



于忻滢,张国良,范松,等.植物源农药研究进展[J].黑龙江农业科学,2021(7):123-129.

# 植物源农药研究进展

于忻滢<sup>1</sup>,张国良<sup>1,2</sup>,范松<sup>1</sup>,黄志炜<sup>1</sup>,张叶<sup>1</sup>

(1. 淮阴工学院 生命科学与食品工程学院,江苏 淮安 223303;2. 江苏省生物质转化与过程集成工程实验室,江苏 淮安 223303)

**摘要:**真菌病害是植物主要病害之一,传统化学农药的滥用及其对环境造成的影响不符合绿色农业发展的要求。本文重点介绍了生物碱类化合物、黄酮类化合物、萜类化合物等植物源农药常用活性提取物的结构表征,常用的溶剂提取法、超声-微波辅助提取法等提取方式以及活性成分对于病菌菌丝的生长抑制、改变其膜通透性等抑菌机理,并提出了应用中存在的问题,如不同类型化合物的生物功能和生态化学功能尚未被充分研究;如何降低单个化合物的提取成本;如何进行有效化合物的结构优化,最后对未来研究方向进行了展望。

**关键词:**植物源农药;活性成分提取;结构表征;生物活性

在中国,以往由于化学农药的滥用导致 40 种以上的主要农作物的病原微生物和害虫产生抗药性、生态环境恶化、生物多样性水平降低等一系列问题<sup>[1]</sup>,而且传统化学农药往往含有对人畜有害的成分,而以植物体内对病原菌具有拮抗性的化学物质为主要成分的植物源农药,因其具有低毒、低残留、对非靶标生物及环境安全的特点而越来越受到重视<sup>[2]</sup>。据研究,植物源农药的常用化合物有生物碱类化合物、黄酮类化合物、萜类化合物、挥发油等,不同类型的化合物具有不同的骨架结构;根据化合物特性的不同,选择不同方式进行提取;不同的化合物也具有不同的抑菌及提高植物抗氧化力等生理特性<sup>[3-4]</sup>。本文主要综述了植物源农药中常见活性成分的结构表征、提取方式及其抑菌研究进展,为植物源农药的开发提供技术支撑。

## 1 植物源农药常用的活性提取物

### 1.1 生物碱类化合物

目前已发现 21 000 多种生物碱类化合物,多分布在茄科植物的种、果、花、茎等植物部位<sup>[5-6]</sup>。生物碱类化合物大多为环状结构,氮素被包含在碳环内。在抑菌时 C1、C2、C9 和 C10 中的羟基作

为取代基会出现结构取代的情况<sup>[7]</sup>。生物碱常见类型有异喹啉类生物碱、喹啉类生物碱、吲哚类生物碱、哌啶类生物碱等,其中 N-甲基四氢原小檗碱、原小檗碱和二苯甲胺类生物碱的 C2 和 C3 的 4 阶碳和亚甲二氧基在提高 N-甲基四氢、原小檗碱的抗病毒、抗菌和抗真菌活性方面起着重要作用<sup>[8-11]</sup>。当进行生物碱类化合物的结构优化时,可重点优化生物碱的 C2 和 C3 的 4 阶碳和亚甲二氧基,从而提高该类型化合物的抑菌效果。

### 1.2 黄酮类化合物

黄酮类化合物目前已发现 800 余种,属于植物的次生代谢物质<sup>[12]</sup>。黄酮类的化学结构类型较多,一般以 C6-C3-C6 的形式为基础<sup>[13]</sup>。黄酮类化合物是苯并- $\gamma$ -Pyrone 衍生物,当病菌对其进行侵染时,它会根据其侧组位置和换位进行分类;其药理作用主要是根据它的结构类别、羟基化程度、其他取代和共轭以及聚合程度相互协同合作,其中类黄酮在生物系统中保护作用归因于它们传递氢或电子自由基的能力;而芳香环上特殊位置的羟基能够提高抑菌作用<sup>[14-18]</sup>。在进行黄酮类化合物的结构优化时,可先寻找到该物质芳香环的羟基,调整其位置,再查看该羟基在新位置上与它的结构类别、其他取代和共轭以及聚合程度互相协作的效果,从而达到整体提高黄酮类化合物的抑菌效果。

### 1.3 萜类化合物

在天然产物中,萜类化合物是结构最多、结构最大的化合物之一,目前已发现 50 000 多种<sup>[19]</sup>。萜类化合物可根据异戊二烯的原则进行分类,即将不同碳数量及组成结构进行线性排列,形成多

