

DOI:10.13718/j.cnki.zwyx.2024.01.001

基于中医农业理论创制新型生物农药的实践探索

田向荣^{1,2}, 陈劲宇², 阮班录^{1,3}, 黄丽丽^{1,4}

- 西北农林科技大学 作物抗逆与高效生产全国重点实验室, 陕西 杨凌 712100;
- 西北农林科技大学 林学院, 陕西 杨凌 712100;
- 咸阳职业技术学院, 陕西 咸阳 712000;
- 西北农林科技大学 植物保护学院, 陕西 杨凌 712100

摘要: 中医农业是利用中医药基本理论和方法解决现代农业生产过程中遇到的诸多实际问题, 是实现生态农业与有机农业的重要途径。本文分析了4个中医农业探索案例, 首先论述了从“清热解毒”类传统中药复方及其单味药材中挖掘苦参碱、小檗碱和大黄素甲醚等植物源农药, 提出了传统“清热解毒”类中药复方及其单味中药是新型植物源农药创制的重要来源; 接着对中药天仙子中挖掘具有新颖结构的天仙子新碱以创制新型植物免疫诱抗剂和植物生长调节剂进行了阐述, 从药效物质基础的角度对铁线莲属植物发挥“整体”药效以挖掘新颖结构农用活性分子的潜力进行了归纳; 最后对猕猴桃溃疡病防治技术中的“治未病”策略、“两前两后”关键防控技术以及复方生物菌剂创制进行了阐述。以上中医农业实践探索为更好地利用中医药理论和资源创制新型生物农药提供了思路和借鉴。

关键词: 中医农业; 生物农药; 清热解毒;

整体药效; 治未病

中图分类号: S43

文献标志码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



文章编号: 2097-1354(2024)01-0001-07

Practical Exploration on Development of New Biopesticides Based on The Theory of Traditional Chinese Medicine Agriculture

TIAN Xiangrong^{1,2}, CHEN Jinyu²,
RUAN Banlu^{1,3}, HUANG Lili^{1,4}

收稿日期: 2023-12-02

基金项目: 咸阳市秦创原科技创新专项(2021ZDZX-NY-0001, L2022QCYZXNY001); 2022—2023年咸阳中医农业科技特派员计划支持。

作者简介: 田向荣, 教授, 主要从事植物资源化学利用与新型生物农药研发。

通信作者: 黄丽丽, 教授。

1. State Key Laboratory for Crop Stress Resistance and High-Efficiency Production, Northwest A & F University, Yangling Shaanxi 712100, China;
2. College of Forestry, Northwest A & F University, Yangling Shaanxi 712100, China;
3. Xianyang Vocational and Technical College, Xianyang Shaanxi 712000, China;
4. College of Plant Protection, Northwest A & F University, Yangling Shaanxi 712100, China

Abstract: Traditional Chinese medicine (TCM) agriculture is the use of basic theories and methods of traditional Chinese medicines to solve many practical problems encountered in modern agriculture. It is an important strategy to achieve ecological and organic agriculture. This paper analyzes 4 cases of TCM agriculture practices. Firstly, the case of exploring botanical pesticides including matrine, berberine, and physcion from heat-clearing and detoxicating TCM formulas and their single herbs was analyzed, and proposed that these TCM formulas and their single herbs were important sources to develop botanical pesticides. Then, the exploration of new nigerolate from *Hyoscyamus niger* to develop novel plant elicitor and growth regulator was described. We summarized the overall efficacy of Clematis plants and its potential on exploration of the novel agroactive molecules based on the view of therapeutic material basis. Finally, this paper concluded the strategy of preventive treatment of disease, key technique of Liangqian Lianghou, and development of compound microbial agents for control of kiwifruit bacterial cancer. The above TCM agriculture practices provided ideas and references for better utilizing TCM medicine theories and resources to develop new biopesticides.

