聚乳酸-壳聚糖交联基液体膜制剂对二斑叶螨的防控效果研究

魏艳会[1]， 胡雪芳[2]， 侯峥嵘[3]， 王恩东[1]， 张 博[1*]

(1. 中国农业科学院植物保护研究所，植物病虫害综合治理全国重点实验室，北京 100193；2. 农业农村部规划设计研究院，农业农村部农产品产后处理重点实验室，北京 100125；3. 北京市植物保护站，北京 100029)

摘要 为探究聚乳酸-壳聚糖交联基液体膜制剂(简称生态膜)对二斑叶螨 *Tetranychus urticae* 的防治效果，本试验采用胃毒、触杀和胃毒触杀联合作用等 3 种方式，明确其对二斑叶螨的发育历期、繁殖力和存活率的影响。使用 3 个浓度(10、5 g/L 和 2.5 g/L)的生态膜及双蒸水(对照)处理二斑叶螨，结果表明，低龄二斑叶螨对生态膜的敏感性低于成螨。生态膜处理后，二斑叶螨的发育历期与对照组相比无显著差异，均为 11.5 d 左右。生态膜处理可使雌成螨存活率降低，其中胃毒触杀组处理 10 d 后二斑叶螨存活率仅为 15%，显著低于对照(50%)。此外，生态膜还可使二斑叶螨繁殖力显著降低，每雌日均产卵量和总产卵量分别为 0.5 粒和 4.1 粒，显著低于对照组每雌的 0.8 粒和 7.9 粒。综上所述，本研究从害螨生理学角度揭示了聚乳酸-壳聚糖交联基液体膜制剂在二斑叶螨防控领域的应用潜力，为二斑叶螨的绿色防控开拓了新思路，也为后续产品开发提供了理论依据和实践方向。

关键词 二斑叶螨； 适合度； 取食； 有害生物防治

中图分类号： S 433.7 **文献标识码**： A **DOI**： 10.16688/j.zwbh.2025068

Evaluation of the efficacy of a polylactic acid-chitosan cross-linked liquid membrane formulation against *Tetranychus urticae* Koch

WEI Yanhui[1], HU Xuefang[2], HOU Zhengrong[3], WANG Endong[1], ZHANG Bo[1*]

(1. *State Key Laboratory for Biology of Plant Disease and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing* 100193, *China*; 2. *Key Laboratory of Agro-Products Primary Processing, Academy of Agricultural Planning and Engineering, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing* 100125, *China*; 3. *Beijing Plant Protection Station, Beijing* 100029, *China*)

Abstract To evaluate the efficacy of a polylactic acid-chitosan cross-linked liquid membrane formulation (referred to as "eco-membrane") against *Tetranychus urticae*, three exposure modes (stomach toxicity, contact toxicity, and their combined action) were tested to assess its effects on developmental duration, fecundity, and survival rate of the mite. Three concentrations (10, 5 g/L and 2.5 g/L) were applied, with distilled water as the control. The results showed that immature mites were less sensitive to the membrane than adults, and no significant differences were observed in developmental period (≈11.5 days) between treatments and control. However, the survival rate of female adults of *T. urticae* decreased significantly after treatment, reaching only 15% under the combined stomach-contact exposure for 10 days, compared with 50% in the control group. Furthermore, fecundity was significantly reduced: the average daily and total oviposition per female were 0.5 and 4.1 eggs, respectively, compared with 0.8 and 7.9 eggs in the control. In conclusion, this study demonstrates that the polylactic acid-chitosan cross-linked liquid membrane exhibits promising potential for the sustainable control of *T. urticae*, providing both theoretical basis and practical insights for the development of environmentally friendly acaricides.

收稿日期： 2025-02-14 **修订日期**： 2025-04-21

基金项目： 现代农业产业技术体系北京市创新团队设施蔬菜虫害综合防治岗位(BAIC01-2026)；农业农村部规划设计研究院农规英才项目(QNYC-2024-14)；2024 年现代农业产业技术体系北京市智能温室蔬菜创新团队病虫害绿色防控技术研究与应用(BAIC12-2024)；北京市乡村振兴农业科技项目(NY2502040225)

致 谢： 感谢在研究过程中徐学农研究员、曹进军副教授、王颖副教授的悉心指导，感谢魏佳兴和郝学敏在试验和写作过程中给予的思路启发和分析帮助。

* 通信作者 E-mail：zhangbo05@caas.cn

Key words *Tetranychus urticae*; fitness; feeding; pest management

二斑叶螨 *Tetranychus urticae* Koch 作为全球性的有害螨类，以其食性杂、繁殖迅速及隐匿性强等特点，对全球农业生产构成了严重威胁[1-3]。其寄主植物广泛，多达 800 余种，涵盖了番茄、玉米、苹果等诸多重要农作物和经济作物[4-7]。二斑叶螨在幼螨、若螨及成螨等多个发育时期均可刺吸植物叶片汁液，破坏叶绿素导致光合作用严重受阻，进而对作物生长及产量造成不利影响，严重时甚至可致植株死亡，造成农作物减产或绝收[8]。

