

发酵构树饲料对断奶仔猪生长性能、养分表观消化率和血清生化指标的影响

邓 铭¹ 池 宙¹ 林东波¹ 杨镇玮¹ 于国安² 许小斌³ 郭勇庆^{1*} 刘德武^{1*}

(1.华南农业大学动物科学学院,广州 510642;2.广东省食品进出口集团有限公司,广州 510100;

3.河源市天楮农牧业有限公司,河源 517001)

摘要: 本试验旨在研究饲料中不同比例发酵构树饲料对断奶仔猪生长性能、养分表观消化率和血清生化指标的影响。试验选取 35 日龄、体重为(7.4±1.1) kg 的健康断奶仔猪 216 头,随机分为 I (对照)、II、III、IV 组,每组 3 个重复,每个重复 18 头仔猪。其中, I 组饲喂基础饲料; II 组饲喂 3% 发酵构树饲料+97% 基础饲料; III 组饲喂 6% 发酵构树饲料+94% 基础饲料; IV 组饲喂 9% 发酵构树饲料+91% 基础饲料。预试期 5 d, 正试期 25 d。结果表明: 1) 与 I 组相比, II、III、IV 组断奶仔猪的腹泻率显著降低($P<0.05$), 各组间平均日采食量(ADFI)、平均日增重(ADG)和料重比(F/G)无显著差异($P>0.05$)。2) 与 I 组相比, II、III、IV 组粗蛋白质(CP)、粗脂肪(EE)、钙(Ca)和磷(P)表观消化率均显著降低($P<0.05$)。3) III 组血清总胆固醇(TC)含量较 I、II、IV 组显著降低($P<0.05$); 各组间其他血清生化指标无显著差异($P>0.05$)。4) 各组间血清超氧化物歧化酶(SOD)活性、丙二醛(MDA)含量及总抗氧化能力(T-AOC)无显著差异($P>0.05$)。综上所述, 饲料中不同比例发酵构树饲料可以显著降低断奶仔猪的腹泻率, 未对生长性能、血清生化指标和抗氧化指标产生不利影响, 其中 6% 的替代比例效果最佳。

关键词: 发酵构树饲料; 断奶仔猪; 生长性能; 表观消化率; 血清生化指标

中图分类号: S828

文献标识码: A

文章编号: 1006-267X(2021)01-0165-10

断奶期是养猪生产中的关键阶段, 此期间仔猪胃肠道逐渐发育完善, 并开始独立摄取营养物质。但是, 断奶仔猪肠道发育不完全, 受采食方式和营养变化的刺激, 易发生应激、腹泻等症状, 造成生长迟缓, 因此断奶阶段饲养的优劣将直接影响猪场的生产效益^[1]。同时, 从 2020 年 7 月 1 日起, 饲料企业停止生产含有抗生素类添加剂的产品, 我国生猪养殖行业迎来重大变革。因此, 通过发酵饲料及其组成调控仔猪的胃肠道菌群、提高生长性能和免疫功能、控制腹泻等, 对断奶仔猪的饲养意义重大^[2-4]。

构树是我国优良的非常规饲料, 含有多种活

性物质, 有凉血清淤、抗氧化、提高免疫力等功效。近年来, 构树饲料及其发酵产品在鸡、育肥猪、牛、羊养殖中取得了良好的应用效果^[5-6], 但在断奶仔猪上的应用研究相对缺乏。本研究前期对全株构树进行青贮试验, 发现青贮后构树粗蛋白质含量升高 10.40%, 粗脂肪含量升高 52.21%, 粗纤维含量下降 6.87%^[7]。因此, 结合饲料中全面禁抗的实际情况, 根据断奶仔猪的生理特性, 在饲料中添加适宜比例的发酵构树饲料, 在减轻断奶应激和提高生长性能等方面具有较高的应用价值。本试验旨在用不同比例发酵构树饲料替代基础饲料, 研究其对仔猪生长性能、养分表观消化率和血清

收稿日期: 2020-06-18

基金项目: 广东省畜禽地方品种保护与开发利用提升工程; 广东省现代农业产业技术体系(2019KJ127)

作者简介: 邓 铭(1986—), 男, 湖南常德人, 实验师, 博士研究生, 研究方向为动物健康养殖与安全生产。E-mail: dengming@scau.edu.cn

* 通信作者: 郭勇庆, 讲师, 硕士生导师, E-mail: yongqing@scau.edu.cn; 刘德武, 教授, 博士生导师, E-mail: dwliu@scau.edu.cn

生化指标的影响,为发酵构树饲料在断奶仔猪上的合理使用提供数据支撑,为减抗、替抗时代的仔猪健康养殖提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

发酵构树饲料由河源市某牧业有限公司提供。构树全株(高度 1.2 m,留茬约 20 cm)收割后晒干粉碎(去除木质化严重的茎秆),按构树粉 85.0%、玉米粉 8.0%、益生菌(主要成分为酵母菌、乳酸菌和芽孢杆菌)2.5%、甘蔗糖蜜 4.5%,混匀,密封发酵 3~5 d。发酵构树饲料的风干物质营养成分含量为:干物质 55.00%,粗蛋白质 17.80%,

