



食品工业科技

Science and Technology of Food Industry

ISSN 1002-0306,CN 11-1759/TS

## 《食品工业科技》网络首发论文

- 题目： 基于电子鼻/电子舌和 GC-MS 分析饲料中添加金枪鱼蒸煮液对巴马香猪猪肉  
 气味和滋味的影响
- 作者： 刘雅婷, 王小凤, 王颖, 杨茗媛, 申慧婷, 乙丛敏, 芦晨阳, 周君, 李晔,  
 苏秀榕, 陈义方, 王求娟
- 网络首发日期： 2019-06-28
- 引用格式： 刘雅婷, 王小凤, 王颖, 杨茗媛, 申慧婷, 乙丛敏, 芦晨阳, 周君, 李晔,  
 苏秀榕, 陈义方, 王求娟. 基于电子鼻/电子舌和 GC-MS 分析饲料中添加金  
 枪鱼蒸煮液对巴马香猪猪肉气味和滋味的影响[J/OL]. 食品工业科技.  
 <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1759.TS.20190627.1117.023.html>



**网络首发：**在编辑部工作流程中，稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定，且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式（包括网络呈现版式）排版后的稿件，可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定；学术研究成果具有创新性、科学性和先进性，符合编辑部对刊文的录用要求，不存在学术不端行为及其他侵权行为；稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准，正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性，录用定稿一经发布，不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容，只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

**出版确认：**纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊（光盘版）》电子杂志社有限公司签约，在《中国学术期刊（网络版）》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版，以单篇或整期出版形式，在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊（网络版）》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物（ISSN 2096-4188，CN 11-6037/Z），所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

作者简介：刘雅婷（1999- ），女，在读本科生。研究方向：食品加工与安全，E-mail: 3013704907@qq.com.

\*通讯作者：芦晨阳（1988-），男，讲师，研究方向：水产资源高值化利用，E-mail: luchenyang@nbu.edu.cn

\*通讯作者：苏秀榕（1956-），女，教授，研究方向：食品加工与安全，E-mail: suxiurong@nbu.edu.cn.

基金项目：2014、2016 年海洋经济创新发展区域示范项目；宁波市科技局农业与社发重大科技项目（2010C10040）。

## 基于电子鼻/电子舌和 GC-MS 分析饲料中添加金枪鱼蒸煮液对巴马香猪猪肉气味和滋味的影响

刘雅婷<sup>1</sup>，王小凤<sup>1</sup>，王颖<sup>1</sup>，杨茗媛<sup>1</sup>，申慧婷<sup>1</sup>，乙丛敏<sup>1</sup>，芦晨阳<sup>1\*</sup>，周君<sup>1</sup>，李晔<sup>1</sup>，  
苏秀榕<sup>1\*</sup>，陈义方<sup>2</sup>，王求娟<sup>2</sup>

(1. 宁波大学海洋学院，浙江宁波 315000；2. 宁波今日食品有限公司，浙江宁波 315000)

**摘要：**本文研究了巴马香猪饲料中添加金枪鱼蒸煮液对猪肉气味和滋味的影响。采用电子鼻与 GC-MS 研究猪肉气味的变化、电子舌与 HPLC 检测猪肉滋味的变化。结果表明：电子鼻前 2 个主成分（PC1 和 PC2）累计方差贡献率为 99.41%，能够涵盖传感器原始信息，反应猪肉气味的变化；与对照组相比，实验组中醛类、酯类和醇类化合物含量分别增加 13.294%、5.93% 和 0.244%，而烷烃类和酮类化合物含量分别减少 6.864% 和 2.639%，赋予了猪肉显著的油脂气味、果香和清香青草气味，同时减少了腥味；作为主要的呈味氨基酸，鲜味氨基酸和甜味氨基酸含量分别增加 3.48% 和 3.29%，而苦味氨基酸含量降低 4.27%。本研究证明，喂食金枪鱼蒸煮液可以有效提高巴马香猪猪肉的气味和滋味，这为巴马香猪工业化养殖饲料优化和金枪鱼加工废弃物再利用提供了重要参考。

**关键词：**巴马香猪，金枪鱼蒸煮液，电子鼻，电子舌，气相色谱-质谱法

## Electronic Nose, Electronic Tongue and GC-MS for Odor and Taste Analysis of Bama Pork with Dietary Tuna Cooking Liquid Supplement

LIU Ya-ting<sup>1</sup>，WANG Xiao-feng<sup>1</sup>，WANG Ying<sup>1</sup>，YANG Ming-yuan<sup>1</sup>，SHEN Hui-ting<sup>1</sup>，  
YI Cong-min<sup>1</sup>，LU Chen-yang<sup>1\*</sup>，ZHOU Jun<sup>1</sup>，LI Ye<sup>1</sup>，SU Xiu-rong<sup>1\*</sup>，CHEN Yi-fang<sup>2</sup>，  
WANG Qiu-juan<sup>2</sup>

