

浇水与施氮肥对烟粉虱成虫趋性的影响*

宋海燕^{1**} 李丽莉¹ 于毅¹ 卢增斌¹ 张安盛¹
周仙红¹ 李文强² 门兴元^{1***}

(1. 山东省农业科学院植物保护研究所, 济南 250100; 2. 山东农业大学植物保护学院, 泰安 271018)

摘要 【目的】探讨土壤浇水与施氮肥对烟粉虱 *Bemisia tabaci* 成虫趋性的影响, 为通过调节水肥控制烟粉虱种群数量提供理论依据。【方法】设置 250、500、750、1 000 mL/盆 4 个浇水处理和 0、0.23、0.46、0.92 g/kg 4 个氮肥浓度处理, 测定棉花上烟粉虱的成虫数量和叶片含水量。【结果】(1) 浇水、施氮肥以及两者交互作用对烟粉虱趋性都有显著影响;(2) 浇水 1 000 mL 和施肥 0.92 g/kg 处理的烟粉虱数量最多(202 头/株);(3) 经赋值排序后, 浇水量对烟粉虱趋性顺序为 1 000 mL>750 mL>500 mL>250 mL; 施氮肥对烟粉虱趋性顺序为 0.23 g/kg>0.92 g/kg>0.46 g/kg>0 g/kg;(4) 叶片含水量与浇水量、施氮量呈正相关, 烟粉虱数量与浇水、施氮肥呈正相关, 与叶片含水量呈正相关。【结论】浇水和施氮肥会加重烟粉虱的发生, 要通过合理的水肥管理措施, 控制烟粉虱的危害。

关键词 浇水, 氮肥, 烟粉虱, 趋性, 叶片含水量

The effects of water and nitrogen fertilizer on the food preferences of *Bemisia tabaci* adults

SONG Hai-Yan^{1**} LI Li-Li¹ YU Yi¹ LU Zeng-Bin¹ ZHANG An-Sheng¹
ZHOU Xian-Hong¹ LI Wen-Qiang² MEN Xing-Yuan^{1***}

(1. Institute of Plant Protection, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan 250100, China;

2. College of Plant Protection, Shandong Agriculture University, Tai'an 271018, China)

Abstract 【Objectives】To investigate the effects of water and nitrogen fertilizer on the host preferences of *Bemisia tabaci* adults in order to provide a theoretical basis for the control of *B. tabaci* by regulating the amounts of water and fertilizer provided to its host plants. 【Methods】Four watering levels (250, 500, 750 and 1 000 mL/pot), and four nitrogen concentration levels (0, 0.23, 0.46 and 0.92 g/kg) were evaluated, giving a total of 16 treatments. *B. tabaci* abundance was monitored and leaf water content measured. 【Results】(1) Host preferences of *B. tabaci* were significantly influenced by water quantity, nitrogen quantity, and the interaction between these two factors. (2) Host plants treated with 1 000 mL of water/pot/week and 0.92 g/kg nitrogen attracted the most *B. tabaci* adults; 202 adults per plant. (3) Water and nitrogen treatments could be ranked in attractiveness to *B. tabaci* as follows: Water; 1 000 mL>750 mL>500 mL>250 mL, nitrogen; 0.23 g/kg >0.92 g/kg>0.46 g/kg>0 g/kg. (4) There were positive correlations between leaf water content, water, nitrogen, and between *B. tabaci* abundance, water, nitrogen, and leaf water content. 【Conclusion】*B. tabaci* abundance increased with the amount of water and nitrogen fertilizer provided to host plants, which suggests that it may be possible to reduce the degree of crop damage caused by this pest by regulating the amount of water and nitrogen fertilizer applied to host plants.

