

花椒麻度分级的改良斯科维尔指数法建立研究

张璐璐, 赵 镭*, 史波林, 汪厚银, 支瑞聪, 杨 静, 解 楠, 李 志
(中国标准化研究院食品与农业标准化研究所, 北京 102200)

摘 要: 针对辣椒辣度的斯科维尔指数 (Scoville heat units, SHU) 法存在对基质影响因素的忽略及检验结果缺乏统计学依据的问题, 通过将单样品评价改为样品液与制备基质对照液的成对比较检验, 以及增加评价小组人数或评价轮次改进实验设计等, 建立了与辣味同为三叉神经感的花椒麻味感觉强度的间接测量方法——改良SHU法。应用新方法对花椒 (*Zanthoxylum bungeanum* Maxim.) 麻度进行测量与分级, 并同时采用紫外分光光度计法对花椒中的酰胺含量进行了测定。结果表明: 麻味感觉强度值与花椒酰胺的物理含量之间具有一定的一致性, 但对某些品种而言, 相近的或者较低的花椒酰胺含量表现出更强的麻感, 较高的酰胺含量却能表现出较低的麻感。说明, 花椒麻味感觉强度不仅与其所含的花椒酰胺总含量相关, 也与花椒酰胺的构成及其结构相关。该方法的建立对花椒麻度相关研究以及应用麻度作为核心指标进行花椒及其制品质量评价与控制具有重要的理论和实践意义。

关键词: 花椒; 麻度; 分级; 斯科维尔指数

A New Scoville Heat Unit (SHU) Method to Grade the Pungency Intensity of Dry *Zanthoxylum bungeanum*

ZHANG Lu-lu, ZHAO Lei*, SHI Bo-lin, WANG Hou-yin, ZHI Rui-cong, YANG Jing, XIE Nan, LI Zhi
(Sub-Institute of Food and Agricultural Standardization, China National Institute of Standardization, Beijing 102200, China)

Abstract: By taking into account existing problems such as the neglect of matrix effect and the lack of statistical basis for the judgments of Scoville heat unit (SHU) method, which is commonly used to determine the pungency degree of hot pepper, an improved SHU method was developed to evaluate the pungency intensity of *Zanthoxylum bungeanum* in this paper. The new SHU method used the paired comparison and increased the number of assessors in sensory panel or evaluation sessions. By applying the new method, the pungency intensity of *Zanthoxylum bungeanum* was evaluated and graded. Meanwhile, the amide content of *Zanthoxylum bungeanum* was determined by using UV spectrophotometry. The results showed that there existed a relative consistency between the pungency intensity of *Zanthoxylum bungeanum* and its amide content. However, some varieties of *Zanthoxylum bungeanum* with similar or lower amide content could have stronger pungency intensity, and the opposite results were observed for those with higher, suggesting that the pungency intensity of *Zanthoxylum bungeanum* is correlated with not only total amide content but also the compositions and structures of amide compounds. The modified SHU method is of great theoretical and practical significance for the research of pungency intensity evaluation and quality control of *Zanthoxylum bungeanum* and the development of its related products.

Key words: *Zanthoxylum bungeanum* Maxim.; pungency intensity; grade; Scoville heat units

中图分类号: TS207.7

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2014) 15-0011-05

doi:10.7506/spkx1002-6630-201415003

花椒 (*Zanthoxylum bungeanum* Maxim.) 是一种香料植物, 也是我国传统的“八大调味品”之一, 辛麻味是其典型的风味特征, 也是其最重要的品质指标。花椒辛麻味与辣椒辣味一同构成我国传统的八大菜系中最具特色和最受欢迎的菜系——川菜的风味特征。国内外研究人员自20世纪初一直未停止对花椒辛麻味的研究, 但这些研究主要集中在两大方面: 一是花椒麻味成

分的提取分离^[1-6]及麻味组分含量的仪器测定方法^[7-10]; 二是麻味的生物学机制^[11-14]。

近年来, 随着川菜的全国性乃至世界性流行以及我国各地区花椒的产业化发展, 辛麻味强度评价与分级方法研究的空白对于花椒原料品种选育、麻味产品加工工艺改良与质量控制、商品流通分级与优质优价以及消费者对适宜麻度级别的食物选择等方面都造成了缺乏客观

收稿日期: 2014-03-25

基金项目: 国家自然科学基金面上项目 (31171695); 质检公益性行业科研专项 (201410006)