收稿日期:2021-05-11

**基金项目:**国家自然科学基金面上项目(31771736);江苏省苏北科技专项(SZ-YC2019028);江苏省生物质转化与过程集成工程实验室开放课题(496815001);江苏省高校优秀中青年骨干教师境外研修计划项目(2017)。

**第一作者:**于忻滢(1994—),女,在读硕士,从事植物活性物质提取及其功能方面的研究。E-mail:748287032@qq.com。

**通信作者:**张国良(1976—),男,博士,教授,硕导,从事农产品安全与环境等方面的研究。E-mail:hgzgl@126.com。

个异戊二烯单元组成的头尾相连的异戊二烯聚合物,少部分萜类化合物也会以各种含氧衍生物的形式存在<sup>[20-23]</sup>。萜类化合物主要由甲羟戊酸途径生成,但可能来源于 2-C-甲基-D-赤藓糖醇 4-磷酸<sup>[24-26]</sup>,而缺少吡喃环时,则一般被认为没有活性,不具备抑菌作用。在做萜类化合物的结构优化时,可以该物质的吡喃环为切入点进行研究,来提高萜类化合物的抑菌效果。

#### 1.4 挥发油

挥发油又称为植物精油,主要来自芳香植物,是脂溶性的天然化合物<sup>[27]</sup>。植物精油成分复杂,按化学结构分为芳香族、脂肪族和萜类,其中以萜类成分为主,主要包括单萜、倍半萜以及醇类、酚类、醚类、醛、酮、羧酸和酯等含氧衍生物<sup>[28]</sup>。挥发油的活性可能是由于某些小化合物如香芹酮的存在所致<sup>[29]</sup>。挥发油所含成分太多,可推测出抑菌作用主要源于它的组成成分的协同作用,并非一种物质的作用。若做结构优化,太过复杂。

### 2 活性物质提取方式

植物会通过自身的代谢功能合成不同的化学物质以及衍生物,这些物质具有抑菌、抗病、抗氧化等作用<sup>[30-31]</sup>。因此可以根据不同成分的特性选择合适提取方式进行成分提取。

#### 2.1 生物碱类化合物

在提取生物碱时,生物碱的溶解性能是重要的提取方式选择依据,因此根据生物碱不同物质在不同溶剂中的溶解度进行溶剂选择,但是在进行亲水性生物碱的提取时要注意溶剂酸碱度的调节<sup>[32]</sup>。Wei 等<sup>[33]</sup>将白屈菜粉碎后进行工艺为 1:8 的固液比,75% 的乙醇,85% 超声频率提取 35 min 的超声波提取得到白屈菜红碱,当白屈菜红碱浓度为  $1.7 \times 10^{-6} \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$  时,具有最高抑菌活性,且对番茄枯萎病菌 Z0413、黄瓜枯萎病菌 Z0418 等病菌具有使用量越少、抑菌性强的特点。Han 等<sup>[34]</sup>将延胡索粉碎后用正乙烷、乙酸乙酯、氯仿浸提分馏,纯化后得到三种异喹啉生物碱:脱氢木犀草碱、针刺碱和虫草碱,三种碱对小麦叶锈病菌、花椒炭疽病菌均有一定的抑制作用,从而发现 C-13 和季铵盐中甲基的缺失氮原子在抗真菌药物中起着重要作用活动。陈伟等<sup>[35]</sup>依次使用乙酸、氨水、正丁醇和甲醇对马铃薯薯芽与薯皮经行粉碎萃取,不断调节溶剂酸碱度,最后得到马铃薯糖苷生物碱,随着马铃薯糖苷生物碱的浓度增大,对枸杞炭腐病原菌镰孢菌的抑制作用增强,但浓

度不能高于  $0.15 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 。周兵等<sup>[36]</sup>按照醇-酸水-有机溶剂提取(95% 的乙醇回流提取 2 h 后,依次用酸性水溶液和浓氨水进行酸碱处理,最后使用氯仿进行萃取)法对碎米莎草茎进行总生物碱提取,发现随着总生物碱的浓度增加,对水稻稻瘟病菌、油菜菌核病菌、番茄早疫病病菌和杨树溃疡病菌的抑制作用增加;但是对水稻苗高有严重抑制作用。

因此,在提取生物碱时,不光要根据溶剂极性的不同来提取对应的生物碱类化合物,还要在提取过程中不断调节溶剂的酸碱度。不同类型的生物碱对不同的植物病害也有一定的抑制作用,但是总生物碱类化合物并不能用于水稻田的植物源农药成分,会影响水稻幼苗的生长。

#### 2.2 黄酮类化合物

黄酮类化合物提取的关键取决于所提取的黄酮类物质是游离苷元还是苷类化合物,不同的化合物使用的溶剂极性不同,极性越大的溶剂所提取到极性化合物含量会越多,并且不同极性的溶剂混合提取会出现协同作用。

