Q 型烟粉虱为害对不同品种辣椒保护酶活性及次生物质含量的影响*

孔海龙[1**] 吕 敏[2] 吴 琳[1] 祝树德[1***]

（1. 扬州大学园艺与植物保护学院，扬州 225009；2. 江苏里下河地区农科所，扬州 225009）

摘 要 **【目的】** 探明辣椒品种对烟粉虱 *Bemisia tabaci* 的抗性机制。**【方法】** 对 Q 型烟粉虱为害辣椒后不同抗性品种的保护酶活性和次生物质含量进行了测定。**【结果】** Q 型烟粉虱取食辣椒后，不同品种叶片 SOD、POD 活性及总酚、总黄酮含量存在显著差异。成虫取食后，6 个品种辣椒的 SOD 活性均升高，除了感虫品种港上红尖椒外，其余 5 个品种的 SOD 活性均与对照存在显著差异。 抗虫品种（苏椒 5 号和新研 988 椒王）、中等抗虫品种（萧新九号和湘辛三号）的 POD 活性明显增强，而感虫品种(港上红尖椒和大禹牛角王)的 POD 活性明显降低。从 SOD、POD 活性变化值来看，抗虫品种最大，中等抗虫品种次之，敏感品种最小。Q 型烟粉虱为害辣椒后，大多数品种叶片总酚和总黄酮含量均显著升高。总酚含量以抗虫品种苏椒 5 号明显高于其他品种。从总黄酮含量变化值来看，抗虫品种反而较敏感品种较小。**【结论】** 供试 6 个不同品种对 Q 型烟粉虱的抗性强弱与辣椒叶片 SOD、POD 活性、总酚含量有关，而与总黄酮含量无明显相关。

关键词 辣椒品种，Q 型烟粉虱，成虫取食，SOD，POD，次生物质

Effects of *Bemisia tabaci* damage on the protective enzyme activity and the secondary metabolite content of leaves in different pepper varieties

KONG Hai-Long[1**] LÜ Min[2] WU Lin[1] ZHU Shu-De[1***]

(1. College of Plant Protection and Horticulture, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China;
2. Agricultural Institute of Lixiahe Area, Yangzhou, 225009, China)

Abstract **[Objectives]** To investigate the mechanism underlying the resistance of pepper varieties to whitefly. **[Methods]** Protective enzyme activity and the secondary metabolite content were studied in the leaves of different varieties pepper plant damaged by the Q biotype whitefly. **[Results]** The results show that there was a significant difference in the activity of SOD and POD and the total phenolic content in the leaves of different pepper varieties fed on by Q the biotype whitefly. SOD activity increased after whitefly damage in all six varieties peppers. Except for the susceptible Gangshanghong pepper variety, SOD activity in the other five varieties was significantly different from the control, and POD activity of resistant varieties (Sujiao 5 and Xinyan 988 pepper king) and moderately resistant varieties (Xiaoxin 9 and Xiangxin 3) increased significantly relative to the control. In contrast, POD activity of the susceptible varieties (Gangshanghong and Dayuniujiaowang) were significantly less than that of the control. The difference in SOD and POD activity in resistant varieties between damaged and undamaged pepper leaves was highest, followed by the medium resistant varieties, whereas the least difference was observed in the susceptible varieties. Total leaf phenolic and total flavonoid content in most pepper varieties significantly increased after

* 资助项目：江苏省农业自主创新项目 CX（12）5068；江苏省大学生实践创新训练计划（201411117070X）

**E-mail：khl2504@126.com

***通讯作者，E-mail: sdzhu@yzu.edu.cn

收稿日期：2014-05-17，接受日期：2014-07-28

whitefly infestation, and the total phenolic content of the resistant variety Sujiao 5 was significantly higher than that of the other varieties. The change in total flavonoids in resistant varieties between damaged and undamaged leaves were less than those in susceptible varieties. **[Conclusion]** The resistance of six different pepper varieties against the Q biotype whitefly appears related to SOD and POD activity and total phenolic content, but not to the total flavonoid content, of pepper leaves.

