

巴氏新小绥螨在害螨、蓟马等防治中的研究及应用进展

任瑞瑞^{1,2}, 张治科¹

(1. 宁夏农林科学院植物保护研究所 银川 750002; 2. 北方民族大学生物科学与工程学院 银川 750021)

摘要: 各类害螨、蓟马等农业害虫(螨)严重影响了农作物的产量和品质, 利用巴氏新小绥螨 *Neoseiulus barkeri* Hughes 等捕食螨进行生物防治是一种被广泛应用于设施黄瓜、辣椒等作物上的方法。本文阐述了巴氏新小绥螨的研究现状与应用进展, 包括温湿度、光周期对其生长发育、繁殖力及生殖滞育的影响; 分析了其对叶螨、蓟马、线虫等不同猎物的捕食功能反应及对替代食物的利用能力; 探讨了该螨对高温、紫外辐射、低温贮藏的耐受性以及对抗常用杀虫剂的抗性机制; 总结其与昆虫病原真菌、选择性药剂或其他天敌联合使用的协同控害效果。在此基础上, 简述了巴氏新小绥螨规模化繁育及田间精准化应用的情况, 并展望了巴氏生物防治的精准化与高效化需要突破的技术问题和未来发展方向, 有助于科学评估其在生物防治中的应用潜力, 对推动生态环境保护和果蔬等经济作物产业可持续发展具有一定借鉴意义。

关键词: 巴氏新小绥螨; 生物防治; 害螨; 蓟马

中图分类号: S476

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2026)07-023-09

Advances in research and application of *Neoseiulus barkeri* in the control of mite pests, thrips, and other pests

Ren Ruirui^{1,2}, Zhang Zhike¹

(1. Institute of Plant Protection, Ningxia Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Yinchuan 750002, Ningxia, China; 2. College of Biological Science and Engineering, North Minzu University, Yinchuan 750021, Ningxia, China)

Abstract: Various agricultural pests such as mite pests and thrips severely impact the production and quality of crops. The use of predatory mites such as *Neoseiulus barkeri* for biological control is a widely adopted approach on the crop of cucumber and pepper etc. The authors elaborates the current research status and application advances regarding *N. barkeri*, including the effects of temperature, humidity, and photoperiod on its growth, reproduction, and reproductive diapause. It analyzes the predatory functional responses of *N. barkeri* Hughes to different prey such as spider mites, thrips, and nematodes, as well as its ability to utilize alternative food sources. The tolerance of *N. barkeri* to high temperature, ultraviolet radiation, and low-temperature storage, along with its resistance mechanism to commonly used insecticides, is also explored. Furthermore, this review summarizes the synergistic pest control effects achieved by combining *N. barkeri* with entomopathogenic fungi, selective pesticides, or other natural enemies. On this basis, the article briefly describes the large-scale rearing and field-based precision application of *N. barkeri*, and discusses the technical challenges and future directions required to achieve more precise and efficient biological control using this species. This review helps to scientifically evaluate the potential of *N. barkeri* in biological control and contributes to the promotion of conservation and sustainable agricultural development in the economic crop industry such as fruits and vegetables.

Key words: *Neoseiulus barkeri* Hughes; Biological control; Mite pests; Thrips

蔬菜、瓜类作物是我国重要的经济作物, 由于其种植周期短、种植密度大、复种指数高, 害虫发生频繁且危害严重, 因此在农业生产领域, 害螨、蓟马等农业害虫(螨)的危害一直是影响农作物产量和

品质的重要问题^[1]。国内外针对害螨的防治研究呈现多元化趋势, 既包括对传统化学防治的优化, 也涵盖生物防治的创新探索。传统化学防治在虫螨暴发时具备速效优势, 但其不当或过度使用可能带

收稿日期: 2025-11-13; 修回日期: 2026-03-04

基金项目: 宁夏农业科技自主创新资金专项(NKYGG-2026-20, NKYG-25-06)

作者简介: 任瑞瑞, 女, 在读硕士研究生, 研究方向为生物科学。E-mail: 3569565340@qq.com

通信作者: 张治科, 男, 研究员, 主要从事昆虫生态与综合防治研究。E-mail: zhangzhike98@163.com

来健康与环境风险、与天敌不相容以及对天敌的致死与亚致死效应,最终诱发害虫再度猖獗的现象^[2]。因而生物防治逐渐取代化学防治,例如一些唇形科、菊科、桃金娘科和伞形科分类单元的植物可以纳入控制害虫方案^[3]。又比如由红花和棉籽油制成的生物杀虫剂对难以控制的二斑叶螨(*Tetranychus urticae* Koch)具有显著的杀卵活性^[4]。除了将传统人工合成农药替换成植物源农药,巴氏新小绥螨(*Neoseiulus barkeri*)这类捕食螨因生态友好与持效性而在生物防治中占据重要地位,被广泛应用于设施黄瓜、辣椒、各类果园和烟草等经济作物上。

尽管巴氏新小绥螨在农业防治中对害螨防治取得良好成效,但对其作用机制仍缺乏系统性认识。笔者围绕巴氏新小绥螨的捕食能力、行为机制与其他天敌或药剂的互作规律展开研究,对减少化学投入、优化释放策略与参数、提升生物防治持效性以及完善害螨治理理论与实践具有重要意义。据此聚焦在整合国内外进展的基础上,概述巴氏新小绥螨的养殖和应用技术要点、关键行为生态机制与抗性相关研究,为制定农作物控螨方案提供参考依据。

1 生物防治概述

捕食性天敌作为自然生态系统的重要组成部分,对害虫种群的自然调控起着关键作用,其中捕食性植绥螨已成为商品化程度最高、应用最广的天敌类群之一。大棚黄瓜试验结果表明,联合释放2种捕食螨可有效控制叶螨(tetranychidae),叶螨密度与2种捕食螨密度之比存在一定数量关系,77.6头·株⁻¹为优势反转临界值^[5]。由此捕食螨开始在市场打开新的局面,智利小植绥螨(*Phytoseiulus persimilis*)成为首个商品捕食螨,后续已有更多种类的植绥螨得到开发与应用;时至今日,捕食螨已发展为自然天敌中商品化程度最高的类群之一^[6]。通过评估捕食螨释放密度对烟粉虱的防控效果,比较生物防治与化学防治的持效性,发现低密度时防效超90%,且其持效期长于化学防治^[7]。隶属于多食性植绥螨类群的巴氏新小绥螨,该螨取食范围广泛,除可捕食芒果茶黄蓟马(*Scirtothrips dorsalis* Hood)这类蓟马类害虫外,还能以叶螨、介壳虫(coccidae)、蚜虫(aphididae)等多种小型节肢动物为食,在食物资源匮乏时也可取食花粉维持生存^[8]。

