

银杏外种皮与垂序商陆叶提取物及二者复配剂对小菜蛾杀虫活性研究

于凌一丹[#], 向阳春[#], 蹇宁彬, 何 钦, 汤 瑶, 廖 阳^{*}, 闫荣玲^{*}

¹湖南科技学院化学与生物工程学院; ²湘南优势植物资源综合利用湖南省重点实验室;

³湖南省银杏工程技术中心, 永州 425199

摘要:为更好开发利用垂序商陆与银杏两种植物资源,本研究对银杏外种皮(*Ginkgo biloba sarcotesta*, Gbs)及垂序商陆叶(*Phytolacca americana* leaf, Pal)提取物的单方及复配剂对小菜蛾的杀虫活性进行了测试和比较。结果发现,银杏外种皮与垂序商陆叶提取物均能对小菜蛾表现出良好灭杀活性,且灭杀活性随处理时长及提取物浓度的增加而增加,各浓度下银杏外种皮提取物的小菜蛾杀虫活性均优于垂序商陆叶提取物,8 mg/mL浓度下处理72 h后二者的小菜蛾校正死亡率分别为74.7% (Gbs)与64.8% (Pal);二者毒力回归方程分别为 $y = 1.584x - 1.243$ (Gbs)与 $y = 1.337x - 0.629$ (Pal), LC_{50} 分别为2.95 mg/mL (Gbs)与6.09 mg/mL (Pal);复配剂的小菜蛾灭杀活性随二者配比变化而变化,最佳配比为1:11 (Pal:Gbs), LC_{50} 为1.24 mg/mL (低于二者各自单方的 LC_{50} , 毒力指数为491.13 mg/mL (明显高于二者单剂毒力指数之和), 共毒系数为152.92 (表明复配增效作用明显)。研究结果可为利用垂序商陆叶与银杏外种皮协同开发新型生物农药提供实验依据。

关键词:生物农药;半致死浓度;杀虫活性;共毒系数;毒力指数;银杏;垂序商陆

中图分类号:Q945.1

文献标识码:A

文章编号:1001-6880(2020)10-1747-08

DOI:10.16333/j.1001-6880.2020.10.016

Insecticidal activity of extracts of *Ginkgo biloba sarcotesta* and *Phytolacca americana* leaf and their mixture against *Plutella xylostella*

YU Lin-yi-dan[#], XIANG Yang-chun[#], JIAN Ning-bin, HE Qin, TANG Yao, LIAO Yang^{*}, YAN Rong-ling^{*}

¹College of Life Sciences and Chemistry Engineering, Hunan University of Science and Engineering;

²Key Laboratory of Comprehensive Utilization of Dominant Plant Resources in Southern Hunan;

³Hunan Provincial Engineering Research Center for *Ginkgo biloba*, Yongzhou 425199, China

Abstract: In order to have a better exploitation and utilization for *Phytolacca americana* and *Ginkgo biloba sarcotesta*, the insecticidal activity of the extract of *Phytolacca americana* leaf (Pal) and *Ginkgo biloba sarcotesta* (Gbs) and their mixture against *Plutella xylostella* were tested and compared in the present paper. Results showed that, both of the two kinds plant extracts showed good insecticidal activities against *Plutella xylostella*, and the activity raised with the increasing of treating time and extract concentration. The extract of Gbs performed better than that of Pal at all concentrations, and the corrected mortality were 74.7% (Gbs) and 64.8% (Pal) after 72 hours treatment with 8 mg/mL concentration. The virulence regression equation were $y = 1.584x - 1.243$ (Gbs) and $y = 1.337x - 0.629$ (Pal) while the LC_{50} were 2.95 mg/mL (Gbs) and 6.09 mg/mL (Pal). The insecticidal activity of the two extracts' mixture varied with the mixing ratio and the optimum ratio was 1:11 (Pal:Gbs). The mixture's LC_{50} was 1.34 mg/mL which was lower than that of both single extract while the virulence index was 491.13 mg/mL which was higher than the sum of two single extracts' virulence index. The co-toxicity coefficient value of 152.92 suggested a significant synergistic effect existed in mixing treatment. These results could provide some references for

收稿日期:2020-01-06

接受日期:2020-08-17

基金项目:湖南省青年骨干教师资助项目(湘教通[2018]574号);湖南省自然科学基金(湘基金委[2020]1号2020JJ4325);永州市科技计划(永科发[2019]15号);湖南科技学院青苗支持计划(湘科院校发[2019]47号)

* 通信作者 Tel:86-746-6381164; E-mail:liao yang1127@163.com, yanrongling809214@163.com

共同第一作者

the new bio-pesticides exploitation based on the extract of Pal and Gbs.