作者简介: 张璐璐 (1987—), 女, 工程师, 硕士, 研究方向为感官分析技术。E-mail: onion1002@126.com

*通信作者: 赵镭 (1968—), 女, 副研究员, 博士, 研究方向为感官分析技术与标准化。E-mail: zhaolei@cnis.gov.cn

依据的发展瓶颈。因此,建立一种可以对花椒麻度进行量化分级的方法,并将其应用于以麻味为主要风味特征的产品质量评价与控制之中是对研究人员提出的一个产业共性关键技术需求。

目前,国内外尚未对花椒麻度分级方法的建立展开研究,仅有少数文献曾报道过花椒中个别麻味化合物如 $\alpha(\beta, \gamma)$ -山椒素以及OH- $\alpha(\beta, \gamma)$ -山椒素及其部分花椒制品(花椒油、花椒油树脂及花椒粗提物)的麻味阈值测定结果^[9,15]。相比之下,辣度的研究则较多,而且也有了比较明确的结果和方法。从机制上看,花椒麻感与辣椒辣感十分相似,现已证明两者均为三叉神经感觉,均可通过化学物质如麻味或辣味化合物激活瞬间受体电位离子通道(TRPA1)和热敏离子通道(TRPV1)产生麻感或辣感^[12-13]。因此,建立花椒麻度的测定及分级方法可从借鉴辣椒辣度的评价入手。

对辣感强度(辣度)进行评价的方法主要有斯克维尔指数(Scoville heat units, SHU)法和线性标度法。线性标度法是在直线两端(通常为15 cm)各约1.5 cm的位置上标识注释词,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,再转化成相应的数值进行统计分析^[16]。前期研究表明,应用线性标度法进行中、低区段辣感强度进行直接测定时,结果更准确。而对于高辣度(麻度)的辣椒(花椒)样品,因其辣味(麻)强度过高,无法利用线性标度法进行辣度或麻度的直接测定。而SHU法作为一种基于差别检验的间接测量方法,它主要是通过将辣味提取液按比例稀释,让评价员找出刚刚能觉察出辣味的浓度最低的样品,根据样品的稀释倍数转化成辣度^[17]。该方法操作简便,是辣椒辣度评价的标准方法,但存在评价人数太少(一般5名),检验轮次不够(一轮),检验结论基于经验判断,统计依据不足,以及只评价样品液无法消除样品制备基质对品评影响等方面的问题。

因此,若将SHU辣度评价方法应用于花椒麻度分级评价中,需将现有方法做出适当改良。可通过将原SHU法测定中的单样品评价改为样品液与制备基质对照液的成对比较检验,并增加评价小组人数或评价轮次改进实验设计,使检验结果更具统计学依据。此外,为进一步验证麻味感觉强度与花椒酰胺的物理含量之间是否具有-致性,同时也采用紫外分光光度计法对花椒提取液中的花椒酰胺含量进行测定。

1 材料与方法

1.1 材料、试剂与仪器

花椒麻味羟基山椒素混合物(HPLC法提取,麻味物质组成为OH- α -山椒素63.6%、OH- β -山椒素22.8%、

OH- γ -山椒素7.4%);乙醇(食品级) 河南金润食品添加剂有限公司。

布氏漏斗、抽滤瓶、容量瓶、圆底烧瓶(500 mL) 北京科实玻璃仪器公司;SK250H超声波清洗器 上海科导超声仪器有限公司;SHB-III型循环水式多用真空泵 郑州长城科工贸有限公司;PL2002型精密天平 瑞士梅特勒-托利多仪器(中国)有限公司;Cary 100紫外分光光度计 美国Varian公司。

1.2 方法

1.2.1 花椒麻度的改良斯科维尔指数法测定

1.2.1.1 样品筛选与制备

1) 样品筛选

用于花椒麻度分级方法建立研究的样品应满足两个条件:典型产区及非典型产区的常见品种;尽可能全面的覆盖整个麻感强度区段。

据文献[18]报道,青花椒以麻香为主,麻味为辅,麻味后劲足,主产区主要有四川凉山金阳、重庆江津,而大红袍以麻味为主,香味为辅,麻味纯正,主产区主要有陕西韩城、甘肃武都、四川汉源。据此,本研究筛选出16种代表性花椒样品,见表1。

表1 代表性花椒样品列表
Table 1 List of representative samples of dry *Zanthoxylum bungeanum*

