

# 花椒麻味物质感官分级 及其检测研究进展

潘姝璇, 蒲彪\*, 付本宁, 蒋培基  
(四川农业大学食品学院, 四川雅安 625014)

**摘要:**花椒作为我国资源丰富的一种香辛料,其中麻味物质(花椒酰胺)是花椒中独特风味的重要组成成分,直接决定了花椒的辛麻程度并且是影响花椒品质的重要因素。花椒提取物具有多种生理功能,如麻醉、兴奋、抑菌、祛风除湿、杀虫和镇痛等,已广泛应用在食品、医药和农业等领域,现从感官分级及检测方法两方面对花椒麻味物质检测的研究现状以及应用进行综述,并对麻味物质未来的发展趋势进行展望。

**关键词:**麻味物质,感官分级,检测方法

## Research progress in the sensory classification and detection of numb-taste components of *Zanthoxylum*

PAN Shu-xuan, PU Biao\*, FU Ben-ning, JIANG Pei-ji

(College of Food Science, Sichuan Agricultural University, Ya'an 625014, China)

**Abstract:** *Zanthoxylum* was one of the most resourceful spice in China. Hemp flavor material (pepper amide) was an important component of the unique flavor of *Zanthoxylum bungeanum*, which directly determined the degree of pungent hemp and was an important factor affecting the quality of *Zanthoxylum bungeanum*. The extractive of *Zanthoxylum* which had numerous physiological functions such as anesthesia, excitement, bacterial inhibition, rheumatism relieving, analgesic and disinsection, was widely used in the field of food, medicine and agriculture. This article was an overview of the sensory grading and detection of *Zanthoxylum*, and prospected the development trend of the future.

**Key words:** the numb-taste components; sensory grading; detection method

中图分类号: TS207.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2017)18-0347-05

doi:10.13386/j.issn1002-0306.2017.18.065

花椒为花椒属(*Zanthoxylum* L.)芸香科(*Rutaceae*),植物花椒(*Zanthoxylum bungeanum* Maxim)或青椒(*Zanthoxylum schinifolium* Sieb.et Zucc)的成熟干燥果皮,是我国特有的一种香辛料资源,原产于温带和亚热带地区。在亚洲,该属常生长在喜马拉雅地区,在中部、南部、东南部和东亚地区,全球约有250余种,其中我国约有50种,13个变种,2个变型<sup>[1]</sup>。我国的花椒种资源十分丰富,除少数高海拔地区外,全国大部分地区均有种植,近年来,陕西的韩城、山东的泰安、莱芜、四川的金阳、茂汶、汉源、重庆的江津的地方花椒产业化已初步形成<sup>[2]</sup>。花椒具有很高的综合利用价值,花椒果皮可以作为调味品,其果实、根、茎和叶都可作药,花椒中的主要化学成分有挥发油、生物碱、酰胺、脂肪酸、木质素和香豆素等,具有多种生理功能<sup>[3-4]</sup>。近年来,随着我国传统中医药的发展,花椒作为传统中药材中

的一种也越来越受关注,其相关的报道也越来越多,现对花椒麻味的分级及麻味物质的检测进行综述。

### 1 麻味物质简介

花椒成熟干燥果皮是人们日常生活中的食品香味料,花椒独特的“麻味”是川菜中必不可少的风味之一<sup>[5]</sup>。麻味不属于基本味觉,它是以山椒素为代表的链状不饱和脂肪酸酰胺类物质(酰胺基团)对人的舌黏膜、口腔和鼻腔上的触觉神经产生了刺激作用致使人产生麻的感觉,具有促进消化液分泌和增进食欲的功效<sup>[6]</sup>。据研究,酰胺种类和含量直接决定了花椒的辛麻程度,其种类和含量也会因花椒的品种、产地、部位的不同而存在一定的差异,并且会随成熟度不同而发生变化<sup>[7]</sup>。

