

印楝素的杀虫活性及其对烟粉虱的驱避作用

文吉辉^{1, 2} 侯茂林^{2*} 卢伟^{1, 2} 黎家文¹

(1. 湖南农业大学生物安全科技学院 长沙 410128;
2. 植物病虫害生物学国家重点实验室/中国农业科学院植物保护研究所 北京 100094)

Insecticidal activities of azadirachtin and its effects on sweetpotato whitefly, *Bemisia tabaci*. WEN Ji-Hui^{1, 2}, HOU Mao-Lin^{2*}, LU Wei^{1, 2}, LI Jia-Wen¹ (1. College of Bio-safety Sciences and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; 2. State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests/Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100094, China)

Abstract Azadirachtin is rated as one of the most promising botanical insecticides. In this paper, we summarized the current understanding of its insecticidal activities including landing deterrence, anti-oviposition, anti-feeding, contact toxicity, fecundity-reducing, and insect-growth-regulation. Specifically, we focus on the effects of azadirachtin on host selection, oviposition, egg hatching and development of sweetpotato whitefly *Bemisia tabaci* (Gennadius).

Key words azadirachtin, botanical insecticide, insecticidal activity, *Bemisia tabaci*

摘 要 印楝素(azadirachtin)被认为是最有发展前景的植物源杀虫剂。文章主要介绍印楝素对昆虫的接触驱避、产卵驱避、拒食、毒杀、降低生殖力、生长调节等作用及其作用机理。同时也论述印楝素对烟粉虱 *Bemisia tabaci* (Gennadius) 寄主选择、产卵、孵化、若虫发育的影响。
关键词 印楝素, 植物源杀虫剂, 杀虫活性, 烟粉虱

印楝素(azadirachtin)被认为是治理害虫最有发展前景的植物源生物农药。它对人体无危害、不破坏生态环境、无残留、对害虫不易产生抗药性,为世界公认的21世纪首选杀虫剂^[1]。本文在简述印楝植物源农药的杀虫活性的基础上,重点介绍其对烟粉虱 *Bemisia tabaci* (Gennadius)的影响,以期促进印楝植物源农药对包括烟粉虱在内的刺吸式口器害虫杀虫活性的研究及其在我国的广泛应用。

1 印楝及其商品化杀虫剂

印楝(*Azadirachta indica* A. Juss)属楝科(Meliaceae)楝属(*Melia* L.),热带和亚热带常绿或落叶植物^[2]。我国1983首次从多哥引种成功,现在云南、海南和广东大面积种植^[3]。自从1985年美国环保局批准登记第一个印楝素乳油杀虫剂(margosan-O)以来,先后开发了悬浮

剂、可湿性粉剂、颗粒剂、超低容量剂等剂型^[4],品种达十几种。我国在1997年由华南农业大学首次开发了商品化的0.3%印楝乳油制剂,目前已经商品化生产的印楝素杀虫剂已经有5个品种^[5]。

2 印楝中的杀虫活性物质及其杀虫活性

2.1 杀虫活性物质

现已从印楝植物器官中分离鉴定出具有杀虫活性的有机化合物300多种,其中杀虫活性最强是印楝素的各种异构体及衍生物和柠檬苦味素类物质等四环三萜类化合物^[2]。

2.1.1 印楝素:自1968年Butterworth和Morgan

* 中央科研院所社会公益研究专项项目(2004DIB4J156)。
** 通讯作者, E-mail: maolinhou@yahoo.com

首次从印楝种仁中分离出印楝素^[6]以来,现已发现印楝素的异构体和衍生物有 12 种,分别为印楝素 A^[1]、印楝素 B^[7]、印楝素 C, D, E, F, G, H, I, J, T 和 K^[8,9]。其中 azadirachtin A, 即常讲的印楝素(AZ),在印楝种核提取物中含量最高。印楝素在种仁中含量最高,在 0.01% ~ 0.9%之间^[7]。印楝素与害虫体内的类固醇和甾类化合物等激素类物质的结构非常相似,因此它们可干扰或杀死害虫,同时不易引起害虫产生抗药性^[10,11]。