化学防治目前是防控二斑叶螨的主要手段[9]。新型杀螨剂如乙唑螨腈和腈吡螨酯展现出卓越的杀螨和杀卵效果，可有效抑制二斑叶螨的种群增长[10-11]。阿维菌素、联苯肼酯、氟虫腈和乙螨唑分别通过作用于谷氨酸门控氯离子通道、中枢神经传导系统、γ-氨基丁酸门控氯离子通道、几丁质合成酶等分子靶标有效防治害螨[12-15]。然而，化学药剂的大量使用，加剧叶螨抗药性，导致防治效果下降，并严重危害生态环境和农产品质量安全[16-18]。鉴于化学防治的局限性，生物防治策略受到了广泛的关注和研究[19]。生物防治可利用自然界中丰富的天敌资源为害虫的长期防控提供有效的解决方案[20-21]。例如，“以虫治螨”的中华草蛉 *Chrysoperla nipponensis*、深点食螨瓢虫 *Stethorus punctillum*、塔六点蓟马 *Scolothrips takahashii* 等能有效抑制二斑叶螨种群的增长[22-24]；“以螨治螨”的巴氏新小绥螨 *Neoseiulus barkeri*、智利小植绥螨 *Phytoseiulus persimilis* 等捕食螨也对二斑叶螨同样展现出显著的防控效果[25-28]。然而，生物防治也有其不足之处[29]，如天敌易受环境因素影响而降低存活率和捕食量，且防控速度相对较慢，在害虫暴发期难以迅速控制种群数量[30-31]。

为挖掘新型生物材料用于害螨综合防控，本研究选取聚乳酸-壳聚糖交联基液体膜制剂（下文简称生态膜），在室内研究其对二斑叶螨适合度的影响，以期为农业害螨绿色防控提供科学依据。生态膜是一种具有独特性质的隔离缓释渗透液体膜制剂，喷施后能够在作物表面形成保护膜，具有叶面隔离、抗雨水冲刷、附着时间长以及药剂缓释等功能，前期在陕西省苹果种植示范园的试验表明，该膜在免套袋苹果的病虫害防控方面表现出显著的效果，并可提升果实的品质和产量[32]。同时，田间试验表明，喷施生态膜可以显著降低草莓二斑叶螨、柑橘全爪螨 *Panonychus citri* 的虫口密度，有效保障作物产量。因此，本研究通过设置生态膜不同浓度和作用方式，探究其对二斑叶螨的作用类型和控制能力，旨在加深生态膜对害螨防控能力的认识，拓宽其在农业害虫防治领域的应用范围。

1 材料与方法

1.1 供试虫源和植物

二斑叶螨来自中国农业科学院植物保护研究所捕食螨研究组，以室内芸豆 *Phaseolus vulgaris* 盆栽为寄主，进行多代饲养，种群已在实验室饲养 5 年以上，所有相关试验在温度（25±1）℃，相对湿度（80±5）%，光周期 L//D=16 h//8 h 的人工气候箱内进行。供试叶螨选取大小一致、健壮活泼的 1 日龄雌成螨，以及 24 h 内产下的大小一致、饱满、半透明的螨卵。供试芸豆叶片选择健康完整且大小一致的叶片，栽培过程中不使用任何化学药剂。

1.2 试验装置

水盒：选用底面直径与开口直径均为 11.5 cm、高 5 cm 的圆形塑料盒为二斑叶螨饲养盒，盒盖中心打直径 6 cm 的孔，并用 250 目尼龙网纱将孔封住。将一块直径 9 cm、高 3 cm 的圆形海绵片置于饲养盒内，向盒内加水使盒内液面稍低于海绵上缘，确保海绵始终处于湿润状态。在湿润的海绵上依次放置一层直径 8 cm 的滤纸和一层直径 7 cm 的黑色塑料薄膜，在塑料膜上放置叶片及二斑叶螨。

小室：由 3 层有机玻璃构成，上、下层均为长 30 mm、宽 20 mm、厚 1 mm 的长方体有机玻璃片，中层为长 30 mm、宽 20 mm、厚 3 mm 的有机玻璃板，并在正中央打直径 10 mm、高 3 mm 的圆孔；将边长 20 mm 的正方形芸豆叶片置于中下层有机玻璃间[33]。3 层玻璃用燕尾夹夹紧，放置于搪瓷方盆里的海绵上，每日给海绵加水，保持叶片新鲜。

