4 种性信息素产品对新发南美番茄潜叶蛾引诱效果研究

张桂芬[1,2#*]， 张毅波[1,2#]， 刘万学[1,2]， 韩 力[3]， 冼晓青[1,2]，
万方浩[1,2]， 付文君[4]， 王 俊[5]， 刘 慧[6]， 王玉生[1]，
胡 卿[1,7]， 潘红伟[1,7]， 蒋智林[7]

(1. 中国农业科学院植物保护研究所，植物病虫害生物学国家重点实验室，农业农村部作物有害生物综合治理重点实验室，北京 100193；2. 农业农村部外来入侵生物预防与控制研究中心，北京 100193；3. 北京市植物保护站，北京 100029；4. 新疆伊犁哈萨克自治州农业技术推广总站，伊宁 835000；5. 新疆维吾尔自治区植物保护站，乌鲁木齐 830006；6. 全国农业技术推广服务中心，北京 100125；7. 普洱学院，普洱 665000)

摘要 南美番茄潜叶蛾 *Tuta absoluta* (Meyrick)是新近传入我国的一种外来入侵害虫，正威胁我国番茄产业，为提高其监测和诱捕效率，本研究采用化学生态学技术方法，以不同性诱芯的诱蛾量占比、诱蛾量占比稳定性、诱蛾数量、性价比等为评价指标，在鲜食番茄生产温棚开展了 4 种性信息素产品对该种害虫的诱蛾效果比较研究。结果显示，来自青岛罗素生物技术有限公司(RS)、北京水光科技有限公司(SG)、北京中捷四方生物科技股份有限公司(ZJ)和中国科学院动物研究所(ZK)等 4 家单位/公司性信息素产品的专一性均比较强，且对南美番茄潜叶蛾雄性成虫均有明显的引诱效果。田间诱蛾试验期间，4 种性诱芯 95 d 共计诱集成虫 40 186 头，各种诱芯依次诱蛾量 SG 为 11 100 头、RS 为 10 771 头、ZK 为 9 952 头、ZJ 为 8 363 头；不同性诱芯诱蛾量占比中，RS 显著高于其他 3 种性诱芯，依次为 RS>SG 和 ZK>ZJ，差异明显；逐日诱蛾量中，RS 和 SG 比较高，依次为 RS 和 SG>ZK>ZJ，差异显著；性价比中，ZK 明显高于其他 3 种性诱芯。诱蛾效果综合评价分析结果表明，ZK>RS>ZJ>SG。4 种性诱芯均具有良好的田间应用效果。研究结果对新发南美番茄潜叶蛾监测与防控体系的构建和实施具有重要借鉴意义。

关键词 南美番茄潜叶蛾； 性信息素； 诱蛾效果； 诱蛾量占比； 性价比； 综合评价

中图分类号： S 433.4 **文献标识码**： B **DOI**： 10.16688/j.zwbh.2019337

Evaluation of trapping efficacy of four sources of sex pheromone lures on the South American tomato leafminer *Tuta absoluta* (Meyrick), a newly invaded alien insect pest in China

ZHANG Guifen[1,2#*]， ZHANG Yibo[1,2#]， LIU Wanxue[1,2]， HAN Li[3]， XIAN Xiaoqing[1,2]，
WAN Fangfao[1,2]， FU Wenjun[4]， WANG Jun[5]， LIU Hui[6]， WANG Yusheng[1]，
HU Qing[1,7]， PAN Hongwei[1,7]， JIANG Zhilin[7]

(1. *State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Key Laboratory of Integrated Pest Management of Crop, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing* 100193, *China*; 2. *Center for Management of Invasive Alien Species, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing* 100193, *China*; 3. *Beijing Plant Protection Station, Beijing* 100029, *China*; 4. *Agricultural Technology Extension Master Station of Yili Kazak Autonomous Prefecture, Yining* 835000, *China*; 5. *Plant Protection Station of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi* 830006, *China*; 6. *The National Agro-Tech Extension and Service Center, Beijing* 100125, *China*; 7. *Puer University, Puer* 665000, *China*)

Abstract South American tomato leafminer, *Tuta absoluta* (Meyrick), is a newly invaded alien insect pest in

收稿日期： 2019-07-03 **修订日期**： 2019-08-07
基金项目： 国家重点研发计划(2017YFC1200600；2016YFC1201200)；中国农业科学院科技创新工程(caascx-2017-2022-IAS)
* 通信作者 E-mail：guifenzhang3@163.com
# 为并列第一作者