2.1.2 印楝中的柠檬苦味素类物质:除印楝素外,印楝中含有的 Salannin, Nimbin, Gedunin, Nimbodin, Meliantriol 等四环三萜类柠檬苦味素化合物^[2,12],也具有印楝素相似的杀虫活性,且具有抗菌、抗病毒的能力^[12],还可用于线虫的防治^[13]。

2.2 印楝素的杀虫活性及机理

印楝素作为印楝中主要的杀虫活性物质,已证明对 8 目(鳞翅目、同翅目、双翅目、鞘翅目、缨翅目、膜翅目、直翅目、蜚蠊目)近 400 种农林、仓储、卫生害虫具有拒食、忌避、毒杀、干扰生长发育(生长调节)、影响产卵(降低生殖力)等生物活性^[14]。

2.2.1 驱避作用:印楝提取物对多种害虫具有接触驱避作用,也叫忌避作用,是印楝素对昆虫的初级拒食作用(primary antifeedant effects)^[12]。Heyde 等报道,稻株喷施 1% ~ 50% 的印楝乳油后,褐飞虱 *Nilaparvata lugens*、白背飞虱 *Sogatella furcifera*、二点黑尾叶蝉 *Nephotettix virescens* 成虫降落率显著降低^[15]。Weathersbee 等用 11 ~ 180 mL/L 印楝素处理植株,发现对柑橘木虱 *Diaphorina citri* 成虫驱避作用显著^[16]。Robert 等和 Goudegnon 等先后报道了印楝素对小菜蛾 *Plutella xylostella* 有明显的驱避作用^[17,18]。Hummel 发现印楝素对 *Diabrotica virgifera* 的接触驱避作用随浓度提高相应增强^[19]。

另外,印楝提取物对多种昆虫具有产卵驱避作用。Rice 等用 0.02% 的印楝种核提取剂处理植株或基质后,对丝光绿蝇 *Lucilia sericata*

产卵驱避效果达 100%^[20]。Elling 等发现,温室白粉虱 *Trialeurodes vaporariorum* 在印楝素 NeemAzal-TS[®] 处理过的基质上产卵量显著减少^[21]。印楝甲醇提取物或印楝素对翠纹金钢钻 *Earias vitella*^[22]、稻绿蝽 *Nezara viridula*^[23]、香蕉根颈象 *Cosmopolites sordidus*^[24] 也有明显的产卵驱避作用。印楝素对昆虫的产卵驱避作用与剂量有关。用 0.375, 0.300 和 0.250 $\mu\text{L/L}$ 的 0.3% 印楝素乳油处理水稻苗,二化螟 *Chilo suppressalis* 产卵量分别为对照的 11.3%, 22.9% 和 45.7%; 10 $\mu\text{L/L}$ 浓度对二化螟的产卵驱避率达 88.7%^[25]。

2.2.2 拒食与毒杀作用:印楝杀虫剂抑制昆虫味觉感受器(gustatory receptors)对适口食物的识别,或刺激感受器产生厌食反应,从而产生拒食,也叫次级拒食作用(secondary antifeedant effects)^[12]。印楝叶的水、乙醇提取物和印楝素均对日本弧丽金龟 *Popillia japonica* 具有拒食作用^[26]。10 ~ 40 mg/L 浓度的印楝素对沙漠蝗 *Schistocerca gregaria* 可产生 100% 的拒食作用^[6]。用 1% ~ 50% 印楝油乳剂处理稻株,白背飞虱、褐飞虱、二点黑尾叶蝉的取食量显著减少,减少幅度分别为 62.1% ~ 93.2%, 28.2% ~ 88.1% 和 51.0% ~ 91.4%^[15]。印楝素乳油 0.750% ~ 0.250 $\mu\text{L/L}$ 的浓度梯度处理稻茎,对二化螟拒食率为 70.82% ~ 23.61%, 且与浓度直线相关^[25]。Akhtar 等发现,楝属提取物对粉斑夜蛾 *Trichoplusia ni*、粘虫 *Leucania separata*、小菜蛾和墨西哥豆象 *Epilachna varivestis* 均有很强的拒食作用^[27]。Schoonhoven 对欧洲粉蝶 *Pieris brassicae* 幼虫研究表明,印楝素拒食机制是由于幼虫口器上有对印楝素敏感的感觉器,印楝素不但能激活其下颚栓锥感器的厌食神经元,而且还能抑制引起食欲的神经元信号发射^[28]。