Key words: traditional Chinese medicine agriculture; biopesticides; heat-clearing and detoxicating; overall efficacy; preventive treatment of disease

自古以来, 农业随着自然界、社会、以及人类思想的发展一直在向高质量发展的未来迈进。在经济、社会与科技的不断变革下, 农业作为人类生存和发展的基础, 正面临着新的机遇、挑战、瓶颈和变革。中医农业是于2016年创立发展的新理念, 是在中共中央、国务院印发了《“健康中国2030”规划纲要》的时代背景下提出的。中医农业作为一种新型的农业模式, 它是将中医药理论和技术方法引入农业领域的创新实践, 以中医理论为引导, 借助中医药的方法和技术, 结合现代农业设施和管理, 实现中医药理论与农业实践活动的跨界融合。这一新型农业模式将现代试验科学方法与实际生产相结合, 旨在实现生态平衡、提高农作物产量和品质, 以期实现生态、高产和优质的农业生产目标。这种农业模式融合了有机农业和化学农业的特点, 具有鲜明的中国文化特色, 是一种健康高效的新型农业模式^[1]。

中医农业的发展理念, 是对中华民族农耕文化和中医文化的融合传承和创新发展, 符合人们对生态农业建设的根本需求。尽管中医农业在生态农业建设方面具有明显的优势和广阔的发展空间, 然而, 无论是在理论研究领域还是在实践应用领域都表现出明显的不足与滞后, 特别是在推动中医生态农业发展方面, 还存在战略、理念、技术、产品和产业等困境。本文从基于“清热解毒”类中药复方制剂及其单味中药创制新型植物源农药, 天仙子中挖掘新型植物免疫诱抗活性分子天仙子新碱, 基于“整体”药效理论挖掘铁线莲属植物农用活性分子, 猕猴桃溃疡病复配生防菌剂创制等4个实践探索案例, 对基于中医农业理论创制新型生物农药进行了阐述, 以期对生物农药的创制与农作物绿色生产提供新的思路和经验借鉴。

1 基于“清热解毒”中药与复方的植物源农药创制

“清热解毒”在医学领域是适用于瘟疫、温毒及多种热毒病证或疮疡疔毒的治法。常见的临

床表现为口燥咽干、便秘尿黄、吐衄发斑、红肿热痛、舌红苔黄、脉数有力等,常用中药有黄连、黄芩、黄柏、石膏、连翘、板蓝根、蒲公英等。“清热解毒”类中药复方制剂及其单味中药材中分离鉴定的苦参碱、大黄素甲醚、小檗碱等杀菌、杀虫有效成分已开发为多种植物源农药用于农作物病虫害绿色防控,这说明“清热解毒”类中药复方制剂及其组方单药在开发环境友好型植物源农药方面具有良好潜力.本节就基于“清热解毒”类复方及单味中药中挖掘苦参碱、小檗碱和大黄素甲醚等植物源农药进行了阐述.

1.1 苦参碱类植物源农药

复方苦参注射液,又称岩舒注射液,是一种纯中药制剂,由苦参和白土茯苓等两味药物按照 7:3 的比例提取、精制而成,其功效是清热解毒和散结止痛.该复方制剂中,通常以氧化槐果碱、氧化苦参碱、槐定碱、苦参碱等苦参生物碱类为主要活性成分,进而发挥抗应激、抗炎以及提高机体免疫力等多种药理作用^[2].除此之外,苦参注射液作为非特异性细胞毒药物,在抗肿瘤方面对肺癌、胃癌、肝癌、淋巴瘤、食管癌等癌细胞扩散具有抑制作用,同时还可发挥止痛止血、改善造血功能和增强机体免疫力等辅助作用^[3].该复方制剂的君药苦参是豆科槐属植物苦参的干燥根,主要含有苦参碱类化学成分,具有清热燥湿、祛风杀虫等作用.国内外学者对临床常用中药苦参的研究和医学应用不断拓展,已揭示了其抗菌、抗病毒、降血糖与血脂、抗炎抗氧化、镇痛镇静、抗肿瘤与免疫调节、心脏保护、以及抗生育等多种药理活性,各种制剂已在临床上得到广泛应用^[4].除此之外,以苦参碱及其类似物为有效成分的植物源农用杀菌剂、杀虫剂产品在农作物病虫害绿色防控中也发挥了重要作用.其不但对病虫害有直接的抑制和杀灭作用,还能提高农作物的抗病免疫能力,促进植物生长,提高农作物质量和产量,相关产品已得到了国际有机认证.在产业化产品登记中,以有效成分为苦参碱的植物源杀虫剂是在具有杀虫活性的 39 种生物碱中产品登记最多的,有 128 个产品登记,其植物来源主要为苦参和苦豆子^[5].可见,具有清热解毒的中药苦参及其复方制剂不仅在医药领域发挥重要作用,也为农业领域以苦参碱为有效成分创制新型植物源农用杀菌剂和杀虫剂提供了应用典范.

