

HUAJIAO ZHONG DE FENGWEI WUZH

花椒中的风味物质

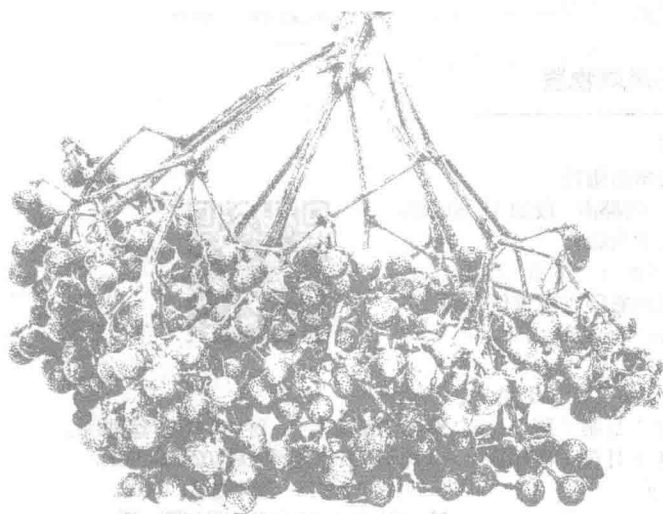
赵志峰 / 著



四川大学出版社

花椒中的风味物质

赵志峰 / 著



四川大学出版社

责任编辑:李思莹
责任校对:龚娇梅
封面设计:墨创文化
责任印制:王 炜

图书在版编目(CIP)数据

花椒中的风味物质 / 赵志峰著. —成都: 四川大学出版社, 2018.10

ISBN 978-7-5690-2520-0

I. ①花… II. ①赵… III. ①花椒—研究
IV. ①S573

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 250169 号

书名 花椒中的风味物质

著 者	赵志峰
出 版	四川大学出版社
地 址	成都市一环路南一段 24 号 (610065)
发 行	四川大学出版社
书 号	ISBN 978-7-5690-2520-0
印 刷	四川五洲彩印有限责任公司
成品尺寸	185 mm×260 mm
印 张	13.25
字 数	339 千字
版 次	2019 年 1 月第 1 版
印 次	2019 年 1 月第 1 次印刷
定 价	60.00 元



版权所有◆侵权必究

- ◆读者邮购本书, 请与本社发行科联系。
电话: (028)85408408/(028)85401670/
(028)85408023 邮政编码: 610065
- ◆本社图书如有印装质量问题, 请
寄回出版社调换。
- ◆网址: <http://press.scu.edu.cn>

序

花椒作为食品中唯一的麻味物质来源，已经成为香辛料中主要的调味物质。但在食品工程领域，还没有一本综合性的书籍用来在设计制作复合调味料自动化生产线时作为工艺指导。由于工程技术人员对风味物质了解不足，设计出的自动化生产线往往很难达到实验室的调味标准。

本书的出现，终于实现了工程技术人员在设计调味料自动化生产线时，对花椒这类麻味香辛料工艺处理的有据可查，并且可以对生产过程中总的工艺参数进行针对性调整，也对自动化生产线设计过程中在线监测关键参数的确定起到指导性作用。对于花椒产品制备新工艺、新方法的研发，可以参考本书对花椒风味物质的详细描述，从而设计出相应的新工艺路线，比如超临界萃取或亚临界萃取等。

作为食品工程领域的资深专家，本人从此书中获益匪浅，特别是在复合调味料整厂工程设计过程中以及花椒产业自动化生产线设计过程中，节约了很多时间，并且提升了生产线效率和产品品质。

感谢赵志峰教授对中国调味料产业所作的贡献。

锦峰工程技术服务（成都）有限公司总经理 刘昊义

2018年10月23日

前言

花椒是传统药、食两用资源，因其具有独特的麻味而被誉为中国“八大味”之一。近年来，川式复合调味品迅猛发展，年增速在 20% 以上，川菜风靡全国，走向世界，而花椒作为一种原料，在川菜调味品行业中发挥了不可或缺的作用。2018 年 5 月 30 日，四川省人民政府办公厅发布了《关于推进花椒产业持续健康发展的意见》（川办发〔2018〕34 号），目标是到 2022 年实现综合产值 300 亿元，将把四川省打造成为全国种植面积最大、研究和开发水平领先、综合效益显著的花椒产业第一省。政府将“鼓励龙头企业技术创新，实施花椒深加工项目，研发花椒新优产品”。本书正是在这样的市场与政策背景下完成的。本书内容不仅包括国内外学者在近年来发表的关于花椒风味物质的研究成果，而且系统地呈现了著者过去十余年对花椒的研究成果，其中部分研究成果是首次公开发表。

