

烟粉虱体内营养物质对寄主植物多代诱导的响应^{*}

谢文^{**} 焦晓国 王少丽 吴青君 徐宝云 张友军^{***}

(中国农业科学院蔬菜花卉研究所 北京 100081)

摘要 比较同一遗传背景的 B 型烟粉虱 *Bemisia tabaci* Gennadius 种群成虫在甘蓝、黄瓜和一品红上的适合度差异,测定 3 种寄主植物主要营养差异,并分析饲养不同时间后成虫体内的蛋白质、氨基酸和游离脂肪酸含量的多代变化规律。结果发现,B 型烟粉虱成虫在黄瓜上的相对适合度最高,其次是甘蓝,在一品红上适合度最低,这可能与黄瓜叶片的总氮含量高和总糖含量低有关。饲养时间对烟粉虱体内主要营养物质含量没有显著影响,但寄主植物对烟粉虱成虫体内主要营养物质含量影响显著。在黄瓜上饲养烟粉虱成虫体内蛋白质含量都显著高于一品红和甘蓝上烟粉虱成虫的蛋白质含量,在黄瓜上饲养烟粉虱成虫总氨基酸含量都显著低于一品红和甘蓝上烟粉虱成虫的总氨基酸含量。相反,在 3 种寄主上饲养烟粉虱成虫游离脂肪酸含量都无显著差异。可见,寄主植物对 B 型烟粉虱体内主要营养物质组成影响显著,但饲养时间对 B 型烟粉虱体内主要营养物质组成影响较小。

关键词 烟粉虱, 营养物质, 寄主植物, 多代诱导

Nutrient content of successive generations of *Bemisia tabaci* reared on different host plants

XIE Wen^{**} JIAO Xiao-Guo WANG Shao-Li WU Qing-Jun XU Bao-Yun ZHANG You-Jun^{***}

(Institute of Vegetables and Flowers, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract The fitness of F0 *Bemisia tabaci* adults reared on cabbage, cucumber and poinsettia was compared and the protein, total amino acid and free fatty acid content of their offspring determined after multiple generations had fed on these three host species. The protein content of *B. tabaci* adults reared on cucumber was significantly higher than that of those reared on poinsettia and cabbage after 1, 3, and 6 months. However, adults reared on cucumber had significantly lower total amino acid content compared with those reared on cabbage or poinsettia. There was no significant difference in the free fatty acid content of *B. tabaci* adults reared on cucumber, cabbage or poinsettia, regardless of rearing time. On the other hand, our results indicate significant differences in the nutrient composition of cabbage, cucumber and poinsettia. In addition, the fitness of the F0 generation of *B. tabaci* adults reared on cucumber was higher than that of those reared on cabbage and poinsettia, which is consistent with the higher protein content of cucumber leaves relative to those of the other two host species. Overall, our results suggest that differences in the nutrient composition of *B. tabaci* adults primarily reflect differences in the nutrient composition of host plants rather than rearing time.

Key words *Bemisia tabaci*, nutrient content, host plant, multiple generation induction

烟粉虱 *Bemisia tabaci* Gennadius 属半翅目,粉虱科,小粉虱属。1889 年首发现于希腊烟草上,广泛分布于除南极洲以外的 100 多个国家和地区,如热带、亚热带及相邻温带地区。在中国,现已广泛分布于 20 多个省份和地区 (Chu *et al.*, 2005,

2006)。烟粉虱被认为是由众多生物型组成的复合种 (Dinsdale *et al.*, 2010),其中 B 型和 Q 型烟粉虱寄主范围广,给农业、园艺及观赏作物造成严重危害。2005 年之前国内主要以 B 型烟粉虱危害为主 (Chu *et al.*, 2005),2005—2009 年是 B 型逐