印楝素对害虫还具有直接的毒杀作用。烟草天蛾 *Manduca sexta* 取食 5 ~ 50 mL/L 印楝种核提取物后,在幼虫期就死亡;取食 1 ~ 2 mL/L 浓度时,幼虫虫体干瘪、萎缩,在预蛹期死亡或在蛹期停止生长发育,或羽化为不正常成

虫^[29]。陈鹏等用 0.3% 印楝素乳油 100 倍处理松小蠹 *Tomicus piniperda*, 防治效果达 95.6%^[30]。Thoeming 等报道土壤沟施印楝素时西花蓟马 *Frankliniella occidentalis* 的校正死亡率达 93%^[31]。Robert 发现印楝素对小菜蛾有直接毒杀作用和杀卵作用^[18]。Heuvel 等报道了 2 560 mL/L 印楝素可使桃蚜 *Myzus persicae* 100% 死亡; 320 ~ 2 560 mL/L 时, 桃蚜幼虫发育速度和死亡率与浓度成剂量相关, 且桃蚜传播番茄卷叶病毒受印楝素抑制率达 55% ~ 90%^[32]。同样, 印楝素对茄子上的同翅目害虫 *Jacobiasca hybica*、烟粉虱 *Bemisia tabaci* 和棉蚜 *Aphis gossypii* 有较好的防效^[33]。

印楝中含有的杀虫活性物质之间对其杀虫活性还存在增效作用。Koul 等发现印楝树中的 4 种物质 Azadirachtin, Nimbocinol, Azadiradione 和 Salannin 单独或联合防治棉铃虫 *Helicoverpa armigera* 和斜纹贪夜蛾 *Spodoptera litura* 时, 活性最强的是印楝素 (azadirachtin), 联合使用发生增效作用, 而且联合增效作用存在于化学结构相异的物质之间 (如 Salannin 和 Nimbocinol 或 Azadiradione 联合) 而不是在相似的化学结构之间 (如 Nimbocinol 和 Azadiradione)^[34]。

2.2.3 降低生殖力和影响卵孵化: 印楝素对昆虫生殖力的影响, 首先表现为降低成虫的交配能力或寻觅配偶的能力, 或使雌虫不孕。如低剂量印楝素 (0.125 μg /雌虫) 使马利筋长蝽 *Onopeltus fassiatatus* 雄虫失去交配能力^[35]。采用不干扰昆虫蜕皮的剂量处理地中海实蝇 *Ceratitis capitata* 后, 雌虫不能识别雄性激素^[36]; 或卵巢组织受损而导致完全不孕^[12]。稻绿蝽未经印楝素处理雌成虫与经印楝素处理雄成虫交配后, 产卵量明显下降^[23]。其次, 印楝素处理幼期昆虫导致雌成虫繁殖力下降。如稻绿蝽 5 龄若虫^[23] 和带纹棉红蝽 *Dysdercus cingulatus* 5 龄若虫^[37] 受印楝种核提取物或印楝素处理后而羽化的成虫产卵量均显著降低。再次, 印楝素直接处理成虫也降低雌成虫的产卵量。在翠纹金钢钻^[21]、四纹豆象 *Callosobruchus maculatus*^[38]、斜纹夜蛾^[39] 和甘蓝夜蛾 *Mamestra*

brassicae^[40] 上均发现类似结果。另外, 印楝素能间接或直接地降低昆虫卵的孵化率。Gajmer 等报道高浓度印楝提取物处理过的产卵基质导致翠纹金钢钻卵孵化率下降; 将卵直接浸入提取物中, 或雌蛾取食拌有印楝提取物的饲料后, 卵孵化率也降低^[22]。Singh 报道了印楝种仁水提取物和印楝素对黄瓜小实蝇 *Bactrocera cucurbitae* 和柑橘小实蝇 *Bactrocera dorsalis* 产卵量、卵孵化力及胚胎后发育均有影响^[41]。