China and has posed a potential threat to the Chinese tomato industry. In order to improve monitoring and trapping efficacy to this notorious leafminer, the trapping effects of four marketing sex pheromone lures including Qingdao Russell Biotechnology Co., Ltd. (RS), Beijing Shuiguang Technology Co., Ltd. (SG), Beijing Zhongjie Sifang Pherobio Technology Co., Ltd. (ZJ), and Institute of Zoology of Chinese Academy of Sciences (ZK) were evaluated in fresh-marketing tomatoes planted in greenhouses by chemical ecological techniques and methods. Four kinds of evaluation indexes were evolved, including proportion and number of trapped male adults by each source of sex pheromone lure, stability of proportion of trapped male adults, and performance-price ratio (indicated by numbers of trapped male adults per unit lure price). Our present results indicated that the four sources of sex pheromone lures were specific in trapping *T. absoluta* and the trapping efficacy was obvious. Totally, 40 186 male adults, including 11 100 males trapped by SG lures, 10 771 males by RS, 9 952 males by ZK, and 8 363 males by ZJ, were trapped by the four sources of sex pheromone lures during the whole period (95 d) of field trapping tests. The proportion of trapped *T. absoluta* male adults by the RS lure was the highest, and then followed by that of the SG and ZK lures, that of the ZJ lure was the lowest. The amount of trapped *T. absoluta* male adults per day by the RS and SG lures was the most, and then followed by that of the ZK lure, that of the ZJ lure was the least. In the case of performance-price ratio, the ZK lure performed much better than the other three sources of lures. No significant difference was detected among the four sources of sex pheromone lures when the trapping stability was compared. Comprehensive evaluation, based on the above four indexes, showed that the trapping effectiveness of the ZK lure to *T. absoluta* adult was the highest, and then followed by that of the RS lure, the next was the ZJ lure, that of the SG lure was the lowest. Our present results showed that the tested four sources of sex pheromone lures have good potential for field application and should be significant in establishment and practice of monitoring and management system of the South American tomato leafminer.

Key words South American tomato leafminer; sex pheromone; trapping efficacy; proportion of trapped moth; performance-price ratio; comprehensive evaluation

南美番茄潜叶蛾 *Tuta absoluta* (Meyrick)又称番茄麦蛾[1]、番茄潜麦蛾、番茄潜叶蛾[2-3],英文名 tomato leafminer、South American tomato leafminer[4],属鳞翅目 Lepidoptera、麦蛾科 Gelechiidae。其原产南美洲,是世界上最具毁灭性的番茄害虫[4-5],也是新近传入我国的一种外来有害生物[6]。南美番茄潜叶蛾可为害茄科、豆科、锦葵科、苋科、藜科、旋花科、菊科、十字花科和禾本科等 9 科近 40 种植物,尤其嗜食茄科的番茄、马铃薯、茄子、烟草等[3-4],严重发生时常导致番茄 80%以上的产量损失[5]。研究显示,南美番茄潜叶蛾已经对有机磷类、拟除虫菊酯类、邻甲酰氨基苯甲酰胺类,以及阿维菌素、巴丹、多杀霉素、几丁质合成抑制剂等多种杀虫剂产生了抗性[3]。

基于雌性成虫释放的性信息素的诱集诱杀技术作为害虫生物防治的有效措施之一,既可用于新发害虫的早期监测、常发害虫的预测预报,亦可用于大规模的诱集诱杀防治;因其具有专一性强、高效、无毒、无污染、不杀伤天敌和中性昆虫等优点,一直以来备受国内外专家学者的广泛关注[7-8]。南美番茄潜叶蛾成虫释放的性信息素主要包括两种组分,其中,反-3,顺-8,顺-11-十四碳三烯乙酸酯[(3E,8Z,11Z)-3,8,11-tetradecatrienyl acetate][9-10]为主要组分;反-3,顺-8-十四碳烯醇乙酸酯[(3E,8Z)-3,8-tetradecadienyl acetate]为次要组分[11-12]。两种组分以主要组分单独使用或主要组分和次要组分混合使用(91∶9)均可用于该虫的早期监测或诱集诱杀[13-15]。

目前,我国市面上能购买到的南美番茄潜叶蛾的性信息素诱芯产品有 4 种,但其诱捕效果及田间应用潜能如何尚无从考证。为了寻找高效南美番茄潜叶蛾性信息素产品,本研究以购自 4 家不同单位/公司的性信息素产品为研究对象,以诱蛾量占比、诱蛾量占比稳定性、诱蛾数量以及性价比等为评价指标,在保护地温棚中开展了田间应用效果研究,以期为该虫的有效监测和控制提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地设在新疆伊犁,属温带大陆性气候,年平均气温 10.5℃,无霜期 149 d。试验在塑料温棚内

进行。温棚坐北朝南,南北向宽度为 7 m,东西向长度为 60 m。作物为鲜食番茄,株距和行距均为 0.5 m,试验开始时番茄物候期为果实采收初期,植株长势基本一致,番茄开始挂果后未施用过任何化学药剂,常规管理。试验于 3 月下旬开始,6 月底结束,连续进行 95 d。