花椒酰胺为白色晶体,属于双亲酶性分子,熔点119~120℃(105℃软化)。常温下易溶于氯仿、甲

收稿日期:2017-03-13

作者简介:潘姝璇(1992-),女,硕士研究生,研究方向:农产品加工及储藏工程,E-mail:lvkui07@163.com。

\*通讯作者:蒲彪(1955-),男,博士,教授,研究方向:果蔬加工、功能性食品,E-mail:pubiao2002@163.com。

基金项目:花椒质量等级,国家林业局行业标准制修订项目(2015-LY-184)。

醇、乙醇、无水乙醚等有机溶剂中,加热溶于石油醚,略微溶于水,不溶于冷石油醚(挥发油和色素等杂质可溶于冷石油醚);结晶体在室温下放置数分钟后即刻变成黄色粘胶状,极性大、易溶于丙酮和甲醇、难溶于氯仿,化学性质很不稳定<sup>[8-9]</sup>,故需在低温低氧条件下保存。

目前花椒中天然提取并确定结构的酰胺类物质包括有 $\alpha$ -山椒素、羟基- $\alpha$ -山椒素、 $\beta$ -山椒素、羟基- $\beta$ -山椒素、 $\gamma$ -山椒素、羟基- $\gamma$ -山椒素、异羟基- $\gamma$ -山椒素、 $\varepsilon$ -山椒素、羟基- $\varepsilon$ -山椒素、 $\delta$ -山椒素、花椒素、2-羟基-N-异丁基-2,4-十四烷二烯酰胺、N-异丁基-2,4-十四烷二烯酰胺、8-酮-N-异丁基-2,4-十四烷二烯酰胺、12-酮-N-异丁基-2,4,8-十四烷三烯酰胺、2'-羟基-N-异丁基-2,4,8-十四烷三烯酰胺、N-异丁基-2,4,8,10-十四烷四烯酰胺、N-异丁基-2,4,8,10,12-十四烷五烯酰胺等30种<sup>[10-13]</sup>。现在也有人研究山椒素的合成,主要是采用铃木耦合反应(Suzuki-Miyaura Coupling)。Katsuyuki A<sup>[14]</sup>等人用铃木耦合反应为基础,研发出一个只需5~6步即可合成以上化合物的简便方法,合成羟基- $\alpha$ -山椒素、羟基- $\beta$ -山椒素、 $\gamma$ -山椒素这些不稳定化合物,总收率约为45%。Y Igarashi<sup>[12]</sup>等人也是采用铃木耦合反应合成了羟基- $\alpha$ -山椒素、羟基- $\beta$ -山椒素。

## 2 麻味物质感官分级方法

### 2.1 斯克维尔指数法(SHU)

斯克维尔指数法通常主要是用于辣椒的辣度评价<sup>[15-16]</sup>。从辣味和麻味的呈味机制来看,花椒麻感和辣椒的辣感非常相似,并有研究证明二者均为三叉神经感觉,可通过如麻味或辣味的化合物激活TRPV1(瞬态电压感受器阳离子通道)和TRPA1(瞬间受体电位离子通道)而产生麻感和辣感<sup>[17-18]</sup>,因此可以借鉴斯克维尔指数法对麻味进行评价。斯克维尔指数法作为一种基于差别检验的间接测量法,将麻味提取液按照一定比例稀释后,让品评员分辨出刚好能察觉到麻味的最低浓度的样品,再根据样品的稀释倍数转化成不同等级的麻度。张璐璐<sup>[19]</sup>采用斯克维尔指数法对17种不同产地的花椒的麻味及其酰胺含量进行了对比分析,研究发现麻味感觉强度值与花椒酰胺含量之间具有一定的正相关性,但某些酰胺含量高麻味程度却很低,可能是酰胺的构成及其结构等也可能对麻度产生影响,由此可知,花椒酰胺的含量不是决定麻味程度的唯一因素。Sugai<sup>[20]</sup>等对从日本花椒中分离纯化得到的6种花椒麻味物质进行了感官评价,得到了这6种物质的麻味的斯克维尔指数,山椒素斯克维尔指数范围在80000~110000,其中 $\alpha$ -山椒素的灼烧和刺痛感持续时间最长,比羟基山椒素的斯克维尔指数要低3~5倍。

该方法操作简单但是测量的精度不高,评价人数一般为5名且只检验一轮,会有统计依据不足的缺点。此外,斯克维尔指数法只评价样品液,不能消除样品制备基质对品评等方面的问题。