有研究发现,巴氏新小绥螨对豆荚花蓟马(*Megalurothrips usitatus*)的田间防治效果与化学药

剂多杀菌素相当,且释放巴氏新小绥螨可有效保护田间节肢动物多样性,维持生态系统稳定性^[9]。因而在生物防治领域,巴氏新小绥螨因具有独特的生态适应性和捕食效能,成为研究焦点。巴氏新小绥螨之所以能够作为捕食螨,是因为巴氏新小绥螨能够通过气味定位被猎物危害的植株,以此来有效地搜寻猎物^[10]。这一行为机制让巴氏新小绥螨在捕食螨的市场上大受欢迎,国内果园或蔬菜大棚内均可利用这一特性控制害螨,减少损失。

为了使除螨效果更好,有学者研究指出,将球孢白僵菌(*Beauveria bassiana*)与低剂量联苯肼酯、乙唑螨腈进行混配,能够提升对二斑叶螨的防治效果,同时减少化学农药的使用量^[11]。毛加梅等^[12]研究捕食螨释放量对柑橘全爪螨(*Panonychus citri* McGregor)的影响,结果表明,若直接释放捕食螨对柑橘全爪螨进行防控,效果往往较差,因此采用化学防治方法先降低柑橘全爪螨的种群基数,再释放捕食螨,从而实现对该害虫的长期有效防控。为了防止传统农药在去除害螨的同时影响巴氏新小绥螨生长,针对巴氏新小绥螨抗性品系的研究也在进行中,其中溴氰菊酯抗药性品系和毒死蜱抗性选育取得了较好的成果^[13]。在二斑叶螨密度较小时,引入天敌巴氏新小绥螨,观察它与本地天敌高氏蓟马(*Thrips gaoi*)间的种间捕食行为,发现巴氏新小绥螨的存在不仅缩短了高氏蓟马的发育时间,并维持高氏蓟马的繁殖能力,印证了种间捕食是应对猎物短缺的适应性策略的假说,通过利用种间猎物维持捕食者生存、发育与繁殖,进而减少持续释放天敌的需求。

2 巴氏新小绥螨生物学特性

巴氏新小绥螨是一类重要的捕食螨,已发现的种类超过2700种。巴氏新小绥螨分类上隶属于植绥螨科(Phytoseiidae)新小绥螨属(*Neoseiuhis*)。从全球分布格局来看,巴氏新小绥螨在欧洲及美国的分布范围最广;而在我国境内,该螨类物种的主要分布区域则涵盖福建、广东、江西、湖南、云南与河北等省份^[14]。

2.1 生活史与生殖方式

巴氏新小绥螨的生活史与生殖方式受环境条件调控,在非滞育条件下,从卵、幼虫、前若螨至后若螨总时长为8.42 d,经历3次蜕皮,雌成螨羽化后第1天卵巢刚启动发育,第2天卵巢明显膨大,第3天卵巢充满卵黄颗粒且卵与卵巢分离并进入产卵

状态,腹部圆大;在滞育条件下,幼期总时长延长至18.57 d,蜕皮时间延迟但蜕皮次数仍为3次,雌成螨卵巢始终停滞在无卵黄颗粒状态,腹部扁平且全程不产卵,该滞育状态是其冬季越冬策略;在生殖上,该螨需在后若螨期完成交配才能产卵,未交配雌螨无产卵能力,温度合适情况下卵孵化率更高^[15]。巴氏新小绥螨采用两性生殖模式,其中,雌性个体在发育至后若螨阶段或成螨阶段时,可与雄性成螨完成交配,且雌性个体的交配次数与其产卵量呈正相关关系^[16]。巴氏新小绥螨的发育历期比较短,在发育阶段,幼螨和前若螨时期都不捕食猎物,仅摄取水分维持生存,成螨阶段通过交配繁殖后代,且在食物资源匮乏时会出现自相残杀的现象^[17]。

综合相关研究结果,巴氏新小绥螨的最适生存温度约为25℃,通常控制在(25±1)℃或(25.5±1)℃,此温度条件可保障其正常的发育历期、较高的繁殖能力及稳定的捕食效率,利于种群维持与控害功能的发挥^[18]。温度是影响巴氏新小绥螨生长发育及生殖过程的关键因素,随着环境温度的升高,该螨的发育历期呈现缩短趋势,发育速率则相应加快。就该螨的产卵前期而言,其时长随温度升高表现出先缩短、后延长的变化规律:当环境温度上升至特定阈值后,产卵前期不仅不再继续缩短,反而会出现延长现象。这一现象表明,环境温度过低或过高均会对该螨的产卵过程产生不利影响^[19]。

2.2 环境因子调控机制

上述生活史特征不仅受内在遗传因素调控,还显著受制于外部环境条件。环境因子通过影响代谢速率、行为模式和生理状态,进而调控其发育历期、繁殖能力和捕食效能。有研究在海拔约3642 m的西藏拉萨实验室条件下评估了包含巴氏新小绥螨的四种捕食螨的适合度与捕食能力,结果显示,巴氏新小绥螨预成虫存活率极低^[20]。巴氏新小绥螨的生长、发育及繁殖过程受温度、湿度、光照等环境因素与食物这一营养因素的共同影响^[21]。环境因素如温度、湿度、光照、食物资源是调控巴氏新小绥螨发育过程的关键因素^[22]。以光照条件为例,当环境处于短光照状态时,巴氏新小绥螨个体通常会表现出滞育特性^[23],当环境处于长光照条件时,巴氏新小绥螨个体通常不会进入滞育状态^[24]。当光照时长超过12 h时,巴氏新小绥螨各发育阶段历期将随光照时长的延长而缩短;当光照时长不足12 h时,该螨各发育阶段历期则随光照时长的缩短而延长。光

