

DOI: 10.13930/j.cnki.cjea.181073

姚凤奎, 郑宇, 丁雪玲, 卢学松, 何玉仙, 翁启勇. 福建省露地及设施蔬菜烟粉虱越冬种群密度及耐寒性研究[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2019, 27(6): 825-835

YAO F L, ZHENG Y, DING X L, LU X S, HE Y X, WENG Q Y. Overwintering population density and cold tolerance of *Bemisia tabaci* in greenhouses and open fields in the Fujian Province[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2019, 27(6): 825-835

福建省露地及设施蔬菜烟粉虱越冬 种群密度及耐寒性研究*

姚凤奎^{1,2}, 郑宇¹, 丁雪玲¹, 卢学松¹, 何玉仙^{1,2**}, 翁启勇^{1,2**}

(1. 农业部福州作物有害生物科学观测实验站/福建省作物有害生物监测与治理重点实验室/福建省农业科学院植物保护研究所 福州 350013; 2. 闽台作物有害生物生态防控国家重点实验室/福建农林大学 福州 350002)

摘要: 2017年1月9—12日和2月21—24日, 在南平建瓯、三明将乐、三明三元、福州闽侯、龙岩新罗以及漳州龙海等6个地区, 调查了大棚和露地烟粉虱越冬寄主及种群密度, 以期明确福建省露地及设施蔬菜烟粉虱越冬规律, 为烟粉虱的综合治理提供理论依据。共记录烟粉虱越冬寄主6科16种, 主要包括栽培蔬菜花椰菜、番茄、茄子以及阔叶类杂草龙葵、小飞蓬、辣子草和胜红蓟。在露地花椰菜上, 烟粉虱越冬虫口密度1月份显著高于2月份; 花椰菜采后残株上的越冬虫口密度显著高于莲座期和花球形成期。在温室大棚中, 休耕大棚中越冬虫口密度显著高于生产大棚。无论是蔬菜还是杂草, 温室大棚中的越冬虫口密度显著高于露地。烟粉虱各虫态均可在各地温室大棚和漳州露地越冬, 而在南平和三明等温度较低的地区以卵和伪蛹在露地越冬。在蔬菜上发现越冬烟粉虱有MEAM1隐种和MED隐种, 温室大棚中两隐种数量分别为57只和111只, 温室大棚可能有助于MED隐种定殖。室内耐寒性测定证实卵和高龄若虫比低龄若虫以及成虫更耐寒, 烟粉虱在花椰菜、龙葵和辣子草上的世代存活率分别为83.7%、79.3%和81.6%, 世代发育历期分别为18.9 d、16.7 d和18.8 d, 龙葵和辣子草是烟粉虱适宜的越冬杂草寄主。综上, 烟粉虱可在福建省露地越冬, 温室大棚加重了烟粉虱的发生为害。

关键词: 烟粉虱; 越冬寄主; 种群密度; 蔬菜; 耐寒性; 福建省

中图分类号: Q969 文献标识码: A 文章编号: 2096-6237(2019)06-0825-11

Overwintering population density and cold tolerance of *Bemisia tabaci* in greenhouses and open fields in the Fujian Province*

YAO Fengluan^{1,2}, ZHENG Yu¹, DING Xueling¹, LU Xuesong¹, HE Yuxian^{1,2**}, WENG Qiyong^{1,2**}

(1. Fuzhou Scientific Observing and Experimental Station of Crop Pests of Ministry of Agriculture / Fujian Key Laboratory for Monitoring and Integrated Management of Crop Pests / Institute of Plant Protection, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou 350013, China; 2. State Key Laboratory of Ecological Pest Control for Fujian and Taiwan Crops / Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China)

* 福建省属公益类科研院所基本科研专项(2017R1025-1)、福建省科技重大专项(2017NZ0003-1)和福建省农业科学院创新团队项目(STIT2017-1-8)资助

** 通信作者: 翁启勇, 主要研究方向为植物保护, E-mail: wengqy@faas.cn; 何玉仙, 主要研究方向为农业昆虫与害虫防治, E-mail: yuxianhe_faas@sina.cn

姚凤奎, 主要研究方向为农业昆虫与害虫防治。E-mail: yaofengluan@126.com

收稿日期: 2018-12-11 接受日期: 2019-02-15

* This study was supported by the Basic Special Fund for Scientific Research Organizations on Public Interest of Fujian Province, China (2017R1025-1); the Special Fund for Key Program of Science and Technology of Fujian Province, China (2017NZ0003-1); and the Innovation Teams of Fujian Academy of Agricultural Sciences, China (STIT2017-1-8).

** Corresponding authors: WENG Qiyong, E-mail: wengqy@faas.cn; HE Yuxian, E-mail: yuxianhe_faas@sina.cn
Received Dec. 11, 2018; accepted Feb. 15, 2019

Abstract: In order to clarify the overwintering mechanisms of sweetpotato whitefly [*Bemisia tabaci* (Gennadius)] in open fields and greenhouse vegetable production systems in Fujian Province, China, and to provide a theoretical basis for integrated pest management of *B. tabaci*, field surveys were conducted at six sites (Jian'ou County of Nanping City; Jiangle County and Sanyuan District of Sanming City; Minhou County of Fuzhou City; Xinluo District of Longyan City; and Longhai County of Zhangzhou City) in January 9–12 and February 21–24, 2017. Sixteen *B. tabaci* host plants belonging to six families were found, which included the following vegetables: broccoli (*Brassica oleracea* var. *botrytis* L.), tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.), and eggplant (*Solanum melongena* L.), and broadleaved weeds: *Solanum nigrum* L., *Conyza canadensis* (L.) Cronq., *Ranunculus sieboldii* Miq., and *Ageratum conyzoides* L. For broccoli grown in open fields, significantly greater densities of overwintering *B. tabaci* were found in January than in February, and substantially greater densities of *B. tabaci* were detected on postharvest broccoli residuals than those on broccoli at the rosette and the head development stages. There were significantly higher densities of overwintering *B. tabaci* in fallow greenhouses than in productive greenhouses. Markedly greater densities of overwintering *B. tabaci* were found in greenhouses than in open fields, regardless of whether the host plants were vegetables or broadleaved weeds. All life stages for overwintering *B. tabaci* were found in greenhouses across the province and in open fields in Zhangzhou, but eggs and pseudopupa were found in open fields in the Nanping and Sanming areas, where the temperature was low. Overwintering *B. tabaci* cryptic species MEAM1 and MED were detected in vegetables; in all, there were 57 and 111 individuals, respectively, of the two cryptic species. We inferred that the usage of greenhouses may promote the establishment of the cryptic species MED in the Fujian Province. We then carried out laboratory experiments to test the cold tolerance of *B. tabaci* and to test the suitability of broadleaved weeds for the development of *B. tabaci*. We demonstrated that eggs and old nymphs of *B. tabaci* could tolerate cold stress better than adults and young nymph. *B. tabaci* had comparable generational survival rates on broadleaved weeds *S. nigrum* (79.3%) and *R. sieboldii* (81.1%), lower than that on *B. oleracea* var. *botrytis* (83.6%), a common crop widely grown in Fujian Province during winter. The generational developmental duration of *B. tabaci* was significantly shorter on *S. nigrum* (16.7 d) than on *B. oleracea* var. *botrytis* (18.9 d), which was similar to that on *R. sieboldii* (18.8 d), implying that broadleaved weeds serve as important potential alternatives to vegetable crops as host plants for *B. tabaci* in winter. In summary, *B. tabaci* can overwinter successfully in the open fields in Fujian Province, and the establishment of greenhouses promotes the development of overwintering *B. tabaci*.