Key words: biopesticides; LC₅₀; insecticidal activity; co-toxicity coefficient; toxicity index; *Ginkgo biloba*; *Phytolacca americana*

化学农药在农业生产中发挥了重要作用,但也逐渐突显出污染环境、危害健康、产生耐药性等诸多弊端,不能很好地适应农业可持续发展的需要。而生物农药对生态链破坏小,不易产生抗药性和随食物链富集,甚至兼具促植物生长等功效而成为人们关注的热点^[1,2]。

植物的根、茎、叶、花、果实、种子等不同器官次生代谢产生的可有效驱杀农业有害生物的活性物质,是植物源生物农药开发的重要原料^[3]。人们已得到核桃楸、水菖蒲、苦皮藤等多种植物的提取物,并进行了杀虫活性测试,发现部分植物提取物表现出较好的杀虫活性和生物农药开发潜力^[4-8]。但大部分植物品种由于难以大面积种植,或种植成本高,或提取物对农业害虫的驱杀效果不佳等原因而限制了它们的开发利用^[9,10]。因此,筛选来源丰富、成本低廉、提取简单、活性显著的植物提取物用于生物农药开发意义显著。

银杏(*Ginkgo biloba* L.)和垂序商陆(*Phytolacca americana* L.)是在我国广泛分布的两种植物资源。前者为银杏科银杏属多年生落叶乔木,人们主要利用其叶片提取物生产治疗心血管疾病的药物,而覆盖于银杏种子硬壳外的肉质外种皮往往作为废弃物被舍弃;后者为商陆科商陆属多年生草本植物,人们主要利用的是其根部,可晒干后切片作中药使用,而生物量巨大、前处理简单、获取更容易的垂序商陆叶片往往也像银杏外种皮一样被舍弃;因此,银杏外种皮与垂序商陆叶未得到有效利用。实质上,在我国银杏主产区,长期农业生产经验告诉人们可把银杏外种皮用作土农药来防治农业病虫害;除此之外,已有研究也发现银杏外种皮的乙醇或石油醚等不同溶剂提取物可对一些农业害虫以及钉螺等有灭杀活性^[11-13]。而长期以来未被人们重视的垂序商陆,其根、叶等部位的提取物也已初步被证实对朱砂叶螨、烟草花叶病毒等农业病虫害具有一定的灭杀活性,但显而易见,叶片获取更容易,前处理更简单^[14-16]。因此,利用来源丰富、成本低廉的垂序商陆叶片及银杏外种皮进行生物农药研发潜力大、可行性强,但目前还鲜有针对二者提取物杀虫活性的比较研究;另一方面,植物提取物单方制剂往往灭杀活性低、杀虫谱窄等不足,复配是解决上述弊端的重要途径。基

于此,本研究拟对不同浓度的银杏外种皮及垂序商陆叶提取物进行小菜蛾灭杀活性测试,并进行提取物的复配,摸索确定二者的最佳配比与复配浓度和互作类型,以期进一步提高提取物的灭杀活性与灭杀谱,为后续生物农药的开发提供理论基础与实验依据。

1 材料与方法

1.1 材料

银杏外种皮与野生垂序商陆(9月叶,去柄)经清洗、沥干后60℃烘至恒备用,处理前两种植物材料经化学与生物工程学院黄国文博士鉴定确认为银杏科银杏属的银杏外种皮和商陆科商陆属的垂序商陆叶片。小菜蛾卵购于河南济源白云实业有限公司,孵化后挑选3龄幼虫进行实验。