周期为影响巴氏新小绥螨各螨态存活率的核心环境因素,但该因素对其雌雄性别比例无显著调控作用^[25]。湿度条件的变动对巴氏新小绥螨的生长发育过程与种群增长过程也存在显著调控作用,其体内水分平衡会随湿度波动发生改变:在低湿度环境中,该螨存活率显著下降;高湿条件虽有利于成螨生长,但会导致卵孵化率及幼螨、前若螨存活率降低^[26-27]。此外,食物资源匮乏会造成巴氏新小绥螨的发育进程受阻,当猎物只有刺足根螨(*Rhizoglyphus echinopus*)时,其营养水平不足以支撑该螨度过完整的发育过程^[28]。

2.3 食性特征与农业应用

除了叶螨、蓟马这两类常见猎物外,蚜虫、木虱、粉虱、介壳虫等刺吸式害虫,以及蚊蝇类幼虫、跳虫、线虫等其他类群的有害生物均能被巴氏新小绥螨捕食^[10,29-30]。比如前人研究巴氏新小绥螨对马铃薯腐烂茎线虫(*Ditylenchus destructor*)的捕食作用,结果表明,其在28℃时日捕食量达到最高,为52.69条,具有较大的防治潜力^[31]。由于巴氏新小绥螨具备捕食范围宽泛、捕食能力较强且人工繁殖难度较低的特性,在农业生物防治领域得到广泛应用^[32]。

在农业防治上,巴氏新小绥螨的田间释放通常选择在春季与秋季,该释放方式能对叶螨种群数量产生显著的抑制效应。与化学药剂防治手段相比,尽管其防治效果在速效性方面表现较弱,但在持效性上展现出显著优势,能够有效避免叶螨种群在停止施药后短期内再度猖獗的现象^[33]。通过在温室大棚番茄植株上释放巴氏新小绥螨,发现该螨对烟粉虱(*Bemisia tabaci*)自然种群可产生显著抑制效应;与化学农药防治手段相比,以释放巴氏新小绥螨为核心的生物防治措施在防治效果的稳定性与长效性上优势更突出^[7]。在进行防治时,通常配合其他试剂进行协同防控,这样防控效率大幅提升,例如利用植物油乳剂与巴氏新小绥螨配合施用,其表现出较好的长期控制效果^[34]。其他方法详见下文3.4。

2.4 环境胁迫下的生理适应机制

巴氏新小绥螨在环境胁迫下展现出复杂的生理适应机制,其核心是通过抗氧化酶系统激活与热激蛋白(HSPs)表达调控实现对多类型胁迫的响应。在高温胁迫下,通过长期暴露在35℃与短时暴露在45℃环境筛选获得高温品系,其表现出显著提升的耐热性,雌成螨在45℃下的半致死时间较常温品系延长8倍^[35]。此外,紫外线(UV-B)胁迫

可诱导巴氏新小绥螨抗氧化酶活性升高,通过增强SOD、POD等酶的协同作用缓解氧化损伤^[36]。高温低湿共同胁迫下,螨体通过调节能量代谢通路维持渗透平衡,同时HSPs家族成员快速表达以增强细胞蛋白质稳定性^[37]。在耐寒性方面,巴氏新小绥螨常温品系的过冷却点显著低于耐高温品系,低温胁迫可诱导积累海藻糖、甘油以减轻冰晶与氧化损伤,从而增强常温品系对低温胁迫的耐受能力;且高温品系的抗氧化酶活性整体低于常温品系,这体现出高温适应性提升与耐寒性下降之间的适应性权衡^[38]。

3 巴氏新小绥螨的饲养方法与田间释放策略

植绥螨大多捕食叶螨、瘿螨、附线螨、细须螨等小型节肢动物,以及介壳虫、粉虱、蓟马和小蛾类的卵等,这些均属于天然猎物。植绥螨种类繁多,其食性专化程度差异较大。根据食物对生存和繁殖的作用,可将其分为两类:能维持生存并促进繁殖的食物和仅能维持生存但不能促进繁殖的食物^[39]。自巴氏新小绥螨发掘以来,人工繁育与应用技术已获得系统性深入研究,当下在治理多种农业害螨及微小害虫方面实现了广泛推广,按照其食性,对于巴氏新小绥螨等捕食螨的人工饲养方法也分为以下几类。

3.1 国内外饲养方法

常见的自然猎物法是指利用自然界中捕食螨的天然猎物作为食物进行饲养的方法。通过食物链重构实现了利用天敌昆虫的低成本产业化繁殖,该方法对智利小植绥螨、拟长毛钝绥螨(*Amblyseius pseudolongispinosus*)等专食性捕食螨应用效果很好,其基本模式遵循“寄主植物-猎物-天敌”三级营养关系^[40]。其优点是成本低、防效显著;缺点是技术性强,需严格掌握采收期,以防叶螨减少后捕食螨外迁,且系统依赖单一猎物,种间竞争激烈,寄主转换存在空窗期,但仍是当前以螨治螨最成功、为商业化生产奠定基础的技术体系。

在自然猎物成本高或难以获得的情况下,选择其他害螨或生物也是一种方法。替代猎物繁殖法是指在捕食螨规模化人工饲养中,不使用其天然猎物,而采用更易培养、成本更低的其他猎物作为替代食物的技术体系。这种方法主要用于兼食性捕食螨,如巴氏新小绥螨等,其核心是通过食物转换实现天敌昆虫的低成本工厂化生产。例如,有研究

者系统评估了长期用替代猎物腐食酪螨(*Tyrophagus putrescentiae*)饲养巴氏新小绥螨,为规模化养殖提供了关键依据。结果表明,虽连续16个月用腐食酪螨饲养,该捕食螨仍显著偏好目标叶螨猎物,且对二斑叶螨的猎食效能不受影响,低温贮存50 d存活率超78%^[41]。除了利用成虫螨作为代替食物,也有研究利用虫卵饲养巴氏新小绥螨,仍然能在自然猎物匮乏时保障其繁殖潜能^[42]。在人工饲养时,经过长期研究,研制出适用于巴氏新小绥螨的人工饲料配方及配套的大规模饲养技术,从而建立了该天敌螨的工厂化繁育体系。先在饲养容器中添加适宜培养料,并接种粉螨作为猎物,在自然温度下培育至适当种群密度;随后按特定比例接入巴氏新小绥螨,继续培养直至其种群数量达到预定标准,最后进行收集与成品包装^[43]。