印楝杀虫剂对昆虫生殖影响的机制尚不清楚, 可能存在多种途径, 对此嵇保中等^[42] 有较详细的综述报道。

2.2.4 生长发育调节作用: 1972 年首次发现印楝素对鳞翅目幼虫有生长调节作用^[43], 主要表现为干扰蜕皮、影响羽化、导致畸形。如陈鹏等和金党琴等分别报道了 0.3% 印楝素乳油对 2 龄松毛虫 *Dendrolimus* spp. 幼虫和甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua* 幼虫有较强的生长发育抑制作用, 表现为幼虫停止发育, 虫体缩小, 影响蜕皮, 逐渐僵化最终死亡^[30, 44]。Ma 等用印楝素喷施的棉叶连续喂食 1、2 龄棉铃虫 4 d, 幼虫、蛹体重减轻, 生长发育期延长, 蜕皮困难, 存在“幼虫—蛹”中间虫态^[45]。Gelbić 等发现, 印楝素使灰翅夜蛾 *Spodoptera littoralis* 幼虫和大蜡螟 *Galleria mellonella* 幼虫体重增加, 延缓发育, 并且抑制幼虫黑色素的合成使其体色成淡绿或浅灰色^[46]。

对其他目昆虫, 印楝素表现出与其对鳞翅目幼虫类似的生长发育调节作用。墨西哥瓢虫 *Epilachna varivestis* 取食印楝提取物处理过的植株后, 在预蛹和蛹期以及蛹期和成虫期间有一个明显的“中间虫态”, 而且成虫披有蛹壳很难蜕掉^[47]; 印楝种核提取物和印楝素浓度高时能在其若虫胸部背面形成 4 个黑斑^[48, 49]。在菊花上施用 0.2% 和 0.4% 印楝种核甲醇提取物, 美洲斑潜蝇 *Liriomyza sativae* 完全不能羽化或仅有少数能羽化^[50]; 在地中海实蝇上也发现羽化率与印楝种核甲醇提取物浓度呈负直线相关^[36]。Riba 等报道用 200 ~ 500 ng 印楝素处理稻绿蝽 5 龄若虫时, 羽化后几乎所有的成虫均死亡, 存

活的少数个体表现若虫特性且存活期极短;采用 2~50 ng 低剂量时,只有 50% 的成虫表现正常^[23]。Weathersbee 等研究了低浓度 (22.5 mL/L) 印楝素对柑橘木虱若虫的生长发育抑制作用,若虫 4 d 内不能蜕皮,7 d 内所有若虫死亡^[16]。Weathersbee 等发现蔗根非耳象 *Diaprepes abbreviatus* 取食 42.9 mg/L 印楝素后,幼虫生长发育抑制率大于 97%^[51]。Hussein 采用 0.45 mL/L 印楝素喂食毛花金龟 *Tropinota squalida* 1 龄若虫 1 周后,羽化率从 80% (对照) 降至 13%,而当 2、3 龄若虫继续处理时,无成虫羽化^[52]。