1.2 仪器与试剂

JP-300B 高速多功能粉碎机(永康市久品工贸有限公司);BSA124S 电子天平(赛多利斯科学仪器有限公司);HH-W600 恒温水浴锅(江苏国胜实验仪器厂);XH-MC-1 微波合成仪(祥鹤科技有限公司);SHZ-D 循环水真空泵(巩义市予华仪器责任有限公司);RF52-A 旋转蒸发仪(上海亚荣生化仪器厂);DGG-9053AD 电热恒温鼓风干燥箱(上海森信实验仪器厂)及容量瓶(100 mL)、塑料培养皿、烧杯、烧瓶、布氏漏斗、滤纸等;95%乙醇、无水乙醇(分析纯)。

1.3 方法

1.3.1 浸提

将烘至恒重的银杏外种皮与垂序商陆叶置粉碎机打成粉末后80目过筛。分别称取200g银杏外种皮与垂序商陆叶粉末,加入95%乙醇1500mL,400W微波持续处理60s,抽滤、减压浓缩至稠膏状后40℃烘至恒重。

1.3.2 提取液单方制备

分别称取0.1、0.2、0.4、0.6、0.8g银杏外种皮与垂序商陆叶二者的提取物,加入95%乙醇溶解并定容至100mL,得到浓度分别为1、2、4、6、8mg/mL银杏外种皮与垂序商陆叶提取液,并将不同浓度提取液倒于烧杯中,标记备用。

1.3.3 灭杀活性测试

选用去掉若干外层叶片后的新鲜卷心菜叶片,

制作成直径为 1 cm 的圆片,置各浓度提取液中浸泡 10 s 后取出挥干,放入垫有湿润滤纸的培养皿中(每皿 5 片);挑选形态大小基本一致且饥饿处理 2 h 后的 3 龄小菜蛾幼虫进行实验,每皿 10 头,每 12 h 清理一次培养皿并更换新鲜叶片,叶片均作提取物试液浸泡处理,以随行试剂作为空白对照,各处理均设置 5 个重复,每间隔 12 h 即 12、24、48、72、84 h (以此类推)时进行一次死亡虫数统计,直至死亡虫数不再增加,并根据公式“校正死亡率 = [(对照组生存率 - 处理组生存率) / 对照组生存率] × 100%”计算校正死亡率,其中生存率根据公式:生存率 = [1 - (处理后小菜蛾死亡数 / 供试小菜蛾数)] × 100% 计算^[17]。

1.3.4 提取液复配及最佳复配比测试

采用 Sun 共毒系数复配效果测定法,根据单方提取液条件下二者对小菜蛾的灭杀活性,得到各自的毒力回归方程以及半致死浓度 LC_{50} ^[18-20]。将两种粗提物以其 LC_{50} 为原液浓度,按不同体积比进行复配,总体积 100 mL,比例跨度初步设置为 1:1 ~ 1:15 (可根据灭杀活性随配比变化规律进行调整),分别测定各配比条件下处理 72 h 的校正死亡率,确定两种提取物最佳复配比。

1.3.5 两种提取物互作类型分析

以“1.3.4”所确定的最佳配比条件下复配液浓度为母液,稀释得到此配比下的系列浓度梯度(稀释后浓度分别为原母液浓度的 2/3、1/2、1/3、1/4),

并按照“1.3.3”的方法对各浓度复配液进行杀虫活性测试,再通过 SPSS 软件分析得到复配剂的毒力回归方程、半致死浓度 LC_{50} ,并计算得到毒力指数及共毒系数以确定两种提取物的互作类型(拮抗、相加、增效)。其中毒力指数 = $100 \times$ 标准杀虫剂 LC_{50} / 供测药剂 LC_{50} ,复配剂实测毒力指数 = $100 \times$ 标准杀虫剂 LC_{50} / 复配剂 LC_{50} ,复配剂理论毒力指数 = 成分 A 毒力指数 × A% + 成分 B 毒力指数 × B%,共毒系数 = $100 \times$ 复配剂实测毒力指数 / 复配剂理论毒力指数。计算时以垂序商陆叶提取物为标准杀虫剂,若计算得到共毒系数 > 120 表示增效作用, $80 <$ 共毒系数 ≤ 120 之间表示相加作用,共毒系数 < 80 表示拮抗作用^[18,19]。