3.2 释放策略选择

巴氏新小绥螨在田间应用中的释放密度、释放时机、种群建立、配套释放器具都会影响防治效果,在烟草与杂草上,施用3次巴氏新小绥螨对西花蓟马的防治效果最佳,持效期最长,最高相对防效达58.02%;施用2次的效果次之,最高相对防效为55.57%;仅施用1次的效果最差,持效期也最短,最高相对防效仅为49.96%^[44]。除了释放次数影响防治效果以外,释放时间和与其他措施联用也同样重要。针对温室黄瓜上的西花蓟马(*Frankliniella occidentalis* Pergande),巴氏新小绥螨单放及其与诱虫板联用的田间防控效果不一样,2种释放策略对6月上旬种群高峰期均具有显著压制作用,其中单放捕食螨的校正防效达61.18%,而捕食螨与诱虫板联用处理的校正防效为52.84%^[45]。针对烟粉虱的田间防控结果显示,在低密度种群条件下,巴氏新小绥螨的防控效能可在90%以上;但随着靶标害虫密度攀升,其压制效果呈现递减趋势。相较于化学防治,该生物防治策略在持效期与生态稳定性方面具备明显优势,更适宜作为长效治理手段^[7]。

4 巴氏新小绥螨的捕食能力

巴氏新小绥螨具备广食性特征,可捕食多种小型害螨类群,同时还具有发育历期短、自然死亡率低、产卵率高、扩散能力强、田间持效期长等生物学优势。此外,该螨亦是多种昆虫的自然天敌,在农业生产领域应用范围十分广泛;目前已有众多学者围绕其捕食对象、捕食行为等关键方向开展了系列研究。

4.1 巴氏新小绥螨的捕食对象

巴氏新小绥螨对水稻干尖线虫(*Aphelenchoides besseyi* Christie)与南方根结线虫(*Meloidogyne incognita*)均表现出较强的捕食活性及种群控制能力;此外,当该螨取食这2种线虫时,其前若螨历期显著长于以腐食酪螨为食时的对应历期。综合其对目标线虫的防控效果,该螨可作为防控上述线虫的潜在天敌捕食螨^[46-47]。研究证实,巴氏新小绥螨对朱砂叶螨(*Tetranychus cinnabarinus*)具有显著捕食效能;基于这一特性,该螨可作为防控朱砂叶螨的潜在生物防治因子。因此,在田间应用场景中,可通过释放巴氏新小绥螨有效控制朱砂叶螨对作物的危害^[48]。王恩东等^[49]研究发现,巴氏新小绥螨可以与其他物质联合应用防治烟草西花蓟马。曹源智等^[50]室内观测巴氏新小绥螨对枸杞瘿螨(*Aceria pallida* Keifer)的捕食情况,研究结果表明,雌螨理论最大日捕食量106.61头,雄螨51.02头,雌螨捕食量、攻击率显著高于雄螨,搜寻效应随猎物密度增大而降低,雌螨搜寻能力更强。张丹等^[51]进行田间释放试验,比较巴氏新小绥螨与阿维菌素联用对苹果全爪螨(*Panonychus ulmi* Koch)的防控效果,释放14~21 d后防效在70%以上,持效性优于单独施用阿维菌素。巴氏新小绥螨适宜作为芒果茶黄蓟马的天敌生物,同时其对该种害虫还具备较好的防控潜力^[52]。

4.2 巴氏新小绥螨的捕食行为

王蔓等^[53]在室内稳定环境条件下,采用捕食功能反应法研究发现,巴氏新小绥螨对二斑叶螨的总捕食量会随自身种群密度的增加而呈上升趋势,而其捕食作用率则随自身种群密度的增加呈逐步下降趋势。此外,当环境中二斑叶螨各螨态共存时,巴氏新小绥螨会表现出优先捕食二斑叶螨的卵与幼螨的行为偏好。研究结果表明,巴氏新小绥螨对同一猎物的不同虫态及不同种类的猎物均具有取食选择性,在二斑叶螨的各虫态中,巴氏新小绥螨优先选择取食幼螨;研究还发现,无论采用单一猎物还是混合猎物饲养,巴氏新小绥螨均能正常完成生长发育,与单一猎物饲养相比,混合猎物可通过提高巴氏新小绥螨的繁殖率进而增大其种群密度^[54]。

夏晓飞等^[55]在室内条件下开展了添加氨基酸对腐食酪螨种群增长及巴氏新小绥螨捕食功能影响的研究,试验将缬氨酸、亮氨酸、甲硫氨酸、苏氨酸、组氨酸等9种氨基酸分别以1%的含量添加到麦麸

饲料中,系统分析了氨基酸营养干预对替代猎物腐食酪螨和捕食螨巴氏新小绥螨的生态效应。研究发现,在添加氨基酸饲养条件下,就捕食能力而言,添加组氨酸可显著增强巴氏新小绥螨对腐食酪螨的捕食能力,与对照组相比,其捕食能力提升了76.96%。此外,巴氏新小绥螨对捕食场所的选择还会受到植物挥发物的影响。当柑橘叶片受到柑橘全爪螨及刺吸式口器昆虫危害时,叶片会产生挥发物。而巴氏新小绥螨针对这些挥发物的不同成分会表现出各异的行为反应。由此可见,在巴氏新小绥螨进行生境选择与寄主定位的过程中,挥发物发挥着关键作用^[30]。

4.3 影响捕食作用的因素

巴氏新小绥螨的捕食作用受多维度因素影响,首先,其自身的生殖滞育状态显著调控捕食能力,解除生殖滞育的品系相较于滞育品系和普通品系表现出更高的捕食能力指数,这表明滞育解除后,生长发育和捕食功能可快速恢复并且增强^[56]。通过捕食功能反应和个体间干扰反应试验发现,随环境温度的升高,巴氏新小绥螨的攻击系数、捕食能力及最大日均捕食量均呈上升趋势,而其处理猎物的时间则随之缩短;当环境温度高于32℃时,该螨的总捕食量呈现下降趋势^[31]。同样的,陈耀年等^[29]的研究结果表明,在适宜温度范围内,巴氏新小绥螨对二斑叶螨敏感品系与混合抗性品系的捕食功能反应均符合Holling II型模型,在28℃时达到最大值,超过该温度后捕食能力开始下降。高温导致发育加快、产卵期延长、产卵量降低和寿命缩短^[57]。