1.2 小檗碱类植物源农药

黄连上清丸是一种广泛应用的传统中药制剂,具备清热解毒和散风通便的疗效.其药物组成主要包括黄连、连翘、黄柏等 17 味中草药,主要有效成分为小檗碱、表小檗碱、药根碱等小檗碱类生物碱^[6].小檗碱属于异喹啉类生物碱,药物来源广泛,包括具有清热解毒的黄连、黄柏、三颗针等中草药.近年来的研究表明,小檗碱及其衍生物在治疗肿瘤、糖尿病、心血管疾病、高血脂、炎症、细菌和病毒感染、脑缺血性损伤、精神疾病、阿尔茨海默病以及骨质疏松等多个领域展现出重要的药理作用^[7].除此之外,基于小檗碱优良的医用抑菌活性,以小檗碱为有效成分的植物源杀菌剂已登记为生物农药,主要用于防治褐斑病、褐腐病、白粉病、疫霉病、灰霉病、角斑病等真菌和细菌性农业病害.除此之外,苦参碱还登记为植物源杀虫剂,用于防治鳞翅目、半翅目、双翅目、螨类、线虫类等农业害虫,还对三叶鬼针草等多种单双子叶杂草表现出良好的除草活性^[5, 8].这说明基于传统清热解毒的黄连、黄柏等单味中药及其复方制剂有效成分挖掘的小檗碱类植物源农药在农作物病虫害绿色防控过程中潜力巨大.

1.3 大黄素甲醚类植物源农药

牛黄解毒丸是我国传统的中成药之一,成分包括牛黄、大黄、石膏、黄芩、雄黄、甘草、冰片和桔梗等 8 种药物,具有泻火通便与清热解毒的功效,临床上主要用于咽喉肿痛、口舌生疮与头痛牙痛等症^[9].该复方制剂中石膏、大黄和黄芩共为臣药,大黄具有泻下攻积、清热泻火、

凉血解毒、逐瘀通经的功效。大黄的化学成分主要包括蒽醌类、蒽酮类、黄酮类、苯丁酮类、二苯乙烯类和多糖类等,其中,蒽醌是大黄中含量最高的活性成分。大黄清热、泻火和解毒等功效在医药领域主要体现在解热、抗击病原微生物、抗炎和抗病毒等作用,而大黄中蒽醌类成分对大黄抗病原微生物的广谱性具有一定的影响^[10]。以大黄素甲醚为代表的蒽醌类化合物已证实具有显著的抗白色念珠菌、毛癣菌、曲霉菌等医用抗菌活性^[11]。在农业领域,大黄素甲醚已登记为植物源杀菌剂,有效成分用于防控白粉病、霜霉病、灰霉病和炭疽病等各种农作物病害,具有抑菌活性高、持效期长等特点,除具有直接的杀菌作用外,还兼具诱导抗病作用^[12]。大黄素甲醚类新型植物源农用杀菌剂的创制是传统“清热解毒”类中药及其复方制剂在农业领域的“二次开发”,在传统中医药拓展应用领域的同时,也为新型植物源农药的创制提供了新途径。

