

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1787.2015.01.010

喜旱莲子草提取物的杀虫活性

李 丹, 张 震*, 王育鹏, 秦 娟, 李为花, 谭曼丽
安徽农业大学资源与环境学院, 安徽 合肥 230036

摘要:【背景】喜旱莲子草是全球性恶性入侵杂草,近年来在我国已呈蔓延之势,对经济及生态环境造成严重破坏。目前已开展了其入侵机制和生物防治等方面的研究,然而,针对其资源化利用的研究较少。【方法】分别研究了喜旱莲子草的石油醚、氯仿、乙酸乙酯和正丁醇等溶剂提取物对小菜蛾、斜纹夜蛾的选择忌避、触杀和胃毒作用。【结果】喜旱莲子草各有机相提取物对小菜蛾和斜纹夜蛾均具有一定的选择忌避作用。随着处理时间的延长,不同溶剂提取物对小菜蛾和斜纹夜蛾的触杀和胃毒作用效果逐渐增强,且校正死亡率与提取物浓度呈正相关关系;经喜旱莲子草石油醚提取物、乙酸乙酯提取物和正丁醇提取物 4000 g·L⁻¹处理后,小菜蛾的触杀校正死亡率均达到 70%,经石油醚提取物、乙酸乙酯提取物、正丁醇提取物和水提取物 4000 g·L⁻¹及正丁醇层和水层 500 g·L⁻¹处理后,斜纹夜蛾的触杀和胃毒校正死亡率均达到 80%。【结论与意义】该研究结果对喜旱莲子草的进一步研究开发具有参考价值。

关键词: 入侵植物; 喜旱莲子草; 杀虫活性; 植物源农药; 资源化利用

Insecticidal activity of extracts from the invasive alien plant, *Alternanthera philoxeroides*, against two kinds of pests

Dan LI, Zhen ZHANG*, Yu-peng WANG, Juan QIN, Wei-hua LI, Man-li TAN
College of Resources and Environment, Anhui Agricultural University, Hefei, Anhui 230036, China

Abstract: 【Background】*Alternanthera philoxeroides* is a globally distributed invasive weed, causing serious economic and ecological damage in China. 【Method】To investigate the toxic activity of *A. philoxeroides*, we prepared extracts by petroleum ether, chloroform, ethyl acetate and n-butyl alcohol. Repellency, contact and post-digestive toxicity of the extracts was tested on the lepidopteran pests *Plutella xylostella* and *Spodoptera litura*. 【Result】(1) Each extract of *A. philoxeroides* had a repellent effect on both *P. xylostella* and *S. litura*. The effect of contact as well as post-digestive toxicity was stronger after longer extractin time; the corrected mortality rates and concentrations were positively correlated. (2) The corrected mortality of *A. philoxeroides* extracts by petroleum ether, ethyl acetate and n-butanol at a rate of 4000 g plant material/L of extraction agent on *P. xylostella* reached 70%, petroleum ether, ethyl acetate layer, n-butanol and water at a rate of of 4000 g plant material/L extracting agent and n-butanol and water layer of 500 g plant material/L extracting agent on *S. litura* reached 80%. 【Conclusion and significance】The study had the reference value for the further research on *A. philoxeroides* and the development of new botanical pesticides.

Key words: invasive species; *Alternanthera philoxeroides*; insecticidal activity; botanical pesticide; resource utilization

喜旱莲子草 *Alternanthera philoxeroides* (Mart.) Griseb., 又名空心莲子草、水花生、空心苋、革命草、水蕹菜,属苋科莲子草属,原产于巴西,为多年生水陆两栖草本植物。20 世纪 30 年代作为猪饲料引入我国,后逸为野生。目前,喜旱莲子草几乎遍及黄河流域以南地区(沈国军等,2005)。由于该入侵植物阻塞航运、造成作物减产、使水体富营养化、传播

寄生虫病及增加草坪养护成本等危害(马瑞燕和王韧,2005),国家环保总局 2003 年将其列为第一批外来入侵物种。近年来,针对喜旱莲子草的防治方法主要有物理、化学、生物防治等(常瑞英等,2013)。其中,物理防治即人工刈割或清除,该方法效果好,但投入较大,且收获的喜旱莲子草残体较难处理。通过资源化利用产生的经济效益将有助