本书首先对花椒资源进行了概述，系统地介绍了花椒中风味物质的化学结构、检测方法、呈味机制、生物活性与应用案例，进一步讲述了花椒中麻味物质的提取、分离纯化与鉴定，以及花椒麻味评价方法与保藏特性，最后以案例的形式系统地介绍了冷浸提花椒油制备技术。全书以花椒中的风味物质为核心，覆盖内容广泛，既可作为科研院校本科生与研究生教学、科研的参考书，也可作为企业研发人员的理论指导书。

本书的出版要感谢众多老师和同学的支持和参与，感谢四川大学的高鸿教授、何强教授和钟凯老师，尤其要感谢我的研究生刘福权，他为书中的很多研究工作付出了艰辛的努力。在此，也对本书中所引用的各类资料的作者一并深表谢意。

由于著者水平有限，书中难免有不足之处，恳请读者及同行批评指正。

著者

2018 年 9 月于四川大学

目 录

第一章 花椒资源概述.....	(1)
第一节 花椒的植物学分类.....	(1)
一、花椒的分类原理.....	(1)
二、花椒的分类方法.....	(2)
第二节 花椒的资源分布.....	(6)
一、花椒生长影响因素.....	(6)
二、中国花椒资源分布.....	(7)
三、全球花椒资源分布.....	(7)
第三节 花椒中的化学成分.....	(8)
一、酰胺类物质.....	(8)
二、生物碱.....	(9)
三、黄酮类物质.....	(9)
四、多糖.....	(10)
五、木脂素.....	(11)
六、其他化合物.....	(11)
第二章 花椒中的风味物质概述.....	(15)
第一节 花椒中的麻味物质概述.....	(15)
一、麻味物质的种类与结构特征.....	(15)
二、麻味物质的分析检测方法.....	(22)
三、麻味物质的呈味机制.....	(23)
四、麻味评价方法.....	(25)
五、麻味物质的稳定性.....	(29)
六、麻味物质的应用.....	(30)
第二节 花椒中的香味物质概述.....	(30)
一、香味物质的种类.....	(30)
二、香味物质的分析检测方法.....	(32)
三、香味物质的呈味机制.....	(38)

四、香味评价方法	(40)
五、花椒精油的应用	(47)
第三章 花椒中风味物质的生物活性	(58)
第一节 花椒的抗氧化活性	(58)
一、抗氧化机制	(58)
二、三种花椒抗氧化活性对比研究	(62)
三、花椒叶与果皮抗氧化活性对比研究	(68)
第二节 花椒的抑菌活性	(76)
一、抑菌机制	(76)
二、三种花椒的香味成分与抑菌活性对比研究	(76)
第四章 花椒中麻味物质的提取、分离纯化与鉴定	(89)
第一节 花椒中麻味物质的提取工艺优化	(89)
一、单因素对麻味物质提取工艺的影响	(89)
二、响应面优化实验结果	(92)
三、最佳工艺条件的验证	(95)
四、小结	(95)
第二节 花椒中麻味物质的检测方法	(95)
一、麻味物质检测方法	(96)
二、麻味物质检测结果	(98)
第三节 花椒中麻味物质的对比研究	(106)
一、红花椒油与藤椒油中麻味物质的对比研究	(106)
二、花椒果实与花椒叶中麻味物质的对比研究	(138)
第五章 花椒麻味评价方法与保藏特性	(153)
第一节 花椒麻味评价方法	(153)
一、花椒麻味评价方法的研究现状	(153)
二、Half-tongue 检验与唾液分泌实验在花椒麻味评价中的应用	(155)
第二节 花椒及其制品的保藏特性	(160)
一、干花椒在保藏过程中麻味及麻味物质含量的变化	(160)
二、鲜花椒在保藏过程中麻味及麻味物质含量的变化	(163)
三、花椒油在保藏过程中麻味及麻味物质含量的变化	(166)
四、小结	(168)
第三节 花椒的保鲜与干燥	(168)
一、花椒的保鲜	(168)