1.4 数据处理

数据经 Excel2007、SPSS19.0 以及 Sigmaplot10.0 等软件整理、分析与制图。

2 实验结果

2.1 两种提取物单方对小菜蛾的灭杀活性随处理时间的变化规律

如图 1 所示,银杏外种皮与垂序商陆叶提取物均能对小菜蛾表现出较好灭杀活性。各浓度处理下,两种提取物的小菜蛾死亡率均随处理时间的延长逐渐增加。8 mg/mL 浓度处理 72 h 后,小菜蛾校正死亡率分别达到 74.7% (银杏外种皮)与 64.8% (垂序商陆叶),但 72 h 后,各浓度下的小菜蛾死亡数不再增加,校正死亡率保持不变;除二者处理均无

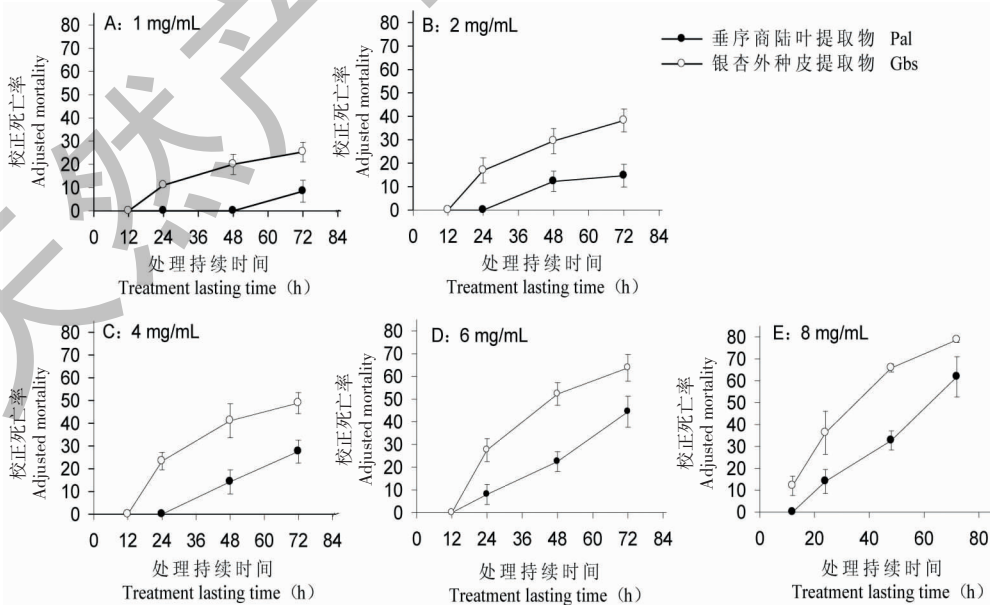


图 1 相同浓度下两种提取物对小菜蛾的灭杀活性随时间的变化规律

Fig. 1 Insecticidal activity of these two extracts against *P. xylostella* changing with treating time at the same concentration



图2 提取物对小菜蛾杀虫活性效果照片

Fig. 2 Photos of insecticidal activity of extracts against *P. xylostella*

注:左图示对照组处理 72 h;中图示 6 mg/mL 垂序商陆叶提取物处理 48 h;右图示 8 mg/mL 银杏外种皮处理 12 h。Note:Left photo showed the control group after 72 h;Middle photo showed the group of 6 mg/mL Pal extract after 48 h treatment;Right photo showed the group of 8 mg/mL Gbs after 12 h treatment.

小菜蛾死亡的情况之外(如 1、2、4、6 mg/mL 处理 12 h),试验所设各浓度的所有时间节点下,银杏外种皮提取物的小菜蛾灭杀活性均明显优于垂序商陆叶提取物。图 2 为三个代表性处理(分别是对照组处理 72 h、6 mg/mL 垂序商陆叶提取物处理 48 h 以及 8 mg/mL 银杏外种皮处理 12 h)小菜蛾灭杀效果的实拍照片。

