

# 烟粉虱生物型研究进展

褚 栋<sup>1,2</sup>, 毕玉平<sup>2</sup>, 张友军<sup>1\*</sup>, 娄蕴萍<sup>1</sup>

(1. 中国农业科学院蔬菜花卉研究所, 北京 100081; 2. 山东省农业科学院高新技术研究中心, 济南 250100)

**摘要:** 烟粉虱 *Bemisia tabaci* (Gennadius) 是一种取食植物汁液的重要农业害虫, 同时也是许多植物病毒最重要的传播介体之一。烟粉虱被认为是由许多具有明显遗传分化的不同种群即生物型组成的复合种, 其中 B 型烟粉虱是一种入侵性最强的生物型, 几乎在世界各地均有分布。由于不同生物型的烟粉虱在寄主范围、传毒能力、地理分布、抗药性等许多生物学方面存在差异, 因此对烟粉虱生物型的鉴定及其遗传分化研究对于该害虫的可持续控制具有重要的指导意义。烟粉虱生物型的鉴定方法包括生物学鉴定、酶谱鉴定以及分子标记鉴定的方法, 其中使用的分子标记包括 RAPD、AFLP、rDNA-ITS1、mDNA COI 以及 SSR 等标记。目前, 不同生物型的烟粉虱尤其 B 型烟粉虱的分类地位仍然存在争议。介绍了不同生物型烟粉虱的生物学差异、鉴定方法及其遗传分化研究的最新进展, 同时探讨了不同生物型烟粉虱的分类地位和研究方向。

**关键词:** 烟粉虱; 生物型; 生物学; 鉴定方法; 遗传分化

文章编号: 1000-0933(2005)12-3398-08 中图分类号: Q 958 文献标识码: A

## Research progress on *Bemisia tabaci* (Gennadius) biotypes

CHU Dong<sup>1,2</sup>, BI Yu-Ping<sup>2</sup>, ZHANG You-Jun<sup>1\*</sup>, LOU Yun-Ping<sup>1</sup> (1. Institute of Vegetables and Flowers, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China; 2. High-tech Research Center, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan 250100, China). Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(12): 3398~3405

**Abstract** The whitefly *Bemisia tabaci* (Genn.) is an important agricultural pest that feeds in the phloem. It also is the most important vector of several plant virus genera, worldwide. *B. tabaci* is considered by most to represent a species complex, which comprises a large number of genetically and biologically variable populations, and well-studied biological types. The B biotype is a particularly aggressive *B. tabaci* variant that has been established in many of the world's cropping systems including China. It has become established in many locations worldwide, beginning in about 1988. Since then, it has been of considerable concern as a pest and virus vector in the Americas and Caribbean region, and other countries having subtropical climates. In China *B. tabaci* became an important agricultural pest and virus vector in the late 1990s, and its establishment in China was reported for the first time in 2002. The B biotype is now widespread in a number of provinces in China where vegetables, cotton, and ornamentals are produced.

Recent studies have demonstrated that there are several major *B. tabaci* haplotypes in China including those thought to be indigenous, and at least one exotic biotype (e.g. the B biotype). In China and elsewhere, it has become realized that the *B. tabaci* populations are polymorphic, cryptic species that can upsurge without warning and cause great damage to crop and ornamental species. It is important to understand the biology differences between biotypes of *B. tabaci* in order to devise effective control practices. Characteristics that are known to vary amongst distinct biotypes of *B. tabaci* include host range,

基金项目: 国家重点基础研究发展计划资助项目(2002CB111400); 国家自然科学基金资助项目(30500331); 北京市自然科学基金资助项目(6062024)

收稿日期: 2004-12-17; 修订日期: 2005-04-22

作者简介: 褚 栋(1977~), 男, 山东枣庄人, 博士, 副研究员, 从事入侵生物学和昆虫分子生态学研究。E-mail: chudong1977@hotmail.com

\* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: zhangyj@mail.caas.net.cn

致谢: 美国亚利桑那州大学 Brown 教授为本文提供了信息并进行了有益的探讨, 在此表示感谢!

**Foundation item:** Key Project of Chinese National Programs for Fundamental Research and Development (2002CB111400); the National Natural Science Foundation of China (No. 30500331); Beijing Municipal Natural Science Foundation (No. 6062024)

**Received date:** 2004-12-17; **Accepted date:** 2005-04-22

**Biography:** CHU Dong, Ph. D., Associate professor, mainly engaged in biological invasion and entomological molecular ecology. E-mail: chudong1977@hotmail.com

virus transmission competency, fecundity, insecticide resistance, all of which can feasibly influence management strategies

Molecular markers have been used to distinguish biotypes and to analyze genetic differentiation. The mitochondrial cytochrome oxidase I (mt CO I) gene is a highly informative coding sequence for differentiating variants of the *B. tabaci* complex. The mt CO I was herein used as a marker to identify and determine the distribution of haplotypes or biotypes in China.

**Key words:** *Bemisia tabaci* Gennadius; biotype; biology; identification methods; genetic differentiation

烟粉虱 *Bemisia tabaci* (Gennadius) 是热带和亚热带地区的主要害虫之一, 在美洲、欧洲、非洲、大洋洲和亚洲的许多国家和地区均有分布; 其危害包括直接吸取植物汁液, 分泌蜜露影响光合作用以及传播植物病毒, 给农业生产造成了巨大的经济损失<sup>[1,2]</sup>。20 世纪 50 年代, 一些学者发现不同的烟粉虱种群在某些生物学方面存在差异, 因此推测烟粉虱可能有不同的生物型<sup>[3]</sup>。20 世纪 80 年代末, 实验证实了在美国及其它国家相继暴发的烟粉虱<sup>[4]</sup>是一种新的生物型即 B 型<sup>[5]</sup>。随后, 世界各国对烟粉虱的生物型进行了深入而广泛的研究。

烟粉虱在我国许多地区早有记载<sup>[6]</sup>, 但一直不是主要的害虫。近年来, 烟粉虱突然在我国华北和其他地区发生并造成严重的危害<sup>[7]</sup>, 分子生物学等手段研究发现造成这种严重危害的烟粉虱主要是外来生物——B 型烟粉虱<sup>[8-11]</sup>, 某些地区还存在其他生物型烟粉虱危害(表 1)<sup>[9-12]</sup>。烟粉虱生物型的鉴定及其遗传分化研究对烟粉虱的防治具有重要的指导意义, 如 B 型烟粉虱传入美国很长一段时间内的防治失败, 其原因归咎于对烟粉虱生物型的忽视<sup>[13]</sup>。

