

3种无抗饲料对杜洛克和八眉杂交育肥猪生长性能、屠宰性能以及肉品质和风味的影响

柴明杰¹ 陈国顺^{1*} 苏应玉¹ 王东¹ 姚岳扬¹ 隋晓东² 王进³ 周森森⁴

(1.甘肃农业大学动物科学技术学院,兰州 730070;2.甘肃傲农饲料科技有限公司,武威 733100;

3.河西学院生命科学与工程系,张掖 734000;4.合肥迈可罗生物工程有限公司,合肥 230001)

摘要: 本试验旨在研究3种无抗饲料对杜洛克和八眉杂交育肥猪生长性能、屠宰性能以及肉品质和风味的影响。试验选择平均体重(65.50±2.20) kg、健康状况基本一致的二元(杜洛克×八眉猪)杂交猪32头,随机分为4组,每组4个重复,每个重复2头猪。对照组饲喂基础饲料,试验Ⅰ组、试验Ⅱ组、试验Ⅲ组分别在基础饲料中添加0.3%的天然植物复方剂、0.3%的锁阳超微粉和0.3%的地顶孢霉培养物,预试期7 d,正试期42 d。结果显示:与对照组相比,试验Ⅰ组、试验Ⅱ组、试验Ⅲ组的平均日增重分别提高了14.94% ($P<0.05$)、8.05% ($P>0.05$)和9.20% ($P>0.05$),料重比分别降低了6.62% ($P>0.05$)、8.01% ($P>0.05$)和7.32% ($P>0.05$);肌肉剪切力分别降低了8.57% ($P>0.05$)、12.32% ($P<0.05$)和6.71% ($P>0.05$),失水率分别降低了21.20% ($P<0.05$)、20.67% ($P<0.05$)和7.74% ($P<0.05$);肌肉中粗蛋白质含量分别提高了6.87% ($P>0.05$)、6.00% ($P>0.05$)和5.27% ($P>0.05$),粗脂肪含量分别提高了13.85% ($P<0.05$)、8.00% ($P>0.05$)和7.08% ($P>0.05$),肌苷酸含量分别提高了6.79% ($P>0.05$)、2.25% ($P>0.05$)和23.12% ($P<0.05$);肌肉中鲜味氨基酸含量分别提高了16.14% ($P<0.05$)、16.89% ($P<0.05$)和7.22% ($P>0.05$),谷氨酸/总氨基酸分别提高了8.42% ($P>0.05$)、2.25% ($P>0.05$)和2.71% ($P>0.05$);肌肉中不饱和脂肪酸/总脂肪酸分别提高了7.78% ($P<0.05$)、8.77% ($P<0.05$)和8.74% ($P<0.05$)。此外,试验Ⅰ组、试验Ⅱ组、试验Ⅲ组肌肉中醇类化合物的种类分别为16、17、16种,均高于对照组的14种。综上可知,饲料中添加不同天然植物饲料添加剂均可以提高杜洛克和八眉杂交育肥猪的生长性能,改善肉品质和风味。其中,添加0.3%的天然植物复方剂在提高生长性能方面效果较佳,添加0.3%的锁阳超微粉或0.3%的地顶孢霉培养物在改善肉品质和风味方面效果较佳。

关键词: 天然植物饲料添加剂;育肥猪;生长性能;屠宰性能;肉品质;挥发性化合物

中图分类号:S816

文献标识码:A

文章编号:1006-267X(2020)05-2087-14

随着我国国民经济的高速发展,人民生活水平不断提高,人们对猪肉的需求已不再满足于日常生活中量的提供,而是对猪肉的品质、营养和安

全等方面提出了更高的要求。使用抗生素后生产的猪肉产品,因抗生素残留而影响肉的品质和安全。天然植物饲料添加剂被认为是具有替代饲用

收稿日期:2019-11-07

基金项目:国家自然科学基金项目(31960665);畜禽无抗健康风味畜产品研发中心(2019-4-52)

作者简介:柴明杰(1995—),男,甘肃民勤人,硕士研究生,从事动物营养与饲料科学研究。E-mail: 1690093911@qq.com

*通信作者:陈国顺,教授,博士生导师,E-mail: chengs@gsau.edu.cn

抗生素潜力的绿色饲料添加剂之一,并且能够有效改善畜禽肉品质及风味^[1]。天然植物饲料添加剂具有抗微生物、抗应激、增强动物机体免疫力和营养调控等生物学功能^[2],其中的天然植物活性成分因具有抗氧化、抗肿瘤、降血糖、降血脂、降尿酸、改善记忆等功效而受到广泛的关注^[3]。李瑞等^[4]研究发现,添加0.1%的天然植物制剂可以提高育肥猪的生产性能,显著降低板油率与肌肉嫩度,改善肉品质。锁阳是锁阳科植物的干燥肉质茎,被称为“不老药”^[5],又称锈铁棒、铁棒褪、地毛球和乌兰高腰等。锁阳中主要含有三萜类、黄酮类、鞣质类、木脂素类、糖和糖苷类、有机酸、挥发油类以及甾体类等化学成分^[6]。现代药理研究表明锁阳具有增强免疫功能、清除自由基、抗应激、抗疲劳等多种药理作用^[7]。虫草类饲料添加剂对猪的作用主要体现在改善生产性能和增强免疫功能方面,地顶孢霉培养物是虫草类饲料添加剂的一种。Ahn等^[8]研究发现,虫草提取物或虫草成分物质能够选择性抑制致病菌和肠道中的有害菌;魏建忠等^[9]在基础饲料中添加0.25%的地顶孢霉培养物,显著提高了断奶仔猪的平均日增重及饲料转化率;Koh等^[10]报道,虫草能够提高畜禽体增重,增加抗体滴度,改善肠道微生物组成。随着“饲料禁抗”的全面实行,抗生素将不再允许添加到饲料中,天然植物饲料添加剂在“禁抗”背景下得到了越来越多的关注,但由不同天然植物组成的无抗饲料对育肥猪肉品质与风味影响的相关报道较少。因此,本试验拟研究分别添加天然植物复方剂、锁阳超微粉和地顶孢霉培养物的3种无抗饲料对杜洛克和八眉杂交育肥猪生长性能、屠宰性能以及肉品质和风味的影响,旨在为生产出健康、安全和优质风味的猪肉提供参考。

1 材料与amp;方法

1.1 试验材料

1.1.1 天然植物复方剂

天然植物复方剂是由当归(17%)、丹参(10%)、黄芪(23%)、黄芩(6%)、马齿苋(13%)、山楂(6%)、甘草(5%)、地榆(14%)、大蒜(6%)等9种天然植物制成,干燥无杂质(水分含量 $\leq 20.0\%$),含有多种天然生物活性和药用活性的成分,其中总多糖含量 $\geq 12\%$ 、总黄酮含量 $\geq 6\%$ 、黄

芩苷含量 $\geq 1.5\%$ 、黄芪甲苷含量 $\geq 0.04\text{ mg/g}$ 、阿魏酸含量 $\geq 0.14\text{ mg/g}$ 、丹参酮II A含量 $\geq 0.10\text{ mg/g}$ 。参照发明专利《天然植物饲料添加剂及其制备方法》(专利号:ZL20110292217.0)将上述9种天然植物按照一定比例混合均匀,经超微粉碎法加工(粉碎粒度在150~250目)后均匀混合在饲料中饲喂。

1.1.2 锁阳超微粉

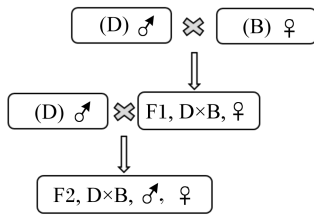
锁阳人工种植于甘肃省张掖市,收获后除去杂质、低温烘干(水分含量 $\leq 10.0\%$),超微粉碎(粉碎粒度在150~250目)后均匀混合在饲料中饲喂。锁阳中主要营养成分有碳水化合物、蛋白质、脂肪、膳食纤维以及多种维生素,还含有钠、钾、镁、铁、钙、锰、锌、铜等微量元素。锁阳中氨基酸种类高达15种,其中精氨酸和组氨酸的含量较高;多糖和鞣质的含量也极其丰富,其中多糖含量超过4%,鞣质含量超过20%;除此之外,还含有22种挥发性成分(主要为棕榈酸和油酸)、12种烃类成分以及花色苷、熊果酸、三萜皂苷等化学活性成分。