Keywords: Sweetpotato whitefly; Overwintering host; Population density; Vegetable; Cold tolerance; Fujian Province

烟粉虱 [*Bemisia tabaci* (Gennadius)] 广泛分布于除南极洲以外的各大洲, 是热带、亚热带及相邻温带地区的一种重要害虫^[1]。20 世纪 90 年代, MEAM1 隐种(原称为 B 生物型)入侵我国并迅速扩散, 在广东、北京、河北、山东等地相继暴发, 造成了严重的经济损失, 成为我国蔬菜等作物上的重要害虫^[2-3]。MED 隐种(原称为 Q 生物型)是近年来引起人们高度重视的一种新的隐种, 我国于 2003 年首次在云南发现^[4], 目前已广泛入侵我国大部分省市^[5-7]。

温度是影响烟粉虱种群发展的重要因素之一^[8-9], 低温胁迫直接影响烟粉虱的越冬^[10-11]。王勇等^[10]研究发现, 烟粉虱不耐低温, 不能在江苏地区(30°45'0"~35°19'8"N)的露地越冬。董国堃等^[12]认为烟粉虱在我国浙江台州(28°40'48"N)以北地区不能在室外露地越冬。崔洪莹等^[11]依据等温线绘制烟粉虱越冬北界模型图, 推测烟粉虱在我国的自然越冬北界分布线为浙江省金华市(29°4'48"N)、江西省南昌市(28°40'48"N)、湖北省仙桃市(30°22'12"N)以及四川省(26°3'36"~34°19'12"N)和云南省(21°7'48"~29°15'0"N)的大约北纬 28°的地区。但是, 周国珍等^[13]的研究表明烟粉虱在湖北省(29°5'24"~33°19'48"N)

露地能安全越冬。尽管如此, 这些研究主要关注烟粉虱的越冬北界^[10-13], 而在远离越冬北界、气候较温暖且适宜露地烟粉虱越冬的地区, 越冬烟粉虱的虫态、种群数量特征还鲜见报道。

福建省的纬度介于 23°30'36"~28°22'12"N, 根据上述研究结果^[10-13]推测, 烟粉虱可以在福建地区露地越冬。然而, 由于福建省横跨中亚热带和南亚热带, 南北气候差异大, 地形特征以山地丘陵为主, 形成了多种多样的地方性气候以及与地理环境要素密切相关的区域农业生态系统, 加上福建省近年来大力发展设施农业等因素, 因此, 除了与纬度、海拔直接相关的温度条件外, 不同地区之间的作物品种布局 and 栽培方式的差异亦可能影响冬季烟粉虱的发生数量。另外, 尽管众多研究认为杂草是烟粉虱的越冬寄主, 但烟粉虱在杂草上的生存适宜性鲜见报道^[14]。

目前, 有关福建省烟粉虱隐种(生物型)的发生和分布、抗药性发展动态已有研究报道^[7,15-16], 但关于福建省烟粉虱田间种群消长动态及其冬季发生情况目前尚少见报道。越冬虫量通常与翌年害虫的发生数量关系密切^[17], 因此, 越冬烟粉虱的虫量调查

可以为该虫的科学防治提供理论依据。鉴于此, 本文通过田间调查福建地区露地和温室大棚冬季烟粉虱发生情况, 室内测定烟粉虱的耐寒性, 以及杂草作为烟粉虱寄主的适宜性, 以期明确福建地区烟粉虱的越冬规律, 阐明不同地区冬季烟粉虱发生数量差异的生态学机制, 增进对烟粉虱在我国南方较温暖地区越冬规律的认识, 为科学制订烟粉虱综合防治技术方案提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 调查时间和地点

福建省漳州市和南平建瓯市是福建省两个重要蔬菜生产地, 因此, 选择漳州市和南平建瓯市分别作为此次烟粉虱越冬调查的南北界。2017 年 1 月 9—12 日和 2 月 21—24 日, 在福建省南平市建瓯市小松镇(27°6′36″N, 118°21′36″E, 海拔 134.6 m)、三明市将乐县光明乡(26°46′48″N, 117°24′0″E, 海拔 210.95 m)、三明市三元区中村乡(26°9′36″N, 117°41′24″E, 海拔 439.8 m)、福州市闽侯县南通镇(25°55′12″N, 119°13′48″E, 海拔 32.14 m)、龙岩市新罗区东肖镇(25°0′0″N, 117°0′0″E, 海拔 427.9 m)和漳州市龙海市东园镇(24°22′12″N, 117°51′36″E, 海拔 22.64 m)等地开展调查。其中, 前三者调查地点位于中亚热带, 福州和龙岩的调查地点位于南亚热带北界附近, 而漳州的调查地点位于南亚热带。

1.2 越冬寄主调查方法

在 6 个调查地区, 选择烟粉虱常年发生较为严重的露地和温室大棚蔬菜地, 广泛采集蔬菜作物和杂草, 每种植物采集 10—15 株, 带回室内镜检确定烟粉虱越冬寄主。植物鉴定参照《中国农田杂草图册》^[18]和《农田杂草识别及防除——幼苗和成株简明图鉴》^[19]。

1.3 越冬种群密度调查方法

选取面积不少于 667 m² 的蔬菜温室大棚和露地, 采用五点取样法调查处于生长中后期蔬菜上的烟粉虱虫量。花椰菜(*Brassica oleracea* L. var. *botrytis* L.) 的生育期为莲座期、花球形成期和采后残株期; 茄子(*Solanum melongena* L.) 的生育期为座果期; 辣椒(*Capsicum annuum* L.)、黄瓜(*Cucumis sativus* L.) 和豇豆[*Vigna unguiculata* (Linn.) Walp] 的生育期为采后残株期。每个地区调查 3~7 块露地, 在南平建瓯、三明将乐和龙岩新罗各调查 5~7 个温室大棚。调查成虫时, 每点调查 4 株, 每株仅调查顶部展开的 5 片真叶, 共调查 100 片叶; 调查卵和若虫时, 每点调查 2 株, 每株寄主采集上、中、下 3 片叶, 共查 30 片叶。对于辣椒等叶片较小的作物, 以 1 根枝条

代表 1 片叶。调查时记录采集或观测的样地数量和生育期。将寄主叶片带回室内, 在解剖镜下观察记录烟粉虱卵和若虫数量。以头·叶⁻¹ 为单位表示每个样地成、若虫密度, 以粒·叶⁻¹ 为单位表示每个样地卵密度。

选取面积不少于 667 m² 的处于休耕期的蔬菜温室大棚和露地, 随机调查处于生长期杂草上的烟粉虱虫量。在南平建瓯、三明将乐和龙岩新罗各调查 3~6 块露地, 3 个温室大棚。每块样地至少调查 10 株。调查成虫时, 每株调查寄主顶部展开的 5 片真叶, 共调查至少 50 片叶; 调查卵和若虫时, 每株寄主采集上、中、下 3 片叶, 共调查至少 30 片叶, 在解剖镜下观察并分别记录卵和若虫的数量。调查时记录采集或观测的叶片数量和样地数量。以头·叶⁻¹ 为单位表示每个样地成、若虫密度, 以粒·叶⁻¹ 为单位表示每个样地卵密度。

1.4 低温对烟粉虱各虫态存活的影响

福建省各地区 2017 年 1—2 月份日最高温和最低温情况见图 1。其中, 南平建瓯极端低温 0~4 , 持续时间 4~6 d; 三明极端低温 3~5 , 持续时间 2~5 d; 三明将乐极端低温 3~5 , 持续时间 3~6 d; 福州闽侯极端低温 3~5 , 持续时间 4~6 d; 龙岩极端低温 3~5 , 持续时间 3~4 d; 漳州龙海极端低温 6~8 , 持续时间 3~5 d。鉴此, 本研究中低温分别设置为 0 、 4 、 8 , 处理时间分别设置为 6 h、24 h、48 h、96 h 和 144 h。低温胁迫试验在±1 、相对湿度(65±5)%、光照 14 h/10 h(L/D)的人工气候箱(三洋 MIR-154)中进行。