二、花椒的干燥·····	(170)
三、青花椒干燥过程中叶绿素的降解·····	(172)
第六章 花椒中风味物质的创新应用	
——冷浸提花椒油制备技术·····	(177)
第一节 冷浸提花椒油的工艺研究·····	(177)
一、浸提理论·····	(177)
二、冷浸提花椒油的工艺优化·····	(179)
第二节 生产冷浸提花椒油的关键工艺设备研究·····	(187)
一、研磨设备的结构及技术原理·····	(187)
二、研磨设备主要参数的计算·····	(190)
三、花椒磨皮机的主要参数·····	(194)
第三节 冷浸提花椒油的品质分析·····	(194)
一、冷浸提花椒油与热浸提花椒油的理化指标对比·····	(195)
二、冷浸提花椒油与热浸提花椒油的香味物质对比·····	(196)
三、冷浸提花椒油与热浸提花椒油的麻味物质对比·····	(198)
四、冷浸提花椒油与热浸提花椒油的提取效率对比·····	(199)
五、小结·····	(201)

第一章 花椒资源概述

第一节 花椒的植物学分类

一、花椒的分类原理

花椒 (*Zanthoxylum bungeanum* Maxim.) 属于双子叶植物纲 (Dicotyledoneae) 芸香科 (Rutaceae) 植物。大多数芸香科植物是芳香植物, 果实或子叶中含有复杂的挥发性芳香化合物^[1]。芸香科植物大都含有生物碱、香豆素、类黄酮、柠檬苦素和挥发油^[2]。花椒属植物是落叶乔木和灌木^[3], 据《中国植物志》记载, 花椒茎干上的刺常早落, 枝有短刺, 小枝上的刺基部宽而扁且劲直的长三角形, 当年生枝被短柔毛。叶有小叶 5~13 片, 叶轴常有甚狭窄的叶翼; 小叶对生, 无柄, 卵形, 椭圆形, 稀披针形, 位于叶轴顶部的较大, 近基部的有时圆形, 长 2~7 cm, 宽 1~3.5 cm, 叶缘有细裂齿, 齿缝有油点。其余无或散生肉眼可见的油点, 叶背基部中脉两侧有丛毛或小叶两面均被柔毛, 中脉在叶面微凹陷, 叶背干后常有红褐色斑纹。花序顶生或生于侧枝之顶, 花序轴及花梗密被短柔毛或无毛; 花被片 6~8 片, 黄绿色, 形状及大小大致相同; 雄花的雄蕊 5 枚或多至 8 枚; 退化雌蕊顶端叉状浅裂; 雌花很少有发育雄蕊, 有心皮 3 个或 2 个, 间有 4 个, 花柱斜向背弯。果紫红色, 单个分果瓣径 4~5 mm, 散生微凸起的油点, 顶端有甚短的芒尖或无; 种子长 3.5~4.5 mm。花期 4—5 月, 果期 8—9 月或 10 月。

为了避免花椒品名混乱这类问题的出现, 对花椒采用科学合理的分类手段是非常必要的。目前对于植物的分类方法主要有形态学标记 (morphological markers) 和分子标记 (molecular markers)^[4]。

形态学标记指的是通过对植物的外部特征特性, 如株高、穗长、粒色、千粒重等性状的详细观察与记录, 采用各种数据系统软件和聚类分析方法处理得出分类结果。这种分类方法简单、直观, 因而在科学技术水平较为落后的时代, 植物种质资源鉴定及育种材料选择通常都采用这种方法。其缺点是形态标记数少、多态性差、易受环境条件影响, 人为通过诱变等方法培育形态标记材料不仅所需周期长, 而且许多形态标记还会对重要的农艺性状产生不利的影响^[5]。

近十几年来, 在人类基因组研究计划 (Human Genome Initiative, HGI) 的推动下, 分子标记的研究与应用得到了迅速发展。分子标记的特点如下: ①直接以 DNA 的

形式表现,在植物体的各个组织、各发育时期均可检测到,不受季节、环境限制,不存在表达与否的问题;②可以使用的标记分子数量极多,遍及整个基因组;③多态性高,自然存在着许多等位变异,不需专门创造特殊的遗传材料;④表现为“中性”,即不影响目标性状的表达,与不良性状无必然的连锁;⑤有许多分子标记表现为共显性,能够鉴别出纯合基因型与杂合基因型,提供完整的遗传信息^[6]。

二、花椒的分类方法

(一) 基于形态学的花椒分类

形态学是早期进行植物分类最主要的方法,就是按照叶片形态、花形态、果形、果皮颜色、果肉颜色等指标进行分类的方法。因为植物的外形是内在基因型的表现,不同的基因型表现出不同的形态特征,并呈现出一定的多态性,因此可以利用形态学特征进行亲缘关系的研究。该方法简单、直观,但周期长,易受环境影响^[7]。王港等人对北方花椒种质资源进行了分类调查,根据形态学分类法得出了花椒种质资源调查记录表(详见表 1-1)^[8]。