Key words watering, nitrogen fertilizer, *Bemisia tabaci*, preference, leaf water content

*资助项目 Supported projects: 山东省自然科学基金项目(ZR2014YL019); 山东省农业科学院创新工程团队(CXGC2016A09); 山东省博士基金(ZR2016CB21)

**第一作者 First author, E-mail: shy_810903@126.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: menxy2000@hotmail.com

收稿日期 Received: 2016-04-14, 接受日期 Accepted: 2016-06-23

烟粉虱 *Bemisia tabaci* (Gennadius) 是一种世界性重大害虫, 寄主广泛, 繁殖力强, 年发生世代数多, 世代重叠严重。其入侵我国以后, 对我国蔬菜、棉花、花卉等经济作物造成了严重危害(张芝利, 2000; 崔洪莹和戈峰, 2012)。棉花是我国仅次于粮食的第二大农作物, 烟粉虱危害棉花主要以成虫、若虫直接刺吸叶片、分泌蜜露、诱发煤污病等方式, 从而降低棉花的产量和纤维质量(沈媛等, 2009)。

植物营养及其比例影响烟粉虱对寄主植物的适应性, 进而影响其对寄主植物的选择、发育、存活和繁殖(金鹏等, 2014)。水分是影响陆地生物分布和丰度的最重要的非生物因素之一, 而昆虫因为其个体小, 尤其容易受到水分胁迫的影响(Addo-Bediako *et al.*, 2001)。水分可直接或通过影响植物间接影响昆虫生理生化尤其是水分代谢, 从而导致昆虫行为、扩散模式和种群动态甚至暴发等生态过程及结果(Chown *et al.*, 2011)。氮肥是农作物生长的必需元素之一, 氮素参与棉株新陈代谢的所有过程, 为棉花优质高产的主要限制因素之一。合理施用氮肥, 有利于棉花体内干物质的积累, 可以增加棉花产量(Mitchell *et al.*, 1996; 罗新宁等, 2010)。通过水肥管理控制害虫危害已在番茄、茶树、棉花和水稻等植物上得到证实(曾益良等 1982; Cisneros and Godfrey, 2001; 戈峰等, 2003; 蒋明星和程家安, 2003; 门兴元等, 2004; 庞淑婷和董元华, 2013), 但不同水肥处理如何影响烟粉虱成虫对棉花趋性尚未见报道。本文拟研究烟粉虱成虫对不同浇水和施氮量处理条件下棉花的趋性, 以期摸清烟粉虱发生与栽培措施的关系, 为应用水肥管理措施调节棉田烟粉虱种群提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试肥料: 施用氮肥(尿素)。购自山东华鲁恒升化工股份有限公司。

供试植物: 鲁棉研 28 号, 由山东省棉花研究中心提供。用取自山东省济阳县黄河滩地的土

壤(N、P、K 有效含量分别为 103.41×10^{-6} 、 35.87×10^{-6} 、 186.19×10^{-2} mg/kg)盆栽, 待棉株顶端的四片叶完全展开时用作试验。

供试昆虫: B 型烟粉虱, 为山东省农业科学院植物保护研究所的室内继代饲养种群。

1.2 试验方法

1.2.1 浇水和施氮肥试验对烟粉虱成虫趋性的影响 试验为两因素(水分和氮肥), 每个因素四水平, 共 16 个处理, 每个处理设 6 次重复。其中, 土壤浇水 4 个水平为定植后每株浇水 250、500、750、1 000 mL/盆, 每星期补充水分一次, 土壤施氮肥的 4 个水平分别为定植前每千克土壤中施氮量为 0、0.23、0.46、0.92 g。在烟粉虱成虫发生期, 在温室大棚中放入不同肥水处理的盆栽棉花, 于 9 月 10 日、9 月 15 日、9 月 20 日和 9 月 25 日调查棉株顶端完全展开的四片叶片上烟粉虱成虫的数量。

1.2.2 棉花叶片含水量测定 在棉花生长期, 摘取不同处理的棉花顶端完全展开的第三片真叶, 用电子天平测鲜重, 然后将叶片放入温度为 60 的烘箱内烘 48 h, 测干重, 计算其含水量。

叶片含水量(%) = (鲜重 - 干重) × 100 / 鲜重。

1.2.3 浇水和施肥效果排序 对不同浇水量和施肥量的趋性效果进行排序, 按趋性从大到小依次赋值为 1、2、3、4, 如果数量与第 1 和第 2 均无显著差异, 赋值 1.5, 依次类推。对排序数据进行多重比较, 获得不同浇水量和施肥量的趋性效果的排序。