2 天仙子中发现具有免疫诱抗活性的天仙子新碱

除清热解毒类中药及其复方制剂具有开发为新型植物源农药的潜力外,其他传统中药如蛇床子中发现蛇床子素、印楝中发现印楝素、藜芦中发现的藜芦碱等均是基于中草药资源创制新型植物源农药的典型示例。中药天仙子是茄科天仙子属植物,在欧洲、亚洲、北美等地均有广泛分布。天仙子的主要药用部位为种子,收录于2020版药典,具有平喘、镇痛、止咳等功效,也是传统致幻剂的重要来源。天仙子的主要化学成分包括生物碱类、甾体皂苷类、木脂素类、黄酮类等,现代药理活性主要包括心血管抑制作用、影响中枢神经系统、松弛平滑肌作用、抗肿瘤和拒食活性等^[13]。

植物免疫诱抗剂是近年发展起来的一种绿色植物保护防控策略,可激发植物自身产生免疫应答反应进而达到防病、抗病的目的。另一方面,植物生长调节剂目前已成为现代农业实现高产、优质农产品的主要措施之一。而许多植物免疫诱抗剂除具有广谱的抗病能力外,还具有促进植物生长与提升植物抗逆的功能。笔者所在科研团队对天仙子种子的化学成分与农用活性开展了系统的研究工作,从天仙子种子中发现了香草酸及其新的酰胺衍生物天仙子新碱(Nigeroate)。天仙子新碱不但可以从天仙子种子中分离获取,还可以通过廉价的工业原料香草酸、 γ -氨基丁酸和正丁醇通过两步反应获取,这为其产业化开发奠定了良好基础。农用抗病毒活性测试结果表明,香草酸对烟草花叶病毒(TMV)具有显著的钝化活性,而天仙子新碱对TMV并无直接的钝化活性,但其在烟草上表现出了良好的免疫诱抗活性,可以通过激活苯丙氨酸解氨酶(PAL)、超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)和过氧化物酶(POD)等防御酶,以及NPR1, PR1, PR2, ICS1和PAL等抗性基因,进而激发植物自身对各种真菌、细菌和病毒引起的抗病性。此外,天仙子新碱对促进农作物生长效果显著,在低浓度下,天仙子新碱能够促进种子的萌发和根长的增长,而在高浓度下则能够抑制这些生长过程^[14-15],天仙子新碱可作为先导化合物或有效成分,广泛应用于制备植物免疫诱抗剂和植物生长调节剂。这项工作不仅有望在促进农作物增产丰收方面发挥作用,还对提高作物的抗病性具有潜在的应用前景。天仙子中具有新颖结构免疫诱抗活性分子天仙子新碱的发现,进一步说明传统中草药资源是创制新型植物源农药的重要源泉。

3 基于“整体”药效理论挖掘铁线莲属植物农用活性分子

“整体”药效是指在中医药理论指导下,辨证审因决定治法后,选择合适的药物酌定用量,配伍而成的一组药物,其特点是多成分、多靶点、多途径发挥作用。笔者从化学成分和生物活

