

阿魏酸酯酶酶化发酵饲料饲喂三元猪的影响

罗云¹, 王镇发², 梅胜¹, 陈培钦¹, 李夏兰^{*1}

(1. 华侨大学 化工学院,福建 厦门 361021;2. 漳州市龙文区环境保护监测站,福建 漳州 363005)

摘要: 为了研究阿魏酸酯酶在猪发酵饲料中的作用,本文将实验室制备的阿魏酸酯酶粗酶液与商品化的微生物饲料发酵剂共同制备猪酶化发酵饲料,研究酶化发酵饲料对三元猪生产性能和消化性能的影响。结果表明,阿魏酸酯酶酶化发酵饲料与普通发酵饲料相比,饲料风味大大改善,适口性提高;酸性洗涤纤维、中性洗涤纤维的降解率有显著提高($P<0.05$);总氨基酸、阿魏酸、低聚木糖、单位饲料中细菌总数、乳酸菌总数的含量也有显著提高($P<0.05$)。在二元猪饲喂中,酶化发酵饲料组与基础饲粮组相比,三元猪的平均日采食量、平均日增重、料肉比有显著提高($P<0.05$),干物质、中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维、粗灰分的消化率也有显著提高($P<0.05$)。阿魏酸酯酶提高了发酵饲料的风味、饲料品质,酶化发酵饲料可以促进三元猪生长、提高其消化性能。

关键词: 阿魏酸酯酶;酶化发酵饲料;生产性能;消化性能

中图分类号: S 816.32 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673—1689(2018)05—0527—08

Effect of Ferulic Acid Esterase Fermentative Feed on the Ternary Pigs

LUO Yun¹, WANG Zhenfa², MEI Sheng¹, CHEN Peiqin¹, LI Xialan^{*1}

(1. College of Chemical Engineering, Huaqiao University, Xiamen 361021, China; 2. Environmental Protection Monitoring Station of Longwen Area, Zhangzhou 363005, China)

Abstract: This paper was to study the effect of ferulic acid esterase on fermented pig feed. In this paper, commercial microbial feed starter cultures were blended with FAE, which was a crude enzyme solution produced by laboratory. Subsequently the mix was used to fermented pig feed, and the effects of enzymatic fermented feed on ternary pig performance and digestive properties were mainly studied. The results showed that, compared with ordinary fermented feed, the feed fermented by ferulic acid esterase significantly improved in flavor and palatability. In fact, the degradation rates of acid detergent fiber and neutral detergent fiber were significantly improved ($P<0.05$). The total amino, ferulic acid, xylooligosaccharides, total bacteria and lactobacillus in per gram of feed were significantly improved ($P<0.05$). In the ternary pigs feeding process, compared with the basal diet group, the average daily feed intake, daily weight and feed conversion rate of ternary pigs in enzyme fermented feed group were significantly improved ($P<0.05$), the digestibility of dry material, neutral

收稿日期: 2015-09-28

基金项目: 厦门市科技计划项目(2014S006);福建省发改委投资项目(2013-886)。

* 通信作者: 李夏兰(1965-),女,福建邵武人,工学博士,教授,硕士研究生导师,主要从事生物分离工程和酶工程研究。

E-mail: xialan@hqu.edu.cn

引用本文: 罗云,王镇发,梅胜,等.阿魏酸酯酶酶化发酵饲料饲喂三元猪的影响[J].食品与生物技术学报,2018,37(05):527-534.

detergent fiber, acid detergent fiber and crude ash in enzyme fermented feed group were significantly improved ($P < 0.05$). Ferulic acid esterase can improve the flavor of fermented feed, ameliorate the quality of feed, and promote the growth of pigs as well as enhancing their digestibility.

Keywords: ferulic acid esterase, enzymatic fermented feed, growing performance, digestion performance

阿魏酸酯酶 (EC 1.1.73, feruloyl esterase, FAE) 是降解木质纤维的关键酶之一,阿魏酸酯酶在饲料中的应用引起了广泛关注。李夏兰等^[1]研究发现在降解木质纤维时,FAE 和木聚糖酶存在协同作用,将麦糟中阿魏酸 (4-羟基-3-甲氧基肉桂酸, ferulic acid, FA) 的释放量提高到 0.97 mg/g (干麦糟),低聚木糖 (xylooligosaccharides, XOS) 的释放量达到 161 mg/g (干麦糟)。据报道,FAE 产生菌与纤维素酶共同添加到青贮饲料中,对青贮饲料的有氧稳定性、纤维素降解率,饲料营养价值以及动物的生产性能和消化性能都会产生积极影响^[2-5]。但是大多数直接添加 FAE 产生菌到青贮饲料的作用效果不稳定,对部分营养价值的影响不显著。杨道秀等^[6]和王林林等^[7-8]将 FAE 粗酶液直接添加到鸡饲料中发酵,酶化发酵饲料的营养价值、对肉鸡的生产性能和消化性能都有显著影响。鉴于直接添加 FAE 产生菌对青贮饲料效果的不稳定性,以及肉鸡采食量小,肠道较短,不能充分体现 FAE 酶化发酵饲料对大型单胃动物生产性能和消化性能的影响,本试验将 FAE 与含乳酸杆菌、枯草芽孢杆菌、酵母菌等的饲料发酵剂共同作用,探究 FAE 对饲料的营养价值的影响,以及对三元猪的生产性能、消化性能和经济效益的影响。

