

吴琼,罗亮,王香萍,等. 蚜虫的生存适应性研究进展[J]. 江苏农业科学,2016,44(5):175-178.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.05.048

蚜虫的生存适应性研究进展

吴琼,罗亮,王香萍,王文凯,李传仁,张建民

(长江大学农学院/长江大学昆虫研究所,湖北荆州 434025)

摘要:作为取食韧皮部汁液昆虫的最大群体,蚜虫由于其独特的生存适应性而使其成为农业上的重要害虫。本文主要从蚜虫的体色、口器、翅型、生殖方式、报警行为及与蚂蚁共生6个方面阐述了蚜虫的生存适应性,以期促进人们对蚜虫生存适应性的认识,从而做到对蚜虫的有效防控。

关键词:蚜虫;体色;口器;翅型;报警信息素;互利共生

中图分类号: S433.39 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)05-0175-03

蚜虫为昆虫纲(Insecta)半翅目(Hemiptera)蚜总科(Aphidoidea)昆虫,在地球上出现已约有2.8亿年,目前世界已知种类约有5000种^[1]。在长期的进化过程中,蚜虫逐步形成了一套“诡秘”的生存本领,使其在危机四伏的地球上得以生存,并成为取食韧皮部汁液昆虫的最大群体。蚜虫除体型小、生活周期短、繁殖力强等一般昆虫所具有的生存优势外,还有许多不同于大多数其他昆虫的生存本领^[2]。本文将主要从蚜虫的体色、口器、翅型、生殖方式、报警信息素及与蚂蚁共生等方面对蚜虫的生存适应性进行阐述。

1 蚜虫体色的多态性

蚜虫的体色多态性指同种蚜虫由于受环境条件的影响呈现不同体色的现象,影响因素包括生物因素和非生物因素^[3]。不同种类的蚜虫体色多态性存在一定的差异。一些蚜虫的体色分化较为简单,如棉蚜(*Aphis gossypii*)只有黄色和绿色个体^[4]。一些蚜虫体色分化则较为复杂,如桃蚜(*Myzus persicae*)存在红色、绿色、黄绿色和褐色个体^[5]。影响蚜虫体色多态性的因子很多,有温度^[6]、寄主植物^[4]、天敌和共生菌^[7]等,但是对其体色具体的影响机理尚未阐述清楚。一般情况下认为,蚜虫体色多态性是蚜虫对复杂环境的一种适应,其生态进化功能主要是通过拓展食物资源、改变自身繁殖力和提高对天敌的抵抗力等来增强本身适应各种环境的能力^[8]。如对蚕豆蚜体色的研究发现红色个体的蚕豆蚜由于容易被天敌发现比绿色的蚕豆蚜更易逃离寄主植物,2种体色的蚕豆蚜在生活史的平衡策略上存在一定差异^[9]。

2 蚜虫的口器

众所周知,蚜虫是取食韧皮部汁液昆虫的最大群体,其口器为刺吸式,主要由2对口针和喙组成,喙由下唇特化而成,

其前面有纵向的凹槽,在不取食时可将2对口针隐藏其中,起到保护2对口针的作用^[10]。蚜虫是刺吸式口器昆虫研究的模式昆虫,与咀嚼式口器的昆虫取食经常造成严重的植物组织机械伤害相比,蚜虫取食只会对植物造成轻微的机械伤害^[11]。蚜虫取食是一个逐步探索的过程,在这一次次的刺探过程中,蚜虫不断分泌着唾液,保护口针探寻植物合适的取食位点^[12]。蚜虫口针每一次刺探持续时间很短,只有5~10s^[13],一旦找到合适的取食位点,蚜虫则可以连续取食几个小时甚至几天^[14]。此外,在蚜虫取食过程中,蚜虫的唾腺会分泌2种唾液:胶状唾液和水溶性唾液。蚜虫分泌的胶状唾液会形成唾液鞘将植物组织和蚜虫的刺吸式口器隔离开来,对口针起到保护作用^[15-16]。水溶性唾液中则含有各类水解酶,不间断地被释放到筛管元件以帮助蚜虫对食物进行初步消化,其主要成分包括各类复杂的酶的混合物和其他元件^[17]。更为有趣的是,最近陆续发现蚜虫的唾腺可以分泌一些效应蛋白,可抑制植物对蚜虫的防御效应^[19-20]。蚜虫的这种刺吸式口器结构和取食方式确保了蚜虫能够从外界获得充足的食物,从而提高蚜虫对环境的适应性。