然而烟粉虱的生物型问题仍然没有引起我国科研工作者的足够重视。国内许多烟粉虱相关的研究资料中没有明确其生物型, 不仅阻碍了学术交流, 而且不利于该害虫的综合治理。目前, 国际上几乎所有关于烟粉虱的文献均注明了其生物型。本文介绍了国内外烟粉虱生物型的研究概况以及最新进展, 希望能够引起我国科研工作者对烟粉虱生物型问题的广泛关注。

## 1 不同生物型烟粉虱的生物学差异

根据生物学的差异, 烟粉虱可以分为多种不同的生物型<sup>[1]</sup>; 截至 2001 年, 至少确定了 24 个生物型, 而且许多烟粉虱种群的生物型尚未确定; 这 24 个生物型包括 A、AN、B、B2、C、Cassava(木薯)、D、E、F、G、G/H、H、I、J、K、L、M、N、NA、Okra(秋葵)、P、Q、R、S 型, 其中 B 型烟粉虱是一种世界性的入侵害虫, 几乎全世界均有分布, 其它生物型均为区域性分布<sup>[1,14]</sup>。不同的烟粉虱生物型在寄主范围、传毒能力、地理分布及抗药性等方面存在显著差异。

### 1.1 寄主范围

烟粉虱的寄主范围很广, 其寄主植物包括 74 科 420 种<sup>[15]</sup>; 然而不同的生物型烟粉虱其寄主范围存在差异。大多数烟粉虱生物型是多食性的<sup>[16]</sup>, 如 A 型、B 型、J 型、非木薯型、木薯型、秋葵型、Sida 型, 能够取食多种植物; 也有寡食性或单食性的, 如非洲象牙海岸的 C 型仅为害木薯和野茄, 非洲贝宁的 E 型仅为害 *A. sycostasia* spp., 波多黎各岛的 N 型仅为害 *Jatropha* 棉叶<sup>[1]</sup>。

### 1.2 传毒能力

不同生物型的烟粉虱传播病毒的能力存在差异<sup>[1,16]</sup>, 如 A 型烟粉虱主要传播新旧大陆联体病毒和莴苣黄叶病毒; B 型烟粉虱传播新旧大陆联体病毒和少量莴苣黄叶病毒; E 型烟粉虱传播 *A. sycostasia* 金色花叶病毒; J 型烟粉虱传播番茄黄卷叶病毒也门品系; N 型烟粉虱传播 *Jatropha* 花叶病毒; 非木薯型烟粉虱传播新大陆联体病毒; 木薯型烟粉虱传播非洲木薯花叶病毒; 秋葵型烟粉虱传播旧大陆联体病毒而不传非洲木薯花叶病毒; Sida 型烟粉虱传播新大陆联体病毒而不传 *Jatropha* 花叶病毒<sup>[1]</sup>。

一些生物型烟粉虱不能传播某些联体病毒, 可能是由于不能取食该病毒感染的植物寄主, 而不是由于没有传播的能力<sup>[1]</sup>。对于传播同一种病毒的不同生物型烟粉虱, 其传毒能力差异不是由于摄取病毒的能力不同, 而是由于传播途径中的获取和/或传播时期存在差异; 同时, 同一生物型的烟粉虱不同性别间传播病毒的能力也不同<sup>[16]</sup>。

### 1.3 地理分布

研究表明, 亲缘关系密切的不同生物型烟粉虱具有一定的地理分布模式; 从广义上来分可以分为 8 个地理种群<sup>[17]</sup>: 撒哈拉沙漠以南地区种群、非洲种群、新大陆种群、地中海地区种群、中东地区种群、亚洲 1 种群、亚洲 2 种群和澳大利亚/澳洲种群, 不同的种群由亲缘关系密切的生物型组成。

B 型烟粉虱是一种入侵性很强的生物型, 该生物型已经成为了一种世界性的农业害虫。它可能来源于非洲东/北部、中东或阿拉伯半岛地区<sup>[12,18]</sup>, 借助一品红或其他花卉的调运等贸易活动在全世界范围内扩散<sup>[1,19]</sup>。现在已经成功入侵了美国<sup>[20]</sup>、哥伦比亚<sup>[21]</sup>、澳大利亚<sup>[22]</sup>、韩国<sup>[23]</sup>、巴西<sup>[24]</sup>、中国<sup>[8,9]</sup>等许多国家。近年来的研究发现, Q 型烟粉虱也具有极强的入侵性; 该生物型来源于地中海或中东地区或北非地区<sup>[25,26,27]</sup>, 主要在黎巴嫩半岛、萨丁尼亚、西西里岛以及摩洛哥地区<sup>[25,28]</sup>, 近年来在我国的云南省昆明市等地区发生危害<sup>[11]</sup>。很明显, 它们打破了高山、河流等地理屏障的约束, 通过人为运输的途径传入我国不同地区的。

### 1.4 抗药性差异

不同生物型烟粉虱对化学农药的抗性或反应存在差异, 如 B 型比 A 型等其它生物型烟粉虱更容易产生抗药性<sup>[29]</sup>, 可能与

其特有的一条酯酶带  $E_{0.14}$  [30] 对拟除虫菊酯有直接的降解作用有关 [31]; 在对照和印楝素处理的植物上的 B 型烟粉虱雌性成虫产卵量以及若虫数量几乎没有显著差异, 而非 B 型烟粉虱在处理植物上的数量明显减少 [32];