温度对巴氏新小绥螨捕食二斑叶螨的能力产生显著影响,除了温度,猎物密度同样会对捕食作用产生影响。陈耀年等^[29]发现巴氏新小绥螨的捕食量与二斑叶螨的种群密度呈显著正相关关系;具体来看,该螨对二斑叶螨不同螨态的捕食能力随着猎物螨态发育阶段的推进而逐渐减弱。其中,该螨对二斑叶螨卵的捕食能力最强,对幼螨、第一若螨、第二若螨的捕食能力依次减弱,对成螨的捕食能力最弱^[29]。大多数捕食性天敌对猎物的捕食功能反应呈现Holling-II型特征。就Holling-II型捕食功能类型而言,当猎物密度较小时,被捕食量随其密度增加而逐渐上升;直至猎物密度达到某一阈值后,被捕食量增速趋缓并逐步趋于稳定^[58]。

除了环境物理因子的直接作用外,猎物的生物学特性及捕食者自身状态也是影响捕食行为的关键因素。这些生物因子通过营养供给、行为交互和

生理适应等途径间接调控捕食效能。猎物种类与猎物自身特性是显著调控巴氏新小绥螨捕食效能动态与种群适应性的关键因素。具体表现为,该螨对六点始叶螨(*Eotetranychus sexmaculatus* Riley)、东方真叶螨(*Eotetranychus orientalis*)及比哈小爪螨(*Oligonychus biharensis*)这三种猎物的捕食选择性存在显著差异,其对不同猎物的偏好程度与取食优先级具有明显分化。对六点始叶螨幼螨的日捕食量最高,猎物体营养成分通过生理代谢途径间接影响捕食行为,转录组和蛋白质组分析揭示了捕食差异的潜在机制,KEGG 通路分析显示,甘氨酸、丝氨酸和苏氨酸代谢通路显著富集,差异蛋白主要参与能量代谢和解毒过程,进一步表明猎物营养组成通过调控代谢酶活性影响捕食者的生理状态和捕食效率^[59]。

综上,巴氏新小绥螨的捕食作用是自身发育阶段、温度及分子调控、猎物特性共同作用的结果,滞育状态的调控、猎物螨态组成及环境因素是影响其捕食效能的关键因素,而酶活性变化和基因表达差异则形成其适应性响应的内在机制。

5 巴氏新小绥螨与其他生防因子的协同利用

在当前农业害虫综合治理体系中,化学防治与生物防治是应用最广泛的两类核心手段,其中化学防治因起效快、控害直接,仍是当前应急防控中最有效的措施之一。杀虫剂在田间施用后,除对靶标有害生物及部分非靶标天敌产生直接杀伤作用外,其有效成分的毒力还会随雨水冲刷、光照降解、时间推移等因素逐步衰减,最终降至亚致死剂量水平,进而使田间有害生物及其天敌持续暴露于亚致死浓度的药剂环境或药剂残留毒性中,由于昆虫种群始终处于动态消长过程中,其种群内部分个体接触的杀虫剂剂量常低于致死阈值,进而引发亚致死效应。该效应可从多维度影响昆虫,在生命参数层面,可能导致昆虫寿命缩短或延长、发育周期延长或缩短、繁殖率升高或降低;在行为层面,可能造成其生态行为如取食、趋避、交配等异常;在生理生化与进化层面,则可能引起解毒代谢酶如羧酸酯酶等的活性波动,甚至推动抗药性种群的演化^[60]。生物防治的协同增效策略不仅体现在微生物与捕食螨的联合,还涉及不同天敌昆虫的功能互补。以下从“微生物-捕食螨”和“多天敌组合”两个层面,探讨协同防控的生态机制与应用潜力。

5.1 与虫生真菌联合应用

有研究通过捕食螨与虫生真菌的联合作用对有害生物进行控制。通过这样的方法往往会使捕食螨的捕食效果得到提升。在 35℃ 高温胁迫 6 h 后球孢白僵菌孢子完好,高温胁迫 4 h 后捕食量无显著变化,但捕食潜能小幅增加^[61]。同样,在爪哇虫草菌(*Cordyceps javanica*)与巴氏新小绥螨联合防治温室二斑叶螨的盆栽和田间试验中的结果表明,无论是单独应用爪哇虫草菌或巴氏新小绥螨还是将两者联合应用,均能有效控制二斑叶螨的种群数量。其中,联合防治的防控效果更优,防护峰值可达 98.90%。该研究进一步明确了“真菌+捕食螨”协同防控模式在温室二斑叶螨生物防治中的应用潜力^[62]。

5.2 与其他昆虫天敌联合应用

巴氏新小绥螨还可以与其他天敌昆虫一起联合对螨虫进行控制,现有研究发现,巴氏新小绥螨能够与其他捕食性天敌,如拉戈钝绥螨(*Amblyseius largoensis* Muma)和塔六点蓟马(*Scolothrips takahashii* Priesmer)进行集团内互作。在巴氏新小绥螨与拉戈钝绥螨构建的联合控害系统中,2 种捕食螨对靶标害螨的猎物选择性存在显著分化,具体表现为二者在猎物螨态偏好或猎物种类选择上的明显差异。这种选择性分化使两种捕食螨能够在同一控害场景下,分别利用不同螨态或类型的猎物资源,形成一定的生态位互补,既减少了种间对猎物的直接竞争,又能覆盖更广泛的害螨种群结构,为提升联合控害的整体稳定性与控害效率提供了生物学基础。前者偏好同种个体,后者偏好异种个体;两者均对比哈小爪螨的选择性高于其他叶螨,室内试验结果表明,巴氏新小绥螨与拉戈钝绥螨以 1:3 比例组合时捕食能力最强,室外试验结果显示,在对比哈小爪螨的防控试验中,巴氏新小绥螨与拉戈钝绥螨的特定比例组合,以及单独释放拉戈钝绥螨两种处理方式对该害螨种群的防控效果均可达 87.11%;且这两种处理的防控效果显著优于单独释放巴氏新小绥螨的处理^[63]。