1.2　试验材料

1.2.1　性诱芯

试验中所用的 4 种性信息素产品均为只含有主要组分反-3,顺-8,顺-11-十四碳三烯乙酸酯的单一组分性诱芯,以反口钟形天然硅橡胶塞作为载体,有效成分含量为 500 μg/枚[购自北京中捷四方生物科技股份有限公司的性诱芯除外,为(800 ± 200)μg/枚]。第 1 种,购自青岛罗素生物技术有限公司,由法国进口,灰色诱芯,长约 18 mm,单价 20 元/枚,中文简称:法国罗素,英文简写:RS;第 2 种,购自北京水光科技有限公司,红色诱芯,长约 14 mm,单价 40 元/枚,中文简称:水光科技,英文简写:SG;第 3 种,购自北京中捷四方生物科技股份有限公司,绿色诱芯,长约 14 mm,单价 15 元/枚,中文简称:中捷四方,英文简写:ZJ;第 4 种,购自中国科学院动物研究所,绿色诱芯,长约 14 mm,单价 5 元/枚,中文简称:中科院,英文简写:ZK。

1.2.2　诱捕器

三角形诱捕器,购自泉州市绿普森生物科技有限公司;蓝色粘虫板(20 cm×25 cm),购自北京中捷四方生物科技股份有限公司。诱捕器以细铅丝(直径约 1.2 mm)固定在近北侧通道的吊蔓绳上,距离地面约 1.5 m,粘虫板直接平放于诱捕器底部里侧,性诱芯直接粘于粘虫板中间。

1.3　试验方法

1.3.1　处理与重复

试验设置 4 种性诱芯处理,每种性诱芯 1 个诱捕器,共计 4 个诱捕器,作为 1 组,放置在同一温棚内,记为 1 次重复;诱捕器随机放置,间距 15～20 m。选择番茄长势以及南美番茄潜叶蛾为害程度基本一致的温棚 5 个,作为 5 次重复。

1.3.2　数据调查与诱捕器管理

每天观察计数 1 次每个诱捕器诱集到的雄性成虫的数量,同时循环移动诱捕器放置的位置,并根据诱蛾数量 3～5 d 更换 1 次粘虫板,试验期间未更换性诱芯。番茄接近拉秧时,试验结束。4 种性诱芯处理的数据统计量为:4 种性诱芯诱捕器(作为 1 组放在同一温棚内记为 1 次重复)×5 个温棚(作为 5 次重复)×每天观察 1 次数据×95 d=1 900 个原始数据,亦即,每种性诱芯统计的原始数据量为 475 个数据。

1.4　数据统计与分析

统计每日每种性诱芯每个诱捕器的诱蛾数量,计算不同来源性诱芯的平均诱蛾总量(性能)、性价比,以及每种性诱芯每个诱捕器单日诱蛾量占比和诱蛾量占比稳定性。平均诱蛾总量用于评价性诱芯的性能;诱蛾量占比和诱蛾占比稳定性用于比较 4 种性诱芯的诱蛾效果,占比越高、稳定性越强表示诱蛾效果越好[16-17]。将 4 项指标的最高/最佳值计为 1,计算 4 种性信息素产品的相对诱蛾量占比、诱蛾量占比稳定性、诱蛾数量以及性价比,并据此计算综合评价指标,亦即上述 4 项指标相对值之乘积,以进行相对诱蛾效果的综合评价分析。

平均诱蛾总量(性能)=诱蛾数量/性诱芯数量;

性价比=性能/性诱芯单价[18];

诱蛾量占比=(每种性诱芯诱蛾数量/4 种性诱芯总诱蛾数量)×100%;

诱蛾量占比稳定性=诱蛾量占比标准误差/诱蛾量占比均值。

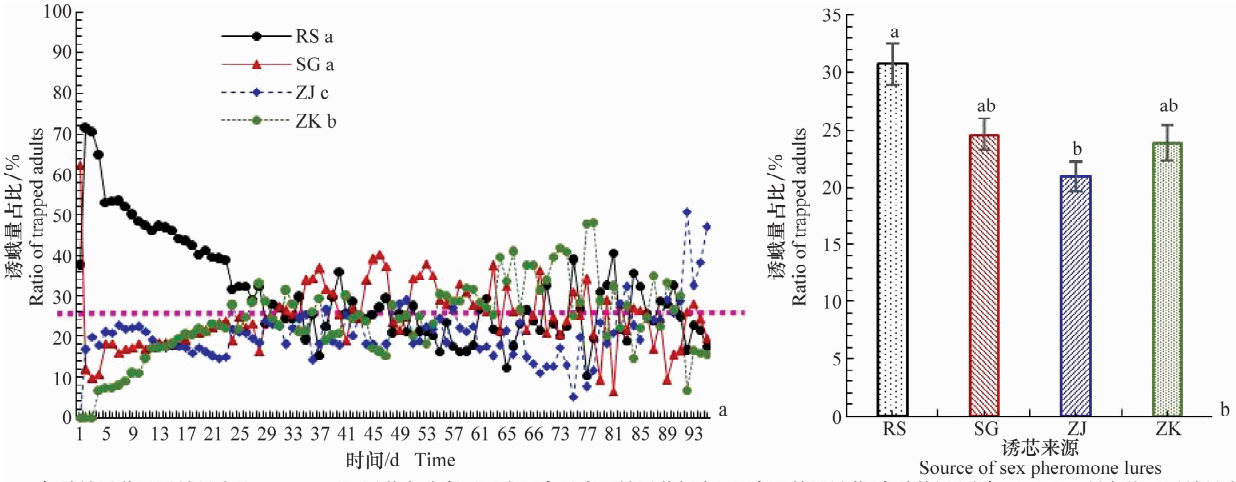
试验数据采用 Excel 2007、SPSS 24.0 软件进行统计分析,其中每种性诱芯平均诱蛾数量占比、占比稳定性以及总计平均诱蛾数量和性价比(5 个温棚重复),以单因素方差分析最小显著差法进行不同处理间差异水平检验(One-way ANOVA, LSD test);每种性诱芯逐日诱蛾数量和诱蛾量占比(95 d 逐日观察数据),以成对数据 t 测验进行不同处理间差异水平检验。

