



黄芳, 吕要斌, 吴志毅, 等. 扶桑绵粉蚧对马铃薯幼苗的致害性研究 [J]. 环境昆虫学报, 2017, 39 (4): 888–892.

扶桑绵粉蚧对马铃薯幼苗的致害性研究

黄芳^{1*}, 吕要斌², 吴志毅³, 董燕萍¹, 吴红平¹

(1. 湖州出入境检验检疫局, 浙江湖州 313000; 2. 浙江省农业科学院植物保护与微生物研究所, 杭州 310021;

3. 浙江出入境检验检疫局, 杭州 310019;)

摘要: 为评价扶桑绵粉蚧对植物的致害性, 利用马铃薯苗作为寄主植物, 通过刺探点位图谱、快速光曲线、为害分级等手段, 对扶桑绵粉蚧在马铃薯苗上的取食行为、为害后马铃薯叶片的光合动力及扶桑绵粉蚧对马铃薯的致害效率进行检测并评价。结果显示, 扶桑绵粉蚧对马铃薯苗韧皮部取食的时间超过占给定时间的 30%, 在叶肉细胞内的尝试性取食时间高达 10%; 扶桑绵粉蚧为害导致马铃薯苗叶片对强光的耐受能力显著降低; 高效率的为害在短时间内造成马铃薯出现黄叶、枯叶甚至枯梢等现象。以上结果表明扶桑绵粉蚧可在低起始为害密度的情况下快速形成害, 因此在实际生产中一旦发现扶桑绵粉蚧, 需立即进行处理。

关键词: 扶桑绵粉蚧; 刺探点位图谱; 快速光曲线

中图分类号: Q968.1; S433.39

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2017) 04-0888-05

Evaluation of damage caused by *Phenacoccus solenopsis* on potato seedlings

HUANG Fang^{1*}, LV Yao-Bin², WU Zhi-Yi³, DONG Yan-Ping¹, WU Hong-Ping¹ (1. Huzhou Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau, Huzhou 313000, Zhejiang Province, China; 2. Institute of Plant Protection and Microbiology, Zhejiang Academy of Agricultural Science, Hangzhou 310021, China; 3. Zhejiang Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau, Hangzhou 310019, China)

Abstract: In order to evaluate the damage caused by *Phenacoccus solenopsis*, *P. solenopsis* on the potato seedlings were studied by follows: Its feeding behaviors were analyzed through electronic penetration graphs, photosynthetic activity were reflected by rapid light curve, and damage efficiency were estimated by host plant harm classification. The results showed that mealybug spent 30% time on feeding in the phloem and 10% time on feeding in the mesophyll cells, such feeding behaviors caused yellowing or flagging leaves, and/or withered tip of potato plants, which would be resulted by the inhibited photosynthesis through decreasing the plant tolerance to the hard light. Results above suggested that *P. solenopsis*, even a low origin population, could make a quick damage to its host plant; so it should be killed immediately as soon as it was found in the physical production.

Key words: *Phenacoccus solenopsis*; electronic penetration graphs; rapid light curve

扶桑绵粉蚧 *Phenacoccus solenopsis* 是近年来我国重点防控的入侵性害虫, 其隶属半翅目 Hemiptera 粉蚧科 Pseudococcidae 绵粉蚧属

Phenacoccus。该害虫主要通过直接刺吸汁液为害植株, 导致植株衰弱; 若虫及成虫分泌的蜜露, 诱发煤污病, 影响植物光合作用, 严重时导致植株

基金项目: 国家质量监督检验检疫总局科技计划项目 (2016IK275)

作者简介: 黄芳, 女, 1981 年生, 副研究员, 研究方向为入侵生物学

* 通讯作者 Author for correspondence, E-mail: huangfang_ch@hotmail.com

收稿日期 Received: 2017-01-20; 接受日期 Accepted: 2017-02-17

死亡 (Arif *et al.* , 2009) , 可严重威胁大田作物、园林观赏植物、果树和蔬菜等经济作物种植生产 (Wang *et al.* , 2010) 。扶桑绵粉蚧个体小, 少量发生时, 个体体长小于 5 mm, 且通常分布于嫩叶叶腋或嫩芽处, 隐匿难以发现 (朱艺勇等, 2011) ; 当大量个体发生时, 已难以防治, 印度在扶桑绵粉蚧大量发生的棉田耗费了近数亿美元的治理后仍无显著效果 (Muniappan , 2011) 。扶桑绵粉蚧的净增殖率高, 种群交叠现象严重 (黄芳等, 2011) ; 但尚无研究对扶桑绵粉蚧的致害性进行评价。