1 材料与方法

1.1 试验设计

漳州市南靖县靖城镇养殖场进行 125 d 喂养试验,选用 81 头公母对半、出生日龄 (80±2) d、体质量 15~18 kg 的健康 (杜×长×大)三元杂交断奶仔猪,随机分成 A、B、C 3 组,每组 3 个平行,每个平行 9 头。A 组为基础饲粮组,饲喂普通饲料;B 组为发酵饲料组,饲喂混有质量分数 12% 例发酵饲料的基础饲粮;C 组为酶化发酵饲料组,饲喂含有质量分数 12% 酶化发酵饲料的基础饲粮。饲养期间密切注意猪的精神状态、进食量与速度、腹泻头数和次数、生

病头数与次数,记录猪的采食量。试验期间每天 08:00 和 16:00 各饲喂 1 次,饲料计量不限重,以食槽无剩余料为原则。保证充足的清洁饮水,对猪舍每天打扫 2 次,按常规饲养和免疫,全程无使用抗生素药物。

基础饲粮配方及营养水平见表 1。

表 1 基础饲粮组成及营养水平 (风干基础)

Table 1 Composition and nutrient levels of basal diet (air-dry basis) %

原料	质量分数	营养水平 ^b	质量分数
玉米	66.00	代谢能/(MJ/kg)	3.27
豆粕	10.00	粗蛋白质	18.11
麸皮	10.00	钙	0.90
预混料 ^a	4.00	总磷	0.60
合计	100.00	有效磷	0.42
		赖氨酸	0.95
		蛋氨酸+半胱氨酸	0.65

注:a. 预混料为每千克饲粮提供:VA 2 000 IU,VD₃ 2 000 IU,VE 15 IU,VB₁ 3.2 mg,VB₆ 3.0 mg,VB₁₂ 15 μg,核黄素 riboflavin 3.0 mg,叶酸 folic acid 0.7 mg,泛酸 pantothenic acid 11 mg,烟酸 niacin 20 mg,氯化胆碱 choline chloride 1 000 mg,生物素 biotin 0.15 mg,Fe 80 mg,Zn 55 mg,Mn 70 mg,I 0.24 mg,Cu 9 mg,Se 0.25 mg;b. 代谢能为计算值。

1.2 试验材料

1.2.1 主要仪器 超滤膜装置(截留相对分子质量 10×10³),上海摩速科学器材有限公司产品;发酵袋,顺德沃进塑料制品厂制造;1100 高效液相色谱仪,美国 Agilent 公司产品;HPX-42A 柱,美国 Bio-Rad 公司产品;ODS-C18 柱,美国 Thermo 公司产品;UV-6100 紫外可见光分光光度计,上海美谱达仪器有限公司产品;2.5-12A 马弗炉,浙江杭州蓝天化验仪器厂制造。

1.2.2 主要原料 反式阿魏酸标准样品,美国 Sigma 公司产品;阿魏酸甲酯标准样品,Alfa Aesar 公司产品;XOS 标准品、木二糖标准品,日本和光纯药工业株式会社产品;总氨基酸测定试剂盒、乳酸

测定试剂盒,南京建成生物工程研究所提供;麸皮、次粉,中粮集团厦门海嘉面粉有限公司产品;玉米蛋白饲料,山东滨州海星饲料厂制造;瓜尔豆粕,广饶六合化工有限公司产品;棕榈仁粕,大连镁达国际贸易有限公司产品;预混料,厦门百穗行科技有限公司产品;发酵剂 1×10^{10} CFU/g,山东宝来利来生物工程公司产品;杏鲍菇菌柄,福建嘉胜集团大建饲料有限公司产品。

1.3 发酵饲料制备

1.3.1 FAE 粗酶液的制备 菌种:黑曲霉,实验室自行筛选并保藏。

种子培养基:PDA 培养基,36 ℃,200 r/min 培养 2 d。

发酵培养基:麸皮与次粉 1:1 混合物质量分数 39.30%,水质量分数 58.20%,硫酸镁质量分数 0.06%,硫酸铵质量分数 2.44%。采用白瓷盘固体发酵,33 ℃培养 6 d。