3 蚜虫的翅型

翅多型现象在昆虫中广泛存在,是昆虫在飞行扩散和繁殖能力之间权衡的一种生存策略,对种群的环境适应性进化具有十分重要的意义^[21]。蚜虫的翅型有2种,即有翅型和无翅型。一般认为当本地环境相对适宜,有利于繁殖时,昆虫个体就会分配较多的资源用于繁殖(无翅蚜),实现最高适合度。而当本地生存环境比较恶劣时,昆虫个体投入扩散型表型(有翅蚜)的资源将会增加,以利于寻找更适宜的生存环境^[22]。影响蚜虫产生有翅型还是无翅型的因素有外因和内因,其中外界环境对蚜虫翅型的影响研究最多。如万两对桃蚜、豆蚜、萝卜蚜和菊蚜长管蚜等的研究发现,低温对蚜虫翅的发育有利^[23]。Purandare等则报道豌豆蚜的种群密度对豌豆蚜的翅型分化影响比天敌昆虫*Coccinella septempunctata*的影响强度要大^[24]。Ishikawa等则较详细地研究了野豌豆蚜*Megoura crassicauda* Mordvilko翅型多态性的高种群密度信号在蚜虫世代间的传导机制,发现雌蚜在种群密度刺激消除后仍能保持高密度种群信号,此外,对其后代和雌蚜的胚胎发育

收稿日期:2015-12-24

基金项目:国家自然科学基金(编号:31471783)。

作者简介:吴琼(1989—),女,湖北黄梅人,硕士研究生,主要从事植物抗虫性研究。E-mail:1107910953@qq.com。

通信作者:张建民,博士研究生,副教授,主要从事植物抗虫性研究。

E-mail: zhangjianmi@aliyun.com。

阶段观察揭示种群高密度信息在角质层形成之前的晚期胚胎阶段影响胚胎的命运^[25]。但是,蚜虫翅型分化具体机理是繁琐而复杂的,还有许多工作需要去做。

4 蚜虫的生殖方式

多数蚜虫的生殖方式为季节性的孤雌生殖(异态交替),即随着季节的变化孤雌生殖和两性生殖交替进行,这样的生殖方式既保证了种群的繁盛,又不失去基因交换、丰富基因组多样性的机会,在昆虫中是很少见的^[26]。Blankman 研究认为,一些种类蚜虫的孤雌生殖会因昼夜长短及温度的变化而转变为有性生殖,当温度保持在 20 °C 以上并持续升高时,有性生殖可能会受到抑制^[27],这些结果陆续得到一些后续试验的验证^[27]。如 Simon 等报道控制蚜虫的季节性孤雌生殖的主要因素是光周期,在长光照下(如春夏)的蚜虫在实验室里能无休止地进行克隆性的产雌孤雌生殖。而一旦改变成短日照(如秋冬季),这些蚜虫在继续孤雌生殖 2 代之后开始进入两性生殖^[28]。邵东华等报道油松大蚜 *Cinara formosana* 在 29 °C 时不繁殖后代,较高的温度抑制了其无性繁殖,但对其机理并未进行阐述^[29]。从理论上讲,孤雌生殖对于物种的进化来说是不利的,但是事实并非如此,许多进行孤雌生殖的物种都得以成功地保持,而且其遗传多样性(甚至其基因重组率)未出现大幅度降低,仍以一定的速度在进化,其中的机制目前尚未被揭示^[30]。Ogawa 等认为在繁殖的多态性中,生殖模式的转换主要由雌蚜体内的保幼激素决定^[31]。Cortes 等为了研究蚜虫两性表型转换相关信号通路的候选基因,利用抑制性消减杂交(SSH)的方法分别富集了在短日照条件下高表达和低表达的基因序列,确证了在 2 种光周期模式下有表达差异的 6 个基因,发现其中 4 个基因随光周期循环表达,从而认为这些基因在孤雌生殖到两性生殖的转换中可能起了介导作用^[32]。Srinivasan 等研究揭示孤雌生殖卵子发生是由一种与减数分裂相似,而不是与有丝分裂相似的过程进化而来的,并且蚜虫的繁殖多态性与 *Spo11* 基因的活性改变有关^[33]。此外,蚜虫进行孤雌生殖产到体外直接是其若虫,而不是卵,这避免了昆虫生存的一个薄弱虫态,对于蚜虫的生存来说也是十分有利的,在此不再深入讨论。