1.1.3 地顶孢霉培养物

地顶孢霉培养物是从古尼虫草(采集于安徽牯牛降自然保护区)中分离的地顶孢霉菌株,利用人工培养基,采用固-液双相发酵技术制备而成的营养型促生长、调节免疫力的安全、绿色新型饲料添加剂。地顶孢霉培养物主要含虫草酸、虫草素、虫草多糖、超氧化物歧化酶(SOD)、氨基酸、腺苷、生物碱、维生素B₁、维生素B₂及部分矿物元素等,其基本营养成分含量如下:粗蛋白质23.06%;水分5.24%;粗纤维3.08%;粗脂肪4.08%;虫草酸85.47 g/kg;虫草多糖45.62 g/kg;腺苷0.332 g/kg;虫草素0.464 g/kg;甾醇0.641 g/kg。

1.2 试验设计

选择健康状况基本一致的由杜洛克猪(D)和八眉猪(B)采用级进杂交(图1)生产的F₂代杂交育肥猪32头(公母各16头)作为试验动物,将其随机分为对照组、试验I组、试验II组和试验III组,每组4个重复,每个重复2头猪。4组育肥猪分别饲喂1种试验饲料,预试期7 d,正试期42 d。具体试验设计见表1。天然植物复方剂、锁阳超微粉和地顶孢霉培养物的添加量根据预试验确定。



D: 杜洛克猪 Duroc pigs; B: 八眉猪 Bamei pigs。

图 1 级进杂交模式

Fig.1 Grading crossing mode

1.3 试验饲料

试验饲料参照 NRC(2012)60~110 kg 阶段育肥猪饲养标准配制,其组成及营养水平见表 2。

1.4 饲养管理

饲养试验在甘肃省武威市亿家禾生猪养殖基地进行。试验前彻底清扫猪舍,并进行消毒,试验期按猪场规定的时间对试验猪进行免疫保健,在育肥期间对育肥猪进行 1 次驱虫。猪只自由采食,自由饮水。各组育肥猪的管理条件一致,每周进行 1 次消毒,每天上午、下午各打扫 1 次猪舍,观察猪粪便形态。

表 1 试验设计

Table 1 Test design

项目 Items	对照组 Control group	试验 I 组 Test group I	试验 II 组 Test group II	试验 III 组 Test group III
添加剂 Additive	—	天然植物复方剂	锁阳超微粉	地顶孢霉培养物
添加量 Adding amount/%	—	0.3	0.3	0.3
育肥猪(去势) Finishing pig (castration)	4 公+4 母	4 公+4 母	4 公+4 母	4 公+4 母

表 2 试验饲料组成及营养水平(风干基础)

Table 2 Composition and nutrient levels of experimental diets (air-dry basis)

%

项目 Items	对照组 Control group	试验 I 组 Test group I	试验 II 组 Test group II	试验 III 组 Test group III
原料 Ingredients				
玉米 Corn	63.10	62.80	62.80	62.80
豆粕 Soybean meal	17.00	17.00	17.00	17.00
棉籽粕 Cottonseed meal	4.00	4.00	4.00	4.00
小麦麸 Wheat bran	10.00	10.00	10.00	10.00
食盐 NaCl	0.35	0.35	0.35	0.35
石粉 Limestone	1.40	1.40	1.40	1.40
磷酸氢钙 CaHPO ₄	1.00	1.00	1.00	1.00
氯化胆碱 Choline chloride (50%)	0.10	0.10	0.10	0.10
大豆油 Soybean oil	1.80	1.80	1.80	1.80
L-赖氨酸 L-Lys	0.20	0.20	0.20	0.20
蛋氨酸 Met	0.02	0.02	0.02	0.02
苏氨酸 Thr	0.03	0.03	0.03	0.03
预混料 Premix ¹⁾	1.00	1.00	1.00	1.00
天然植物复方剂 Natural plant compound		0.30		
锁阳超微粉 Cynomorium ultrafine powder			0.30	
地顶孢霉培养物 Acremonium terricola culture				0.30
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels ²⁾				
消化能 DE/(MJ/kg)	13.63	13.63	13.63	13.63
粗蛋白质 CP	15.54	15.54	15.54	15.54

续表 2

项目 Items	对照组 Control group	试验 I 组 Test group I	试验 II 组 Test group II	试验 III 组 Test group III
粗脂肪 EE	4.02	4.02	4.02	4.02
粗纤维 CF	2.72	2.72	2.72	2.72
标准回肠可消化赖氨酸 SID Lys	0.95	0.95	0.95	0.95
标准回肠可消化苏氨酸 SID Thr	0.64	0.64	0.64	0.64
标准回肠可消化蛋氨酸 SID Met	0.28	0.28	0.28	0.28
标准回肠可消化色氨酸 SID Try	0.21	0.21	0.21	0.21
标准回肠可消化异亮氨酸 SID Ile	0.59	0.59	0.59	0.59
标准回肠可消化亮氨酸 SID Leu	0.92	0.92	0.92	0.92
标准回肠可消化缬氨酸 SID Val	0.71	0.71	0.71	0.71
标准回肠可消化苯丙氨酸 SID Phe	0.75	0.75	0.75	0.75
标准回肠可消化组氨酸 SID His	0.39	0.39	0.39	0.39
钙 Ca	0.75	0.75	0.75	0.75
总磷 TP	0.54	0.54	0.54	0.54
钠 Na	0.20	0.20	0.20	0.20
氯 Cl	0.26	0.26	0.26	0.26

1) 预混料为每千克饲料提供 The premix provided the following per kg of diets: Fe 55.0 mg, Zn 65.0 mg, Mn 42.0 mg, Cu 30.0 mg, Se 0.35 mg, I 0.68 mg, VA 820 IU, VD 850 IU, VE 52.0 mg, 硫胺素 thiamine 2.15 mg, 核黄素 riboflavin 2.80 mg, 生物素 biotin 0.06 mg, 叶酸 folic acid 0.36 mg, 烟酸 nicotinic acid 32.00 mg, 泛酸钙 calcium pantothenate 28.00 mg, VB₆ 1.10 mg, VB₁₂ 0.01 mg, 氯化胆碱 choline chloride 450.0 mg, 抗氧化剂 antioxidants 30.0 mg。

2) 营养水平均为计算值。Nutrient levels were all calculated values.

1.5 测定指标及方法

1.5.1 生长性能

正试期内, 分别于试验开始和结束的当天晨饲前逐头称重, 记录始重和末重, 计算平均日增重; 记录每天给料量和最终料槽中的剩料量, 计算平均日采食量; 根据平均日增重和平均日采食量, 计算料重比。

平均日增重 = (末重 - 初重) / 饲养天数;

平均日采食量 = 每栏耗料总量 /
(饲养天数 × 饲喂头数);

料重比 = 平均日采食量 / 平均日增重。

1.5.2 屠宰性能

正试期第 42 天禁食 24 h, 自由饮水。从每个重复中随机选择 1 头育肥猪称重、屠宰, 每组屠宰 4 头, 共屠宰 16 头。屠宰流程严格按照我国《生猪屠宰操作规程》(GB/T 17236—2008) 进行屠宰。静脉放血处死, 去头脚及内脏, 称量胴体重, 宰后胴体重量和猪体活重的比率即为屠宰率; 平均背膘厚的测定参照《瘦肉型种猪性能测定技术规程》(GB 8467—1987) 进行; 眼肌面积的测定参照郭理洋^[11]的方法[用铅笔在硫酸纸上画出眼肌轮廓,

测定眼肌的高和宽, 根据公式(高 × 宽 × 0.7) 计算出眼肌面积] 进行; 胴体斜长的测量方法为用挂钩钩入左侧胴体的跗关节, 将胴体倒挂, 用米尺测量从耻骨联合前缘至第 1 肋骨与胸骨结合处前缘的长度^[12]; 同时, 取倒数第 1、2 肋骨处背最长肌的肉样供肉品质分析和肌苷酸、氨基酸、脂肪酸含量测定及挥发性化合物鉴定。

1.5.3 肉品质

剪切力(嫩度)的测定参照《肉嫩度的测定 剪切力测定法》(NY/T 1180—2006) 的方法; 失水率(系水力)的测定参照《畜禽肉质的测定》(NY/T 1333—2007) 的方法; 蒸煮损失、大理石纹评分和 pH 的测定参照文献^[13]的方法; 肉色采用柯尼卡美能达(Konica Minolta) CR-10 小型色差计测定。