1.3 数据统计与分析

采用多因素方差分析研究浇水和氮肥对烟粉虱成虫趋性的影响。另外, 对烟粉虱成虫的趋性、棉株叶片含水量、土壤浇水和施氮量进行线性回归分析, 所有统计分析均在 SPSS 18.0 软件完成。

2 结果与分析

2.1 浇水和施氮肥处理对烟粉虱成虫趋性的影响

对 4 个调查日期的不同浇水量和施氮量进行单变量三因素方差分析, 结果见表 1。由表 1

可知,调查日期、浇水和施氮肥三个因素的主效应极显著。在二维互作中,“浇水×施氮量”、“调查时间×浇水”互作主效应显著,“调查时间×施氮量”主效应不显著。三维互作“调查

日期×浇水量×施氮量”的主效应也不显著。

对不同浇水量和氮肥量处理对烟粉虱成虫趋性的影响进行方差分析(表2),结果显示,若施肥量相同而浇同浇水量和氮肥量处理对烟

表 1 调查时间、浇水量和施氮肥对烟粉虱成虫趋性的影响

Table 1 Influence of survey, water and nitrogenous fertilizer to the preference of *Bemisia tabaci* adults (per plant)

来源 Source	Type	型平方和 sum of squares	df	均方 Mean square	F 值 F value	P 值 P value
校正模型 Corrected model		755 713.36 ^a	10	75 571.34	16.36	0.00
截距 Intercept		372 350.62	1	372 350.62	80.62	0.00
调查时间 Survey time		232 029.20	3	77 343.07	16.75**	0.00
浇水量 Water		438 220.41	4	109 555.10	23.72**	0.00
施氮量 Nitrogen		89 715.66	3	29 905.22	6.48**	0.00
浇水量×施氮量 Water×Nitrogen		74 800.52	9	8 311.17	1.81	0.05
调查时间×施氮量 Survey time×Nitrogen		33 740.65	9	3 748.96	0.82	0.60
调查时间×浇水量 Survey time×Water		105 300.26	12	8 775.02	1.91*	0.03
调查日期×浇水量×施氮量 Survey time×Water×Nitrogen		53 050.25	27	1 964.82	0.43	0.99
误差 Error		1 722 696.36	373	4 618.49		
总计 Total		4 420 549.00	384			
校正的总计 Corrected total		2 478 409.73	383			

** 表示差异极显著 ($P<0.01$); * 表示差异显著 ($P<0.05$)

** indicates extremely significant difference ($P<0.01$), * indicates significant difference ($P<0.05$).

表 2 浇水和施氮肥处理对烟粉虱成虫数量的影响 (头/株)

Table 2 Influence of water and nitrogenous fertilizer to the preference of *Bemisia tabaci* adults (per plant)

日期 Date	浇水量 Water (mL)	施氮量 Nitrogen (g/kg)			
		0	0.23	0.46	0.92
9.10	250	6.67±1.36cB	33.83±13.39bA	80.83±34.95aA	39.33±12.70bA
	500	31.50±11.91bB	106.83±35.15aA	114.17±49.44aA	68.17±18.87bA
	750	68.17±21.66aA	121.33±34.35aA	110.67±27.69aA	93.00±58.37abA
	1 000	28.17±7.56bB	169.67±32.97aA	118.00±22.64aA	123.00±16.39aA
9.15	250	2.00±1.21cC	5.83±1.25bB	10.00±3.36bAB	16.17±6.18bA
	500	13.33±4.15bB	33.33±13.51aA	28.50±6.46aA	25.83±8.01bA
	750	32.33±12.31aA	46.17±17.93aA	28.167±9.10aA	24.67±6.63bA
	1 000	32.83±10.08aA	63.33±21.20aA	48.83±14.47aA	53.17±9.37aA
9.20	250	22.67±8.61bA	29.00±6.52bA	16.17±7.69bA	19.50±12.52bA
	500	65.83±16.53aB	95.17±35.98aAB	112.83±27.80aA	37.00±10.67bC
	750	102.17±58.91aAB	157.50±43.36aA	95.50±18.31aB	114.67±31.15aAB
	1 000	91.50±27.92aB	158.17±44.27aAB	153.83±54.60aAB	163.50±41.44aA
9.25	250	36.33±9.80bA	25.17±6.79cAB	17.50±4.93bB	21.33±12.85bAB
	500	64.67±19.99abA	61.33±26.59bA	64.33±23.64aA	36.67±19.41bA
	750	81.50±29.15aA	134.33±36.15aA	112.00±37.39aA	118.50±35.73aA
	1 000	77.00±24.73aB	158.17±44.14aA	146.17±63.51aAB	202.00±63.08aA