### 2.2 定量描述分级

定量描述分析是风味物质的常用分析方法,茶、酱油、葡萄酒等食品中香气成分均可以用该方法分析<sup>[21-23]</sup>。麻度的量化分级依据品评人员的感官分析结果,以花椒酰胺含量为指标,对不同样品中花椒酰胺含量差别进行定量分析,以确定麻度的分级。张凤芳<sup>[24]</sup>等人在通过在菜籽油中添加花椒油树脂配制11份不同麻味浓度的样品,由50名具有一定品评经验的人进行感官评价,并采用紫外分光光度法测定花椒油样品中酰胺的含量。依据感官评价和花椒酰胺含量,对花椒麻度进行量化分级,分为特麻(即花椒酰胺含量>0.44%)、麻(即花椒酰胺含量0.26%~0.44%)、中麻(即花椒酰胺含量0.11%~0.26%)、微麻(即花椒酰胺含量<0.11%)四个等级。麻味和辣味呈味机理相似,定量描述法也应用于对辣味的评价,曾岭<sup>[25]</sup>以贵阳地区的人群对辣味的不同辣度进行感官评价,依据食品的感官辣度和辣椒碱的含量对不同辣度的食品进行了量化后分为了4级:1级(辣椒碱含量<0.30%)、2级(辣椒碱含量0.30%~0.50%)、3级(辣椒碱含量0.50%~0.70%)、4级(辣椒碱含量>0.80%)。

该方法中品评人员之间评价差异较大,因此需要较多的专业人员参与;该方法得出的结果不能表现出麻味物质结构、种类及其纯度等方面对麻味的影响。

### 2.3 线性标度法

线性标度法是指在直线两端(通常15 cm)各约1.5 cm左右标注能代表某感官性质的注释词,如线段左端代表“没有”或者“0”,最右段即代表“最大”或者“最强”。用直尺把每种性质转化为相应的数值,评价员将其感知到的产品感官特性强度标记在直线的某个位置上再转化为相应的数值进行统计分析<sup>[26-27]</sup>。该方法以品评员对麻味刺激的感知度为依据,建立的麻感标记线性标度对于花椒麻度的量化评价及相关研究的开展具有重要的理论和实践意义。

张洪亚<sup>[28]</sup>采用线性标度感官评定方法评定香菇豆酱中辣椒对其风味的影响,进而确定香菇豆酱的最佳配方。赵镭<sup>[29]</sup>采用在不改变评价员使用标度习惯和范围的前提下,不通过外部强制校准统一标准尺度,而是通过分析评价员自身对于感觉强弱语义描述量化的差异找到其内在的感觉测量标度范围的自校准的方法,经过统计分析统一评价小组的标度范围,建立了花椒麻度感官评价的15 cm标记线性标度。麻感标记值分别为:0.8(微麻),3.1(有点麻),6.4(麻),8.1(较麻),10.3(很麻)和12.5(特麻)。该标度本质上为等比标度,符合 $y = 2.7321 \ln x + 4.941$ 。

### 2.4 Half-tongue 检验

Half-tongue 检验常用于刺激性物质的评价及阈值范围的确定<sup>[30]</sup>。利用矩形滤纸承载不同浓度的刺激物,通过溶剂对照,将滤纸随机放在测试者舌尖的左侧或右侧而对照组放在另一侧,每组的测试,都要求测试者辨别出哪一侧能够被感知到刺激物,进而得到该刺激物在人体中的味觉阈值<sup>[31]</sup>。Dawid<sup>[32]</sup>等

人采用 Half-tongue 检验法确定了黑胡椒粉的乙醇提取物中的具有麻味的刺激性物质,再用 LC-MS 和 1D/2D NMR 联合检测出 25 个刺激性物质的化学结构,结果表明物质刺激性大小与刺激物的化学结构有关。靳岳<sup>[33]</sup>等人通过 Half-tongue 检验测定新花椒和陈放花椒的麻味阈值。按照组分浓度递增顺序给评定小组成员进行测验,将每组样品中各个测试者的麻味阈值取平均值,用样品稀释倍数(初始浓度与麻味阈值的比值)来表示麻味的大小,实验结果表明,陈花椒与新花椒相比较,麻味物质含量较低。