Bartmańska 等<sup>[37]</sup>使用不同极性的溶剂分别从废除的啤酒花残渣中浸提得到 7 种黄酮类化合物,其中 2 种为天然黄酮( $\alpha, \beta$ -二羟基胡萝卜素和 8-丙基柚皮素),提取黄腐醇含量最多的溶剂是甲醇加上二氯甲烷;丙酮、乙酸乙酯、甲醇的粗提物对镰刀菌的抑制所差无几,而亚甲基氯化物则对灰霉病菌有较强的抑制作用。EL-Hefny 等<sup>[38]</sup>使用乙酸乙酯和甲醇分别对大黄的根部进行液液萃取和固液萃取,分馏分离后用蒸馏水配置成主要含有黄酮-3-醇和二苯乙烯药液对田间感染稻瘟病的小麦进行喷施,显著抑制住病菌孢子的萌发。

#### 2.3 萜类化合物

萜类化合物常用的提取方式为压榨法、水蒸气蒸馏法、脂浸润法、超灵界流体萃取法和溶剂提取法。前 4 种方法可用于提取精油,一般萜类提取都是根据提取物质的苷元形式及选择不同极性、不同沸点的溶剂。

Oludemi 等<sup>[39]</sup>将灵芝先进行乙醇回流提取,干燥后按照提取时间为 78.9 min、提取温度为  $90.0^\circ\text{C}$  和溶剂浓度为 62.5% 乙醇进行热萃取,得到提取率为  $(4.9 \pm 0.6)\%$ ,含量为  $(435.6 \pm 21.1) \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$  的三萜。Popov 等<sup>[40]</sup>研究发现高浓度的乙酸乙酯提取白桦醇的纯度比 95% 乙醇所提取的白桦醇纯度高,并且可以在乙酸乙酯提取

完白桦醇之后,使用水蒸馏法将提取残渣中的乙酸乙酯回收,形成绿色萃取。Qun 等<sup>[41]</sup>通过使用蒸馏水,保证  $1:55 \text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$  的固液比,超声波-微波辐照功率 90 W,提取周期 75 s 的工艺对角果进行三萜类化合物提取,得到  $16.789 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ,与预期相符。

## 2.4 挥发油

挥发油最常见的成分就是单萜及倍半萜,因此提取精油时常用水蒸汽法和超临界流体萃取法。Bammou 等<sup>[42]</sup>通过水精蒸馏装置和程序对蚤草属进行水蒸气蒸馏,其精油对尖孢镰刀菌有一定的抗性。Shukla 等<sup>[43]</sup>使用超临界  $\text{CO}_2$  对干姜进行多分离器在线分馏  $\text{CO}_2$  萃取构型的同时回收率为 96.15%。工业生产中的工艺优化及其验证标度单位表明,超临界  $\text{CO}_2$  萃取和同步萃取分馏可用于一系列产品的商业分离天然生物活性化合物,如维生素,必需脂肪酸。Agha 等<sup>[44]</sup>采用二维气相色谱法和简易气相色谱法对天竺葵提取挥发油的化学成分进行检测,挥发油的主要成分是香茅醇、香叶醇和芳樟醇。挥发油也多作用于果蔬保鲜及美妆行业中,所以使用超临界  $\text{CO}_2$  作为萃取剂,这样既价格低廉,又无残留,且还不破坏结构。

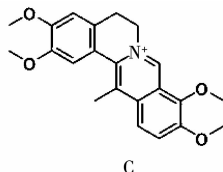
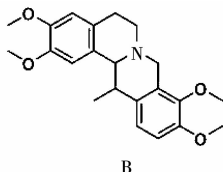
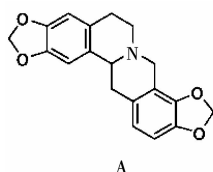


图 3 针刺碱(A)、脱氢木犀草碱(B)和虫草碱(C)的化学结构图<sup>[34]</sup>

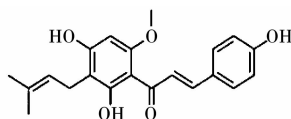


图 4 啤酒花黄酮的化学结构图<sup>[50]</sup>

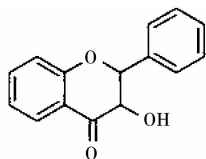


图 5 黄酮-3-醇的化学结构图<sup>[51]</sup>

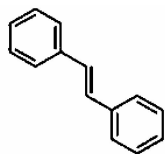


图 6 二苯乙烯的化学结构图<sup>[52]</sup>

在提取各类化合物时,除了根据不同提取物所需选择不同极性大小的溶剂外,可以采用微波辅助提取或超声波辅助提取方式。对比传统的溶剂提取法,通过超声振动或微波震动产生切向力,使溶剂渗入细胞,加速有效成分进入提取溶剂中,从而提高提取率,且不降低提取物的活性<sup>[45-46]</sup>。郭孝武<sup>[47]</sup>分别使用超声波辅助提取法、回流提取法、浸提法对益母草的总生物碱进行提取,发现超声波辅助提取法的提取率较其他两种方法相比要高,且未改变提取物的化学结构。