Key words pepper varieties, Q biotype *Bemisia tabaci*, adult feeding, SOD, POD, secondary metabolites

烟粉虱 *Bemisia tabaci*（Gennadius）是重要的世界性害虫，可为害茄科、葫芦科、十字花科等多种蔬菜及其他作物（张芝利和罗晨，2001；De Barro and Bourne，2011；任顺祥等，2011）。目前对猖獗烟粉虱的防治，仍然是依靠化学农药，随着化学药剂的大量广泛使用，烟粉虱对多种杀虫剂产生了不同程度的抗药性，尤其随着 Q 型烟粉虱的大发生，烟粉虱的抗药性问题也变得尤为突出，从而使得烟粉虱的防治工作面临严峻的挑战（何玉仙等，2007；Luo *et al.*，2010；潘慧鹏等，2010；Wang *et al.*，2010；王海鸥等，2011；王少丽等，2011）。利用作物品种对害虫的抗（耐）性是害虫综合治理的重要策略之一。因此，选育和推广具有抗虫、耐虫的蔬菜品种在生产上显得尤为重要。

诱导抗虫性是植物抗虫性的重要方式（娄永根和程家安，1997；秦秋菊和高希武，2005；朱麟等，2005）。植物遭受昆虫取食后会诱导产生酚类化合物、萜类化合物和烟碱等次生物质，同时还可诱导植物防御酶活性升高或产生防御蛋白（Constabel *et al.*，1996；Kranthi *et al.*，2003）。超氧化物歧化酶（SOD）、过氧化物酶（POD）等是植物体的重要防御酶系（李晓萍和胡文玉，1988）。已有研究结果表明，B 型烟粉虱对不同番茄品种选择性的差异与其防御酶活性变化密切相关（陈奕磊等，2011）。甘蓝次生物质硫代葡萄糖苷对 B 型、Q 型烟粉虱的产卵、存活率、发育历期都具有明显的影响作用（Elbaz *et al.*，2012）。因此，次生物质的累积或防御酶活性的提高可能是植物抵御烟粉虱为害的重要途径(陈奕磊等，2011)。

辣椒是我国重要的蔬菜种类之一，也是烟粉虱为害严重的寄主之一。我国辣椒有许多栽培品种，我们前期通过研究 Q 型烟粉虱对 18 种不同辣椒品种选择性，筛选出了不同程度抗性的辣椒品种 6 种（吴琳，2013）。然而，对于不同品种辣椒对 Q 型烟粉虱的抗性机制并不清楚。本研究以抗性、中等抗性（中抗）、敏感 3 种品种的辣椒为对象，研究烟粉虱为害后对不同辣椒品种保护酶 SOD、POD 的活性及次生物质总酚和总黄酮的含量变化，以明确辣椒品种对烟粉虱的抗性生理防御机制，为培育抗虫品种提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试昆虫

烟粉虱成虫采自江苏省扬州市扬州大学园艺与植物保护学院蔬菜大棚甘蓝上，在室内茄子（品种为“黑马墨茄”）上连续繁殖 10 代以上，经 mtCO Ⅰ 基因序列测序方法鉴定为 Q 型烟粉虱，。

1.2 供试辣椒品种

苏椒 5 号、新研 988 椒王、萧新九号、湘辛三号、港上红尖椒、大禹牛角王，以上品种均购自扬州市裕丰种子公司。将辣椒种子播于黑色塑料营养钵内，不同品种挂牌标记，待幼苗长至 2 片真叶时，挑选长势统一、健壮的辣椒苗移栽于大棚中，用 100 目纱网封盖，以获取无烟粉虱及其他害虫污染的干净寄主植物，统一进行肥水管理，待植株长至约 15 cm 高时，选择长势基本一致的幼苗用于试验。

1.3 辣椒植株处理及取样

将 6 个品种辣椒 1 株分别放入不同的养虫笼（40 目，30 cm×20 cm×100 cm）中，每个笼内接入 100 头 Q 型烟粉虱成虫，同时设未放虫的

叶片为对照。每个处理重复 3 次。3 d 后从每株植株上剪取带虫的新鲜叶片，驱除叶片上的成虫，称取 0.5 g，放入－80℃冰箱内保存备用。

1.4　酶活性的测定

1.4.1　超氧化物歧化酶（SOD）活性　SOD 活性参照邹琦（2000）的方法测定，冰浴研磨提取粗酶液与反应液充分混合，在 4 000 lx 荧光灯下显色 30 min 后比色。测定 560 nm 处的吸光度，SOD 活性单位以抑制氮蓝四唑（NBT）光化学还原 50%时的酶液量作为一个酶活性单位（U），酶活性以（U/g·FW）表示。