^{*} 资助项目:公益性行业(农业)科研专项(200903033)、农业部蔬菜遗传与生理重点开放实验室经费资助。

^{**} E-mail: xiewen@caas.ac.cn

^{***} 通讯作者, E-mail: zhangyj@mail.caas.net.cn

收稿日期:2011-08-11,接受日期:2011-09-20

渐被 Q 型烟粉虱取代的时期,2009 年之后,主要以 Q 型烟粉虱危害为主 (Pan *et al.*, 2011)。究竟什么原因造成 B 型烟粉虱在短短几年内被 Q 型烟粉虱取代,本实验室研究发现,寄主植物是其中重要的因子之一。据报道,B 型烟粉虱危害 600 多种寄主植物,且是一种寄主适应性强,对不同寄主植物能快速作出响应的入侵昆虫 (Oliveira *et al.*, 2001)。一方面,不同寄主植物的营养组成和次生物质含量等都具有很大差异,因此对烟粉虱的营养组成、行为表现,乃至形态特征等诸多方面都会产生不同的影响 (Awmack and Leather, 2002; Hodar *et al.*, 2002)。另一方面,烟粉虱对不同寄主植物又具有明显不同的适应性 (Zang *et al.*, 2006; 周福才等, 2008; Mansaray and Sundufu, 2009)。关于烟粉虱的寄主适应机制,有学者从抗性相关酶的角度出发,发现乙酰胆碱酯酶,羧酸酯酶,谷胱甘肽 S-转移酶,多功能氧化酶和超氧化物歧化酶等诱导和表达都可能与烟粉虱的寄主转换以及寄主适应性有关 (Liang *et al.*, 2007; 王红等, 2007; 安志兰等, 2008; 周福才等, 2010; Li *et al.*, 2011; Xie *et al.*, 2011)。但关于寄主植物对烟粉虱种群多代诱导的过程中,烟粉虱成虫体内营养物质含量的动态变化还未见报道。本文就同一寄主来源的 B 型烟粉虱种群在 3 种不同寄主植物上适应多代过程中,比较烟粉虱成虫在 3 种寄主植物上的产卵量、寿命和若虫存活率等生物学参数,同时测定烟粉虱成虫体内蛋白质、氨基酸和游离脂肪酸 3 种营养指标的动态变化,为进一步揭示入侵害虫烟粉虱的生理生化适应性机制提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

甘蓝 (*Brassica oleracea* L.), 京丰 1 号; 黄瓜 (*Cucumis sativus* L.), 中农 12 号; 一品红 (*Euphorbia pulcherrima*), 象牙红。以上 3 种植物均是中国农业科学院蔬菜花卉研究所温室大棚盆栽培育,供试时甘蓝在 10 片真叶期 (20 cm 高), 黄瓜在 10~12 片真叶期 (30 cm 高), 一品红在扦插 2 个月时期 (40~45 cm 高)。

B 型烟粉虱虫源 (B04-ca) 为 2004 年采自中国农业科学院蔬菜花卉研究所北圃场基地的甘蓝上,后在实验室用甘蓝 (京丰 1 号) 长期饲养至今,

从未接触任何化学农药。

1.2 试验方法

1.2.1 B 型烟粉虱在 3 种不同寄主植物上的适合度研究 将 B04-ca 种群上初羽化的雌雄成虫配对并导入微虫笼,然后分别夹于 3 种寄主植物 (甘蓝、黄瓜和一品红) 叶片上,每种寄主上接虫 17~20 对。3 种寄主植物分别放入恒温箱 ($26^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, L:D = 14:10) 中培育,每天观察并记录每个微虫笼中雌虫存活情况,每 5 d 将叶片剪下,并在解剖镜下检查每对成虫在相应叶片上的产卵量,直到雌虫死亡。

1.2.2 植物叶片和烟粉虱成虫体内营养物质测定试验设计 分别选取人工温室培养无虫苗 10~12 真叶甘蓝 (播种后 80~90 d), 10~12 真叶黄瓜 (播种后 30~40 d) 和 45~50 真叶一品红 (扦插后 100~120 d) 各 6 株,用来测定叶片营养。测定某一营养时,在每株苗的上中下部各取 3 片叶,8 株苗共 18 片叶为一重复,用液氮速冻,保存于 -80°C 超低温冰箱。然后分别选取 6 株苗分别放入 B04-ca 种群养虫笼中接卵 1~2 d,去除苗上成虫,并将带卵的 3 种寄主植物分别放入 3 个恒温箱中培育 ($26^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, L:D = 14:10),每月换 1 次苗,并将老苗剪断放在恒温箱中让其自然干枯。分别在转入恒温箱 1 个月,3 个月和 6 个月,用吸虫器分别吸取各个寄主上足够量的烟粉虱成虫,同时用液氮速冻,保存于 -80°C 超低温冰箱。