在 25 °C 室温条件下, 取 20~30 头混合日龄 MEAM1 隐种烟粉虱雌成虫, 用微虫笼固定于无虫花椰菜叶片背面, 产卵 8 h 后去除成虫, 饲养待用。之后, 将带有 1 日龄卵、低龄若虫(产卵后 8 d, 包括 1~2 龄若虫)、高龄若虫(产卵后 16 d, 包括 4 龄若虫和伪蛹)的花椰菜叶碟(直径 35 mm), 利用培养皿琼脂保湿法进行培养, 即将叶碟正面朝下置于具透气网培养皿(直径 35 mm)的琼脂上。另选取 4~7 日龄成虫(雌雄数量比为 1 : 1)置于上述利用培养皿琼脂保湿法培养在无虫花椰菜叶碟上。在解剖镜下观察记录初始卵、若虫和成虫数量后, 在 0 、 4 、 8 条件下处理 6 h、24 h、48 h、96 h 和 144 h, 然后移到(25±1) °C、相对湿度(65±5)%、光照 14 h/10 h(L/D)的人工气候箱中(一恒 MGC-350HP)继续饲养, 逐日观察存活率。卵和低龄若虫发育至下一虫龄, 高龄若虫发育至成虫视为存活, 否则视为死亡。每处理重复 3 次。

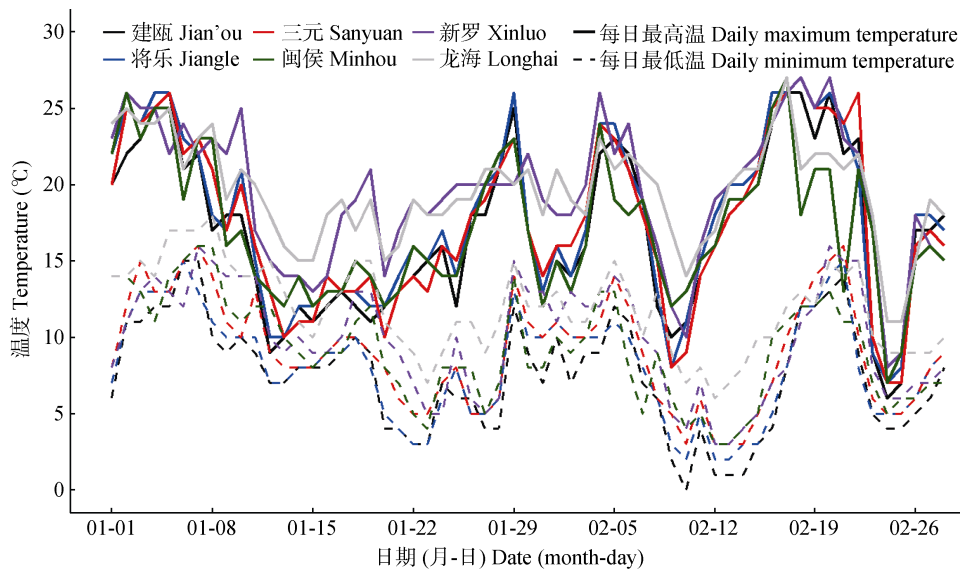


图 1 各调查点 2017 年 1—2 月每日最高温和最低温

Fig. 1 Daily maximum and minimum temperatures of each sampling site in January and February of 2017

1.5 越冬寄主对烟粉虱生长发育的影响

分别取 20~30 头混合日龄 MEAM1 隐种烟粉虱雌成虫,用微虫笼固定于花椰菜、龙葵(*Solanum nigrum* L.)和辣子草(*Ranunculus sieboldii* Miq.)供试寄主植株叶片背面,待产卵 8 h 后,移去微虫笼和烟粉虱成虫,在解剖镜下观察记录叶片初始卵量后,移至(25±1)、相对湿度(65±5)%、光照 14 h/10 h(L/D)的人工气候箱中(一恒 MGC-350HP)饲养,观察至成虫羽化,统计各供试寄主植物上烟粉虱的世代存活率和世代发育历期,每种寄主植物重复 3 次。

1.6 越冬隐种鉴定

在 2017 年 1 月,采集露地或温室大棚中栽培蔬菜和杂草上的烟粉虱成虫,并参照郑宇等^[20]方法提取单头烟粉虱总 DNA,参照 Shatters 等^[21]的方法进行隐种鉴定。MED 隐种烟粉虱特异性引物为:上游引物 CTTGGTAACTCTTCTGTAGATGTGTGTT 和下游引物 CCTTCCCAGCAAGAAATTTTGTTT; MEAM1 隐种烟粉虱特异性引物为:上游引物 CTAGGGTTTATTGTTTGAGGTCATCATATATTC 和下游引物 AATATCGACGAGGCATTCCCCT。PCR 反应条件为 94 预变性 3 min, 94 变性 30 s, 64 退火 45 s, 72 延伸 60 s, 35 个循环, 72 延伸 10 min。

1.7 统计分析

利用混合线性模型(linear mixed effect model)分析调查月份、调查地点、蔬菜生育期、栽培方式对蔬菜和杂草上烟粉虱越冬虫口密度的影响,模型中将田块以及寄主作为随机效应因子,以平均每片叶

片上烟粉虱卵、若虫、成虫的数量作为响应变量。以 95%置信区间的重叠与否来检验同一地点、烟粉虱同一虫态虫口密度差异显著性以及低温下烟粉虱各虫态存活率之间的差异显著性。利用单因素方差分析方法(One-way ANOVA)比较龙葵、辣子草、花椰菜对烟粉虱世代存活率和发育历期的影响。对于在 $\alpha=0.05$ 水平上存在差异的处理效应,应用 Tukey 法进行多重比较分析。所有分析和作图均在 R 语言软件上完成。

2 结果与分析

2.1 烟粉虱越冬寄主植物

调查农作物及农田杂草共 13 科 31 种,发现并记录到烟粉虱寄主植物 6 科 16 种(表 1),分别为茄科(Solanaceae)4 种、十字花科(Brassicaceae)2 种、葫芦科(Cucurbitaceae)1 种、豆科(Fabaceae)1 种、菊科(Asteraceae)7 种、唇形花科(Labiatae)1 种。露地越冬寄主主要为花椰菜,温室大棚越冬寄主主要为花椰菜、番茄(*Lycopersicon esculentum* Mill.)、茄子和黄瓜蔬菜以及龙葵、小飞蓬(*Conyza canadensis* (L.) Cronq.)、辣子草和胜红蓟(*Ageratum conyzoides* L.)等阔叶类杂草。

2.2 烟粉虱在露地的越冬情况

福建省不同地区露地花椰菜上烟粉虱越冬虫口密度在不同调查月份($F_{1,27.0}=148.6, P<0.001$)、不同调查地点($F_{5,15.0}=10.7, P<0.001$)和不同生育期($F_{2,25.2}=56.3, P<0.001$)之间均存在显著差异(表 2)。其中,1 月份的越冬虫口密度显著高于 2 月份;漳州龙海的

表 1 福建省烟粉虱越冬寄主植物种类
Table 1 Overwintering host plant species of *Bemisia tabaci* (Gennadius) in Fujian Province