5 蚜虫报警信息素

蚜虫报警信息素是当蚜虫受到威胁时,从腹管中分泌出一种挥发性物质,可对同种其他个体产生报警作用,使周围其他蚜虫迅速逃离现场而免受伤害^[34]。蚜虫报警信息素的成分常见主要有 3 种: β -selinene,环状倍半萜 germacriene A 和(反) β -法呢烯(E β F),其中 E β F 是一种最广泛的种间信息素,是蚜虫报警信息素的主要成分^[35]。不同种类的蚜虫报警信息素的成分存在一定差异。如桃蚜、甜菜蚜等报警信息素除含 E β F 外,还含有(Z-E)- α -法尼烯和(E-E)- α -法尼烯,这 2 种成分均能增加 E β F 的活性^[36]。蚜虫报警信息素的产生量与蚜虫的体质量和发育阶段有关。如 Byers 报道棉蚜个体中报警信息素的产生量与棉蚜的体质量相关,而且这种关系在棉蚜的整个生活史中均存在^[37]。蚜虫的报警激素在蚜虫的综合防控中具有十分重要的作用,被认为是一种新型的、无公害的极具发展潜力的农药,目前已能人工合成出

E β F 的类似物,并在害虫防治中与其他农药混用,来增强对害虫的防治效果^[38-39]。此外,随着分子生物学技术的迅速发展,利用转基因技术将 E β F 合成酶基因引入植物中,通过植物释放 E β F 驱避蚜虫同时引诱天敌来达到控制蚜虫危害的目的^[40-42]。总之,蚜虫的报警激素在未来的有机农业发展中将会发挥更加重要的作用。

6 蚜虫与蚂蚁的共生

蚂蚁与蚜虫的互利关系很早就为人们所关注。明朝杜儒记载:“夏时新叶茂盛,郁生蚜虫,是草木之病也。其虫味甘,故蚁必群集而献之”^[43]。众所周知,蚂蚁可阻止蚜虫的天敌取食蚜虫和通过防止煤污病的侵染,而蚜虫则可为蚂蚁提供食物——蜜露。如张克斌等报道蚂蚁不仅影响棉蚜的扩散和加速棉蚜的繁殖,而且还能影响天敌捕食棉蚜,一旦有瓢虫侵入,蚂蚁就摇动着双颌群起而攻之,迫使瓢虫离去^[44]。Volkl 报道觅食的三叉蚜茧蜂(*Trioxys angelicae*)雌虫会受到收集蜜露的蚂蚁的严重攻击^[45]。此外,蚂蚁的清洁服务被认为有助于防止蚜虫聚集地真菌的扩散和巩固蚜虫和蚂蚁的相互作用^[46]。虽然蚜虫与蚂蚁的共生过程中,蚜虫似乎处于被动地位,但蚜虫确实从中获得了很大的好处^[47-48]。蚂蚁与蚜虫的共生关系从行为学角度虽然已研究了许多年,但是这种关系是通过什么样的化学机制形成的还不甚了解。Fischer 等研究发现蚂蚁追随蚜虫主要是由于蜜露中的挥发性混合物,这种挥发性的混合物可使蚂蚁快速侦察到蚜虫的聚集地,而这些挥发物与蜜露中的微生物关系十分密切^[49]。Abdala - Roberts 等则报道在叙利亚马利筋上蚂蚁和蚜虫的相互作用会受到植物基因型和幼虫危害的调节^[50]。