序号	样品名称	样品编号
1	山东莱芜野生花椒	LWY
2	甘肃临夏刺椒	LXC
3	河北涉县野生花椒	SXY
4	云南昆明大红袍	KMH
5	河南林州大红袍	LZH
6	贵州安顺大红袍	ASH
7	四川洪雅青花椒	HYQ
8	四川凉山大红袍	LLH
9	云南昆明青花椒	KMQ
10	重庆江津青花椒	JJQ
11	陕西韩城大红袍	HCH
12	四川汉源大红袍	HYH
13	重庆江津大红袍	JJH
14	甘肃武都大红袍	WWH
15	四川茂县青花椒	MXQ
16	四川凉山金阳青花椒	JYQ
17	花椒麻味羟基山椒素混合物	SSS

2) 花椒提取液的制备

准确称量表1中列出的花椒样品各20 g,分别置于500 mL的圆底烧瓶中,并加入100 mL乙醇,常温、超声浸提20 min,过滤浸提弃去初滤液15~20 mL,收集滤液备用。

1.2.1.2 麻度区段的确定

1) 区段端点样品稀释倍数的确定

分别用移液管准确移取1.2.1.1节制备的16种花椒提取液各1 mL至100 mL容量瓶中,加纯净水定容至

100 mL; 吸取上述稀释液1 mL并加入纯净水定容至100 mL; 重复上述操作, 直至感官分析师可确定出麻感强度最弱及最强的样品及其最大稀释倍数。本研究中确定的区段端点(最弱和最强)样品为山东莱芜野生花椒(LWY)和麻味山椒素化合物(JYQ), 其最大稀释倍数分别为: 8 750、175 000。同时, 采用同样的稀释方法得到花椒麻味羟基山椒素混合物的最大稀释倍数为9 410 000。

2) 麻度区段的设定

据文献[13-14]报道, 花椒麻味与辣椒辣味在某种程度上作用机制类似, 同时根据初步确定的最低与最高麻度样品的最大稀释倍数, 将花椒麻度区段设定为10个, 见表2。

表 2 不同麻度区段对应的取样量										
Table 2 Sample quantities from different pungency sections										
麻味区段	麻味强度: 弱→强									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
称量质量/g	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
首次稀释体积/mL	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
吸取母液量, 水稀释至100 mL	10	5	2.5	1.25	0.625	0.313	0.156	0.078	0.039	0.020
最终稀释倍数	50	100	200	400	800	1 600	3 200	6 400	12 800	25 600

1.2.1.3 样品稀释倍数的确定

1) 样品稀释液制备

首先, 通过直接品尝每个花椒提取液, 初步确定出每个样品所对应的3个连续的麻度区段。然后, 根据表2, 进行相应稀释后备用。

2) 最小样液量的确定

在3个连续的麻味区段样品中, 由感官分析师首先对中间区段样品进行品尝。具体步骤为: 按照表3, 从对应区段所列数据中, 用移液管从小到大移取提取液, 然后移至50 mL容量瓶中用纯净水定容, 进行品评, 直至无法尝出麻味为止。此时体积为最小样液量。当移取此区段的最大体积仍无麻感刺激时, 采用低麻味强度区段重复上述方法; 当移取最小体积仍有麻感刺激时, 则采用高麻度区段重复上述方法, 直至确定出最小样液量为止。

表 3 不同麻度区段的Scoville指数										
Table 3 SHU of different pungency sections										
不同区段移取提取液的体积/mL										稀释倍数
A	B	C	D	E	F	G	H	I	G	
										450 000
								0.80		400 000
								0.91		350 000
								1.10		290 000
								1.18		270 000
						0.64	1.28			250 000
						0.70	1.39			230 000
						0.76	1.52			210 000
						0.84				190 000
						0.94				170 000
						1.00				160 000

不同区段移取提取液的体积/mL										稀释倍数
A	B	C	D	E	F	G	H	I	G	
						0.53	1.07			150 000
						0.57	1.14			140 000
						0.62	1.23			130 000
						0.67				120 000
						0.73				110 000
						0.80				100 000
						0.84				95 000
					0.44	0.89				90 000
					0.47	0.94				85 000
					0.50	1.00				80 000
					0.53					75 000
					0.57					70 000
					0.62					65 000
					0.67					60 000
					0.36	0.71				56 000
					0.38	0.77				52 000
					0.42	0.83				48 000
					0.45					44 000
					0.48					42 000
					0.50					40 000
					0.53					38 000
					0.56					36 000
					0.29	0.59				34 000
					0.31	0.63				32 000
					0.33	0.67				30 000
					0.36					28 000
					0.38					26 000
					0.42					24 000
					0.43					23 000
					0.45					22 000
					0.48					21 000
					0.25	0.50				20 000
					0.26	0.53				19 000
					0.28	0.56				18 000
					0.29					17 000
					0.31					16 000
					0.33					15 000
					0.36					14 000
					0.38					13 000
					0.42	0.42				12 000
					0.45	0.45				11 000
					0.50	0.50				10 000
					0.56					9 000
					0.59					8 500
					0.63					8 000
					0.33	0.67				7 500
					0.36	0.71				7 000
					0.38	0.77				6 500
					0.42					6 000
					0.45					5 500
					0.50					5 000
					0.56					4 500
					0.63					4 000