寄主植物 Host plant	植物类型 Plant type	栽培方式 Culture type
茄科 Solanaceae		
辣椒 <i>Capsicum annuum</i> L.	栽培蔬菜 Vegetable	大棚 Greenhouse
茄子 <i>Solanum melongena</i> L.	栽培蔬菜 Vegetable	大棚 Greenhouse
番茄 <i>Lycopersicon esculentum</i> Mill.	栽培蔬菜 Vegetable	大棚、露地 Greenhouse, open field
龙葵 <i>Solanum nigrum</i> L.	杂草 Weed	大棚、露地 Greenhouse, open field
十字花科 Brassicaceae		
花椰菜 <i>Brassica oleracea</i> L. var. <i>botrytis</i> L.	栽培蔬菜 Vegetable	大棚、露地 Greenhouse, open field
结球甘蓝 <i>Brassica oleracea</i> L. var. <i>capitata</i> L.	栽培蔬菜 Vegetable	大棚、露地 Greenhouse, open field
葫芦科 Cucurbitaceae		
黄瓜 <i>Cucumis sativus</i> L.	栽培蔬菜 Vegetable	大棚 Greenhouse
豆科 Fabaceae		
豇豆 <i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp	栽培蔬菜 Vegetable	大棚 Greenhouse
菊科 Asteraceae		
辣子草 <i>Ranunculus sieboldii</i> Miq.	杂草 Weed	大棚、露地 Greenhouse, open field
胜红蓟 <i>Ageratum conyzoides</i> L.	杂草 Weed	大棚 Greenhouse
小飞蓬 <i>Conyza canadensis</i> (L.) Cronq.	杂草 Weed	大棚、露地 Greenhouse, open field
石胡荽 <i>Centipeda minima</i> (L.)	杂草 Weed	大棚 Greenhouse
鲤肠 <i>Eclipta prostrata</i> L.	杂草 Weed	大棚 Greenhouse
鱼眼草 <i>Dichrocephala auriculata</i> (Thunb.) Druce	杂草 Weed	大棚、露地 Greenhouse, open field
梁子菜 <i>Erechtites hieracifolia</i> (L.)	杂草 Weed	大棚、露地 Greenhouse, open field
唇形花科 Labiatae		
瘦风轮 <i>Clinopodium gracile</i> (Benth.) Matsum	杂草 Weed	大棚、露地 Greenhouse, open field

越冬虫口密度显著高于其他地区($P<0.05$), 而其他地区之间的越冬虫口密度均差异不显著($P>0.05$); 花椰菜采后残株上的越冬虫口密度显著多于莲座期($t_{15.0}=10.4$, $P<0.001$) 和花球形成期($t_{26.0}=8.1$, $P<0.001$), 花球形成期的越冬虫口密度显著高于莲座期($t_{26.0}=10.0$, $P<0.001$)。在温度较低的 2 月份, 南平建瓯、三明三元和将乐, 仅零星发现卵和伪蛹; 福州闽侯和龙岩新罗主要发现卵、高龄若虫和成虫; 漳州龙海发现烟粉虱的各种虫态。

2.3 烟粉虱在温室大棚中越冬情况

生产大棚烟粉虱越冬虫口密度显著低于休耕大棚($F_{1,10.2}=20.4$, $P=0.001$), 两者之间的差异并不随着地区的改变而改变($F_{2,16.2}=1.44$, $P=0.266$)。在三明将乐的生产大棚内, 莲座期和花球形成期的烟粉虱越冬虫口密度存在显著差异($F_{1,5}=7.5$, $P=0.041$), 花球形成期烟粉虱卵、若虫和成虫数量分别为 3.43 粒·叶⁻¹、1.45 头·叶⁻¹和 0.29 头·叶⁻¹, 分别明显高于莲座期的 0.59 粒·叶⁻¹、0.43 头·叶⁻¹和 0.08 头·叶⁻¹(表 3)。

2.4 温室大棚对烟粉虱越冬的影响

福建冬季极端低温条件下, 蔬菜上烟粉虱越冬虫口密度在不同栽培方式下差异显著($F_{1,9}=30.0$,

$P<0.001$), 即露地烟粉虱越冬虫口密度显著低于温室大棚。栽培方式与不同调查地点之间没有交互作用($F_{1,9}=2.36$, $P=0.158$), 表明在三明将乐和龙岩新罗地区均是温室大棚的烟粉虱越冬虫口密度显著大于露地(表 4)。

2.5 烟粉虱在杂草上越冬情况

表 5 结果显示, 栽培方式显著影响杂草上越冬的烟粉虱虫口密度($F_{1,18}=95.5$, $P<0.001$), 即休耕温室大棚内杂草上烟粉虱越冬虫口密度显著高于棚外露地杂草。栽培方式与地区之间不存在交互效应($F_{2,18}=1.0$, $P=0.371$), 即栽培方式间烟粉虱虫口密度的差异显著性不随调查地点的变化而变动。另外, 在三明将乐地区, 温室大棚外露地杂草上烟粉虱虫口密度与距离大棚的远近相关($\chi^2=6.6$, $df=2$, $P=0.038$)。距离增大, 虫口密度显著减小, 温室大棚附近的露地杂草上虫口密度最大, 而周围无温室大棚的露地烟粉虱虫口密度极低。

2.6 低温对烟粉虱存活的影响

由表 6 可知, 在 0、4 和 8 低温下, 处理 6 h 后, 烟粉虱低龄若虫的存活率显著低于卵、高龄若虫和成虫; 处理 96 h 后, 成虫的存活率显著低于

表 2 福建省不同地点露地花椰菜上烟粉虱越冬虫口密度

Table 2 Density of overwintering *Bemisia tabaci* (Gennadius) on *Brassica oleracea* L. var. *botrytis* L. grown in open fields in different investigated sites in Fujian Province

地点(市, 县/区) Site (County/District, City)	月份 Month	生育期 Growth stage	样地量 Number of sample fields	虫口密度 Number of <i>B. tabaci</i> per leaf		
				卵 Egg	若虫 Larvae	成虫 Adult
南平建瓯 Jian'ou, Nanping	1	莲座期 Rosette stage	3	0.98±0.09a	0.57±0.10a	0.13±0.02a
	2	花球形成期 Head development stage	3	0.29±0.21b	0.22±0.12a	0.00±0.00b
三明将乐 Jiangle, Sanming	1	莲座期 Rosette stage	3	1.09±0.17a	0.61±0.17a	0.15±0.03a
	2	花球形成期 Head development stage	3	0.04±0.04b	0.09±0.05b	0.00±0.00b
三明三元 Sanyuan, Sanming	1	莲座期 Rosette stage	3	0.69±0.04a	0.84±0.13a	0.12±0.04a
	2	花球形成期 Head development stage	3	0.48±0.11a	0.31±0.16a	0.00±0.00b
福州闽侯 Minhou, Fuzhou	1	莲座期 Rosette stage	3	0.51±0.13a	0.36±0.14a	0.05±0.01a
	2	花球形成期 Head development stage	3	0.49±0.11a	0.32±0.12a	0.06±0.02a
龙岩新罗 Xinluo, Longyan	1	莲座期 Rosette stage	3	0.42±0.08a	0.39±0.21a	0.05±0.01a
	2	花球形成期 Head development stage	3	0.20±0.15a	0.16±0.08a	0.02±0.01a
漳州龙海 Longhai, Zhangzhou	1	莲座期 Rosette stage	4	2.33±0.15b	0.87±0.07b	0.13±0.02c
		花球形成期 Head development stage	3	17.66±0.89a	13.78±1.65a	5.23±0.27a
	2	花球形成期 Head development stage	4	3.39±1.16b	1.68±0.59b	0.38±0.11b
		采后残株期 Postharvest phase	3	17.34±1.27a	10.90±1.77a	6.31±0.65a

表中数据为平均数±标准误。不同小写字母表示每个调查地点烟粉虱同一虫态虫口密度在不同生育期间差异显著。Data shown in the table are mean ± S.E. Different lowercase letters mean significant differences in *B. tabaci* density at the same insect life stage between different crop growth stages in the same site.