7 小结与展望

作为世界性的作物害虫和取食韧皮部汁液昆虫的最大群体,蚜虫的研究广泛受到人们的关注,并且由于其个体小,世代周期短、繁殖快等特点而成为人们研究取食韧皮部汁液害虫的模式昆虫。本文主要从蚜虫的体色、口器、翅型、生殖方式、报警信息素及与蚂蚁共生 6 个方面阐述了蚜虫的一些生物学特性,从这些生物学特性中我们可以深刻体会到小小蚜虫的聪明独到之处,从而最终促进人们对蚜虫生存适应性的认识,引起人们对蚜虫研究的足够重视,从而做到对蚜虫的有效防控。

参考文献:

- [1] Blackman R L, Eastop V F. Aphids on the world's crops: an identification and information guide [M]. London: John Wiley & Sons, 2000: 466.
- [2] Goggin F L. Plant - aphid interactions: molecular and ecological perspectives [J]. Current Opinion in Plant Biology, 2007, 10(4): 399 - 408.
- [3] Dixon A G. Aphid ecology [M]. London: Chapman and Hall, 1998: 128.
- [4] 原国辉, 彭红, 潘森, 等. 棉蚜(*Aphis gossypii* Glover)在不同寄主上的体色分化研究 [J]. 河南农业大学学报, 2002, 36(1): 7 - 10, 14.
- [5] 刘绍友, 仵均祥, 安英鸽, 等. 桃蚜体色生物型与寄主关系的研究 [J]. 西北农业大学学报, 2000, 28(3): 11 - 14.