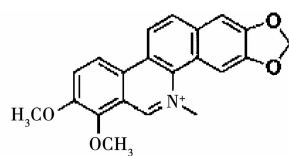


图 1 白屈菜红碱的化学结构图<sup>[48]</sup>

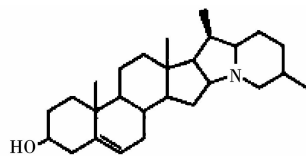


图 2 马铃薯糖苷生物碱的化学结构图<sup>[49]</sup>

## 3 活性物质抑菌机制

### 3.1 生物碱类化合物

生物碱类化合物可以在需要保护的细胞上形成一层保护膜,从而减少其他病菌对细胞的破坏<sup>[53]</sup>。Avci 等<sup>[7]</sup>发现玫瑰美碱和小檗碱由调节子控制的治疗基因上调的功能,并且使细胞膜通透性增大。Zhao 等<sup>[54]</sup>使用异喹啉生物碱对稻瘟病菌进行抑制试验,结果表明菌丝体呈弯曲、崩解,细胞膜完整性受损,同时还抑制菌丝的活性氧生成,破坏了菌丝的膜功能和细胞增殖。

对于病菌抑制,生物碱类化合物可对病菌细胞基因及酶类进行影响,或者对细胞膜、菌丝生长形态造成影响,从而达到抗病的作用。

### 3.2 黄酮类化合物

黄酮类化合物的抗病性可能是非特异性的,

通过黄酮类化合物的抗氧化性,使致病菌因缺氧而失去活性;影响生物膜的形成、膜的通透性等生理特性;影响某些酶对细胞质的抑制<sup>[55-58]</sup>。Rachmawaty 等<sup>[59]</sup>对干燥的可可果进行粉碎后使用 7:3 的丙酮水溶液浸提 3 次,得到黄酮类化合物,发现其对尖孢菌的孢子有强烈的抑制作用。Chen 等<sup>[60]</sup>研究发现黄芩素在 32 和 64  $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$  时对病菌具有下调群体感应系统调节因子及基因细胞间粘附素在生物膜中的表达生产细胞的能力。

### 3.3 萜类化合物

萜类化合物对真菌的抑菌影响主要在于对于真菌菌丝的生长抑制,使其尖端膨胀、分支形成孢子梗或是在使菌丝断裂,对细胞造成破坏以及对真菌细胞蛋白的下调<sup>[61-62]</sup>。杨婷等<sup>[63]</sup>在 13 种萜类中筛选香芹酚、丁香酚、异丁香酚、枯茗醛、百里香酚对孢炭疽菌的最佳抑制浓度为 50  $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 。Alexa 等<sup>[64]</sup>对丹参和百里香分别进行萃取,得到  $\gamma$ -松油烯和 p-百里香酚,混合后对禾谷镰刀菌有

一定的抑制协同作用。丁兰等<sup>[65]</sup>从香茶菜属中分离出 4 中萜类物质(*leukamenin E*、*weisiensin B* 熊果酸和 2- $\alpha$ -羟基熊果酸),对蝴蝶兰茎腐病中分离出的镰孢属真菌进行抑制,发现该真菌的菌丝短膨大成为囊泡,开始出现断裂,逐渐变为空泡;菌丝体细胞膜结构被严重破坏,且大大地改变了其通透性。

### 3.4 挥发油

挥发油是通过精油及其组分对细胞膜造成破坏,增大膜的通透性,致使细胞内的物质泄漏,或直接破坏病菌的酶系统,致其死亡<sup>[66-68]</sup>。Moghaddam 等<sup>[69]</sup>发现从山羊草的种子中提取精油对青枯病菌有较强的抑制力,能够显著抑制菌丝的生长。Yu 等<sup>[70]</sup>从茶树中提取精油对灰霉病菌进行抑制,研究发现精油中的  $\alpha$ -松油醇,1,8-桉叶素混合后能穿透病菌细胞,破坏细胞细胞器而不影响细胞膜透性。相比之下,松油烯破坏了膜的完整性,增加了膜的通透性,导致离子渗漏和膜功能障碍。