表 1 不同烟粉虱生物型在我国的地理分布

Table 1 Geographic distribution of different *B. tabaci* biotypes in China

采集地点 Collection sites	生物型 B iotype	参考文献 References
北京市 Beijing	B	[8~ 11]
广东省广州、深圳、佛山、珠海、中山、梅州、新会、阳山 Guangzhou, Shenzhen, Foshan, Zhuhai, Zhongshan, Meizhou, Xinhui, Yangshan of Guangdong Province	B	[8~ 10]
山东省青州、泰安、青岛、枣庄 Qingzhou, Taian, Qingdao, Zaozhuang of Shandong Province	B	[8, 10, 11]
上海市 Shanghai	B	[8, 11]
陕西省西安 Xian, Shaanxi Province	B	[9]
新疆维吾尔自治区吐鲁番、石河子 Tulumfan, Shihezi of Xinjiang Province	B	[9]
安徽省合肥 Hefei, Anhui Province	B	[10]
江西省南昌 Nanchang, Jiangxi Province	B	[10]
福建省福州 Fuzhou, Fujian Province	B	[10]
贵州省贵阳 Guiyang, Guizhou Province	B	[10]
重庆市万州 Chongqing, China	B	[10]
广西族自治区南宁 Nanning, Guangxi Province	B	[10]
江苏省扬州、南京 Yangzhou, Nanjing of Jiangsu Province	B	[10, 11]
海南省儋州、海口 Danzhou, Haikou of Hainan Province	B	[10, 11]
河南省郑州 Zhengzhou, He'nan Province	B	[11]
浙江省金华 Jinhua, Zhejiang Province	B	
云南省昆明 Kunming, Yunnan Province	Q	[11]
河南省郑州 Zhengzhou, He'nan Province	Q	
北京市海淀区 Haidian, Beijing	Q	
台湾地区 Taiwan, China	非 B (non-B)	[12]
海南省 Hainan Province	非 B (non-B)	[12]
福建省福州 Fuzhou, Fujian Province	非 B (non-B)	[8, 9]
广西族自治区南宁 Nanning, Guangxi Province	非 B (non-B)	[8]
湖南省湘潭 Xiangtan, Hu'nan Province	非 B (non-B)	[10]
湖北省宜昌 Yichang, Hubei Province	非 B (non-B)	[10]
云南省昆明 Kunming, Yunnan Province	非 B (non-B)	[10]
山西省太原 Taiyuan Shanxi Province	非 B (non-B)	[10]
广东省新丰、英德、始兴、广州 Xinfeng, Yingde, Shixing, Guangzhou of Guangdong Province	非 B (non-B)	[10],
浙江省金华 Jinhua, Zhejiang Province	非 B/Q (non-B/Q)	

褚栋 外来入侵烟粉虱生物型、群体遗传结构及其入侵机制的研究 沈阳农业大学博士学位论文 2004 Chu D. The biotypes, population genetic structure and invasive mechanism of the exotic *Bemisia tabaci* (Gennadius); Ph. D. dissertation of Shenyang Agricultural University. 2004; 下同 the same below

近年来, 在地中海地区原来危害并不严重的 Q 型烟粉虱成为了重要的害虫, 除了由于该生物型具有较高的密度 [28, 33], 还与该生物型对新烟碱类杀虫剂产生了抗性有关 [34]; 最近的研究发现, 在没有农药选择压力下, Q 型烟粉虱对新类烟碱农药的抗性比较稳定, 而 B 型的抗性则会急剧下降 [34]。

### 1.5 其他生物学差异

不同生物型烟粉虱在其他生物学方面也存在一定的差异, 其中由于 B 型烟粉虱具有重要的经济地位, 对它的生物学研究的比较深入。如该生物型的危害能引起西葫芦根叶反应, 而其它生物型却不能 [35], 比其它生物型寄主范围更广 [36], 取食量高 [37], 比 A 型的平均交配持续时间短 [2], 在一品红上和棉花上, B 型比 A 型烟粉虱产卵量明显高 [35]、求偶能力更强 [36], 比 A 型和其它旧大陆生物型烟粉虱的卵发育速度始终要快 [38, 39], 在墨西哥南瓜、西葫芦、黑籽南瓜以及中国南瓜上, B 型比 A 型烟粉虱的定居速度要快 23% ~ 33% [21]; 在一些作物上, B 型比 Q 型烟粉虱单头雌性产卵量高、孵化时间短、幼虫的死亡率低、F1 代成虫数量较多 [40]。可能由于 B 型烟粉虱具有上述的生物学特点, 使得 B 型烟粉虱具有强大的资源利用竞争能力 (如生态位竞争) 和相互干扰竞争能力 (如生殖干涉、危害的寄主对其它昆虫的影响), 从而使得 B 型烟粉虱具有强大的入侵性。例如, B 型烟粉虱在很短的时间内取代了美国许多州以及巴西、厄瓜多尔和哥伦比亚的土著烟粉虱-A 型烟粉虱 [20, 21, 24, 41], 对其他昆虫也存在着竞争取代的现象 [42~ 46]。

尽管一般认为 B 型比其他生物型具有更强的入侵性, 然而在一些地区某些非 B 型烟粉虱种群仍占上风。例如在西班牙的

南部地区, Q 型烟粉虱在番茄、辣椒、莴苣等作物上比 B 型烟粉虱发生更为严重、危害也更大<sup>[48-50]</sup>, 这可能与 Q 型烟粉虱的生物学密切相关: 杂草是烟粉虱的重要寄主和危害农作物的重要虫源基地, Q 型烟粉虱在许多杂草上比 B 型烟粉虱具有更强的生存优势, 如在 3 种不同的杂草 (*Malva parviflora* L., *Capsella bursa-pastoris* L., *B. brassica kaber* (DC)) 上, Q 型烟粉虱雌虫产卵量、化蛹数、成虫羽化率等比 B 型烟粉虱明显高<sup>[49]</sup>; 在这些杂草以及一些不同品系的西红柿上, Q 型烟粉虱具有比 B 型更强的入侵性<sup>[48, 49]</sup>; 26 情况下, Q 型烟粉虱在杂草 *Datura stramonium* 和 *Solanum nigrum* 上从卵到成虫的历期明显短于 B 型的历期<sup>[49]</sup>; 在甜椒上, Q 型烟粉虱在 17、33 时平均世代历期比 B 型的要短<sup>[50]</sup>。

## 2 烟粉虱生物型的鉴定方法及其遗传分化

在形态学上, 不同生物型的烟粉虱极为相似, 尽管 B 型和其它生物型烟粉虱的蛹壳在第四前亚缘毛和气门外的蜡缨等性状存在一定差异<sup>[51]</sup>, 但是这些差异很难作为烟粉虱生物型的区分标准<sup>[52]</sup>。

目前, 烟粉虱生物型的鉴定及其遗传分化研究主要根据它们在生物学、酶位点多态性和核酸多态性等差异。

### 2.1 生物学鉴定

在生物学方面, B 型烟粉虱的危害能引起西葫芦银叶反应, 即西葫芦叶子受 B 型烟粉虱危害后, 初期沿叶脉变为银色或亮白色, 后扩大至全叶变为银色; 而其它生物型却不能<sup>[35]</sup>。这也是 B 型烟粉虱鉴定简单有效的方法, 已经在世界各地得到了广泛的应用。然而, 这种方法也具有许多缺点, 如不同品种的西葫芦对 B 型烟粉虱的生物学反应存在一定的差异, 仅能鉴定 B 型烟粉虱, 需要的时间长, 而且必须是活体昆虫。