2.2 两种提取物单方对小菜蛾杀虫活性随浓度变化规律

如图 3 所示,各时间节点下,两种提取物的小菜

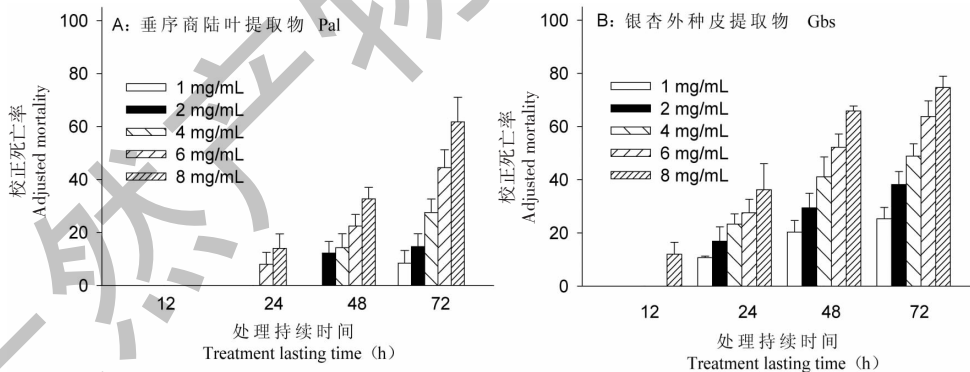


图3 相同处理时长下两种提取物对小菜蛾的杀虫活性随浓度变化规律

Fig. 3 Insecticidal activity changing law with concentration of these two extracts against *P. xylostella* under the same treating time

2.3 两种提取物单方处理 72 h 条件下的毒力

不同浓度两种提取物单方在处理 72 h 后的小菜蛾死亡数经 SPSS 软件处理得到了各自毒力回归方程及半致死浓度 LC_{50} , 具体如表 1 所示。由表可知,银杏外种皮提取物的毒力回归方程及 LC_{50} 分别为 $y = 1.584x - 1.243$ 和 2.95 mg/mL;垂序商陆叶提取物的毒力回归方程及 LC_{50} 分别为 $y = 1.337x -$

蛾灭杀活性均随浓度增加呈增加趋势,且提取物处理时长越短表现出杀虫活性所需的提取物浓度更高。相同处理时长时,要表现出灭杀活性银杏外种皮所需浓度较垂序商陆叶低。处理 12 h 时,垂序商陆叶提取物所有浓度下均无灭杀活性,而银杏外种皮 8 mg/mL 浓度下表现出了灭杀活性;处理 24 h 时,垂序商陆叶提取物从 6 mg/mL 开始具有灭杀活性,而银杏外种皮提取物从 1 mg/mL 即开始表现出灭杀活性。

0.629 和 6.09 mg/mL;银杏外种皮提取物的 LC_{50} 明显小于垂序商陆叶提取物;计算得到表中 X^2 值表明二者毒力回归曲线拟合度良好。

2.4 不同配比复配剂对小菜蛾的杀虫活性及与单方的比较

两种提取物以不同比例复配后得到的复配剂浓度及对应的小菜蛾灭杀活性如表 2 所示。由表可

表 1 单方条件下两种提取物的毒力回归方程及 LC_{50}
Table 1 The virulence regression equation and LC_{50} of the two kinds of extracts

供试药剂 Plant extracts	毒力回归方程 Virulence regression equation	LC_{50} (mg/mL)	χ^2
银杏外种皮提取物 Gbs	$y = 1.584x - 1.243$	2.95	2.57
垂序商陆叶提取物 Pal	$y = 1.337x - 0.629$	6.09	1.44

知,小菜蛾灭杀活性随两种提取物的配比变化表现出一定的波动规律。1:1 复配时,灭杀活性仅 30.22%,之后随银杏外种皮提取物占比的增加,灭杀活性逐步升高,当比例为 1:11 时灭杀活性达最大值

86.69%;之后随复配剂中的银杏外种皮提取物含量进一步增加,灭杀活性开始缓慢下降。可见,1:11 是二者的最佳复配比例。

表 2 不同配比条件下复配液对小菜蛾的杀虫活性比较

Table 2 Insecticidal activity comparison of the extract mixture with different proportion against *Plutella xylostella*