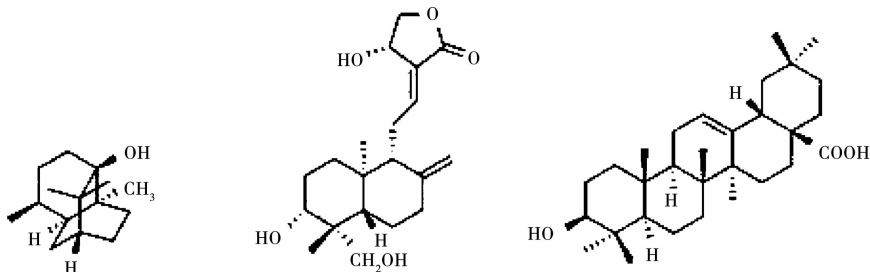


图 7 具有抗菌性的常见萜类结构

注:从左至右依次为广藿香醇、穿心莲内酯、齐墩果酸<sup>[71]</sup>。

## 4 展望

目前各学者对各类型化合物已经有一定的研究,但不同类型化合物的生物功能和生态化学功能尚未被充分研究,例如化合物在植物体内代谢过程,所具有的功能,以及在生态环境中的存在形式与归宿途径等。

在提取工艺中,不仅要考虑如何优化可以增加物质得率或提取出其他物质类型,还要考虑优化单个化合物的提取成本在商业生产的经济性,如何能适用于工厂批量化生产。例如将许多高质量的有价值的化合物可以被回收在一个单一的步骤中,从某种低廉的植物中得到大量高质量的化合物等。

对于植物源农药,所需化合物的活性筛选仍

然是新药开发的关键步骤。具有较高活性的化合物可以直接开发为新药。化合物的结构对于是否具有抑菌能力有着重要影响,因此可以将“组学”技术与分子网络药理学相结合,在原物质结构的基础上进行结构修饰,合成具有高效抑菌能力的新物质。

### 参考文献:

- [1] 欧晓明,司乃国,陈杰. 中国农药研究与应用全书. 农药科学合理使用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2019.
- [2] HUANG S, RUI W, PENG X, et al. Organic carbon fractions affected by long-term fertilization in a subtropical paddy soil [J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2010, 86(1): 153-160.
- [3] ORZECOWSKI A, OSTASZEWSKI P, JANK M, et al. Bioactive substances of plant origin in food-impact on genomics[J]. Reproduction Nutrition Development (EDP Sci-