2　结果与分析

2.1　不同性信息素产品的诱蛾效果比较

田间观察发现,购自 4 家不同单位/公司的性诱芯的引诱效果明显,且专一性强,试验期间除靶标种害虫外没有诱集到其他种类的昆虫。试验结果表明,法国罗素(RS)、水光科技(SG)、中捷四方(ZJ)以及中科院(ZK)的性诱芯,95 d 间诱蛾量占比分别为 15.3%～71.5%、6.4%～62.5%、0%～

50.7%和0%～48.3%(图1a);平均诱蛾量占比分别为(30.7±2.7)%、(24.6±2.8)%、(20.9±2.0)%和(23.8±4.4)%(图1b),4种性诱芯的诱集效果具有明显差异。逐日成对数据t测验分析结果显示,法国罗素性诱芯诱蛾量占比最高(RS *vs.* SG,$t=3.118$,$df=94$,$P=0.002$;RS *vs.* ZJ,$t=6.174$,$df=94$,$P<0.001$;RS *vs.* ZK,$t=3.202$,$df=94$,$P=0.002$),其次为水光科技和中科院,中捷四方的诱蛾量占比最低(SG *vs.* ZJ,$t=3.322$,$df=94$,$P=0.001$;ZK *vs.* ZJ,$t=2.439$,$df=94$,$P=0.017$)(图1a,表1);总计诱蛾量占比统计结果进一步证明,法国罗素性诱芯诱蛾数量占比最高,且明显高于中捷四方的性诱芯($F_{3,16}=1.732$,$P=0.042$;One-way ANOVA,LSD test)(图1b)。



a: 每种性诱芯日诱蛾量占比(mean, n=5), 诱芯名称旁不同小写字母表示性诱芯间在0.05水平差异显著(成对数据t测验, P<0.05), 粉色线示诱蛾量占比理论值(25%); b: 每种性诱芯平均诱蛾数量占比(mean±SE, n=5), 上方不同小写字母表示性诱芯处理间存在显著差异(单因素方差分析, 最小显著差异法检验, P<0.05)。4种性诱芯, RS: 青岛罗素生物技术有限公司; SG: 北京水光科技有限公司; ZJ: 北京中捷四方生物科技股份有限公司; ZK: 中国科学院动物研究所。下同

a: Proportion of trapped male adults per sex pheromone lure per day (mean, n=5). Different lower-case letters indicate significant differences between sources of sex pheromone lures at 0.05 level (pared samples t test, P<0.05); Pink line indicates theoretical value (25%) of percent of trapped male adults; b: Proportion of trapped male adults per sex pheromone lure. Data (mean±SE, n=5) followed by different lower-case letters indicate significant differences between sources of sex pheromone lures (One-way ANOVA, LSD test, P<0.05). Four soarces of sex pheromone lures, RS: Qingdao Russell Biotechnology Co., Ltd; SG: Beijing Shuiguang Technology Co., Ltd; ZJ: Beijing Zhongjie Sifang Pherobio Technology Co., Ltd.; ZK: Institute of Zoology of Chinese Academy of Sciences. The same applies below

图1 4种性诱芯对南美番茄潜叶蛾的诱蛾量占比

Fig. 1 Proportion of trapped *Tuta absoluta* male adults of four sources of sex pheromone lures

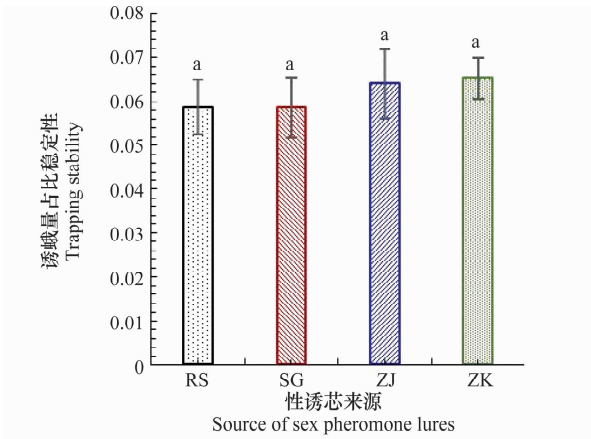
表1 4种性诱芯对南美番茄潜叶蛾的诱蛾量占比和诱蛾数量的统计分析结果[1)]

Table 1 Statistical analysis of proportion and number of trapped *Tuta absoluta* male adults of four sources of sex pheromone lures