LC_{50} 浓度下配比(垂序商陆:银杏, V:V) Extract proportion with LC_{50} (Pal:Gbs, V:V)	复配剂浓度 Mixture concentration (mg/mL)	72 h 校正死亡率 72 h corrected mortality (%)
1:1	4.52	30.22 ± 7.79
1:3	3.74	41.11 ± 7.45
1:5	3.48	54.22 ± 5.78
1:7	3.35	67.56 ± 6.40
1:9	3.27	73.78 ± 6.55
1:11	3.21	86.89 ± 5.11
1:13	3.18	80.44 ± 4.81
1:15	3.15	78.22 ± 7.91

由表 2 可知,最佳配比条件下,银杏外种皮与垂序商陆叶提取物复配液的浓度为 3.21 mg/mL。比较此浓度下复配液与最大浓度(8 mg/mL)下二者单方的小菜蛾校正死亡率可知,尽管复配液的浓度更低,但灭杀活性却显著高于二者单方(t -test, $P < 0.01$,图 4)。

2.5 两种提取物复配条件下的互作类型

最佳配比下不同浓度复配液小菜蛾灭杀活性如表 3 所示。由表可知,在保持二者配比不变情况下,随着复配剂浓度的减小,小菜蛾的灭杀活性逐渐降低。基于表 3 数据经 SPSS 软件分析得到了复配液的 LC_{50} 为 1.24 mg/mL,毒力回归方程为 $y = 0.476x - 0.639$,具体见表 4 所示。

比较可知,复配剂的 LC_{50} 较二者单方时的 LC_{50} 明显降低。通过共毒系数分析可知,复配后的毒力指数为 491.13 mg/mL,明显高于两种单方的毒力作用之和;复配后共毒系数为 152.92,其值大于 120 说明两种植物提取物复配后表现出显著的增效作用。

3 讨论

我国生物农药植物资源丰富,目前已开展研究的主要集中在楝科、豆科、菊科、卫矛科等植物种类^[1,10],而关于银杏科和商陆科植物在生物农药领域开发利用的研究还不多见,也不够深入。银杏外种皮与垂序商陆叶长期以来被人们作为废弃物舍弃而未得到有效利用,其在农业害虫防治领域的潜在

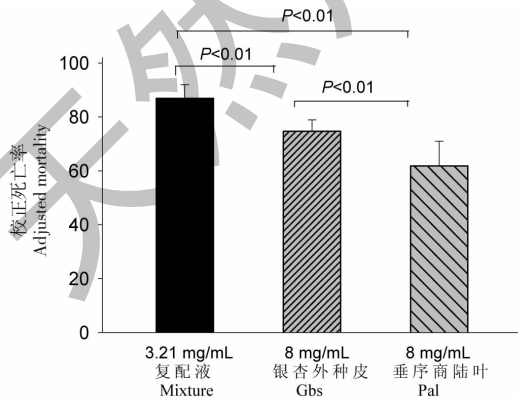


图 4 最佳配比复配液与高浓度单方杀虫活性比较

Fig. 4 Insecticidal activities comparison between extracts mixture with optimum proportion and single extract with high concentration

表3 最佳配比条件下不同浓度复配剂对小菜蛾的杀虫活性

Table 3 Insecticidal activity of extracts mixture with different concentrations against *Plutella xylostella* under the optimum proportion

复配比例(垂序商陆:银杏, V: V) Extract proportion (Pal: Gbs, V: V)	复配剂浓度 Mixture concentration (mg/mL)	72 h 校正死亡率 72 h corrected mortality (%)
1:11	3.21	86.89 ± 5.11
1:11	2.14	70.89 ± 8.18
1:11	1.61	58.44 ± 6.16
1:11	1.07	45.78 ± 8.94
1:11	0.80	39.568 ± 3.96

表4 复配剂的 LC₅₀、毒力指数及共毒系数Table 4 LC₅₀, toxicity index and co-toxicity coefficient of the mixture

供试药剂 Extract	LC ₅₀	单方毒力指数 Toxicity index	复配剂实测毒力指数 Actual toxicity index of mixture	复配剂理论毒力指数 Theoretical toxicity index	共毒系数 Co-toxicity coefficient
垂序商陆叶 Pal	6.09	100	-	-	-
银杏外种皮 Gbs	2.95	206	-	-	-
复配剂 Mixture	1.24	-	491.13	321.17	152.92