1.3 试验方法

1.3.1 生态膜对低龄二斑叶螨发育和寿命的影响

用双蒸水对生态膜（华碘® 抗胁迫生态膜，有效成分：聚乳酸-壳聚糖交联聚合物含量大于 10%，碳酸钙含量≥5%，北京华碘科技有限公司生

产,生态膜使用规范为兑水稀释 100 倍至 300 倍)进行稀释,分别稀释成 100、200、400 倍 3 个浓度梯度,有效成分含量依次为 10、5 g/L 和 2.5 g/L,对照组为双蒸水处理。用湿润的 0 号毛笔挑取单头二斑叶螨雌成螨置于单独的小室中,待其产卵后,分别收集 12 h 内产的卵,在体视显微镜(SZ650 连续变倍体视显微镜,重庆奥特光学仪器有限责任公司生产)下把卵转移至新的小室中,每个小室1 粒卵,每个处理组 50 粒卵,共 200 粒。处理组中用 50 mL 的压力喷雾瓶在距离 30 cm 高的带有卵的小室正上方,喷洒不同浓度的生态膜溶液 1 mL,使药液均匀地滴在二斑叶螨卵的表面(防止对其造成物理伤害);对照组在同等条件下喷洒等量双蒸水。喷洒后将卵置于智能人工气候箱(RND-560E-4 型智能人工气候箱,宁波东南仪器有限公司生产)中,每 12 h 进行镜检,观察记录各组卵的发育存活和孵化情况。

1.3.2　*生态膜对二斑叶螨成螨生殖力及存活的影响*

用 0 号毛笔挑取雌成螨至小室中,准备好有效成分含量为 10、5 g/L 和 2.5 g/L 的生态膜,均使用压力喷雾瓶进行喷施,每个小室喷 1 mL。用 3 种不同的处理方式,即胃毒组:分别用推荐浓度的生态膜溶液喷施小室和芸豆叶片,再接入二斑叶螨;触杀组:在水盒中用生态膜溶液喷施二斑叶螨,处理后转移到小室中,小室和芸豆叶片不作任何处理;胃毒触杀组:生态膜溶液同时喷施二斑叶螨、小室和芸豆叶片。对照组为双蒸水处理。每个小室饲养 1 头二斑叶螨雌成螨,每个处理组 40 头,共 160 头雌成螨。每日在体视显微镜下进行观察,0 号毛笔轻轻触碰螨体,若螨足不动,则记为死亡,记录各组的死亡数量和每雌产卵量[34]。

1.4　数据分析

试验数据处理采用 Microsoft Excel 软件,统计分析由 SPSS 27.0 软件完成。使用 Graph Pad Prism 9.50 软件进行绘图操作。Log-rank (Mantel-Cox)检验比较不同浓度生态膜处理后叶螨的存活情况。根据数据的正态分布情况,运用独立样本 t 检验或 Mann-Whitney 检验,比较二斑叶螨的发育时间、繁殖力和寿命。不同处理下二斑叶螨产卵期和繁殖力差异数据,先利用广义线性模型分析生态膜浓度、不同作用机制及其相互作用对二斑叶螨的影响,再根据数据正态性,使用单因素方差分析和 LSD 分析因子内的差异显著性。

2　结果与分析

2.1　生态膜对低龄二斑叶螨发育和寿命的影响

生态膜对低龄二斑叶螨的寿命影响较小(图 1)。二斑叶螨卵经不同浓度生态膜处理后,经历幼螨、前若螨、后若螨阶段,均能顺利发育为成螨,存活率与对照的存活率不显著($P=0.219$)。第 10 天 10、5、2.5 g/L 的生态膜处理和对照的低龄二斑叶螨存活率依次为 60%、56%、64%、74%,说明生态膜对低龄二斑叶螨的存活率影响不大。

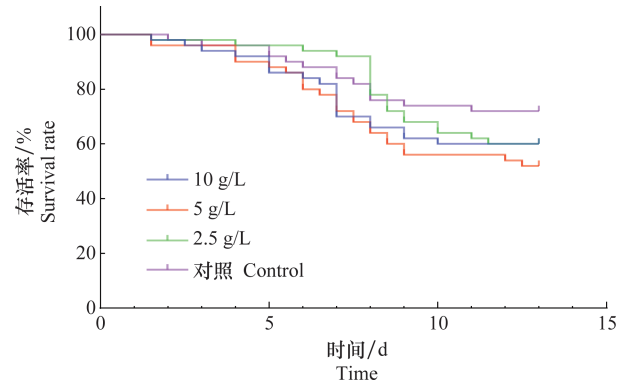


图 1　不同浓度生态膜处理后低龄二斑叶螨的存活曲线(Mantel-Cox 检验)