性多样性角度对铁线莲属中药发挥“整体”药效的物质基础进行了深入研究和阐释. 依据铁线莲属中药大多具有“解毒”的功效, 对铁线莲属毛蕊铁线莲、芹叶铁线莲等特色中草药资源的化学成分、生物活性、作用机制等进行了系统的研究, 从化学成分多样性的角度, 揭示了其具有医用抗癌、抗心肌缺血, 农用杀虫、抑菌和抗病毒作用的物质基础. 铁线莲属具有抗癌和心肌保护作用活性三萜皂苷的发现, 为铁线莲属中药发挥“祛风湿、通经络、解毒止痛”的功效提供了物质基础与科学依据^[16-17]. 黄酮苷类糖基部分苯甲酰基、咖啡酰基等特色取代基的存在增加了铁线莲属黄酮苷类成分的结构多样性; 铁线莲属黄酮苷类化合物通过钝化、保护和系统抗性 3 个方面对 TMV 表现出了良好的抗病毒活性, 这些黄酮苷类还可直接破坏病毒粒子, 降低病毒外壳蛋白含量, 为其开发为农用抗植物病毒剂奠定了基础^[18-19]. 而铁线莲中的三萜皂苷对豌豆蚜、小菜蛾还表现出良好的胃毒、拒食和生长发育抑制活性^[20-22], 这提示铁线莲属植物中的三萜皂苷不但表现出良好的杀虫活性, 还可有效阻断介体昆虫传播植物病毒而发挥间接的抗植物病毒活性. 除此之外, 笔者还揭示了铁线莲属 8-O-4' 新木脂素类化合物抗菌活性物质基础^[23]. 以上研究工作与“中医农业”的发展理念相吻合, 从药效物质基础多样性的角度阐释了铁线莲属中药发挥“整体”药效的多靶点性, 也为利用中医药资源综合防治农业病虫害提供了经验借鉴. 因此, 中草药化学成分的多样性, 也必然决定着其生物活性的多样性, 这为传统中草药发挥“整体”药效用于农作物病虫害绿色防控提供了理论基础.

4 基于猕猴桃细菌性溃疡病的复配生防菌剂创制

猕猴桃细菌性溃疡病是由丁香假单胞菌猕猴桃致病变种 *Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae* 引起, 是猕猴桃生产和产业发展最为严重的破坏性疾病之一. 该病害具有传播范围广、传播速度快、致病性强, 以及难以防治的特点. 它能在短时间内导致大片猕猴桃树体死亡, 已被列为中国森林植物的检疫性病害^[24]. 目前, 猕猴桃细菌性溃疡病的防治以化学防治为主, 铜制剂和抗生素是溃疡病防治中最常用且效果较好的药剂. 但是随着农药残留、有害生物再猖獗和有害生物抗药性问题的日益突出, 使得这两类药剂的使用有效性开始受到限制, 一些欧洲国家也已禁止链霉素在猕猴桃上的使用. 生物防治是一种集安全、高效、不易产生抗药性等优点于一体的植物病虫害防治方法, 符合新时期农业发展要求. 其中利用微生物制成的生防菌剂是生物防治的重要组成部分, 但生防菌剂只有具备了适应田间生产实践的特性, 如抑菌谱广、防效高、防效稳定等, 才更具有推广应用的价值. 单菌种生防菌剂的环境依赖性强、作用机制单一, 无法最大程度发挥生防潜力, 不利于应用和推广, 而通过对多种生防菌复配后, 利用多种生防机制的协同作用, 可以更高效地防治病虫害, 降低成本和提高效益.

针对猕猴桃溃疡病菌为害枝干、花和叶等, 范围广而难以防治的难题, 黄丽丽教授团队通过多年的技术攻关, 首次揭示了猕猴桃溃疡病致病机理及其在树体内部上下传导的时空规律和田间病害流行规律, 提出了“治未病”的猕猴桃溃疡病防治新理念, 研发出花前花后、采果后落叶前喷药防控的“两前两后”关键技术, 即在开花前和开花后全树喷药 2 次以防治花腐病和叶斑病, 采果后至落叶前采用药液喷淋或涂刷树干 2 次以预防次年枝干溃疡病的暴发, 创建了测报预警—保健诱抗—精准预防“三位一体”的绿色防控新技术体系. 在药剂选择上, 该团队还研发了一种防治猕猴桃细菌性溃疡病的复配生防菌剂“复方溃疡净”. 该复方生防菌剂的菌株主要由 *Delftia lacustris* ZWP15 和 *Bacillus proteolyticus* Hhb.019 组成, 两种菌株相容性好, 并且在猕猴桃细菌性溃疡病的致病菌上表现出协同抑制的效果. 在田间试验中, 该复方生防制剂显