近年来国内外针对扶桑绵粉蚧开展了大量的研究, 由于其对环境的入侵性极强, 大部分研究团队通过建立室内种群进行研究, 室内饲养扶桑绵粉蚧的培养模式是利用发芽的马铃薯块 (Nagraire *et al.* , 2009) 。据此, 本文以扶桑绵粉蚧-马铃薯发芽薯块作为研究对象, 以马铃薯幼苗的受害指数来检测扶桑绵粉蚧对马铃薯幼苗生长的影响, 以此为具体评价扶桑绵粉蚧的致害性提供科学数据。

1 材料与方法

1.1 供试昆虫及植物

扶桑绵粉蚧采自广州的扶桑 *Hibiscus rosasinensis* 行道树上。在人工气候箱内进行室内种群维持, 以马铃薯幼苗作为寄主植物, 环境温度为 25℃ ± 1℃, 相对湿度 70% ± 5%, 光周期 14L: 10D。

从市场购得健康的马铃薯薯块, 上述环境下放置发芽, 芽长约 5 mm 时分块进行盆栽 (直径为 13 cm 的塑料花盆) , 待幼苗长至 10 cm 左右时用于试验。

1.2 扶桑绵粉蚧的个体为害特征

采用刺探电位图谱技术 (Electronic Penetration Graph , EPG) , 利用刺探电位仪 Giga-4 进行连续 12 h 的取食行为记录, 正极以铜针、金线、银胶与昆虫体背相连, 负极铜针插入盆栽土壤内。正极与昆虫相连前, 用软毛笔缓慢小心挑取扶桑绵粉蚧, 防止其口针断裂或受损; 利用银胶粘连时, 粘连处昆虫体背的蜡粉需清理干净, 清理时缓慢小心防止虫体受伤; 粘连后, 静置 1 h 以保证牢度及给予试虫一定的适应时间。连接正极 (正极铜针插入传送线) , 开启 Giga-4 开始记录的同时, 将

虫体轻轻的放置于植物叶面表面, 调整金线给予粉蚧一定的活动空间。根据 Huang 等 (2012) 对扶桑绵粉蚧取食波形的定义, 利用 ana 软件 (<http://www.epgsystems.eu>) 进行波形分析, 采用 Sarria 等 (2009) 的分析工具进行数据处理。

1.3 扶桑绵粉蚧为害对马铃薯植株生长的影响

根据 Geiger 和 Daane (2001) 等的研究结果, 少数几头粉蚧即可在短时间内形成稳定种群, 造成显著为害。因此, 为害试验的基础虫口密度分别设为 1, 2, 4 和 8 头每株。粉蚧采用单头饲养的 2 日龄的成虫, 经交配后放于试验用马铃薯幼苗上, 试验环境条件粉蚧饲养条件, 每天观察并记录幼苗生长情况。交配处理参考 Huang 等 (2014) 的办法, 在饲养笼内放入 2 头雄虫, 24 h 后视为已交配。扶桑绵粉蚧为害植株后的主要直接后果是造成植株萎焉枯萎, 参考棉花枯萎的分级标准 (GB/T 17980. 92 - 2004) , 对马铃薯幼苗上扶桑绵粉蚧为害进行分级, 如表 1 所示。

表 1 马铃薯上扶桑绵粉蚧危害分级

Table 1 Damage grade of *Phenacoccus solenopsis* on potato

为害指数	为害症状
Damage grade	Damage symptom
0	未见异样 Normal
1	黄叶 2 - 3 片, 黄化面积占 50% 及以上 (单叶) 2 - 3 yellow leaves , yellowing area per leaf is no less than 50%
3	黄叶较多, 有枯叶 Much more yellow leaves , several dead leaves
5	枯叶较多, 枯梢 Much more dead leaves , dead branches
7	无正常叶, 茎绿色 No normal leaf , but green stem
9	茎软化无法直立; 整株萎焉 Soften stem could not be upright , plant is wilted