指标 Index	性诱芯来源 Source of sex pheromone lures	RS	SG	ZJ	ZK
诱蛾量占比 Ratio of trapped adults	RS	1.000	3.118**	6.174**	3.202**
	SG	3.118**	1.000	3.322**	0.680
	ZJ	6.174**	3.322**	1.000	−2.439*
	ZK	6.174**	0.680	−2.439*	1.000
诱蛾数量 No. of trapped adults	RS	1.000	−0.581	5.434**	2.072*
	SG	−0.581	1.000	5.727**	2.232*
	ZJ	5.434**	5.727**	1.000	−3.861**
	ZK	2.072*	2.232*	−3.861**	1.000

1) *, ** 分别表示不同性诱芯间在0.05和0.01水平差异显著(成对数据t测验)。
Significant differences between source of sex pheromone lures at 0.05 and 0.01 levels (pared samples t test), respectively.

依据5次重复所得数据,计算诱蛾量占比标准误差与诱蛾量占比均值的比值,得出法国罗素、水光科技、中捷四方和中科院等4种性诱芯的诱蛾稳定性指标[16-17],分别为(0.059±0.006)、(0.059±0.007)、(0.064±0.008)、(0.065±0.005),虽略有区别,但其间并无显著性差异($F_{3,16}=0.288$,$P=0.834$;One-way ANOVA,LSD test)(图2)。



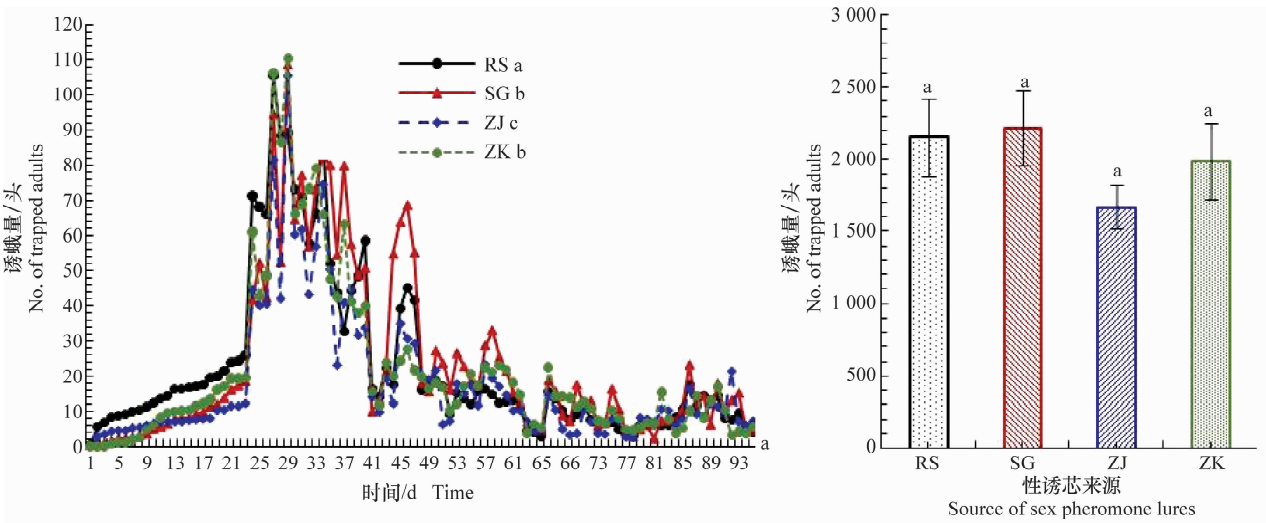
图中数据(mean±SE, n=5)上方相同小写字母表示性诱芯处理间在0.05水平差异不显著(单因素方差分析, 最小显著差异法检验)
Data (mean±SE, n=5) followed by same lowercase letters indicate no significant difference between sources of sex pheromone lures at 0.05 level (One-way ANOVA, LSD test)

图 2　4 种性诱芯对南美番茄潜叶蛾的诱蛾量占比稳定性

Fig. 2　Trapping stability of four sources of sex pheromone lures to *Tuta absoluta* male adults

2.2　不同性信息素产品的诱蛾数量比较

田间诱集诱杀试验结果表明,购自法国罗素、水光科技、中捷四方以及中科院的性诱芯,95 d 平均单日诱蛾数量分别为 0.6～105.4 头、0.4～108.8 头、0～105.4 头和 0～110.4 头(图 3a),平均每个诱捕器总计诱蛾数量分别为(2 154.2±268.9)、(2 220.0±261.8)、(1 672.6±148.6)头和(1 990.4±264.2)头(图 3b)。逐日诱蛾数量成对数据 t 测验分析结果显示,4 种性诱芯诱蛾量差异显著,其中法国罗素和水光科技性诱芯诱蛾数量最高(RS *vs.* ZJ, t=5.434, df=94, P<0.001; RS *vs.* ZK, t=2.072, df=94, P=0.041; SG *vs.* ZJ, t=5.727, df=94, P<0.001; SG *vs.* ZK, t=2.232, df=94, P=0.028),且二者间没有明显差异(RS *vs.* SG, t=0.581, df=94, P=0.562),其次为中科院性诱芯(ZK *vs.* ZJ, t=3.861, df=94, P<0.001),中捷四方的性诱芯诱蛾数量最少(图 3a,表 1);然而,4 种性诱芯在整个试验期的总诱蛾量之间,没有明显差异($F_{3,16}$=1.026, P=0.407; One-way ANOVA, LSD test)(图 3b)。