(二) 基于分子标记的花椒分类

分子标记是一种以个体间遗传物质内核苷酸序列变异为基础的遗传标记技术,是 DNA 水平遗传多样性的直接反映。分子标记技术主要有三大类,即 RAPD 分子标记法、AFLP 分子标记法和 SSR 分子标记法。

第一类技术是 RAPD 分子标记法。这是一种利用基因组 DNA 为模板,以一个随机的寡核苷酸序列作为引物,再通过 PCR 扩增,产生不连续的 DNA 产物,用以检测 DNA 序列的多态性的方法^[9]。

第二类技术是 AFLP 分子标记法。它是一种检测 DNA 多态性的方法,其基本原理是对基因组酶切片段进行选择性的扩增。首先利用限制性内切酶切割基因组 DNA,形成酶切位点不同、分子量大小不等的随机性酶切片段,然后在其两端接上双链人工接头,形成接头的酶切片段,即 DNA 模板,最后特异性片段经变性、退火和延伸的周期性循环而被扩增,长度不同的扩增片段即多态性片段则可通过变性聚丙烯酰胺凝胶电泳的分子筛作用进行检测^[10-11]。

第三类技术是 SSR 分子标记法(微卫星 DNA),其基本原理是同一类微卫星 DNA 可分布在整个基因组的不同位置上,由于其重复次数不同或重复程度不完全而形成每个座位的多态性。SSR 两端有一段保守的 DNA 序列,通过这段序列可以设计成一段互补序列的寡核苷酸引物,然后对 SSR 进行 PCR 扩增。SSR 多态性仅由简单序列重复次数的差异引起,通常表现为共显性。SSR 扩增产物通常采用高浓度的琼脂糖凝胶或聚丙烯酰胺凝胶电泳检测^[12]。

近年来,经研究证明,人们通过分子标记技术能够准确鉴定出植物的种属^[13]。中国境内的花椒主要被分为两个变种(油叶花椒与毛叶花椒)和两个亚属(花椒亚属和崖椒亚属),共 43 种(详见表 1-2、表 1-3),约占世界花椒种类的 20%^[14]。

表 1—1 花椒种质资源调查记录表

名称	产地	主干 颜色	嫩枝 颜色	刺量	刺型	叶片大小 (mm×mm)	叶色	产量	穗型	穗粒数	果柄长度 (mm)	果粒直径 (mm×mm)	果色	成熟期	品质	栽培规模	抗性
黄盖椒	陕西 韩城	灰色	灰绿色	较少	大	32.3×23.2	较浅	高	紧凑	55.8	2.29	5.64×5.40	黄红	8月下旬— 9月中旬	优	广泛栽培	强
枣丰 一号	陕西 韩城	灰色	灰绿色	刺少,节 间无刺	大	34.1×21.2	较浅	高	紧凑	69.8	2.25	5.87×5.67	黄红	8月下旬— 9月中旬	优	广泛栽培	强
枣丰 二号	陕西 韩城	灰色	灰绿色	少	大	37.4×21.8	较浅	高	紧凑	78.8	2.31	5.57×5.31	黄红	8月下旬— 9月中旬	优	广泛栽培	很强
枣丰 四号	陕西 韩城	较深	褐绿色	多	中	28.4×19.6	较深	高	紧凑	57.8	2.54	5.66×5.47	黄红	8月下旬— 9月中旬	优	较少栽培	强
枣丰 五号	陕西 韩城	灰色	灰绿色	多	中	34.4×21.2	较浅	高	松散	50.5	5.25	5.22×5.04	黄红	8月下旬— 9月中旬	优	较少栽培	强
红葡 萄椒	陕西 韩城	灰色	灰绿色	少	大	35.4×21.3	较浅	高	紧凑	67.5	2.75	5.30×5.224	黄红	8月下旬— 9月中旬	优	广泛栽培	很强
白葡 萄椒	陕西 韩城	浅灰色	灰绿色	少	大	33.2×23.9	较浅	高	紧凑	65.8	2.45	5.32×5.14	淡红	8月下旬— 9月中旬	优	广泛栽培	很强
无刺 葡萄	陕西 韩城	浅灰色	灰绿色	几乎 无刺	大	34.4×21.2	较浅	高	紧凑	70.5	2.25	5.36×5.34	淡红	8月下旬— 9月中旬	优	广泛栽培	很强
大红袍	陕西 韩城	灰褐色	褐绿色	较少	大	28.4×21.2	绿色	高	松散	58.2	4.15	5.20×5.3	鲜红	8月下旬— 9月中旬	优	较少栽培	强
小红袍	陕西 韩城	灰褐色	褐绿色	多	大	27.8×20.6	绿色	中	松散	32.2	4.25	3.04×3.41	暗红	8月下旬— 9月中旬	优	较少栽培	强
小椒	陕西 韩城	灰色	灰绿色	少	大	31.2×19.6	浅绿	中	松散	45.8	5.10	4.58×4.46	黄红	8月下旬— 9月中旬	优	较少栽培	强
枸椒	陕西 韩城	灰色	灰绿色	多	细长	24.4×16.2	浅绿	低	松散	58.2	5.25	1.54×1.80	红色	9月上旬— 9月下旬	差	野生	强
凤椒	陕西 凤县	灰褐色	褐绿色	中	大	38.8×28.6	较深	高	紧凑	61.2	3.15	5.24×5.36	红色	7月上旬— 8月上旬	特优	广泛栽培	差