在巴氏新小绥螨与塔六点蓟马的联合控害系统中,两种天敌的共存关系受生态位重叠与适合度差异的双重制约。刘明秀^[64]的研究表明,二者的协同作用呈现出复杂的生态学动态,表现为短期共存后排除的模式,在猎物资源充足的条件下,塔六点蓟马的存在可通过多种生态学机制延长巴氏新小绥螨的种群持续时间,但后者最终因种群波动而消

亡,呈现“短期共存、长期排除”模式。在盆栽试验中,两者联合释放对二斑叶螨雌成螨的捕食存在协同效应,叶片受损率和螨量减退率等指标显著优于单一天敌。当巴氏新小绥螨、剑毛帕厉螨(*Stratiolaelaps scimitus*)与球孢白僵菌联合应用时,其对西花蓟马的防控效果自处理后第7天起开始显著显现,可达100%^[49]。有研究在大棚辣椒试验中通过比较单独释放东亚小花蝽与混合释放东亚小花蝽和巴氏新小绥螨对蓟马的防效,混合释放的防效为84.16%~98.28%,优于单一释放,且混合释放成本降低10%~15%,且可兼防蚜虫、粉虱,证明多天敌协同可提升防效,还能降低成本^[64]。

6 巴氏新小绥螨应用存在的问题

尽管巴氏新小绥螨在害螨防治中展现出显著优势,但在实际应用推广层面仍面临诸多挑战,主要体现在环境适应性与定殖稳定性,其捕食效能极易受温湿度及寄主植物特性的制约;其规模化繁育与田间应用技术尚需优化,缺乏低成本、高效的扩繁体系及精准化的释放标准;最重要的是药剂协同与生态风险不明,特别是与化学农药的联合应用机制、抗性品系的选育成本及其对遗传多样性的潜在影响。

巴氏新小绥螨应用于二斑叶螨防治虽然非常理想,但是巴氏新小绥螨的捕食效能对环境因子如温度、湿度和光照较为敏感。研究表明,其捕食能力在16~32℃范围内呈先升后降的趋势,28℃时达到峰值,极端温度或高湿环境可能抑制其活性与繁殖力^[31]。此外,不同寄主植物的叶片结构、次生代谢产物差异,可能影响其定殖能力与猎物搜寻效率,导致田间防控效果波动较大。

尽管国内已实现巴氏新小绥螨的规模化饲养,但高效低成本的繁育体系仍需完善。巴氏新小绥螨田间释放的最佳时期、释放剂量及释放方式缺乏精准化标准,会影响防控效率与经济性。在田间试验中,发现同时释放于烟草和杂草、3次释放的防效高达58.02%,显著优于单次释放^[44]。除了释放次数,在释放捕食螨前进行低温储存不仅可以延长其使用期,还能调控捕食螨发育进程^[65]。经初步研究观察到,当巴氏新小绥螨在7℃或16℃条件下储存18d后,其存活率均保持在90%以上,同时其生殖能力未出现下降趋势,具体表现为单雌7d内的总产卵量平均在7粒以上^[66]。

目前,对巴氏新小绥螨与化学农药、生物制剂

的协同作用研究并不全面。例如,低剂量联苯肼酯等杀螨剂与巴氏新小绥螨的联合应用虽可减少农药用量,但不同药剂的作用靶标是否影响天敌的存活与繁殖,以及长期协同使用是否导致害螨产生行为或生理抗性,仍需进行系统性毒理与生态评估^[11]。有研究筛选溴氰菊酯抗性品系,测定对12种药剂的交互抗性,发现抗性品系对拟除虫菊酯类药剂交互抗性高达2 210.91倍,对噻虫嗪、毒死蜱也有较高抗性,抗性品系产卵期延长、单雌产卵量增加^[13]。同样,在巴氏新小绥螨毒死蜱抗性选育中获得了34.77倍抗性品系,且抗性对发育无显著影响,但在25℃时产卵量明显降低^[67]。由于抗性品系开发成本相对较高,且涉及生物多样性问题,如抗性品系是否会代替本土品系进而发生进化,对巴氏新小绥螨遗传稳定性也可能产生影响。此外,与其他天敌的种间竞争或互补效应也亟待明确。

7 展 望

针对上述环境敏感性、繁育技术和协同作用机制等方面的不足,需从基础研究、技术优化和生态安全三个维度突破,以实现巴氏新小绥螨生物防治的精准化与高效化。未来可整合生理生态学与分子生物学技术,解析巴氏新小绥螨环境适应性的遗传基础。尽管该方法可能面临多组学数据整合的技术挑战,但相较于单一表型分析能更精准识别关键调控基因。例如,通过巴氏新小绥螨转录组SSR位点分析其对多种农药的抗性,从而挖掘昆虫多样性,实现对害虫的控制以及对益虫的保护^[68]。下一步需要提高繁育技术水平,同时优化规模化繁育工艺,探索低成本替代猎物与共生微生物联合培养技术,保障种群遗传多样性,结合无人机或自动化设备实现高效释放,降低应用成本。总之,巴氏新小绥螨在害螨防治中具有较大的潜力,但其高效应用需突破环境适配、技术集成与生态安全等关键瓶颈。通过多学科交叉研究与技术创新,有望构建更加绿色、安全和高效的生物防治体系,为农业绿色发展提供重要支撑。

参考文献

- [1] 程立生.应重视二斑叶螨在我国的传播危害[J].植物保护,1999(4):55.
- [2] 杨慧,蒋皓天,何恒果.农药对捕食性天敌的影响研究进展[J].生物安全学报,2020,29(1):1-7.
- [3] Rincón R A, Rodríguez D, Coy-Barrera E. Botanicals against *Tetranychus urticae* Koch under laboratory conditions: A survey of alternatives for controlling pest mites[J]. Plants, 2019, 8(8): 272.