1.2.3 植物叶片的几种营养成分测定方法 叶片含水量:将新鲜叶片称重,然后在 80°C 下烘 72 h,然后再称重,2 次称重的差值占鲜重的比例即为含水量;含氮量用凯式定氮法定量,仪器是 KDY-9810 凯式定氮仪 (北京同润源有限责任公司);糖含量采用蒽酮硫酸法定量 (Fales, 1951; El-Tayeb, 2005);总酚含量是参照 Kujala 等 (2000) 的方法定量;蛋白质、总氨基酸、游离脂肪酸采用南京建成生物工程研究所的快速测定试剂盒定量,试剂盒编号分别为 A045-2, A026 和 A042。

1.2.4 烟粉虱成虫营养成分测定方法 烟粉虱成虫的 3 种营养成分 (蛋白质、总氨基酸和游离脂肪酸) 的测定方法同上。

1.3 数据处理

试验数据采用 SPSS 11.5 统计软件进行处理。用 LSD 多重比较法检验各处理的差异显著

性,显著性检验水平为 $P < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 B 型烟粉虱成虫分别在甘蓝、黄瓜和一品红寄主上的雌虫寿命、繁殖力和存活率

从图 1 可以看出,一品红上的 B 型烟粉虱成虫前期存活率 (65.5%), 单雌产卵量 (89.9 粒 /

雌) 和雌虫寿命 (19.1 d) 都相应显著低于黄瓜和甘蓝上的成虫前期存活率, 单雌产卵量和雌虫寿命。烟粉虱成虫在黄瓜上的单雌产卵量 (261 粒 / 雌) 显著高于在甘蓝上单雌产卵量 (211 粒 / 雌)。可见, 黄瓜是 B 型烟粉虱最适宜寄主, 其次是甘蓝, 一品红最不宜。

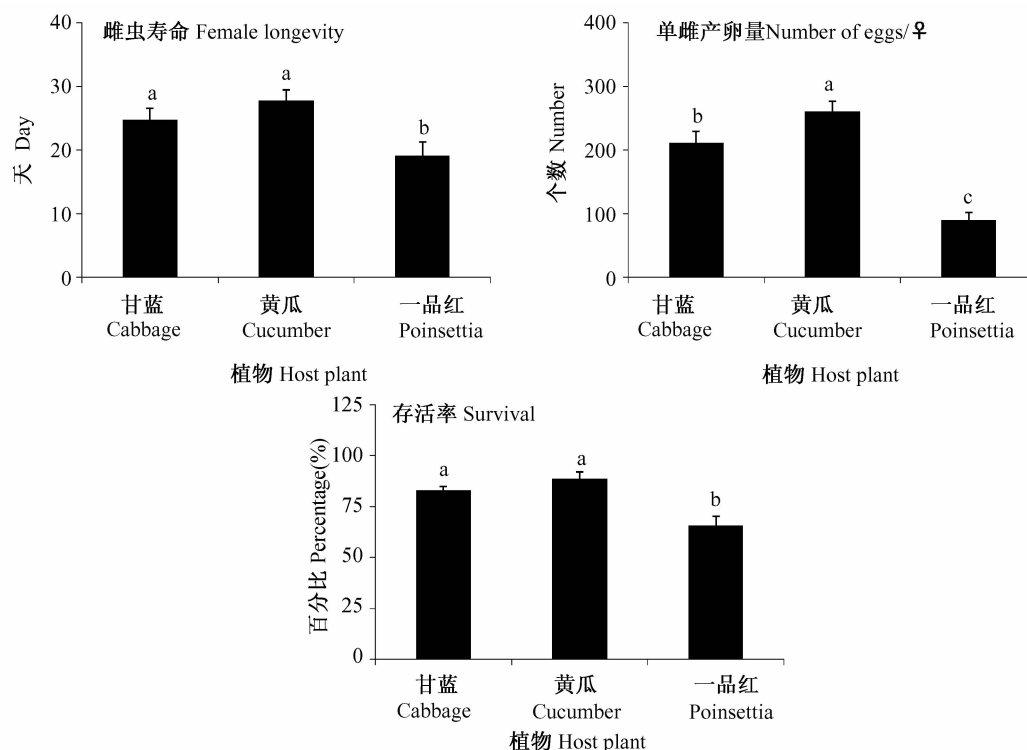


图 1 B 型烟粉虱成虫分别在甘蓝、黄瓜和一品红寄主上的雌虫寿命、繁殖力和存活率

Fig. 1 Female longevity, fecundity and survival in *Bemisia tabaci* after being transferred from cabbage plants to cabbage, cucumber and poinsettia hosts

不同小写字母表示差异显著 (LSD, $P < 0.05$)。

Histograms with different letters indicate significantly different at 0.05 level (LSD).