## 2.5 电子舌检验

电子舌系统是一个多传感器设备,致力于复杂的组合物样品的自动分析,并识别其特征属性,其传感器的响应模式往往与味道的属性有显著的差异性,这说明电子舌可以成为食品工业和制药行业领域中非常有用的工具<sup>[34-35]</sup>。王素霞<sup>[36]</sup>等人以感官评价对照差别检验的方法,对未知的样品与参比样品间采取对比平行测定,实验结果发现,多频脉冲伏安法电子舌对不同浓度的花椒提取液具有很好的区分效果;酒精的含量对麻味物质的电子舌响应有很大的影响;以差异度为量化差异的表征方式,在量化麻味物质的电子舌检测差异方面有较好的结果,该差异可以用线性数学模型表示,此模型对样品的预测值与实际值之间的标准偏差低于 20%,满足感官评价的要求。但是目前还缺乏传感器响应信号的强度与人麻味感觉的强度之间的相关性研究。

## 3 麻味物质的检测

### 3.1 薄层色谱法

薄层色谱法属于固-液吸附色谱,通常采用比较显色斑点大小的方法定量,具有重复性差、准确度不高等缺陷,故多用于定性检测。Yoshiki<sup>[37]</sup>等采用薄层层析法,将样品在薄层板展开后,在紫外灯下检测出了花椒酰胺。付苗苗<sup>[38]</sup>采用薄层色谱和硅胶柱层析来分离纯化大红袍花椒麻味物质,并通过紫外分光光度计在 254 nm 下鉴定后进行结晶,得到麻味物质的结晶体,用红外光谱和质谱分析,得知其中含酰胺基团。该方法一般多用于粗样品中花椒酰胺的定性,而定量检测需要结合其他的方法。

### 3.2 紫外分光光度计法

花椒酰胺在波长为 206 nm 和 254 nm 处有明显吸收峰,因此可以从定性和定量两个方面对花椒素进行测定。付陈梅<sup>[39]</sup>等用甲醇为提取剂,在 40 ℃ 条件下浸提花椒油 4 h,再用紫外分光光度计法检测花椒油中酰胺类物质含量,其回收率为 100% ± 2%,标准差为 0.00082 ~ 0.00216,变异系数在 0.00066 ~ 0.00170 之间。王洪伟<sup>[40]</sup>等人实验证明分光光度法虽然在检测度、精确度、检测限等指标上都低于气相色谱法和液相色谱法,但对同一样品进行检测时,三种方法的检测结果不存在显著性差异。该方法操作简单,成本低,适合实验室中大量样品的检测,但分光光度计法对花椒麻味物质的纯度有一定的要求,且需要一定的预处理,因此操作者的不同可能会造成检测值的异常波动。

### 3.3 高效液相色谱法

HPLC 法是比较常用的一种检测花椒麻味物质含量的方法,田卫环<sup>[41]</sup>用 HPLC 测定不同存放条件下花椒油调味品中花椒麻味物质的变化,并发现机械挤压法制得的花椒调味颗粒应用到市场是可行的。刘邵华<sup>[42]</sup>用 HPLC 法测定不同产地新棒状花椒酰胺的含量,采用 Hypersil BDS C<sub>18</sub> 色谱柱,流动相为乙腈:水(50:50),流速为 1.0 mL/min,柱温 40 ℃,检测波长 268 nm,进样量为 20.0 μL,实验结果发现不同产地的新棒状花椒酰胺的含量差别较大,金秀样品含量最高(0.468%),桂林样品含量最低(0.009%)。王洪伟<sup>[38]</sup>等人通过对比气相色谱法、分光光度计法、高效液相色谱法对花椒麻味物质的含量进行了定量检测的差异性分析,发现高效液相色谱法与气相色谱法要优于分光光度计法。但由于目前没有商品化的花椒麻味素标准品出售,因此要用此方法来定量,就要先制备标准品。芮光伟<sup>[43]</sup>采用超临界方式进行麻味物质的粗提取,采用制备型高效液相色谱法纯化后的花椒酰胺类麻味物质作为标准品,通过 HPLC 对其进行检测,在浓度范围为 1.0~14.0 μg/mL 内,标准曲线方程为  $y = 2912874x - 381163$ ,  $R^2 = 0.997$ ,标准曲线线性关系良好。精密度实验和稳定性实验的相对标准偏差都小于 5%,该方法的精密度和稳定性良好,加标回收率在 99% ~ 102%,方法的准确性良好。