1.4.2　过氧化物酶（POD）活性　POD 活性参照李合生（2000）的方法测定，以 1 min 内 OD470 变化 0.01 表示 1 个 POD 酶活性单位（U），酶活性以(U/g·min·FW)表示。

1.5　次生物质含量的测定

1.5.1　总酚含量的测定　总酚含量的测定参考张云等（2009）的方法。取新鲜叶片 0.5 g，加入 3 mL95%乙醇研磨成匀浆，再加入 5 mL95%乙醇过滤，用 95%乙醇定容到 25 mL，即为待测样品液。取 2 mL 待测液，加入 2 mL 福林试剂，摇匀，3 min 后加入 10%碳酸钠 2 mL 震荡，静置 1 h 后，于 700 nm 处比色，测定吸光度值。以邻苯二酚做标准曲线。

1.5.2　总黄酮含量的测定　总黄酮含量的测定参考张云等（2009）的方法。将新鲜叶片磨成干粉，取 0.5 g 置于锥形瓶中，加 70%乙醇 20 mL，浸泡 24 h，超声提取 1 h，过滤，洗涤残渣，反复 2~3 次，滤液用 70%乙醇定容到 50 mL 容量瓶中，即为样品提取液。

取 1 mL 提取液于 100 mL 容量瓶中，加 1.4 mL 蒸馏水，然后再加 5%亚硝酸钠 0.4 mL，混匀后放置 1 h，加质量分数 10%硝酸铝溶液 0.4 mL，混匀放置 6 min，加 4.3%氢氧化钠 4.0 mL，再加水至刻度，放置 1 min，测定 500 nm 下的吸光度。以芦丁做标准曲线。

1.6　数据处理

不同品种之间的数据比较使用 Duncan’s 多重比较法；同一品种受害前后的数据比较使用 *t*-检验法，统计分析软件为 DPS 7.05 版。

2　结果与分析

2.1　烟粉虱为害对不同品种辣椒叶片中 SOD 活性的影响

烟粉虱为害对不同品种辣椒叶片 SOD 活性影响显著（表 1）。除感虫品种港上红尖椒外，其他 5 个辣椒品种的 SOD 活性均显著高于对照组（$P<0.05$）。

烟粉虱为害前、后，不同辣椒品种间 SOD 活性均存在显著差异（表 1）。烟粉虱为害辣椒叶片前、后，尽管抗性品种（苏椒 5 号、新研 988 椒王）的 SOD 活性显著低于中抗品种（萧新九号、湘辛三号）和感虫品种（港上红尖椒、大禹牛角王）（$P<0.05$）。然而，从烟粉虱为害后不同辣椒品种的 SOD 活性变化率可以看出，抗性品种苏椒 5 号和新研 988 椒增幅最大，比对照组分别增加了 27.09%和 22.01%，增长率分别是感虫品种港上红尖椒（0.28%）的 96.75 倍和 78.61 倍。

2.2　烟粉虱为害对不同辣椒品种叶片中 POD 活性的影响

烟粉虱为害对不同品种辣椒叶片中 POD 活性影响显著（表 2），但是不同品种间其 POD 与 SOD 活性变化趋势并不相同。抗虫品种苏椒 5 号和新研 988 椒王、中抗品种萧新九号的 POD 活性均显著高于对照（$P<0.05$），中抗湘辛三号的 POD 活性与对照无显著差异，感虫品种港上红尖椒和大禹牛角王的 POD 活性反而显著低于对照（$P<0.05$）。

从烟粉虱为害后不同辣椒品种的 POD 活性变化值也可以看出，抗性品种最大，新研 988 椒王高达 68.91%，中抗品种较小，湘辛三号为 2.31%，敏感品种最小，港上红尖椒为 - 15.38%。

2.3　烟粉虱为害对不同辣椒品种总酚含量的影响

烟粉虱为害对不同辣椒品种总酚含量影响

表 1 烟粉虱为害对不同辣椒品种 **SOD** 活性的影响

Table 1 Effects of SOD activity in pepper leaves of different varieties after *Bemisia tabaci* damage