(1. School of Marine Sciences, Ningbo University, Ningbo 315000, China;

2. Ningbo Today Food Co. Ltd, Ningbo 315000, China)

**Abstract:** This study aimed to clarify the effects of tuna cooking liquid (TCL) addition on the odor and taste of Bama pork. The pork odor of Bama pigs was measured by electronic nose and GC-MS, whereas the taste, aroma profiles and amino acid compositions were measured by electronic tongue and HPLC. The total variance of the electronic nose was 99.41%, indicated that it can be used to measure the change trend of odor in this study. Compared with control group, the total contents of aldehydes, esters and alcohols were respectively increased by 13.294%, 5.93% and 0.244%, whereas the total concentrations of alkanes and ketones were respectively decreased by 6.864% and 2.639%, which lead to increased oily, fruity and grassy odor and reduced astringency in the treatment group. In addition, the TCL treatment increased the concentrations of tasty amino acids and sweet amino acids by 3.48% and 3.29%, respectively, whereas decreased the contents of bitter amino acids by 4.27%. In

conclusion, TCL feeding will improve the odor and taste of the Bama pork, and this study will provide theoretical foundation for further development of TCL into high value products.

**Key words:** Bama pig; Tuna cooking liquid; electronic nose; electronic tongue; gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS)

中图分类号: TS254.9 文献标志码: A

猪肉是我国人均消费量最高的肉类品种,而滋味鲜美、气味浓郁的猪肉更加受到消费者的欢迎。快速育肥技术在猪肉规模化生产中的广泛应用,虽然提高了猪肉生产效率,但是降低了猪肉风味,使其滋味淡薄、气味较差且口感一般<sup>[1]</sup>。巴马香猪是我国地方优良猪种,其胴体皮薄肉细、肉质鲜美、营养丰富。传统的巴马香猪养殖采用放养模式,饲料以野草为主,养殖效率低;现代化的生猪笼养和圈养模式,由于饲料组成和饲养模式的改变,有效提高了养殖效率,但同时影响了巴马香猪的猪肉风味<sup>[2]</sup>。

如何在规模化养殖中维持巴马香猪的生长性能和猪肉品质,是巴马香猪养殖业中亟待解决的问题。孔智伟等将甜叶菊废渣发酵后添加到饲料中,发现其不影响香猪体重增长,但是可以明显降低料重比,同时影响猪肉营养组分<sup>[3]</sup>;而饲料中添加富含益生菌的生物草料,则可以同时提高巴马香猪的生长性能和猪肉品质<sup>[4]</sup>;乙丛敏等将金枪鱼碎肉酶解液作为饲料添加剂,显著改善了巴马香猪猪肉气味和滋味<sup>[5]</sup>。因此,将加工副产物开发成巴马香猪饲料添加剂,既能够增加原料附加值,实现废物利用,又可以促进巴马香猪养殖业规模化发展。

金枪鱼蒸煮液是金枪鱼鱼柳和鱼罐头加工过程中产生的废弃物,价格比金枪鱼碎肉更加低廉,无需酶解处理,并且含有大量蛋白质、核苷酸、氨基酸等营养成分和风味物质<sup>[6]</sup>。将金枪鱼蒸煮液作为饲料添加剂以改善猪肉风味,目前尚未有系统研究。本文中,使用金枪鱼蒸煮液喂养巴马香猪,基于电子鼻、GC-MS 和电子舌、HPLC 分别检测猪肉的气味和滋味,考察其作为饲料添加剂的效果。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与仪器

金枪鱼蒸煮液取自宁波今日食品有限公司。喂食普通饲料的巴马香猪为对照组(CK),喂食添加金枪鱼蒸煮液的巴马香猪为实验组(PW)。

PEN3 型电子鼻 德国 Airsense 公司; 7890GC 型气相色谱仪 美国安捷伦公司; M7-80Ei 型质谱仪 北京普析通用仪器有限公司; 65  $\mu\text{m}$  聚二甲基硅烷萃取头 美国 Supelco 公司; TS-5000Z 型电子舌 日本 INSENT 公司; MARS 5 微波消解系统 美国 CEM 公司; L-8900 型全自动氨基酸分析仪 日本日立公司。

## 1.2 实验方法

### 1.2.1 挥发性风味物质的检测

#### 1.2.1.1 样品前处理

电子鼻样品：分别称取 0.5 g 猪背最长肌，置于样品瓶中并旋紧瓶盖，静置至瓶中气体达到平衡。用电子鼻检测样品，每组设置 5 个平行样品<sup>[7]</sup>。