粗酶液的制备:固体发酵料中加入 8 倍体积的蒸馏水,33 ℃,180 r/min 抽提 2.5 h,用 8 层纱布过滤,滤液超滤浓缩。

1.3.2 发酵饲料和酶化发酵饲料的制备 饲料配方(以干物质计,质量分数):玉米蛋白饲料 26%,菌柄 12%,谷壳粉 16%,棕榈仁粕 11%,瓜尔豆粕 5%,玉米粉 5%,糖蜜 0.3%,发酵剂 0.1%,水 24.7%。

发酵饲料的制备:按质量分数 0.1%的比例将发酵剂菌种加入饲料配方中,充分混匀,采用带有单向排气阀的饲料发酵袋进行常温发酵。每袋装料量为 40 kg,1 个月后鉴定其营养品质。

酶化发酵饲料的制备:按 8 U/g 干菌柄将 FAE 添加于饲料原料中(酶液所占质量从水中扣除),再加入质量分数 0.1%发酵剂,充分混匀,采用带有单向排气阀的发酵袋常温发酵。每袋装料量为 40 kg,发酵 1 个月后鉴定其营养品质。

1.4 饲料和粪便中指标测定

1.4.1 饲料和粪便中常规指标测定 粗蛋白质含量按《GB/T 6432-1994 饲料中粗蛋白质测定方法》分析^[9];粗纤维含量按《GBT-6434-2006 饲料中粗纤维测定方法》分析^[10];中性洗涤纤维(neutral detergent fiber,NDF)含量按《GB/T 20806-2006 饲料中中性洗涤纤维的测定》分析^[11];酸性洗涤纤维(acid detergent fiber,ADF)含量按《NY/T 1459-2007 饲料中酸性洗涤纤维的测定》分析^[12];酸性洗涤木质

素(acid detergent lignin,ADL)含量按《GB/T 20805-2006 饲料中酸性洗涤木质素的测定》分析^[13];总糖含量按《GB/T 15672-2009 食用菌中总糖含量的测定》分析^[14]。

1.4.2 FA、XOS、总氨基酸和乳酸测定 总氨基酸含量试剂盒测定,原理为铜离子与氨基酸的显色反应;乳酸含量采用试剂盒测定,原理为乳酸脱氢酶的显色反应。按文献[1]的方法检测 FA 和 XOS,FA 含量测定采用 HPLC 法:色谱柱为 ODS-C18 柱,318 nm 检测,柱温 35 ℃,流动相为甲醇:水:冰醋酸=30:69.5:0.5(V/V/V),流速为 1 mL/min,XOS 含量测定采用 HPLC 法:色谱柱为 Aminex HPX-42A 柱,柱温 85 ℃,示差折光检测器,流动相为超纯水(超声波脱气 1 h),流速 0.6 mL/min。

1.4.3 总菌数和乳酸菌数测定 细菌总数按《GB/T 13093-2006 饲料中细菌总数的测定》分析^[15];乳酸菌总数按《GB 4789.35-2010 食品安全国家标准食品微生物学检测乳酸菌检测》分析^[16]。

1.4.4 饲料卫生检测和猪肉品质检测 饲料和猪肉送至福建省分析检测中心。饲料样品按《GB 13078-2001 饲料卫生标准》分析^[17],猪肉样品按《GB 2707-2005《鲜(冻)畜肉卫生标准》》分析^[18]。

1.5 三元猪测试指标及测定方法

平均日增重:以头为单位分别称取试验期间试验猪的始重和末重,称重前 10 h 禁食,计算平均日增重;平均日采食量:记录各组每天的投料量,观察试验猪采食情况,计算平均日采食量;腹泻率:观察和记录各组试验猪的腹泻头数和天数。

$$I = \frac{N \times M}{N_0 \times M_0} \times 100\%$$

其中, I 为腹泻率; N 为腹泻头数; M 为腹泻天数; N_0 为总头数; M_0 为总天数。

腹泻评分标准见表 2^[19]。

表 2 腹泻评分标准

Table 2 Grading criteria of diarrhea

程度	外观	是否腹泻
正常	条形成颗粒	否
轻度	软粪能成行	否
中度	软粪、不成行、粪水无分离现象	是
严重	液状、不成形、粪水有分离现象	是

粪便收集:当猪生长到育肥期时,进行 10 d 的粪便采集。前 7 d 为预试期,后 3 d 为收粪期。从第

8天开始,每日06:30~08:30和16:30~18:30,将各栏内粪便混匀,取1000g粪便样品,加入100mL质量分数10%的HCl,混匀后于-20℃冰箱中保存。第10天将各栏3d粪便混合,待测;消化率测定:采用盐酸不溶性灰分(ash insoluble hydrochloric acid, AIA)为内源性指示剂,计算各组粗蛋白质、NDF、ADF、ADL、干物质、粗灰分的消化率;饲料报酬:记录试验期内各组饲料的总耗量、饲料费用、猪的总增重,计算饲料报酬。