品种 Varieties	SOD 活性（U/g·FW） Activity of SOD		
	对照 Control	处理 Treatment	变化率（%） Change rate
苏椒 5 号 Sujiao 5	328.16±1.12f	417.05±0.56e*	+27.09
新研 988 椒王 Xinyan 988 pepper king	351.43±1.12e	428.79±0.56d*	+22.01
萧新 9 号 Xiaoxin 9	424.88±0.56b	483.02±0.00a*	+13.68
湘辛 3 号 Xiangxin 3	392.94±3.40c	460.67±0.55b*	+17.24
港上红尖椒 Gangshanghong pepper	463.29±2.27a	464.59±6.62b	+0.28
大禹牛角王 Dayuniujiaowang	374.24±1.74d	439.35±2.15c*	+17.40

同一行数据后标有 * 表示对照组与处理组在 0.05 水平差异显著，同一列数据后标有不同字母表示在 0.05 水平差异显著。变化率=（处理组－对照组）/（处理组）×100%。下表同。

Data in the same row following with * indicate significant difference between group of control and treatment at 0.05 level, and those with different letters in same column indicate significantly different at 0.05 level. The change rate = (treatment−control)/control×100%. The same below.

表 2 烟粉虱为害对不同辣椒品种 **POD** 活性的影响

Table 2 Effects of POD activity in pepper leaves of different varieties after *Bemisia tabaci* damage

品种 Varieties	POD 活性（U/g·min·FW） Activity of POD		
	对照 Control	处理 Treatment	变化率（%） Change rate
苏椒 5 号 Sujiao 5	21.00±0.10e	27.45±0.03b*	+30.71
新研 988 椒王 Xinyan 988 pepper king	18.43±0.23f	31.13±0.44a*	+68.91
萧新 9 号 Xiaoxin 9	21.70±0.18d	25.90±0.15c*	+19.35
湘辛 3 号 Xiangxin 3	23.78±0.16c	24.33±0.26d	+2.31

* 资助项目：江苏省农业自主创新项目 CX（12）5068；江苏省大学生实践创新训练计划（201411117070X）

**E-mail：khl2504@126.com

***通讯作者，E-mail: sdzhu@yzu.edu.cn

收稿日期：2014-05-17，接受日期：2014-07-28

港上红尖椒 Gangshanghong pepper	24.58±0.24b	20.80±0.53f*	- 15.38
大禹牛角王 Dayuniujiaowang	26.46±0.23a	23.12±0.44e*	- 12.62

显著（表 3）。除感虫品种大禹牛角王以外，烟粉虱为害后，其他品种辣椒叶片总酚含量与对照均存在显著差异（$P<0.05$），抗性品种苏椒 5 号、中抗品种湘辛三号和敏感品种港上红尖椒的总酚含量分别比对照组增加了 34.38%、16.61%和 4.30%。大禹牛角王的总酚含量与对照相比无显著差异，而新研 988 椒王的总酚含量则显著低于对照（$P<0.05$）。

从不同品种总酚含量来看，烟粉虱为害前，抗性品种苏椒 5 号的总酚含量明显高于（除大禹牛角王以外）的其他品种（$P<0.05$），烟粉虱为害后，苏椒 5 号的总酚含量明显高于其他所有品种（$P<0.05$）。

2.4　烟粉虱为害对不同辣椒品种总黄酮含量的影响

烟粉虱为害对不同辣椒品种的总黄酮含量影响显著（表 4）。所有辣椒品种的总黄酮含量与对照相比都显著增加（$P<0.05$），其中，中抗品种湘辛 3 号、敏感品种大禹牛角王增幅较大，分别达到了 30.34%，29.97%，而抗性品种苏椒 5 号、新研 988 椒王增幅较小，分别只有 17.93%、12.55%。

由此可见，辣椒的总黄酮含量可能与其对烟粉虱的抗性高低无关。

3　讨论

我们选择不同抗性程度的辣椒品种，系统研究了辣椒品种抗烟粉虱为害的生化机制。研究结果表明辣椒品种对 Q 型烟粉虱的抗性与植株叶片 SOD、POD 活性及总酚含量有关，而与总黄酮含量无关。植物在遭受昆虫为害时，通常会诱导产生某些防御酶系来对其进行化学防御，以维持自身的生存（Constabel *et al.*，1996；秦秋菊和高希武，2005）。本研究结果表明，烟粉虱成虫取食为害可诱导供试大多数品种辣椒叶片内 POD、SOD 防御酶活性上升，而且品种抗性越强，上升幅度越大。Zhang 等（2008）研究发现，B 型烟粉虱成虫取食能诱导黄瓜叶片内 POD、