GC-MS 样品：分别称取 1.0 g 背最长肌样品，置于样品瓶中并旋紧瓶盖，静置至样品瓶中等待气体达到平衡。将萃取头置于气质联用仪进样口在 250 °C 下老化 30 min，插入样品瓶中，于 60 °C 下顶空微萃取 30 min，随后将萃取头置于气相色谱-质谱联用仪进样口解吸 2 min，进行 GC-MS 分析<sup>[8]</sup>。

#### 1.2.1.2 检测条件

电子鼻：检测时间 200 s，传感器清洗时间 300-500 s，数据采集时间为 199-200 s。

气相色谱条件：VOCOL 毛细管色谱柱（60m×0.32mm×1.8μm）；载气为 He，恒流模式，流速为 0.3 mL/min；不分流模式进样；进样口温度与接口温度均为 210 °C；程序升温：起始柱温 35 °C 保持 2 min，以 3 °C/min 升至 40 °C，保持 1 min，再以 5 °C/min 升至 210 °C，保持 25 min。

质谱：离子源为电子轰击源（EI），电子能量 70 eV，离子源温度 200 °C，扫描质量范围 45-450 u。

### 1.2.2 非挥发性风味物质的检测

#### 1.2.2.1 样品前处理

电子舌样品：将适量背最长肌用搅拌机打成匀浆后水浴加热至 40 °C，称取 20 g 样品匀浆按 1:4 比例用超纯水稀释至 100 mL，3000 r/min 离心 10 min 后取上清液 80 mL 用于电子舌检测<sup>[9]</sup>。

样品微波消解：准确称取 0.1 g 样品，置于消解罐中，加入 6 mol/L 盐酸 10 mL，充入氮气后密封放入微波消解仪中，160 °C 下反应 30 min 后，冷却至室温并用 0.1 mol/L 盐酸定容至 25 mL。取 500 μL 样品经氮吹仪吹干并用 0.02 mol/L 盐酸重新溶解，经 0.22 μm 滤膜过滤后备用<sup>[10]</sup>。

#### 1.2.2.2 检测条件

电子舌条件：用 30 mmol/L KCl 溶液与 0.3mmol/L 酒石酸溶液配成 RefSol 参比溶液。将传感器置于参比溶液中归零 30 s，随后开始进行鲜味测定。测试时间为 30 s，测试完毕后用参比溶液清洗 3 s，再次进行回味测定，测试时间 30 s。每个样品重复 4 次，取后 3 次做

为测试结果。

氨基酸分析仪测定条件：用外标法测定样品中氨基酸含量。缓冲液流速 0.40 mL/min，茚三酮溶液流速 0.35 mL/min；检测波长 570 nm（其中脯氨酸检测波长为 440 nm）；保护柱温度 57 °C；反应柱温度 135 °C；进样量 20  $\mu$ L<sup>[10]</sup>。

### 1.2.3 数据分析

电子鼻数据采用 PEN3-Win Muster 数据处理软件进行主成分分析（PCA）<sup>[7]</sup>。

GC-MS 数据利用谱库 WILEY 和 NIST08 进行数据检索，相似度低于 80（最大值为 100）的化合物视为未检出<sup>[8]</sup>。

电子舌数据利用 Matlab 软件的 Z-score 命令进行标准化处理，随后进行 PCA 分析；根据传感器采集的原始数据，采用味道强度值（TAV）法对氨基酸的组成进行分析<sup>[9]</sup>。

把氨基酸标准溶液稀释成 5 个浓度梯度，在相同条件下进行检测，以得到的峰面积为横坐标，氨基酸浓度为纵坐标绘制标准曲线，采用峰面积外标法对样品进行定量分析。

数据用 SPSS 19.0 软件进行分析，结果以平均值  $\pm$  标准差形式表示。

## 2 结果与分析

### 2.1 挥发性风味物质

#### 2.1.1 巴马香猪猪肉的电子鼻检测结果

由电子鼻 PCA 分析可知，第一主成分（PC1）贡献率为 92.79%，第二主成分（PC2）贡献率为 6.62%，总贡献率为 99.41%，说明 PC1 和 PC2 共解释了原始变量 99.41% 的信息，能够代表传感器的原始信息，反应猪肉气味的变化。本研究中，同组样品的数据采集点聚集在同一区域，不同组样品（实验组和对照组）数据采集点则分散于不同区域，说明不同饲料喂养下的巴马香猪猪肉挥发性气味在 PC1 和 PC2 上具有显著差异（图 1）。