表中数据为平均数±标准误。同列数据后标有不同小写字母和同行数据后标有不同大写字母表示经 Duncan's 新复极差法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。表 3 同。

Data are mean±SE, and followed by different lowercase letters in the same column or different uppercase letters in the same row indicate significant different at 0.05 level by Duncan's new multiple range test, respectively. The same as Fig. 3.

粉虱成虫趋性的影响水量不同, 施肥 0 g/kg 时, 浇水 750 mL 时烟粉虱成虫趋性最强, 但和浇水 1 000 mL 差异性不显著。施肥 0.23、0.46、0.92 g/kg 时, 浇水 1 000 mL 时烟粉虱趋性最强, 并显著高于浇水 250 mL, 但与浇水 500 mL、750 mL 无差异。若浇水量相同而施肥量不同, 各调查日期烟粉虱趋性不一致。例如, 浇水量 250 mL 时, 9 月 10 日施肥 0.46 g/kg 烟粉虱趋性最强, 与施肥 0 g 差异性显著; 9 月 15 日施肥 0.92 g/kg 烟粉虱趋性最强, 与施肥 0.46 g/kg 差异性不显著, 与施肥 0 g/kg、0.23 g/kg 差异性显著; 9 月 20 日施肥 0.23 g/kg 烟粉虱趋性最强, 但与其它处理差异性不显著; 9 月 25 日施肥 0 g/kg 烟粉虱趋性最强, 并与施肥 0.46 g/kg 差异性显著。

对不同施肥量和浇水量的烟粉虱趋性效果进行赋值排序分析(表 3), 结果表明, 浇水量 750 mL 和 1 000 mL 对烟粉虱趋性最强, 与 500 mL 和 250 mL 差异性显著, 其次为 500 mL, 250 mL 趋性最弱。施肥量 0.23 g/kg, 烟粉虱趋性最强, 但和施肥量 0.46 g/kg 和 0.92 g/kg 差异性不显著,

不施肥时烟粉虱趋性最弱。

表 3 各浇水量和施肥量对烟粉虱趋性的排序分析
Table 3 The ranking analysis of water and nitrogen on *Bemisia tabaci*

浇水量 (mL) Water	赋值 Assignment	施肥量 Nitrogen (g/kg)	赋值 Assignment
250	2.13±0.25c	0.00	1.59±0.37b
500	1.41±0.24b	0.23	1.16±0.09a
750	1.09±0.07a	0.46	1.22±0.13a
1 000	1.06±0.06a	0.92	1.19±0.26a

2.2 棉花叶片含水量与烟粉虱成虫趋性的线性关系

对叶片含水量与浇水量和施肥量、烟粉虱数量与浇水量、施氮肥量、叶片含水量进行多元线性回归, 结果(表 4)表明, 叶片含水量与浇水量、施肥量呈正相关, 烟粉虱数量与浇水和施肥呈正相关。增加浇水量和施肥量可增加叶片含水量, 同时增加棉花上的烟粉虱数量。叶片含水量与烟粉虱成虫趋性呈正相关, 随着棉花叶片的含水量增加, 叶片上的烟粉虱成虫的数量增加。

表 4 模拟回归方程、回归系数、 F 值、自由度和 P 值
Table 4 Regression linear model, regression coefficient, F value, freedom degree and P value

项目 Item	回归方程 Regression model	R^2	F	df	P
叶片含水量 Leaf water content	$Y=0.67+0.31E-5X_1+0.04E-1X_2$	0.12	610.69	2.96	0.00
烟粉虱数量 Quantity of <i>B. tabaci</i>	$Y=2.24+0.08X_1+28.58X_2$	0.26	10.55	2.64	0.00
烟粉虱数量 Quantity of <i>B. tabaci</i>	$Y=-468.00+795.32X_3$	0.09	9.18	1.96	0.00

X_1 : 浇水量 Water; X_2 : 施氮量 Quantity of nitrogen; X_3 : 叶片含水量 Leaf water content.