表 3　烟粉虱为害对不同辣椒品种总酚含量的影响

Table 3　Effects of total phenol content in pepper leaves of different varieties after *Bemisia tabaci* damage

品种 Varieties	总酚含量（mg/g） Content of total phenol		
	对照 Control	处理 Treatment	变化率（%） Change rate
苏椒 5 号 Sujiao 5	15.62±0.14b	20.99±0.38a*	+34.38
新研 988 椒王 Xinyan 988 pepper king	14.17±0.07c	11.70±0.15e*	- 17.43
萧新 9 号 Xiaoxin 9	11.93±0.31d	18.28±0.14b*	+53.23
湘辛 3 号 Xiangxin 3	11.08±0.17e	12.92±0.04d*	+16.61

港上红尖椒 Gangshanghong pepper	15.35±0.16b	16.01±0.09c*	+4.30
大禹牛角王 Dayuniujiaowang	17.97±0.25a	18.51±0.26b	+3.01

表 4 烟粉虱为害对不同辣椒品种总黄酮含量的影响

Table 4 Effects of total flavonoid content in pepper leaves of different varieties after *Bemisia tabaci* damage

品种 Varieties	总黄酮含量（mg/g） Content of total flavonoid		
	对照 Control	处理 Treatment	变化率（%） Change rate
苏椒 5 号 Sujiao 5	9.26±0.24a	10.92±0.22b*	+17.93
新研 988 椒王 Xinyan 988 pepper king	8.29±0.10b	9.33±0.07c*	+12.55
萧新 9 号 Xiaoxin 9	8.20±0.02b	8.94±0.16c*	+9.02
湘辛 3 号 Xiangxin 3	6.46±0.20c	8.42±0.03d*	+30.34
港上红尖椒 Gangshanghong pepper	6.44±0.08c	7.44±0.16e*	+15.53
大禹牛角王 Dayuniujiaowang	9.71±0.12a	12.62±0.25a*	+29.97

SOD 活性的明显上升。另外，温室白粉虱 *Trialeurodes vaporariorum* Westwood、高粱蚜 *Melanaphis sacchari*（Zehntner）、苜蓿蚜 *Therioaphis trifolii*（Monell）取食为害均导致植物体内 POD 活性上升（张丽等，2005；程璐，2009；王涛等，2011）。这均与本文的研究结果一致。

陈奕磊等（2011）研究表明，B 型烟粉虱胁迫番茄不同品种后，落虫量多的防御酶活性变化显著，落虫量少的防御酶活性变化不显著。这与本文的研究结果不一致，这可能与不同品种受 B 型烟粉虱取食胁迫程度不同有关。

植物在受到环境胁迫时，会造成活性氧和自由基的积累，使得植物细胞受到伤害，严重时能造成植物死亡。但是植物体内存自由基清除系统和保护酶系统，如 SOD（超氧化物歧化酶）能催化生物体内氧活化的第一个中间产物 O^{2-}发生歧化反应，生成 O_2 和 H_2O_2，过氧化氢酶（CAT）和 POD 具有分解 H_2O_2 的能力，从而起到清除活性氧、维护氧代谢平衡的作用（李晓萍和胡文玉，1988）。我们的研究结果表明，辣椒植株体内的 SOD、POD 活性在品种间有显著差异，抗虫品种苏椒 5 号和新研 988 椒王 SOD、POD 活性明显高于感虫品种港上红尖椒、大禹牛角王，表明抗虫品种具有较强的抗虫害的修复能力。王亓翔等（2008）研究表明，稻纵卷叶螟为害水稻叶片后，抗虫品种宁粳 1 号和淮稻 9 号 SOD、POD 活性明显高于感虫品种。刘长仲和兰金娜（2009）研究表明，苜蓿斑蚜为害苜蓿叶片后，高抗品种 HA-3 活性较高，中抗品种甘农三号次之，低抗品种 Hunter River 较低。另外，我们研究中发现，感虫品种港上红尖椒、大禹牛角王受 Q 型烟粉虱取食胁迫后，POD 活性反而显著下降，这可能是由于 Q 型烟粉虱胁迫对 POD 酶活性具有一