印楝素主要是通过扰乱昆虫内分泌活动而影响其生长发育,这已得到广泛认同^[12, 32, 54]。这种影响主要集中在脑、心侧体、咽侧体和前胸腺等,是针对整个相互协调、相互作用的内分泌系统的一种综合作用,而非单独针对某一靶标。印楝素通过作用靶标影响昆虫蜕皮激素和保幼激素等激素的合成与分泌,导致幼虫发育变态受阻^[10, 11, 53]。总之,印楝素主要通过扰乱昆虫内分泌激素的平衡,影响新陈代谢,破坏正常的生长发育^[11];直接或间接破坏昆虫口器的化学感受器产生拒食作用;通过对中肠消化酶的作用使得食物的营养转换不足,影响昆虫的生长发育;高剂量可直接杀死昆虫,低剂量可致使出现“永久性”幼虫,或畸形蛹、成虫^[11, 24]。另外, Salehzadeh 等发现印楝素对昆虫细胞有丝分裂具有抑制作用,这也可能是其延缓昆虫生长发育的原因之一^[54]。

3 印楝素对烟粉虱的影响

3.1 对成虫寄主选择及产卵量的影响

印楝素对烟粉虱成虫驱避作用显著,使其取食量、产卵量减少^[55]。Abou-Fakhr Hammad 等发现楝树皮、叶片和果实的甲醇、水提取物对烟粉虱成虫驱避作用显著,达 58.9%~67.7%;并且显著降低后代 (F1) 雌虫的产卵量^[56]。Coudriet 等发现,叶面喷雾能使棉花上烟粉虱产卵量、卵的生活力降低^[57]。Prabhaker 等发现印楝素浸种、沟施、叶面喷雾后,烟粉虱产卵量均

显著低于对照^[58]。Kumar 等报道了类似结果,印楝杀虫剂浸种、沟施以及叶面喷雾使烟粉虱产卵量分别降低 44%、74% 和 82%^[59]。本文作者(未发表数据)发现印楝素杀虫剂影响烟粉虱雌虫的寄主评价行为,处理叶片上雌虫刺探次数减少、行为转换频次增大。

3.2 对卵孵化的影响

Prabhaker 等报道印楝素显著降低烟粉虱卵孵化率,叶面喷施印楝素 (60 mL/L) 与清水时烟粉虱孵化率分别为 55% 和 92%;沟施印楝素 (30 mL/L) 与清水时孵化率分别为 65% 和 94%;印楝种子提取物+尿素与清水进行种子处理时孵化率分别为 51% 和 82%^[158]。Kumar 等观察到一些烟粉虱卵可以孵化到一半,这表明印楝素影响卵孵化不是直接作用于卵的胚胎发育。Kumar 等推测,有生活力的卵最终能否孵化成功,主要受滞留在叶面及卵壳上印楝素的影响^[59]。至于像其它昆虫一样因成虫血淋巴内保幼激素正常浓度水平被印楝素破坏而使得昆虫卵成熟所需要的卵黄原蛋白合成不足而导致不育的现象,目前在烟粉虱未见报道。

3.3 对若虫和蛹的影响

在烟粉虱的各个虫态中,印楝杀虫剂对若虫特别是 1 龄若虫最敏感,蛹期最不敏感。可能是蛹期不活动不取食,且蛹包被厚茧,阻止了印楝素对蛹的穿透。但印楝素具有很好的内吸性,通过植株吸收到达叶片,被 1 龄若虫取食而导致其死亡^[57, 58]。Coudriet 等发现,叶面喷雾能延长若虫期、提高若虫死亡率^[57]。Kumar 等还发现,清水对照、1, 3, 5, 7 和 10 mL/L 浓度的印楝素引起 1 龄若虫的死亡率分别为 9.80%, 72.53%, 88.93%, 97.06%, 100% 和 100%;相同浓度处理下,1 龄若虫死亡率比 2、3 龄若虫至少高 2%^[159]。印楝素直接引起若虫高死亡率的报道较多^[57, 58], Souza 等采用 0.5%, 1% 和 5% 印楝种子水提取物叶面喷施,营养钵施药作用于 7 日龄的烟粉虱若虫或直接作用 3 龄若虫,烟粉虱若虫死亡率均达 100%^[60],这说明植物源农药印楝杀虫剂作为防治烟粉虱等刺吸口器害虫具有很好的应用前景。