表 3 福建省不同地点温室大棚中烟粉虱越冬虫口密度

Table 3 Density of *Bemisia tabaci* (Gennadius) overwintering in greenhouses in different investigated sites in Fujian Province

地点(市, 县/区) Site (County/ District, City)	温室类型 Type of greenhouse	寄主 Host	生育期 Growth stage	样地量 Number of sample fields	虫口密度 Number of <i>B. tabaci</i> per leaf		
					卵 Egg	若虫 Larvae	成虫 Adult
南平建瓯 Jian'ou, Nanping	生产大棚 Cultivated	茄子 <i>Solanum melongena</i> L.	座果期 Fruit-setting stage	2	1.80±0.80a	1.88±0.25b	0.27±0.06a
	休耕大棚 Fallow	辣椒 <i>Capsicum annuum</i> L.	采后残株期 Postharvest stage	2	0.00±0.00b	6.68±1.42a	0.00±0.00b
		龙葵 <i>Solanum nigrum</i> L.	生长期 Growing stage	3	49.10±38.89ab	18.11±13.12ab	5.53±4.57ab
		小飞蓬 <i>Conyza canadensis</i> (L.) Cronq.	生长期 Growing stage	3	10.69±6.15ab	7.69±4.20ab	4.47±4.05ab
三明将乐 Jiangle, Sanming	生产大棚 Cultivated	花椰菜 <i>Brassica oleracea</i> L. var. <i>botrytis</i> L.	莲座期 Rosette stage	3	0.59±0.11a	0.43±0.13b	0.08±0.02a
			花球形成期 Head development stage	4	3.43±1.22b	1.45±0.38a	0.29±0.12a
	休耕大棚 Fallow	黄瓜 <i>Cucumis sativus</i> L.	采后残株期 Postharvest stage	3	48.63±7.36a	35.97±5.53a	5.88±1.10a
		龙葵 <i>Solanum nigrum</i> L.	生长期 Growing stage	3	45.74±2.51a	25.79±1.23a	4.54±0.76a
		辣子草 <i>Ranunculus sieboldii</i> Miq.	生长期 Growing stage	2	13.08±2.02b	9.93±2.03b	1.96±0.50b
		小飞蓬 <i>Conyza canadensis</i> (L.) Cronq.	生长期 Growing stage	3	61.84±30.55ab	27.30±10.87ab	6.13±3.68ab
龙岩新罗 Xinluo, Longyan	生产大棚 Cultivated	花椰菜 <i>Brassica oleracea</i> L. var. <i>botrytis</i> L.	花球形成期 Head development stage	3	1.20±0.20a	0.61±0.13a	0.12±0.02b
	休耕大棚 Fallow	豇豆 <i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp	采后残株期 Postharvest stage	2	0.00±0.00b	3.97±1.40a	0.00±0.00c
		龙葵 <i>Solanum nigrum</i> L.	生长期 Growing stage	3	67.57±50.20ab	20.91±16.53a	1.98±1.06abc
		胜红蓟 <i>Ageratum conyzoides</i> L.	生长期 Growing stage	3	8.32±3.60a	2.93±1.35a	0.43±0.05a

表中数据为平均数±标准误。不同小写字母表示每个调查地点烟粉虱同一虫态虫口密度在不同寄主植物(生育期)间差异显著。Data shown in the table are mean ± S.E. Different lowercase letters mean significant differences in *B. tabaci* density at the same insect life stage among different plant growth stages at the same site.

表 4 福建省不同地点温室大棚和露地花椰菜上烟粉虱越冬虫口密度

Table 4 Density of *Bemisia tabaci* (Gennadius) overwintering on *Brassica oleracea* L. var. *botrytis* L. grown in greenhouses and open fields in different investigated sites in Fujian Province

地点(市, 县/区) Site (County/District, City)	栽培方式 Culture type	生育期 Growth stage	样地量 Number of sample fields	虫口密度 Number of <i>B. tabaci</i> per leaf		
				卵 Egg	若虫 Larvae	成虫 Adult
三明将乐 Jiangle, Sanming	温室大棚 Greenhouse	花球形成期 Head development stage	4	3.43±1.22a	1.45±0.38a	0.29±0.12a
	露地*	花球形成期	3	0.04±0.04b	0.09±0.05b	0.00±0.00b
龙岩新罗 Xinluo, Longyan	温室大棚 Greenhouse	花球形成期 Head development stage	3	1.20±0.20a	0.61±0.13a	0.12±0.02a
	露地**	花球形成期	3	0.20±0.15b	0.16±0.08b	0.02±0.01b
	Open field**	Head development stage				

表中数据为平均数±标准误。*表示大棚外侧露地; **表示周围无大棚。不同小写字母表示每个调查地点烟粉虱同一虫态虫口密度在不同栽培方式间差异显著。Data shown in the table are mean ± S.E. * represents open fields adjacent to greenhouse; ** represents there are no greenhouses around the open fields. Different lowercase letters mean significant differences in *B. tabaci* density at the same insect life stage between different culture types at the same site.

表 5 福建省不同地点休耕温室大棚和露地杂草上烟粉虱越冬虫口密度

Table 5 Density of *Bemisia tabaci* (Gennadius) overwintering on weeds grown in fallow greenhouses and open fields in different investigated sites in Fujian Province

地点(市, 县/区) Site (County/District, City)	栽培方式 Culture type	寄主 Host	样地量 Number of sample fields	虫口密度 Number of <i>B. tabaci</i> per leaf			
				卵 Egg	若虫 Larvae	成虫 Adult	
南平建瓯 Jian'ou, Nanping	温室大棚 Greenhouse	龙葵 <i>Solanum nigrum</i> L.	3	49.10±38.89a	18.11±13.12a	5.53±4.57a	
		小飞蓬 <i>Conyza canadensis</i> (L.) Cronq.	3	10.69±6.15a	7.69±4.20a	4.47±4.05a	
	露地* Open field*	龙葵 <i>Solanum nigrum</i> L.	3	0.00±0.00a	0.00±0.00a	0.00±0.00a	
		小飞蓬 <i>Conyza canadensis</i> (L.) Cronq.	2	0.00±0.00a	0.00±0.00a	0.00±0.00a	
	三明将乐 Jiangle, Sanming	温室大棚 Greenhouse	龙葵 <i>Solanum nigrum</i> L.	3	45.74±2.51a	25.79±1.23a	4.54±0.76a
			辣子草 <i>Ranunculus sieboldii</i> Miq.	2	13.08±2.02b	9.93±2.03b	1.96±0.50b
小飞蓬 <i>Conyza canadensis</i> (L.) Cronq.			3	61.84±30.55ab	27.30±10.87ab	6.13±3.68ab	
露地* Open field*		龙葵 <i>Solanum nigrum</i> L.	2	0.33±0.08d	0.00±0.00c	0.37±0.13c	
		小飞蓬 <i>Conyza canadensis</i> (L.) Cronq.	2	0.75±0.08c	0.00±0.00c	0.45±0.11c	
露地** Open field**		龙葵 <i>Solanum nigrum</i> L.	2	0.21±0.04d	0.08±0.08c	0.00±0.00d	
	小飞蓬 <i>Conyza canadensis</i> (L.) Cronq.	2	0.13±0.04d	0.14±0.08c	0.00±0.00d		
	露地*** Open field***	龙葵 <i>Solanum nigrum</i> L.	3	0.00±0.00e	0.00±0.00c	0.00±0.00d	
龙岩新罗 Xinluo, Longyan	温室大棚 Greenhouse	小飞蓬 <i>Conyza canadensis</i> (L.) Cronq.	3	0.00±0.00e	0.00±0.00c	0.00±0.00d	
		龙葵 <i>Solanum nigrum</i> L.	3	67.57±50.20ab	20.91±16.53ab	1.98±1.06ab	
		胜红蓟 <i>Ageratum conyzoides</i> L.	3	8.32±3.60a	2.93±1.35a	0.43±0.05a	
	露地* Open field*	龙葵 <i>Solanum nigrum</i> L.	2	0.00±0.00b	0.00±0.00b	0.00±0.00b	
		小飞蓬 <i>Conyza canadensis</i> (L.) Cronq.	3	0.00±0.00b	0.00±0.00b	0.00±0.00b	

表中数据为平均数±标准误。*表示大棚外侧露地; **表示距离大棚 10~20 m; ***表示周围无大棚。不同小写字母表示每个调查地点烟粉虱同一虫态虫口密度在不同栽培方式(杂草)间差异显著。Data shown in the table are mean ± S.E. * represents open fields adjacent to greenhouse; ** represents open fields are 10–20 m away from the greenhouse; *** represents there are no greenhouses around the open fields. Different lowercase letters mean significant differences in *B. tabaci* density at the same insect life stage between different cultural types (host) at the same site.