定的抑制作用。因此，SOD 是辣椒不同品种抗烟粉虱的一个较好的生化指标。

除了植株体内的防御酶活性与抗虫性有关外，植株体内的次生物质水平也与抗虫性有关。植物体内含有多种次生物质，如酚类、黄酮类、萜类和固醇类等，这些物质可抑制昆虫生长发育、取食，对昆虫具有驱避、毒杀等作用（林凤敏等，2011）。因此，植株体内次生物含量越高，一定程度上表示其抗虫性越强。实验结果表明辣椒受 B 型烟粉虱危害后，其叶片内总酚、总黄酮含量明显增加。汤德良等（1997）研究表明，棉铃虫取食棉花后，叶片内次生物质棉酚和单宁含量均明显高于未被取食的叶片。这与本文的研究结果一致。辣椒不同品种受烟粉虱为害后，抗性品种苏椒 5 号和中抗品种萧新九号总酚含量增加较高，而感虫品种港上红尖椒、大禹牛角王抗性增加量较少。表明辣椒品种的抗虫性与叶片内总酚含量有关。然而，烟粉虱为害后，抗虫品种新研 988 椒王总酚含量反而降低，这可能是由于该品种对烟粉虱的抗性可能与总酚无关，而与其他抗虫物质如辣椒素等有关。感虫品种比抗虫品种总黄酮含量增加量反而较多。表明不同辣椒品种的抗虫性可能与总黄酮含量无关。

因此，辣椒品种对 Q 型烟粉虱的抗性主要表现为保护酶活性增强及次生物质总酚含量的增加，而辣椒中其它次生物质比如辣椒素等与辣椒与烟粉虱的抗性关系还有待进一步研究。

参考文献 (References)

Constabel CP, Bergey DR, Ryna CA, 1996. Polyphenol oxidase as a component of the inducible defense response in tomato against herbivores// Romeo JT, Saunders JA, Barbosa P (eds.). Phytochemical Diversity and Redundancy in Ecological Interactions. New York: Plenum Press. 231–252.

De Barro PJ, Bourne A, 2011. Ovipositional host choice by an invader accelerates displacement of its indigenous competitor. *Biological Invasionsions*, 12(9): 3013–3023.

Elbaz M, Halon E, Malka O, Malitsky S, Blum E, Aharoni A, Morin S, 2012. Asymmetric adaptation to indolic and aliphatic glucosinolates in the B and Q sibling species of *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae). *Molecular Ecology*, 21(18): 4533–4546.

Kranthi S, Krannthi KR, Wanjari RR, 2003. Influence of semilooper damage on cotton host-plant resistance to *Helicoverpa armigera* (Hub.) . *Plant Science*, 164 (2): 157–163.

Luo C, Jones CM, Devine G, Zhang F, Denholm I, Gorman K, 2010. Insecticide resistance in *Bemisia tabaci* biotype Q (Hemiptera: Aleyrodidae) from China. *Crop Protection*, 29(5): 429–434.

Wang ZY, Yan HF, Yang YH, Wu YD, 2010. Biotype and insecticide resistance status of the whitefly *Bemisia tabaci* from China. *Pest Management Science,* 66(12): 1360–1366.

Zhang SZ, Hua BZ, Zhang F, 2008. Induction of the activities of antioxidative enzymes and the levels of malondialdehyde in cucumber seedings as a consequence of *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) infestation. *Arthropod-Plant Interactions*, 2(4): 209–213.

陈奕磊, 崔旭红, 蔡冲, 曹凤勤, 2011. B 型烟粉虱对番茄不同品种光合特征和防御酶活性的影响. 中国农业科学, 44(17): 3547–3556. [Chen XL, Cui XH, Cai C, Cao FQ, 2011. Effect of *Bemisia tabaci* (Gennadius) B-biotype on photosynthetic characteristics and activity of defense enzyme in different varieties of tomato. Scientia Agricultura Sinica, 44(17): 3547–3556]

程璐, 贺春贵, 胡桂馨, 王森山, 朱亚灵, 2009. 苜蓿斑蚜为害对 5 种苜蓿品种(系)PAL、POD、PPO 酶活性的影响. 植物保护, 35(6): 87–90. [Cheng L, He CG, Hu GX, Wang SS, Zhua YL, 2009. The effects of Therioaphis trifolii on the activities of PAL, POD and PPO in five alfalfa varieties. *Plant Protection*, 35(6): 87-90.]