续表

名称	产地	主干 颜色	嫩枝 颜色	刺量	刺型	叶片大小 (mm×mm)	叶色	产量	穗型	穗粒数	果柄长度 (mm)	果粒直径 (mm×mm)	果色	成熟期	品质	栽培规模	抗性
豆椒	陕西 凤县	灰色	褐绿色	多	基部 大突尖	30.8×18.7	较浅	低	松散	31.2	5.25	3.1×3.38	红色	7月下旬— 8月中旬	中	野生	强
长柄 米椒	陕西 凤县	灰色	褐绿色	多	细长	31.6×18.8	较浅	高	松散	51.2	12.25	3.2×3.18	淡红	7月下旬— 8月中旬	特优	野生	—
八月椒	陕西 凤县	灰色	褐绿色	中	大	32.8×21.7	较浅	高	紧凑	58.2	2.85	5.1×5.26	黄红	9月	差	较少栽培	强
秦安 一号	甘肃 天水	灰褐色	褐色	中	大而 宽扁	34.2×22.4	较深	高	紧凑	66.8	1.45	5.64×5.42	丹红	8月下旬	优	广泛栽培	强
大油椒	甘肃 天水	灰褐色	褐色	中	大	31.3×21.4	较深	高	松散	52.2	5.25	4.84×4.93	红	8月下旬	优	广泛栽培	强
大红椒	甘肃 武都	灰褐色	红绿色	中	大	38.6×29.5	较深	高	紧凑	51.2	1.85	5.36×5.16	红	7月上旬— 8月上旬	特优	广泛栽培	差
梅花椒	甘肃 武都	灰褐色	绿红色	中	大	41.5×29.8	较深	高	紧凑	57.2	1.65	5.38×5.20	鲜红	6月中旬— 7月上旬	特优	广泛栽培	差

表 1-2 花椒亚属

原种/变种	种拉丁名	原种/变种	种拉丁名
刺花椒	<i>Zanthoxylum acanthopodium</i> DC.	异叶花椒	<i>Zanthoxylum ovalifolium</i> Wight
毛刺花椒	<i>Zanthoxylum acanthopodium</i> DC. var. <i>timbor</i> Hook.	多异叶花椒	<i>Zanthoxylum ovalifolium</i> Wight var. <i>multifoliolatum</i> (Huang) Huang
竹叶花椒	<i>Zanthoxylum armatum</i> DC. var. <i>armatum</i>	刺异叶花椒	<i>Zanthoxylum ovalifolium</i> Wight var. <i>spini folium</i> (Rehd. et Wils.) Huang
毛竹叶花椒	<i>Zanthoxylum armatum</i> DC. var. <i>ferrugineum</i> (Rehd. et Wils.) Huang	川陕花椒	<i>Zanthoxylum piasezkii</i> Maxim.
岭南花椒	<i>Zanthoxylum austrosinense</i> Huang	微柔毛花椒	<i>Zanthoxylum pilosulum</i> Rehd. et Wils.
毛叶岭南花椒	<i>Zanthoxylum austrosinense</i> Huang var. <i>pubescens</i> Huang	翼刺花椒	<i>Zanthoxylum pteracanthum</i> Rehd. et Wils.
花椒	<i>Zanthoxylum bungeanum</i> Maxim.	野花椒	<i>Zanthoxylum simulans</i> Hance
油叶花椒	<i>Zanthoxylum bungeanum</i> Maxim. var. <i>punctatum</i> Huang	梗花椒	<i>Zanthoxylum stipitatum</i> Huang
毛叶花椒	<i>Zanthoxylum bungeanum</i> Maxim. var. <i>pubescens</i> Huang	浪叶花椒	<i>Zanthoxylum undulatifolium</i> Hemsl.
墨脱花椒	<i>Zanthoxylum motuoense</i> Huang	屏东花椒	<i>Zanthoxylum wutaiense</i> Chen