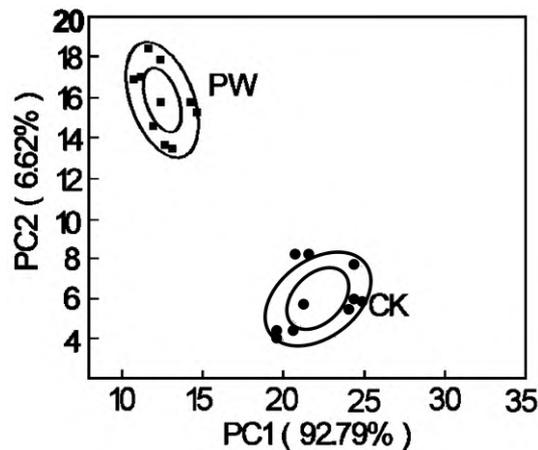


图 1 电子鼻的 PCA 分析  
Fig.1 PCA analysis of electronic nose  
注, CK: 对照组; PW: 实验组

### 2.1.2 巴马香猪猪肉的 GC-MS 检测结果

GC-MS 检测分析发现, 对照组猪肉中含有 4 种烷烃类物质, 总含量为 6.864%, 其中含量最高的是 1,3,5-三甲基-2-十八烷-环己烷, 而实验组中 4 种烷烃类化合物含量均为零(表 1)。虽然烷烃类化合物含量存在显著变化, 但是因为其阈值比较高, 所以对猪肉的风味贡献较少<sup>[11]</sup>。与烷烃类物质相比, 醛类、醇类、酯类和酮类是猪肉风味的主要特征化合物<sup>[12]</sup>, 而何亮宏等的研究也发现, 在育肥猪饲料中添加桑叶粉可以改善猪肉风味, 其主要影响了醛类、醇类、酯类和酮类化合物的含量<sup>[13]</sup>。因此我们对这些化合物进行进一步的分析。

醛类是本研究中最主要的挥发性化合物类型, 也是构成猪肉特征风味的主要化合物<sup>[14]</sup>。本实验共检测到醛类化合物 11 种, 其中对照组和实验组中均检测出 7 种, 总含量分别为 28.028% 和 41.322%。辛醛、甲硫基丙醛、正庚醛和反式-2,4-癸二烯醛只在对照组中检出, 而壬醛、十一醛、3-甲基丁醛/异戊醛和庚醛只在实验组中检出。两组中均检出的醛类化合物中, 与对照组相比, 苯甲醛和苯乙醛含量升高而已醛含量降低。潘见等人认为十一醛和壬醛含量是导致土猪肉风味优于普通瘦肉型猪肉的重要原因, 十一醛具有果香, 壬醛具有清香青草气味<sup>[15]</sup>。实验组中十一醛和壬醛含量分别达到 5.501% 和 15.718%, 而对照组中均未检出, 这两种实验组中特有的醛类化合物对猪肉良好风味贡献较大。同时, 仅在对照组中检出的辛醛具有腥味而 2,4-癸二烯醛表现出青草脂肪味<sup>[16]</sup>, 他们含量的下降说明实验组猪肉挥发性风味组成的改善。

此外, 实验组中的酯类化合物(2-乙酰丁酸乙酯和二乙基二硫代氨基甲酸甲酯)、酸类化合物(甲酸和乙酸)以及醇类化合物(1-辛烯-3-醇)含量均较对照组升高, 而酮类化合物(1-醇-2-烯酮)和其他化合物(甲酰胺、甲氧基苯基肼、2-戊基-咪唑和 2-乙酰基噻唑)含量较对照组降低。酯类是由脂质氧化所产生的醇和游离脂肪酸相互作用所产生, 一般具有果香、奶油、脂肪气味等良好的香味<sup>[17]</sup>。李铁志等在对阿坝州半野血藏猪肉和普通猪肉的挥发性风味物质比较分析中发现, 酯类中的丁内酯和丁酸甲酯对猪肉香味贡献显著<sup>[18]</sup>。但是, 本研究中未检测到上述两种酯类, 检测到的 2-乙酰丁酸乙酯和二乙基二硫代氨基甲酸甲酯在实验组中的含量均高于对照组, 推测其对猪肉香味具有提升作用。醇类物质是猪肉中一类重要的挥发性化合物, 多为不饱和醇, 对猪肉油脂气味具有较大贡献<sup>[19]</sup>。本研究中唯一检测到的醇类化合物是 1-辛烯-3-醇, 它在实验组中含量升高。1-辛烯-3-醇具有熟蘑菇气味, 是花生四烯酸热降解的产物, 对猪肉气味有重要贡献, 邹英子等认为 1-辛烯-3-醇是土猪肉

气味正相关高载荷物质之一<sup>[20]</sup>。酮类化合物一般由不饱和脂肪酸氧化或者降解产生，是后续猪肉加工过程中形成肉汤香气的主要化合物，其中 2,3-辛二酮是肉汤香气的特有成分<sup>[21]</sup>。但是，本研究中仅检测到 1-醇-2-烯酮，该化合物在实验组中含量降低。