1.6 数据统计分析

数据采用SPSS 19.0软件的ANOVA进行方差分析,Duncan法进行多重比较,各组数据以平均值±标准差(mean±SE)表示。

2 结果与分析

2.1 FAE对饲料品质的影响

2.1.1 FAE对饲料感官品质的影响 酶化发酵饲料为棕黄色,具有芳香的酒糟味,酸味浓而不刺鼻,给人以舒适的嗅感,手摸后味道容易洗掉;袋内压得非常紧密,拿到手上较松散、略湿润、清爽;饲料颗粒均匀。发酵饲料所产生的酸味很浓烈,但不刺鼻,香味淡,呈金黄色;袋内压得紧密,拿到手上松散,手感略粗糙;饲料颗粒均匀。酶化发酵饲料因加入了黑曲霉固态发酵得到的粗酶液,使其饲料颜色略深,且酶化发酵饲料明显更具芳香味。发酵饲料所测定的易挥发性物质和水分质量分数为33.17%,比酶化发酵饲料易挥发性物质与水分质量

表3 FAE对饲料感官品质的影响

Table 3 Effects of FAE on sensory quality of feed (n=3)

项目	气味	颜色	质地
发酵饲料	酸味浓、香味淡	金黄色	疏松、略粗糙、略湿润
酶化发酵饲料	芳香酒酸味,给人以舒服感	棕黄色	疏松、柔软、略湿润、清爽

分数低12.17%,使得发酵饲料手感略粗糙,不够柔软。

2.1.2 FAE对饲料组成的影响 由表4可知,酶化发酵饲料与发酵饲料相比,ADF与NDF的降解率分别提高了5.13%、25.31%,具有显著差异($P<0.05$);酶化发酵饲料中总氨基酸、FA和XOS的质量分数分别比发酵饲料提高了1.71、2.33和1.88倍,具有显著差异($P<0.05$);单位饲料中细菌总数、乳酸菌总数的含量大大提高,分别提高了 10^4 倍和 10^3 倍,具有显著差异($P<0.05$)。这是由于FAE可以与枯草芽孢杆菌代谢产生的木聚糖酶协同作用,降解木质纤维中的碳骨架,使酶化发酵饲料中的纤维降解率提高,释放了XOS和FA,XOS有利于益生菌的增殖,且代谢过程中不断增加的游离氨基酸、小分子肽等物质也可以有效促进有益菌的繁殖。酶化发酵饲料中细菌总数与乳酸菌总数的含量显著高于发酵饲料($P<0.05$),但是乳酸菌、枯草芽孢杆菌、酵母菌等有益菌大量繁殖的同时并没有降低饲料中总糖的含量。但发酵饲料中乳酸质量分数(6.21 mg/g)高于酶化发酵饲料中乳酸质量分数(3.99 mg/g),具有显著差异($P<0.05$);发酵饲料pH

表4 FAE对饲料组成的影响

Table 4 Effects of FAE on feed composition (n=3)

项目	发酵饲料	酶化发酵饲料	项目	发酵饲料	酶化发酵饲料
pH	4.11±0.01 ^a	4.27±0.01 ^b	总氨基酸(mg/g)	45.27±6.63 ^a	77.28±3.32 ^b
粗蛋白质	18.42±0.28	19.34±0.14	乳酸(mg/g)	6.21±0.16 ^a	3.99±0.14 ^b
粗纤维	16.60±0.35	15.23±0.06	阿魏酸(FA, mg/g)	0.21±0.01 ^a	0.49±0.01 ^b
酸性洗涤纤维(ADF)	17.95±0.01 ^a	17.03±0.08 ^b	低聚木糖(XOS, mg/g)	24.33±0.28 ^a	45.84±0.19 ^b
中性洗涤纤维(NDF)	31.21±0.05 ^a	23.31±0.01 ^b	细菌总数(个/g)	10 ^{5a}	10 ^{9b}
酸性洗涤木质素(ADL)	3.52±0.01	3.46±0.01	乳酸菌总数(个/g)	10 ^{4a}	10 ^{7b}
总糖	2.08±0.11	2.47±0.01			