a: 每种性诱芯日诱蛾数量(mean, n=5), 诱芯名称旁不同小写字母表示性诱芯间在0.05水平差异显著(成对数据t测验); b: 每种性诱芯总计平均诱蛾数量(mean±SE, n=5), 上方相同小写字母表示性诱芯处理间在0.05水平差异不显著(单因素方差分析, 最小显著差异法检验)
a: Number of trapped male adults per sex pheromone lure per day (mean, n=5); Different lowercase letters indicate significant difference between sources of sex pheromone lures at 0.05 level (pared samples t test). b: Total average number of trapped male adults per sex pheromone lure; Data (mean±SE, n=5) followed by same lowercase letters indicate nonsignificant difference between sources of sex pheromone lures at 0.05 level (One-way ANOVA, LSD test)

图 3　4 种性诱芯对南美番茄潜叶蛾的诱蛾数量

Fig. 3　Number of trapped *Tuta absoluta* male adults of four sources of sex pheromone lures

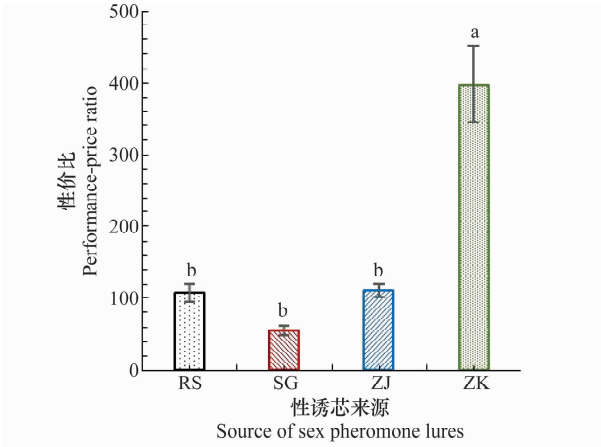
2.3　不同性信息素产品的性价比[18]

图 4 结果显示,购自不同单位/公司的性诱芯其性价比差异显著。购自法国罗素、北京水光科技、中捷四方以及中科院的性诱芯,其性价比分别为 1∶75.7～1∶140.7、1∶42.6～1∶75.0、1∶95.5～1∶149.3和 1∶240.2～1∶573.0,平均性价比分别为(1∶107.7±13.4)、(1∶55.5±6.5)、(1∶111.5±9.9)和(1∶398.1±52.8),购自中科院的性诱芯其性价比极显著高于其他 3 种性诱芯($F_{3,16}$=31.006, P<0.001; One-way ANOVA, LSD test)(图 4)。

2.4　不同性信息素产品的诱蛾表现综合分析

相对诱蛾效果的综合评价分析结果显示,购自中

科院的性诱芯整体上对南美番茄潜叶蛾的诱蛾表现最好，其次为法国罗素的性诱芯，然后为中捷四方的性诱芯，而水光科技的性诱芯整体诱蛾表现较差(表 2)。



图中数据(mean±SE, n=5)上方不同小写字母表示性诱芯处理间在0.05水平差异显著(单因素方差分析，最小显著差异法检验)
Data (mean±SE, n=5) followed by different lowercase letters indicate significant difference between sources of sex pheromone lures at 0.05 level (One-way ANOVA, LSD test)

图 4 4 种性诱芯诱捕南美番茄潜叶蛾的性价比

Fig. 4 Performance-price ratio of four sources of sex pheromone lures in trapping male adults of *Tuta absoluta*

3 结论与讨论

南美番茄潜叶蛾于 2017 年在我国新疆局部区域首次被发现[6]，其进一步扩张趋势明显[19]。目前，我国市面上有 4 种(4 家单位/公司)针对该虫的性信息素产品在售，但各产品间的诱蛾效果是否一致尚不得而知。为此，本研究以购自不同单位/公司的性诱芯的诱蛾量占比(百分率)、诱蛾量占比稳定性、诱蛾数量和性价比等作为评价指标，开展了不同性信息素产品诱蛾效果的研究。结果显示，4 种市售性信息素产品的专一性均较强，且诱捕效果明显，整个试验期间只诱集到南美番茄潜叶蛾。诱捕效果综合评价分析显示，来自中国科学院动物研究所的性诱芯综合诱蛾效果最高，其次为青岛罗素生物技术有限公司的性诱芯，然后为北京中捷四方生物科技股份有限公司的性诱芯，而北京水光科技有限公司性诱芯的综合诱蛾效果较差。研究结果对新发南美番茄潜叶蛾监控体系的构建与实施以及诱杀防治具有重要指导意义。

表 2 4 种性信息素产品对南美番茄潜叶蛾相对诱捕效果的综合评价1)