示出卓越的防治效果,防效达到了73.89%^[25].与使用单一微生物菌株相比,该复方制剂的防治效果更为显著,并且优于市售常用药剂春雷霉素、中生菌素.此外,该复方生防制剂制备成本较低,比传统防治方法更为安全,对环境无毒无害,可进行工业化生产.因此,结合中医“治未病”的理念,创制复方生防菌剂,是解决猕猴桃溃疡病等果树重大病害的重要策略,对其他农业病虫害绿色防控提供了参考.

5 小结

综上所述,将中医药理论和技术方法引入农业领域,借鉴中医辨证施治的原则,以中药复方制剂及其单味中药为出发点,综合考虑病原菌、植物、环境等因素,以期实现生态平衡与农产品质量提升是创制新型生物农药的重要策略.笔者阐述了“清热解毒”类中药复方及其单味中药是创制新型植物源农药的中药源泉,结合团队近年来科研实践工作和中医药理论基础,从中药天仙子中发现了一个新型香草酰胺类化合物——天仙子新碱,该化合物具有良好的免疫诱抗活性,能够激发植物自身产生免疫应答反应进而达到防病、抗病的目的,同时还兼具植物生长调节功能.从药效物质基础的角度阐释了铁线莲属中草药资源发挥“整体”药效的多靶点性,揭示了该属植物医用抗肿瘤与抗心肌缺血作用以及农用杀虫、抑菌和抗病毒作用的物质基础,为利用中草药资源综合防治农业病虫害提供了经验借鉴.针对猕猴桃溃疡病这一重大果树枝干病害提出了“治未病”的生防理念,研发出了“两前两后”关键防控技术,创建了测报预警—保健诱抗—精准预防“三位一体”的绿色防控技术体系,并且创制了一种对猕猴桃细菌性溃疡病具有协同抑制效果的复方生防菌剂,田间试验证实该复方生防制剂具有高效、安全、无毒无害的特点.以上工作是利用中医药理论和中医药资源开展农业绿色生产的实践探索,为天仙子和铁线莲属中草药资源用于农业病虫害绿色防控与产业化开发奠定了良好的基础.尤其是猕猴桃溃疡病“治未病”的“两前两后”防控技术,以及相关的微生物复方生防菌剂已在全国部分地区进行推广和示范,取得了良好的经济效益与生态效益.随着人民生活质量的提高和对绿色有机食品的迫切需求,相信中医药理论与资源将会在新型生物农药创制与农业绿色生产过程中起到更加重要的作用.

参考文献:

- [1] 况国高,刘文彦,王建军,等. “中医农业”基本内容初探 [J]. 现代园艺, 2022, 45(16): 27-29.
- [2] 马悦,张启伟,王智民,等. 复方苦参注射液研究进展 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2012, 18(23): 342-345.
- [3] 张金波,苏晓,王艺泉. 复方苦参注射液的抗肿瘤作用研究进展[J]. 内蒙古中医药, 2023, 42(4): 165-167.
- [4] 马雪宁,杨素清,张君成,等. 苦参药理作用研究进展 [J]. 辽宁中医药大学学报, 2023, 25(1): 152-156.
- [5] 章杰,罗巧,刘科,等. 植物源生物碱类杀虫剂及其登记应用进展 [J]. 世界农药, 2023, 45(3): 13-22.
- [6] 刘芳,张浩,方清茂,等. 黄连上清丸(片)中小檗型生物碱的含量测定 [J]. 中成药, 2005, 27(12): 1393-1396.
- [7] 陈美琳,李芝奇,范琦琦,等. 小檗碱药理作用及其相关作用机制研究进展 [J]. 中草药, 2022, 53(18): 5861-5872.
- [8] 邝芷琪,王少婷,黄伦,等. 小檗碱的农用活性研究进展 [J]. 农药, 2017, 56(2): 88-93, 107.
- [9] 伊博文,赵洁,赖华清,等. 基于“质谱分析-网络药理学预测-活性验证”的牛黄解毒丸抗炎作用研究 [J]. 世界中医药, 2022, 17(7): 925-934.
- [10] 王玉,杨雪,夏鹏飞,等. 大黄化学成分、药理作用研究进展及质量标志物的预测分析 [J]. 中草药, 2019, 50(19): 4821-4837.