1.5.4 肌肉营养成分含量

干物质含量采用 105 °C 烘箱干燥法(GB 5009.3—2016) 测定; 粗蛋白质含量采用半微量凯氏定氮法(FOSS 凯氏定氮仪, GB 5009.5—2016) 测定; 粗脂肪含量采用索氏抽提法(GB 5009.6—2016) 测定。

1.5.5 肌肉中肌苷酸含量

肌苷酸含量采用高效液相色谱法^[14]测定,测定条件:采用波长为254 nm的紫外检测器,C18色谱柱,柱温25℃,进样量10 μL,流速为1 mL/min,保留时间为35 min。

1.5.6 肌肉中各氨基酸含量

参照《食品中氨基酸的测定》(GB/T 5009.124—2003)中方法测定除色氨酸外的17种氨基酸的含量,采用超高效液相色谱法^[14]测定色氨酸的含量。

1.5.7 肌肉中各脂肪酸含量

参照《食品中脂肪酸的测定》(GB 5009.168—2016)中方法测定各脂肪酸的含量。

1.5.8 肌肉中挥发性化合物

通过顶空微萃取(SPME)预处理,借助气相色谱-质谱(GC-MS)联用仪对肌肉中挥发性化合物进行分离、鉴定。

样品处理方法:首先采取5 g肉样于20 mL顶空瓶中(不要超过顶空瓶的1/4),拧紧瓶盖,然后85℃下顶空40 min,用固相微萃取针(SPME)(使用前先在250℃下老化10 min,冷却至室温后依次用甲醇、乙醇、乙醚、正己烷、去离子水、甲醇清洗)萃取30 min,手动进样,萃取针在进样口停留4 min^[15]。

气相条件:采用DB-Wax毛细管柱子(30 m×0.25 mm×0.25 μm)作为色谱柱;以氦气为载气,流速1 mL/min,不分流;进样温度为250℃,柱箱温度为40℃;升温程序按照起始温度40℃,保持4 min后,以5℃/min升至245℃,持续5 min^[16]。

质谱条件:电子电离源(EI),能量70 eV,倍增电压1 400 V;离子源及接口的温度为250℃;质量扫描范围荷质比(m/z)=20~500,间隔0.3 s^[17]。

1.6 数据处理与分析

试验数据先采用Excel 2010软件进行初步统计和整理,然后通过SPSS 17.0软件进行方差分析,再用Duncan氏法进行多重比较, $P<0.05$ 表示差异显著, $P>0.05$ 表示差异不显著。试验结果以平均值±标准差(mean±SD)形式表示。

2 结果与分析

2.1 3种无抗饲料对育肥猪生长性能的影响

由表3可知,与对照组相比,试验I组、试验II组和试验III组育肥猪的平均日增重分别提高了14.94% ($P<0.05$)、8.05% ($P>0.05$)和9.20% ($P>0.05$),料重比分别降低了6.62% ($P>0.05$)、8.01% ($P>0.05$)和7.32% ($P>0.05$)。

表3 3种无抗饲料对育肥猪生长性能的影响

Table 3 Effects of three kinds of diets without antibiotics on growth performance of finishing pigs

项目 Items	对照组 Control group	试验I组 Test group I	试验II组 Test group II	试验III组 Test group III
始重 IBW/kg	65.10±2.56	67.20±2.15	66.10±1.92	65.20±1.70
末重 FBW/kg	101.50±6.31	109.10±1.85	105.60±2.23	105.10±1.80
平均日采食量 ADFI/kg	2.50±0.21 ^b	2.68±0.23 ^a	2.48±0.25 ^b	2.53±0.26 ^b
平均日增重 ADG/kg	0.87±0.06 ^b	1.00±0.04 ^a	0.94±0.06 ^{ab}	0.95±0.07 ^{ab}
料重比 F/G	2.87±0.25	2.68±0.26	2.64±0.21	2.66±0.25

同行数据肩标相同字母或者无字母表示差异不显著 ($P>0.05$),不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。下表同。

In the same row, values with no letter or the same letter superscripts mean no significant difference ($P>0.05$), while with different letter superscripts mean significant difference ($P<0.05$). The same as below.

2.2 3种无抗饲料对育肥猪屠宰性能的影响

由表4可知,与对照组相比,试验I组、试验II组和试验III组育肥猪的背膘厚分别降低了8.92% ($P>0.05$)、13.45% ($P<0.05$)和3.29% ($P>0.05$),胴体重、胴体斜长、屠宰率和眼肌面积均增加,但差异不显著 ($P>0.05$),其中试验I组增加较

为明显。

2.3 3种无抗饲料对育肥猪肉品质的影响

由表5可知,与对照组相比,试验I组、试验II组和试验III组育肥猪肌肉的剪切力分别降低了8.57% ($P>0.05$)、12.32% ($P<0.05$)和6.71% ($P>0.05$),失水率分别降低了21.20% ($P<0.05$)、

20.67% ($P<0.05$) 和 7.74% ($P>0.05$), 大理石纹评分均显著提高 ($P<0.05$), 45 min 黄度 ($b_{45\text{ min}}^*$) 值分别降低了 17.97% ($P<0.05$)、14.06% ($P>0.05$) 和 3.52% ($P>0.05$); 24 h 红度 ($a_{24\text{ h}}^*$) 值分别提高了 10.62% ($P<0.05$)、2.98% ($P>0.05$) 和 11.42% ($P<0.05$), 24 h 黄度 ($b_{24\text{ h}}^*$) 值均显著降低 ($P<0.05$)。屠宰 24 h 后, 对照组、试验 I 组、试验 II 组和试验

III 组的 pH 较屠宰 45 min 后分别下降了 0.64、0.39、0.37 和 0.35。试验 I 组和试验 III 组的蒸煮损失较对照组分别降低了 2.66% ($P>0.05$) 和 11.37% ($P<0.05$), 试验 II 组则较对照组有所增加, 但差异不显著 ($P>0.05$)。此外, 试验 III 组的失水率显著低于试验 I 组和试验 II 组 ($P>0.05$)。

表 4 3 种无抗饲料对育肥猪屠宰性能的影响

Table 4 Effects of three kinds of diets without antibiotics on slaughter performance of finishing pigs

项目 Items	对照组 Control group	试验 I 组 Test group I	试验 II 组 Test group II	试验 III 组 Test group III
宰前活重 Live weight before slaughter/kg	102.15±2.25	109.10±1.85	105.60±2.23	105.10±1.80
胴体重 Carcass weight/kg	76.55±2.13	83.20±2.75	79.80±2.62	80.20±2.54
屠宰率 Slaughter rate/%	74.94±1.52	76.26±1.81	75.57±2.26	76.30±2.12
背膘厚 Backfat thickness/cm	2.13±0.39 ^a	1.94±0.34 ^{ab}	1.85±0.27 ^b	2.06±0.15 ^{ab}
胴体斜长 Carcass length/cm	102.57±2.45	109.31±2.65	103.65±2.82	103.24±2.18
眼肌面积 Loin eye area/cm ²	55.07±2.46	58.56±3.45	55.62±4.12	56.57±4.27

表 5 3 种无抗饲料对育肥猪肉品质的影响

Table 5 Effects of three kinds of diets without antibiotics on meat quality of finishing pigs