- [4] Takeda N, Takata A, Arai Y, et al. A vegetable oil-based biopesticide with ovicidal activity against the two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae* Koch[J]. Engineering in Life Sciences, 2020, 20(11): 525-534.
- [5] 吕佳乐. 智利小植绥螨、加州新小绥螨与二斑叶螨共存时的种群动态及互作[D]. 北京: 中国农业科学院, 2016.
- [6] 徐学农, 吕佳乐, 王恩东. 国际捕食螨研发与应用的热点问题及启示[J]. 中国生物防治学报, 2013, 29(2): 163-174.
- [7] 王恩东, 吴圣勇, 吕佳乐, 等. 释放巴氏新小绥螨防治温室大棚番茄上的烟粉虱[J]. 植物保护, 2020, 46(4): 234-238.
- [8] 侯栋元, 丛林, 陈飞, 等. 巴氏新小绥螨甲氧菊酯抗性品系生物学特性及其对常用药剂的交互抗性[J]. 应用昆虫学报, 2020, 57(3): 690-699.
- [9] Chi Y M, Yu C, Feng M Y, et al. Effects of field releases of *Neoseiulus barkeri* on megalurothrips usitatus abundance and arthropod diversity[J]. Scientific Reports, 2024, 14(1): 14247.
- [10] 张东旭, 孟瑞霞, 张鹏飞, 等. 巴氏新小绥螨对猎物搜寻能力的研究[J]. 应用昆虫学报, 2013, 50(1): 203-209.
- [11] 王好岭, 王桂萍, 张伟丽, 等. 球孢白僵菌与杀螨剂混配对二斑叶螨的毒力测定及其田间防治效果[J]. 植物保护学报, 2024, 51(2): 450-455.
- [12] 毛加梅, 杨建东, 郭俊, 等. 捕食螨释放量对其防控柑橘全爪螨效果的影响[J]. 中国南方果树, 2024, 53(6): 37-42.
- [13] 张倩, 成立新, 温彩霞, 等. 巴氏新小绥螨溴氰菊酯抗药性品系对常见药剂的交互抗性及其种群参数分析[J]. 植物保护, 2022, 48(3): 126-130.
- [14] 吴伟南, 欧剑峰, 黄静玲. 中国动物志: 无脊椎动物 第47卷 蛛形纲 蜱螨亚纲 植绥螨科[M]. 北京: 科学出版社, 2009.
- [15] Jiang J Q, Zhang Y, Ma L, et al. Molecular characterization of *Neoseiulus barkeri* vitellogenin genes and vitellogenin receptor during reproductive diapause[J]. Insects, 2020, 11(4): 203.
- [16] Pomerantz A F, Hoy M A. Expression analysis of *Drosophila doublesex*, *transformer-2*, *intersex*, *fruitless-like*, and *vitellogenin* homologs in the parahaploid predator *Metaseiulus occidentalis* (Chelicerata: Acari: Phytoseiidae) [J]. Experimental & Applied Acarology, 2015, 65(1): 1-16.
- [17] Fan Y Q, Pettit F L. Functional response of *Neoseiulus barkeri* hughes on two-spotted spider mite (Acari: Tetranychidae) [J]. Experimental and Applied Acarology, 1994, 18(10): 613-621.
- [18] 税玲, 蒲颇, 李庆, 等. 低温贮藏对加州新小绥螨生物学特性和捕食能力的影响[J]. 植物保护学报, 2016, 43(5): 759-767.
- [19] 黄建华, 秦文婧, 罗任华, 等. 巴氏钝绥螨发育起点温度与有效积温[J]. 江西植保, 2011, 34(2): 75-77.
- [20] Xiang D, Wang Z, Xu L, et al. Measurement of fitness and predatory ability of four predatory mite species in tibetan plateau under laboratory conditions[J]. Insects, 2024, 15(2): 119.
- [21] 吴伟南, 方小端. 植绥螨系统学及其对有害生物的治理[M]. 广州: 广东科技出版社, 2021.
- [22] 王圣印, 张安盛, 李丽莉, 等. 西花蓟马田间种群对常用杀虫剂的抗性现状及防治对策[J]. 昆虫学报, 2014, 57(5): 621-630.
- [23] 杨珊. 短时高温胁迫对球孢白僵菌和巴氏新小绥螨生物学特性的影响研究[D]. 重庆: 西南大学, 2019.
- [24] 李玲. 巴氏新小绥螨生殖滞育解除的最适条件和相关生理学分析[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2022.
- [25] Zou Z W, Min Q, Xiao S, et al. Effect of photoperiod on development and demographic parameters of *Neoseiulus barkeri* (Acari: Phytoseiidae) fed on *Tyrophagus putrescentiae* (Acari: Acaridae) [J]. Experimental & Applied Acarology, 2016, 70(1): 45-56.
- [26] 李朋新. 巴氏钝绥螨实验种群生态学研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2008.
- [27] Xia B, Zou Z W, Li P, et al. Effect of temperature on development and reproduction of *Neoseiulus barkeri* (Acari: Phytoseiidae) fed on *aleuroglyphus ovatus* [J]. Experimental & Applied Acarology, 2012, 56(1): 33-41.
- [28] 张倩倩, 范青海. 猎物对巴氏钝绥螨生长发育和繁殖的影响[J]. 华东昆虫学报, 2005, 14(2): 165-168.
- [29] 陈耀年, 汝阳, 尚素琴. 巴氏新小绥螨对二斑叶螨混合抗性品系和敏感品系的捕食功能[J]. 中国生物防治学报, 2016, 32(4): 428-433.
- [30] 胡军华, 王雪莲, 张耀海, 等. 巴氏新小绥螨对柑橘全爪螨处理的桔橙叶片挥发物的行为反应[J]. 应用昆虫学报, 2016, 53(1): 30-39.
- [31] 尚素琴, 刘平, 陈耀年, 等. 巴氏新小绥螨对二斑叶螨的捕食功能及控制潜力研究[J]. 植物保护, 2017, 43(3): 118-121.
- [32] 张东旭. 利用巴氏新小绥螨防治西花蓟马和截形叶螨的研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2012.
- [33] 彭勇强. 巴氏新小绥螨参与的集团内捕食及温室防治效果评价[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2013.
- [34] 方小端, 欧阳革成, 卢慧林, 等. 矿物油乳剂与巴氏新小绥螨对柑橘全爪螨的协同控制研究[J]. 环境昆虫学报, 2012, 34(3): 322-327.
- [35] 张国豪. 巴氏新小绥螨高温品系筛选及其适应性机制研究[D]. 重庆: 西南大学, 2017.
- [36] 田川北. 紫外线 UV-B 对巴氏新小绥螨生长发育及抗氧化酶的影响研究[D]. 重庆: 西南大学, 2018.
- [37] 黄吉. 高温低湿胁迫下巴氏新小绥螨存活及耐受力提升的生理代谢机制[D]. 重庆: 西南大学, 2020.
- [38] 赵建淇. 巴氏新小绥螨不同温度品系的耐寒性及越冬潜力研究[D]. 重庆: 西南大学, 2023.
- [39] 吴伟南, 张金平, 方小端, 等. 植绥螨的营养生态学及其在生物防治上的应用[J]. 中国生物防治, 2008(1): 85-90.
- [40] 张艳璇, 林坚贞, 侯爱平, 等. 捕食螨大量繁殖、贮存、释放技术研究[J]. 植物保护, 1996(5): 11-13.
- [41] Li Y Y, Zhang G H, Tian C B, et al. Does long-term feeding on alternative prey affect the biological performance of *Neoseiulus barkeri* (Acari: phytoseiidae) on the target spider mites? [J]. Journal of Economic Entomology, 2017, 110(3): 915-923.
- [42] Al-Shemmary A K. The availability of rearing *Neoseiulus cucumeris* (Oud.) and *Neoseiulus barkeri* (Hughes) (Acari: phytoseiidae) on three insect egg species [J]. Egyptian Journal of Biological Pest Control, 2018, 28: 1-7.
- [43] 江高飞, 陈飞, 李晓娇, 等. 巴氏新小绥螨的研究进展[J]. 中国南方果树, 2012, 41(2): 36-40.