### 3.4 气质联用技术

气相色谱-质谱联用(GC-MS)法对样品纯度要求较高,检测前需经过复杂的前处理,以除去花椒挥发油和其他化学成分的干扰。张惠民<sup>[44]</sup>等对花椒树脂的氯仿提取物经过柱层析后,再进行乙酸乙酯结晶,粗晶体经过 GC-MS 检测后发现其中有 N-对羟基苯基甲基-2,7-二甲基-2,6-辛二烯酰胺。杨潇等<sup>[45]</sup>人采用 GC-MS 和 AMDI 对川渝地区不同产地和等级的花椒超临界 CO<sub>2</sub> 萃取物中麻味物质进行分析,共鉴定出的 66 种物质中有 4 种是产生麻味的多烯酰胺类物质,且红花椒中的含量高于青花椒。白小鸣<sup>[46]</sup>采用超声波辅助-乙醚提取法对花椒进行提取,利用气相色谱-质谱提取物的组分,并结合 Kovats 保留指数对其主要成分进行定性分析,结果在花椒提取物中鉴定出 6 种酰胺类化合物及其化合物的结构。花椒酰胺是一类结构相似的化合物,在 GC-MS 中的固定相分配系数差异性小,因此不能将其两两分离来进行逐一鉴定。

### 3.5 液质联用技术

液相色谱-质谱联用(LC-MS)与液质联用技术(GC-MS)相比,样品无需经过气化处理,因此更能广泛应用于花椒麻味物质的定性检测中。Lwabu<sup>[47]</sup>等采用液相色谱-质谱-质谱连用技术(LC-MS/MS)分析了血浆和尿液中的羟基-α-山椒素和 γ-山椒素含量。陈槐莹<sup>[48]</sup>通过高效液相色谱(HPLC)和液相色谱-质谱联用(LC-MS)技术对汉源花椒叶中的麻味物质的成分及其含量进行了定性和定量分析,结果表明花椒叶中含有羟基-α-山椒素、羟基-β-山椒素



和羟基- $\gamma$ -山椒素等,与果皮中麻味物质成分类似,可以用于开发利用。液质联用技术与其他方法相比,可以直接测定花椒酰胺的部分结构信息,但成本高。

### 3.6 快速检测方法

**3.6.1 近红外光谱分析技术** 近红外光谱技术(Near Infrared Spectroscopy, NIRS)是一种快速、无损测定物质化学组分含量的现代光谱技术<sup>[49]</sup>。祝诗平<sup>[50]</sup>等从141份花椒样品中优选出80份,采用近红外光谱分析技术快速检测花椒中的麻味物质含量,用其中60份样品的近红外光谱建立校正模型,通过对其余的20份进行预测证明建立的检测模型有一定的预测能力,利用近红外光谱分析技术进行快速检测花椒麻味物质含量是可行的。但目前相关报道还较少,若要进行广泛的应用还需建立更为完善的检测模型。

**3.6.2 甲醛快速滴定法** 甲醛法常用于测定铵盐的含氮量,用于蛋白质和游离氨基酸的测定较为广泛,现有报道证明可以用于花椒酰胺的检测<sup>[51-52]</sup>。花椒中的麻味成分用甲醛法滴定花椒总酰胺的原理为:甲醛与弱酸性酰胺的 $\text{NH}_4^+$  ( $K_a = 5.6 \times 10^{-10}$ )相作用,生成质子化的 $(\text{CH}_2)_6\text{N}_4\text{H}^+$ 和 $\text{H}^+$ ,即 $4\text{NH}_4^+ + 6\text{HCHO} = (\text{CH}_2)_6\text{N}_4\text{H}^+ + 3\text{H}^+ + 6\text{H}_2\text{O}$ 。在反应中4 mol  $\text{NH}_4^+$ 生成了4 mol的铵盐 $(\text{CH}_2)_6\text{N}_4\text{H}^+$ ,而 $(\text{CH}_2)_6\text{N}_4\text{H}^+$ 的 $K_a = 7.1 \times 10^{-10}$ ,酸性得到了强化,因此 $(\text{CH}_2)_6\text{N}_4\text{H}^+$ 可被NaOH准确滴定。 $(\text{CH}_2)_6\text{N}_4\text{H}^+$ 中的N与NaOH的化学计量数比为1,即NaOH所滴定出的 $(\text{CH}_2)_6\text{N}_4\text{H}^+$ 量与花椒中总酰胺的含量相等。由于所提取的样品中可能含有游离酸和 $\text{H}^+$ ,以甲基红为指示剂,滴加NaOH将溶液中和至指示剂变为黄色( $\text{pH} \approx 6$ )后向提取液中加入甲醛,以酚酞为指示剂后,用NaOH标准溶液滴定。李菲菲<sup>[53]</sup>采用甲醛法比较不同花椒中的总酰胺含量,结果表明花椒总酰胺含量大小为:高山区红>竹叶花椒>低山区红花椒,与高效液相色谱法所得结果一致。