表 1 巴马香猪背最长肌的挥发性物质组成

Tab.1 Composition of volatile substances of Bama longissimus dorum

中文名称	相对百分含量(%)		
	CK	PW	
烷烃类 (4 种)	1,3,5-三甲基-2-十八烷-环己烷	1.957	-
	6-乙基-2-甲基-癸烷	1.107	-
	3-乙基-5-(2-乙基丁基)-十八烷	1.611	-
	十九烷	2.189	-
	<b>总计</b>	<b>6.864</b>	-
醛类 (11 种)	辛醛	2.473	-
	苯甲醛	2.386	8.103
	壬醛	-	15.718
	苯乙醛	2.982	4.065
	十一醛	-	5.501
	甲硫基丙醛	1.008	-
	正庚醛	2.386	-
	己醛	11.174	2.812
	3-甲基丁醛/异戊醛	-	2.976
	庚醛	-	2.147
	反式-2,4-癸二烯醛	5.619	-
<b>总计</b>	<b>28.028</b>	<b>41.322</b>	
酯类 (2 种)	2-乙酰丁酸乙酯	1.373	6.907
	二乙基二硫代氨基甲酸甲酯	2.077	2.473
	<b>总计</b>	<b>3.45</b>	<b>9.38</b>
酸类 (2 种)	甲酸	-	0.867
	乙酸	1.501	5.597
	<b>总计</b>	<b>1.501</b>	<b>6.464</b>
酮类 (1 种)	1-醇-2-烯酮	2.639	-
	<b>总计</b>	<b>2.639</b>	-
醇类 (1 种)	1-辛烯-3-醇	1.008	1.252
	<b>总计</b>	<b>1.008</b>	<b>1.252</b>
其他 (4 种)	甲酰胺	2.738	-
	甲氧基苯基脲	2.329	5.099
	2-戊基-呋喃	2.839	0.769
	2-乙酰基噻唑	3.704	1.264
	<b>总计</b>	<b>11.61</b>	<b>7.132</b>