注:同列行无字母或数据肩标相同字母表示差异不显著($P>0.05$),不同小写字母表示差异显著($P<0.05$),大写字母表示差异极显著($P<0.01$)。

4.11与酶化发酵饲料pH 4.27也具有显著差异($P<0.05$)。

2.1.3 饲料卫生指标检测 经检测,酶化发酵饲料的各项卫生指标如表5所示,均符合《GB 13078-

2001饲料卫生标准》要求。

2.2 酶化发酵饲料对三元猪腹泻率的影响

在试验全程中,按照常规免疫,未添加任何抗生素及其他药物,各组试验猪的成活率100%,C组

表 5 酶化发酵饲料卫生检测报告

Table 5 Hygiene inspection report of enzymatic fermentad feed

项目	检测结果	国标最高限量	项目	检测结果	国标最高限量
氟/(mg/kg)	≤2.0	≤100	黄曲霉毒素/(μg/kg)	8	≤20
锌/(g/kg)	2.78	≤250	滴滴涕/(mg/kg)	≤0.01	≤0.2
汞/(mg/kg)	≤0.1	≤0.1	沙门氏菌/(个/g)	未检出	不得检出
铬/(mg/kg)	2.1	≤10	亚硝酸盐/(mg/kg)	3.56	≤15
铜/(g/kg)	1.28	≤35	氰化物/(mg/kg)	3.2	≤50
总砷/(mg/kg)	1.02	≤10.0	异硫氰酸酯/(mg/kg)	30	≤500
铅/(mg/kg)	2.5	≤13	恶唑烷硫酮/(mg/kg)	<200	≤500
镉/(mg/kg)	≤0.2	≤0.5	游离棉酚/(mg/kg)	8.3	≤60

的腹泻率比 A 组和 B 组分别低 0.35%和0.21%, 差异显著($P<0.05$), 见表 6。

表 6 FAE 对三元猪腹泻率的影响

Table 6 Effect of FAE on the diarrhea rate of pigs

项目	基础饲粮组 (A 组)	发酵饲料组 (B 组)	酶化发酵饲料组 (C 组)
饲养数目/头	27	27	27
成活数/头	27	27	27
腹泻率/%	0.35±0.05 ^a	0.21±0.01 ^b	0.00±0.00 ^c
成活率/%	100.00	100.00	100.00

注: 同行无字母或数据肩标相同字母表示差异不显著 ($P>0.05$), 不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$), 大写字母表示差异极显著 ($P<0.01$)。

2.3 酶化发酵饲料对三元猪生产性能的影响

由表 7 可知, 与 A 组和 B 组相比, C 组的平均日采食量分别提高了 41.10%和 15.73%, 差异显著 ($P<0.05$)。C 组的平均日增重与 A 组和 B 组相比分别提高了 26.15%和 17.14%, 差异显著 ($P<0.05$)。与 A 组比较, B 组的平均日采食量提高了 21.92%, 差异显著 ($P<0.05$)。与 A 组比较, C 组和 B 组的料重比分别提高了 11.56%和 12.89%, 差异显著 ($P<0.05$)。

表 7 FAE 对三元猪生产性能的影响

Table 7 Effects of FAE on pig's growing performance

项目	基础饲粮组 (A 组)	发酵饲料组 (B 组)	酶化发酵饲料组 (C 组)
平均日增重/(kg/d)	0.65±0.04 ^b	0.70±0.06 ^b	0.82±0.02 ^a
平均日采食/(kg/d)	1.46±0.12 ^c	1.78±0.13 ^b	2.06±0.22 ^a
料重比 F/G	2.25±0.06 ^d	2.54±0.14 ^a	2.51±0.13 ^a

注: 同行无字母或数据肩标相同字母表示差异不显著 ($P>0.05$), 不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。大写字母表示差异极显著 ($P<0.01$)。

2.4 酶化发酵饲料对三元猪表观消化率的影响

饲料表观消化率的测定采用 AIA 为内源性指示剂, 其回收率为 102.15。由表 8 可知, 与 A 组比较, B 组和 C 组对干物质的利用率分别提高了 0.31%和 0.35%, 差异显著 ($P<0.05$); 与 A 组比较, B 组和 C 组对 NDF 的消化率分别提高了 9.39%和 10.34%, 差异显著 ($P<0.05$); 对于 ADF 的消化率, B 组和 C 组比 A 组分别提高了 60.59%和 79.95%, 差异极显著 ($P<0.01$); 对于粗灰分的消化率, B 组和 C 组与 A 组相比分别提高了 12.65%和 20.61%, 差异显著 ($P<0.05$)。C 组与 B 组相比, 对粗灰分的消化率提高了 7.06%, 具有显著差异 ($P<0.05$)。B 组和 C 组对三元猪纤维素和干物质的消化率作用不显著, 可能是由于在饲料贮存和发酵过程中已降解了一部分纤维素, 同时猪的胃肠中缺少能够进一步协同降解木质纤维的其他酶类。

2.5 酶化发酵饲料报酬分析

由于发酵饲料中添加了饲料发酵剂, 其饲料价格比基础饲粮组增加了 6.82%, 酶化发酵饲料中添加了饲料发酵剂和 FAE 粗酶液, 其饲料价格比基础饲粮组增加了 15.91%。试验期间, C 组平均每头猪的饲料费用、重质量和毛利比 A 组分别增加了 63.54%、26.15%和 6.62%, 具有显著差异 ($P<0.05$)。从表 9 可知, C 组虽然提高饲料的料重比, 但其通过改善饲料的风味, 提高饲料的适口性, 增加其采食量和日增重, 从而可缩短饲喂周期, 提高经济效益。