3 结论和讨论

已有的研究表明, 氮肥施用可导致植物次生化学物质含量和营养物质成分的变化, 从而影响昆虫的发育历期、存活率、若虫大小、寄主选择、繁殖力及寿命等生命参数 (Scriber and Slansky, 1981; 门兴元等, 2004; 卢伟等, 2008)。有的研究认为高氮有利于植食性昆虫发育和繁殖 (Cisneros and Godfrey, 2001; 戈峰等, 2003; 卢伟等, 2008)。例如, 卢伟等 (2008) 等研究认为, 生产上少施氮肥、多施磷钾肥对烟粉虱种

群能产生抑制作用, 门兴元等 (2004) 等研究施氮肥对棉蚜、棉叶蝉种群数量的影响, 表明随着施氮量的增加, 棉蚜和棉叶蝉的种群数量升高。这与本研究结果一致。也有报道指出, 施氮水平对植食性昆虫无影响或起抑制作用 (Waring and Cobb, 1992; 张寅至等, 2014)。这是因为植物营养受到生存环境、植物种类、害虫、水肥条件等的影响。

在本试验中, 施肥量 0.23 g/kg 对烟粉虱趋性最强, 和施肥量 0.46 g/kg 和 0.92 g/kg 差异性不显著, 不施肥时烟粉虱趋性最弱, 即施肥会加

重烟粉虱的发生,但烟粉虱的发生与施氮水平并无显著差异。对烟粉虱数量与浇水、施氮肥量的多元线性回归,结果表明,烟粉虱数量与浇水和施肥呈正相关,即烟粉虱数量会随着浇水量和施肥量的加大而增长。因此可以推断,本试验的施氮量还未达到使烟粉虱种群数量显著增长的水平。

叶片含水量能直接反应作物生长发育的实际情况。一般认为,叶片含水量与土壤含水量成线性相关(陈由强等,2000;张建军等,2001;鲍一丹和沈杰辉,2005;姚全胜等,2006)。长久以来的观点认为,昆虫在水分胁迫植株上表现出积极的行为并引起昆虫种群动态的大暴发(谭椰等,2014)。例如,Rani和Prasannalaxmi(2014)的研究认为,在水分胁迫下植物叶片为夜蛾创造了良好的生存环境,并且提高了夜蛾在水分胁迫植株上的取食率;张建军等(2001)认为,雨水和土壤湿度对棉铃虫种群有抑制作用。而本研究表明,叶片含水量与烟粉虱种群数量呈正相关,这与Allan和Patrick(2003)研究一致。这可能是因为土壤水分不足的棉株,长势矮小,这使的植株上的烟粉虱种群数与植物大小相适应。另外,刺吸式口器昆虫依靠韧皮部内部的压强将筛管汁液加入口气中进行被动取食(Mittler,1957),若遇到干旱胁迫,植物组织失水细胞膨压降低,会抑制昆虫的生长发育(Simpson *et al.*, 2012)。

综上所述,笔者认为浇水和施氮肥会加重烟粉虱的发生,所以在提高作物产量的同时,应适当的控制水肥条件。那浇水量、施氮量为多少,才既能保证作物产量,又不会加重烟粉虱的发生?这是一个今后还需继续研究的问题。

参考文献 (References)