项目 Items	对照组 Control group	试验 I 组 Test group I	试验 II 组 Test group II	试验 III 组 Test group III
剪切力 Shear force/N	59.65±12.50 ^a	54.54±6.20 ^{ab}	52.30±6.11 ^b	55.65±12.50 ^{ab}
失水率 Water loss rate/%	35.90±0.70 ^a	28.29±3.28 ^b	28.49±1.66 ^b	33.12±2.11 ^a
蒸煮损失 Cooking loss/%	31.22±6.97 ^a	30.39±4.28 ^{ab}	32.70±1.92 ^a	27.67±5.93 ^b
大理石纹评分 Marbling score	3.10±0.31 ^b	3.50±0.31 ^a	3.55±0.32 ^a	3.75±0.50 ^a
肉色评分 Color grading	3.25±0.50	3.50±0.50	3.55±0.50	3.50±0.50
45 min 亮度 $L_{45\text{ min}}^*$	56.88±0.69	56.77±1.39	57.65±1.55	56.82±0.50
24 h 亮度 $L_{24\text{ h}}^*$	56.62±0.86	58.33±0.80	57.25±1.37	59.32±0.60
45 min 红度 $a_{45\text{ min}}^*$	12.47±0.51	12.66±0.57	12.75±0.81	13.13±0.32
24 h 红度 $a_{24\text{ h}}^*$	12.43±0.37 ^b	13.75±0.78 ^a	12.80±0.77 ^{ab}	13.85±0.25 ^a
45 min 黄度 $b_{45\text{ min}}^*$	2.56±0.75 ^a	2.10±0.89 ^b	2.20±0.58 ^b	2.47±0.43 ^a
24 h 黄度 $b_{24\text{ h}}^*$	3.03±0.85 ^a	2.05±0.63 ^b	2.70±0.72 ^b	2.28±0.43 ^b
pH _{45 min}	6.20±0.51	6.21±0.63	6.12±0.54	6.12±0.03
pH _{24 h}	5.56±0.67	5.82±0.46	5.75±0.65	5.77±0.04
pH _{45 min} -pH _{24 h}	0.64±0.03 ^a	0.39±0.02 ^b	0.37±0.02 ^b	0.35±0.01 ^b

2.4 3 种无抗饲料对育肥猪肌肉营养成分及肌苷酸含量的影响

由表 6 可知, 与对照组相比, 试验 I 组、试验 II 组和试验 III 组育肥猪肌肉中粗蛋白质含量分别提高了 6.87% ($P>0.05$)、6.00% ($P>0.05$) 和 5.27% ($P>0.05$), 粗脂肪含量分别提高了 13.85%

($P<0.05$)、8.00% ($P>0.05$) 和 7.08% ($P>0.05$), 肌苷酸含量分别提高了 6.79% ($P>0.05$)、2.25% ($P>0.05$) 和 23.12% ($P<0.05$)。此外, 试验 III 组的肌苷酸含量比试验 I 组和试验 II 组分别提高了 15.28% ($P<0.05$) 和 25.27% ($P<0.05$)。

表 6 3种无抗饲料对育肥猪肌肉营养成分及肌苷酸含量的影响(鲜肉基础)

Table 6 Effects of three kinds of diets without antibiotics on muscle nutrient and inosinic acid contents of finishing pigs (fresh meat basis)

项目 Items	对照组 Control group	试验 I 组 Test group I	试验 II 组 Test group II	试验 III 组 Test group III
水分 Moisture/%	71.61±0.53	70.05±0.60	70.61±0.69	71.07±1.28
粗蛋白质 CP/%	23.15±0.94	24.74±0.63	24.54±0.68	24.37±0.51
粗脂肪 EE/%	3.25±0.13 ^b	3.70±0.11 ^a	3.52±0.10 ^{ab}	3.48±0.10 ^{ab}
肌苷酸 IMP/(mg/kg)	1 211.34±2.73 ^b	1 293.63±3.17 ^b	1 238.61±1.76 ^b	1 491.28±2.98 ^a

2.5 3种无抗饲料对育肥猪肌肉氨基酸组成的影响

由表 7 可知,与对照组相比,3 个试验组育肥猪肌肉中谷氨酸、总氨基酸和必需氨基酸的含量均显著提高($P<0.05$),以试验 II 组提高最多,试验 I 组次之;与对照组相比,试验 I 组、试验 II 组和

试验 III 组肌肉中鲜味氨基酸含量分别提高了 16.14% ($P<0.05$)、16.89% ($P<0.05$) 和 7.22% ($P>0.05$)。3 个试验组之间肌肉中谷氨酸和鲜味氨基酸含量差异不显著 ($P>0.05$),但试验 II 组的总氨基酸含量比试验 I 组和试验 III 组分别提高了 6.70% ($P>0.05$) 和 11.09% ($P<0.05$)。

表 7 3种无抗饲料对育肥猪肌肉氨基酸组成的影响

Table 7 Effects of three kinds of diets without antibiotics on amino acid composition in muscle of finishing pigs

项目 Items	对照组 Control group	试验 I 组 Test group I	试验 II 组 Test group II	试验 III 组 Test group III
苏氨酸 Thr/(g/kg) *	7.34±0.31 ^b	8.87±0.56 ^a	9.46±1.09 ^a	8.90±1.64 ^a
缬氨酸 Val/(g/kg) *	9.28±0.39 ^b	10.94±0.59 ^a	11.55±1.54 ^a	10.68±2.76 ^a
蛋氨酸 Met/(g/kg) *	4.97±0.44 ^b	5.64±0.25 ^a	5.70±0.80 ^a	4.66±0.46 ^c
异亮氨酸 Ile/(g/kg) *	8.73±0.46 ^b	10.43±0.42 ^a	10.73±0.76 ^a	10.21±2.28 ^a
亮氨酸 Leu/(g/kg) *	12.76±0.35 ^b	15.74±0.41 ^a	16.29±1.24 ^a	14.90±2.85 ^a
苯丙氨酸 Phe/(g/kg) *	7.15±0.27 ^b	8.48±0.18 ^a	8.59±0.66 ^a	7.95±1.61 ^a
赖氨酸 Lys/(g/kg) *	18.44±0.45 ^c	23.05±1.29 ^a	23.63±1.80 ^a	20.73±1.68 ^b
色氨酸 Try/(g/kg) *	2.25±0.03	2.46±0.06	2.36±0.08	2.41±0.12
半胱氨酸 Cys/(g/kg) *	0.80±0.06 ^c	1.15±0.12 ^a	1.14±0.09 ^a	1.01±0.06 ^b
酪氨酸 Tyr/(g/kg) *	5.90±0.59 ^b	7.05±0.28 ^a	7.33±1.11 ^a	6.74±1.40 ^a
组氨酸 His/(g/kg)	57.70±1.44 ^b	61.23±1.78 ^b	75.96±2.44 ^a	63.52±2.13 ^b
丝氨酸 Ser/(g/kg)	7.37±0.40 ^b	8.80±0.49 ^a	8.83±1.39 ^a	8.00±1.66 ^b
精氨酸 Arg/(g/kg) #	12.84±0.67 ^b	14.95±0.94 ^a	14.96±1.28 ^a	13.95±1.60 ^a
天门冬氨酸 Asp/(g/kg) #	18.56±0.47 ^b	22.14±1.70 ^a	22.60±1.74 ^a	20.86±2.33 ^a
甘氨酸 Gly/(g/kg) #	12.06±0.47 ^a	11.43±0.79 ^a	11.29±1.32 ^a	10.40±1.22 ^b
谷氨酸 Glu/(g/kg) #	25.64±0.68 ^b	31.73±1.66 ^a	31.92±1.24 ^a	28.88±1.71 ^a
丙氨酸 Ala/(g/kg)	10.38±0.73 ^c	11.40±0.72 ^a	11.54±1.58 ^a	10.80±2.24 ^{ab}
脯氨酸 Pro/(g/kg)	17.58±0.50	18.31±1.53	18.25±1.42	18.36±1.75
总氨基酸 TAA/(g/kg)	239.75±15.23 ^c	273.80±16.25 ^{ab}	292.13±16.35 ^a	262.96±15.86 ^b
必需氨基酸 EAA/(g/kg)	77.62±4.85 ^b	93.81±4.56 ^a	96.78±5.36 ^a	88.19±4.98 ^a
鲜味氨基酸 FAA/(g/kg)	69.10±3.64 ^b	80.25±3.18 ^a	80.77±4.13 ^a	74.09±4.75 ^{ab}
甜味氨基酸 Sweet AA/(g/kg)	73.17±4.35 ^b	81.86±4.35 ^a	83.00±5.03 ^a	77.19±4.62 ^{ab}
酸味氨基酸 Sour AA/(g/kg)	101.90±6.29 ^c	115.10±6.35 ^b	130.48±7.54 ^a	113.26±7.15 ^a
苦味氨基酸 BAA/(g/kg)	121.58±6.85 ^b	136.92±6.12 ^b	153.47±8.24 ^a	135.02±6.87 ^b

续表 7

项目 Items	对照组 Control group	试验 I 组 Test group I	试验 II 组 Test group II	试验 III 组 Test group III
谷氨酸/总氨基酸 Glu/TAA/%	10.69	11.59	10.93	10.98
必需氨基酸/总氨基酸 EAA/TAA/%	32.38	34.26	33.13	33.54
鲜味氨基酸/总氨基酸 FAA/TAA/%	28.82	29.31	27.65	28.18

上标“*”为必需氨基酸,上标“#”为鲜味氨基酸。鲜味氨基酸由谷氨酸、精氨酸、天冬氨酸和甘氨酸组成;甜味氨基酸由甘氨酸、丝氨酸、苏氨酸、赖氨酸、脯氨酸和丙氨酸组成;酸味氨基酸由谷氨酸、天冬氨酸和组氨酸组成;苦味氨基酸由组氨酸、蛋氨酸、缬氨酸、精氨酸、亮氨酸、苯丙氨酸、色氨酸、异亮氨酸和酪氨酸组成。

Superscript “*” mean essential amino acids, and superscript “#” mean flavor amino acids. Flavor amino acids were composed of glutamate, arginine, aspartic acid and glycine. Sweet amino acids were composed of glycine, serine, threonine, lysine, proline and alanine. Sour amino acids were composed of glutamate, aspartic acid and histidine. Bitter amino acids are composed of histidine, methionine, valine, arginine, leucine, phenylalanine, tryptophan, isoleucine and tyrosine.