### 2.2 酶谱鉴定

不同烟粉虱生物型其酶谱不同, 利用普通酯酶 (EST) 特征带的差异可以将不同烟粉虱生物型区分开来, 这也曾经是生物型划分的主要依据<sup>[5, 53]</sup>。Perring 等<sup>[2]</sup>对异构酶的分析同样取得了区分 A 型和 B 型烟粉虱的结果, 2 种生物型烟粉虱 17 个种群 14 种酶中的 8 种酶具有等位基因多态性, 其中在酯酶 IV、磷酸葡萄糖异构酶、葡萄糖磷酸变位酶位点具有固定的等位基因差异; 结合这 2 种生物型在交配行为、杂交试验以及 RAPD 分子标记的研究结果, Perring 等<sup>[2]</sup>认为 B 型烟粉虱是一个不同于 A 型烟粉虱的新种。

### 2.3 分子鉴定

随着分子生物学的发展, 烟粉虱生物型的鉴定及其遗传分化的研究主要使用了各种分子标记, 如 RAPD、AFLP、rDNA-ITS1、mDNA CO I 以及 SSR 等<sup>[18]</sup>, 其中细胞色素氧化酶 I (mDNA CO I) 分子标记被认为不同生物型鉴定及其遗传分化研究中最有效的方法<sup>[1, 19]</sup>。

**2.3.1 RAPD 标记** RAPD (Random Amplified Polymorphic DNA) 分子标记具有不需探针、技术简便、模板样品需要量少、成本较低等优点, 在烟粉虱的生物型鉴定和遗传分化研究中得到了广泛应用<sup>[24]</sup>。B 型烟粉虱在世界各地的首次报道常常使用的是 RAPD 方法, 如 B 型烟粉虱在突尼斯<sup>[54]</sup>、西班牙<sup>[55]</sup>、法国<sup>[56]</sup>、哥伦比亚<sup>[21]</sup>、委内瑞拉<sup>[57]</sup>、巴西<sup>[24]</sup>、中国<sup>[8]</sup>等许多国家的首次发现均是依据这种方法。

实验表明, 通过 RAPD 位点统计分析不同烟粉虱生物型之间的相似系数或者根据 B 型烟粉虱特有位点, 能够有效的区分 B 型和其它非 B 型烟粉虱<sup>[8, 10, 58]</sup>, 该方法可以快速的确定 B 型烟粉虱的分布, 如 Guirao 等<sup>[56]</sup>利用这种分子标记确定了西班牙地区、美国亚利桑那州、以色列、法国、丹麦、意大利、荷兰、日本采集的烟粉虱为 B 型, 而黎巴嫩半岛、土耳其、印度、巴基斯坦、亚利桑那州采集的某些烟粉虱种群则为非 B 型, Martinez 等<sup>[59]</sup>和 Lima 等<sup>[24]</sup>利用 RAPD 方法分析了巴西地区烟粉虱生物型的扩散及分布情况, 结果发现 B 型烟粉虱很短的时间内扩散到巴西 20 个州, 还有 3 个地区和非 B 型 (即 BR 型) 烟粉虱共存。

RAPD 方法不仅能够有效的区分烟粉虱的生物型以及确定它们的分布范围, 而且能够揭示不同生物型烟粉虱的遗传分化及亲缘关系。利用 RAPD 方法分析伊比利亚半岛 B 型和 Q 型烟粉虱的结果表明, Q 型烟粉虱种群间多样性高于 B 型种群<sup>[28]</sup>。利用该方法研究巴西 12 个烟粉虱种群 109 个个体, 结果表明烟粉虱种群内遗传变异在 56.7%, 不同作物间烟粉虱遗传变异为 22.73%<sup>[24]</sup>。使用 RAPD 方法分析了烟粉虱不同生物型的遗传分化: 对 27 个烟粉虱种群的遗传分化分析结果表明 Q 型和 B 型、浙江非 B 型烟粉虱的遗传分化较小, 与广东广州、巴基斯坦、肯尼亚种群的遗传分化较大, Q 型相对于其它非 B 型烟粉虱, 与 B 型烟粉虱具有更近的亲缘关系, 这与 Frohlich 等使用 mDNA CO I<sup>[19]</sup>、De Barro 等使用 ITS1<sup>[12]</sup>的研究结果是一致的。

**2.3.2 AFLP 标记** AFLP (Amplified Fragment Length Polymorphism) 标记具有分辨率高、重复性好、结果可靠等优点, 目前也在不同生物型烟粉虱遗传分化研究中得到了应用。Cervera 等<sup>[60]</sup>通过对不同生物型烟粉虱种群以及另外 2 个粉虱种进行 AFLP 分析发现, 不同生物型烟粉虱之间的相似系数为 0.32, 而与其它 2 个粉虱种的相似系数仅仅 0.07。根据 AFLP 的结果将烟粉虱种群分为 4 组: 近东和印度次大陆生物型, B、Q 型和尼日利亚的豇豆种群, 新大陆 A 型, S 型和尼日利亚的木薯种群分别为 1 组。

**2.3.3 ITS1 标记** De Barro 等<sup>[12]</sup>认为 rDNA-ITS1 与线粒体 16S 和 CO I 相比, 进化速度较快, 能更好的解决不同生物型烟粉

虱的亲缘分化问题。他们对世界各地 31 个种群的 *mtDNA*-*ITS1* 研究发现,不同生物型烟粉虱有很强地理分布模式。北非/地中海的 B 型和非 B 型首先形成姊妹进化支,然后和美国 A 型烟粉虱聚集,另外西班牙和贝宁的非银叶型形成较古老的姊妹支。

**2.3.4 m *mtDNA* COI 标记** 线粒体 DNA (*m mtDNA*) 数量丰富,容易获得,分子量较小,进化速度相对较快,通常母系遗传,因此适合于研究关系密切的种群历史、进化过程以及进化关系的研究。实验证明,细胞色素氧化酶 I (*m mtDNA* COI) 序列是烟粉虱生物型鉴定及遗传分化研究中最有效的一种方法<sup>[1, 19, 61]</sup>。