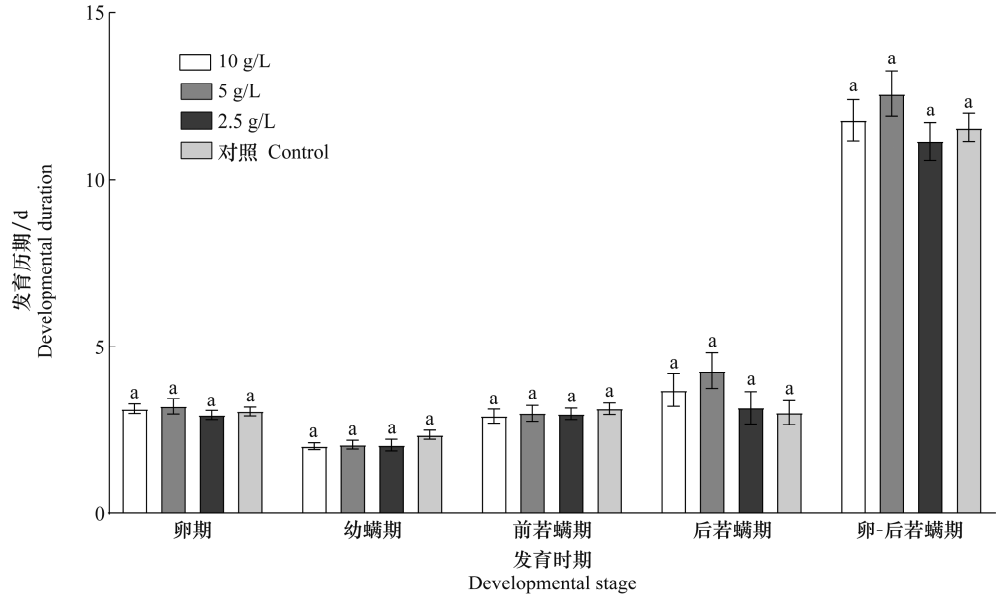
Fig. 1　Survival curves of young *Tetranychus urticae* treated with eco-membranes at different concentrations (Mantel-Cox test)

其次,生态膜对二斑叶螨的各阶段发育历期影响不显著,从卵发育到成螨所需要的时间均在 11～12 d(图 2)。二斑叶螨的卵经生态膜喷施处理后,在不同浓度处理下,卵期($\chi^2=2.449$, $df=3$, $P=0.485$)、幼螨期($\chi^2=4.953$, $df=3$, $P=0.175$)、前若螨期($\chi^2=2.423$, $df=3$, $P=0.489$)、后若螨期($\chi^2=5.703$, $df=3$, $P=0.127$)以及总发育历期($\chi^2=3.044$, $df=3$, $P=0.385$)与对照均无差异,说明生态膜对二斑叶螨各螨态发育及总历期无影响。

2.2　生态膜对二斑叶螨雌成螨生殖力及存活的影响

生态膜的作用方式可显著影响二斑叶螨寿命($\chi^2=9.259$, $df=2$, $P=0.010$),而浓度对寿命无显著影响($\chi^2=7.350$, $df=3$, $P=0.062$),且浓度和作用方式无交互效应($\chi^2=5.848$, $df=6$, $P=0.321$,表 1)。胃毒触杀方式对叶螨存活率的降低

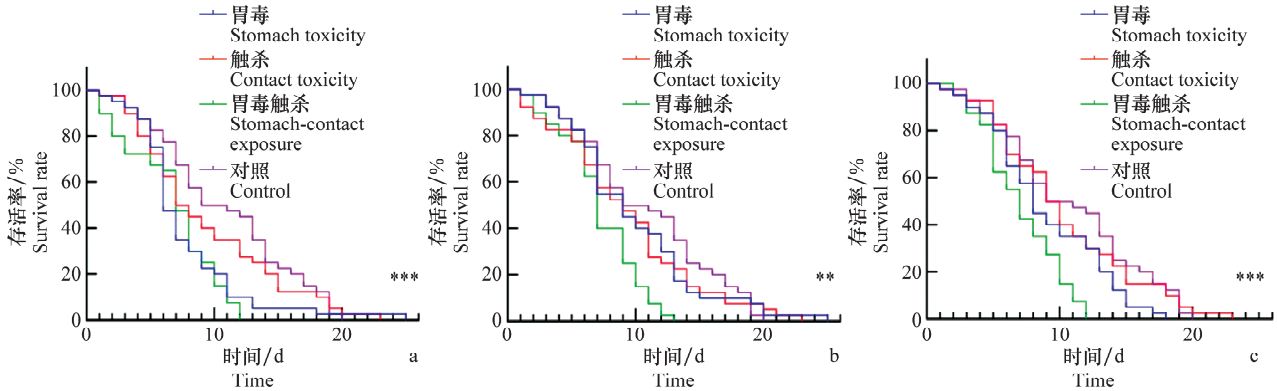
效果尤为显著(图 3),其中,10 g/L 的生态膜前期对二斑叶螨的抑制效果更明显,7 d 存活率为 50%。10、5 g/L 及 2.5 g/L 的浓度处理中,均使二斑叶螨 10 d 存活率降至 15%。当使用 10 g/L 的生态膜时,胃毒组、触杀组和对照组第 10 天的存活率分别为 20%、35%、50%(图 3a);在喷施 5 g/L 的生态膜中,胃毒组与触杀组中二斑叶螨在第 10 天的存活率分别为 40%和 42.5%(图 3b);在使用 2.5 g/L 的生态膜后,胃毒组和触杀组中二斑叶螨第 10 天的存活率为 35%和 40%(图 3c)。相比单独的胃毒组和触杀组,胃毒加触杀的联合作用方式在达到存活率 50%和第 10 天存活率的阈值上均表现出优势。



图中相同的小写字母表示各组间差异不显著 (P>0.05, LSD检验)。
Same lowercase letters in the bar chart indicate no significant differences among groups (P>0.05, LSD test).