价值还未得到足够重视和挖掘。本研究发现,银杏外种皮与垂序商陆叶提取物均对小菜蛾表现出良好杀虫活性,且在一定范围内杀虫效果随处理时长和提取物浓度的增加而逐渐提高,进一步证实了二者在生物农药领域的开发潜力。

本研究发现,相同浓度的银杏外种皮提取物与垂序商陆叶提取物相比,前者的小菜蛾校正死亡率,且银杏外种皮提取物在更短处理时间下即可表现出杀虫活性均提示银杏外种皮提取物对小菜蛾具有更好的灭杀效果;而计算得到的银杏外种皮提取物对小菜蛾的 LC₅₀ 更低则进一步证明了这一点。这与人们在其他植物资源研究中所得到的不同植物提取物对某一种特定农业害虫的灭杀活性往往存在差异的结论一致^[21,22]。本研究还发现,不同浓度的两种提取物在处理 12 或 24 h 后即可出现小菜蛾死亡,而在处理 72 h 后各浓度下的小菜蛾死亡数不再增加,一方面说明提取物的药效快,两种植物提取物进入小菜蛾体内后被迅速吸收,并触发了虫体内系列生理生化反应以及相关基因的异常表达;另一方面,也说明两种植物提取物的药效集中在一定时间区间,从而使灭杀活性表现出一定时相特征^[23]。

两种或两种以上具有特定生物学活性的物质按一定比例混合形成可表现出新特性或更高效混合物

的策略称为复配。研究表明,化学农药施用,合理复配可显著减少农药用量、提高防治效果、减缓抗性形成^[24];人们通过对狼毒、牛心朴子、当归、蓖麻等多种植物提取物开展了复配及活性测试也发现,复配同样可以有效增强植物源生物农药的毒力从而提高农药害虫的灭杀效果^[25,26]。可见,复配是农药施用中的一种常见易行的提效策略。对比本研究中银杏外种皮与垂序商陆叶二者提取物的复配剂与各自单剂的小菜蛾杀虫活性可知,复配剂在更低浓度条件下即可获得相对单方更高的校正死亡率,且毒力指数远高于两种单剂毒力指数之和,共毒系数值则显著大于 120。这一系列的研究结果均表明,两种植物提取物的复配表现出显著的增效作用。而复配剂的 LC₅₀ 降到明显低于两种单剂各自 LC₅₀ 的 1.34 mg/mL,则意味着复配除增效作用明显外,还可有效减少农药的施用量,达到节约成本和保护环境双重目标。需要指出的是,复配除了提高灭杀效果的有效途径外,还往往可以扩展生物农药的灭杀谱,从而提高产品的应用范围和商业价值,含有不同活性成分的垂序商陆与银杏外种皮提取物复配后,也可能扩展了二者单方制剂时的灭杀谱,由于本研究主要关注活性这一指标,仅选用小菜蛾这一种农业害虫作为测试对象,因此不能验证这一推测,我们将在后续

研究中对此进行进一步证明。另一方面,植物提取物灭杀农业害虫的作用机制复杂多样,后续研究我们将系统分析垂序商陆与银杏外种皮提取物复配剂如何影响小菜蛾的消化、呼吸、神经、基因表达等来阐明其作用机制。

综上所述,本研究证实了银杏外种皮和垂序商陆叶二者提取物均具有小菜蛾杀虫活性,且银杏外种皮提取物的活性更佳的基础上摸索了二者的最佳复配方案的,确定了复配剂的互作类型、最佳配比与浓度、 LC_{50} ,研究结果为利用银杏外种皮和垂序商陆叶提取物进行新型植物源生物农药的协同开发提供了实验依据。