近年来,*m mtDNA* COI 序列广泛的应用于烟粉虱生物型的鉴定,如 Legg 等<sup>[62]</sup>发现乌干达的 2 个种群即 U g1、U g2 种群和 B 型烟粉虱有 8% 的遗传距离,因此不是 B 型烟粉虱。罗晨等<sup>[9]</sup>利用 *m mtDNA* COI 基因片段作标记,证实了在我国广大地区发生危害的烟粉虱主要是外来的 B 型烟粉虱。利用该方法发现在我国除了外来 B 型烟粉虱外,在云南省昆明市<sup>[11]</sup>、北京市海淀、河南省郑州等地区还存在另一种外来的 Q 型烟粉虱,同时浙江地区还存在非 B/Q 型烟粉虱。

Frohlich 等<sup>[19]</sup>根据 21 个烟粉虱种群的 *m mtDNA* COI 基因序列进行系统发育分析,结果表明烟粉虱可能是一个复合种,具有美国支、中东支、贝宁支、印度支 4 个平行的姊妹支;其中美国支包括美国 A 型及墨西哥种群,中东支包括美国的 B 型和以色列、也门的 B 型类似种群,然后和苏丹的非 B 型烟粉虱相聚;该实验结果和 AFLP<sup>[60]</sup>、*mtDNA*-*ITS1*<sup>[12]</sup>的分析结果相吻合的。

**2.3.5 SSR 分子标记** 上述 DNA 分子标记已经被广泛用来研究烟粉虱生物型的鉴定和遗传分化研究中<sup>[18]</sup>,但是不能对烟粉虱种群遗传结构进行更加深入的研究。De Barro 等<sup>[18]</sup>、Tsagkarakou 和 Roditakis<sup>[63]</sup>首先分别报道了烟粉虱微卫星位点,该分子标记具有多态性高、共显性遗传、重复性高、易检测等优点,在种群遗传结构研究中得到了广泛的应用。

De Barro 等<sup>[18]</sup>使用所设计的 15 对引物对 33 个地理种群烟粉虱(每个种群有 8~15 个体)共 426 个个体进行了初步试验;Tsagkarakou 和 Roditakis<sup>[63]</sup>利用希腊烟粉虱种群中筛选出 10 个微卫星位点,对 3 个不同寄主的 6 个烟粉虱种群(每个种群大约有 18 个个体)进行了初步试验;他们的实验表明这些微卫星位点能够较好的用于种群基因交流等遗传结构分析。从上述 25 对微卫星引物中筛选出 11 对引物,结果表明不同生物型的烟粉虱其位点的等位基因存在显著差异,一些生物型烟粉虱在某些微卫星位点具有固定的等位基因,可以将该生物型区分开来。聚类分析结果表明我国 B 型烟粉虱的入侵来源可能具有多元化,而 Q 型烟粉虱的入侵来源可能是地中海地区,这 2 种外来烟粉虱生物型传入我国的初始数量均很多,没有经过显著的瓶颈效应。

### 3 烟粉虱不同生物型的分类地位

尽管越来越多的学者认为烟粉虱是由已经产生了遗传分化的不同种群组成的复合种<sup>[12, 15, 19]</sup>,然而对于烟粉虱的具有一定遗传分化的种群,到底是生物型还是不同的种,仍然存在不同的观点<sup>[1]</sup>,而争论的焦点则是 B 型烟粉虱的分类地位问题。

Bellows 等根据交配行为、杂交、等位酶以及 RAPD 分子标记的研究结果认为 B 型烟粉虱是一个新种,并命名为银叶粉虱 *Bemisia argentifolii* Bellows & Perring<sup>[51]</sup>。随后,一些有关 B 型和许多非 B 型烟粉虱产生了生殖隔离的现象支持了这种观点。Bedford 等<sup>[64]</sup>对世界 18 个不同种群烟粉虱研究表明,其中 9 个不同地理区域的 B 型烟粉虱种群之间能够交配,不能与巴基斯坦的 K 型产生后代;苏丹的 L 型烟粉虱雄性与以色列 B 型雌性的杂交能产生后代,然而 L 型烟粉虱雌性和以色列 B 型雄性却不能产生雌性后代<sup>[65]</sup>;Gunning 等发现澳大利亚的本土非 B 型烟粉虱和入侵的 B 型烟粉虱存在杂交后代的现象<sup>[22]</sup>,然而产生的后代仅是少量的雄性<sup>[39]</sup>;Perring 使用 2 个 A 型烟粉虱种群(A1, A2)分别和 B 型烟粉虱进行杂交实验<sup>[36]</sup>,A1 种群 A2 种群雌性分别与 B 型雄性,A1 种群 A2 种群雄性分别与 B 型雌性产生的 F1 代全部是雄性。

一些分子标记的研究结果也表明,B 型和许多非 B 型烟粉虱的产生了很大的遗传分化,其遗传距离大于不同种间的遗传距离。Lima 等<sup>[24]</sup>的试验结果表明 B 型烟粉虱和 A 型、BR 型烟粉虱以及白粉虱 *Trialleurodes vaporariorum* (Westwood)、*Aleurodicus cocoas* (Curtis) 遗传距离很大,A 型 BR 型烟粉虱没有和 B 型烟粉虱聚集在一起,而是和白粉虱 *Aleurodicus cocoas* (Curtis) 聚在一起。Gawel 和 Bartlett<sup>[66]</sup>用 20 个引物进行 RAPD 研究表明,A 型 B 型烟粉虱间的相似系数小于山丁子粉虱 *Phyllonorycter myricae*、束翅粉虱 *Trialleurodes abutilonea* 这 2 个不同的种间的相似系数。利用 RAPD 分子标记得到的遗传距离和聚类分析结果表明,B 型 Q 型和浙江非 B 型烟粉虱聚为一支,而巴基斯坦种群、广东广州种群、肯尼亚种群则和我国不同地区的白粉虱 *T. vaporariorum* 聚在一起。

上述杂交实验以及分子生物学研究都证实了 B 型烟粉虱是一个新种,然而许多学者认为 B 型烟粉虱应该只是烟粉虱复合种其中的一个生物型<sup>[19, 20]</sup>。Gawel 和 Bartlett 认为 RAPD 方法可以区分 A 型和 B 型烟粉虱,但是不适合于分类<sup>[66]</sup>。同时,一些实验则发现 B 型烟粉虱能够和一些非 B 型烟粉虱产生后代,如 B 型和 B1 型、B2 型烟粉虱之间杂交也能够产生正常的雌雄后代<sup>[55]</sup>。因此,B 型烟粉虱的分类地位问题依然需要进一步的研究。