Table 2 Comprehensive evaluation of relative efficacy of the four sources of sex pheromone lures in trapping male adults of *Tuta absoluta* (mean±SE)

性诱芯来源 Source of sex pheromone lure	评价指标 Evaluation index				综合评价指标 Comprehensive evaluation index
	诱蛾量占比/% Trapped adults ratio per lure	诱蛾量占比稳定性 Stability of trapping ratio	每诱芯诱蛾数量 No. of trapped adults per lure	性价比 Performance-price ratio	
青岛罗素生物技术有限公司 RS	1	0.99±0.05	0.96±0.03	0.28±0.03	0.26
水光科技有限公司 SG	0.82±0.10	1	1	0.15±0.02	0.12
中捷四方生物科技股份有限公司 ZJ	0.71±0.10	0.92±0.05	0.76±0.06	0.30±0.04	0.15
中国科学院动物研究所 ZK	0.78±0.12	0.89±0.07	0.89±0.077	1	0.62
测算依据 Basis of calculation	图 1b 数据	图 2 数据	图 3b 数据	图 4 数据	—

1) 综合评价指标为 4 项评价指标的乘积。
Comprehensive evaluation index=product of the four evaluation indexes.

基于信息素尤其是性信息素的害虫管理策略在南美番茄潜叶蛾预防与控制中具有重要作用[14]。本研究中使用的 4 种不同单位/公司的性信息素产品，其有效成分相同，均为性信息素主要组分反-3，顺-8，顺-11-十四碳三烯乙酸酯，而且每枚性诱芯的性信息素成分含量/剂量亦相同(ZJ 除外)，但 4 种性信息素产品之间的诱蛾效果却存在明显差异。虽然造成这种差异的具体原因还不是很清楚，但不同来源的性诱芯其性信息素主要组分的纯度可能不一样，制作工艺可能不相同，并且性信息素硅橡胶塞载体的质量等级、吸附释放能力可能也会有所差异，并进而可能造成诱蛾效果的不同。

参考文献

[1] 马菲，张俊华，于艳雪，等. 番茄麦蛾[J]. 植物检疫，2011，25(5)：55－58.

[2] 张桂芬，刘万学，郭建洋，等. 重大潜在入侵害虫番茄潜叶蛾的 SS-COI 快速检测技术[J]. 生物安全学报，2013，22(2)：80－85.

[3] 张桂芬，刘万学，万方浩，等. 世界毁灭性检疫害虫番茄潜叶蛾的生物生态学及危害与控制[J]. 生物安全学报，2018，27(3)：155－163.

[4] DESNEUX N, WAJNBERG E, WYCKHUYS K A G, et al. Biological invasion of European tomato crops by *Tuta absoluta*: ecology, geographic expansion and prospects for biological control [J]. Journal of Pest Science, 2010, 83: 197－215.

(下转 320 页)

fication of *Tomato brown rugose fruit virus* in tomato in Palestine [J]. Journal of Plant Pathology, 2019, 101(3):719 - 723.

[8] FIDAN H, SARIKAYA P, CALIS O. First report of *Tomato brown rugose fruit virus* on tomato in Turkey [J]. New Disease Reports, 2019, 39: 18.

[9] YAN Zhiyong, MA Huayu, HAN Shiling, et al. First report of *Tomato brown rugose fruit virus* infecting tomato in China [J]. Plant Disease, 2019: 103(11):2973.

[10] EPPO. Alert list-*Tomato brown rugose fruit virus* (Tobamovirus-ToBRFV) [EB/OL]. European and Mediterranean Plant Protection Organization, [2019 - 07 - 20]. https://www.eppo.int/ACTIVITIES/plant_quarantine/alert_list_viruses/tomato_brown_rugose_fruit_virus.

[11] REINGOLD V, LACHMAN O, BLAOSOV E, et al. Seed disinfection treatments do not sufficiently eliminate the infectivity of *Cucumber green mottle mosaic virus* (CGMMV) on cucurbit seeds [J]. Plant Pathology, 2015, 64(2): 245 - 255.

[12] SMITH E, DOMBROVSKY A. Aspects in tobamovirus management in intensive agriculture [M] // Plant Pathology and Management of Plant Diseases. IntechOpen, 2019.

[13] 董红红. 烟草种子和土壤携带三种病毒对烟苗的侵染分析[D]. 杭州:浙江大学, 2016.

[14] LEVITZKY N, SMITH E, LACHMAN O, et al. The bumblebee *Bombus terrestris* carries a primary inoculum of *Tomato brown rugose fruit virus* contributing to disease spread in tomatoes [J/OL]. PLoS ONE, 2019, 14(1): e0210871. DOI: 10.1371/journal.pone.0210871.

[15] Emergency measures for tomato and capsicum seed: *Tomato brown rugose fruit virus* [EB/OL]. Australian Government Department of Agriculture, (2019 - 6 - 24)[2019 - 7 - 20]. http://www.agriculture.gov.au/import/goods/plant-products/seeds-for-sowing/emergency-measures-tobrfv.