4 展望

已有报道表明,印楝素对害虫的杀虫活性和控害作用研究主要集中在咀嚼式口器害虫,对刺吸式口器昆虫的研究较少。但是印楝素可以被系统传导到包括叶片在内的植株各个部位^[31, 40],这种特性使得印楝素具备有效控制刺吸式口器害虫的潜力^[15, 39]。

针对烟粉虱而言,国际上就印楝素的杀虫活性和控害作用有所报道^[55~59],国内没有报道。自1985年美国批准登记第一个印楝素乳油杀虫剂以来,目前国内外以印楝为原料开发的商品化杀虫剂至少已有40个,但印楝素能有效控制地害虫种类和控害效果尚不完全明确^[2]。国外就某些商品化印楝素杀虫剂对烟粉虱的控害效果进行了研究,但各种杀虫剂因提取、纯化、乳化、制剂化等因素不同,对烟粉虱的杀虫活性和控害效果差异较大。因此,我国应该扩大和深化印楝素对多种害虫杀虫活性的研究,特别是对包括烟粉虱在内的刺吸式口器害虫的研究,以便扩大我国自主研发印楝素杀虫剂的应用范围,同时推进温室内烟粉虱种群的无害化控制。

参 考 文 献

1 Goktepe I, Plhak L C. *Bull. Environ. Contamin. Toxicol.*, 2004, **72**(6): 1 278~1 284.

2 Schmutterer H. *Ann. Rev. Entomol.*, 1990, **35**: 271~297.

3 赵善欢, 张业光, 蔡得智. 华南农业大学学报, 1989, **10**(2): 32~39.

4 Mordue A., Blackwell A. *Insect Physiol.*, 1993 **39**(11): 903~924.

5 荣晓东, 徐汉虹, 赵善欢. 农药学报, 2000, **2**(2): 9~14.

6 Buttenworth J.H., Morgan E.D. *J. Chem. Commun.*, 1968: 23~24.

7 Johnson S., Morgan E. D., Peiris C. N. *Ann. Botany.*, 1996, **78**: 383~388.

8 Amason J. T., Philogene B. J., Morand P. *Insecticides of Plant Origin*. USA: American Chemical Society, 1989. 150~163.

9 Andrew P. J., Morgan E., Edwards C. *Phytochem. Anal.*, 1999, **10**: 39~43.

10 James F., Schuster P. D. *J. Florida Entomol.*, 1991, **74**(1): 60~68.

11 李晓东, 赵善欢. 华南农业大学学报 1995, **17**(1): 118~122.

12 Siddiqui B.S., Afshan F., Ghiasuddin F. S., Faizi S., Naqvi S. N.H., Tariq R. M. *Phytochem.*, 2000, **53**: 371~376.

13 安玉兴, 徐汉虹. 世界农药, 2001, **23**(5): 30~33.

14 Xie Y. S., Fields P. G., Isman M. B. *J. Econ. Entomol.*, 1995, **88**(4): 1 024~1 031.

15 Heyde V. D. J., Saxena R. C., Schmutterer H. In: Schmutterer H. Ascher K. R. S. (eds.), *Natural Pesticides from the Neem Tree and Other Tropical Plants*. Proc. 2nd Int. Neem Conf. Raui schholzhausen, Eschborn GTZ, 1984. 377~390.

16 Weathersbee III A. A., McKenzie C. L. *Florida Entomol.*, 2005, **88**(4): 401~407.

17 Robert H. J. V., Denis J. W. *Pestic. Sci.*, 1993, **37**: 83~91.

18 Goudegnon A. E., Kirk A. A., Schifffers B., Bordat D. *J. Appl. Entomol.*, 2000 **124**: 141~144.

19 Hummel H. E. In: Kleeberg H. (eds.), *Proc. Second Workshop*. Wetzlar, Germany, Trifolio-M GmbH, Lahnau, 1992. 145~148.