图 2 不同浓度生态膜处理后二斑叶螨的各螨态历期

Fig. 2 Developmental durations of different stages of *Tetranychus urticae* after treatment with eco-membranes at different concentrations



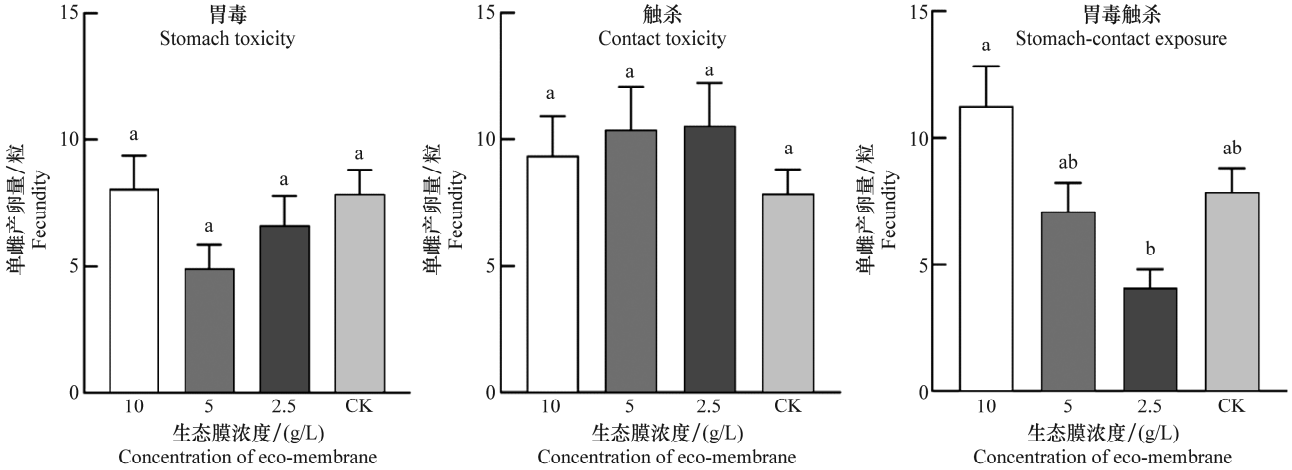
图a、b、c的生态膜浓度分别为10、5 g/L和2.5 g/L, 星号表示对照组和处理组之间存在显著差异 (*: 0.01<P≤0.05; **: 0.001<P≤0.01; ***: P≤0.001; Mantel-Cox检验)。
The concentrations of eco-membranes in panels a, b, and c are 10, 5, and 2.5 g/L, respectively. Asterisks indicate significant differences between control and treated groups (*: 0.01<P≤0.05; **: 0.001<P≤0.01; ***: P≤0.001; Mantel-Cox test).

图 3 不同浓度生态膜处理后二斑叶螨雌成螨的存活曲线

Fig. 3 Survival curves of female adult *Tetranychus urticae* after treatment with eco-membranes at different concentrations

生态膜的不同作用方式还可降低二斑叶螨总产卵量(图 4,表 1)。例如 2.5 g/L 的生态膜处理,胃毒触杀组的单雌总产卵量(4.1 粒)低于触杀组(10.6 粒,P<0.001)和对照组(7.9 粒,P=0.006),说明胃毒触杀联合作用比触杀方式对二斑叶螨的总产卵量的影响更大。意外的是,生态膜的

胃毒触杀处理中,10 g/L 浓度下叶螨总产卵量(11.3 粒)高于 2.5 g/L 浓度处理(4.1 粒),表明该方式下,低浓度可抑制总产卵量(图 4c)。但当忽略生态膜的处理方式,浓度对叶螨的产卵无显著影响。



图中不同的小写字母表示经 LSD 检验差异显著(P<0.05)。
Different lowercase letters indicate significant differences within each group (P<0.05; LSD test).

图 4　不同生态膜作用方式下二斑叶螨雌成螨的繁殖力差异

Fig. 4　Difference in fecundity of female adult *Tetranychus urticae* after treatment with different modes of action eco-membranes

表 1　浓度和作用方式对生态膜处理下二斑叶螨雌成螨繁殖力和寿命的影响[1)]

Table 1　Effects of concentration and mode of action on the fecundity and longevity of female adult *Tetranychus urticae* treated with eco-membranes

观测指标 Observed index	变异来源 Source of variation	卡方 χ^2	自由度 df	P
寿命 Longevity	C	7.350	3	0.062
	T	9.259	2	0.010
	C×T	5.848	6	0.321
总产卵量 Lifetime fecundity	C	2.192	3	0.534
	T	14.987	2	<0.001
	C×T	10.281	6	0.068

1) C:浓度;T:作用方式。
C: Concentration; T: Mode of action.