卵和高龄若虫。卵和高龄若虫的存活率差异程度与低温强度及持续时间相关, 在 8 低温下处理 48 h 至 144 h, 卵的存活率显著高于高龄若虫; 在 4 低

温下, 处理 6 h 至 144 h, 高龄若虫的存活率显著高于卵; 而在 0 低温下, 高龄若虫的存活率在 6 h 至 24 h 显著高于卵, 在 48 h 至 144 h 两者差异不显著。

表 6 低温对烟粉虱各虫态存活的影响

Table 6 Effect of low temperatures on the survival rate of *Bemisia tabaci* (Gennadius) at various life stages

温度 Temperature ()	虫态 Life stage	存活率 Survival rate (%)				
		6 h	24 h	48 h	96 h	144 h
0	卵 Egg	90.9±1.8b	90.4±1.5c	89.4±1.9a	61.7±1.2a	4.7±0.8ab
	低龄若虫 Young nymph	65.4±1.5c	65.8±1.6d	43.6±2.2c	16.8±0.6b	3.5±0.6b
	高龄若虫 Old nymph	98.8±0.6a	97.3±0.8b	95.1±1.1a	54.5±2.1a	8.7±1.4a
	成虫 Adult	100.0±0.0a	100.0±0.0a	82.2±0.8b	0.0±0.0c	0.0±0.0c
4	卵 Egg	92.1±1.4b	91.0±2.0b	91.4±1.6b	89.8±0.9b	28.2±1.6b
	低龄若虫 Young nymph	65.4±2.0c	65.6±1.3c	55.5±1.1c	24.1±1.9d	9.0±0.8d
	高龄若虫 Old nymph	99.1±0.9a	98.9±0.6a	97.8±1.1a	96.9±0.9a	46.5±1.9a
	成虫 Adult	100.0±0.0a	100.0±0.0a	90.4±1.0b	50.5±2.4c	9.7±1.0c
8	卵 Egg	92.0±1.7b	92.9±2.3b	92.2±1.1b	92.2±1.0b	64.7±3.0a
	低龄若虫 Young nymph	64.5±1.7c	64.8±1.9c	65.9±1.4c	28.1±1.9d	25.7±0.8d
	高龄若虫 Old nymph	98.3±0.7a	97.8±1.1b	98.5±0.8a	97.7±0.2a	55.3±1.6b
	成虫 Adult	100.0±0.0a	100.0±0.0a	90.9±1.3b	54.7±1.7c	39.6±2.4c

表中数据为平均数±标准误。不同字母表示在同一温度同一处理时间下, 不同虫态之间存活率差异显著。在 25 , 卵、低龄若虫、高龄若虫和成虫的存活率(%)分别为 91.8±1.16, 64.5±1.55, 99.3±0.74 和 100.0±0.00。Data are mean ± S.E. Different lowercase letters mean significant differences in survival rate among different life stages under the same temperature treatment for the same treatment time. At 25 , the survival rates (%) of egg, young nymph, old nymph and adult are 91.8±1.16, 64.5±1.55, 99.3±0.74 and 100.0±0.00, respectively.

2.7 越冬寄主对烟粉虱世代发育的影响

在室内 25 适温条件下, 烟粉虱在花椰菜、龙葵和辣子草上的世代存活率分别为 83.7%、79.3%和 81.6%, 差异不显著($F_{2,6}=0.127$, $P=0.883$); 世代发育

历期分别为 18.9 d、16.7 d 和 18.8 d, 差异显著($F_{2,6}=22.0$, $P=0.002$)。其中, 烟粉虱在龙葵上的发育历期显著短于在花椰菜和辣子草, 而在花椰菜和辣子草上的发育历期差异不显著(表 7)。

表 7 烟粉虱在不同越冬寄主上的生长发育

Table 7 Development of *Bemisia tabaci* (Gennadius) on different overwintering plants

生长发育参数 Developmental parameter	越冬寄主 Host		
	花椰菜 <i>Brassica oleracea</i> L. var. <i>botrytis</i> L.	龙葵 <i>Solanum nigrum</i> L.	辣子草 <i>Ranunculus sieboldii</i> Miq.
世代存活率 Generational survival rate (%)	83.6±6.28a	79.3±6.76a	81.1±5.07a
世代发育历期 Generational developmental duration (d)	18.9±0.11a	16.7±0.17b	18.8±0.42a

表中数据为平均数±标准误。同行不同字母表示越冬寄主植物间生长发育参数差异显著。Data shown in the table are mean ± S.E. Different lowercase letters in the same row mean significant differences among overwintering plants.

2.8 越冬烟粉虱隐种

由表 8 可知, 福建省越冬烟粉虱隐种有 MEAM1 隐种和 MED 隐种, 总数量分别为 105 只和 111 只, 而温室大棚中, 两隐种的数量分别为 57 只和 111 只。其中, 漳州市龙海市东园镇露地花椰菜和番茄上仅发现 MEAM1 隐种; 三明市将乐县光明乡温室大棚黄瓜上仅发现 MED 隐种; 其他地区发现两种隐种混合发生, 其中龙岩市新罗区东肖镇和南平市建瓯市小松镇温室大棚内 MED 隐种占优势, 而福州市闽侯县南通镇和三明市三元区中村乡温室大棚内

MEAM1 隐种占优势。

3 讨论与结论

目前已记录到烟粉虱寄主植物 600 多种^[22-24]。何玉仙等^[25]前期调查记录福建省福州、漳州农田烟粉虱寄主植物 17 科 62 种, 主要包括十字花科、菊科、豆科、茄科、葫芦科、锦葵科(Malvaceae)等植物。越冬寄主是特指在冬季给昆虫提供营养物质和居住场所使其能安全越冬的植物。周国珍等^[13]通过调查发现, 湖北省烟粉虱露地越冬寄主主要有荔枝

表 8 福建省不同地区冬季烟粉虱隐种发生情况
Table 8 Number of cryptic species of *Bemisia tabaci* (Gennadius) overwintering in Fujian Province

地点(市、县/区、乡镇) Site (City, County/District, Town)	栽培方式 Culture type	寄主植物 Host	隐种数量 Cryptic species number	
			MEAMI	MED
南平、建瓯、小松 Nanping, Jian'ou, Xiaosong	温室大棚 Greenhouse	辣椒 <i>Capsicum annuum</i> L.	4	20
		小飞蓬 <i>Conyza canadensis</i> (L.) Cronq.	2	22
三明、将乐、光明 Sanming, Jiangle, Guangming	温室大棚 Greenhouse	黄瓜 <i>Cucumis sativus</i> L.	0	24
三明、三元、中村 Sanming, Sanyuan, Zhongcun	温室大棚 Greenhouse	花椰菜 <i>Brassica oleracea</i> L. var. <i>botrytis</i> L.	23	1
福州、闽侯、南通 Fuzhou, Minhou, Nantong	温室大棚 Greenhouse	番茄 <i>Lycopersicon esculentum</i> Mill.	23	1
龙岩、新罗、东肖 Longyan, Xinluo, Dongxiao	温室大棚 Greenhouse	豇豆 <i>Vigna unguiculata</i> (Linn.) Walp	2	22
		龙葵 <i>Solanum nigrum</i> L.	3	21
漳州、龙海、东园 Zhangzhou, Longhai, Dongyuan	露地 Open field	花椰菜 <i>Brassica oleracea</i> L. var. <i>botrytis</i> L.	24	0
		番茄 <i>Lycopersicon esculentum</i> Mill.	24	0