### 4 展望

我国幅员辽阔,地理情况复杂,除了已发现的一些烟粉虱生物型外,在我国其他地区可能还存在许多土著烟粉虱生物型<sup>[8-10]</sup>。同时,近年来随着国际国内贸易交流日趋频繁,外来烟粉虱传入途径与机会也日趋增加,各地烟粉虱的入侵生物型也

可能不完全相同<sup>[11]</sup>。对我国不同地区烟粉虱生物型的鉴定不仅具有重要的理论意义,而且对该害虫的防治具有重要的指导作用,如预测预报、断绝传播途径、天敌的引入、高效低毒化学农药施用以及有效的农业防治等措施。如 Kirk 等研究表明西班牙地区烟粉虱与美国 B 型烟粉虱亲缘关系相近,从西班牙采集的浆角蚜小蜂比美国本土浆角蚜小蜂寄生能力强,在 Texas 州、California 州成功控制了 B 型烟粉虱;而泰国的烟粉虱与 B 型烟粉虱亲缘关系较远,在泰国采集的寄生蜂没有建立种群,从而导致了失败<sup>[67]</sup>;美国很长一段时间烟粉虱防治失败的原因归咎于对烟粉虱生物型的忽视<sup>[14]</sup>。由此可见,烟粉虱生物型的鉴定具有重要的意义。因此,有必要对我国不同地区烟粉虱的生物型进行深入而系统的研究。

目前,烟粉虱生物型的鉴定方法均存在一些缺点,因此不同烟粉虱生物型尤其是外来入侵烟粉虱生物型快速分子鉴定方法的研究具有重要的实用价值。同时,生物型的鉴定要阐明它生物学特性,充实生物学、生态学和农业知识理论,把治理它的水平提高到一个新的高度;否则,新的生物型仅仅停留在发现和描述阶段就没有很大的意义<sup>[7]</sup>。

## References

- [ 1 ] Brown J K, Frohlich D R, Rosell R C. The sweetpotato or silverleaf whiteflies: biotypes of *Bemisia tabaci* or a species complex. *Ann. Rev. Ent.*, 1995, **40**: 511~ 534
- [ 2 ] Perring T M, Cooper A D, Rodriguez R J, et al. Identification of a whitefly species by genomic and behavioral studies. *Science*, 1993, **259**: 74~ 77.
- [ 3 ] Costa A S, Russel L M. Failure of *Bemisia tabaci* to breed on cassava plants in Brazil (Homoptera: Aleyrodidae). *Cienc. Cult.*, 1975, **27**(4): 388~ 390
- [ 4 ] Schuster D J, Muelle R T F, Kring J B, et al. Relationship of the sweetpotato whitefly to a new tomato fruit disorder in Florida. *Hort. Sci.*, 1990, **25**(12): 1618~ 1620
- [ 5 ] Costa H S, Brown J K. Variation in biological characteristics and esterase patterns among populations of *Bemisia tabaci*, and the association of one population with silverleaf symptom induction. *Ent. Exper. Appl.*, 1991, **61**(3): 211~ 219.
- [ 6 ] Xu R M. The occurrence and distributing of *Bemisia* in China. In: Gerling D, Mayer R T, eds. *Bemisia 1995: Taxonomy, Biology, Damage Control and Management*. Andover, Hants, UK, 1996. 125~ 131.
- [ 7 ] Zhang Z L. Some thoughts to the outbreaks of tobacco whitefly. *Beijing Agricultural Sciences* A special Issue on Tobacco Whitefly (*Bemisia tabaci*), 2000. 1~ 3
- [ 8 ] Wu X X, Hu D X, Li Z X, et al. Using RAPD-PCR to distinguish biotypes of *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) in China. *Ent. Sin.*, 2002, **9**(3): 1~ 8
- [ 9 ] Luo C, Yao Y, Wang R J, et al. The use of mitochondrial cytochrome oxidase (mtCOI) gene sequences for the identification of biotypes of *Bemisia tabaci* (Gennadius) in China. *Acta Ent. Sin.*, 2002, **45**(6): 759~ 763
- [ 10 ] Qiu B L, Ren S X, Xiao Y, et al. Distribution and control of B biotype of *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) in China. *Entomological Journal of East China*, 2003, **12**(2): 27~ 31.
- [ 11 ] Chu D, Zhang Y J, Cong B, et al. Sequences analysis of mtDNA COI gene and molecular phylogeny of different geographical populations of *Bemisia tabaci* (Gennadius). *Agricultural Sciences in China*, 2005, **38**(1): 76~ 85
- [ 12 ] De Barro P J, Driver F, Trueman J W H, et al. Phylogenetic relationships of world populations of *Bemisia tabaci* (Gennadius) using ribosomal ITS1. *Mol. Phylogenetics & Evol.*, 2000, **16**(1): 29~ 36
- [ 13 ] Reitz S R, Trumble J T. Competitive displacement among insects and arachnids. *Ann. Rev. Ent.*, 2002, **47**: 435~ 65
- [ 14 ] Perring T M. The *Bemisia tabaci* species complex. *Crop. Prot.*, 2001, **20**(9): 725~ 737.
- [ 15 ] Greathead A H. Host plants. In: Cock M J W ed. *Bemisia tabaci, A Literature Survey on the Cotton Whitefly with an Annotated Bibliography*. Food and Agriculture Organization of the UN, CAB. Int. Inst. Biol. Cont., 1986. 17~ 25.
- [ 16 ] Idris A M, Smith S E, Brown J K. Ingestion, transmission, and persistence of Chino del tomate virus (CdTV), a New World begomovirus, by Old and New World biotypes of the whitefly vector *Bemisia tabaci*. *Ann. Appl. Biol.*, 2001, **139**: 145~ 154
- [ 17 ] De Barro P J, Scott K D, Graham G C, et al. Isolation and characterization of microsatellite loci in *Bemisia tabaci*. *Mol. Ecol. Notes*, 2003, (3): 40~ 43
- [ 18 ] Frohlich D R, Torres-Jerez I, Bedford I D, et al. A phylogeographical analysis of the *Bemisia tabaci* species complex based on mitochondrial DNA markers. *Mol. Ecol.*, 1999, **8**(10): 1683~ 1691.
- [ 19 ] De Barro P J, Liebegts W, Carver M. The distribution and identity of biotypes of *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Homoptera: Aleyrodidae) in member countries of the Secretariat of the Pacific Community. *Aust. J. Ent.*, 1998, **37**: 214~ 218
- [ 20 ] Perring T M, Cooper A D, Kazner D J, et al. New strain of sweetpotato whitefly invades California vegetables. *Calif. Agric.*, 1991, **45**: 10~ 12
- [ 21 ] Quintero C, Cardon A C, Ramirez D, et al. First report of biotype B of *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) in Colombia. *Rev. Colombiana Ent.*, 1998, **24**(1-2): 23~ 28