2.6 猪肉安全检测

经检测, 饲喂酶化发酵饲料猪的鲜肉卫生指标如表 10 所示, 均符合《GB 2707-2005《鲜(冻)畜肉卫生标准》》要求。

表 8 FAE 饲料对养分表观消化率的影响

Table 8 Effects of FAE on nutrient apparent digestibility

%(质量分数)

项目	干物质	中性洗涤纤维(NDF)	酸性洗涤纤维(ADF)	半纤维素	酸性洗涤木质素(ADL)	粗灰分	粗蛋白质
基础饲粮组(A组)	83.74±0.08 ^a	53.48±0.56 ^a	20.68±2.68 ^a	76.67±0.30 ^a	69.28±2.24 ^a	41.34±0.06 ^a	82.97±0.34 ^a
发酵饲料组(B组)	84.00±0.01 ^b	58.50±1.34 ^b	33.21±0.15 ^B	78.08±0.53 ^a	71.74±1.48 ^a	46.57±0.28 ^b	84.52±1.66 ^a
酶化发酵饲料组(C组)	84.03±0.01 ^b	59.01±1.27 ^b	34.19±0.06 ^B	78.89±1.15 ^a	71.98±2.25 ^a	49.86±0.14 ^c	87.05±1.49 ^a

注: 同列无字母或数据肩标相同字母表示差异不显著($P>0.05$), 不同小写字母表示差异显著($P<0.05$), 大写字母表示差异极显著($P<0.01$)。

表 9 饲料报酬分析

Table 9 Remuneration analysis of feed

项目	基础饲粮组(A组)	发酵饲料组(B组)	酶化发酵饲料(C组)
饲料价格/(元/kg)	2.20	2.35	2.65
饲养期/d	125.00	125.00	125.00
平均日增重/(kg/d)	0.65±0.04 ^b	0.70±0.06 ^b	0.82±0.02 ^a
平均日采食/(kg/d)	1.46±0.12 ^c	1.78±0.13 ^b	2.06±0.22 ^a
饲料费用/(元/头)	401.50±33.00 ^a	522.88±35.91 ^{ab}	682.38±61.60 ^b
毛猪价格/(元/kg)	14.40	14.40	14.40
毛猪收入/(元/头)	1170.00±72.00 ^a	1260.00±108.50 ^a	1476.00±36.00 ^b
毛利/(元/头)	768.50±39.00 ^a	737.12±72.83 ^a	793.62±25.60 ^b
增加收入/(元/头)	0.00±0.00 ^a	-31.38±5.210 ^a	25.12±4.14 ^b

注: 同行无字母或数据肩标相同字母表示差异不显著($P>0.05$), 不同小写字母表示差异显著($P<0.05$), 大写字母表示差异极显著($P<0.01$)。

表 10 饲喂酶化发酵饲料猪的鲜肉卫生检测报告

Table 10 Hygiene inspection report of pig meat feeding enzymatic fermentrd feed

项目	检测结果/(mg/kg)	最高限量/(mg/kg)	项目	检测结果/(mg/kg)	最高限量/(mg/kg)
总砷(As)	0.06	≤0.5	恩若沙星	<0.01	≤0.1
铬(Ca)	<0.1	≤0.1	庆大霉素	<0.01	≤0.1
汞(Hg)	≤0.01	≤0.05	土霉素	0.03	≤0.1
铅(Pb)	0.03	≤0.2	四环素	0.02	≤0.1
铜(Cu)	1.5	≤10	青霉素	0.01	≤0.05
镉(Cd)	0.01	≤0.1	链霉素	<0.01	≤0.5
氟(F)	<0.1	≤2.0	泰乐菌属	<0.01	≤0.1
亚硝酸盐	<0.1	≤3	氯氢吡啶	<1	≤5
六六六	<0.01	≤0.2	喹乙醇	未检出	≤0.004
滴滴涕	<0.01	≤0.2	磺胺类	<0.05	≤0.1
蝇毒磷	<0.1	≤0.5	乙烯雌酚	未检出	不得检出(检出限 0.001)
硝基呋喃类	未检出	不得检出(检出限 0.001)	菌落总数, cfu/g	3000	5×10 ⁵
沙丁胺醇	未检出	不得检出(检出限 0.001)	大肠菌数, MPN/100 g	300	1×10 ³
莱克多巴胺	未检出	不得检出(检出限 0.001)	沙门氏菌	0/25 g(未检出)	不得检出
盐酸克伦特罗	未检出	不得检出(检出限 0.001)	至泄大肠埃希氏菌	0/25 g(未检出)	不得检出