2.2 甘蓝、黄瓜和一品红叶片的营养物质含量差异

从表 1 可以看出, 一品红叶片含水量 ($P < 0.001$), 含氮量 ($P < 0.001$), 蛋白含量 ($P < 0.001$) 和游离脂肪酸含量 ($P < 0.001$) 都相应显著低于黄瓜和甘蓝叶片, 但一品红叶片总氨基酸 ($P < 0.001$) 和总酚含量 ($P < 0.001$) 都显著高于黄瓜和甘蓝叶片。

2.3 B 型烟粉虱后代成虫分别在甘蓝、黄瓜和一品红 3 种寄主上的营养响应

由图 2 可见, 在黄瓜上连续饲养 1 个月 ($F = 5.72$, $df = 2, 6$, $P = 0.041$), 3 个月 ($F = 5.94$, $df = 2, 6$, $P = 0.038$) 和 6 个月 ($F = 6.63$, $df = 2, 6$, $P = 0.030$) 后, 烟粉虱成虫蛋白含量都显著高于一品红和甘蓝上饲养烟粉虱成虫的蛋白质含量。但在黄瓜上连续饲养 1 个月 ($F = 18.5$, $df = 2, 6$, $P = 0.003$), 3 个月 ($F = 27.6$, $df = 2, 6$, $P = 0.001$) 和 6 个月 ($F = 10.9$, $df = 2, 6$, $P = 0.010$) 后, 烟粉虱成虫总氨基酸含量都显著低于一品红和甘蓝上饲养烟粉虱成虫的总氨基酸含量。且在饲养 6

个月后,黄瓜上 ($F = 9.04$, $df = 2, 6$, $P = 0.015$) 和一品红上 ($F = 6.30$, $df = 2, 6$, $P = 0.034$) 烟粉虱成虫的总氨基酸都分别显著高于取食 1 个月和 3 个月时各自寄主上烟粉虱成虫的总氨基酸含量。从表 2 可以看出,寄主植物显著地影响烟粉虱成虫的蛋白 ($P < 0.001$) 和总氨基酸含量 ($P < 0.001$)。寄主植物和饲养时间相互作用也显著影响烟粉虱成虫的氨基酸含量 ($P < 0.01$)。

3 讨论

不同寄主植物对入侵性害虫 B 型烟粉虱适合度影响显著。如 Zang 等 (2006) 和郭建英等 (2011) 在室内研究发现, B 型烟粉虱对棉花、番茄、甘蓝、南瓜、菜豆和辣椒等寄主植物表现出明显不同的适应性, 且生存曲线、发育进度和成虫性比等生物学指标差异显著。此外, 徐彩霞等 (2008) 和张大山等 (2010) 都发现黄瓜是 B 型烟粉虱的最适宜寄主。这与作者的研究结果基本吻合, 作者的研究发现, B 型烟粉虱在一品红上的存活率、雌虫寿命以及单雌产卵量都显著低于甘蓝和黄瓜上的存活率, 雌虫寿命以及单雌产卵量都以黄瓜上的最高。说明 B 型烟粉虱在黄瓜上的适合度最高, 这可能是因为黄瓜叶片的营养组成最适宜 B 型烟粉虱的生长和繁殖。

在植食性昆虫中, 寄主植物的质量 (包括营养物质含量和次生物质含量) 影响昆虫的分布、种群密度以及对植物的利用效率 (Hodar *et al.*, 2002)。特别是, 寄主植物的营养组成可以直接影响到某些植食性昆虫的繁殖力 (Awmack and