草(*Salvia plebeia* R. Br.)、小飞蓬、一年蓬[*Erigeron annuus* (L.) Pers.]、益母草[*Leonurus artemisia* (Laur.) S. Y. Hu]、苦苣菜(*Sonchus oleraceus* L.)、马蹄金(*Dichondra repens* Forst.)和金银花(*Lonicera japonica* Thunb.)，且以荔枝草为主。崔洪莹等^[11]发现露地上的烟粉虱寄主有荔枝草、白菜[*Brassica pekinensis* (Lour.) Rupr.]、甜菜(*Beta vulgaris* L.)、菠菜(*Spinacia oleracea* L.)、莴苣(*Lactuca sativa* L.)、萝卜(*Raphanus sativus* L.)和一年蓬，而温室大棚中主要有辣椒、酸模(*Rumex acetosa* L.)、婆婆草(*Bidens pilosa* L.)、芥草[*Brassica juncea* (L.) Czern. and Coss.]、繁缕[*Stellaria media* (L.) Cyr.]和番茄，露地上荔枝草的虫量最大，大棚中婆婆草的虫量最大。本研究同样发现蔬菜作物和杂草可作为烟粉虱的越冬寄主，露地上花椰菜的虫量最多，大棚中蔬菜和杂草上均具有较多虫量，尤其是休耕大棚前茬作物残株上的虫量很大，可以扩散到棚内大量生长的龙葵、胜红蓟、辣子草、小飞蓬等阔叶类杂草上。结合烟粉虱在龙葵和辣子草上的生长发育表现(表 7)，我们认为这些阔叶类杂草是福建地区冬季烟粉虱重要的越冬替代寄主。Muñiz^[14]同样发现龙葵是烟粉虱的适宜寄主。此外，阔叶类杂草锦葵(*Malva parviflora* L.)、荠菜(*Capsella bursa-pastoris* L.)和田芥[*Brassica kaber* (DC)]也是适宜烟粉虱生长发育和繁殖的越冬寄主^[14]。

低温的强度和持续时长与露地烟粉虱越冬数量密切相关^[10-11]。崔洪莹等^[11]和 Lin 等^[26]发现随着温度降低，烟粉虱成虫在低温暴露下的致死中时间不断缩短。本研究亦发现随着温度降低及持续时间延长，烟粉虱各虫态的存活率呈下降趋势。2017 年 2 月的温度较 1 月低，2 月份蔬菜上的虫口密度也相应

地显著少于 1 月份蔬菜上的虫口密度。另外，我们还发现卵和高龄若虫更耐低温，在温度更低的三明和南平地区露地蔬菜上烟粉虱以卵和伪蛹越冬。这与周国珍等^[13]、董国堃等^[12]的研究发现相符。但是，除了湖北仙桃的荔枝草和江西南昌的一年蓬以烟粉虱卵为主外，崔洪莹等^[11]发现在湖北、浙江和江西的露地蔬菜和杂草上，烟粉虱主要以成虫越冬。

越冬北界是烟粉虱越冬研究中重要的科学问题，也得到了较多的关注^[10-13]，而且多数研究选择接近中亚热带北界的地区开展试验。例如，崔洪莹等^[11]认为湖北省仙桃市、江西省南昌市和浙江省金华市可以作为烟粉虱的自然越冬北界。陈春丽等^[9]研究预测，12 月下旬，我国除福建、广东、广西、云南、海南、台湾等省有烟粉虱田间存在，其他省的烟粉虱在露地基本上消退。实地调查发现烟粉虱在广东、福建等南方地区的一些露地蔬菜大田可以安全越冬^[8-9]。本研究调查结果亦证实，在福建省南平市建瓯市小松镇和三明市三元区中村乡以南地区，烟粉虱可在露地越冬。本研究还发现，在南亚热带北界附近的福州闽侯和龙岩新罗露地蔬菜上烟粉虱各虫态均可安全越冬，但主要是卵、高龄若虫和成虫，且越冬虫口密度较小；而在南亚热带的漳州龙海露地蔬菜上烟粉虱各虫态均可安全越冬，且越冬虫口密度较大，可周年危害。随着全球气候变暖，在南亚热带北界附近的区域，烟粉虱越冬的数量可能会率先出现积极的响应，应予以关注。

尽管烟粉虱在露地上的越冬界限与冬季的低温等温线分布范围关系密切^[9,11]，但温室大棚对烟粉虱成功越冬具有积极的保护作用。王勇等^[10]发现在越冬北界分布线以北的江苏江淮地区，烟粉虱可在双膜覆盖的大棚和日光温室等保护地设施中越冬。

甚至在高纬度地区如哈尔滨和辽宁的温室大棚中,烟粉虱仍可以伪蛹越冬^[27-28]。本研究发现福建各地区温室大棚蔬菜和杂草上烟粉虱各虫态均可安全越冬,且温室大棚内烟粉虱虫口密度远高于棚外露地,休耕温室大棚内烟粉虱虫口密度明显高于生产大棚。由于温室大棚中越冬有助于烟粉虱以更大的虫源基数扩散到田间进行为害,是烟粉虱周年循环为害的一个重要环节^[10,26]。因此,建议在冬季休耕期要及时清除大棚内作物残株及阔叶杂草以降低越冬烟粉虱虫量。

在福建省, MED 隐种烟粉虱于 2013 年在局部地区被发现, 2014 年于多个地区被发现且占比不断上升, 但截至 2014 年福建省烟粉虱仍以 MEAM1 隐种为主^[7]。Chu 等^[29]证实冬季广泛使用的温室大棚有助于增加烟粉虱的遗传多样性, 促进 MED 隐种烟粉虱的成功定殖。温室大棚的建立可能是 MED 隐种烟粉虱在福建省定殖的重要因素之一^[7]。本研究表明 MED 隐种烟粉虱可以在大棚中越冬。由于 MED 隐种对杂草寄主的适应性较 MEAM1 隐种烟粉虱更高^[14], 在休耕大棚中大量生长的杂草可能也会促进 MED 隐种竞争取代 MEAM1 隐种。

本文主要关注蔬菜高强度生产的农田生态系统, 仅选取了典型作物即蔬菜和杂草进行调查, 而园艺花卉中也有烟粉虱喜好的寄主植物^[26,30], 在花卉与蔬菜毗邻种植区域开展越冬调查, 有助于进一步明确烟粉虱越冬规律。冬季烟粉虱 MEAM1、MED 隐种的竞争替代对翌年种群建立具有重要作用^[29], 加大不同栽培方式下烟粉虱取样和鉴定数量, 对比 MEAM1、MED 隐种的耐寒性以及常见越冬杂草的适应性, 可以增进对两者竞争替代规律的认识。

综上, 温度是影响烟粉虱越冬的最重要因素, 烟粉虱可以在福建露地越冬。温室大棚的保温作用有助于烟粉虱越冬, 尤其在休耕大棚内, 前茬作物残株和阔叶杂草上留有大量各虫态烟粉虱, 成为翌年春季扩散到露地为害的重要虫源。温室大棚的发展建设可能有助于 MED 隐种烟粉虱的定殖扩散。建议清除田间蔬菜残株和阔叶类杂草, 压低烟粉虱的越冬虫口基数。

参考文献 References

- [1] DE BARRO P J, LIU S S, BOYKIN L M, et al. *Bemisia tabaci*: A statement of species status[J]. Annual Review of Entomology, 2011, 56: 1-19
- [2] 张芝利, 罗晨. 我国烟粉虱的发生危害和防治对策[J]. 植物保护, 2001, 27(2): 25-30