3) 空白液制备

准确移取与最小样液量等体积的乙醇至50 mL容量瓶内, 加纯净水定容, 备用。

1.2.1.4 改良SHU法测定麻度具体步骤

1) 评价小组建立

剔除对麻味食品有强烈嗜好性及排斥感的评价员,麻味评价小组应满足GB/T 16291.1—2012《感官分析选拔、培训与管理评价员一般导则:优选评价员》^[19]优选评价员基本要求,最终确定出一支由10位优选评价员组成的麻味感官评价小组。

2) 麻味评价方法

根据GB 12310—2012《感官分析方法成对比较检验》^[20]中规定的感官评价——成对比较检验流程,分别对14个样品的最小样液量及空白液进行3个轮次的成对比较检验。

3) SHU的确定

10人评价小组,重复测试3轮,共30个检验统计量。根据二项式分布显著性检验表,进行待测液与空白液在麻度上有无差异的判断。若待测液与空白液在95%置信水平下有显著性差异,则样品的SHU可直接根据表3得出。

1.2.2 花椒酰胺含量的紫外分光光度计法测定^[21]

1.2.2.1 标准曲线的绘制

准确称量一系列花椒麻味混合物,加乙醇将其波长配制一系列质量浓度的麻味物质溶液。在254 nm波长下测其吸光度,以吸光度为纵坐标,对应单体混合物浓度为横坐标,作标准曲线,得到标准曲线方程为 $y=0.0706x$ ($R^2=1$),式中: x 为麻味混合物质量浓度/ $(\mu\text{g/mL})$, y 为254 nm波长的吸光度。

1.2.2.2 待测样品中花椒酰胺含量测定

分别取1.2.1.1节制备的样品1 mL,用乙醇定量到100 mL容量瓶中作为待测样,测定各待测液在254 nm波长的吸光度 y ,同时,根据 $y=0.0706x$ 计算公式以及相应换算关系可知待测花椒样品中的酰胺含量。

2 结果与分析

2.1 花椒样品的麻度级别

表4 SHU的自然对数值与麻度级别的换算关系

Table 4 Conversion of pungency degree to $\ln(\text{SHU})$

稀释倍数 (SHU)	$\ln(\text{SHU})$	麻度级别
<8 000	<9	1级
8 000~13 400	[9, 9.5)	2级
13 400~22 000	[9.5, 10)	3级
22 000~36 000	[10, 10.5)	4级
36 000~60 000	[10.5, 11.0)	5级
60 000~98 000	[11.0, 11.5)	6级
98 000~170 000	[11.5, 12)	7级
170 000~280 000	[12.0, 12.5)	8级
280 000~440 000	[12.5, 13)	9级
$\geq 440 000$	≥ 13	10级

前期研究结果已证实,花椒麻味感觉强度与物理浓度的对数值成正比,符合心理物理学的Fechner定律。吕

跃进等^[22]研究结果也显示人对不同事物在相同属性的差异分辨在精度要求较高时也可分为9级以上。同时,结合17种花椒样品及单体混合物稀释倍数,得到如表4所示的SHU的自然对数($\ln(\text{SHU})$)与麻度级别的换算关系。

利用改良SHU法测得17种花椒及麻味混合物样品的稀释倍数及麻度级别测量结果如表5所示。17种花椒及麻味混合物样品的稀释倍数范围在8 750~9 410 000之间,其中花椒麻味单体混合物(SSS)的SHU最大为9 410 000,麻度级别为10级;其次为四川凉山金阳青花花椒(JYQ)稀释倍数为175 000,麻度级别为8级;山东莱芜野生花椒(LWY)的SHU最小为8 750,麻度级别为2级。对比花椒样品的麻度发现,野生花椒及刺椒的麻度级别较低,在3级以下;青花椒的麻度最高,基本均为5级以上;大红袍由于品质差别或产地差异等因素,在4~7级内均有分布。尽管在样品收集阶段,对花椒样品进行了除杂、干燥、真空密封保存等处理,由于花椒麻度受产地、生长条件、花开程度、品质均一程度、籽粒含量等多种因素影响,可能导致即使同一品种产地的花椒麻度级别也会相差较大,因此,本实验的麻度测量结果仅能代表本次收集样品。