生态膜浓度和作用方式也无交互作用(表 1),说明生态膜对二斑叶螨产卵的影响是由作用方式引起的。

3　结论与讨论

二斑叶螨凭借繁殖能力强、世代周期短、隐蔽性强、食性广以及环境适应性强等特点,对多种杀螨剂产生抗药性和交互抗性,是公认的最难防治的有害生物之一[35]。在此背景下,新型防控手段的探索显得尤为重要[36-38]。本研究明确了生态膜对二斑叶螨的作用效果,从作用方式和浓度两个角度揭示了生态膜对二斑叶螨的影响机制。研究结果显示,生态膜对低龄二斑叶螨的发育和寿命影响较小,各螨态发育历期及存活率与对照组相比无显著差异。但生态膜对二斑叶螨雌成螨具有显著的防控效果,尤其是胃毒触杀联合作用,可大幅降低二斑叶螨雌成螨的存活率和繁殖力,在胃毒触杀作用中运用 10、5 g/L 及 2.5 g/L 浓度的生态膜进行处理时,二斑叶螨雌成螨 10 d 存活率均降至 15%。我们推测可能的原因是,聚乳酸-壳聚糖共聚物具备良好的成膜性与黏附性,可紧密附着于叶螨体表面,阻塞其气门与感觉器官,干扰其呼吸和感知功能,致使叶螨生理功能紊乱;叶螨取食时,薄膜随食物进入消化系统,在胃内维持一定结构完整性,阻碍叶螨正常消化吸收。同时,壳聚糖本身的生物活性与抗菌性,可改变叶螨体内生理生化环境,干扰或破坏叶螨体内生理平衡,导致细胞功能受损。此外,胃毒和触杀联合作用可使纳米碳酸钙在叶螨体表或体内特定部位富集,增加了生态膜中碳酸钙对叶螨细胞渗透能力的抑制作用,从而从胃毒与触杀两个层面提升防控二斑叶螨效果。

与传统化学农药相比,生态膜主要组分为壳聚糖、聚乳酸等天然高分子材料,易降解,安全环保,不易产生农药残留问题,符合农业绿色发展需求;其次,生态膜能有效解决二斑叶螨对化学农药的抗性问题。已有研究证明,应用于苹果免套袋栽培的生态膜,可有效替代纸膜,与 5%香芹酚水剂、几丁聚

糖等植物(生物)源农药协同,对二斑叶螨、早期落叶病等病虫害具有较好的防治效果,可显著提升果品品质和产量[36-39]。因此,未来可进一步改良生态膜的配方和使用方法,提高其在胃毒和触杀作用中的活性成分利用率,增强对害螨的防控效果。此外,还可开展生态膜与其他生物防治手段或低毒化学农药的复配研究,探索综合防治二斑叶螨的创新策略,实现对二斑叶螨的可持续防控。

参考文献

[1] BALCI M H, AY R. Effects of some insecticides on the biological parameters of *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) [J]. International Journal of Tropical Insect Science, 2023, 43(2): 485-493.

[2] 王然, 李昀忆, 罗晨. 二斑叶螨的识别与防治[J]. 蔬菜, 2023(7): 83-84.

[3] SHORT B D, JANISIEWICZ W, TAKEDA F, et al. UV-C irradiation as a management tool for *Tetranychus urticae* on strawberries [J]. Pest Management Science, 2018, 74(11): 2419-2423.

[4] VAN LEEUWEN T, VONTAS J, TSAGKARAKOU A, et al. Acaricide resistance mechanisms in the two-spotted spider mite *Tetranychus urticae* and other important Acari: A review [J]. Insect Biochemistry and Molecular Biology, 2010, 40(8): 563-572.

[5] PAPATYA T, ŞAHIN K, İSMAIL K. Biological control of two spotted spider mites [*Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae)] using *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot (Acari: Phytoseidae) at different ratios of release on field-grown tomatoes [J/OL]. Biological Control, 2020, 151: 104404. DOI: 10.1016/j.biocontrol.2020.104404.

[6] 郑大浩, 金大勇. 延边玉米截形叶螨与二斑叶螨的危害及防治[J]. 湖北农业科学, 2015, 54(15): 3668-3670.

[7] 王淑荣. 甘肃天水苹果园二斑叶螨的发生及防控[J]. 果树实用技术与信息, 2024(9): 35-38.

[8] 金洪洲, 康建, 胡勇, 等. 二斑叶螨化学防治研究进展[J]. 云南化工, 2024, 51(10): 23-28.

[9] SHEN Ning, LI Yao, LEVITICUS K, et al. Effect of broflanilide on the phytophagous mite *Tetranychus urticae* and the predatory mite *Typhlodromips swirskii* [J]. Pest Management Science, 2021, 77(6): 2964-2970.

[10] 陈秀, 方朝阳, 高永东, 等. 腈吡螨酯对扁豆二斑叶螨的田间药效及安全性评价[J]. 农药科学与管理, 2024, 45(1): 39-43.

[11] 聂鹏成, 杨若兰, 袁绍, 等. 乙唑螨腈亚致死剂量对二斑叶螨解毒酶系的影响[J]. 西北农业学报, 2023, 32(8): 1297-1305.

