangtan 411104, China)

Abstract: This study aimed to investigate the effects of low-protein diet supplemented with fermented *Broussonetia papyrifera* (FBP) on growth performance, carcass traits and meat quality of finishing pigs. Twenty-eight healthy finishing pigs with similar body weight [(63.53±0.40) kg] were randomly assigned into the following four groups ($n=7$): normal protein diet group, dietary crude protein content was 16%; low-protein diet group, dietary crude protein content was 13%; *Broussonetia papyrifera* powder (BPP) group, diet supplemented with 10% BPP and dietary crude protein content was 13%; FBP group, diet supplemented with 10%

FBP and dietary crude protein content was 13%. The pre-experimental period lasted for 7 days, and the experimental period lasted for 45 days. The results showed as follows: 1) different dietary treatments had no significant effects on the growth performance of finishing pigs ($P>0.05$). 2) Compared with the normal protein diet group, the lean meat percentage of finishing pigs in low-protein diet group was not significantly changed ($P>0.05$), but the average backfat thickness (+18.18%) and fat percentage (+23.48%) were significant increased ($P<0.05$), and they could restore the level of normal protein diet group when low-protein diet supplemented with 10% BPP or FBP. 3) Compared with the low-protein diet group, the lean meat percentage of finishing pigs in BPP group was significantly reduced, while those in the FBP group had no significant changes ($P>0.05$). 4) Compared with the normal protein diet group, the liver weight in the low-protein diet group and FBP group was significantly reduced ($P<0.05$), while the heart weight and spleen weight were not significantly different among the groups ($P>0.05$). 5) Compared with the normal protein diet group, low-protein diet supplemented with 10% FBP had a tendency to reduce the serum urea nitrogen content (-35.63%, $P=0.07$). 6) Compared with the normal protein diet group, low-protein diet supplemented with 10% BPP significantly increased the shear force (+22.85%, $P<0.05$) and decreased the redness (a^*) value (-22.52%, $P<0.05$) of *longissimus dorsi* muscle, and significantly increased the intramuscular fat content (+24.54%, $P<0.05$). 7) Compared with the normal protein diet group, the contents of isoleucine, methionine, tyrosine and α -aminoadipic acid in soleus muscle in the BPP group were decreased by 18.62%, 35.62%, 23.76% and 35.38% ($P<0.05$), respectively, and the contents of histidine, arginine, glycine, taurine, β -aminoisobutyric acid in *longissimus dorsi* muscle and the content of alanine in soleus muscle in the FBP group were increased by 45.20%, 30.87%, 43.00%, 20.64%, 40.52% and 31.42% ($P<0.05$), respectively. In conclusion, low-protein diet supplemented with 10% FBP exerts no negative effects on the growth performance of finishing pigs, but can reduce the serum urea nitrogen content and average backfat thickness, and increase the contents of intramuscular fat and amino acids in muscle, thus improving the flavor and nutritional value of meat. The feeding effects of FBP are better than those of BPP. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2020, 32(10): 4841-4851]

Key words: fermented *Broussonetia papyrifera*; low-protein diet; finishing pigs; growth performance; carcass traits; meat quality