由表 8 可知,与对照组相比,试验 I 组、试验 II 组和试验 III 组育肥猪肌肉中必需氨基酸评分分别提高了 20.62% ($P < 0.05$)、24.51% ($P < 0.05$) 和 13.50% ($P < 0.05$)。

表 8 3 种无抗饲料对育肥猪肌肉必需氨基酸评分的影响

Table 8 Effects of three kinds of diets without antibiotics on essential amino acid scores in muscle of finishing pigs

项目 Items	对照组 Control group	试验 I 组 Test group I	试验 II 组 Test group II	试验 III 组 Test group III
蛋氨酸 Met	14.20	16.11	16.29	13.31
苏氨酸 Thr	18.35	22.18	23.65	22.25
缬氨酸 Val	18.56	21.88	23.10	21.36
亮氨酸 Leu	18.23	22.51	23.27	21.29
赖氨酸 Lys	33.53	41.91	42.96	37.69
色氨酸 Try	22.50	24.60	23.60	24.10
异亮氨酸 Ile	21.83	26.08	26.83	25.53
苯丙氨酸+酪氨酸 Phe+Tyr	21.75	25.88	26.53	24.48
必需氨基酸 EAA	21.34 ^b	25.74 ^a	26.57 ^a	24.22 ^a

2.6 3 种无抗饲料对育肥猪肌肉脂肪酸组成的影响

由表 9 可知,在育肥猪肌肉中总共检测出 14 种饱和脂肪酸 (SFA)、8 种单不饱和脂肪酸 (MUFA) 和 8 种多不饱和脂肪酸 (PUFA)。与对照组相比,试验 I 组、试验 II 组和试验 III 组的 SFA/总脂肪酸 (TFA) 分别降低了 10.96% ($P < 0.05$)、12.36% ($P < 0.05$) 和 12.31% ($P < 0.05$), UFA/TFA 分别提高了 7.78% ($P < 0.05$)、8.77% ($P < 0.05$) 和 8.74% ($P < 0.05$), MUFA/TFA 分别提高了 8.27% ($P < 0.05$)、4.36% ($P > 0.05$) 和 7.91% ($P < 0.05$), 试验 II 组和试验 III 组的 PUFA/TFA 分别较对照组提高了 51.18% ($P < 0.05$) 和

16.88% ($P < 0.05$)。

2.7 3 种无抗饲料对育肥猪肌肉中挥发性化合物的影响

由表 10 可知,在对照组、试验 I 组、试验 II 组和试验 III 组育肥猪肌肉中分别检测出 101、102、102 和 97 种挥发性化合物,主要包括如下 12 种类型:酚类、醛类、醇类、酮类、酸类、硫化物、烷烃化合物、苯环类、呋喃、酯类和噻唑以及少量其他类化合物,如吡嗪、吡咯等。本试验测定的挥发性化合物中以烷烃化合物居多,其次是醛类、醇类和酸类。育肥猪饲料中添加 0.3% 的天然植物复方剂后肌肉中醛类化合物为 20 种,添加 0.3% 的锁阳超微粉后肌肉中醛类化合物为 21 种,均高于对照组。

育肥猪饲料中添加 0.3% 的天然植物复方剂、0.3% 醇类化合物的种类分别为 16、17、16 种,均高于对的锁阳超微粉和 0.3% 的地顶孢霉培养物后肌肉中对照组的 14 种。

表 9 3 种无抗饲料对育肥猪肌肉脂肪酸组成的影响

Table 9 Effects of three kinds of diets without antibiotics on muscle fatty acid composition of finishing pigs

项目 Items	对照组 Control group	试验 I 组 Test group I	试验 II 组 Test group II	试验 III 组 Test group III
SFA/(mg/kg)				
辛酸 C8:0	4.79±0.13 ^a	2.81±0.16 ^b	1.24±0.06 ^c	3.08±0.07 ^d
癸酸 C10:0	60.72±2.36 ^a	29.57±1.83 ^b	12.86±1.35 ^c	28.94±2.39 ^d
月桂酸 C12:0	63.73±1.89 ^a	20.31±1.14 ^b	9.77±1.46 ^c	24.51±2.16 ^d
银杏酸 C13:0	0.61±0.06	0.48±0.04	0.45±0.02	0.56±0.01
肉豆蔻酸 C14:0	1 131.88±3.36 ^a	348.36±5.17 ^b	182.96±3.62 ^c	450.86±1.14 ^d
十五碳酸 C15:0	23.71±2.59 ^a	11.44±1.09 ^b	12.41±0.35 ^c	9.90±1.63 ^b
棕榈酸 C16:0	5 972.18±18.45 ^a	7 614.52±72.05 ^b	5 472.56±56.35 ^c	5 103.60±140.47 ^d
十七碳酸 C17:0	164.86±2.73 ^a	68.59±2.22 ^b	79.39±1.69 ^b	77.79±1.19 ^b
硬脂酸 C18:0	5 307.85±18.64 ^a	2 558.88±42.81 ^b	1 777.77±19.90 ^c	3 447.72±57.31 ^d
二十碳酸 C20:0	172.81±2.29 ^a	41.17±1.80 ^b	25.26±1.81 ^c	85.63±3.29 ^d
二十一碳酸 C21:0	1.51±0.07 ^a	0.71±0.07 ^b	0.58±0.03 ^c	1.03±0.08 ^d
山嵛酸 C22:0	19.80±0.16 ^a	3.31±0.15 ^b	1.57±0.04 ^c	3.91±0.06 ^d
二十三碳酸 C23:0	1.14±0.11 ^a	0.60±0.05 ^a	0.57±0.04 ^b	0.87±0.03 ^b
二十四碳酸 C24:0	5.02±0.26 ^a	3.23±0.19 ^b	1.78±0.05 ^b	2.31±0.05 ^c
MUFA/(mg/kg)				
豆蔻油酸 C14:1	11.45±1.24 ^a	3.53±0.19 ^b	1.93±0.06 ^c	3.08±0.11 ^d
十五碳一烯酸 C15:1	27.41±1.91 ^a	26.52±1.41 ^c	18.53±0.73 ^b	17.30±1.19 ^c
棕榈油酸 C16:1	684.16±2.63 ^a	775.63±10.38 ^b	455.95±9.22 ^c	736.36±6.87 ^d
十七碳一烯酸 C17:1	119.70±1.44 ^a	63.14±1.94 ^b	65.83±1.62 ^c	58.59±3.03 ^b
油酸 C18:1n9c	15 226.80±14.14 ^a	15 610.82±72.63 ^b	10 849.17±49.10 ^c	13 478.54±93.01 ^d
二十碳一烯酸 C20:1	419.87±4.36 ^a	130.68±2.24 ^b	126.76±3.68 ^c	216.10±5.95 ^d
芥酸 C22:1n9	13.93±1.29 ^a	5.21±0.47 ^b	2.97±0.20 ^c	7.70±0.16 ^d
二十四碳一烯酸 C24:1	3.15±0.14 ^a	2.31±0.07 ^b	0.74±0.03 ^c	1.45±0.03 ^d
PUFA/(mg/kg)				
亚油酸 C18:2n6c	602.18±20.25 ^a	957.86±12.93 ^b	1 080.91±7.64 ^c	854.64±45.14 ^d
亚麻酸 C18:3n6	15.37±0.75 ^b	13.53±1.33 ^c	17.44±1.24 ^a	18.96±1.35 ^a
二十碳二烯酸 C20:2	352.68±3.59 ^a	66.12±2.35 ^b	87.63±3.24 ^b	202.30±11.50 ^c
二十碳三烯酸 C20:3n3	75.73±2.61 ^a	54.99±2.14 ^b	58.60±3.24 ^b	62.33±3.87 ^c
花生三烯酸 C20:3n6	160.06±2.10 ^a	9.20±0.63 ^b	12.98±0.76 ^b	35.56±2.58 ^c
花生四烯酸 C20:4n6	497.73±2.61 ^a	538.83±3.24 ^a	470.70±4.90 ^a	454.60±26.25 ^b
二十二碳二烯酸 C22:2	3.56±0.21 ^a	1.81±0.16 ^b	1.15±0.04 ^c	2.12±0.03 ^d
二十二碳六烯酸 C22:6n3	10.04±0.37 ^a	5.05±0.39 ^b	6.66±0.14 ^a	5.78±0.06 ^b
TFA	31 154.43±58.23 ^a	28 969.21±67.19 ^b	20 837.12±68.58 ^c	25 396.52±84.72 ^d
SFA/TFA/%	41.50	36.95	36.37	36.39
UFA/TFA/%	58.50	63.05	63.63	63.61
MUFA/TFA/%	52.98	57.36	55.29	57.17
PUFA/TFA/%	5.51	5.69	8.33	6.44
PUFA/SFA/%	13.28	15.39	22.91	17.71