1.4 扶桑绵粉蚧取食为害对马铃薯叶片的影响

快速光曲线反映了样品即时的光合状态, 也反映了样品在不同环境光强下的潜在光合活性

(Falkowski and Raven, 2013)。为害试验结果中最高密度处理的首片黄叶出现在扶桑绵粉蚧为害后 5 d 左右, 为避免黄叶对叶绿素荧光动力学测试造成影响, 选取各处理中扶桑绵粉蚧为害后 5 d 的马铃薯幼苗中上部的绿叶, 在每个叶片的左右两侧分别进行测定, 每处理测试 9 株, 3 株为一重复, 设 3 组重复。未被为害的植株同样取 9 株进行测定, 测定方法与处理植株相同。

采用 PAM-2500 型荧光仪 (Walz, Effeltrich, Germany) 测定获得 F_o , F_m , F_m' , F_s 和 F_o' 等参数, 拟合获得快速光曲线 $P = P_m \cdot (1 - e^{-\alpha PAR/P_m}) \cdot e^{-\beta \cdot PAR/P_m}$ (图 1), 其中 P 为对应光强 PAR 下的光合效率即相对电子传递速率 $rETR$, P_m 为最大光合效率即最大相对电子传递效率 $rETR_{max}$, α 为光能的利用效率, β 为光抑制参数, 计算获得 I_k 表示样品耐受强光的能力。

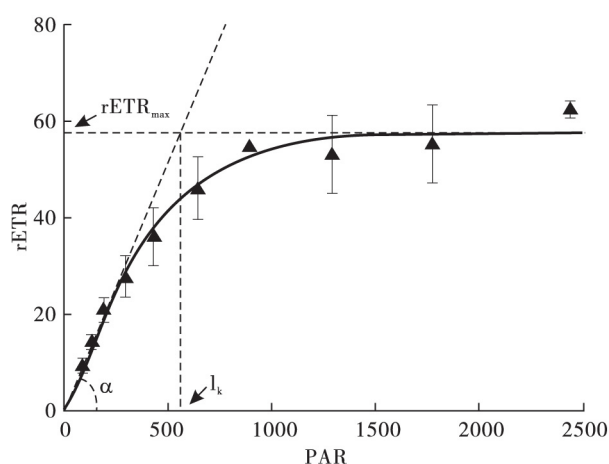


图 1 快速光曲线 (引自韩志国等, 2006)

Fig. 1 Rapid light curve (cited from Hanet *et al.*, 2006)

1.5 数据处理

利用 SPSS 10 对叶绿素荧光动力学参数与虫口密度、危害级别与为害时间进行回归, 建立回归数学模型; 用 SigmaPlot 10 绘制快速光曲线。数据间显著分析采用 LSD 法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 扶桑绵粉蚧为害叶片的取食行为特征

扶桑绵粉蚧为刺吸式口器昆虫, 其取食过程主要分为口针穿刺叶表、口针在叶肉细胞间游走、口针对叶肉细胞的尝试性刺探及口针在韧皮部或木质部内的吸食等, 其在马铃薯幼苗上的取食行

为特征如图 2 所示。扶桑绵粉蚧在马铃薯幼苗叶面上的取食过程中, 在 95% 左右监测时间内其口针在植株内部活动, 其中约一半的时间在细胞间隙 (s_C) 内, 30% 左右的时间在韧皮部内连续不间断取食 (s_E), 对叶肉细胞的破坏时间 (s_{pd}) 累积可达到 10% 左右, 即在监测的 8 h 内, 有近接近 1 h 的时间在对不同的叶肉细胞进行破坏。扶桑绵粉蚧对马铃薯幼苗叶肉细胞的尝试性刺探时间较为固定, 为 12.6 ± 1.3 s, 依此计算, 单头扶桑绵粉蚧每小时可造成约 40 个叶肉细胞不可恢复的损伤。扶桑绵粉蚧每雌平均产卵量约为 200 粒, 因此单头粉蚧在 10 d (产卵期) 后, 即使不考虑韧皮部的营养被汲取, 其叶肉细胞平均每小时的损伤量也可接近 10^5 的水平。