20 Rice M., Sexton S., Esmail A. M. *J. Aust. Entomol. Soc.*, 1985, **24**: 16.

21 Elling K., Borgemeister C., Sctamou M., Poehling H. M. *J. Appl. Entomol.*, 2002 **126**(1): 40~45.

22 Gajner T., Singh R., Saini R. K., Kalidhar S. B. *J. Appl. Entomol.*, 2002 **126**(5): 238~243.

23 Riba M., Mari J., Sans A. *J. Appl. Entomol.*, 2003 **127**: 37~41.

24 Musabyimana T., Saxena R. C., Kairu E. W., Ogol C. P. K. O., et al. *J. Econ. Entomol.*, 2001, **94**(2): 449~454.

25 霍中洋, 高振兴, 徐德进, 常燕, 邵彩虹, 祝树德. 扬州大学学报(农业与生命科学版), 2004, **25**(4): 35~38.

26 Ladd T. L. Jr. In: Schmutterer H., Ascher K. R. S., Rembold H. (eds.), *Natural Pesticides from the Neem Tree*. Proc. 1st Int. Neem Conf, Rottach-Egern, Eschborn GTZ, 1981. 149~156.

27 Akhtar Y., Isman M. B. *J. Econ. Entomol.*, 2004, **128**: 32~38.

28 Schoonhoven L. M., Jemmy T. In: McFarlane N. R. (eds.), *Crop Protection Agents-Their Biological Evaluation*. New York: Academic, 1997. 133~146.

29 Haasler C. In: Schmutterer H., Ascher K. R. S. (eds.), *Natural Pesticides from the Neem Tree and Other Tropical Plants*. Proc. 2nd Int. Neem Conf. Raui schholzhausen, Eschborn GTZ, 1984. 320~330.

30 陈鹏, 季梅, 刘宏屏, 周楠, 李丽莎, 等. 云南林业科技, 2003, **4**: 72~74.