## 4 结论与展望

近几年来,虽然对花椒的研究越来越广泛,但麻味物质作为花椒的特色风味物质仍然是研究热点,目前不同的感官评价的方法也相继用于花椒麻味程度的评价和分级。麻味的分级不仅作为评价花椒品质的重要因素之一,还有益于不同花椒产品的开发。本文对关于花椒麻味的感官评价现有的研究进行了简要的概述,并发现通过品评员对麻味物质的麻度分级存在很大的主观性,结果的可信度与品评员的人数有很大关系,人数越多其结果越有说服力。花椒麻味物质的主要成分花椒酰胺现有的检测方法也逐渐增加且还在对新方法不断的进行研究,液相、液质与气质准确度高,此外液质与气质还能对花椒酰胺进行初步的定性,但检测仪器价格昂贵,在检测前需要对样品进行前处理,方法相对较为繁琐,适用于科研单位对花椒酰胺的深入研究;紫外分光光度法、近红外检测法和甲醛快速滴定法检测速度快、方便、成本相对较低,但准确度不高,适用于企业中对花椒

品质的快速检测与分级。

目前花椒麻味素虽已经开始进行提取应用,但花椒麻味等级评价方法还没有建立。由于花椒麻味标准品还存在价格高且有些花椒酰胺还没有纯品,因此仍需对其进行基础性研究。同时由于花椒的产地、品种等因素对所含酰胺类物质都有所影响,花椒酰胺类物质的结构、理化性质及其辛麻特性都还有待进一步的研究和完善。需充分利用现有的高科技手段,在花椒麻味物质的感官评价及其检测方面进行深入的研究,建立更为完善的花椒麻味分级的标准。

### 参考文献

- [1] 南京中医药大学, 中药大辞典(第二版)[M]. 南京: 上海科技出版社, 2006: 1469-1473.
- [2] 薛小辉. 花椒麻味成分的提取与分离[D]. 雅安: 四川农业大学, 2012.
- [3] 张坤. 花椒麻味物质的分离及组成分析[D]. 重庆: 西南大学, 2008.
- [4] 孟一娟. 花椒麻味物质标准品的制备技术及其替代品的筛选与应用[D]. 重庆: 西南大学, 2010.
- [5] 肖培根. 新编中药材志[M]. 北京: 化工业出版社, 2002: 253-259.
- [6] 余晓琴. 花椒品质评价方法及其应用研究[D]. 重庆: 西南大学, 2010.
- [7] 芮光伟, 曹蕊, 蒋珍菊. 花椒麻味物质的分离纯化和高效液相色谱法的测定[J]. 中国调味品, 2013, 38(9): 60-64.
- [8] Xiaogen Yang. Aroma constituents and alkylamides of red and green huajiao (*Zanthoxylum bungeanum* and *Zanthoxylum schinifolium*) [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2008(56): 1689-1696.
- [9] 刘雄. 花椒麻味成分的提取与分离技术[D]. 重庆: 西南农业大学, 2003.
- [10] Hatano T, Inada K, Ogawa T, et al. Aliphatic acid amides of the fruits of *Zanthoxylum piperitum* [J]. Phytochemistry, 2004, 65(18): 2599-2604.
- [11] Huang S, Zhao L, Zhou XL, et al. New alkylamides from pericarps of *Zanthoxylum bungeanum* [J]. Chinese Chemical Letters, 2012, 23(11): 1247-1250.
- [12] Machmudah S, Izumi T, Sasaki M, et al. Extraction of pungent components from Japanese pepper (*Zanthoxylum piperitum* DC.) using supercritical  $\text{CO}_2$  [J]. Separation and Purification Technology, 2009, 68(2): 159-164.
- [13] Sugai E, Morimitsu Y, Iwasaki Y, et al. Pungent qualities of sanshool-related compounds evaluated by a sensory test and activation of rat TRPV1 [J]. Bioscience, Biotechnology and Biochemistry, 2005, 69(10): 1951-1957.
- [14] Katsuyuki Aoki, Yasushi Igarashi, Hiroaki Nishimura, et al. Application of iron carbonyl complexation to the selective total synthesis of sanshools [J]. Tetrahedron Letters, 2012, 53: 6000-6003.
- [15] Ken G Sweat, Jennifer Broatch, Connie Borrer, et al. Variability in capsaicinoid content and Scoville heat ratings of commercially grown Jalapeño, Habanero and Bhut Jolokia peppers