- ZHANG Z L, LUO C. Occurrence and control countermeasures of *Bemisia tabaci* (Gennadius) in China[J]. Plant Protection, 2001, 27(2): 25-30
- [3] REN S X, WANG Z Z, QIU B L, et al. The pest status of *Bemisia tabaci* in China and non-chemical control strategies[J]. Entomologia Sinica, 2001, 8(3): 279-288
- [4] 褚栋, 张友军, 丛斌, 等. 云南 Q 型烟粉虱种群的鉴定[J]. 昆虫知识, 2005, 42(1): 54-56
- CHU D, ZHANG Y J, CONG B, et al. Identification for Yunnan Q-biotype *Bemisia tabaci* population[J]. Chinese Bulletin of Entomology, 2005, 42(1): 54-56
- [5] HU J, DE BARRO P J, ZHAO H, et al. An extensive field survey combined with a phylogenetic analysis reveals rapid and widespread invasion of two alien whiteflies in China[J]. PLoS One, 2011, 6(1): e16061
- [6] PAN H P, CHU D, GE D Q, et al. Further spread of and domination by *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) biotype Q on field crops in China[J]. Journal of Economic Entomology, 2011, 104(3): 978-985
- [7] YAO F L, ZHENG Y, HUANG X Y, et al. Dynamics of *Bemisia tabaci* biotypes and insecticide resistance in Fujian province in China during 2005-2014[J]. Scientific Reports, 2017, 7: 40803
- [8] 沈斌斌, 任顺祥, 吴建辉, 等. 烟粉虱在黄瓜上的种群动态及其越冬情况调查与分析[J]. 仲恺农业技术学院学报, 2003, 16(4): 21-26
- SHEN B B, REN S X, WU J H, et al. Investigation on population dynamics of *Bemisia tabaci* and its overwintering in cucumber planted field[J]. Journal of Zhongkai Agrotechnical College, 2003, 16(4): 21-26
- [9] 陈春丽, 鄧军锐, 戈峰, 等. 我国烟粉虱早春发生与秋季消退[J]. 生态学报, 2011, 31(19): 5691-5701
- CHEN C L, ZHI J R, GE F, et al. Appearance in spring and disappearance in autumn of *Bemisia tabaci* in China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(19): 5691-5701
- [10] 王勇, 周福才, 鞠瑞亭, 等. 江苏地区烟粉虱的越冬研究[J]. 华东昆虫学报, 2007, 16(2): 87-91
- WANG Y, ZHOU F C, JU R T, et al. Studies on overwinter of *Bemisia tabaci* in Jiangsu Province[J]. Entomological Journal of East China, 2007, 16(2): 87-91
- [11] 崔洪莹, 郭慧娟, 戈峰. 烟粉虱的耐寒能力与自然越冬北界分析[J]. 植物保护, 2011, 37(1): 65-69
- CUI H Y, GUO H J, GE F. The cold hardiness and northern distribution boundary of overwintering whiteflies, *Bemisia tabaci*, in China[J]. Plant Protection, 2011, 37(1): 65-69
- [12] 董国望, 林凌伟, 叶建人, 等. 外来入侵生物烟粉虱的发生规律及防治技术[J]. 浙江农业科学, 2005, (1): 54-56
- DONG G K, LIN L W, YE J R, et al. Occurrence pattern and control of a biological invader *Bemisia tabaci*[J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 2005, (1): 54-56
- [13] 周国珍, 罗汉钢, 刘美刚, 等. 湖北省烟粉虱露地越冬寄主及影响因素分析[J]. 湖北农业科学, 2014, 53(12): 2808-2811
- ZHOU G Z, LUO H G, LIU M G, et al. Overwintering host of *Bemisia tabaci* in open field and its impacting factors in

- Hubei Province[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2014, 53(12): 2808–2811
- [14] MUÑIZ M. Host suitability of two biotypes of *Bemisia tabaci* on some common weeds[J]. Entomologia Experimentalis et Applicata, 2000, 95(1): 63–70
- [15] 何玉仙, 翁启勇, 黄建, 等. 烟粉虱田间种群的抗药性[J]. 应用生态学报, 2007, 18(7): 1578–1582
HE Y X, WENG Q Y, HUANG J, et al. Insecticide resistance of *Bemisia tabaci* field populations[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2007, 18(7): 1578–1582
- [16] 郑宇, 赵建伟, 何玉仙, 等. 福建省烟粉虱田间种群抗药性发展及其影响因素[J]. 应用生态学报, 2012, 23(1): 271–277
ZHENG Y, ZHAO J W, HE Y X, et al. Development of insecticide resistance and its effect factors in field population of *Bemisia tabaci* in Fujian Province, East China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2012, 23(1): 271–277
- [17] LEATHER E R, WALTER K F A, BALE J S. The Ecology of Insect Overwintering[M]. Cambridge, UK: Cambridge University press, 1993
- [18] 农业部全国植物保护总站. 中国农田杂草图册(第一集)[M]. 北京: 化学工业出版社, 1988
National Plant Protection Station of Ministry of Agriculture. Atlas of Farmland Weeds in China (Volume one)[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 1988
- [19] 马承忠. 农田杂草识别及防除——幼苗和成株简明图鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999
MA C Z. Farmland Weeds Identification and Control — A Brief Atlas of Seedling and Adult Plant[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1999
- [20] 郑宇, 姚凤奎, 黄晓燕, 等. 福建省烟粉虱不同地理种群遗传结构特征[J]. 植物保护学报, 2016, 43(1): 78–83
ZHENG Y, YAO F L, HUANG X Y, et al. Genetic structure of the geographical populations of tobacco whitefly *Bemisia tabaci* (Gennadius) in Fujian, China[J]. Journal of Plant Protection, 2016, 43(1): 78–83
- [21] SHATTERS J R R G, POWELL C A, BOYKIN L M, et al. Improved DNA barcoding method for *Bemisia tabaci* and related Aleyrodidae: Development of universal and *Bemisia tabaci* biotype-specific mitochondrial cytochrome c oxidase polymerase chain reaction primers[J]. Journal of Economic Entomology, 2009, 102(2): 750–758
- [22] MOUND L A, HALSEY S H. Whitefly of the World[M]. London: British Museum (Natural History), John Wiley & Sons Inc., 1978
- [23] SECKER A E, BEDFORD I A, MARKHAM P G, et al. Squash, a reliable field indicator for the presence of B biotype of tobacco whitefly, *Bemisia tabaci*[C]//Proceedings of the International Conference on Brighton Crop Protection Conference: Pests and Diseases. London: British Crop Protection Council, 1998: 837–842
- [24] BROWN J K. Current status of *Bemisia tabaci* as a plant pest and virus vector in agroecosystems worldwide[J]. FAO Plant Protection Bulletin, 1994, 42(1/2): 3–32
- [25] 何玉仙, 杨秀娟, 翁启勇. 农田烟粉虱寄主植物调查初报[J]. 华东昆虫学报, 2003, 12(2): 16–20
HE Y X, YANG X J, WENG Q Y. Investigations of host plants of *Bemisia tabaci* (Gennadius) in agricultural field[J]. Entomological Journal of East China, 2003, 12(2): 16–20
- [26] LIN K J, WU K M, ZHANG Y J, et al. Overwintering and population dynamics of *Bemisia tabaci* biotype B in greenhouse during the spring in northern China[J]. Crop Protection, 2007, 26(12): 1831–1838
- [27] 付雪, 叶乐夫, 王贵强, 等. 黑龙江地区烟粉虱和温室白粉虱发生动态[J]. 应用昆虫学报, 2011, 48(1): 32–37
FU X, YE L F, WANG G Q, et al. Occurrence and development for *Bemisia tabaci* and *Trialeurodes vaporariorum* in Heilongjiang Province[J]. Chinese Journal of Applied Entomology, 2011, 48(1): 32–37
- [28] 张万民, 李洪冉, 朴春树, 等. 辽宁省冬季温室内越冬粉虱伪蛹的种类鉴定及烟粉虱体内番茄黄化曲叶病毒的检测[J]. 昆虫学报, 2013, 56(8): 945–951
ZHANG W M, LI H R, PIAO C S, et al. Species identification of over-wintering whitefly pseudo-pupae and detection of the infection status of *tomato yellow leaf curl virus* in *Bemisia tabaci* in winter greenhouses in Liaoning, northeastern China[J]. Acta Entomologica Sinica, 2013, 56(8): 945–951
- [29] CHU D, GUO D, TAO Y L, et al. Evidence for rapid spatiotemporal changes in genetic structure of an alien whitefly during initial invasion[J]. Scientific Reports, 2014, 4: 4396
- [30] 邱宝利, 任顺祥, 孙同兴, 等. 广州地区烟粉虱寄主植物调查初报[J]. 华南农业大学学报, 2001, 22(4): 43–47
QIU B L, REN S X, SUN T X, et al. Investigation of host plants of *Bemisia tabaci* (Gennadius) in Guangzhou Area[J]. Journal of South China Agricultural University, 2001, 22(4): 43–47