[12] 李娅, 郭晓君, 畅元生, 等. 联苯肼酯与阿维菌素对山楂叶螨的联合毒力[J]. 植物保护, 2025, 51(3): 296-300.

[13] 马月月, 方荧, 孙玲, 等. 45%联苯肼酯·乙螨唑悬浮剂的配方开发及对茄子红蜘蛛的防治效果[J]. 世界农药, 2025, 47(11): 49-53.

[14] GUERRINI A, MORANDI B, RONCADA P, et al. Evaluation of the acaricidal effectiveness of fipronil and phoxim in field populations of *Dermanyssus gallinae* (De Geer, 1778) from ornamental poultry farms in Italy [J/OL]. Veterinary Sciences, 2022, 9(9): 486. DOI: 10.3390/vetsci9090486.

[15] GUO Xingxing, CHENG Jinhui, LIU Peilin, et al. Enantioselectivity mechanism of etoxazole enantiomers in *Tetranychus cinnabarinus*: Acaricidal activity, metabolic difference, and target binding [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2025, 73(1): 216-223.

[16] XU Dandan, LIAO Haojie, HE Chao, et al. Expression reduction and a variant of a P450 gene mediate chlorpyrifos resistance in *Tetranychus urticae* Koch [J]. Journal of Advanced Research, 2025, 74: 1-11.

[17] 马玉婷, 魏娟, 李相敢. 昆虫抗药性检测方法研究进展[J]. 生物技术进展, 2017, 7(4): 272-278.

[18] 田甜, 张妍, 张友军, 等. 蒜和葱上二斑叶螨的发生为害及其抗药性监测[J]. 植物保护, 2023, 49(4): 302-308.

[19] 唐艳. 生物防治在农业病虫害防治上的应用[J]. 吉林蔬菜, 2024(1): 75.

[20] 吴焕振, 杨野, 崔秀明, 等. 农业生物防治技术的现状及改进策略[J]. 生物技术进展, 2024, 14(5): 697-711.

[21] 杨楠. 天敌昆虫在林业有害生物防治中的应用[J]. 现代园艺, 2024, 47(10): 59-60.

[22] 赖艳, 刘星月. 中国草蛉科天敌昆虫及其生防应用研究进展[J]. 植物保护学报, 2020, 47(6): 1169-1187.

[23] BASHA H A, MOSTAFA E M, ELDEEB A M. Mite pests and their predators on seven vegetable crops (Arachnida: Acari) [J]. Saudi Journal of Biological Sciences, 2021, 28(6): 3414-3417.

[24] 张娜, 刘玉升, 谢丽霞. 叶螨的重要天敌——深点食螨瓢虫的研究进展[J]. 应用昆虫学报, 2019, 56(4): 662-671.

[25] 李戎, 葛钊宇, 刘星, 等. 三种捕食螨对温室草莓二斑叶螨的防治效果[J]. 南方农业, 2020, 14(25): 15-19.

[26] 陈晓旭, 那明慧, 赵睿杰, 等. 应用捕食螨与生物药剂防治草莓二斑叶螨的试验研究[J]. 农业科技通讯, 2024(2): 68-72.

[27] 徐学农, 吕佳乐, 王恩东. 捕食螨在中国的研究与应用[J]. 中国植保导刊, 2013, 33(10): 26-34.

[28] PALEVSKY E, WALZER A, GAL S, et al. Evaluation of dry-adapted strains of the predatory mite *Neoseiulus californicus* for spider mite control on cucumber, strawberry and pepper [J]. Experimental & Applied Acarology, 2008, 45(1/2): 15-27.

[29] KOCH E, OLE BECKER J, BERG G, et al. Biocontrol of plant diseases is not an unsafe technology! [J]. Plant Diseases and Protection, 2018, 125: 121-125.

[30] 马思娟，李乐. 天敌昆虫在林业害虫防治中的应用[J]. 乡村科技，2023，14(10)：111－113.
[31] ALHARBI W，SANDHU S K，ARESHI M，et al. Revisiting implementation of multiple natural enemies in pest management [J/OL]. Scientific Reports，2022，12(1)：15023. DOI：10.1038/s41598-022-18120-z.
[32] 郑永全，马永胜，刘红宜，等. 不同浓度华碘抗胁迫生态膜对免套袋苹果叶片和果实性状及栽培效果的影响[J]. 陕西农业科学，2024，70(7)：22－28.
[33] 张肖肖. 东方钝绥螨对烟粉虱和朱砂叶螨的捕食、喜好性以及生命表的研究[D]. 北京：中国农业科学院，2015.
[34] 王龙，胡月. 5 种杀虫剂对朱砂叶螨的室内生测活性比较[J]. 绿色科技，2021，23(11)：172－174.
[35] 张志刚，沈慧敏，段辛乐，等. 二斑叶螨对螺螨酯抗药性及对 18 种杀螨剂交互抗性[J]. 植物保护，2011，37(1)：82－85.
[36] 韩玉侠，李前进，刘向阳，等. 苹果喷施碳酸钙保护剂与果实套袋效应的比较试验[J]. 落叶果树，2024，56(4)：31－34.
[37] 沈煜铠，何意林. 香芹酚水剂对苹果树红蜘蛛农药学评价[J]. 兰州交通大学学报，2022，41(3)：133－138.
[38] 杨莉. MG-1S 型无人机作业参数及喷洒生物制剂对枣果病害和品质的影响[D]. 阿拉尔：塔里木大学，2018.
[39] 左太强，张永军，吴平. 几丁聚糖水剂对桃蚜的田间防效研究[J]. 中国果菜，2017，37(10)：13－16.