粗脂肪 1.75%,粗纤维 13.14%,粗灰分 12.06%,钙 1.36%,磷 1.07%。

1.2 试验设计与饲粮

本试验在广东省汕尾市宝山猪场有限公司进行。选用 35 日龄、体重为(7.4±1.1) kg 的健康三元(杜×长×大)断奶仔猪 216 头,按体重相近和公母各占 1/2 原则随机分为 I(对照)、II、III、IV 组,每组 3 个重复,每个重复 18 头仔猪。其中, I 组饲喂基础饲粮, II、III、IV 组分别用 3%、6% 和 9% 的发酵构树饲料替代基础饲粮。预试期 5 d,正试期 25 d。试验饲粮参照 NRC(2012) 营养需要配制,其组成及营养水平见表 1。

表 1 试验饲粮组成及营养水平(风干基础)

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

%

项目 Items	组别 Groups			
	I (对照 Control)	II	III	IV
原料 Ingredients				
发酵构树饲料 Fermented <i>Broussonetia papyrifera</i> feed		3.00	6.00	9.00
玉米 Corn	29.50	28.64	27.73	26.85
膨化玉米 Puffed corn	20.00	19.40	18.80	18.20
小麦粉 Wheat flour	8.00	7.75	7.52	7.28
豆粕 Soybean meal	21.00	20.37	19.74	19.11
鱼粉 Fish meal	4.00	3.88	3.76	3.64
大豆油 Soybean oil	2.50	2.42	2.35	2.28
乳清蛋白粉 Whey protein powder	5.00	4.85	4.70	4.55
葡萄糖 Glucose	2.50	2.42	2.35	2.27
白糖 White sugar	2.50	2.42	2.35	2.27
预混料 Premix ¹⁾	5.00	4.85	4.70	4.55
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels ²⁾				
消化能 DE/(MJ/kg)	14.77	14.61	14.46	14.30
粗纤维 CF	2.60	2.91	3.23	3.55
粗蛋白质 CP	18.60	18.33	18.31	18.12
粗脂肪 EE	4.30	4.12	4.07	4.03
粗灰分 Ash	8.27	8.27	8.29	8.29
总磷 TP	0.63	0.59	0.59	0.59
钙 Ca	0.68	0.66	0.64	0.64

1) 预混料为每千克饲粮提供 Premix provided the following per kg of diets: Fe 90 mg, Zn 100 mg, Cu 90 mg, Mn 20 mg, Se 0.3 mg, I 0.2 mg, VA 12 000 IU, VD₃ 3 500 IU, VE 120 IU, VK₃ 8 mg, VB₁ 5 mg, VB₂ 15 mg, VB₆ 10 mg, VB₁₂ 0.08 mg, 生物素 biotin 0.4 mg, 叶酸 folic acid 2.5 mg, D-泛酸 D-pantothenic acid 35 mg, 烟酸 nicotinic acid 65 mg, 氯化胆碱 choline chloride 500 mg。

2) 消化能和粗纤维为计算值,其余为实测值。DE and CF were calculated values, while the others were measured values.

试验仔猪均饲养于全封闭、负压通风、全漏缝地板保育舍,自由采食和饮水,投料量以料槽中略有余料为度。试验前按照猪场的管理程序对保育舍进行杀菌清洁,定时打扫圈舍。仔猪的疫苗注射、驱虫、检查等操作按猪场规定步骤实施。

1.3 样品采集及检测

1.3.1 生长性能和腹泻率

以每个重复为单位,准确记录每日投料量及剩料量,计算每只仔猪的平均日采食量(ADFI)。正式试验开始前和结束后的清晨,称重并记录每只试验猪的空腹(断食 12 h)体重,计算平均日增重(ADG)和料重比(F/G)。试验期每天 09:00 和 17:00 逐头检查仔猪肛门,观察有无粪便污染及红肿,并做好记录,试验结束后统计腹泻头数,腹泻率计算公式如下:

$$\text{腹泻率}(\%) = 100 \times \frac{\text{腹泻头数}}{\text{试验猪头数} \times \text{试验天数}}$$

1.3.2 养分表观消化率

正试期第 22~24 天连续采集各组饲料样品。新鲜粪样于正试期第 23~25 天早、晚 2 次以每个重复为单位收集。饲料中粗蛋白质、粗脂肪、钙和磷表观消化率使用盐酸不溶灰分(AIA)法测定,计算公式如下:

$$\text{某养分表观消化率}(\%) = 100 \times [1 - (\frac{\text{饲料中 AIA 含量}}{\text{粪中 AIA 含量}}) \times (\frac{\text{粪中该养分含量}}{\text{饲料中该养分含量}})]$$

1.3.3 血清生化指标

试验结束当天,晨饲前每重复随机取 3 头仔猪,前腔静脉采集 10 mL 血液,静置 1 h,

3 000 r/min 离心 5 min,分离血清置于 -20 °C 下保存待用。

血清总蛋白(TP)、白蛋白(ALB)、尿素氮(UN)、总胆固醇(TC)、葡萄糖(GLU)含量及谷草转氨酶(AST)、谷丙转氨酶(ALT)活性采用日立全自动生化分析仪(OLYMPUS-AU600)测定,检测试剂盒均购自中生北控生物科技公司。

1.3.4 血清抗氧化指标

血清中丙二醛(MDA)含量、总抗氧化能力(T-AOC)和超氧化物歧化酶(SOD)活性采用尤尼柯分光光度计(UNICO-7200)测定,检测试剂盒均购自南京建成生物工程研究所。