何玉仙, 翁启勇, 黄建, 梁智生, 林桂君, 吴咚咚, 2007. 烟粉虱田间种群的抗药性. 应用生态学报, 18(7): 1578–1582. [He YX, Weng QY, Huang J, Liang ZS, Lin GJ, Wu DD, 2007. Insecticide resistance of bemisia tabaci field populations. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 18(7): 1578-1582.]

李合生, 2000. 植物生理生化实验原理和技术. 北京: 高等教育出版社. 1–298. [Li HS, 2000. The mechanism and technology of plant phisiophy and biochenistry. Beijing: High Education Press. 1-298]

李晓萍, 胡文玉, 1988. 超氧自由基、超氧化物歧化酶及其与植物衰老、抗逆性的关系. 沈阳农业大学学报, 19(2): 67–72. [Li XP, Hu WY, 1988. Free superoxide radical, superoxide dismutase and their relations to plant senescence and stress resistance. Journal of Shenyang Agricultural University, 19(2): 67–72]

林凤敏, 吴敌, 陆宴辉, 张永军, 王沫, 吴孔明, 2011. 棉花主要抗虫次生物质与其对绿盲蝽抗性的关系. 植物保护学报, 38(3): 202–208. [Lin FM, Wu D, Lu YH, Zhang YJ, Wang M,

Wu KM, 2011. The relationship between the main secondary metabolites and the resistance of cotton to apolygus lucorum. *Journal of Plant Protection*, 38(3): 202-208.]

刘长仲, 兰金娜, 2009. 苜蓿斑蚜对三个苜蓿品种幼苗氧化酶的影响. 草地学报, 17(1): 32－35. [Liu CZ, Lan JN, 2009. Variations of oxidase in the seedling of three alfalfa varieties infe sted by therioaphis trifolii monell (Homoptera: Aphididae). *Acta Agrestia Sinica*, 17(1): 32-35.]

娄永根, 程家安, 1997. 植物的诱导抗虫性. 昆虫学报, 40(3): 320−331. [Lou YG, Chen JA, 1997. Induced resistance of plant. Acta Entomologia Sinicia, 40(3): 320–331]

潘慧鹏, 戈大庆, 王少丽, 吴青君, 徐宝云, 谢文, 张友军, 2010. 在北京和河北局部地区 Q 型烟粉虱取代了 B 型烟粉虱. 植物保护, 36(6): 40–44. [Pan HP, Ge DQ, Wang SL, Wu QJ, Xu BY, Xie W, Zhang YJ, 2010. Replacement of B biotype bemisia tabaci by Q biotype B. tabaci in some areas of Beijing and Hebei. *Plant Protection*, 36(6): 40-44.]

秦秋菊, 高希武, 2005. 昆虫取食诱导的植物防御反应. 昆虫学报, 48(1): 125 – 134. [Qin QJ, Gao XW, 2005. Plant defense responses induced by insect herbivory. *Acta Entomologica Sinica*, 48(1): 125-134.]

任顺祥, 邱宝利, 戈峰, 张友军, 杜予州, 陈学新, 郭建英, 林克剑, 彭正强, 姚松林, 胡雅辉, 王联德, 张文庆, 2011. 粉虱类害虫的监测预警与可持续治理技术透视. 应用昆虫学报, 48(1): 7−15. [Ren SX, Qiu BL, Ge F, Zhang YJ, Du YZ, Chen XX, Guo JY, Lin KJ, Peng ZQ, Yao SL, Hu YH, Wang LD, Zhang WQ, 2011. Research progress of the monitoring, forecast and sustainable management of whitefly pests in China. *Acta Entomologica Sinica*, 48(1): 7-15.]