（责任编辑：杨明丽）

（上接 134 页）

[34] SAXENA S，MISHRA G，OMKAR. Inbreeding avoidance in aphidophagous ladybird beetles：a case study in *Menochilus sexmaculatus* [J]. Canadian Journal of Zoology，2016，94(5)：361－365.
[35] 孙芳，陈中正，段毕升，等. 蝇蛹金小蜂的交配行为及雄蜂交配次数对雌蜂繁殖的影响[J]. 生态学报，2013，33(14)：4354－4360.
[36] BAYOUMY M H，MICHAUD J. Female fertility in *Hippodamia convergens* (Coleoptera：Coccinellidae) is maximized by polyandry，but reduced by continued male presence [J]. European Journal of Entomology，2014，111(4)：513－520.
[37] FOX C. Multiple mating，lifetime fecundity and female mortality of the bruchid beetle，*Callosobruchus maculatus* (Coleoptera：Bruchidae) [J]. Functional Ecology，1993，7(2)：203－208.
[38] 张方平，朱俊洪，陈俊谕，等. 补充营养对副珠蜡蚧阔柄跳小蜂成虫寿命及生殖能力的影响[J]. 中国生物防治学报，2023，39(4)：767－773.
[39] LEATEMIA J，LAING J，CORRIGAN J. Effects of adult nutrition on longevity，fecundity，and offspring sex ratio of *Trichogramma minutum* Riley (Hymenoptera：Trichogrammatidae) [J]. The Canadian Entomologist，1995，127(2)：245－254.

（责任编辑：杨明丽）

（上接 154 页）

[23] WHITE T，BRUNS T，LEE S，et al. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics [J]. Guide to Methods and Applications，1990，31(38)：315－322.
[24] 李乾，艾玉廷，刘萌晓，等. 24%氰霜·嘧菌酯 SC 对马铃薯黑痣病的防效[J]. 农药，2024，63(5)：382－385.
[25] 刘霞，冯蕊，高达芳，等. 云南省马铃薯黑痣病病原菌融合群鉴定及 8 种药剂对其的毒力[J]. 植物保护，2016，42(2)：165－170.
[26] 曹春梅，王晓娇，许飞，等. 内蒙古地区马铃薯黑痣病立枯丝核菌融合群及致病性研究[J]. 中国马铃薯，2018，32(5)：293－302.
[27] 牟明，赵伟，杨明秀，等. 黑龙江马铃薯黑痣病菌生物学特性及菌丝融合群的鉴定[J]. 中国瓜菜，2017，30(10)：12－17.
[28] YANG Yonggang，ZHAO Can，GUO Zejian，et al. Potato stem canker caused by binucleate *Rhizoctonia* AG-G in China [J]. Journal of General Plant Pathology，2015，81(17)：48－53.
[29] 乔广行，黄金宝，刘梅，等. 10 种杀菌剂对马铃薯黑痣病病菌的室内毒力测定[J]. 中国植保导刊，2016，36(12)：64－65.
[30] 杨春. 45%噻呋酰胺·嘧菌酯 SC 对马铃薯黑痣病的田间防效[J]. 农药，2019，58(11)：838－840.
[31] 侯作鹏，惠娜娜，李继平，等. 6 种杀菌剂对马铃薯黑痣病菌的毒力和拌种防效[J]. 植物保护，2022，48(2)：260－265.
[32] 杨茹薇，邢斌德，刘易，等. 马铃薯黑痣病防治药剂筛选试验[J]. 现代农业科技，2021(14)：91－92.
[33] 吴志会，陆晴，甄志华，等. 杀菌剂对马铃薯黑痣病菌的室内毒力及田间防效[J]. 中国瓜菜，2021，34(6)：68－72.
[34] 王天君，陈志垚，杨霞，等. 木霉菌对马铃薯黑痣病菌的拮抗作用及防效研究[J]. 黑龙江八一农垦大学学报，2021，33(5)：22－29.
[35] 董爱菊，邱慧珍，魏茹云，等. 类芽孢杆菌 qhz11 对马铃薯黑痣病的生防效果[J]. 微生物学通报，2021，48(11)：4087－4099.
[36] 许丽婷，陈佳欣，李欢欢，等. 生防菌 xc-1 的筛选、鉴定及其对马铃薯黑痣病的防效研究[J]. 植物病理学报，2021，51(3)：413－422.
[37] 金山，吴京姬，金日，等. 杀菌剂对马铃薯黑痣病防效及安全性[J]. 农业与技术，2022，42(20)：16－18.

（责任编辑：杨明丽）