- [6] 邓明明,高欢欢,李丹,等. 温度对麦长管蚜体色变化的影响[J]. 生态学报,2011,31(23):7203-7210.
- [7] Tsuchida T, Koga R, Horikawa M, et al. Symbiotic bacterium modifies aphid body color[J]. Science,2010,330(6007):1102-1104.
- [8] 李进步,方丽平,孟玲,等. 蚜虫体色多态性及生态进化功能[J]. 生态学杂志,2014,33(5):1404-1412.
- [9] Schuett W, Dall S R, Kloesener M H, et al. Life-history trade-offs mediate 'personality' variation in two colour morphs of the pea aphid, *Acyrtosiphon pisum* [J]. Journal of Animal Ecology,2015,84(1):90-101.
- [10] 乔格侠,张广学,姜立云,等. 河北动物志(蚜虫类) [M]. 石家庄:河北科学技术出版社,2009:15.
- [11] Walling L L. The myriad plant responses to herbivores[J]. Journal of Plant Growth Regulation,2000,19(2):195-216.
- [12] Martín B, Collar J L, Tjallingii W F, et al. Intracellular ingestion and salivation by aphids may cause the acquisition and inoculation of non-persistently transmitted plant viruses[J]. Journal of General Virology,1997,78(Pt 10):2701-2705.
- [13] Tjallingii W F, Esch T H. Fine structure of aphid stylet routes in plant tissues in correlation with EPG signals [J]. Physiological Entomology,1993,18(3):317-328.
- [14] Tjallingii W F. Electrical signal from the depth of the plant tissue: the electrical penetration graph (EPG) [C]//Niemeyer H M. Techniques in plant-insect interactions and biopesticides. IFS Workshop, Santiago, Chile,1995:49-58.
- [15] Cherqui A, Tjallingii W F. Salivary proteins of aphids, a pilot study on identification, separation and immunolocalisation [J]. Journal of Insect Physiology,2000,46:1177-1186.
- [16] Urbanska A, Tjallingii W F, Dixon A G, et al. Phenoloxidising enzymes in the grain aphid's saliva [J]. Entomologia Experimentalis et Applicata,1998,86:197-203.
- [17] Carolan J J, Ashton P D. The secreted salivary proteome of the pea aphid *Acyrtosiphon pisum* characterised by mass spectrometry [J]. Proteomics,2009,9:2457-2467.
- [18] Elzinga D A, de Vos M, Jander G. Suppression of plant defenses by a *Myzus persicae* (green peach aphid) salivary effector protein [J]. Molecular Plant-Microbe Interactions,2014,27(7):747-756.
- [19] Naessens E, Dubreuil G, Giordanengo P, et al. A secreted cytokine enables aphid feeding and represses [J]. Plant Immune Responses: Current Biology,2015,25:1898-1903.
- [20] Rodriguez P A, Stam R, Warbroek T, et al. Mp10 and Mp42 from the aphid species *Myzus persicae* trigger plant defenses in *Nicotiana benthamiana* through different activities [J]. Molecular Plant-Microbe Interactions,2014,27(1):30-39.
- [21] 王小艺,杨忠岐,魏可,等. 昆虫翅型分化的表型可塑性机制 [J]. 生态学报,2015,35(12):3988-3999.
- [22] 王凯,王海燕,李岩. 蚜虫翅型分化研究进展 [J]. 安徽农业科学,2008,36(20):8671-8672,8748.
- [23] 万两,盛洪珍,蔡媛安,等. 影响褐飞虱和蚜虫翅型分化的外部因素 [J]. 作物研究,2012,26(5):620-622.
- [24] Purandare S R, Tenhumberg B, Brisson J A. Comparison of the wing polyphenic response of pea aphids (*Acyrtosiphon pisum*) to crowding and predator cues [J]. Ecological Entomology,2014,39(2):263-266.
- [25] Ishikawa A, Miura T. Transduction of high-density signals across generations in aphid wing polyphenism [J]. Physiological Entomology,2013,38(2):150-156.
- [26] 王成业. 昆虫孤雌生殖起源的遗传机制和进化意义 [J]. 动物学研究,2011,32(6):689-695.
- [27] Blackman R L. Life-cycle variation of *Myzus persicae* (Sulz.) (Hom. Aphididae) in different parts of the world, in relation to genotype and environment [J]. Bulletin of Entomological Research,1974,63:595-607.
- [28] Simon J C, Rispe C, Sunnucks P. Ecology and evolution of sex in aphids [J]. Trends in Ecology & Evolution,2002,17(1):34-39.
- [29] 邵东华,段立清,段景攀. 温度对油松大蚜生长发育及繁殖的影响 [J]. 生态学杂志,2015,34(7):2005-2008.
- [30] Oldroyd B P, Allsopp M H, Gloag R S, et al. Thelytokous parthenogenesis in unmated queen honeybees (*Apis mellifera capensis*): central fusion and high recombination rates [J]. Genetics,2008,180(1):359-366.
- [31] Ogawa K, Miura T. Aphid polyphenisms; trans-generational developmental regulation through viviparity [J]. Journal List Front Physiol,2014,5:1-11.
- [32] Cortés T, Tagu D, Simon J C, et al. Sex versus parthenogenesis: a transcriptomic approach of photoperiod response in the model aphid *Acyrtosiphon pisum* (Hemiptera: Aphididae) [J]. Gene,2008,408(1/2):146-156.
- [33] Srinivasan D G, Abdelhady A, Stern D L. Gene expression analysis of parthenogenetic embryonic development of the pea aphid, *Acyrtosiphon pisum*, suggests that aphid parthenogenesis evolved from meiotic oogenesis [J]. PLoS One,2014,9(12):e115099.
- [34] 张钟宪,吉琳,游越. 昆虫内外激素的应用前景 [J]. 首都师范大学学报:自然科学版,2007,28(1):37-39,54.
- [35] Vandermoten S, Mescher M C, Francis F, et al. Aphid alarm pheromone: an overview of current knowledge on biosynthesis and functions [J]. Insect Biochemistry and Molecular Biology,2012,42(3):155-163.
- [36] Montgomery M E, Nault L R. Comparative [J]. Ent Exp&Appl,1997(22):236-242.
- [37] Byers J A. A cost of alarm pheromone production in cotton aphids, *Aphis gossypii* [J]. Naturwissenschaften,2005,92(2):69-72.
- [38] 黄文耀,杨新玲. 蚜虫报警信息素 EβF 的合成 [J]. 化学通报,2002,65(3):157-161.
- [39] 张钟宪,胡德荣,游越,等. 以绿色化学原则指导蚜虫报警信息素的合成 [J]. 首都师范大学学报:自然科学版,2005,26(4):46-48,56.
- [40] Bruce T A, Smart L E, Martin J L, et al. Transgenic wheat emitting aphid alarm pheromone, (*E*)- β -farnesene [J]. Aspects of Applied Biology,2011(11):28-29.
- [41] 张贻廷. 转 E β F 合成酶基因水稻对水稻害虫趋避性的研究 [D]. 武汉:华中农业大学,2011.
- [42] Bruce T J, Aradottir G I, Smart L E, et al. The first crop plant genetically engineered to release an insect pheromone for defence [J]. Scientific Reports,2015,5:11183.
- [43] 张克斌,刘惠霞,王玲莉. 棉蚜蜜露研究初报 [J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,1982(1):49-58.
- [44] 张克斌,李新成. 蚂蚁在棉蚜种群数量消长中的作用 [J]. 陕西农业科学,1983(6):33-36.