3 讨论

3.1 FAE 与发酵剂的相互作用及其对饲料发酵的影响

酶化发酵饲料采用了黑曲霉固态发酵得到的 FAE 粗酶液与微生态发酵剂共同作用,其中发酵菌株主要有枯草芽孢杆菌、酵母菌、乳酸杆菌。在酶化发酵饲料中 FAE 和发酵剂中微生物所分泌的木聚糖酶协同作用,提高菌柄中抗营养因子的降解效率,同时产生 FA 和 XOS。随着微生物菌群的大量繁殖,与发酵饲料相比,微生物所分泌的酶也相对增加,饲料中蛋白质、纤维素、糖类等大分子物质降解率也相对提高,同时一些寡糖、小分子肽、有机酸等不断积累。XOS 功能性小分子物质能够调节肠道菌群平衡,促进发酵菌群的生长,促进畜禽生长等作用,在一定程度上替代了饲用抗生素的作用^[20]。

3.2 FAE 酶化发酵饲料对三元猪生产性能的影响

所研制的 FAE 酶化发酵饲料,提高了饲料风味,改善适口性,促进畜禽采食,增强生产性能。这是因为:一是发酵饲料中有大量益生菌且产生的 XOS 增殖益生菌,可以竞争性抑制畜禽肠道中有害菌定植;二是实验观察到,酶化发酵饲料明显更具芳香味,这是饲料中的微生物可能将释放的 FA 转化成香草酸和香草醛等饲料风味物质^[21-22]。

此类芳香类物质,更明显提高饲料风味,改善适口性,促进畜禽采食,增强生产性能。本试验结果表明,FAE 酶化发酵饲料可以显著提高三元猪的平均日增重和平均采食量。Salem 等^[23-25]提到添加培养基中的代谢活性成分,酶制剂和微生物发酵剂可以改善饲料的风味,增加采食量,提高饲料营养价值,

促进畜禽的生长性能和消化性能。王林林等^[8]用阿魏酸酯酶酶化发酵饲料饲喂肉鸡,肉鸡的日增重提高了 6.42%,料重比降低了 11.34%。此外,酶化发酵饲料组降低了腹泻率,从而也提高了经济效益。Marla 等^[26]研究发现用含 FAE 酶活的奶酪饲喂老鼠,可以提高老鼠肠道中 FAE 酶活,降低血浆中硫代巴比妥酸反应物质,提高谷胱甘肽还原酶活性,有助于提高动物的氧化应激性,防止氧化应激相关障碍。

3.3 FAE 酶化发酵饲料对三元猪消化性能的影响

饲料转化率越好,表明试验动物对饲料中营养物质的消化吸收好。本试验中,与基础饲粮的高能量饲粮相比,发酵饲料和酶化发酵饲料的高纤维增强了畜禽肠道蠕动,缩短了饲料在胃肠中的保留时间,使得饲料转化率低于基础饲粮组。Strube 等^[27]提到提高饲料中纤维素含量和饲喂频率,可以缩短饲料在猪肠胃中的保留时间。酶化发酵饲料组与发酵饲料组相比,干物质的消化率有显著提高,对粗蛋白质、半纤维素的消化率有提高趋势。这表明 FAE 酶化发酵饲料对三元猪干物质、粗蛋白质和半纤维素消化、吸收起到了促进作用。

4 结语

FAE 与微生物饲料发酵剂共同发酵可以促进饲料中益生菌的生长,协同降解纤维素,增加饲料中 FA、XOS 等益生元质量分数,提高饲料的营养价值。在二元猪饲料中添加酶化发酵饲料,可以显著提高三元猪的平均日采食量和平均日增重,缩短饲喂周期,在一定程度上提高了饲料的消化率,增加三元猪养殖的经济效益。

参考文献:

- [1] LI Xialan, CHENG Shanying, YANG Daoxiu, et al. Utilization of feruloyl esterase and xylanase for the degradation of brewers' spent grain[J]. *Chemical Industry and Engineering Progress*, 2012, 31(5): 1096-1102. (in Chinese)
- [2] ABOAGYE I A, LYNCH J P, CHURCH J S, et al. Digestibility and growth performance of sheep fed Alfalfa hay treated with fibrolytic enzymes and a ferulic acid esterase producing bacterial additive[J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2015 (203): 53-66.
- [3] ADDAH W, BAAH J, OKINE E K, et al. Effects of chop-length and a ferulic acid esterase-producing on fermentation and aerobic stability of barley Inoculant silage, and growth performance of finishing feedlot steers[J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2014(197): 34-46.
- [4] LYNCH J P, JIN J, LARA E C, et al. The effect of exogenous fibrolytic enzymes and a ferulic acid esterase-producing inoculant on the fibre degradability, chemical composition and conservation characteristics of Alfalfa silage[J]. *Animal Feed Science and*