31 Thoeming G., Borgemeister C., Setamou M., Poehling H. M. *J. Econ. Entomol.*, 2003, **96**(3): 817~825.

32 Heuvel J. F. J. M van den, Hogenhout S. A., Verbeek M., Wilk F. van der *Entomol. Exp. Appl.*, 1998, **86**: 253~260.

33 Shafiea H. A. F., Basedow T. *Crop Prot.*, 2003, **22**: 1 015~1 021.

34 Koul O., Multani J. S., Goomber S., Daniewski W. M., Berlozecki S. *J. Aust. Entomol.*, 2004 **43**: 189~195.

- 35 Dom A. J. *Appl. Entomol.*, 1986, **102**: 313 ~ 319.
- 36 Steffens R., Schmutterer H. Z. *Angew. Entomol.*, 1982, **14**: 98 ~ 103.
- 37 Odse L. Zur Wirkung von Rohextrakten aus Samen des Niembaumes (*Azadirachta indica* A. Juss.) auf die Baumwollrotwanze (*Dysdercus fasciatus* Sign.) Dipl. Thesis. Univ. Gießen, FGR, 1981.
- 38 Lale N. E. S., Mustapha A. J. *StorProd Res.*, 2000, **36**(3): 215 ~ 222.
- 39 Naumann K., Isman M. B. *Entomol. Exp. Appl.*, 1995, **76**: 115 ~ 120.
- 40 Seljåsen R., Meadow R. *Crop Prot.*, 2006, **25**: 338 ~ 345.
- 41 Singh S. J. *Appl. Entomol.*, 2003, **127**: 540 ~ 547.
- 42 嵇保中, 孙元霄. 中国森林病虫, 2002 **21**(6): 23 ~ 28.
- 43 Ruscoe C. N. E. *Nature*, 1972, **236**: 159 ~ 60.
- 44 金党琴, 祝树德. 现代农药, 2005 **4**(2): 28 ~ 30.
- 45 Ma D.-L., Gordh G., Zakić M. P. *J. Aust. Entomol.*, 2000, **39**: 301 ~ 304.
- 46 Gelbáč I., Němec V. J. *Appl. Entomol.*, 2001, **125**: 417 ~ 422.
- 47 Steets R. Z. *Angew. Entomol.*, 1976, **77**: 306 ~ 312.
- 48 Schlüter U. In: Schmutterer H., Ascher K. R. S., Rembold H. (eds), Natural Pesticides from the Neem Tree. Proc. 1st Int. Neem Conf. Rottach-Egern, Eschborn GTZ, 1981. 97 ~ 104.
- 49 Schlüter U. In: Schmutterer H., Ascher K. R. S. (eds.), Proc. 3rd Int. Neem Conf. Nairobi, Eschborn GTZ, 1981. 331 ~ 348.
- 50 Stein U. Ms Thesis. Univ. Calif., Berkeley, 1984.
- 51 Weathersbee III A. A., Tang Y. Q. *J. Econ. Entomol.*, 2002 **95** (4): 661 ~ 667.
- 52 Hussein H. M., Dimetry N., Zidan Z., Iss-Hak R. R., Sehnal F. *J. Appl. Entomol.*, 2005, **129**(3): 142 ~ 148.
- 53 Garcia E. S. Rembold H. *Insect Physiol.*, 1984, **12**: 939 ~ 941.
- 54 Salehzadeh A., Akhkhah A., Cushman W., Adams R. L. P., Kusel J. R., Strang R. H. C. *Insect Biochem. Mol. Biol.* 2003, **33**: 681 ~ 689.
- 55 Hilje L., Starsky P. A., Carballo M., Mora G. A. In: Proc. 3rd International Bemisia Workshop. Barcelona, Spain; 2003. 17 ~ 20.
- 56 About-Fakhr Hammad E. M., Zoumajian H., Talhouk S. J. *Appl. Entomol.*, 2001, **125**(8): 483 ~ 488.
- 57 Coudriet D. L., Prabhaker N., Meyerlink D. E. *Environ. Entomol.*, 1985 **14**: 776 ~ 779.
- 58 Prabhaker N., Toscano N. C., Henneberry T. J. *J. Econ. Entomol.*, 1999 **92**(1): 40 ~ 46.
- 59 Kumar P., Poehling H.-M., Borgemeister C. *J. Appl. Entomol.*, 2005 **129**(9/10): 489 ~ 497.
- 60 Souza A. P., de Vendramin J. D. *Neotrop. Entomol.*, 2005, **34**(1): 83 ~ 87.

马铃薯甲虫防治技术及其抗药性研究进展^{*}

张 衡 李学锋 王成菊 邱立红^{**}

(中国农业大学理学院应用化学系 北京 100094)

Advances in the researches on control and insecticide resistance in *Leptinotarsa decemlineata*. ZHANG Heng, LI Xue-Feng, WANG Cheng-Ju, QIU Li-Hong^{*} (*Department of Applied Chemistry, College of Science, China Agricultural University, Beijing 100094 China*)

Abstract Colorado potato beetle *Leptinotarsa decemlineata* (Say) is a destructive quarantine insect pest. The controlling techniques for Colorado potato beetle include agricultural and physical methods (by crop rotation and trench traps etc.), biological control (by using microbial insecticides or active extracts from plants introduction of natural enemies etc.) and chemical control (by using organophosphates carbamates pyrethroids and other new insecticides). The resistance mechanism mainly involved the enhanced activities of relevant metabolic enzyme, especially cytochrome P450s; the genetics of resistance was usually autosomal, incompletely recessive and polygenic. The resistance monitoring techniques include traditional bioassay and gene-mutation detection methods. The latter including solid-phase minisequencing (SPMS), single-stranded conformational polymorphism (SSCP), bi-directional PCR amplification of specific alleles (bi-PASA) etc. are playing more and more important role in the resistance

^{*} 农业部高毒农药替代示范工程项目。

^{**} 通讯作者, E-mail: qilihong@hotmail.com

收稿日期: 2006-05-16, 修回日期: 2006-10-19