- ences), 2002, 42(5): 461-477.
- [4] MORE G K, TSHIKALANGE T E, LALL N, et al. Antimicrobial activity of medicinal plants against oral microorganisms[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2007, 73 (2): 473-477.
  - [5] WINK M. Alkaloids: Properties and determination[J]. Research Gate, 2015, 81: 97-105.
  - [6] KUMAR P, SHARMA B, BAKSHI N. Biological activity of alkaloids from *Solanum dulcamara* L. [J]. Natural Product Research, 2009, 23(8): 719-723.
  - [7] AVCI F G, SAYAR N A, AKBULUT B S. An OMIC approach to elaborate the antibacterial mechanisms of different alkaloids[J]. Phytochemistry, 2018, 149: 123-131.
  - [8] HOSTALKOVA A, MARIKOVA J, OPLETAL L, et al. Isoquinoline alkaloids from *Berberis vulgaris* as potential lead compounds for the treatment of Alzheimer's disease[J]. Journal of Natural Products, 2019, 82(2): 239-248.
  - [9] FRALEY A E, GARCIA-BORRÁS M, TRIPATHI A, et al. Function and structure of MalA/MalA', iterative halogenases for late-stage C-H functionalization of indole alkaloids[J]. Journal of the American Chemical Society, 2017, 139(34): 12060-12068.
  - [10] CHEN Q B, GAO J, ZOU G A, et al. Piperidine alkaloids with diverse skeletons from *Anacyclus pyrethrum* [J]. Journal of Natural Products, 2018, 81(6): 1474-1482.
  - [11] QING Z X, YANG P, TANG Q, et al. Isoquinoline alkaloids and their antiviral, antibacterial, and antifungal activities and structure-activity relationship[J]. Current Organic Chemistry, 2017, 21(18): 1920-1934.
  - [12] WANG T Y, LI Q, BI K S. Bioactive flavonoids in medicinal plants: Structure, activity and biological fate[J]. Asian Journal of Pharmaceutical Sciences, 2018, 13(1): 12-23.
  - [13] LI J, TIAN R, LIANG G, et al. Interaction mechanism of flavonoids with whey protein isolate: A spectrofluorometric and theoretical investigation[J]. Food Chemistry, 2021, 355: 129617.
  - [14] AMIC D, DAVIDOVIC-AMIC D, BESLO D, et al. Structural-radical scavenging activity relationships of flavonoids[J]. Croatia Chemica Acta, 2003, 76: 55-61.
  - [15] SOOBRATTEE M A, NEERGHEEN V S, LUXIMONRAMMA A, et al. Phenolics as potential antioxidant therapeutic agents: Mechanism and actions[J]. Mutation Research-Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis, 2005, 579(1-2): 200-213.
  - [16] HANASAKI Y, OGAWA S, Fukui S. The correlation between active oxygens scavenging and antioxidative effects of flavonoids[J]. Free Radical Biology & Medicine, 1994, 16(6): 845-850.
  - [17] NAZIRA S M, UDDIN A Q, ZAITON M, et al. Antioxidant and antidiabetic effects of flavonoids: A structure-activity relationship based study[J/OL]. BioMed Research International, 2017, 28: 1-14 [2021-05-01]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29318154/>. DOI: 10.1155/2017/8386065.
  - [18] ADAMCZAK A, ÓZAROWSKI M, KARPIŃSKI T M. Antibacterial activity of some flavonoids and organic acids widely distributed in plants[J]. Journal of Clinical Medicine, 2020, 9(1): 109.
  - [19] SUN, L C, LI S Y, WANG F Z, et al. Research progresses in the synthetic biology of terpenoids[J]. Biotechnology Bulletin, 2017, 33(1): 64-75.
  - [20] ZWENGER S, BASU C. Plant terpenoids: Applications and future potentials[J]. Microbiology and Molecular Biology Reviews, 2008, 3: 17.
  - [21] CONNOLLY J D, HILL R A. Dictionary of terpenoids[M]. London: Chapman and Hall, 1991.
  - [22] CROTEAU R, KUTCHAN T M, LEWIS N G. Natural products (secondary metabolites) [J]. Biochemistry and Molecular Biology of Plants, 2000, 24: 1250-1319.
  - [23] LIAO P, HEMMERLIN A, BACH T J, et al. The potential of the mevalonate pathway for enhanced isoprenoid production [J]. Biotechnology Advances, 2016, 34 (5): 697-713.
  - [24] CHENG A X, LOU Y G, MAO Y B, et al. Plant terpenoids: biosynthesis and ecological functions[J]. Journal of Integrative Plant Biology, 2007, 49(2): 179-186.
  - [25] MAFFEI M E, GERTSCH J, APPENDINO G. Plant volatiles: Production, function and pharmacology [J]. Natural Product Reports, 2011, 28(8): 1359-1380.
  - [26] 王昊. 降香化学成分及生物活性研究[D]. 青岛: 青岛科技大学, 2014.
  - [27] BAKKALI F, AVERBECK S, AVERBECK D, et al. Biological effects of essential oils-A review [J]. Food and Chemical Toxicology, 2008, 46(2): 446-475.
  - [28] 刘旺景, 敖长金, 萨茹丽, 等. 植物提取物抑菌活性及作用机理[J]. 动物营养学报, 2016, 28(8): 2344-2352.
  - [29] SAYOUT A, OUARHACH A, RABIE R, et al. Evaluation of antibacterial activity of *Lavandulapedunculata* subsp. *atlantica* (Braun + Blang.) Romo essential oil and selected terpenoids against resistant bacteria strains-structure-activity relationships [J]. Chemistry & Biodiversity, 2020, 17(1): e1900496.
  - [30] NIAN S Z, Peng J I, YAN M W, et al. Research progress in the determination, extraction process and biological activity of alkaloids from *Sophora moorcroftiana* [J]. Natural Product Research And Development, 2020, 32(9): 1614.
  - [31] SANHUEZA L, MELO R, MONTERO R, et al. Synergistic interactions between phenolic compounds identified in grape pomace extract with antibiotics of different classes against *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli* [J].