1.4 数据处理与统计分析

试验数据使用 Excel 2016 进行数据整理,采用 SPSS 22.0 软件进行单因素方差分析(one-way ANOVA),采用 LSD 多重比较法进行多组间的差异显著性分析,数据均以平均值±标准误表示,以 $P < 0.05$ 作为差异显著的判定标准。

2 结果与分析

2.1 发酵构树饲料对断奶仔猪生长性能的影响

由表 2 可知,各组间初重和末重均无显著差异($P > 0.05$)。与 I 组相比,II、III、IV 组腹泻率均显著降低($P < 0.001$),分别下降 22.51%、37.17% 和 53.51%。其中,IV 组的腹泻率最低,与 II、III 组相比,分别显著降低 18.92% 和 40.00% ($P < 0.05$)。与 I 组相比,III、IV 组 ADFI 和 ADG 有升高趋势,分别增加了 8.06%、6.81% 和 7.35%、5.84% ($P > 0.05$);但从料重比上看,II 组略低($P > 0.05$)。

表 2 发酵构树饲料对断奶仔猪生长性能的影响

Table 2 Effects of fermented *Broussonetia papyrifera* feed on growth performance of weaned piglets

项目 Items	组别 Groups				P 值 P-value
	I (对照 Control)	II	III	IV	
初重 IW/kg	7.30±0.66	7.46±0.74	7.53±0.75	7.35±0.72	0.996
末重 FW/kg	14.54±0.93	14.78±1.14	15.26±1.20	15.02±0.91	0.965
平均日采食量 ADFI/g	517.85±6.92	512.90±6.85	559.57±36.57	555.90±19.32	0.328
平均日增重 ADG/g	289.75±10.96	292.89±16.04	309.48±18.28	306.68±9.19	0.702
料重比 F/G	1.79±0.05	1.75±0.08	1.81±0.04	1.81±0.05	0.982
腹泻率 Diarrhea rate/%	9.55±2.50 ^a	7.40±0.47 ^b	6.00±0.77 ^b	4.44±0.80 ^c	<0.001

同行数据肩标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 small letter superscripts mean significant difference ($P < 0.05$), while with the same letter or no letter superscripts mean no significant difference ($P > 0.05$). The same as below.

2.2 发酵构树饲料对断奶仔猪养分表观消化率的影响

由表 3 可知,与 I 组相比,II、III、IV 组的粗蛋白质表观消化率显著降低 4.69%、5.13% 和 6.33% ($P=0.001$),钙表观消化率显著降低 20.46%、25.27% 和 26.41% ($P=0.046$);III、IV 组粗脂肪表

观消化率显著低于 I 组 ($P=0.001$),I、II 组间无显著差异 ($P>0.05$);与 I 组相比,II、III、IV 组磷表观消化率分别降低了 5.88%、7.56% 和 9.48% ($P<0.001$),II、III 组之间和 III、IV 组之间无显著差异 ($P>0.05$)。

表 3 发酵构树饲料对断奶仔猪养分表观消化率的影响

Table 3 Effects of fermented *Broussonetia papyrifera* feed on nutrient apparent digestibility of weaned piglets %

项目 Items	组别 Groups				P 值 P-value
	I (对照 Control)	II	III	IV	
粗蛋白质 CP	78.40±0.68 ^a	74.72±0.05 ^b	74.38±0.66 ^b	73.44±0.35 ^b	0.001
粗脂肪 EE	68.99±0.42 ^a	65.70±1.03 ^{ab}	64.04±0.41 ^b	64.33±2.09 ^b	0.046
磷 P	73.65±0.16 ^a	69.32±0.45 ^b	68.08±0.36 ^{bc}	66.67±1.30 ^c	0.001
钙 Ca	40.32±0.30 ^a	32.07±0.23 ^b	30.13±0.37 ^b	29.67±1.95 ^b	<0.001

2.3 发酵构树饲料对断奶仔猪血清生化指标的影响

由表 4 可知,III 组仔猪血清 TC 含量显著低于 I、II、IV 组 ($P<0.05$)。从血清中 TP、ALB 和 GLB 含量上看,II、III、IV 组均较 I 组有升高趋势,

但未达到显著水平 ($P>0.05$)。III 组血清 AST 和 ALT 活性与 I、II、IV 组相比有升高趋势 ($P>0.05$)。各组间血清 UN 和 GLU 含量差异不显著 ($P>0.05$)。

表 4 发酵构树饲料对断奶仔猪血清生化指标的影响

Table 4 Effects of fermented *Broussonetia papyrifera* feed on serum biochemical indexes of weaned piglets

项目 Items	组别 Groups				P 值 P-value
	I (对照 Control)	II	III	IV	
尿素氮 UN/(mmol/L)	2.55±0.65	2.74±0.61	2.28±0.44	2.83±0.78	0.721
葡萄糖 GLU/(mmol/L)	4.11±0.15	3.89±0.77	5.56±1.25	4.73±0.35	0.102
总胆固醇 TC/(mmol/L)	1.94±0.09 ^a	1.96±0.06 ^a	1.79±0.08 ^b	2.00±0.10 ^a	0.048
谷草转氨酶 AST/(U/L)	64.46±20.43	59.74±5.16	81.52±38.12	79.83±43.92	0.773
谷丙转氨酶 ALT/(U/L)	67.10±9.85	56.40±7.14	70.90±9.18	65.27±5.17	0.124
总蛋白 TP/(g/L)	48.37±4.45	55.49±2.63	50.80±3.42	52.80±5.02	0.243
白蛋白 ALB/(g/L)	19.08±2.36	24.09±2.54	21.14±2.23	22.21±2.54	0.163
球蛋白 GLB/(g/L)	29.29±2.12	31.40±1.60	29.66±3.04	30.59±2.48	0.702