收稿日期(Received): 2015-01-10 接受日期(Accepted): 2015-02-02
基金项目: 2014 年度安徽高校省级自然科学研究重点项目(KJ2011A111); 2012 年博士点专项科研基金(20123418120008); 安徽农业大学 2014 年学科骨干培育项目(2014XKPY-48)
作者简介: 李丹,女,硕士研究生。研究方向: 入侵生态学
* 通讯作者(Author for correspondence), E-mail: xjzhangzhen@163.com

于推动物理防治的开展,有利于减少该残体对环境的二次危害。因此,对入侵植物的资源化利用逐渐成为研究热点,将其作为植物源杀虫剂便是利用方式之一。如入侵植物豚草 *Ambrosia artemisiifolia* L. 对黄褐天幕毛虫 *Malacosoma neustria testacea* Motsch. 的毒杀效果较好(张国财等,2010);紫茎泽兰 *Eupatorium adenophorum* Spreng 对棉铃虫 *Helicoverpa armigera* Hübner 的繁殖和生长发育有显著的抑制作用(程丽坤等,2007),但有关喜旱莲子草杀虫活性的研究较少。

小菜蛾 *Plutella xylostella* (L.), 属鳞翅目 Lepidoptera 菜蛾科 Plutellidae, 是十字花科蔬菜常发性的主要害虫,我国各地均有分布,降低了蔬菜品质,造成了严重的经济损失(郑忠添,2009)。斜纹夜蛾 *Spodoptera litura* (Fabricius), 属鳞翅目 Lepidoptera 夜蛾科 Noctuidae, 是一种分布广泛的多食性农业害虫,其幼虫取食量大,导致农作物大量减产(周忠实,2009)。化学杀虫剂的大量使用,不仅杀死了大量农田害虫的天敌,削弱了生物防治的作用,而且使得农田害虫具备了一定的抗药性,故而植物源杀虫剂便成为当前研究的一大热点(周忠实,2009)。

本试验通过研究喜旱莲子草提取物对小菜蛾和斜纹夜蛾的忌避、触杀和胃毒作用,为科学有效地对喜旱莲子草进行资源化利用提供依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

1.1.1 供试植物 陆生型喜旱莲子草取自安徽农业大学校园内,将植株洗净、烘干、粉碎后置于密闭的干燥容器中备用。

1.1.2 供试害虫 斜纹夜蛾、小菜蛾虫卵购自河南省济源白云实业有限公司,置于 $(26 \pm 1)^\circ\text{C}$ 、相对湿度 50%~60%、光周期 12L:12D 的恒温培养箱内培养。孵化出幼虫后,置于 $(26 \pm 1)^\circ\text{C}$ 、相对湿度 30%~40%、光周期 12L:12D 的恒温培养箱内培养。幼虫用济源白云实业有限公司提供的人工饲料饲养,备用。

1.2 研究方法

1.2.1 植物活性成分提取 采用索氏提取法(韦芳三等,2011)处理喜旱莲子草干物质 400 g,经旋转蒸发仪浓缩至浸提膏,用 100 mL 水溶解后得提取物悬浊液。参照左玲霞等(2010)方法,将悬浊液装

入分液漏斗采用液—液分配萃取法,依次用分析纯石油醚、氯仿、乙酸乙酯、正丁醇按照 1:1 比例萃取 3 次,将得到的不同极性萃取物及水层萃取液经旋转蒸发浓缩至浸提膏,分别称取适量,用 50% 丙酮配成一定浓度,置于 4°C 冰箱内备用。

1.2.2 喜旱莲子草提取物杀虫活性的测定 (1)喜旱莲子草提取物配制和供试虫体饲喂条件。用丙酮溶解并稀释 5 个层相,分别得 5 个浓度(4000、500、62.5、7.81、0.98 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$),丙酮作空白对照,各设置 5 个重复,共 25 组处理。用稀释过的浸提物浸泡人工饲料,搅拌均匀,自然风干备用,饲料和提取物的质量比为 5:1,另备不含提取物的人工饲料若干。所有试验均于光照培养箱内进行,培养箱温度 $(26 \pm 1)^\circ\text{C}$ 、相对湿度 30%~40%、光周期 12L:12D。

(2)喜旱莲子草提取物对小菜蛾/斜纹夜蛾的忌避作用。取 6 cm 培养皿,每皿各放 2 g 处理成半圆形的含提取物和不含提取物的饲料,分别置于处理区和对照区,在交界处用毛笔接入生长一致的经饥饿处理 12 h 的幼虫 10 头,用保鲜膜封口,于培养箱内培养。

(3)喜旱莲子草提取物对小菜蛾/斜纹夜蛾的触杀作用。将人工饲料均匀地铺在 6 cm 培养皿内,每皿 7 g,用毛笔接入 10 头生长一致且经提取物浸泡 5 s 的幼虫,用保鲜膜封口,于培养箱内培养。