- Technology**, 2014(193):21-31.
- [5] LYNCH J P, BAAH J, BEAUCHENMIN K A. Conservation, fiber digestibility, and nutritive value of corn harvested at 2 cutting heights and ensiled with fibrolytic enzymes, either alone or with a ferulic acid esterase-producing inoculant[J]. **Journal of Dairy Science**, 2015, 98(2):1214-1224.
- [6] YANG Daoxiu, LI Xialan, CHEN Peiqin, et al. Application of a novel compound enzyme in broiler feed[J]. **Journal of Food Science and Biotechnology**, 2013, 32(4):410-416. (in Chinese)
- [7] WANG Linlin, CHEN Peiqin, LUO Yun, et al. Enzymatic fermentation feed by the feruloyl esterases quality and effects on the performance of broilers[J]. **Chinese Journal of Animal Nutrition**, 2015, 35(6):689-694. (in Chinese)
- [8] WANG Linlin, CHEN Yunhua, CHEN Peiqin, et al. Preparation of ferulic acid esterase enzymatic fermented feed and its effect on the nutrient utilization of broilers[J]. **Journal of Huaqiao University (Natural Science)**, 2015, 35(6):689-694. (in Chinese)
- [9] XU Jialu, ZHAN Haifeng, CHEN Yifei. The method of determination of crude protein in feed[J]. **Aquaculture Technical Advisor**, 2014(3):49. (in Chinese)
- [10] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GBT 6434-2006JSQ 饲料中粗纤维测定方法[S]. 北京:中国标准出版社, 2006.
- [11] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GBT 20806-2006JSQ 中性洗涤纤维测定[S]. 北京:中国标准出版社, 2006.
- [12] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. NYT 1459-2007JSQ 饲料中酸性洗涤纤维的测定[S]. 北京:中国标准出版社, 2006.
- [13] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GBT 20805-2006JSQ 饲料中酸性洗涤木质素(ADL)的测定[S]. 北京:中国标准出版社, 2006.
- [14] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GBT 15672-2009 食用菌中总糖含量的测定[S]. 北京:中国标准出版社, 2009.
- [15] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GBT 13093-2006 饲料中细菌总数的测定[S]. 北京:中国标准出版社, 2006.
- [16] 中华人民共和国卫生部. GBT 478935-2010 食品安全国家标准 食品微生物学检验乳酸菌检验[S]. 北京:中国标准出版社, 2010.
- [17] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GBT 13078-2001 饲料卫生标准[S]. 北京:中国标准出版社, 2001.
- [18] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GBT 18406.3-2001 农产品安全质量无公害畜禽肉安全要求[S]. 北京:中国标准出版社, 2001.
- [19] CHEN Lixian, HU Ting, XU Ke, et al. The influence of probiotics on intestinal microflora in piglet[J]. **Acta Veterinaria et Zootechnica Sinica**, 2013, 40(1):172-174. (in Chinese)
- [20] HUANG Jing, XIN Xiufeng. A prebiotics effect comparison of functional oligosaccharides[J]. **China Food Additives**, 2009, (1):30-33. (in Chinese)
- [21] TOPAKAS E, KALOGERIS E, KEKOS D, et al. Bioconversion of ferulic acid into vanillic acid by the thermophilic fungus *Sporotrichum thermophile*[J]. **LWT – Food Science and Technology**, 2003, 36(6):561-565.
- [22] OU Shiyi. The function and application of ferulic acid[J]. **Guangzhou Food Science and Technology**, 2002, 18(4):50-53. (in Chinese)
- [23] ELGHANDOUR M M Y, ABODELFATTAH N M, CASTANEDA J S M, et al. Direct-fed microbes: a tool for improving the utilization of low quality roughages in ruminants[J]. **Journal of Integrative Agriculture**, 2015, 14(3):526-533.
- [24] ANIL K P, ABODELFATTAH N M, MOUNIR M E, et al. Role of live microbial feed supplements with reference to anaerobic fungi in ruminant productivity: a review[J]. **Journal of Integrative Agriculture**, 2015, 14(3):550-560.
- [25] NAHLA A A, ABODELFATTAH N M, MOUNIR M E, et al. Biological treatment as a mean to improve feed utilization in agriculture animals-An overview[J]. **Journal of Integrative Agriculture**, 2015, 14(3):534-543.
- [26] MARIA C, ABEIJON M, CECILIA H, et al. Functional goat milk cheese with feruloyl esterase activity[J]. **Journal of Function Foods**, 2013(5):801-809.
- [27] STRUBE M L, MEYER A S, BOYE M. Minireview: Basic physiology and factors influencing exogenous enzymes activity in the porcine gastrointestinal tract[J]. **Animal Nutrition and Feed Technology**, 2013(13):441-459.