参考文献

- Hao NB, Ge QY. Development and application of plant based pesticides in China[J]. Chin Bull Bot(植物学通报), 1999, 16:495-503.
- Harmatha J. Trends and development current of Chinese pesticide formulations[J]. World Pestic, 2010, 32(S1): 19-21.
- Yang KK, Gao DL, Liu F. Research status and prospect of botanical insecticides[J]. Pestic Sci Adm(农药科学与管理), 2011, 32(7): 19-23.
- Hu GF, Liu MY, Li YQ, et al. Antifeeding and contact effects on extracts from 30 kinds of poisonous plants in natural grassland of Gansu Province against larva of pierisrapae[J]. Acta Pratac Sin(草业科学), 2011, 20(5): 169-176.
- Xu R, Jin H, Liu Q, et al. Anesthetic activity of (6aR, 11aR)-trifolirhizin from *Trifolium pratense* to *Ditylenchus destructor* [J]. Nat Prod Res Dev(天然产物研究与开发), 2011, 23: 820-823.
- Yan J, Xie LD, Yang CJ. Bioactivities of extracts from *Acorus calamus* L. against four-stored grain insects[J]. J Huazhong Agr Univ(华中农业大学学报), 2006, 25: 515-517.
- Yang ZM, Wu WJ, Ji ZQ. Studies on pesticidal components of *Celastrus angulatus*[J]. J Northwest Agr For Univ: Nat Sci(西北农林科技大学学报: 自科版), 2011, 29(6): 61-63.
- Wang H. Insecticidal component extraction of three artemisia plants and preparation[D]. Haerbin: Northeast Forest University(东北林业大学), 2012.
- Williams T, Arredondo-Bernal HC, Rodríguez-del-Bosque LA. Biological pest control in Mexico[J]. Annu Rev Entomol, 2013, 58: 119-140.
- Shan CY, Ma SM, Zhang WM. Review on research and development of botanical pesticides in China[J]. Chin Wild Plant

Resour(中国野生植物资源), 2011, 30(6): 15-23.

- Tang JG, Zhao DY, Chen LH, et al. Effects of *Ginkgo biloba* episperm on the growth and enzymatic activity of *Plutella xylostella*[J]. J Fujian Agr For Univ: Nat Sci(福建农林大学学报: 自科版), 2013, 42: 233-236.
- Zhao SQ, Cai YF, Zhang HR, et al. Toxicities of extract from exotesta of *Ginkgo biloba* L. against insects of vegetable[J]. Chem Ind For Prod(林产化学与工业), 2003, 23(4): 51-53.
- Yang XM, Chen SX, Zhang RX, et al. Study on molluscicidal active components of petrol ether extract of ginkgo sarcotestas [J]. Chin J Zoonoses(中国人兽共患病学报), 2006, 22: 961-964.
- Ding LJ, Ding W, Zhang YQ. Acaricidal activity of different ultrasonic wave extracts from *Phytolacca americana* roots against *Tetranychus cinnabarinus*[J]. Chi J Ecol(生态学杂志), 2013, 32: 621-626.
- Williams LAD, Roesner H, Conrad J, et al. Selected secondary metabolites from the Phytolaccaceae and their biological/pharmaceutical significance[J]. Res Dev Phytochem, 2012(6): 13-18.
- Ge YH, Zhang J, Liu KX, et al. Extraction and separation of anti-TMV activity extracts from *Phytolacca*[J]. Agrochemicals(农药), 2013, 52: 680-683.
- Jiang N, Miao JH, Xie BL. The insecticidal activities of crude extracts from 6 medicine plants against the larvae of *Yponomeutidae evonymellus* L. [J]. Chin Agr Sci Bull(中国农学通报), 2006, 22: 297-299.
- Sun YP, Johnson ER. Analysis of joint action of insecticides against house flies[J]. J Econ Entomol, 1960, 53: 887-892.
- Sun YP. Dynamics of insect toxicology and its relationship to performance, synergism, and structure-activity relationship of insecticides[J]. New Academic Press, 1970, 36(8): 201-211.
- Jia CS. Calculating the LC_{50} of insecticides with software SPSS[J]. Chin Bull Entomol(昆虫知识), 2006, 43: 414-417.
- Li M, Gao XX, Gao ZJ, et al. Insecticidal activity of extracts from forty-eight plants including *Xanthium sibiricum* Patrín [J]. J Plant Resour Environ(植物资源与环境学报), 2008, 17(1): 33-37.
- Sun XQ, Gu BL, Ye LH, et al. Bioactivities of five plant extracts of *Plutella xylostella* (L.) [J]. J Mountain Agr Biol(山地农业生物学报), 2011, 30: 468-470.