汤德良, 王武刚, 谭维嘉, 郭予元, 1997. 棉铃虫为害诱导棉花内物质含量变化. 昆虫学报, 40(3): 332−333. [Tang DL, Wang WG, Tan WJ, Guo YY, 1997. Changes of contents of some substances in cotton leaves induced by cotton bollworm *Helicoverpa armigera* (Hubner) attack. *Acta Entomologica Sinica*, 40(3): 332−333]

王涛, 雷关红, 曹辰兴, 季春梅, 2011. 温室白粉虱对无毛黄瓜叶片 PAL、PPO、POD 活性的影响. 山东农业科学, 43(9)9: 84–87. [Wang T, Lei GH, Cao CX, Ji CM, 2011. Effects of whitefly damage on activities of PAL, PPO and POD of glabrous cucumber in greenhouse. *Shandong Agricultural Sciences*, 43(9)9: 84-87.]

王海鸥, 雷仲仁, 岳梅, 李硕, 纪云亮, 2011. 吡蚜酮对烟粉虱取食干扰效应的探讨. 应用昆虫学报, 48(1): 54−59. [Wang HO, Lei ZR, Yue M, Li S, Ji YL, 2011. Effect of pymetrozine interferes with feeding behaviour of bemisia tabaci (Homoptera, Aleyrodidae). *Chinese Bulletin of Entomology*, 48(1): 54-59.]

王亓翔, 许璐, 吴进才, 2008. 水稻品种对稻纵卷叶螟抗性的物理及生化机制. 昆虫学报, 51(12): 1265−1270. [Wang QX, Xu L, Wu JC, 2008. Ph to ysical and biochemical mechanisms of resistance of different rice varieties the rice leaffolder, cnaphaloc rocis medinalis (Lepidoptera: Pyralidae). *Acta Entomologica Sinica*, 51(12): 1265-1270.]

王少丽, 张友军, 李如美, 吴青君, 徐宝云, 2011. 北京和湖南烟粉虱生物型及其抗药性监测. 应用昆虫学报, 48 (1): 27−31. [Wang SL, Zhang YJ, Li RM, Wu QJ, Xu BY, 2011. Biotype and resistance status of whitefly bemisia tabaci in Beijing and Hu nan areas. *Chinese Bulletin of Entomology*, 48 (1): 27-31.]

吴琳, 2013. 不同辣椒品种对烟粉虱的抗性及其生理生化机制研究.硕士学位论文. 扬州: 扬州大学. [Wu L, 2013. Studies on resistance of different pepper varieties to bemisia tabaci (bennadius) and its physiological and biochemical mechanism. Master degree thesis. Yangzhou: Yangzhou University.]

张丽, 常金华, 罗耀武, 2005. 不同高粱基因型感蚜前后 POD、PPO、PAL 酶活性变化分析. 农业生物技术科学, 21(7): 40–42, 198. [Zhang L, Chang JH, Luo YW, 2005.Activity changes of POD, PPO, PAL of the different sorghum genotypes invaded by *Aphis sacchari* Zehntuer. Chinese Agricultural Science Bulletin, 21(7): 40–42, 198]

张云, 韩树, 王俊儒, 2009. 黄珠子草不同部位总黄酮和总酚含量及抑菌活性测定. 西北农业学报, 18(6): 306–309. [Zhang Y, Han S, Wang JR, 2009. Determination of the content of total flavonoids and total phenolics and the antibacterial activities in d ifferent parts from phyllanthus simplex Retz. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 18(6): 306-309.]

张芝利, 罗晨, 2001. 我国烟粉虱的发生危害和防治对策. 植物保护, 27(2): 25−30. [Zhang ZL, Luo C, 2001. Occurrence and control countermeasures of bemisia tabaci (Gennadius) in China. *Plant Protection*, 27(2): 25-30.]

朱麟, 杨振德, 赵博光, 方杰, 2005. 植食性昆虫诱导的植物抗性最新研究进展. 林业科学, 41(1): 165−173. [Zhu L, Yang ZD, Zhao BG, Fang J, 2005. Recent advances of herbivorous insect induced resistance in plants. *Scientia Silvae Sinicae*. 41(1): 165-173.]

邹琦, 2000. 植物生理学实验指导. 北京: 中国农业出版社. 1 − 191. [Zou S, 2000. The experiment guidance of plant physiology. Beijing: China Agricultural Press.]