Leather, 2002)。本研究通过测定黄瓜、甘蓝和一品红 3 种寄主植物的营养物质, 发现 3 种寄主植物叶片的营养组成差别显著。一品红叶片含水量、含氮量、蛋白含量和游离脂肪酸含量都显著低于黄瓜和甘蓝, 而一品红叶片总氨基酸含量和总酚含量都显著高于黄瓜和甘蓝, 且黄瓜叶片的蛋白含量和总氮含量最高。B 型烟粉虱取食营养组成存在显著差异的寄主植物后, 其后代种群成虫的营养组成也会随着饲养时间的不同而发生相应的调整。烟粉虱成虫在黄瓜上取食 1 个月, 3 个月和 6 个月后, 体内蛋白含量显著高于一品红上烟粉虱成虫的蛋白含量, 而总氨基酸含量却在取食 1 个月, 3 个月和 6 个月后, 都显著低于一品红上饲养烟粉虱成虫的总氨基酸含量, 但 3 种寄主植物上烟粉虱成虫的游离脂肪酸含量在各代间都没有显著差异。这说明不同寄主可以诱导烟粉虱成虫的蛋白质含量和氨基酸含量迅速发生改变。同时作者也发现 B 型烟粉虱成虫在一品红上的适合度最低, 这可能是因为一品红叶片中的某些营养物质含量, 如总氮和蛋白含量偏低, 或者一品红叶片中某些次生抗虫物质, 如酚类等含量高有关。可见寄主植物的营养组成可以直接影响昆虫体本身某些营养成分的含量, 进而影响植食性昆虫的适合度。

不同寄主植物的营养组成以及某些次生物质含量存在明显差异, 当烟粉虱取食时, 烟粉虱虫体的营养组成及含量也会发生相应变化, 可能影响烟粉虱在不同寄主植物上的适合度, 进一步影响烟粉虱和寄主植物之间的关系。

表 1 3 种植物叶片的营养组成

Table 1 Chemical compositions (mean $\pm$ SE) of leaves of three host plants

测量的指标 Measured indexes	寄主植物 Host plant		
	甘蓝 Cabbage	黄瓜 Cucumber	一品红 Poinsettia
含水量 Water (%)	92.0 $\pm$ 0.35 a	88.7 $\pm$ 0.30 b	83.7 $\pm$ 0.33 c
含氮量 Nitrogen (%)	4.97 $\pm$ 0.03 a	5.04 $\pm$ 0.04 a	4.02 $\pm$ 0.02 b
总酚含量 Phenol (mg/g)	5.86 $\pm$ 0.12 b	2.40 $\pm$ 0.06 c	46.9 $\pm$ 0.59 a
总糖含量 Sugar (μ g/mg)	0.67 $\pm$ 0.01 a	0.40 $\pm$ 0.01 b	0.65 $\pm$ 0.01 a
蛋白含量 Protein (g/L)	1.05 $\pm$ 0.01 b	3.12 $\pm$ 0.01 a	0.17 $\pm$ 0.02 c
总氨基酸含量 Total amino acid (μ mol/mL)	14.4 $\pm$ 0.28 b	10.3 $\pm$ 0.43 c	27.9 $\pm$ 0.43 a
游离脂肪酸含量 Free fatty acid (μ mol/L)	609 $\pm$ 1.90 a	600 $\pm$ 3.8 0a	89.5 $\pm$ 5.00 b

注: 表内数据为平均数 $\pm$ 标准误, 同排数据后不同小写字母表示经 LSD 多重比较差异显著 (LSD, $P < 0.05$)。

Data in the same row followed by different letters indicate significantly different at 0.05 level (LSD test).