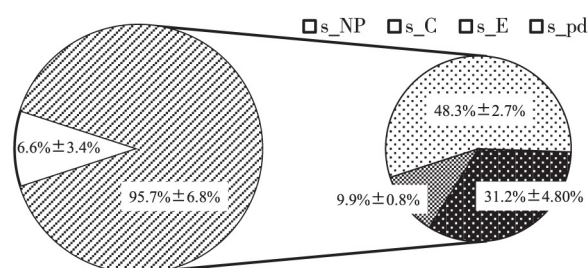


图 2 扶桑绵粉蚧在马铃薯幼苗上取食行为特征

Fig. 2 Characteristics of feeding behavior of

Phenacoccus solenopsis on potato seedlings

注: s_{NP} , 非取食时间总和; s_C , 口针在细胞间隙内的时间总和; s_E , 口针在韧皮部的时间总和; s_{pd} , 口针在叶肉细胞内的时间总和。Note: s_{NP} , total time of non-probing; s_C , total time of tylet probing between the mesophyll cells; s_E , total time of tylet in the phloem; s_{pd} , total time of tylet in the mesophyll cells.

2.2 扶桑绵粉蚧的致害效率

扶桑绵粉蚧对马铃薯幼苗生长的致害性随密度的增长而增加, 如图 3 所示。当马铃薯幼苗上初始为害虫口数只有 1 头时, 1 级危害发生在 12 d 左右, 扶桑绵粉蚧的产卵期为 10 d 左右, 由于其单头产卵总数可达到 200 粒以上, 且 1 龄若虫的龄期短于 10 d, 即在这段时间, 已有总数达到数百的 2 龄甚至 3 龄若虫在为害马铃薯幼苗; 随后 4-5 d, 为害速度加剧。其他 3 个密度处理出现类似的情况, 但 4 个密度处理下的指数增长系数依次升高, 分别为 0.15、0.18、0.22 和 0.34, 即密度越高为害越快。

2.3 受害植株的叶绿素荧光动力学参数

根据 2.2 中的结果, 粉蚧为害 5 d 后, 最大密

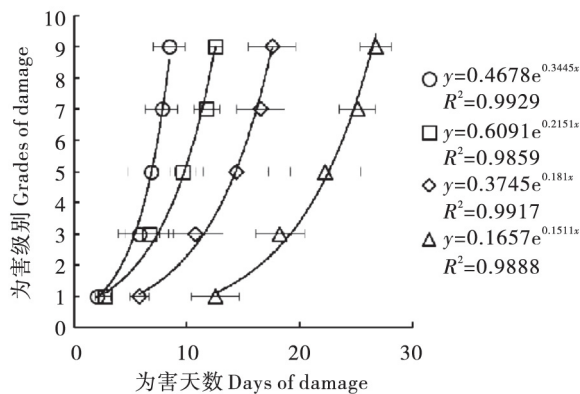


图3 扶桑绵粉蚧对马铃薯幼苗的致害效率
Fig.3 Damage efficiency caused by *Phenacoccus solenopsis* on potato seedlings

度处理的植株已有出现枯梢的现象，因此选取粉蚧为害5 d的植株叶片进行试验。各处理中的植株叶片的快速光曲线如图4所示，各参数如表2所示。图3中各曲线拟合后的 R^2 值均超过0.99(表2)，表明所选取的模型方程是适用于本试验中的光反应数据的。图3的快速光曲线表明随着处理植株上起始为害粉蚧头数的增加，最大电子传

递率随之减小，但各处理的 α 参数的数值大小不存在显著差异，即粉蚧为害后叶片对光能的利用效率没有发生显著变化；由于最大相对电子传递率显著减少， I_k 值随着显著降低，表明各处理中植株叶片耐受强光的能力显著减弱。

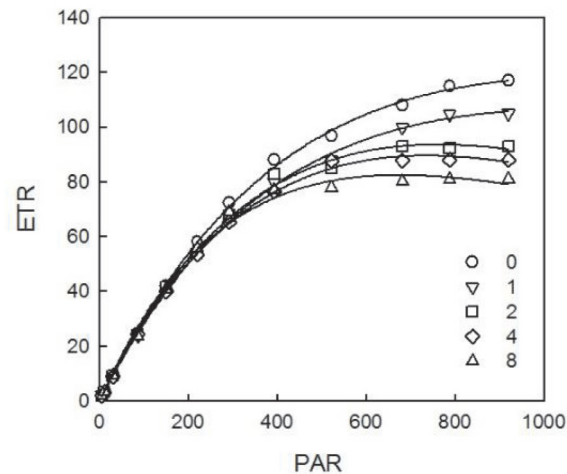


图4 扶桑绵粉蚧为害后马铃薯幼苗叶片的快速光曲线
Fig.4 Rapid light curves of potato seedlings affected by *Phenacoccus solenopsis*