- [22] Gunning R V, Byrne F J, Conde B D, *et al*. First report of B biotype *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Homoptera: Aleyrodidae) in Australia. *J. Aust Ent Soc*, 1995, **34**(2): 116
- [23] Lee M, De Barro P J, Lee M L, *et al*. Characterization of different biotypes of *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Homoptera, Aleyrodidae) in South Korea based on 16S ribosomal RNA sequences. *Kor. J. Ent*, 2000, **30**(2): 125~ 130
- [24] Lima L H C, Campos L, Moretzsoh N M C, *et al*. Genetic diversity of *Bemisia tabaci* (Genn.) populations in Brazil revealed by RAPD markers. *Genet Mol Biol*, 2002, **25**(2): 217~ 223
- [25] Brown J K. Molecular markers for the identification and global tracking of whitefly vector-begomovirus complexes. *Vir. Res*, 2000, **71**: 233~ 260
- [26] Guirao P, Beitia F, Cenis J L. Biotype determination of Spanish populations of *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae). *Bull Ent Res*, 1997, **87**: 587~ 593
- [27] Horowitz A R, Denholm I, Goman K, *et al*. Biotype Q of *Bemisia tabaci* identified in Israel. *Phytoparasit*, 2003, **31**: 94~ 98
- [28] Moya A, Guirao P, Cifuentes D, *et al*. Genetic diversity of Iberian populations of *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) based on random amplified polymorphic DNA-polymerase chain reaction. *Mol Ecol*, 2001, **10**: 891~ 897
- [29] Costa H S, Brown J K, Sivasuparniam S, *et al*. Regional distribution, insecticide resistance, and reciprocal crosses between the A and B biotypes of *Bemisia tabaci*. *Ins Sci Applic*, 1993, **14**: 255~ 266
- [30] Byrne F J, Devonshire A L. Insensitive acetylcholinesterase and esterase polymorphism in susceptible and resistant populations of the tobacco whitefly *Bemisia tabaci* (Genn.). *Pestic Biochem. Physiol*, 1993, **45**(1): 34~ 42
- [31] Byrne F J, Goman K J, Cahill M, *et al*. The role of B type esterases in conferring insecticide resistance in the tobacco whitefly *Bemisia tabaci* (Genn.). *Pest man. Sci*, 2000, **56**(10): 867~ 874
- [32] Toscano N C, Yoshida H A, Henneberry T J. Responses to azadirachtin and pyrethrum by two species of *Bemisia* (Homoptera: Aleyrodidae). *J. Econ. Ent*, 1997, **90**(2): 583~ 589
- [33] Simón B, Moriones E, Soria C, *et al*. Variación genética de poblaciones de *Bemisia tabaci* (Gennadius) en la Cuenca Mediterránea occidental. *Proceedings 7th Spanish National Congress, A guadulce, Almería*, 8~ 12 November, 1999
- [34] Rauch N, Nauen R. Identification of biochemical markers linked to neonicotinoid cross resistance in *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae). *Arch. Ins Biochem. Physiol*, 2003, **54**: 165~ 176
- [35] Bethke J A, Paine T D, Nuessly G S. Comparative biology, morphometrics, and development of two populations of *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) on cotton and poinsettia. *Ann Ent Soc Am.*, 1991, **84**(4): 407~ 411
- [36] Perring T M. Biological differences of two species of *Bemisia* that contribute to adaptive advantage. In: Gerling D and Mayer R T, eds. *Bemisia 1995: Taxonomy, Biology, Damage Control and Management*. Andover, Hants, UK, 1996: 3~ 15
- [37] Byrne D N, Miller R W B. Carbohydrate and amino acid composition of phloem sap and honeydew produced by *Bemisia tabaci* J. *Ins Physiol*, 1990, **36**: 433~ 439
- [38] Drost Y C, Lenteren J C van, Roemund H J W van. Life history parameters of different biotypes of *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) in relation to temperature and host plant: a selective review. *Bull Ent Res*, 1998, **88**: 219~ 229
- [39] De Barro P J, Hart P J. Mating interactions between two biotypes of the whitefly *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) in Australia. *Bull Ent Res*, 2000, **90**(2): 103~ 112
- [40] Pascual S, Callejas C. Intra and interspecific competition between biotypes B and Q of *Bemisia tabaci*. In: Alomar O, Arnó J, Castane C, eds. *Biology of Bemisia senescens I: 3rd International Bemisia Workshop*. Barcelona, Spain, 2003: 28
- [41] Quintero C, Rendon F, Garcia J, *et al*. Species and biotypes of whiteflies (Homoptera: Aleyrodidae) affecting annual crops in Colombia and Ecuador. *Rev. Colombiana Ent*, 2001, **27**(1-2): 27~ 31
- [42] Inbar M, Doostda R H, Mayer R T. Effects of sessile whitefly nymphs (Homoptera: Aleyrodidae) on leaf chew in GLarvae (Lepidoptera: Noctuidae). *Env. Ent*, 1999, **28**(3): 353~ 357
- [43] Inbar M, Doostda R H, Leibe G L, *et al*. The role of plant rapidly induced responses in asymmetric interspecific interactions among insect herbivores. *J. Chem. Ecol*, 1999, **25**: 1961~ 1979
- [44] Mayer R T, Inbar M, McKenzie C L, *et al*. Multitrophic interactions of the silverleaf whitefly, host plants, competing herbivores, and phytopathogens. *Arch. Ins Biochem. Physiol*, 2002, **51**(4): 151~ 169
- [45] McKenzie C L. Effect of tomato mottle virus (ToMoV) on *Bemisia tabaci* biotype B (Homoptera: Aleyrodidae) oviposition and adult survivorship on healthy tomato. *Florida Ent*, 2000, **85**(2): 367~ 368
- [46] McKenzie C L, Shatters R G J, Doostda R H, *et al*. Effect of geminivirus infection and *Bemisia* infestation on accumulation of pathogenesis related proteins in tomato. *Arch. Ins Biochem. Physiol*, 2002, **49**(4): 203~ 214
- [47] Chu D, Zhang Y J, Cong B, *et al*. The invasive mechanism of a world important pest, *Bemisia tabaci* (Gennadius) biotype B. *Acta Ent Sin.*, 2004, **47**: 400~ 406
- [48] Muniz M. Host suitability of two biotypes of *Bemisia tabaci* on some common weeds. *Ent Exp. Appl*, 2000, **95**(1): 63~ 70