马欣,霍蓉,乔俊卿,等. 黄柏提取物对番茄枯萎病的生物防治效果[J]. 江苏农业科学,2016,44(5):178-180.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.05.049

黄柏提取物对番茄枯萎病的生物防治效果

马欣¹, 霍蓉², 乔俊卿³, 成少宁¹

(1. 运城职业技术学院有机食品工程系,山西运城 044000;

2. 南京农业大学植物保护学院/农作物生物灾害综合治理教育部重点实验室,江苏南京 210095;

3. 江苏省农业科学院植物保护研究所,江苏南京 210014)

摘要:通过测定菌丝干质量、菌丝生长速率、孢子萌发率等,研究黄柏的乙醇提取物对番茄枯萎病菌的室内抑菌作用,利用温室盆栽试验评估黄柏提取物对番茄枯萎病的防治效果。试验结果表明,黄柏提取物对番茄枯萎病菌的菌丝生长和孢子萌发均有显著抑制作用,且抑制率随提取物质量浓度的增大而升高,质量浓度为 32 000 mg/L 时对枯萎病菌菌丝生长的抑制作用达到 80% 以上,抑制中浓度(MIC)为 7 530 mg/L。质量浓度为 16 000 mg/L 的处理对孢子萌发的抑制率高达 100%。在盆栽试验中,质量浓度为 16 000 mg/L 的处理对番茄枯萎病的保护防治效果达 73.53%,显著高于常规化学药剂。试验表明,黄柏提取物对番茄枯萎病菌具有较好的防治效果。

关键词:黄柏;乙醇提取物;番茄枯萎病;抑菌作用;防治效果

中图分类号: S436.412.1⁺9 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)05-0178-03