2.4 发酵构树饲料对断奶仔猪血清抗氧化指标的影响

由表 5 可知,各组间血清抗氧化指标差异均不显著 ($P>0.05$)。II、III 组血清 MDA 含量均高于 I 组,IV 组低于 I 组。与 I 组相比,III、IV 组的血清 SOD 活性呈上升趋势,II 组则相反。II、III 组血清 T-AOC 低于 I 组,IV 组高于 I 组。

3 讨论

3.1 发酵构树饲料对断奶仔猪生长性能的影响

构树饲料经发酵后粗纤维含量降低,适口性得到改善;同时,发酵过程中产生大量乳酸和其他具有芳香性的抗氧化物质会促进动物唾液和消化液的分泌,能够有效刺激断奶仔猪的食欲,进而增强生长性能^[8-9]。本研究发现,不同比例的发酵构树替代基础饲料有提高断奶仔猪 ADFI 和 ADG 的趋势,其中 6% 替代比例效果最好,9% 替代比例组

ADFI 和 ADG 开始下降,但无显著差异。这可能原因是:1) 试验在 7—8 月进行,室内温度基本处于 27~32 ℃,此时断奶仔猪处于热应激状态,采食量受到环境温度的抑制^[10];2) 断奶仔猪的饲料为

粉末状干料,适口性相对较差,影响断奶仔猪的采食量^[11]。这 2 个方面原因共同抑制了发酵构树饲料对采食量的促进作用。

表 5 发酵构树饲料对断奶仔猪血清抗氧化指标的影响

Table 5 Effects of fermented *Broussonetia papyrifera* feed on serum antioxidant indexes of weaned piglets

项目 Items	组别 Groups				P 值 P-value
	I (对照 Control)	II	III	IV	
丙二醛 MDA/(nmol/mL)	9.10±2.35	10.10±1.15	9.42±1.18	8.91±1.34	0.801
超氧化物歧化酶 SOD/(U/mL)	52.99±3.46	50.49±8.28	60.99±4.17	58.14±17.30	0.583
总抗氧化能力 T-AOC/(U/mL)	10.66±1.67	8.97±2.99	10.15±1.20	11.42±1.29	0.504

构树饲料发酵后含有大量益生菌,为肠道有益菌的繁殖提供了良好的环境,促进了肠道对大肠杆菌等病菌的屏障作用,提高了仔猪免疫力,降低了腹泻率。胡新旭等^[12]发现乳酸菌发酵饲料能降低断奶仔猪腹泻率,改善肠道微生物平衡。王晓明等^[13]发现乳酸菌和复合蛋白酶制备的液体发酵饲料能增强断奶仔猪生长性能,改善胃肠机理,是优质的饲料。王晓丹等^[14]发现枯草芽孢杆菌显著降低断奶仔猪的腹泻率,增加日增重。本研究结果表明,不同比例发酵构树饲料替代基础饲料均可显著降低腹泻率,替代比例越高,降低趋势越大。这可能原因是:1) 断奶仔猪的肠道菌群易受饲料影响,发酵饲料中的大量益生菌可有效提高肠道的屏障作用,减少病菌的入侵^[15];2) 断奶仔猪肠道发育不全,一定含量的粗纤维反而促进肠道蠕动,有利于肠道健康。

3.2 发酵构树饲料对断奶仔猪养分表观消化率的影响

构树作为木本饲料的一种,营养结构相对复杂,粗纤维含量较高,不利于单胃动物的消化吸收^[16]。即使经发酵后,依旧有很多养分随畜禽粪便排出,使表观消化率降低。构树饲料中含有单宁,会在动物的肠道内与蛋白质和部分蛋白质消化酶结合成不溶性复合物,减少饲料的可消化利用比例^[17]。Lavin 等^[18]还发现,单宁还可与铁、铜等离子络合形成螯合物,从而降低矿物质离子的消化吸收率,甚至影响饲养动物的健康程度。除单宁外,发酵构树饲料还含有一部分的木质素、植酸、生物碱等抗营养因子,它们同时抑制养分的表观消化率。何国英^[19]在生长猪基础饲料中添加构

树叶粉,发现生长猪对各营养指标的表观消化率明显偏小,表明饲料中的构树叶粉会阻碍养分的消化吸收,降低养分的表观消化率。在本研究中,发现 3%、6%、9% 替代比例组粗蛋白质、磷和钙表观消化率显著低于对照组,且不同替代比例组之间无显著差异;对照组和 3% 替代比例组粗脂肪消化率差异不显著,但 6% 和 9% 替代比例组显著低于对照组。其原因可能是:发酵构树饲料中残存的抗营养成分抵消了有益菌群对养分吸收率的增益作用,导致表观消化率降低。