表2 扶桑绵粉蚧为害后马铃薯幼苗叶片快速光曲线的各参数
Table 2 Parameters of rapid light curves of potato seedlings affected by *Phenacoccus solenopsis*

处理 Treatment	相关参数 Fitting parameters			R^2
	α	ETR_{max}	I_k	
CK	0.35 ± 0.01 a	110.38 ± 14.00 a	319.34 ± 45.39 a	0.9995
I	0.35 ± 0.03 a	101.06 ± 13.48 ab	299.56 ± 47.05 ab	0.9995
II	0.35 ± 0.03 a	92.34 ± 7.18 bc	262.83 ± 24.34 b	0.9996
III	0.36 ± 0.03 a	88.86 ± 7.52 bc	239.16 ± 26.48 b	0.9987
IV	0.34 ± 0.01 a	81.84 ± 5.32 c	235.35 ± 7.18 b	0.9976

3 结论与讨论

扶桑绵粉蚧具有典型的刺吸式口器。刺吸式口器昆虫的主要为害方式是长时间从韧皮部或木质部吸食植物液汁，蚜虫和扶桑绵粉蚧都属韧皮部吸食类。蚜虫为害寄主植物时，在韧皮部内的取食时间占给定时间的90%左右(Tjallingii, 1978)，在韧皮部的长时间取食除可削弱植株长势外，还可高效率传递多种病毒(Palacios *et al.*, 2002)；另外，蚜虫对叶肉细胞进行尝试性取食的总和占5%左右(Tjallingii, 1985)，研究表明这种

行为也可令蚜虫从染病植株的叶肉细胞中获得多种病毒，且病毒量的积累与在叶肉细胞中的穿刺量是显著相关的(Powell, 1991; Mart *et al.*, 1997; Ng *et al.*, 2004)。最新研究表明扶桑绵粉蚧不可传播木尔坦棉花曲叶病毒(唐远等, 2016)。与蚜虫相比，扶桑绵粉蚧在韧皮部取食的时间与之相当，但在叶肉细胞的穿刺时间却是蚜虫的2倍。以此推测，不管病毒是分布于韧皮部还是叶肉细胞，扶桑绵粉蚧的取食行为特征令其可通过各种途径高效率地获取病毒，如能传毒则其获毒效率甚至可能高于蚜虫。

高效率的取食致使扶桑绵粉蚧对马铃薯幼苗

具有极强的致害性, 结果表明起始为害头数为 2 的处理可在为害后 10 d 导致植株出现大量枯叶及枯梢, 致害时间短、程度深, 造成植株不可恢复的伤害, 基于前期研究结果 (黄芳等, 2011), 造成这一现象的原因是其产生了大量的后代及若虫快速的生长。以上结果表明, 若在田间发现扶桑绵粉蚧, 需要立刻采取措施进行处理不可拖延。

扶桑绵粉蚧为害马铃薯幼苗后, 随时间发展, 依次表现出黄叶、枯叶、枯梢等症状, 对为害植株叶片的叶绿素荧光动力进行检测, 结果表明扶桑绵粉蚧为害可显著降低马铃薯幼苗对强光的耐受能力; 这与扶桑绵粉蚧为害可显著影响番茄光合作用的结果是相一致的 (Huang *et al.*, 2016)。结合取食行为特征, 造成这一结果的原因可能是叶肉细胞受损导致光合作用的场所或途径受破坏。马铃薯的生长季节主要在 6–8 月, 光照强度高; 扶桑绵粉蚧为害显著降低了马铃薯叶片对强光的耐受力, 从而影响其对光的利用, 导致光合作用受破坏, 加之扶桑绵粉蚧对其植株营养进行大量汲取, 最终造成马铃薯幼苗快速死亡。

参考文献 (References)