表 1-3 崖椒亚属

原种/变种	种拉丁名	原种/变种	种拉丁名
椿叶花椒	<i>Zanthoxylum ailanthoides</i> Sied. et Zucc.	广西花椒	<i>Zanthoxylum kuangsiense</i> (Hand. - Mazz.) Chun ex Huang
毛椿叶花椒	<i>Zanthoxylum ailanthoides</i> Sied. et Zucc. var. <i>pubescens</i> Hatusima	拟砚壳花椒	<i>Zanthoxylum laetum</i> Drake
筋樨花椒	<i>Zanthoxylum avicemae</i> (Lam.) DC.	雷波花椒	<i>Zanthoxylum leiboicum</i> Huang
石山花椒	<i>Zanthoxylum calcicola</i> Huang	荔波花椒	<i>Zanthoxylum liboense</i> Huang
糙叶花椒	<i>Zanthoxylum collinsae</i> Craib	大花花椒	<i>Zanthoxylum macranthum</i> (Hand. - Mazz.) Huang
砚壳花椒	<i>Zanthoxylum dissitum</i> Hemsl.	小花花椒	<i>Zanthoxylum micranthum</i> Hemsl.
长叶砚壳花椒	<i>Zanthoxylum dissitum</i> Hemsl. var. <i>lanci forme</i> Huang	朵花椒	<i>Zanthoxylum molle</i> Rehd.
针边砚壳花椒	<i>Zanthoxylum dissitum</i> Hemsl. var. <i>acutiserratum</i> Huang	多叶花椒	<i>Zanthoxylum multijugum</i> Franch.

续表

原种/变种	种拉丁名	原种/变种	种拉丁名
刺蛄壳花椒	<i>Zanthoxylum dissitum</i> Hemsl. var. <i>hispidum</i> (Reeder et Cheo) Huang	大叶臭花椒	<i>Zanthoxylum myriacanthum</i> Wall. ex Hook. f.
刺壳花椒	<i>Zanthoxylum echinocarpum</i> Hemsl.	毛大叶臭花椒	<i>Zanthoxylum myriacanthum</i> Wall. ex Hook. f. var. <i>pubescens</i> (Huang) Huang
毛刺壳花椒	<i>Zanthoxylum echinocarpum</i> Hemsl. var. <i>tomentosum</i> Huang	两面针	<i>Zanthoxylum nitidum</i> (Roxb.) DC.
贵州花椒	<i>Zanthoxylum esquirolii</i> Levl.	毛叶两面针	<i>Zanthoxylum nitidum</i> (Roxb.) DC. Prodr. var. <i>tomentosum</i> Huang
密果花椒	<i>Zanthoxylum glomeratum</i> Huang	尖叶花椒	<i>Zanthoxylum oxyphyllum</i> Edgew.
兰屿花椒	<i>Zanthoxylum integrifolium</i> (Merr.)	菱叶花椒	<i>Zanthoxylum rhombi foliolatum</i> Huang
云南花椒	<i>Zanthoxylum khasianum</i> Hook. f.	毡毛花椒	<i>Zanthoxylum tomentellum</i> Hook. f.
花椒筋	<i>Zanthoxylum scandens</i> Bl.	西畴花椒	<i>Zanthoxylum xichouense</i> Huang
青花椒	<i>Zanthoxylum schini folium</i> Sieb. et Zucc.	元江花椒	<i>Zanthoxylum yuanjiangense</i> Huang
狭叶花椒	<i>Zanthoxylum stenophyllum</i> Hemsl.		

表 1-1 至表 1-3 所列的是中国传统花椒品种，由于受历史、地理和人为因素的影响，花椒在由野生向栽培驯化的过程中又形成了很多的新品种或新变型。常见的栽培品种在山西、陕西、河北、山东、甘肃等地的有大红袍、小红袍、大花椒、青皮椒、黄沙椒、白沙椒、五月椒、六月椒、八月椒、香椒子等，在贵州、重庆、四川一带的主要有先锋花椒、红玛瑙、顶坛花椒、正路花椒、西路花椒、清溪椒、富林椒、小路椒、枸椒、金阳椒等^[15]。

第二节 花椒的资源分布

一、花椒生长影响因素

影响花椒生长的主要有温度、土壤条件（土壤结构、土壤肥力、酸碱度）、光照、降水、地形等五个因素。花椒为强阳性树种，光照充足时花椒产量高，其生长期一般要求年光照时数不少于 1200 h；花椒虽然对土壤酸碱度、水分的适应范围很广，但是在 pH 值为 7~7.5、湿润的沙壤土中生长效果最好；花椒喜温耐寒，适应性较强，能忍受 40℃ 以上的高温，在背风向阳的地方生长效果比较好^[16-17]。Li 等人对 6 个品种的四川花椒的适宜生长环境进行研究后发现，1 月和 7 月的温度是影响竹叶花椒挥发油含量的