3.3 发酵构树饲料对断奶仔猪血清生化指标的影响

血清中 UN 含量的减少,反映了机体对 UN 的沉积量增加,氮的利用率提高^[8]。高印^[20]研究发现,仔猪饲料中添加 6% 益生菌发酵苹果渣可以显著降低血清 UN 含量,促进生长。本研究中,各組间血清 UN 含量差异不显著,说明一定比例发酵构树饲料不影响机体对氮的利用效率。

AST 和 ALT 活性反映肝脏对蛋白质和氨基酸的代谢能力,以及心脏和肝脏的健康状况,其活性上升可能表示心脏、肝脏正经受损伤^[21-22]。本试验中,相比对照组,使用 3% 替代比例的发酵构树饲料能降低血清 AST 活性,但替代比例达 6% 以上时,其活性在数值上出现较明显的上升。其原因可能是发酵构树饲料中含有较为复杂的药用成分,如黄酮、糖苷类、内酯类等,添加的剂量过多会加重幼畜肝脏负担,肝细胞受损破裂,从而反映出现象是血清 AST 和 ALT 活性上升^[22-23]。

TC 含量能反映机体脂肪代谢情况,血液 TC 含量过高会增加动脉粥样硬化和患心脏病的危

险,因此维持机体胆固醇的内环境稳态对机体非常重要^[24]。研究发现,饲料中添加构树叶粉对生长猪的脂肪沉积有积极影响^[25]。蒋小碟等^[26]发现发酵桑叶可降低血脂。邝哲师等^[27]发现用发酵蚕蛹豆粕粉替代25%的鱼粉,会显著提高血清中TC的含量。本试验中6%替代比例组血清TC含量显著降低,说明6%替代比例可促进仔猪的脂类代谢能力,加速皮下脂肪沉积和提高育肥效率,这与6%替代比例组仔猪的ADG最高相一致。GLU是细胞的能量来源和新陈代谢中间产物,是单胃动物最直接的能量来源。本试验各组仔猪血清GLU含量差异不显著,说明发酵构树饲料对断奶仔猪的糖类物质代谢影响不明显。

血清蛋白具有维持理化性质平衡、抑制有毒有害物质传播的作用。动物的代谢系统总是尽可能维持血浆蛋白质、氨基酸和组织蛋白之间的平衡^[28]。同时血清中TP和ALB含量反映了饲料中蛋白质在体内吸收和水解代谢的情况。王晓明等^[13]发现,液体发酵饲料能提高保育猪血清中TP含量。Cho等^[29]研究发现,饲喂10%或15%的发酵大豆蛋白于保育猪饲料中能提高饲料效率及血清ALB和TP含量。王玉田等^[30]发现,饲喂含枯草芽孢杆菌等复合益生菌的发酵饲料能提高断奶仔猪血清中TP含量。本试验中,3%、6%、9%替代比例组断奶仔猪的血清TP、ALB和GLB含量在数值上与对照组相比有不同程度的增加趋势,与前人研究结果一致,说明发酵构树饲料可提高仔猪对饲料蛋白质的吸收和代谢。

3.4 发酵构树饲料对断奶仔猪血清抗氧化指标的影响

氧化应激是断奶仔猪保育阶段的常见问题,仔猪断奶后抗氧化应激能力低下的现象普遍存在,对健康状态和生长效率产生较大的影响^[31]。MDA是机体脂质过氧化反应的最终产物,其含量直接反映脂质经受的氧化损害,间接反映动物体细胞的受损程度^[32]。SOD是动物体内的一类抗氧化酶,其活性效力的高低能有效反映机体清除自由基的能力^[33]。T-AOC反映机体内酶促和非酶促抗氧化系统整体对氧自由基的清除能力,可用于监测机体健康状况^[34]。当动物机体处在氧化应激状态下时,体内自由基氧化还原的动态平衡破坏,一部分自由基经SOD等酶促抗氧化系统还原成H₂O;另一部分则侵入细胞内,损伤机体细胞

膜、细胞器,与脂质成分过氧化反应生成MDA,进而影响T-AOC。本试验中3%、6%、9%替代比例组血清SOD活性、MDA含量呈现先升后降的趋势,T-AOC先降后升,未对仔猪的抗氧化指标产生显著影响。其原因可能是:仔猪处于断奶和高温双重应激,血清MDA含量较高,但随着发酵构树饲料替代比例的提高,血清中SOD活性增加,T-AOC增强,缓解了仔猪应激,血清MDA含量逐渐下降。

综上所述,发酵构树饲料对腹泻的显著改善,可能是一定水平的粗纤维降低了粗蛋白质的消化率。今后的研究应充分考虑构树的适宜刈割高度和木质化程度,或使用构树叶、更嫩的全株构树;以肠道发育和微生物多样性为切入点,研究发酵构树饲料在降低腹泻、提高ADG、不显著降低养分消化率三者之间的平衡点。

4 结论

① 不同比例发酵构树饲料替代基础饲料,显著降低了断奶仔猪腹泻率,ADFI、ADG、F/G无显著差异,6%为适宜的替代比例。

② 不同比例发酵构树饲料替代基础饲料,显著降低了粗蛋白质、粗脂肪、磷、钙表观消化率;6%替代比例显著降低了断奶仔猪血清TC含量,未对MDA含量、T-AOC和SOD活性产生显著影响。

参考文献:

- [1] 刘熙文.白藜芦醇和精油对感染细菌的仔猪生长性能、免疫和粪便微生物脱落的影响[J].中国饲料,2020(8):37-40.
LIU X W.Effects of resveratrol and essential oils on growth performance,immunity and fecal microbiological[J].China Feed,2020(8):37-40.(in Chinese)
- [2] 夏邹,冯江鑫,蒋俊劼,等.饲料组成及抗生素对断奶仔猪生长性能和肠道健康的影响[J].动物营养学报,2020,32(8):3594-3604.
XIA Z,FONG J X,JIANG J J,et al.Effects of diet composition and antibiotics on growth performance and intestinal health of weaned piglets[J].Chinese Journal of Animal Nutrition,2020,32(8):3594-3604.(in Chinese)
- [3] 张飞,李越,毕丁仁,等.猪源植物乳杆菌LPZ对断奶仔猪生长性能、免疫指标和粪挥发性脂肪酸的影

- 响[J/OL].中国畜牧杂志,2020;1-11[2020-09-15].<https://doi.org/10.19556/j.0258-7033.20191217-02>.
- ZHANG F, LI Y, BI D R, et al. Effects of wine-derived lactobacillus plantarum LPZ on growth performance, immune index and fecal VFA in weaning piglets [J/OL]. Chinese Journal of Animal Science, 2020; 1-11 [2020-09-15]. <https://doi.org/10.19556/j.0258-7033.20191217-02>. (in Chinese)
- [4] WEN K, LI G H, BUI T, et al. High dose and low dose *Lactobacillus acidophilus* exerted differential immune modulating effects on T cell immune responses induced by an oral human rotavirus vaccine in gnotobiotic pigs [J]. Vaccine, 2012, 30(6): 1198-1207.
- [5] 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.
- CAI Y, CHEN G S, ZHI X J, et al. Research progress on the application of *Broussonetia papyrifera* fermented feed in pigs and poultry breeding [J]. Journal of Animal Science and Veterinary Medicine, 2019, 38(1): 41-45. (in Chinese)
- [6] 左鑫, 陈哲, 谢强, 等. 不同产地构树叶粉和构树枝叶粉营养成分及其降解代谢能的测定 [J]. 动物营养学报, 2018, 30(7): 2823-2830.
- ZUO X, CHEN Z, XIE Q, et al. Determination of nutrients and metabolic energy of geese in *Broussonetia papyrifera* leaves powder and *Broussonetia papyrifera* twig leaves powder from different areas [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2018, 30(7): 2823-2830. (in Chinese)
- [7] 陈奕业, 邓铭, 李斌, 等. 不同添加剂对构树叶青贮品质的影响 [J]. 黑龙江畜牧兽医, 2019(14): 120-124.
- CHEN Y Y, DENG M, LI B, et al. Effects of different additives on silage quality of *Broussonetia papyrifera* leaves [J]. Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine, 2019(14): 120-124. (in Chinese)
- [8] 武进. 一种复合植物提取物对猪生长性能和肉质品质的影响 [D]. 硕士学位论文. 长沙: 湖南农业大学, 2012.
- WU J. Effects of a composite plant extract on growth performance and meat quality in pigs [D]. Master's Thesis. Changsha: Hunan Agricultural University, 2012. (in Chinese)
- [9] 杨荣, 王华朗, 韩垂旺, 等. 畜禽饲用微生物发酵饲料的应用研究进展 [J]. 广东饲料, 2019, 28(1): 39-43.
- YANG R, WANG H L, HAN C W, et al. Research progress on application of microbial fermented feed for livestock and poultry feeding [J]. Guangdong Feed, 2019, 28(1): 39-43. (in Chinese)
- [10] 田宗祥, 郭志明, 张玲清. 环境温度对猪采食量的影响研究进展 [J]. 国外畜牧学(猪与禽), 2017, 37(9): 38-39.
- TIAN Z X, GUO Z M, ZHANG L Q. Research progress on the influence of environmental temperature on pig feed intake [J]. Animal Science Abroad (Pigs and Poultry), 2017, 37(9): 38-39. (in Chinese)
- [11] 杨先秋. 影响猪采食量的因素及对策 [J]. 畜牧兽医科技信息, 2016(7): 76.
- YANG X Q. Factors affecting pig feed intake and countermeasures [J]. Chinese Journal of Animal Husbandry and Veterinary Medicine, 2016(7): 76. (in Chinese)
- [12] 胡新旭, 周映华, 刘惠知, 等. 微生物发酵饲料对断奶仔猪生长性能、肠道菌群、血液生化指标、消化性能和免疫功能的影响 [C] // 中国畜牧兽医学会 2013 年学术年会论文集. 北京: 中国畜牧兽医学会, 2013.
- HU X X, ZHOU Y H, BIAN Q, et al. Effects of microbial fermented feed on growth performance, intestinal flora, blood biochemical indicators, digestive performance and immune function of weaned piglets [C] // Proceedings of the 2013 Annual Conference of the Chinese Society of Animal Husbandry and Veterinary Medicine. Beijing: Chinese Association of Animal Science and Veterinary Medicine, 2013. (in Chinese)
- [13] 王晓明, 邓敦, 舒剑成, 等. 液体发酵饲料对断奶仔猪生长性能及血液生化指标的影响 [J]. 广东饲料, 2018, 27(3): 21-24.
- WANG X M, DENG D, SHU J C, et al. Effect of liquid fermented feed on growth performance and blood biochemical indexes of weanling piglet [J]. Guangdong Feed, 2018, 27(3): 21-24. (in Chinese)
- [14] 王晓丹, 孔祥峰, 赵越, 等. 枯草芽孢杆菌对断奶仔猪生长性能和血浆生化参数的影响 [J]. 动物营养学报, 2019, 31(2): 605-611.
- WANG X D, KONG X F, ZHAO Y, et al. Effects of *Bacillus subtilis* on growth performance and plasma biochemical parameters of weaned piglets [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2019, 31(2): 605-611. (in Chinese)
- [15] 邢帅兵, 陈代文, 余冰, 等. 枯草芽孢杆菌对断奶仔猪生长性能和肠道形态、黏膜免疫及菌群数量的影响