番茄枯萎病是由尖孢镰刀菌(*Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*)引起的番茄生产中一种重要的土传病害^[1]。该病原菌经土壤传染,从根部侵入,传染性极强^[2],发病率一般为 20%~30%,受害较重的地区发病率高达 80% 以上,严重危害番茄的产量和品质^[3]。目前生产中主要采用多菌灵、咪唑胺、苯醚甲环唑等化学药剂防治番茄枯萎病^[4],长期大量使用化学农药将导致番茄枯萎病菌抗药性风险增加、有毒化学物质残留量增加、生态环境污染加重,严重威胁人类健康和生存。人们对绿色、有机食品的需求越来越大,开发低毒、低残留、无污染、与环境和谐的新型农药已迫在眉睫^[5]。植物中含有多种天然化学成分,已成为新型生物农药开发的重要材料资源。笔者曾用近 10 种中草药的乙醇提取物对番茄枯萎病菌进行抑菌活性的离体测定,研究结果表明,黄柏提取物对番茄枯萎病菌的抑菌活性最高^[6]。本研究利用黄柏的乙醇提取物对番茄枯萎病菌菌丝生长、孢子萌发的抑制作用,以及在番茄活体上的保护和治疗作用进行测定,以期对新型植物源杀菌剂的开发奠定基础。

收稿日期:2015-12-20

基金项目:国家自然科学基金(编号:31201556)。

作者简介:马欣(1985—),女,山东章丘人,硕士,助教,主要从事植物病害生物防治与生物农药研究。E-mail: mx3250235@163.com。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 黄柏 供试中药黄柏(*Phellodendron chinense* Schneid.)属芸香科,购自山西省运城市中药市场,使用枝皮部位。

1.1.2 供试菌种和培养基 番茄枯萎病原菌(*Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*)分离自发病番茄的根部,由马铃薯葡萄糖琼脂(PDA)培养基于 28℃ 下继代培养,置于 4℃ 冰箱保存备用。

1.2 方法

1.2.1 黄柏提取液的制备 采用超声波提取法制备黄柏提取液。将阴干的黄柏材料置于 45℃ 恒温电热鼓风干燥箱中吹干至发脆,采用植物粉碎机将材料粉碎,过 80 目筛后备用。称取样品干粉 100 g,用 70% 乙醇按 1 g:6 mL 的料液比浸泡,充分搅拌使溶剂完全浸没中草药材料,置于避光处静置 24 h;于 45℃、80 Hz 条件下超声辅助提取 30 min,减压抽滤得滤液,再次采用同样方法处理残渣,重复提取 3 次,合并 3 次滤液。采用旋转蒸发器于 40℃ 条件下将滤液减压浓缩至无溶剂蒸出(呈浸膏状),并用 50% 乙醇定容至 10⁶ mg/L,密封标记后置于 4℃ 冰箱中保存备用。

1.2.2 黄柏提取物对番茄枯萎病原菌菌丝生长的抑制作

[45] Volkl W. Aphids or their parasitoids: Who actually benefits from ant-attendance[J]. *Journal of Animal Ecology*, 1992, 61: 273-281.

[46] Wimp G M, Whitham T G. Biodiversity Consequences of predation and host plant hybridization on an aphid-ant mutualism[J]. *Ecology*, 2001, 82: 440-45.

[47] Nielsen C, Agrawal A A, Hajek A E. Ants defend aphids against lethal disease[J]. *Biology Letters*, 2010, 6(2): 205-208.

[48] Yao I. Costs and constraints in aphid-ant mutualism[J]. *Ecological Research*, 2014, 29(3): 383-391.

[49] Fischer C, Lognag G, Haubruge E, et al. Implication of honeydew microflora in ant-aphid mutualism[C]. 17th PhD Symposium on Applied and Biological Sciences, 2012.

[50] Abdala-Roberts L, Agrawal A A, Mooney K A. Ant-aphid interactions on *Asclepias syriaca* are mediated by plant genotype and caterpillar damage[J]. *Oikos*, 2012, 121(11): 1905-1913.