最重要因素,而1月的降水量、温度和湿度与花椒中非挥发性醚提取物的含量显著正相关^[18]。

二、中国花椒资源分布

(一) 中国古代花椒资源分布

现代学者林鸿荣参考了《诗经》《楚辞》等史料,认为花椒在汉魏以前主要分布在中国中西部。但有学者认为就这一问题值得进一步讨论。这些学者对古代文献如《水经注》《本草图经》等进行研究后发现,我国甘肃省南部、四川省、湖北省、陕西省南部等地区固然是野生花椒分布比较集中的地区,但是在广大东部地区,北起黄河以南,南至东南沿海诸岛屿及内陆均有花椒分布^[19]。

《中国植物志》记载,我国花椒的地理分布北起东北南部,南至五岭北坡,东南至江苏、浙江沿海地带,西南至西藏东南部。其中,除东北南部和西藏东南部古代文献没有记载外,其他地区古代本草学家大体都已提及。

曾京京等人经过大量的文献查阅及调研后认为,我国花椒资源的利用最早发生在淮河上游,这是由特定的地理环境造成的^[20]。

(二) 中国现代花椒资源分布

花椒及其相关品种作为传统的植物,被以中国为主的亚洲地区广泛使用^[21]。花椒在我国从南到北,从东到西都有分布,但以西北、华北、西南地区栽培较多。四川汉源主产花椒,重庆江津、四川金阳、辽宁丹东等地区则主产青椒^[22]。除东北、内蒙古等少数地区外,全国大部分地区均有种植^[23]。近年来,已形成了陕西韩城,山东泰安、莱芜,重庆江津,河北涉县,河南林县,云南古律,贵州水城,四川金阳、汉源、茂汶等全国闻名的花椒种植基地^[23],这些地方花椒产业化已初步形成。

三、全球花椒资源分布

花椒属植物遍布世界各地,其主要分布于北美洲、南美洲、非洲、亚洲和澳大利亚的热带和亚热带地区^[25]。

(一) 亚洲花椒资源分布

在亚洲,很多国家先后引种栽培,比如日本、朝鲜、韩国、印度等,其中以日本、韩国研究比较深入,应用比较广泛。另外一些亚洲国家和地区如马来西亚、老挝、尼泊尔、泰国、菲律宾、斯里兰卡、缅甸、马来西亚半岛、爪哇岛等,均有花椒的分布(详见表1-4)^[25-26]。

表 1-4 亚洲部分国家的花椒品种^[33]

国家	种拉丁名	当地俗称
中国、日本、韩国	<i>Zanthoxylum bungeaum</i>	Sichuan pepper, sansho, sancho, chopi
	<i>Zanthoxylum piperitum</i>	
	<i>Zanthoxylum schinofolium</i>	
	<i>Zanthoxylum simulans</i>	
泰国	<i>Zanthoxylum rhetsa</i>	Kamchat ton, luuk ra maat, ma khuang
	<i>Zanthoxylum nitidum</i>	Kamchat nuai, nguu hao
	<i>Zanthoxylum armatum</i>	Makkak
老挝	<i>Zanthoxylum rhetsa or</i> <i>Zanthoxylum limonella</i>	Makhaen (Indian ivy-rue)

在日本，花椒是当地的主要经济树种，主要分布在歌山县、奈良县、岐阜县、兵库县^[28]。栽培面积最大的品种是朝仓花椒，具有高产、优质、精油含量高、无刺等特点。此外，还有葡萄山椒、流锦花椒、朝仓也花椒、冬花椒、稻花椒。花椒繁殖以嫁接为主，一般认为实生苗性状发生分离，有刺，且多为雄株，果实小，果穗松散，产量低^[29]。嫁接一般以稻花椒、冬花椒作为砧木，这两个品种根系深，抗病和抗干旱能力强^[30-31]。

在韩国，花椒一直作为食用和药用植物。韩国林业遗传研究所一直致力于选育果穗多、果粒大、无刺的优良品系。目前已选出 13 个优树，并建立了优树的无性系测定林。其中 4 个无性系表现为无刺，而全部优株的经济性状均优于对照 1.5~2 倍^[8]。