表5 花椒SHU及麻度分级结果

Table 5 SHU and pungency intensity grading of dry *Zanthoxylum bungeanum*

序号	样品	稀释倍数	$\ln(\text{稀释倍数})$	麻度级别
1	LWY	8 750	9.1	2级
2	LXC	17 000	9.7	3级
3	SXY	30 000	10.3	4级
4	KMH	34 000	10.4	4级
5	LZH	38 000	10.5	5级
6	ASH	44 000	10.7	5级
7	HYQ	56 000	10.9	5级
8	LLH	48 000	10.8	5级
9	KMQ	60 000	11.0	6级
10	JJQ	65 000	11.1	6级
11	HCH	75 000	11.2	6级
12	HYH	85 000	11.4	6级
13	JJH	100 000	11.5	7级
14	WWH	120 000	11.7	7级
15	MXQ	170 000	12.0	8级
16	JYQ	175 000	12.1	8级
17	SSS	9 410 000	16.1	10级

2.2 花椒样品中酰胺含量

在254 nm波长测定花椒样品的吸光度,根据标准曲线计算得到经稀释后的待测样中的酰胺含量,根据稀释倍数换算后即可得到各样品中的花椒酰胺总含量,如表6所示。整体来看,除麻味羟基山椒素混合物(SSS)以外,其余样品中的酰胺含量均在2%以下。从品种上来看,大红袍酰胺含量在0.5%~1.96%之间,其中,四川汉源大红袍(HYH)中的酰胺含量最高,为1.92%;青花椒的酰胺含量在0.28%~1.59%之间,除MXQ、KMQ的酰胺含量在0.28%和0.62%,其他3种青花椒酰胺含量

均在1.29%以上。因此,对于同一品质花椒样品,青花椒的酰胺含量总体高于大红袍、野花椒酰胺含量。

表6 花椒酰胺含量测定结果
Table 6 Amide contents of dry *Zanthoxylum bungeanum*

序号	样品编号	花椒酰胺含量/%	麻度等级
1	LWY	0.26	2级
2	LXC	0.43	3级
3	SXY	0.75	4级
4	KMH	0.51	4级
5	LZH	0.50	5级
6	ASH	1.36	5级
7	HYQ	1.40	5级
8	LLH	0.35	5级
9	KMQ	0.62	6级
10	JJQ	1.29	6级
11	HCH	1.14	6级
12	HYH	1.92	6级
13	JJH	1.29	7级
14	WWH	0.74	7级
15	MXQ	0.28	8级
16	JYQ	1.59	8级
17	SSS	100.00	10级

2.3 花椒麻味感觉强度值与花椒酰胺物理含量的一致性
由表6可知,不同花椒样品酰胺含量及其对应的麻度等级。总体来看,花椒中酰胺含量增大,则其麻度级别增大,而酰胺含量较低时,往往会有较低的麻度级别。这表明,麻味感觉强度值与花椒酰胺的物理含量之间具有一定的一致性,但对于某些花椒样品(LLH、KMQ、MXQ; SXY、WWH),较低或相近的花椒酰胺含量表现出较强的麻感,较高的酰胺含量(ASH、HYQ等)却表现出较低的麻感。根据Kenji^[23]、Yoshiki^[2]等报道,含有1个顺式双键和3~4个反式双键的OH- α -山椒素的麻感强度均高于仅含有反式双键的OH- β -山椒素。Sugai等^[15]也曾进一步证实,经羟基化处理后的山椒素麻感强度低于未经羟基化的山椒素。麻度级别呈现较大差异的原因是由于其中虽然含有相同(近)的花椒酰胺含量,但其花椒酰胺构成或结构不同同样会导致麻度感觉强度差别较大。这说明,花椒麻味感觉强度不仅与其所含的花椒酰胺总含量相关,也与花椒酰胺的构成及其结构相关。有关不同花椒花椒酰胺构成及化学结构对麻度影响方面的研究目前正在进行中。