- [11] AGARWAL S K, SINGH S S, VERMA S, et al. Antifungal Activity of Anthraquinone Derivatives from *Rheum emodi* [J]. Journal of Ethnopharmacology, 2000, 72(1-2): 43-46.
- [12] 杨立军, 龚双军, 杨小军, 等. 大黄素甲醚对几种植物病原真菌的活性 [J]. 农药, 2010, 49(2): 133-135, 141.
- [13] LI J, SHI J, YU X W, et al. Chemical and Pharmacological Researches on *Hyoscyamus niger* [J]. Chinese Herbal Medicines, 2011, 3(2): 117-126.
- [14] HU Z L, BO X, SUN G D, et al. Identification of Vanillic Acid and Its New Amide Derivative from *Hyoscyamus niger* and Their Modes of Action in Controlling Tobacco Mosaic Virus [J]. Industrial Crops and Products, 2022, 189: 115853.
- [15] 田向荣, 黄丽丽, 胡子龙, 等. 一种香草酰胺类化合物、制备方法及应用: CN115583896A [P]. 2023-01-10.
- [16] TIAN X R, FENG J T, TANG H F, et al. New Cytotoxic Triterpenoid Saponins from the Whole Plant of *Clematis lasiandra* Maxim [J]. Fitoterapia, 2013, 90: 233-239.
- [17] ZHANG W, YAO M N, TANG H F, et al. Triterpenoid Saponins with Anti-Myocardial Ischemia Activity from the Whole Plants of *Clematis tangutica* [J]. Planta Medica, 2013, 79(8): 673-679.
- [18] LI Y T, YE S W, HU Z L, et al. Identification of Anti-TMV Active Flavonoid Glycosides and Their Mode of Action on Virus Particles from *Clematis lasiandra* Maxim [J]. Pest Management Science, 2021, 77(11): 5268-5277.
- [19] 田向荣, 李彦涛, 胡子龙, 等. 黄酮苷类化合物用于抗烟草花叶病毒的应用及其制备方法: CN113491272B [P]. 2022-04-22.
- [20] TIAN X L, LI Y T, HAO N, et al. The Antifeedant, Insecticidal and Insect Growth Inhibitory Activities of Triterpenoid Saponins from *Clematis aethusifolia* Turcz Against *Plutella xylostella* (L.) [J]. Pest Management Science, 2021, 77(1): 455-463.
- [21] LI Y T, HAO N, YE S W, et al. New Triterpenoid Saponins from *Clematis lasiandra* and Their Mode of Action Against Pea Aphids *Acyrtosiphon pisum* [J]. Industrial Crops and Products, 2022, 187: 115517.
- [22] 田向荣, 李彦涛, 郝楠, 等. 原人参二醇型毛蕊铁线莲新苷类化合物、制备方法及应用: CN112608362B [P]. 2021-09-28.
- [23] HAO N, HAN L R, LI Y T, et al. New 8-O-4' Neolignans and Their Antibacterial Activity from the Whole Plants of *Clematis lasiandra* [J]. ACS Omega, 2020, 5(31): 19661-19666.
- [24] 高小宁, 赵志博, 黄其玲, 等. 猕猴桃细菌性溃疡病研究进展 [J]. 果树学报, 2012, 29(2): 262-268.
- [25] 黄丽丽, 刘露, 刘巍, 等. 一种防治猕猴桃细菌性溃疡病的复配生防菌剂: CN116391726B [P]. 2023-09-05.

责任编辑 王新娟