(二) 其他地区花椒资源分布

非洲、大洋洲、美洲、欧洲均有花椒分布。在非洲西部的尼日利亚分布着约 11 类花椒品种^[33]，在南美洲的亚马孙热带雨林和古巴地区生长着一些例如 *Zanthoxylum ekmanii* (Urb.) Alain 的野花椒^[34]，在大洋洲的夏威夷、巴布亚新几内亚、澳大利亚南部等亚热带地区均有花椒的种植，欧洲的部分地区将花椒用于园林绿化或者公园种植^[35]。

第三节 花椒中的化学成分

花椒的不同部位有着不同的化学成分。从 19 世纪 80 年代晚期到现在，研究人员已从花椒中分离鉴定出了 140 多种化学成分^[36]，包括许多次生代谢产物^[37]、酰胺类物质、生物碱、黄酮类物质、多糖、木脂素等化合物^[38]。

一、酰胺类物质

花椒属植物中的酰胺大多为链状不饱和脂肪酸酰胺，其中以山椒素为代表，它们中有些有强烈的刺激性，其他则为连有苯环的酰胺。前者可能是花椒麻味的主要来源^[39]。

麻味随着酰胺分子尾链的增长而增加,在 $n-C_9$ 左右达到顶峰,然后陡然下降,且尾链中顺式双键越多,麻味越大。

不同品种花椒中酰胺类物质的种类和含量是不同的,同种花椒不同部位、生长期,其酰胺类物质的含量也不相同。陈槐萱等人研究汉源产红花椒叶和果皮中麻味物质时发现,每克花椒果皮中酰胺类物质总量为 17.01 mg,每克花椒叶中仅为 0.5795 mg,相差 28 倍,由此证明花椒叶的麻味程度要比花椒果皮弱得多。并且发现羟基- α -山椒素是最主要的成分,其次是羟基- γ -山椒素和羟基- β -山椒素^[40]。Mizutani 等人^[42]和 Sugai 等人^[43]分别从花椒果皮中提取出 6 种不饱和酰胺,研究发现,羟基- α -山椒素和羟基- γ -山椒素分子中含一个顺式和三个或四个反式双键,具有强烈的辛麻味,而羟基- β -山椒素所有双键都是反式双键,没有麻味,且其他反式酰胺也没有麻味。Kashiwada 等人还分离出了一种新成分—— N -异丁基-2,4,8,10,12-十四烷戊烯酰胺^[44]。刘福权等人采用有机溶剂萃取法对花椒中酰胺类物质进行提取,并利用 HPLC 法测定花椒中酰胺类物质的含量,再运用响应面法对其提取工艺进行优化。结果表明,花椒中典型的酰胺类物质的最优提取工艺为温度 43℃,料液比 1:15,时间 4.5 h,此条件下的提取率可以达到 7.68%^[45]。

二、生物碱

生物碱是一类具有复杂的氮杂环结构,并具有碱性和显著生物活性的含氮有机物的总称。大多数生物碱存在于植物皮、茎、花、叶、种子中。植物体内的生物碱存在多种形式,大多数以胺盐形式存在,另一些以含生物碱的其他官能团,如 N -氧化物、酰胺、亚胺、烯胺的形式存在,吡啶生物碱还能形成氮苷或氧苷,仅有少数碱性较弱的生物碱以游离状态存在^[46]。

到目前为止,从花椒属植物中分离出了 8 种生物碱,包括从花椒根分离得到的去甲基白屈菜红碱(des- N -methylchelerythrine)、11-甲氧基白屈菜红碱(11-methoxychelerythrine)、乙酰安诺南碱(L - N -Acetylanonanine)、茵芋碱(skimmianine)^[47],从花椒果皮中分离得到的拟芸香品(haplopin)和香草木宁碱(kokusaginine)^[48]。

三、黄酮类物质

世界上大部分植物中都含有黄酮类物质。从花椒属植物中分离出的黄酮类物质因其抗氧化活性、抗肿瘤活性、抗衰老活性等药理活性而倍受科研人员的关注^[49]。截至 2014 年,已有超过 25 种黄酮类物质从花椒中分离出来(详见表 1-5)。Yang 等人^[50]和 Zhang 等人^[51]提供了大量的数据证明花椒叶中含有丰富的黄酮类物质,具有显著的抗氧化能力。徐怀德等人研究发现,D4020 型树脂对花椒叶总黄酮有较好的吸附和解吸效果,纯化后的花椒叶总黄酮的还原能力显著强于维生素 C^[52]。Jeong 等人研究证明,青花椒中的多酚物质以槲皮素、鼠李糖苷、金丝桃苷等为主,具有抗氧化、保护神经细胞的作用^[53]。