- Addo-Bediako A, Chown SL, Gaston KJ, 2001. Revisiting water loss in insects: a large scale view. *J. Insect Physiol.*, 47(12): 1377-1388.
- Allan TS, Patrick JM, 2003. Effects of drought stressed cotton, *Gossypium hirsutum* L., on beet armyworm, *Spodoptera exigua*, oviposition, and larval feeding preferences and growth. *Journal of Chemical Ecology*, 29(9): 1997-2011.
- Bao YD, Shen JH, 2005. Study of plant water lack message based on electric property and water potential of leaf. *Journal of Zhejiang University*, 31(3): 341-345. [鲍一丹, 沈杰辉, 2005. 基于叶片电特性和叶水势的植物缺水度研究. 浙江大学学报, 31(3): 341-345.]
- Chen YQ, Zhu JM, Ye BY, 2000. Effects of drought stress on active oxygen damage and membrane lipid peroxidation of leaves in mango (*Mangifera indica* L.). *Life Science Research*, 4(1): 60-64. [陈由强, 朱锦懋, 叶冰莹, 2000. 水分胁迫对芒果幼叶细胞活性氧伤害的影响. 生命科学研究, 4(1): 60-64.]
- Chown SL, Sørensen JG, Terblanche JS, 2011. Water loss in insects: an environmental change perspective. *J. Insect Physiol.*, 57(8): 1070-1084.
- Cisneros J, Godfrey LD, 2001. Midseasons on pest status of the cotton aphid(Homoptera: aphididae) in California cotton: Is nitrogen a key factor? *Environ Ent.*, 30(3): 501-510.
- Cui HY, Ge F, 2012. Temporal and spatial distribution of *Bemisia tabaci* on different host plants. *Acta Ecologica Sinica*, 32(1): 176-182. [崔洪莹, 戈峰, 2012. 不同作物田烟粉虱发生的时空动态. 生态学报, 32(1): 176-182.]
- Ge F, Liu XH, Li HD, Men XY, Su JW, 2003. Effect of nitrogen fertilizer on pest population and cotton production. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 14(10): 1735-1738. [戈峰, 刘向辉, 李泓达, 门兴元, 苏建伟, 2003. 氮肥对棉田主要害虫种群密度及棉花产量的影响. 应用生态学报, 14(10): 1735-1738.]
- Jiang MX, Cheng JA, 2003. Effects of fertilization levels on whitebacked planthopper (Hemiptera: Delphacidae) population in rice. *Chinese J. Rice Science*, 17(3): 270-274. [蒋明星, 程家安, 2003. 不同施肥水平对水稻上白背飞虱种群的影响. 中国水稻科学, 17(3): 270-274.]
- Jin P, Lin HF, Li Y, Li MY, Chen DX, 2014. The effects of potassium levels in tobacco plants on the development, survival and host selectivity of Q-biotype *Bemisia tabaci* (Gennadius). *Chinese Journal of Applied Entomology*, 51(4): 1035-1039. [金鹏, 林华峰, 李毅, 李茂业, 陈德鑫, 2014. 烟草钾营养对 Q 型烟粉虱发育、存活和寄主选择性的影响. 应用昆虫学报, 51(4): 1035-1039.]
- Lu W, Hou ML, Wen JH, Li JW, 2008. Influence of soil-applied fertilizer on the development, host selection and fecundity of *Bemisia tabaci* (Gennadius). *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 16(4): 914-920. [卢伟, 侯茂林, 文吉辉, 黎家文, 2008. 土壤施肥对烟粉虱生长发育、寄主选择及繁殖的影响. 中国生态农业学报, 16(4): 914-920.]
- Luo XN, Chen B, Zhang JS, Jiang PA, 2010. Effect of nitrogen applied levels on the dynamics of biomass, nitrogen accumulation of cotton plant in different soil textures. *Chinese Journal of Soil Science*, 41(4): 904-910. [罗新宁, 陈冰, 张巨松, 蒋平安, 2010. 氮肥对不同质地土壤棉花养分动态积累与氮素利用率