TFA:总脂肪酸 total fatty acids;SFA:饱和脂肪酸 saturated fatty acids;UFA:不饱和脂肪酸 unsaturated fatty acids;MUFA:单不饱和脂肪酸 monounsaturated fatty acids;PUFA:多不饱和脂肪酸 polyunsaturated fatty acids。

表 10 3组育肥猪肌肉中挥发性化合物的种类

Table 10 Varieties of volatile compounds in muscle of finishing pigs for each groups

序号 Number	分类 Classification	相同化合物数量 The same compound number	对照组 Control group	试验 I 组 Test group I	试验 II 组 Test group II	试验 III 组 Test group III
1	酚类	1	1	2	2	2
2	醛类	17	17	20	21	17
3	醇类	14	14	16	17	16
4	酸类	9	13	12	9	12
5	酮类	6	7	8	6	8
6	硫化物	1	1	1	1	1
7	烷烃化合物	28	30	29	31	29
8	苯环类	0	1	1	1	1
9	呋喃	1	1	1	1	1
10	噻唑	1	1	1	1	1
11	酯类	3	4	5	3	5
12	其他	4	9	7	9	5
13	合计	85	99	102	102	97

由表 11 可知, 试验 I 组和试验 II 组中检出对猪肉风味形成有重要作用的乙醛和己醛等醛类化合物, 试验 I 组和试验 III 组检出 2-戊烯-1-醇, 试

验 II 组和试验 III 组中均检出 1-辛烯-3-醇, 对猪肉风味形成具有促进作用。

表 11 各组育肥猪肌肉中对猪肉风味形成有重要作用的挥发性化合物

Table 11 Useful volatile compounds for pork flavor formation in muscle of finishing pigs for each group

序号 Number	分类 Classification	对照组 Control group	试验 I 组 Test group I	试验 II 组 Test group II	试验 III 组 Test group III
1	酚类	2,6-双(1,1-二甲基乙基)-4-(1-氧代丙基)苯酚	4,4'-(1-甲基亚乙基)双酚	4-[(2-羟基-5-甲基-3-吡啶基)偶氮]-间苯二酚	
2	醛类	乙醛、己醛、5-甲基己醛、2-硝基-二氨基甲基脞-苯甲醛	乙醛、己醛、戊醛、5-甲基己醛		
3	醇类	2-戊烯-1-醇、2-甲基-反式环戊醇	(E)-2-壬烯-1-醇、1-辛烯-3-醇、1-己醇	2-戊烯-1-醇、1-辛烯-3-醇	
4	酸类	邻苯二甲酸、羟基癸酸、十六碳烯酸、癸酸、2-十一烯酸	己酸、辛酸、2-甲基十六烷酸	2-十一烯酸、十一(烷)酸、异丁酸	
5	酮类	2,3-辛二酮	2-十一烷酮、3-羟基-2-丁酮	2,3-辛二酮、3-羟基-2-丁酮	
6	硫化物	N-吗啉甲基-异丙基-硫化物	异丙基-硫化物	异丙基-硫化物	N-吗啉甲基-异丙基-硫化物
7	烷烃化合物	1,4-二甲基十一烷、2-氨基-6-甲基庚烷	环氧乙烷	2-(3-甲氧基苯基)环氧乙烷、2-氨基-6-甲基庚烷、1,4-二甲基十一烷	癸烷
8	苯环类	(1-去甲基)-苯	N-[2,6-二甲基-4-[(三甲基硅氧基)苯	N-[2,6-二甲基-4-[(三甲基硅氧基)苯	(1-去甲基)-苯

续表 11

序号 Number	分类 Classification	对照组 Control group	试验 I 组 Test group I	试验 II 组 Test group II	试验 III 组 Test group III
9	酯类	苯二甲酸酯	丁酸甲酯、己二酸 二异辛酯		苯二甲酸酯、 丁酸甲酯
10	其他	3-溴-戊烯、1- 十四烷胺、环己烯、 2-辛烯	1,1'-二苯基-二茂钴、 1-庚烯	1-十四烷胺、环己烯、 1,1'-二苯基-二茂钴、 2,9-二甲基-癸烷	

3 讨 论

3.1 3种无抗饲料对育肥猪生长性能的影响

天然植物饲料添加剂可能通过影响猪的内分泌系统实现促生长的功能^[18]。曾圣宏^[2]的研究结果证明,在杜洛克、大白和长白三元杂交育肥猪的基础饲料中添加 1% 的天然植物饲料添加剂可以提高平均日增重,降低料重比。陈国顺等^[19]在香猪基础饲料中添加不同水平的复方中草药饲料添加剂(由山楂、甘草、黄芪、当归和丹参等 11 味中药组成)后发现,0.3% 和 0.4% 组的平均日增重比对照组分别提高了 42.98% 和 30.06%,料重比分别降低了 14.69% 和 13.73%。此外,陈国顺等^[20]在合黎山区半放养合作猪基础饲料中分别添加不同水平的复方中草药饲料添加剂后发现,0.4%、0.6% 组半放养模式下合作猪的平均日增重显著提高,料重比降低。本试验结果与上述研究结果相似,在育肥猪饲料中添加 0.3% 的天然植物复方剂时,显著提高了育肥猪的平均日采食量和平均日增重,降低了料重比,这可能是因为天然植物复方剂里含有山楂等促消化的物质,增加了育肥猪的食欲,提高了采食量,进而使平均日增重增加。此外,在育肥猪饲料中添加 0.3% 的锁阳超微粉或 0.3% 的地顶孢霉培养物时,育肥猪平均日增重和料重比的变化虽未达到显著水平,但在数值上平均日增重较对照组分别增加了 8.05% 和 9.20%,料重比分别降低了 8.01% 和 7.32%,说明锁阳超微粉和地顶孢霉培养物也在一定程度上改善了育肥猪的生长性能。

3.2 3种无抗饲料对育肥猪屠宰性能的影响

田树海^[21]研究发现,在育肥猪基础饲料中添加 1% 的天然植物饲料添加剂可显著影响育肥猪

的胴体性状,显著提高胴体瘦肉率,降低脂肪率。韩剑众等^[22]在猪饲料中添加 0.3% 的天然植物复方剂(由黄芪、当归和茯苓等组成),结果显示瘦肉率和眼肌面积分别提高了 5.79% 和 8.48%,而脂肪率和平均背膘厚分别下降了 31.40% 和 28.21%。本试验结果显示,在育肥猪饲料中添加 0.3% 的天然植物复方剂、0.3% 的锁阳超微粉或 0.3% 的地顶孢霉培养物对育肥猪屠宰率的影响不显著,但与较对照组相比,屠宰率分别提高了 1.11%、0.19% 和 1.17%,背膘厚分别降低了 8.92%、13.45% 和 3.29%,眼肌面积分别增加了 6.34%、1.00% 和 2.72%,说明添加天然植物饲料添加剂后育肥猪的屠宰性能有一定程度的提高,且以 0.3% 天然植物复方剂的效果较好。