注， CK: 对照组; PW: 实验组; -: 未检出

## 2.2 非挥发性风味物质

### 2.2.1 数据稳定性分析

每个样品重复测定4次，取后3次作为测试结果。从图2中可以看出，3次循环测试的响应折线基本保持一致，说明传感器响应稳定，有较好的重现性，可以认为测量数据有效。

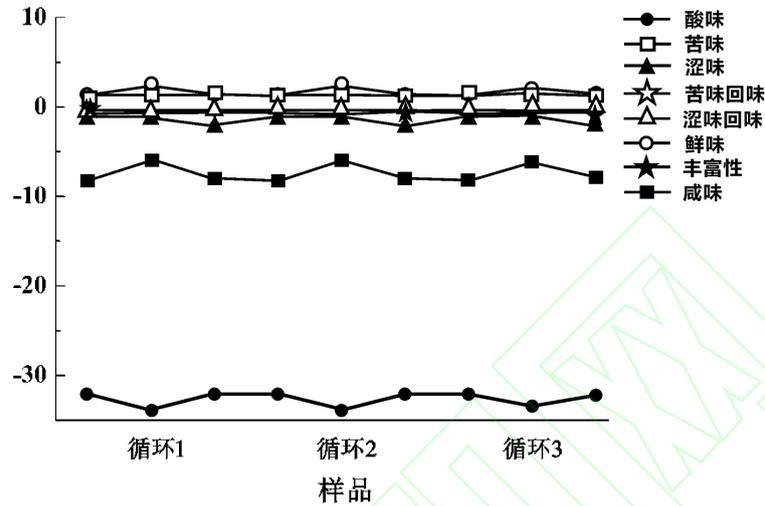


图2 样品响应折线图  
Fig.2 Line chart of samples

### 2.2.2 巴马香猪猪肉电子舌检测结果

电子舌检测结果显示，本实验中酸味、涩味、苦味回味、涩味回味、丰富性和咸味均在无味点以下，而鲜味和苦味均在无味点以上，可以作为有效的评价指标（图3）。

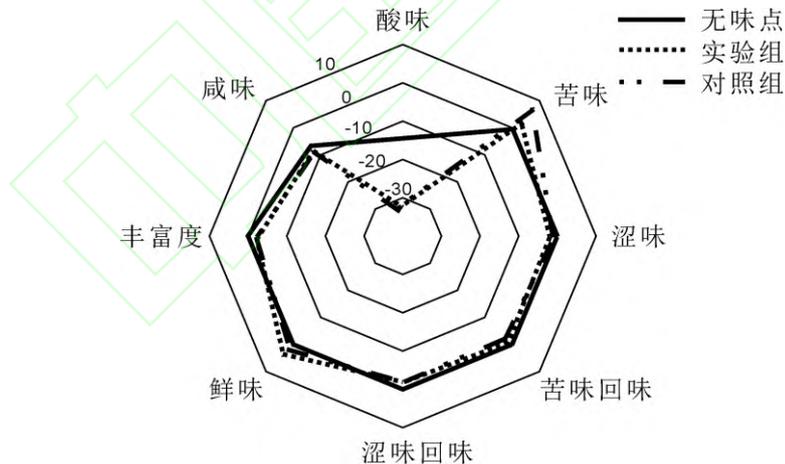


图3 巴马香猪背最长肌的味觉特征雷达图  
Fig. 3 Taste characteristics radar chart of Bama longissimus dorsum

对照组和实验组的巴马香猪猪肉味觉差异主要体现在鲜味和苦味上。与对照组相比，实验组样品鲜味增加0.3而苦味降低0.4（图4）。此外，与对照组相比，实验组猪肉的苦味回味、涩味回味基本无变化，酸味增加，涩味与咸味降低（图5）。电子舌测定结果表明，在饲料中添加金枪鱼蒸煮液使巴马香猪猪肉滋味得到改善。

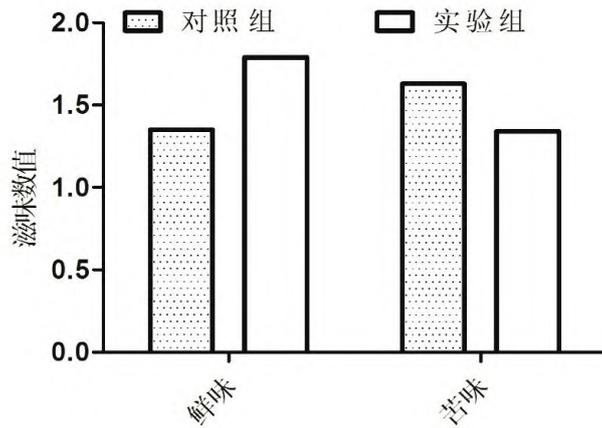


图 4 巴马香猪背最长肌的鲜味与苦味  
Fig. 4 Umami and bitterness of Bama longissimus dorsi

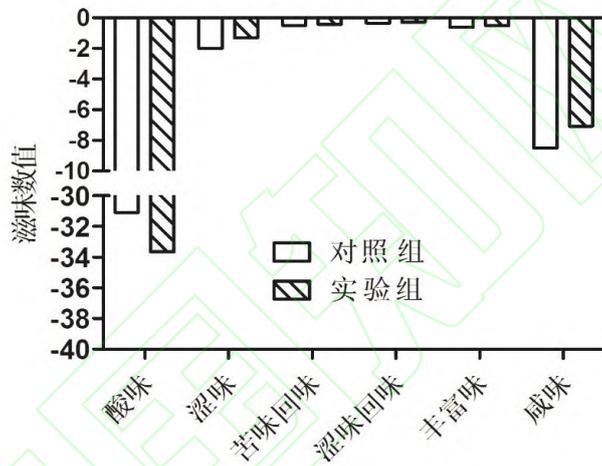


图 5 巴马香猪背最长肌的酸味、涩味、咸味、苦味回味、涩味回味和丰富性  
Fig. 5 Sourness, Astringency, Saltiness, Aftertaste-B, Aftertaste-A and Richness of Bama longissimus dorsi

### 2.2.3 巴马香猪猪肉电子舌结合氨基酸分析仪检测结果

巴马香猪猪肉中呈味氨基酸种类丰富，而呈味氨基酸在猪肉滋味形成过程中扮演重要角色。一般认为，人类对味道的感知取决于呈味物质的含量以及其味道阈值<sup>[22]</sup>。本实验中，实验组和对照组中均检出 14 种常见的呈味氨基酸，其中含量较高的氨基酸为亮氨酸、异亮氨酸、蛋氨酸、精氨酸、谷氨酸和苏氨酸，这 6 种氨基酸在对照组和实验组中的总含量分别达到 74.47% 和 75.13%（表 2）。

氨基酸与滋味之间的关系并不简单取决于氨基酸的含量。因此，我们进一步计算了各种氨基酸在本实验中的呈味强度（TAV）（表 2）。其中，呈味强度大于 1 的氨基酸味道可以被人体感知，对猪肉的滋味具有显著性贡献，包括：天冬氨酸、丙氨酸、谷氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、苯丙氨酸、赖氨酸、精氨酸、蛋氨酸和苏氨酸。呈味强度值小于 1 的氨基酸味道不