- [J]. Food Chemistry, 2016, 210, 1: 606–612.
- [16] Mechuselie K, Suman K. Vitro plantlet regeneration from cotyledon segments of *Capsicum chinense* Jacq. cv. Naga King Chili, and determination of capsaicin content in fruits of *in vitro* propagated plants by High Performance Liquid Chromatography [J]. *Scientia Horticulturae*, 2013, 164: 1–8.
- [17] Riera C E, Menozzi S C, Affolter M, et al. Compounds from Sichuan and Melegueta peppers activate, covalently and non-covalently, TRPA1 and TRPA1 channels [J]. *British Journal of Pharmacology*, 2009, 157: 1398–1409.
- [18] Bautista D M, Sigal Y M, Milstein A D, et al. Pungent agents from Szechuan peppers excite sensory neurons by inhibiting two-pore potassium channels [J]. *Nature Neuroscience*, 2008, 7: 772–779.
- [19] 张璐璐, 赵镭, 史波林, 等. 花椒麻度分级的改良斯科维尔指数法建立研究[J]. *食品科学*, 2014, 35(15): 11–15.
- [20] Sugai E, Morimitsu Y, Iwasaki Y, et al. Pungent qualities of sanshool-related compounds evaluated by a sensory test and activation of rat TRPV1 [J]. *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry*, 2005, 69(10): 1951–1957.
- [21] Zihan Qin, Xueli Pang, Dong Chen, et al. Evaluation of Chinese tea by the electronic nose and gas chromatography-mass spectrometry: Correlation with sensory properties and classification according to grade level [J]. *Food Research International*, 2013, 53: 864–874.
- [22] Shinya Yamamoto, Takeshi Bamba. Metabolite profiling of soy sauce using gas chromatography with time-of-flight mass spectrometry and analysis of correlation with quantitative descriptive analysis [J]. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 2012, 114(2): 170–175.
- [23] Yves Cadot, Soline Caillé. Sensory dimension of wine typicality related to a terroir by quantitative descriptive analysis, just about right analysis and typicality assessment [J]. *Analytica Chimica Acta*, 2010, 660: 53–62.
- [24] 张凤芳, 马力. 花椒麻度量化分级及麻味食品生产工艺研究[J]. *中国调味品*, 2015, 40(9): 72–80.
- [25] 曾岭岭, 王斌, 陈烨, 等. 辣味食品辣度量化分级技术研究[J]. *食品科学*, 2006, 27(7): 129–131.
- [26] 马永强, 韩春然, 刘静波. 食品感官检验 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [27] Harry T L, Hildegarde H. Sensory evaluation of food: principles and practices [M]. 2ed. New York: Springer, 2010: 208–259.
- [28] 张洪亚, 张雯, 周亚男, 等. 线性标度法在香菇豆酱感官评定中的应用[J]. *食品工业*, 2016(5): 192–194.
- [29] 赵镭, 张璐璐. 花椒麻度感官评价自校准线性标度的建立[J]. *中国食品学报*, 2015, 10(15): 211–216.
- [30] Y Shoji, T Miyazawa, M Togawa, et al. The evaluation of enhancing effect of spilanthol on carbonation bite by half-tongue method [J]. *Chemical Senses*, 2015: 574–574.