- [44] 陈平,陈鹏,兰平秀,等.巴氏新小绥螨释放方式对烟草大田期西花蓟马的防治效果评价[J].云南农业大学学报(自然科学),2023,38(5):764-770.
- [45] 王恩东,徐学农,雷仲仁,等.释放巴氏新小绥螨及与挂放诱虫板结合对大棚黄瓜上西方花蓟马种群的控制作用[C]//植保科技创新与病虫防控专业化:中国植物保护学会2011年学术年会论文集,2011:358-364.
- [46] 杨思华,李曼,陈淳,等.巴氏新小绥螨对水稻干尖线虫控制能力的评估[J].中国生物防治学报,2021,37(3):472-479.
- [47] 周万琴,徐春玲,徐学农,等.巴氏新小绥螨的新特性:捕食植物线虫及其发育繁殖[J].中国生物防治学报,2012,28(4):484-489.
- [48] 宋树贤,刘光华,辛天蓉,等.巴氏新小绥螨对朱砂叶螨的捕食效能[J].南昌大学学报(理科版),2012,36(5):486-489.
- [49] 王恩东,明蒙,刘正玲,等.巴氏新小绥螨和剑毛帕厉螨与球孢白僵菌田间联合应用防治烟草西花蓟马[J].中国生物防治学报,2024,40(6):1243-1249.
- [50] 曹源智,贾永红,付晓彤,等.巴氏新小绥螨对同一栖息地枸杞瘿螨的捕食功能反应[J].环境昆虫学报,2023,45(3):761-769.
- [51] 张丹,林文忠,刘巍巍,等.巴氏新小绥螨对苹果树苹果全爪螨的生物防治效果[J].中国果树,2021(7):62-64.
- [52] 周炆,陈俊谕,蔡笃程,等.巴氏新小绥螨对芒果茶黄蓟马的功能反应研究[J].热带作物学报,2020,41(5):1001-1006.
- [53] 王蔓,李波,黄婕,等.加州新小绥螨和巴氏新小绥螨对二斑叶螨的捕食能力比较[J].应用昆虫学报,2019,56(6):1256-1263.
- [54] 王成斌.混合猎物系统对巴氏新小绥螨生物效能的影响[D].重庆:西南大学,2018.
- [55] 夏晓飞,程成,江俊起,等.添加氨基酸对腐食酪螨种群增长及巴氏新小绥螨捕食功能的影响[J].中国生物防治学报,2015,31(3):404-409.
- [56] 李晓萌,李玲,高超,等.解除生殖滞育的巴氏新小绥螨捕食能力[J].中国生物防治学报,2022,38(5):1149-1155.
- [57] 刘明秀,尼玛玉珍,冯小天,等.短时高温胁迫对携带球孢白僵菌的巴氏新小绥螨的生物学特性的影响[J].应用昆虫学报,2024,61(3):606-614.
- [58] 李霞,乌恩,赵文君,等.巴氏新小绥螨高效氯氟氰菊酯抗、敏感品系对二斑叶螨捕食功能的研究[J].北方农业学报,2024,52(4):94-102.
- [59] 陈俊谕.巴氏新小绥螨对不同猎物的适应性及其影响机制[D].海口:海南大学,2022.
- [60] 韩文素,王丽红,孙姗姗,等.杀虫剂对昆虫的亚致死效应的研究进展[J].中国植保导刊,2011,31(11):15-20.
- [61] 刘明秀.塔六点蓟马和巴氏新小绥螨共存与排除的生态学机制[D].重庆:西南大学,2025.
- [62] 赵钰,毛瑞霞,邢培翔,等.爪哇虫草菌与巴氏新小绥螨组合防控二斑叶螨技术初探[J].中国生物防治学报,2024,40(6):1250-1259.
- [63] 卢塘飞.巴氏新小绥螨与拉戈钝绥螨集团内互作及联合控害作用[D].海口:海南大学,2021.
- [64] 侯峥嵘,孙贝贝,李金萍,等.混合释放天敌对大棚辣椒蓟马的防控效果[J].中国植保导刊,2022,42(9):57-61.
- [65] 王瑞珍,张杨,王晓丹,等.天敌昆虫耐冷藏力研究进展[J].环境昆虫学报,2021,43(6):1408-1416.
- [66] 张霞,李维薇,张红芳,等.低温储存对巴氏新小绥螨存活率及生殖力的影响[J].中国植保导刊,2023,43(5):10-12.
- [67] 王莉,程明明,傅云梅,等.巴氏新小绥螨毒死蜱抗性选育及生物学特性[J].昆虫学报,2021,64(3):374-383.
- [68] 刘辉,李霞,乌恩,等.巴氏新小绥螨转录组 SSR 位点分析及开发[J].南方农业学报,2024,55(3):689-698.