能被人体所感知，包括：甘氨酸、缬氨酸、丝氨酸和脯氨酸。值得注意的是，呈味强度值小于 1 并不代表该氨基酸对猪肉的滋味没有贡献，因为猪肉的滋味是由不同呈味物质共同作用产生，而猪肉中各呈味物质之间存在协同作用<sup>[23]</sup>。

在肉类所含的氨基酸中，天冬氨酸、谷氨酸、丙氨酸和甘氨酸呈鲜味，属于鲜味氨基酸。其中，谷氨酸是最常见的鲜味氨基酸，它的阈值较低且能与丙氨酸、鸟苷酸、肌苷酸等产生鲜味协同作用，还可引出肉类、鱼贝类等食材的鲜味成分<sup>[24]</sup>；丝氨酸、苏氨酸、脯氨酸、甘氨酸和丙氨酸等具有舒适的甜味，属于甜味氨基酸<sup>[25]</sup>。其中，丙氨酸和甘氨酸同时兼具鲜味和甜味，本文中将其归为甜味氨基酸。前期研究表明，呈鲜味和甜味的两类氨基酸是肉类重要的滋味呈味和香味前体，属于主要的呈味氨基酸，在后续猪肉加工过程中也非常重要<sup>[26]</sup>。与对照组相比，实验组猪肉的鲜味氨基酸和甜味氨基酸含量分别提高 3.48% 和 3.29%，说明饲料中添加金枪鱼蒸煮液后巴马香猪猪肉鲜味和甜味均得到增强。此外，缬氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、苯丙氨酸、蛋氨酸、赖氨酸和精氨酸等均产生苦味，属于苦味氨基酸，其中精氨酸的苦味具有提鲜的作用<sup>[27]</sup>。对照组中苦味氨基酸种类较多、含量较高，且除了缬氨酸外其他苦味氨基酸的呈味强度值均大于 1。饲料中添加金枪鱼蒸煮液后，猪肉中除了赖氨酸外的所有苦味氨基酸含量均降低，总含量降低 4.27%，有效减少了巴马香猪猪肉的苦味(表 2)。

表 2 氨基酸味道强度值和相对质量分数  
Tab.2 Taste active value of amino acid

名称	味道阈值 (mg/g)	味道特征	CK		PW	
			TAV	质量分数/%	TAV	质量分数/%
天冬氨酸	1	鲜味	2	5.06	2.01	6.24
谷氨酸	0.3		15.35	11.26	15.38	13.56
<b>小计</b>				<b>16.32</b>		<b>19.80</b>
缬氨酸	0.4	苦味	0.66	0.69	0.67	0.67
异亮氨酸	0.9		5.27	11.92	4.37	11.27
亮氨酸	1.9		3.42	16.34	3.03	15.06
苯丙氨酸	0.9		1.77	4.16	1.64	3.70
蛋氨酸	0.3		17.39	13.10	15.13	11.87
赖氨酸	0.5		2.13	2.79	2.26	2.83
精氨酸	0.5		9.30	11.68	8.42	11.01

小计				<b>60.68</b>		<b>56.41</b>
丝氨酸	1.5	甜味	0.35	1.32	0.54	2.11
苏氨酸	2.6		1.56	10.17	1.82	12.36
脯氨酸	3		0.24	1.90	0.30	2.28
甘氨酸	1.3		0.21	0.68	0.18	0.61
丙氨酸	0.6		4.96	7.48	5.39	8.45
小计				<b>21.94</b>		<b>25.43</b>

### 3 结论

金枪鱼蒸煮液在金枪鱼加工工业中产生，其营养物质含量丰富，但是缺乏有效的利用手段。本研究利用金枪鱼蒸煮液作为饲料添加剂喂养巴马香猪，利用电子鼻和 GC-MS 监测猪肉挥发性风味物质变化，利用电子舌与 HPLC 监测猪肉非挥发性风味物质变化。结果表明，饲料中添加金枪鱼蒸煮液之后，醛类、醇类和酯类物质含量大幅增加，产生比对照组更加显著的油脂气味、果香和清香青草气味，同时减少了腥味；此外，鲜味氨基酸和甜味氨基酸作为猪肉中主要的呈味氨基酸，在实验组中含量均显著提高，而苦味氨基酸含量降低。这些气味和滋味参数的变化，说明饲料中添加金枪鱼蒸煮液可以有效提升巴马香猪猪肉的气味和滋味品质。本研究为巴马香猪工业化养殖和金枪鱼加工废弃物再利用提供了重要参考。