- [J]. 动物营养学报, 2020, 32(5): 2066-2073.
- XING S B, CHEN D W, YU B, et al. Effects of *Bacillus subtilis* on growth performance, intestinal morphology, mucosal immune and microflora number of weaned piglets [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2020, 32(5): 2066-2073. (in Chinese)
- [16] 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.
- YANG Q C, CHEN S H, LIU Y. The Effect of *Broussonetia papyrifera* leaf on the production performance, meat quality and apparent digestibility of fattening pigs [J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2014, 43(7): 133-137. (in Chinese)
- [17] BIAGIA G, CIPOLLINI I, PAULICKS B R, et al. Effect of tannins on growth performance and intestinal ecosystem in weaned piglets [J]. Archives of Animal Nutrition, 2010, 64(2): 121-135.
- [18] LAVIN S R, CHEN Z S, ABRAMS S A. Effect of tannic acid on iron absorption in straw-colored fruit bats (*Eidolon helvum*) [J]. Zoo Biology, 2010, 29(3): 335-343.
- [19] 何国英. 非常规饲料——构树叶 (LBP) 的营养价值评定研究 [D]. 硕士学位论文. 南宁: 广西大学, 2005.
- HE G Y. A study on the nutritional value of leaves of *Broussonetia papyrifera* in diets for growing pig and broiler chick [D]. Master's Thesis. Nanning: Guangxi University, 2005. (in Chinese)
- [20] 高印. 发酵苹果渣对断奶仔猪生产性能、血清指标和肠道微生物与结构的影响 [D]. 硕士学位论文. 杨凌: 西北农林科技大学, 2016.
- GAO Y. Probiotic fermented apple pomace affects growth performance, serum biochemical indicators and fecal microbial flora of weaned piglets [D]. Master's Thesis. Yangling: Northwest A&F University. (in Chinese)
- [21] 刘辉, 季海峰, 王四新, 等. 乳酸片球菌对生长猪生长性能、粪便菌群、血清生化和免疫指标的影响 [J]. 动物营养学报, 2020, 32(6): 2558-2566.
- LIU H, JI H F, WANG S X, et al. Effects of *Pediococcus acidilactici* on growth performance, fecal microbiota, serum biochemical and immune indexes of growing pigs [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2020, 32(6): 2558-2566. (in Chinese)
- [22] 高海霞, 陈国顺, 徐振飞. 复方中草药对断奶香猪生长性能和血液生化指标的影响 [J]. 贵州农业科学, 2010, 38(8): 146-148, 152.
- GAO H X, CHEN G X, XU Z F. Effects of compound Chinese herbal medicine on growth performance and blood biochemical index of weaning Xiang-pig [J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2010, 38(8): 146-148, 152. (in Chinese)
- [23] 黄咏明, 田瑞, 卢素芳, 等. 构树化学成分及饲用价值研究进展 [J]. 湖北林业科技, 2019, 48(2): 36-40.
- HUANG Y M, TIAN R, LU S F, et al. Research progress on chemical constituents and feeding value of *Broussonetia papyrifera* [J]. Hubei Forestry Science and Technology, 2019, 48(2): 36-40. (in Chinese)
- [24] 李平华, 黄阳, 贺丽春, 等. 不同来源油脂及剂量对仔猪生长性能和血清脂质指标以及肝脏胆固醇代谢的影响 [J]. 南京农业大学学报, 2017, 40(4): 710-717.
- LI P H, HUANG Y, HE L C, et al. Effects of dietary fat source and dosage on growth performance, serum lipid index and liver cholesterol metabolism of piglets [J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2017, 40(4): 710-717. (in Chinese)
- [25] 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.
- ZHANG X, ZHU S Z, YANG Q, et al. Effects of *Broussonetia papyrifera* fermented diet on growth performance, carcass quality and meat quality of Xiangsha pigs commercial line of commercial pigs [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2019, 31(12): 5760-5771. (in Chinese)
- [26] 蒋小碟, 谢谦, 宋泽和, 等. 发酵桑叶的营养价值及其在动物生产上的应用 [J]. 动物营养学报, 2020, 32(1): 54-61.
- JIANG X D, XIE Q, SONG Z H, et al. Nutritional value of fermented mulberry leaves and its application in animal production [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2020, 32(1): 54-61. (in Chinese)
- [27] 邝哲师, 黄静, 黄光琳, 等. 发酵蚕蛹豆粕粉替换鱼粉对断奶仔猪生长性能、血清生化指标及器官指数的影响 [J]. 动物营养学报, 2017, 29(1): 224-232.
- QI Z S, HUANG J, HUANG G L, et al. Effects of replacement of fish meal by fermented silkworm pupa and soybean meal on growth performance, serum biochemical indexes and organ indexes of weaned piglets [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2017, 29(1): 224-232. (in Chinese)
- [28] MIN B J, CHO J H, CHEN Y J, et al. Effects of fermented soy protein on growth performance and blood