- [31] A Brock, T Hofmann. Identification of the Key Astringent Compounds in Spinach (*Spinacia oleracea*) by Means of the Taste Dilution Analysis [J]. *Chemosensory Perception*, 2008, 1(4): 268–281.
- [32] C Dawid, A Henze, O Frank, et al. Structural and Sensory Characterization of Key Pungent and Tingling Compounds from Black Pepper (*Piper nigrum* L.) [J]. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 2012, 60(11): 2884–2895.
- [33] 靳岳, 刘富权, 赵志峰, 等. 基于 Half-tongue 检验测定花椒麻味强度的研究[J]. *中国调味品*, 2016, 41(6): 80–83.
- [34] K Woertz, C Tissen, P Kleinebudde, et al. Taste sensing systems (electronic tongues) for pharmaceutical applications [J]. *International Journal of Pharmaceutics*, 2011, 417: 256–271.
- [35] P Ciosek, W Wróblewski. Sensor arrays for liquid sensing-electronic tongue systems [J]. *Analyst*, 2007, 132: 963–978.
- [36] 王素霞, 赵镭, 史波林, 等. 基于差别度的电子舌对花椒麻味物质的定量预测[J]. *食品科学*, 2014, 35(18): 84–88.
- [37] Yoshiki Kashiwada, Chikashi Ito, Hitoshi Katagiri, et al. Amides of the fruit of *Zanthoxylum*. SPP [J]. *Phytochemistry*, 1997, 44(6): 1125–1127.
- [38] 付苗苗. 花椒中麻味物质的提取分离及纯化工艺的研究 [D]. 西安: 西北大学, 2010.
- [39] 付陈梅, 阙建全, 刘雄, 等. 紫外分光光度计法测花椒油中酰胺类物质含量[J]. *中国食品添加剂*, 2003(6): 100–102.
- [40] 王洪伟, 罗凯, 黄秀芳, 等. 不同方法定量检测花椒油中花椒麻味物质的效果比较[J]. *食品工业科技*, 2014, 35(7): 272–275.
- [41] 田卫环, 胡永帅, 雷瑞萍. 花椒调味品中麻味物质的变化研究[J]. *食品工业科技*, 2013, 77(18): 298–301.
- [42] 刘邵华, 覃青云, 唐献兰, 等. HPLC 法测定广西十个不同产地两面针中新棒状花椒酰胺的含量[J]. *天然产物研究与开发*, 2005, 17(3): 337–339.
- [43] 芮光伟, 曹蕊, 蒋珍菊. 花椒麻味物质的分离纯化和高效液相色谱法的测定[J]. *中国调味品*, 2013, 38(9): 60–64.
- [44] 张惠民. 花椒呈香呈味物质的研究 [D]. 重庆: 西南大学, 2004.
- [45] 杨潇, 芮光伟, 钟智超, 等. 9种花椒超临界 CO<sub>2</sub> 萃取物中化学成分 GC/MS/AMDI 分析[J]. *食品与发酵工业*, 2011, 3(6): 158–162.
- [46] 白小鸣, 王华, 曾小峰, 等. 气相色谱-质谱法结合保留指数对比花椒提取物初步分析梁平柚麻味物质的组成成分[J]. *食品科学*, 2015, 36(18): 103–107.
- [47] Iwabu J, Watanabe J, Hirakura K, et al. Profiling of the compounds absorbed in human plasma and urine after oral administration of a traditional Japanese (kampo) medicine, daikenchuto [J]. *Drug Metabolism and Disposition*, 2010, 38(11): 2040–2048.
- [48] 陈槐莹, 谢王俊, 李霄洁, 等. 汉源红花椒叶中麻味物质特征的研究[J]. *中国调味品*, 2014, 39(6): 43–47.
- [49] 褚小立, 陆婉珍. 近五年我国近红外光谱分析技术研究与进展[J]. *光谱与光谱分析*, 2014, 34(10): 2595–2605.
- [50] 祝诗平, 王刚. 基于近红外光谱的花椒麻味物质快速检测方法[J]. *红外与毫米波学报*, 2008, 27(2): 79–81.
- [51] 姚玉静, 崔春, 邱礼平, 等. pH-stat 法和甲醛滴定法测定大豆蛋白水解度准确性比较[J]. *食品工业科技*, 2008(9): 268–270.
- [52] 隋伟, 张连富. 酶解虾加工下脚料工艺的研究[J]. *中国调味品*, 2005(12): 54–58.
- [53] 李菲菲, 李孟楼, 崔俊, 等. 花椒麻味素(酰胺类)含量的常规检测[J]. *林业科学*, 2014, 50(2): 121–126.