3 结论

本研究针对辣椒辣度SHU法存在对基质影响因素的忽略及检验结果缺乏统计学依据的问题,通过将单样品评价改为样品液与制备基质对照液的成对比较检验,以及增加评价小组人数或评价轮次改进实验设计等,建立了与辣味同为三叉神经感的花椒麻味感觉强度的间接测量方法——改良的SHU法。应用新方法对不同花椒麻味粗体物的麻度进行了测量与分级,得到SHU与10个麻度级别的换算关系,并同时采用紫外分光光度计法对麻味

粗体物中花椒酰胺的含量进行测定。结果表明,麻味感觉强度值与花椒酰胺物理含量之间具有一定的一致性,但酰胺的构成及其结构等也可能对麻度产生较大影响。

该方法的建立对花椒麻度相关研究以及应用麻度作为核心指标进行花椒及其制品质量评价与控制具有重要的理论和实践意义。然而,在探讨麻度等级与花椒酰胺物理含量之间的关系时,发现花椒酰胺含量并非决定麻度级别的唯一因素,推测主要原因是由于酰胺种类及化学结构的差异可能也会导致麻度级别的差异。有关花椒酰胺种类及化学结构对麻度影响的相关研究可见后续报道。

参考文献:

- [1] ICHIRO Y, KOICHI T, HIDEJI I. Distribution of unsaturated aliphatic acid amides in Japanese *Zanthoxylum* species[J]. Phytochemistry, 1982, 21(6): 1295-1298.
- [2] YOSHIKI K, CHIKASHI I, HITOSHI K. Amides of the fruit of *Zanthoxylum* spp.[J]. Phytochemistry, 1997, 44(6): 1125-1127.
- [3] XIONG Q B, SHI D W, YAMAMOTO H, et al. Alkyl-amides from pericaps of *Zanthoxylum bungeanum*[J]. Phytochemistry, 1997, 46(6): 1123-1126.
- [4] 刘雄. 花椒风味物质的提取与分离技术的研究[D]. 重庆: 西南农业大学, 2003: 17-40.
- [5] 张坤. 花椒麻味物质的分离及组成分析[D]. 重庆: 西南大学, 2008: 13-37.
- [6] 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: 31-42.
- [7] 郭静. 花椒麻味物质的分析测定方法和功能作用研究[J]. 中国调味品, 2008, 5(5): 73-76.
- [8] 刘绍华, 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.
- [9] 付陈梅. 花椒麻味物质的检测方法研究[D]. 重庆: 西南农业大学, 2004: 27-40.
- [10] 刘锁兰, 魏璐雪. 药用花椒化学成分的含量测定[J]. 中草药, 1991, 22(1): 16-18.
- [11] ALLAN I B, DIANA M B, GREGORY S, et al. Cellular and molecular mechanisms of pain[J]. Cell, 2009, 139: 267-284.
- [12] RIERA C E, MENOZZI S C, AFFOLTER M, et al. Compounds from Sichuan and Melegueta peppers activate, covalently and non-covalently, TRPA1 and TRPV1 channels[J]. British Journal of Pharmacology, 2009, 157: 1398-1409.
- [13] 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.
- [14] GERHOLD K A, BAUTISTA D M. Molecular and cellular mechanisms of trigeminal chemosensation[J]. Annals of the New York Academy of Sciences, 2009, 7: 184-189.
- [15] 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.
- [16] HARRY T L, HILDEGARDE H. Sensory evaluation of food: principles and practices[M]. 2ed. New York: Springer, 2010: 208-259.
- [17] 湖南农业大学食品科技学院, 辣妹子食品股份有限公司. GB/T 21265—2007 辣椒辣度的感官评价方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 1986.
- [18] 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: 1-26.
- [19] 中国农业科学院质量标准与检测技术研究所, 农业部蔬菜水果质量监督检验测试中心(广州). GB/T 16291.1—2012 感官分析选拔、培训与管理评价员一般导则: 优选评价员[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.
- [20] 中国农业科学院农业质量标准与检测技术研究所, 农业部食品质量监督检验测试中心(济南). GB/T 12310—2012 感官分析方法成对比较检验[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.
- [21] 付陈梅, 阙建全, 刘雄, 等. 紫外分光光度计法测定花椒油中酰胺类物质含量[J]. 中国食品添加剂, 2003(6): 100-102.
- [22] 吕跃进, 张维, 曾雪兰. 指数标度与1~9标度互不相容及其比较研究[J]. 工程数学学报, 2003, 20(8): 77-81.
- [23] KENJI M, YUICHIRO F, OSAMU T, et al. Amides from Huajiao, pericaps of *Zanthoxylum bungeanum* Maxim [J]. Chemical and Pharmaceutical Bulletin, 1988, 36(7): 2362-2365.