- PloS One, 2017, 12(2): e0172273.
- [32] 肖崇厚, 杨松松, 洪筱坤. 中药化学[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1997: 84-85.
- [33] WEI Q, ZHAO M, LI X. Extraction of chelerythrine and its effects on pathogenic fungus spore germination[J]. Pharmacognosy Magazine, 2017, 13(52): 600-606.
- [34] HAN J W, SHIM S H, JANG K S, et al. *In vivo* disease control efficacy of isoquinoline alkaloids isolated from *Corydalis ternata* against wheat leaf rust and pepper anthracnose[J]. Journal of Microbiology and Biotechnology, 2018, 28(2): 262-266.
- [35] 陈伟, 何静, 王斌, 等. 马铃薯糖苷生物碱对枸杞镰孢菌果腐病的诱导抗性及相关防御酶活性的影响[J]. 植物保护学报, 2018, 45(5): 1129-1136.
- [36] 周兵, 曾建国, 闫小红, 等. 碎米莎草茎总生物碱对植物和病原菌的生物活性[J]. 热带亚热带植物学报, 2010, 18(3): 304-309.
- [37] BARTMAŃSKA A, EWA W Z, TRONINA T, et al. Antimicrobial properties of spent hops extracts, flavonoids isolated therefrom, and their derivatives[J]. Molecules, 2018, 23(8): 2059.
- [38] EL-HEFNY M, SALEM M Z M, BEHIRY S I, et al. The potential antibacterial and antifungal activities of wood treated with *Withania somnifera* fruit extract, and the phenolic, caffeine, and flavonoid composition of the extract according to HPLC[J]. Processes, 2020, 8(1): 113.
- [39] OLUDEMI T, BARROS L, PRIETO M A, et al. Extraction of triterpenoids and phenolic compounds from *Ganoderma lucidum*: optimization study using the response surface methodology [J]. Food & Function, 2018, 9(1): 209-226.
- [40] POPOV S A, SHERMET O P, KORNAUKHPVA L M, et al. An approach to effective green extraction of triterpenoids from outer birch bark using ethyl acetate with extractant recycle[J]. Industrial Crops and Products, 2017, 102: 122-132.
- [41] QUN Y, CHUAN L, ZHEN H D, et al. Ultrasonic microwave-assisted extraction of polyphenols, flavonoids, triterpenoids, and vitamin C from *Clinacanthus nutans* [J]. Czech Journal of Food Sciences, 2017, 35(1): 89-94.
- [42] BAMMOU M, BOUHLALI E D T, SELLAM K, et al. Investigation on chemical composition, antioxidant and antimicrobial potential of *Pulicaria mauritanica* essential oil applied by direct addition or vapor contact[J]. American Journal of Essential Oils and Natural Products, 2019, 7(1): 7-13.
- [43] SHUKLA A, NAIK S N, GOUD V V, et al. Supercritical CO<sub>2</sub> extraction and online fractionation of dry ginger for production of high-quality volatile oil and gingerols enriched oleoresin[J]. Industrial Crops and Products, 2019, 130: 352-362.
- [44] AGHA M I H, BADAWE B. Contribution study to the chemical composition of the volatile oil in pelargonium graveolens, an aromatic plant widely spread in damascus-syria[J]. European Journal of Pharmaceutical and Medical Research, 2019, 6(5): 66-70.
- [45] BOZHADZE A D, VACHNADZE V I, DZHOKHADZE M S, et al. Study on the separation process of pharmacological active total alkaloids from *Chelidonium majus* L[J]. Georgian Med News, 2013, 217: 61-65.
- [46] 胥立峰, 李丹花, 葛水莲, 等. 大孔吸附树脂分离纯化白屈菜总生物碱的研究[J]. 湖北农业科学, 2016(8): 188-191.
- [47] 郭孝武. 超声对益母草茎内组织损伤与总碱产率关系研究[J]. 陕西师范大学学报(自然科学版), 2004, 32(4): 56-58.
- [48] BAEK S C, RYU H W, KANG M G, et al. Selective inhibition of monoamine oxidase A by chelerythrine, an isoquinoline alkaloid[J]. Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters, 2018, 28(14): 2403-2407.
- [49] LIANG K H, LU L G, ZHU D Z, et al. Research progress of potato glycoside alkaloids[J]. Food Research and Development, 2017, 38(21): 195-199.
- [50] JIANG C H, SUN T L, XIANG D X, et al. Anticancer activity and mechanism of xanthohumol: a prenylated flavonoid from hops (*Humulus lupulus* L.) [J]. Frontiers in Pharmacology, 2018, 9: 530.
- [51] EVANS O M. Isolation and structural elucidation of flavonoids from the root bark of *Uvaria acuminata* [J]. Nairobi: Bachelor of Science University of Nairobi, 2003.
- [52] VILLARÓN D, WEZENBERG S J. Stiff-Stilbene photo-switches: from fundamental studies to emergent applications [J]. Angewandte Chemie, 2020, 132(32): 13292-13302.
- [53] JAIN A, PARIHAR D K. Antibacterial, biofilm dispersal and antibiofilm potential of alkaloids and flavonoids of *Curcuma* [J]. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 2018, 16: 677-682.
- [54] ZHAO Z, SHANG X, LAWOR R K, et al. Anti-phytopathogenic activity and the possible mechanisms of action of isoquinoline alkaloid sanguinarine [J]. Pesticide Biochemistry and Physiology, 2019, 159: 51-58.
- [55] BARBIERI R, COPPO E, MARCHESE A, et al. Phytochemicals for human disease: An update on plant-derived compounds antibacterial activity [J]. Microbiological Research, 2017, 196: 44-68.
- [56] KHAMENEH B, IRANSHAHY M, SOHEILI V, et al. Review on plant antimicrobials: A mechanistic viewpoint [J]. Antimicrobial Resistance & Infection Control, 2019, 8(1): 1-28.
- [57] XIE Y, YANG W, TANG F, et al. Antibacterial activities