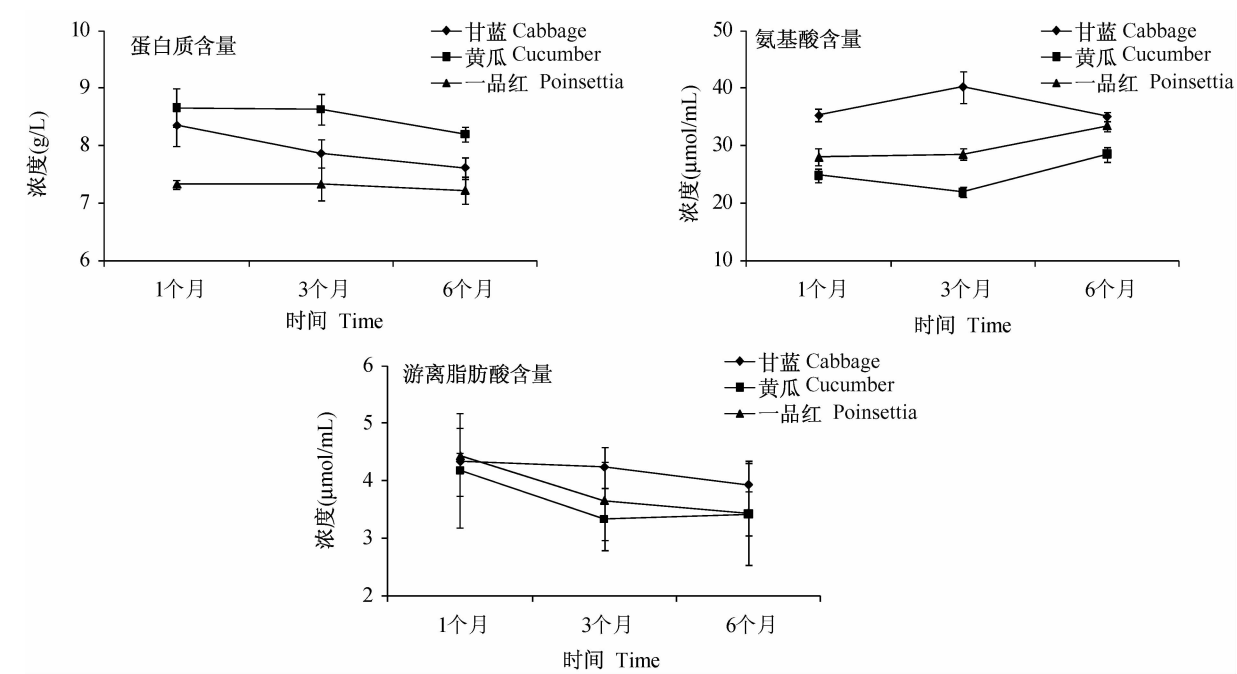


图 2 烟粉虱甘蓝种群分别在甘蓝/黄瓜和一品红上的营养响应
Fig. 2 Changes (mean ± SE) in nutrient composition in adults of *Bemisia tabaci* after feeding on three host plants

表 2 寄主、饲养时间以及它们的相互作用对烟粉虱成虫营养组成参数的效果
Table 2 Effects of host species, rearing time and their interactions on nutrient compositions in adults of *Bemisia tabaci* (*P* value)

测量指标 Measured indexes	寄主 ^{a)} Host plant	饲养时间 ^{b)} Rearing time	寄主 × 饲养时间 Host plant × rearing time
蛋白质 Protein	0.000	0.134	0.720
总氨基酸 Total amino acid	0.000	0.050	0.004
游离脂肪酸 Free fatty acid	0.585	0.325	0.967

a): 甘蓝/ 黄瓜和一品红; b): 烟粉虱侵染时间: 1 个月, 3 个月和 6 个月。
a): cabbage, cucumber and poinsettia; b): *Bemisia tabaci* rearing time for 1, 3 and 6 months.

参考文献 (References)

Awmack CS, Leather SR, 2002. Host plant quality and fecundity in herbivorous insects. *Annu. Rev. Entomol.*, 47:817—844.

Chu D, Zhang YJ, Brown JK, Cong B, Xu BY, Wu QJ, Zhu GR, 2006. The introduction of the exotic Q biotype of *Bemisia tabaci* from the Mediterranean region into China on ornamental crops. *Fla. Entomol.*, 89(2):168—174.

Chu D, Zhang YJ, Cong B, Xu BY, Wu QJ, Zhu GR, 2005. Sequences analysis of mtDNA COI gene and molecular phylogeny of different geographical populations of *Bemisia tabaci* (Gennadius). *Agric. Sci. China*, 38(1):533—541.

Dinsdale A, Cook L, Riginos C, Buckley YM, De Barro P, 2010. Refined global analysis of *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Sternorrhyncha: Aleyrodoidea: Aleyrodidae) mitochondrial cytochrome oxidase 1 to identify species level genetic boundaries. *Ann. Entomol. Soc. Am.*, 103:196—208.

El-Tayeb MA, 2005. Response of barley grains to the interactive effect of salinity and salicylic acid. *Plant Growth Regul.*, 45(3):215—224.

Fales FW, 1951. The assimilation and degradation of carbohydrates of yeast cells. *J. Biol. Chem.*, 193(1):193—208.