### 参考文献：

- [1] 崔妮, 王明利. 中国肉类消费发展分析及未来展望[J]. 农业展望, 2016. 10: 74-80.
- [2] 莫玉萍, 钟舒红, 唐敏桃, 等. 广西巴马香猪的种质特性及开发利用[J]. 猪业科学, 2011. 28(10):116-118.
- [3] 孔智伟, 张强, 陈荣强, 等. 甜叶菊废渣发酵饲料对土杂肉猪生产性能的影响[J]. 中国猪业, 2017. 12(11):46-48.
- [4] 胡小勇, 麦裕良, 林蓝, 等. 生物草料对巴马香猪生长性能和肉质的影响[J]. 养猪, 2018. 159(04):19-21.
- [5] 乙丛敏, 杨茗媛, 申慧婷, 等. 金枪鱼碎肉酶解液对巴马香猪肉风味和滋味的作用[J]. 食品工业科技, 2018. 39(3): 259-264.
- [6] 陈启航, 朱秀花, 俞珺, 等. 金枪鱼蒸煮液酶解工艺优化及风味海鲜调味汁的制备[J]. 食品工业科技, 2018. 39(9): 124-130.
- [7] Héctor L. Ramírez, Soriano A, Sergio Gómez, et al. Evaluation of the food sniffer electronic nose for assessing the shelf life of fresh pork meat compared to physicochemical measurements of meat quality[J]. Eur Food Res Tec, 2018. 244(6):1047-1055.

- [8] Pavlidis DE, Mallouchos A, Ercolini D, et al. A volatilomics approach for off-line discrimination of minced beef and pork meat and their admixture using HS-SPME GC/MS in tandem with multivariate data analysis[J]. *Meat Sci*, 2019. 43-53.
- [9] Gil-Sánchez, L. Meat and fish spoilage measured by electronic tongues, in electronic noses and tongues in food science[J]. Elsevier. 2016. 199-207.
- [10] 陈霞, 李红敏, 王静. 微波消解法在测定新疆 8 种葡萄干中氨基酸的应用[J]. *食品工业*, 2015. 4:266-270.
- [11] 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.
- [12] Zhao J, Wang M, Xie J, et al. Volatile flavor constituents in the pork broth of black-pig[J]. *Food Chem*, 2017. 226:51-60..
- [13] 何亮宏, 陈国顺, 权群学, 等. 桑叶粉对生长肥育猪生长性能、屠宰性能、肉质及风味的影响[J]. *中国畜牧杂志*, 2018. 54(8): 68-74.
- [14] Del Pulgar J, Roldan M, Ruiz-Carrascal J. Volatile compounds profile of sous-vide cooked pork cheeks as affected by cooking conditions (vacuum packaging, temperature and time) [J]. *Molecules*, 2013. 18(10):12538-12547..
- [15] 潘见, 杨俊杰, 邹英子. 不同涂层 SPME 与 GC-MS 联用比较分析两种猪肉挥发性风味成分[J]. *食品科学*, 2012. 33(12): 169-172.
- [16] 游刚, 牛改改. 水煮或油煎处理对方格星虫肉挥发性风味物质成分变化的影响[J]. *食品科学*, 2016. 37(18): 120-125.
- [17] 黄业传, 贺稚非, 李洪军, 等. 皮下脂肪和肌内脂肪对猪肉风味的作用[J]. *中国农业科学*, 2011. 44(10):2118-2130.
- [18] 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.
- [19] Ramírez MR, Estévez M, Morcuende D, et al. Effect of the type of frying culinary fat on volatile compounds isolated in fried pork loin chops by using SPME-GC-MS[J]. *J Agr Food Chem*, 2004. 52(25):7637-7643.
- [20] 邹英子. 传统良种猪肉与瘦肉型猪肉挥发性风味成分的差异分析[J], 2012, 合肥工业大学.
- [21] Takakura Y, Osanai H, Masuzawa T, et al. Characterization of the key aroma compounds in pork soup stock by using an aroma extract dilution analysis[J]. *Biosci Biotech Bioch*, 2014. 78(1):124-129.
- [22] 崔艺燕, 马现永. 猪肉风味研究进展[J]. *肉类研究*, 2017. 31(6): 55-60.
- [23] 布丽君, 解华东, 张晓春, 等. 游离氨基酸对 10 月龄荣昌猪猪肉滋味的影响研究[J]. *农产品加工*, 2016. 11: 29-32.
- [24] 杨晋, 陶宁萍, 王锡昌. 文蛤的营养成分及其对风味的影响[J]. *中国食物与营养*, 2007. 5: 43-45.
- [25] 龚骏, 陶宁萍, 顾赛麒. 食品中鲜味物质及其检测研究方法概述[J]. *中国调味品*, 2014. 1: 129-135.
- [26] 杨平, 王瑶, 宋焕禄, 等. 不同熬煮条件对猪肉汤中滋味成分变化的影响[J]. *中国食品学报*, 2018.18(12):247-260
- [27] 郑亚东. 赖氨酸、精氨酸改善猪肉肠品质特性的应用研究[D], 2017. 合肥工业大学.