- of flavonoids: Structure-activity relationship and mechanism[J]. *Current Medicinal Chemistry*, 2015, 22 (1): 132-149.
- [58] GORNIAK I, BARTOSZEWSKI R, KROLICZEWSKI J. Comprehensive review of antimicrobial activities of plant flavonoids[J]. *Phytochemistry Reviews*, 2019, 18 (1): 241-272.
- [59] RACHMAWATY, MU'NISA A, HIOLA S F, et al. The effectiveness of the formulation of cocoa pod husk (*Theobroma cacao* L.) based botanical fungicides on *Fusarium* wilt disease on tomato plants[J]. *Journal of Physics Conference Series*, 2019, 1244: 012036.
- [60] CHEN Y, LIU T, WANG K, et al. Baicalein inhibits *Staphylococcus aureus* biofilm formation and the quorum sensing system *in vitro* [J]. *PLoS One*, 2016, 11(4): e0153468.
- [61] 金卫华, 曹军卫, 涂毅, 等. 巴山榿树内生真菌产生的二萜类物质的鉴别及对 Hela 细胞的抑制作用[J]. *中国医院药学杂志*, 2018, 38(18): 1898-1901.
- [62] 李兆亨, 陈文学, 韩迎洁, 等. 胡椒单萜类化合物对单增李斯特菌抑菌机理的研究[J]. *食品工业科技*, 2018, 39(23): 154-158.
- [63] 杨婷, 史红安, 李聪丽, 等. 13 种萜类化合物对胶孢炭疽菌和链格孢的抑制活性[J]. *植物保护*, 2017, 43 (2): 192-195.
- [64] ALEXA E, SUMALAN R M, DANCIU C, et al. Synergistic antifungal, allelopathic and anti-proliferative potential of *Salvia officinalis* L. and *Thymus vulgaris* L. essential oils[J]. *Molecules*, 2018, 23(1): 185.
- [65] 丁兰, 何苗, 王保强, 等. 4 种萜类化合物对蝴蝶兰茎腐病菌的抑制作用及机理的初步研究[J]. *植物保护*, 2014, 40(3): 42-47, 57.
- [66] MOREIRA M R, PONCE A G, DEL V, et al. Inhibitory parameters of essential oils to reduce a food borne pathogen[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2005, 38(5): 565-570.
- [67] CARSON C F, MEE B J, RILEY T V. Mechanism of action of *Melaleuca alternifolia* (tea tree) oil on *Staphylococcus aureus* determined by time-kill, lysis, leakage, and salt tolerance assays and electron microscopy[J]. *Antimicrob Agents Chemother*, 2002, 46(6): 1914-1920.
- [68] LAMBERT R J, SKANDAMIS P N, COOTE P J, et al. A study of the minimum inhibitory concentration and mode of action of oregano essential oil, thymol and carvacrol[J]. *Journal of Applied Microbiology*, 2001, 91(3): 453-462.
- [69] MOGHADDAM M, MEHDIZADEH L, MIRZAEI N H, et al. Chemical composition, antibacterial and antifungal activities of seed essential oil of *Ferulago angulata* [J]. *International Journal of Food Properties*, 2018, 21 (1): 158-170.
- [70] YU D, WANG J, SHAO X, et al. Antifungal modes of action of tea tree oil and its two characteristic components against *Botrytis cinerea* [J]. *Journal of Applied Microbiology*, 2015, 119(5): 1253-1262.
- [71] YANG W, CHEN X, Li Y, et al. Advances in pharmacological activities of terpenoids[J]. *Natural Product Communications*, 2020, 15: 1-13.

## Research Progress of Botanical Pesticides

YU Xin-ying<sup>1</sup>, ZHANG Guo-liang<sup>1,2</sup>, FAN Song<sup>1</sup>, HUANG Zhi-wei<sup>1</sup>, ZHANG Ye<sup>1</sup>

(1. School of Life Sciences and Food Engineering, Huaiyin Institute of Technology, Huai'an 223303, China;  
2. Biomass Conversion and Process Integration Engineering Laboratory of Jiangsu Province, Huai'an 223303, China)

**Abstract:** Fungal disease is one of the main plant diseases. The abuse of traditional chemical pesticides and its impact on the environment do not meet the requirements of green agriculture development. This article focused on the structural characterization of the commonly used active extracts of plant-derived pesticides such as alkaloids, flavonoids, and terpenoids, the common solvent extraction methods, ultrasonic-microwave assisted extraction methods and other extraction methods as well as the active ingredients on the mycelium of pathogenic bacteria. The growth inhibition, changing its membrane permeability and other antibacterial mechanisms, and proposed problems in application, such as the biological function and ecological chemical function of different types of compounds had not been fully studied; and how to reduce the extraction cost of a single compound; and how to make it effective. The structure of the compound was optimized, and the future research direction was finally prospected.

**Keywords:** plant-derived pesticides; extraction of active ingredients; structural characterization; biological activity