3.3 3种无抗饲料对育肥猪肉品质的影响

王勇等^[23]研究表明,在姜曲海猪瘦肉系和长白猪的杂交育肥猪基础饲料中添加 0.5% 和 1.0% 的天然植物复方剂,能显著降低肌肉失水率和滴水损失,改善猪肉品质。与本试验结果与上述研究结果相似,在饲料中添加 0.3% 的天然植物复方剂、0.3% 的锁阳超微粉或 0.3% 的地顶孢霉培养物后,育肥猪肌肉的剪切力分别降低 8.57%、12.32% 和 6.71%,失水率分别降低 21.20%、20.67% 和 7.74%。肉色是直接反映肉品质的外观指标,红度(a^*)值在一定程度上反映了肌肉中肌红蛋白的含量, a^* 值越大则肉品质越好^[24-25];黄度(b^*)值反映肌肉从黄色(理想色)到蓝色的变化,肉色偏黄时, b^* 值较小^[26]。肌肉大理石纹评分反映肌肉纤维间脂肪的含量和分布,是影响肉品质和风味的主要因素。本试验结果显示,饲料中添加 0.3% 的天然植物复方剂和 0.3% 的锁阳超微粉时,育肥猪肌肉的 b_{24h}^* 值显著降低,大理石纹评分、 a_{45min}^* 和

a_{24h}^* 值显著提高;饲料中添加0.3%的地顶孢霉培养物时,育肥猪肌肉的 b_{24h}^* 值显著降低,大理石纹评分和 a_{24h}^* 值显著提高。上述结果说明饲料中添加不同天然植物饲料添加剂均具有改善育肥猪肉品质的作用,其中天然植物复方剂能显著降低育肥猪肌肉的失水率,提高大理石纹评分和改善肉色;锁阳超微粉能显著降低育肥猪肌肉的剪切力和失水率,提高大理石纹评分;地顶孢霉培养物能显著降低育肥猪肌肉的贮存损失,提高大理石纹评分,改善肉色。研究表明,当 $pH_{45min} < 5.9$ 时,则可评定为白肌肉(PSE肉); $pH_{24h} > 6.5$ 时,即可评为黑干肉(DFD肉)^[27]。本研究显示,饲料中添加不同天然植物饲料添加剂均可减缓育肥猪肉pH下降速度,减少PSE肉和DFD肉的产生,其中以地顶孢霉培养物的效果较好。

3.4 3种无抗饲料对育肥猪肉风味的影响

曾圣宏^[2]研究显示,在杜洛克、大白和长白三元杂交育肥猪基础饲料中添加1%中草药饲料添加剂后,肌肉中粗蛋白质和粗脂肪含量得到提高。陈国顺等^[19]在香猪基础饲料中添加不同水平的复方中草药饲料添加剂后发现,中草药添加组肌肉粗脂肪与粗蛋白质含量显著高于对照组。本试验结果与上述研究结果相似,在育肥猪基础饲料中添加3%的天然植物复方剂、3%的锁阳超微粉或3%的地顶孢霉培养物后,与对照组相比,粗蛋白质含量分别提高了6.87%、6.00%和5.27%,粗脂肪含量分别提高了13.85%、8.00%和7.08%,同时肌苷酸含量分别提高了6.79%、2.25%和23.12%。此外,试验Ⅲ组的肌苷酸含量比试验Ⅰ组和试验Ⅱ组分别提高了15.28%和25.27%。上述结果说明,在育肥猪基础饲料中添加天然植物复方剂、锁阳超微粉或地顶孢霉培养物,可在一定程度上提高育肥猪肌肉中粗蛋白质和粗脂肪含量,从而起到改善肉品质的作用,其中以添加天然植物复方剂效果较好。此外,在育肥猪基础饲料中添加天然植物复方剂、锁阳超微粉或地顶孢霉培养物还可不同程度的提高育肥猪肌肉中肌苷酸含量,改善猪肉风味,其中以地顶孢霉培养物的效果较好。

陈国顺等^[19]在香猪基础饲料中添加不同水平的复方中草药饲料添加剂后发现,0.4%组的主要鲜味氨基酸和必需氨基酸含量分别较对照组提高了28.37%和28.75%。刘辉放等^[28]研究发现,在奶牛泌乳期饲料中添加地顶孢霉培养物后牛奶中总氨基酸含量提高了40.3%,谷氨酸含量提高了

94.50%,鲜味氨基酸(包括谷氨酸、精氨酸、天冬氨酸和甘氨酸)含量提高了147.7%,与本试验结果与上述研究结果相似,在育肥猪基础饲料中添加0.3%地顶孢霉培养物后,育肥猪肌肉中总氨基酸含量提高了9.68%,谷氨酸含量提高了12.64%,鲜味氨基酸含量提高了6.45%,说明添加地顶孢霉培养物改善了肌肉风味。在育肥猪基础饲料中添加3%的天然植物复方剂或3%的锁阳超微粉均能显著提高育肥猪肌肉中谷氨酸、鲜味氨基酸、总氨基酸和必需氨基酸的含量,说明天然植物复方剂和锁阳超微粉均具有改善育肥猪肌肉中氨基酸组成和提高鲜味氨基酸含量的作用,从而改善肌肉风味。此外,在育肥猪基础饲料中添加3%的天然植物复方剂、3%的锁阳超微粉或3%的地顶孢霉培养物均能显著提高育肥猪肌肉中必需氨基酸评分,其中以锁阳超微粉效果最好,天然植物复方剂次之。

胡广英等^[29]研究发现,在15 kg杜洛克、长白猪、山西白猪三元杂交猪后代基础饲料中添加中草药组方(由黄芪、茴香和甘草等10多味中药组成),能显著提高肌肉UFA/TFA,降低SFA/TFA。本试验研究结果与上述研究结果相同,在育肥猪基础饲料中添加不同天然植物饲料添加剂后,提高了肌肉UFA/TFA和PUFA/TFA,降低了SFA/TFA,改善了肌肉脂肪酸组成,从而达到影响肌肉风味的效果,其中以锁阳超微粉的效果最佳。

猪肉中醛类、醇类及酮类相对含量的不同可能是造成猪肉风味差别的原因^[30]。醛类化合物中,2,4-癸二烯醛具有脂香味,是猪肉香气的特有成分^[31]。刘彦慈^[32]研究表明,天然植物饲料添加剂可以增加鸡肉中挥发性化合物的种类,改善鸡肉品质和风味。从本试验结果来看,在育肥猪基础饲料中添加不同天然植物饲料添加剂,对育肥猪肌肉中挥发性风味化合物种类的影响不明显,但添加不同天然植物饲料添加剂均能增加育肥猪肌肉挥发性化合物中醛类和醇类化合物的种类,从而改善肌肉风味,其中以锁阳超微粉的效果最好。

4 结论

饲料中添加不同天然植物饲料添加剂均可以提高杜洛克和八眉杂交育肥猪的平均日增重,降低料重比,改善肉色,减缓pH下降,提高肌肉中谷氨酸、鲜味氨基酸、必需氨基酸、肌苷酸与多不饱

和脂肪酸含量,从而提高生长性能,改善肉品质和风味。其中,添加0.3%的天然植物复方剂在提高生长性能方面效果较佳,添加0.3%的锁阳超微粉或0.3%的地顶孢霉培养物在改善肉品质和风味方面效果较佳。

参考文献:

- [1] 徐小波,胡荣,瞿永前.中草药添加剂对猪育肥性能和肉质的影响[J].江苏农业学报,2012,28(3):571-574.
- [2] 曾圣宏.复方中草药对育肥猪生长性能和肉品质的影响[D].硕士学位论文.广州:华南农业大学,2016.
- [3] ZHU Y Z, HUANG S H, TAN B K H, et al. Antioxidants in Chinese herbal medicines: a biochemical perspective[J]. Natural Product Reports, 2004, 21(4):478-489.
- [4] 李瑞,胡国良,刘明,等.日粮中添加中草药制剂对育肥猪生长性能、胴体性状和肉品质的影响[J].中国畜牧兽医,2014,41(2):96-100.
- [5] 江苏新医学院.中药大辞典-下册[M].上海:上海人民出版社,1977:2395.
- [6] 谷彩梅.锁阳、肉苁蓉等中药材质量评价研究[D].硕士学位论文.北京:北京协和医学院,2017.
- [7] 陈汉哲.锁阳营养品质分析及生物活性成分定量方法建立[D].硕士学位论文.兰州:兰州大学,2017.
- [8] AHN Y J, PARK S J, LEE S G, et al. Cordycepin: selective growth inhibitor derived from liquid culture of *Cordyceps militaris* against *Clostridium* spp[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2000, 48(7):2744-2748.
- [9] 魏建忠,张玮,李郁,等.地顶孢霉培养物对保育仔猪生产性能及免疫水平的影响[J].中国畜牧兽医,2009,36(2):33-35.
- [10] KOH J H, SUH H J, AHN T S. Hot-water extract from mycelia of *Cordyceps sinensis* as a substitute for antibiotic growth promoters [J]. Biotechnology Letters, 2003, 25(7):585-590.
- [11] 邬理洋.微生态制剂和牛膝多糖对猪生长性能和肉质品质影响研究[D].硕士学位论文.长沙:湖南农业大学,2011.
- [12] 李建鲲.品种、屠宰体重及饲料对猪肉品质的影响研究[D].硕士学位论文.乌鲁木齐:新疆农业大学,2012.
- [13] 豆成林.淮南猪肉品质特性研究[D].硕士学位论文.咸阳:西北农林科技大学,2008.
- [14] 杨盛茹,蔡英华,张煌,等.超高效液相色谱检测鸡肉中色氨酸含量方法分析[J].食品科技,2018,43(4):323-326.
- [15] 刘磊,王春琳,母昌考,等.野生、养殖和“科甬1号”群体三疣梭子蟹营养和风味品质比较分析[J].食品科学,2017,38(20):55-62.
- [16] 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.
- [17] 王玉涛,王世锋,刘孟洲,等.应用 HS-SPME 和 GC/MS 技术检测舍饲合作猪肌肉中的风味物质[J].核农学报,2008,22(5):654-660.
- [18] 田允波,葛长荣,高士争.天然植物中草药对生长肥育猪生长性能胴体品质和肉质特性的影响[J].中国畜牧杂志,2003,39(1):21-23.
- [19] 陈国顺,高海霞.中草药饲料添加剂对香猪生长性能和肉质的影响[J].畜牧与兽医,2012,44(1):23-27.
- [20] 陈国顺,徐振飞.合黎山区半放养合作猪生长性能和肉质风味的影响[J].国外畜牧学(猪与禽),2015,35(4):54-59.
- [21] 田树海.中草药复方添加剂对育肥猪生产性能、血液指标和肉质品质的影响[D].硕士学位论文.保定:河北农业大学,2009.
- [22] 韩剑众,董文明,葛长荣,等.中草药添加剂饲喂猪肉中 CPK, GPI 活性和肉质关系的研究[J].云南农业大学学报,2002,17(1):91-93.
- [23] 王勇,杨元青,张金存,等.中草药添加剂对猪育肥性能和肉质的影响[J].畜牧生产,2006,38(9):30-32.
- [24] NORMAN J L, BERG E P, HEYMANN H, et al. Pork loin color relative to sensory and instrumental tenderness and consumer acceptance [J]. Meat Science, 2003, 65(2):927-933.
- [25] O' SULLIVAN M G, BYRNE D V, MARTENS M. Evaluation of pork colour: sensory colour assessment using trained and untrained sensory panellists [J]. Meat Science, 2003, 63(1):119-129.
- [26] 李龙,蒋守群,郑春田,等.不同品种黄羽肉鸡肉品质比较研究[J].中国家禽,2015,37(21):6-11.
- [27] 何叶如.几种绿色饲料添加剂对生长肥育猪的生产性能、消化机能和猪肉品质的研究[D].硕士学位论文.兰州:甘肃农业大学,2003.
- [28] 刘辉放,何志敏,孙守江,等.地顶孢霉培养物在提高牛乳营养和风味口感中的应用[J].中国乳业,2017(5):43-46.
- [29] 胡广英,曹日亮,刘华栋.中草药添加剂对晋汾白猪猪肉品质的影响[J].中国猪业,2018,13(12):28-32,42.
- [30] 李铁志,王明,雷激.阿坝州半野血藏猪肉挥发性风味物质的研究[J].食品科技,2015,40(10):124-130.
- [31] ESTÉVEZ M, MORCUENDE D, VENTANAS S, et al. Analysis of volatiles in meat from Iberian pigs and lean pigs after refrigeration and cooking by using SPME-GC-MS [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2003, 51(11):3429-3435.
- [32] 刘彦慈.中草药饲料添加剂对肉仔鸡生产性能及肉质风味的影响[D].硕士学位论文.保定:河北农业大学,2004.

Effects of Three Kinds of Diets without Antibiotics on Growth Performance, Slaughter Performance, Meat Quality and Flavor of Duroc and *Bamei* Cross Finishing Pigs

CHAI Mingjie¹ CHEN Guoshun^{1*} SU Yingyu¹ WANG Dong¹ YAO Yueyang¹
SUI Xiaodong² WANG Jin³ ZHOU Sensen⁴

(1. College of Animal Science and Technology, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China; 2. Gansu Aonong Feed Technology Co., Ltd., Wuwei 733100, China; 3. Department of Life Science and Engineering, Hexi University, Zhangye 734000, China; 4. Hefei Maikeluo Biological Engineering Co., Ltd., Hefei 230001, China)

Abstract: The aim of this study was to investigate the effects of three kinds of feed without antibiotics on growth performance, slaughter performance, meat quality and flavor of Duroc and *Bamei* cross finishing pigs. Thirty-two binary hybrid (Duroc×*Bamei*) pigs with an average body weight of (65.50±2.20) kg were selected as experimental animals, which the health condition was basically the same. They were randomly divided into 4 groups with 4 replicates in each group and 2 pigs in each replicate. The diet of control group was a basal diet, while the diets of test I group, test II group and test III group were supplemented with 0.3% natural plant compound, 0.3% *Cynomorium* ultrafine powder and 0.3% *Acremonium terricola* culture in the basal diet, respectively. The preliminary test period was 7 days, and the normal test period was 42 days. The results showed that compared with the control group, in the test I group, test II group and test III group, the average daily gain (ADG) was increased by 14.94% ($P<0.05$), 8.05% ($P>0.05$) and 9.20% ($P>0.05$), and the ratio of feed to gain (F/G) was decreased by 6.62% ($P>0.05$), 8.01% ($P>0.05$) and 7.32% ($P>0.05$), respectively; the muscle shear force was decreased by 8.57% ($P>0.05$), 12.32% ($P<0.05$) and 6.71% ($P>0.05$), and the water loss rate was decreased by 21.20% ($P<0.05$), 20.67% ($P<0.05$) and 7.74% ($P<0.05$), respectively; the muscle crude protein content was increased by 6.87% ($P>0.05$), 6.00% ($P>0.05$) and 5.27% ($P>0.05$), the crude fat content was increased by 13.85% ($P<0.05$), 8.00% ($P>0.05$) and 7.08% ($P>0.05$), and the inosinic acid content was increased by 6.79% ($P>0.05$), 2.25% ($P>0.05$) and 23.12% ($P<0.05$), respectively; the muscle flavor amino acid content was increased by 16.14% ($P<0.05$), 16.89% ($P<0.05$) and 7.22% ($P>0.05$), and the glutamate/total amino acids was increased by 8.42% ($P>0.05$), 2.25% ($P>0.05$) and 2.71% ($P>0.05$), respectively; the muscle unsaturated fatty acids/total fatty acids was increased by 7.78% ($P<0.05$), 8.77% ($P<0.05$) and 8.74% ($P<0.05$), respectively. In addition, the types of alcohols in muscle were 16, 17 and 16 in the test I group, test II group and test III group, respectively, which were all higher than 14 in the control group. In conclusion, different natural plant feed additives in the diets can enhance the growth performance and improve the quality and flavor of meat of Duroc×*Bamei* cross finishing pigs. Among them, adding 0.3% natural plant compound has a better effect on improving growth performance, adding 0.3% *Cynomorium* ultrafine powder or 0.3% *Acremonium terricola* culture has a better effect on improving the quality and flavor of meat. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2020, 32(5):2087-2100]

Key words: natural plant feed additive; finishing pigs; growth performance; slaughter performance; meat quality; volatile compounds