- 113—118.
- Hodar J, Zamora R, Castro J, 2002. Host utilization by moth and larval survival of pine processionary caterpillar *Thaumetopoea pityocampa* in relation to food quality in three *Pinus* species. *Ecol. Entomol.*, 27(3):292—301.
- Kujala TS, Klika KD, Pihlaja K, Loponen JM, 2000. Phenolics and betacyanins in red beet root (*Beta vulgaris*) root; distribution and effect of cold storage on the content of total phenolics and three individual compounds. *J. Agric. Food Chem.* 48(11):5338—5342.
- Li JM, Su YL, Gao XL, He J, Liu SS, Wang XW, 2011. Molecular characterization and oxidative stress response of an intracellular Cu/Zn superoxide dismutase (CuZnSOD) of the whitefly, *Bemisia tabaci*. *Arch. Insect Biochem. Physiol.*, 77(3):118—133.
- Liang P, Cui JZ, Yang XQ, GAO XW, 2007. Effects of host plants on insecticide susceptibility and carboxylesterase activity in *Bemisia tabaci* biotype B and greenhouse whitefly, *Trialeurodes vaporariorum*. *Pest Manag. Sci.*, 63(4):365—371.
- Mansaray A, Sundufu AJ, 2009. Oviposition, development and survivorship of the sweetpotato whitefly *Bemisia tabaci* on soybean, Glycine max, and the garden bean, *Phaseolus vulgaris*. *J. Insect Sci.*, 9(1):1—7.
- Oliveira MRV, Henneberry TJ, History AP, 2001. Current status and collaborative research projects for *Bemisia tabaci*. *Crop Prot.*, 20(9):709—723.
- Pan HP, Chu D, Ge DQ, Wang Sl, Wu QJ, Xie W, Jiao XG, Liu BM, Yang X, Yang NN, Su Q, Xu BY, Zhang YJ, 2011. Further spread of and domination by *Bemisia tabaci* (Hemiptera:Aleyrodidae) biotype Q on field crops in China. *J. Econ. Entomol.*, 104(3):978—985.
- Xie W, Wang Sl, Wu QJ, Feng YT, Pan HP, Jiao XG, Zhou L, Yang X, Fu W, Teng HY, Xu BY, Zhang YJ, 2011. Induction effects of host plants on insecticide susceptibility and detoxification enzymes of *Bemisia tabaci* (Hemiptera:Aleyrodidae). *Pest Manag. Sci.*, 67(1):87—93.
- Zang LS, Chen WQ, Liu SS, 2006. Comparison of performance on different host plants between the B biotype and a non-B biotype of *Bemisia tabaci* from Zhejiang, China. *Entomol. Exp. Appl.*, 121(3):221—227.
- 安志兰, 褚栋, 郭笃发, 范仲学, 陶云荔, 刘国霞, 张友军, 2008. 寄主植物对 B 型烟粉虱 (*Bemisia tabaci*) 几种主要解毒酶活性的影响. *生态学报*, 28(4):1536—1543.
- 郭建英, 杨洋, 丛林, 陈婷, 万方浩, 2011. 不同寄主植物对 B 型烟粉虱发育适合度的影响. *应用昆虫学报*, 48(1):43—47.
- 王红, 王冬生, 杨益众, 李琳一, 2007. 寄主植物对烟粉虱后代种群抗性相关酶活性的影响. *植物保护*, 33(3):36—39.
- 徐彩霞, 吴建辉, 任顺祥, 王兴民, 2008. B 型烟粉虱在四种葫芦科寄主植物上的发育和繁殖. *应用生态学报*, 19(5):1099—1103.
- 张大山, 蒋金炜, 丁识伯, 姬琨, 闫凤鸣, 2010. 4 种寄主植物对 B 型烟粉虱生长发育的影响. *河南农业大学学报*, 44(2):180—184.
- 周福才, 黄振, 王勇, 李传明, 祝树德, 2008. 烟粉虱 (*Bemisia tabaci*) 的寄主选择性. *生态学报*, 28(8):3825—3831.
- 周福才, 李传明, 周桂生, 顾爱祥, 王萍, 2010. 烟粉虱体内几种抗性酶对寄主转换的响应. *生态学报*, 30(7):1806—1811.