[16] *Tomato brown rugose fruit virus* [EB/OL]. Canadian Food Inspection Agency, (2019 - 6 - 11)[2019 - 7 - 20]. http://inspection.gc.ca/plants/plant-pests-invasive-species/diseases/tobrfv/eng/1560266450577/1560266450826.

[17] ADRIAN FOX, FERA. *Tomato brown rugose fruit virus* [EB/OL]. Agriculture and Horticulture Development Board, [2019 - 7 - 20]. https://ahdb.org.uk/knowledge-library/tomato-brown-rugose-fruit-virus.

[18] CHITAMBAR J. Tomato brown rugose fruit virus [EB/OL]. California Department of Food and Agriculture, (2018 - 11 - 7)[2019 - 7 - 20]. https://blogs.cdfa.ca.gov/Section3162/?p=5843.

[19] LI Rugang, BAYSAL-GUREL F, ABDO Z, et al. Evaluation of disinfectants to prevent mechanical transmission of viruses and a viroid in greenhouse tomato production [J]. Virology Journal, 2015, 12(1): 5.

[20] YAN Zhiyong, ZHAO Meisheng, MA Hayu, et al. Biological and molecular characterization of tomato brown rugose fruit virus and development of quadruplex RT-PCR detection [J/OL]. Journal of Integrative Agriculture, 2020. DOI: 10.1016/S2095-3119(20)63275-0.

(责任编辑：杨明丽)

(上接 308 页)

[5] CABI. Invasive Species Compendium, *Tuta absoluta* (tomato leafminer) datasheet [EB/OL]. (2019 - 06 - 24) [2019 - 07 - 03]. https://www.cabi.org/isc/datasheet/49260#toPictures.

[6] 张桂芬,马德英,刘万学,等. 中国新发现外来入侵害虫——南美番茄潜叶蛾(鳞翅目:麦蛾科) [J]. 生物安全学报,2019,28(3):200 - 203.

[7] 孟宪佐. 中国昆虫信息素研究与应用的进展[J]. 昆虫知识,2000,37(2):75 - 83.

[8] 皇甫伟国,陈若霞,王扬军,等. 几种性信息素对小菜蛾的诱集效果及田间防效[J]. 浙江农业学报,2005,17(6):395 - 397.

[9] ATTYGALLE A B, JHAM G N, SVATOŠ A, et al. Microscale, random reduction: application of the characterization of (3E,8Z,11Z)-3,8,11-tetradecatrienyl acetate, a new lepidopteran sex pheromone [J]. Tetrahedron Letters, 1995, 36(31): 5471 - 5474.

[10] ATTYGALLE A B, JHAM G N, SVATOŠ A, et al. (3E,8Z,11Z)-3,8,11-tetradecatrienyl acetate, major sex pheromone component of the tomato pest *Scrobipalpuloides absoluta* (Lep., Gelechiidae) [J]. Bioorganic & Medicinal Chemistry, 1996, 4(3): 305 - 314.

[11] GRIEPINK F C, VAN BEEK T A, POSTHUMUS M A, et al. Identification of the sex pheromone of *Scrobipalpuloides absoluta*: Determination of double bond position in triple unsaturated straight chain molecules by means of dimethyl disulphide derivatization [J]. Tetrahedron Letters, 1996, 37: 411 - 414.

[12] FILHO M M, VILELA E F, ATTYGALLE A B, et al. Field trapping of tomato moth, *Tuta absoluta* with pheromone traps [J]. Journal of Chemical Ecology, 2000, 26(4): 875 - 881.

[13] UCHÔA-FERNANDES M A, LUCIA T M C DELLA, VILELA E F. Mating, oviposition and pupation of *Scrobipalpuloides absoluta* (Meyr.) (Lepidoptera: Gelechiidae) [J]. Anais da Sociedade Entomologica do Brasil, 1995, 24(1): 159 - 164.

[14] MEGIDO R C, HAUBRUGE E, VERHEGGEN F J. Pheromone-based management strategies to control the tomato leafminer, *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae). A review [J]. Biotechnology, Agronomy, Society and Environment, 2013, 17(3): 475 - 482.

[15] XIAN Xiaoqing, HAN Peng, WANG Su, et al. The potential invasion risk and preventive measures against the tomato leafminer*Tuta absoluta* in China [J]. Entomologia Generalis, 2017, 36(4): 319 - 333.

[16] 孙继亮,张绍铃. 不同诱芯性诱剂对梨园 2 种害虫诱蛾效果比较[J]. 中国果树,2010(6):45 - 48.

[17] 王方晓,杨可辉,张秀衢,等. 斜纹夜蛾性诱剂的诱蛾效果[J]. 昆虫知识,2008,45(2):300 - 302.

[18] 滕海媛,王冬生,章巧利,等. 不同性信息素产品对上海蔬菜夜蛾诱捕效果的评价[J]. 上海农业学报,2015,31(1):40 - 43.

[19] 张桂芬,冼晓青,张毅波,等. 警惕南美番茄潜叶蛾 *Tuta absoluta* (Meyrick)在中国扩散[J]. 植物保护,2020,46(2):281 - 286.

(责任编辑：杨明丽)