- [49] Nombela G, Beitia F, Muniz M. A differential interaction study of *Bemisia tabaci* Q-biotype on commercial tomato varieties with or without the mi resistance gene, and comparative host responses with the B-biotype *Ent Exp. Appl*, 2001, **98**(3): 339~ 344
- [50] Muniz M, Gloria N. Differential variation in development of the B- and Q-biotypes of *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) on sweet pepper at constant temperatures *Env. Ent*, 2001, **30**(4): 720~ 727.
- [51] Bellow s T S, Perring T M, Gill R J, et al. Description of a species of *Bemisia* (Homoptera: Aleyrodidae), *Ann. Ent Soc Am.*, 1994, **87**(2): 195~ 206
- [52] Rosell R C, Bedford ID, Fröhlich D R, et al. A analysis of morphological variation in distinct populations of *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae). *Ann. Ent Soc Am.*, 1997, **90**(5): 575~ 589.
- [53] Brown J K, Coats S A, Bedford ID, et al. Characterization and distribution of esterase electromorphs in the whitefly, *Bemisia tabaci* (Genn.) (Homoptera: Aleyrodidae). *Biochem. Genet*, 1995, **33**(7-8): 205~ 214.
- [54] Chemiti B, Braham M, Cenis J L, et al. Sur la presence en Tunisie des biotypes "B" et "non B" de *Bemisia tabaci* (Homoptera, Aleyrodidae) et de leurs parasitoides associés *IOBC/WPRS Bulletin*, 1997, **20**(4): 108~ 113
- [55] Beitia F, Mayo I, Robles-Chillida E M, et al. Current status of *Bemisia tabaci* (Gennadius) in Spain: the presence of biotypes of this species *Bull. OILB/SROP*, 1997, **20**(4): 99~ 107.
- [56] Guirao P, Beitia F, Cenis J L. Biotype determination of Spanish populations of *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae). *Bull. Ent Res*, 1997, **87**: 587~ 593
- [57] Salas J, Arnal E. *Bemisia tabaci* (Gennadius, 1899) biotype B, first record for Venezuela using RAPD's-PCR. *Entomotropica*, 2000, **16**(3): 181~ 185.
- [58] De Barro P J, Driver F. Use of RAPD-PCR to distinguish the B biotype from other biotypes of *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Homoptera: Aleyrodidae). *Aust J. Ent*, 1997, **36**(2): 149~ 152
- [59] Martinez S S, Carvalho A O R, Vieira L G, et al. Identification, geographical distribution and host plants of *Bemisia tabaci* (Genn.) biotypes (Homoptera: Aleyrodidae) in the state of Paraná Brazil *An. Soc. Ent. Brasil*, 2000, **29**: 597~ 603
- [60] Cervera M T, Cabezas J A, Simon B, et al. Genetic relationships among biotypes of *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) based on AFLP analysis *Bull. Ent Res*, 2000, **90**(5): 391~ 396
- [61] Brown J K. The Molecular Epidemiology of Begomoviruses. In: J. A. Khan and J. Dykstra eds, *Trends in Plant Virology*, The Haworth Press, Inc., N. Y., 2001. 279~ 316
- [62] Legg J, French R, Rogan D, et al. A distinct *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Homoptera: Sternorrhyncha: Aleyrodidae) genotype cluster is associated with the epidemic of severe cassava mosaic virus disease in Uganda *Mol. Ecol*, 2002, **11**(7): 1219~ 29.
- [63] Tsagarakou A, Roditakis N. Isolation and characterization of microsatellite loci in *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae). *Mol. Ecol. Notes*, 2003, **3**(2): 196~ 198
- [64] Bedford ID, Briddon R W, Brown J K, et al. Geminivirus transmission and biological characterization of *Bemisia tabaci* (Gennadius) biotypes from different geographic regions *Ann. Appl. Biol*, 1994, **125**(2): 311~ 325
- [65] Byrne F J, Cahill M, Denholm I, et al. Biochemical identification of interbreeding between B-type and non B-type strains of tobacco whitefly *Bemisia tabaci* *Biochem. Genet*, 1995, **33**(1-2): 13~ 23
- [66] Gaweł N J, Bartlett A C. Characterization of differences between whiteflies using RAPD-PCR. *Ins Mol Biol*, 1993, **2**(1): 33~ 38
- [67] Kirk A A, Lacey L A, Brown J K, et al. Variation in the *Bemisia tabaci* s.l. species complex (Homoptera: Aleyrodidae) and its natural enemies leading to successful biological control of *Bemisia* biotype B in the USA. *Bull. Ent Res*, 2000, **90**: 317~ 327.

## 参考文献:

- [7] 张芝利. 关于烟粉虱大发生的思考. 北京农业科学, 2000. 1~ 3
- [9] 罗晨, 姚远, 王戎疆, 等. 利用 mtDNA COI 基因序列鉴定我国烟粉虱的生物型. 昆虫学报, 2002, **45**(6): 759~ 763
- [10] 邱宝利, 任顺祥, 肖燕, 等. 国内烟粉虱 B 生物型的分布及其控制措施研究. 华东昆虫学报, 2003, **12**(2): 27~ 31.
- [11] 褚栋, 张友军, 丛斌, 等. 烟粉虱不同地理种群的 mtDNA COI 基因序列分析及其系统发育. 中国农业科学, 2005, **38**(1): 76~ 85.
- [47] 褚栋, 张友军, 丛斌, 等. 世界性重要害虫 B 型烟粉虱的入侵机制. 昆虫学报, 2004, **47**(3): 400~ 406