- Arif MI, Rafiq M, Ghaffar A. Host plants of cotton mealybug (*Phenacoccus solenopsis*): A new menace to cotton agroecosystem of Punjab, Pakistan [J]. *Integrative Journal of Agricultural Biology*, 2009, 11 (2): 163–167.
- Falkowski PG, Raven JA. Aquatic Photosynthesis [M]. Princeton University Press, 2013.
- Geiger CA, Daane KM. Seasonal movement and distribution of the grape mealybug (Homoptera: Pseudococcidae): Developing a sampling program for San Joaquin Valley vineyards [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2001, 94 (1): 291–301.
- Han ZG, Lei LM, Han BP. Dynamic responses of photosynthesis in *Chaetoceros* sp. to continuous high irradiation [J]. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 2006, 14 (1): 7–13. [韩志国, 雷腊梅, 韩博平. 角毛藻光合作用对连续强光照射的动态响应 [J]. 热带亚热带植物学报, 2006, 14 (1): 7–13]
- Huang F, Tjallingii WF, Zhang P, *et al.* EPG waveform characteristics of solenopsis mealybug stylet penetration on cotton [J]. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 2012, 143 (1): 47–54.
- Huang F, Zhang JM, Zhang PJ, *et al.* Reproduction of the solenopsis mealybug, *Phenacoccus solenopsis*: males play an important role [J]. *Journal of Insect Science*, 2013, 13 (1): 137.
- Huang F, Zhang PJ, Zhang JM, *et al.* Effects of three host plants on the development and reproduction of *Phenacoccus solenopsis* [J]. *Plant Protection*, 2011, 37 (4): 58–62. [黄芳, 张蓬军, 章金明. 三种寄主植物对扶桑绵粉蚧发育和繁殖的影响 [J]. 植物保护, 2011, 37 (4): 58–62]
- Huang J, Zhang J. Changes in the photosynthetic characteristics of cotton leaves infested by invasive mealybugs tended by native ant species [J]. *Arthropod–Plant Interactions*, 2016, 10 (2): 161–169.
- Mart B, Collar JL, Tjallingii WF. Intracellular ingestion and salivation by aphids may cause the acquisition and inoculation of non-persistently transmitted plant viruses [J]. *Journal of General Virology*, 1997, 78 (10): 2701–2705.
- Muniappan R. Recent invasive hemipterans and their biological control in Asia [C]. Meeting of the Asian Cotton Research and Development Network (Lahore, PK, 2011–02–23/25). Available from: http://www.icac.org/tis/regional_networks/asian_network/meeting_5/documents/papers/PapMuniappanR.pdf (Accessed on 20 Apr. 2013). 2011.
- Nagrare VS, Kranthi S, Biradar VK. Widespread infestation of the exotic mealybug species, *Phenacoccus solenopsis* (Tinsley) (Hemiptera: Pseudococcidae), on cotton in India [J]. *Bulletin of Entomological Research*, 2009, 99 (05): 537–541.
- Ng JCK, Perry KL. Transmission of plant viruses by aphid vectors [J]. *Molecular Plant Pathology*, 2004, 5 (5): 505–511.
- Palacios I, Drucker M, Blanc S. Cauliflower mosaic virus is preferentially acquired from the phloem by its aphid vectors [J]. *Journal of General Virology*, 2002, 83 (12): 3163–3171.
- Powell G. Cell membrane punctures during epidermal penetrations by aphids: Consequences for the transmission of two potyviruses [J]. *Annals of Applied Biology*, 1991, 119 (2): 313–321.
- Sarria E, Cid M, Garzo E. Excel Workbook for automatic parameter calculation of EPG data [J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2009, 67 (1): 35–42.
- Tang Y, He MY, Lu YY. Acquisition, retention and transmission risk of Cotton leaf curl Multan virus by cotton mealybug *Phenacoccus solenopsis* Tinsley [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2016, 38 (4): 736–741. [唐远, 何沐阳, 陆永跃. 棉花粉蚧对木尔坦棉花曲叶病毒的获取、存留和传播风险 [J]. 环境昆虫学报, 2016, 38 (4): 736–741]
- Tjallingii WF. Electronic recording of penetration behaviour by aphids [J]. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 1978, 24 (3): 721–730.
- Tjallingii WF. Membrane potentials as an indication for plant cell penetration by aphid stylets [J]. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 1985, 38 (2): 187–193.
- Wang Y, Watson GW, Zhang R. The potential distribution of an invasive mealybug *Phenacoccus solenopsis* and its threat to cotton in Asia [J]. *Agricultural and Forest Entomology*, 2010, 12 (4): 403–416.
- Zhu YY, Huang F, Lu YB. Bionomics of mealybug *Phenacoccus solenopsis* Tinsley (Hemiptera: Pseudococcidae) on cotton [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2011, 54 (2): 246–252. [朱艺勇, 黄芳, 吕要斌. 扶桑绵粉蚧生物学特性研究 [J]. 昆虫学报, 2011, 54 (2): 246–252]