- 的影响. 土壤通报, 41(4): 904–910.]
- Meng XR, Yi XM, Liu DP, 2004. Effect of nitrogen fertilization and square loss on cotton aphid population, cotton leafhopper population and cotton yield. *Chinese Journal of Applied Ecology*, (15): 1440–1442. [门兴元, 戈峰, 尹新明, 刘东坡, 2004. 施肥与摘蕾对棉蚜、棉叶蝉种群数量及棉花产量的影响. 应用生态学报, (15): 1440–1442.]
- Mitchell CC, Traxler G, Novak JL, 1996. Measuring sustainable cotton production using total factor productivity. *Prod. Agric.*, 9(2): 289–297.
- Mittler TC, 1957. Studies on the feeding and nutrition of *Triblerola chnuisalignus* (Gmelin) (Homoptera, Aphididae) I. The uptake of phloem sap. *Experim. Biol.*, 34(3): 334–341.
- Pang ST, Dong YH, 2013. Effects of different foliar fertilizers on the physiology and biochemistry of tomato and population ecology of *Bemisia tabaci*. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 21(4): 465–473. [庞淑婷, 董元华, 2013. 不同叶面肥对番茄植株生理生化及烟粉虱种群生态的影响. 中国生态农业学报, 21(4): 465–473.]
- Rani PU, Prasannalaxmi K, 2014. Water stress induced physiological and biochemical changes in *Piper betle* L. and *Ricinus communis* L. plants and their effects on *Spodoptera litura*. *Allelopathy J.*, 33(1): 25–41.
- Scriber JM, Slansky FJ, 1981. The nutritional ecology of immature insects. *Annu. Rev. Entomol.*, 36: 183–211.
- Simpson KLS, Jackson GE, Grace J, 2012. The response of aphids to plant water stress—the case of *Myzus persicae* and *Brassica oleracea* var. *capitata*. *Entomol. Exp. Appl.*, 142(3): 191–202.
- Shen Y, Du YZ, Zhang L, Yu W, Chen J, 2009. Selectivity and fitness of *Bemisia tabaci* B-biotype to different varieties of cotton. *Acta Phytophylacica Sinica*, 36(4): 335–342. [沈媛, 杜予州, 张莉, 郁伟, 陈军, 2009. B型烟粉虱对不同棉花品种的选择性及适生性. 植物保护学报, 36(4): 335–342.]
- Tan Y, Xu WY, Shang HW, Zhu ZR, 2014. The influence of water stress on the plant-herbivore interactions. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 51(4): 871–880. [谭椰, 徐文彦, 商晗武, 祝增荣, 2014. 水分胁迫对植物与植食性昆虫互作的影响. 应用昆虫学报, 51(4): 871–880.]
- Waring GL, Cobb NS, 1992. The impact of plant stress on herbivore population dynamics. *Insec-Plant Interac.*, 4: 167–226.
- Yao QS, Lei XT, Wang YC, Luo WY, Feng WX, 2006. Effects of different water moisture on photosynthesis, transpiration and stoma conductance of potted mango seedlings. *Journal of Fruit Science*, 23(2): 223–226. [姚全胜, 雷新涛, 王一承, 罗文扬, 冯文星, 2006. 不同土壤水分含量对芒果盆栽幼苗光合作用、蒸腾作用和气孔导度的影响. 果树学报, 23(2): 223–226.]
- Zeng YL, Gong PY, Jiang LR, Zhang ML, 1982. Effects of nitrogen fertilizer application on the cotton plant and the bollworm. *Acta Entomologica Sinica*, 25(1): 16–23. [曾益良, 龚佩瑜, 姜立荣, 张梅林, 1982. 施氮量对棉株和棉铃虫的影响. 昆虫学报, 25(1): 16–23.]
- Zhang JJ, Yang YZ, Shao YD, Yu YS, Ren L, Qian K, 2001. Preliminary study about effect of rainwater and soil moisture on cotton bollworm. *Jiangsu Agricultural Research*, 22(4): 32–34. [张建军, 杨益众, 邵益栋, 余月书, 任璐, 钱坤, 2001. 雨水和土壤含水量对棉铃虫种群抑制作用初探. 江苏农业研究, 22(4): 32–34.]
- Zhang YZ, Ge GF, Wang RF, He SG, 2014. Effect of nitrogen content in *Leymus chinensis* and *Stippa capillata* on feeding choice of *Oedaleus asiaticus*. *Journal of Anhui Agricultural University*, 41(1): 76–81. [张寅至, 葛高飞, 王荣富, 郝树广, 2014. 羊草与克氏针茅氮元素含量对亚洲小车蝗取食选择的影响. 安徽农业大学学报, 41(1): 76–81.]
- Zhang ZL, 2000. Some thoughts to the outbreaks of tobacco whitefly. *Beijing Agriculture Science*, (Suppl.): 1–3. [张芝利, 2000. 关于烟粉虱大发生的思考. 北京农业科学, (增刊): 1–3.]