- protein contents in nursery pigs[J]. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 2009, 22(7): 1038-1042.
- [29] CHO J H, MIN B J, CHEN Y J, et al. Evaluation of FSP (fermented soy protein) to replace soybean meal in weaned pigs: growth performance, blood urea nitrogen and total protein concentrations in serum and nutrient digestibility [J]. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 2007, 20(12): 1874-1879.
- [30] 王玉田, 郑瑞峰, 李富伟, 等. 发酵饲料替代抗生素对断奶仔猪生产性能和血液指标的影响[J]. *当代畜禽养殖业*, 2018(1): 3-5.
WANG Y T, ZHENG R F, LI F W, et al. Effect of substituting antibiotics with fermented feed on production performance and blood indexes of weaned piglets [J]. *Modern Animal Husbandry*, 2018(1): 3-5. (in Chinese)
- [31] HANSON A R, WANG L, JOHNSTON L J, et al. Effect of feeding peroxidized dried distillers grains with solubles to sows and progeny on growth performance and metabolic oxidative status of nursery pigs [J]. *Journal of Animal Science*, 2015, 93(1): 135-146.
- [32] DOWARAH R, VERMA A K, AGARWAL N, et al. Selection and characterization of probiotic lactic acid bacteria and its impact on growth, nutrient digestibility, health and antioxidant status in weaned piglets [J]. *PLoS One*, 2018, 13(3): e0192978.
- [33] KICK A R, TOMPKINS M B, FLOWERS W L, et al. Effects of stress associated with weaning on the adaptive immune system in pigs [J]. *Journal of Animal Science*, 2012, 90(2): 649-656.
- [34] PENG C C, YAN J Y, DONG B, et al. Effects of graded levels of cupric citrate on growth performance, antioxidant status, serum lipid metabolites and immunity, and tissue residues of trace elements in weaned pigs [J]. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 2017, 30(4): 538-545.

Effects of Fermented *Broussonetia papyrifera* Feed on Growth Performance, Nutrient Apparent Digestibility, Serum Biochemical Indexes of Weaned Piglets

DENG Ming¹ CHI Zhou¹ LING Dongbo¹ YANG Zhenwei¹ YU Guo'an²
XU Xiaobin³ GUO Yongqing^{1*} LIU Dewu^{1*}

(1. College of Animal Science, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 2. Guangdong Foodstuffs Imp. & Exp. Group Co., Ltd., Guangzhou 510100, China; 3. Heyuan Tianchu Agricultural and Livestock Co., Ltd., Heyuan 517001, China)

Abstract: The purpose of this experiment was to study the effects of different proportion fermented *Broussonetia papyrifera* feed to the diet on the growth performance, nutrient apparent digestibility and serum biochemical indexes of weaned piglets. In the experiment, a total of 216 healthy weaned piglets with body weight of (7.4±1.1) kg were randomly divided into 4 groups, namely groups I, II, III and IV. Each group was set with 3 replicates, and 18 pigs for each replicate. The group I was control group, pigs were fed a basal diet; pigs in the group II were fed 3% fermented *Broussonetia papyrifera* feed+97% basal diet; pigs in the group III were fed 6% fermented *Broussonetia papyrifera* feed+94% basal diet; pigs in the group IV were fed 9% fermented *Broussonetia papyrifera* feed+91% basal diet. The experiment lasted for 25 days after 5 days per-experiment. The results showed as follows: 1) the diarrhea rate of weaned piglets in groups II, III and IV was significantly lower than that in the group I ($P<0.05$); fermented *Broussonetia papyrifera* feed did not significantly affect the average daily feed intake (ADFI), average daily gain (ADG) and feed to gain ratio (F/G) ($P>0.05$). 2) Compared with group I, the apparent digestibility of crude protein (CP), ether extract (EE), calcium (Ca) and phosphine (P) in groups II, III and IV all showed a significant decrease ($P<0.05$). 3) The serum total cholesterol (TC) content in group III was significantly lower than that in groups I, II and IV ($P<0.05$), while there was no significant difference in other biochemical indexes among groups I, II, III and IV ($P>0.05$). 4) The content of malondialdehyde (MDA), the activity of superoxide dismutase (SOD) and the total antioxidant capacity (T-AOC) in serum had no significant differences among groups ($P>0.05$). In summary, fermented *Broussonetia papyrifera* feed can significantly reduce the diarrhea rate of weaned piglets, and won't have a negative effects on ADFI, ADG, F/G and serum biochemical indexes, and the substitution amount of 6% has the best effect. [Chinese Journal of Animal Nutrition, 2021, 33(1):165-174]

Key words: fermented *Broussonetia papyrifera* feed; weaned piglets; growth performance; apparent digestibility; serum biochemical index

* Corresponding authors: GUO Yongqing, lecturer, E-mail: yongqing@scau.edu.cn; LIU Dewu, professor, E-mail: dwliu@scau.edu.cn