(4)喜旱莲子草提取物对小菜蛾/斜纹夜蛾的胃毒作用。将人工饲料均匀地铺在 6 cm 培养皿内,每皿 7 g,用毛笔接入 10 头生长一致且经饥饿处理 12 h 的幼虫,用保鲜膜封口,于培养箱内培养。

1.3 测定指标

1.3.1 喜旱莲子草提取物对害虫的忌避作用 每 24 h 观察 1 次,统计对照区和处理区的虫数,死亡和未在对照区和处理区的虫不予统计,计算忌避率(商显坤等,2008)。

忌避率(%) = $(\text{对照区栖息虫数} - \text{处理区栖息虫数}) / (\text{对照区栖息虫数} + \text{处理区栖息虫数}) \times 100$

1.3.2 喜旱莲子草提取物对害虫的触杀/胃毒作用 每 24 h 观察 1 次,统计存活虫数,计算死亡率和校正死亡率(商显坤等,2008)。

$$\text{死亡率}(\%) = \frac{\text{总虫数} - \text{存活虫数}}{\text{总虫数}} \times 100$$

$$\text{校正死亡率}(\%) = \frac{\text{处理死亡率} - \text{对照死亡率}}{1 - \text{对照死亡率}} \times 100$$

1.4 统计分析

所有数据使用 Excel 2003 整理,通过 SPSS 17.0 软件分析。统计分析方法为单因素方差分析、多因素方差分析、LSD 多重比较法及字母标记法,采用机值分析法求毒力回归方程 $Y=aX+b$ (其中 Y 为校正死亡率机率值; X 为提取物浓度对数值),并对方程进行卡方检验。

2 结果与分析

2.1 喜旱莲子草提取物对小菜蛾的杀虫活性

喜旱莲子草各层相提取物对小菜蛾具有一定的选择忌避作用,且随着处理时间的延长,忌避率呈上升趋势,但每天各层处理间的差异不显著 ($P>0.05$),忌避率和处理浓度无相关性(表 1)。喜旱

莲子草非水溶性提取物(石油醚、氯仿、乙酸乙酯和正丁醇)对小菜蛾的触杀致死率均高于水溶性提取物。其中,经石油醚提取物、乙酸乙酯提取物和正丁醇提取物 $4000\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理后,小菜蛾的触杀校正死亡率均达到 70%;随着处理时间的延长,触杀校正死亡率呈上升趋势,且每天各层处理间的差异显著 ($P<0.05$),校正死亡率和处理浓度呈正相关关系(表 2)。随着处理时间的延长,胃毒校正死亡率呈上升趋势,且每天各层处理间的差异显著 ($P<0.05$),校正死亡率与处理浓度呈正相关关系(表 2)。喜旱莲子草提取物对小菜蛾的触杀作用效果比胃毒作用明显,其中各层相对小菜蛾的触杀活性由高到低依次为石油醚提取物、正丁醇提取物、乙酸乙酯提取物、氯仿提取物和水提取物(表 2)。

表 1 喜旱莲子草提取物对小菜蛾的忌避作用
Table 1 The repellency of extracts of *A.philoxeroides* on *P.xylostella*

溶剂 Solvent	处理 Treatment ($\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	忌避率 Repellency rate (%)		
		24 h	48 h	72 h
石油醚 Petroleum ether	4000	29.29±8.50ab	33.33±16.33ab	0.00±0.00b
	500	13.10±8.87b	43.65±18.92a	66.67±40.82a
	62.5	36.67±22.73a	21.43±18.21b	83.33±20.41a
	7.81	15.74±5.67b	32.06±8.12ab	77.78±27.22a
	0.98	18.10±14.33b	21.43±18.21b	73.33±32.66a
氯仿 Chloroform	4000	12.04±8.86b	31.11±21.26ab	0.00±0.00b
	500	22.62±15.22ab	14.29±17.50b	66.67±40.82a
	62.5	15.74±5.67ab	41.27±18.54a	83.33±20.41a
	7.81	25.37±10.22a	43.28±17.82a	86.67±16.33a
	0.98	16.80±5.15ab	14.29±0.00b	66.67±20.41a
乙酸乙酯 Ethyl acetate	4000	27.04±14.41b	64.29±22.02a	33.33±40.82c
	500	28.89±5.44b	39.29±9.11a	100.00±0.00a
	62.5	25.00±17.68b	35.87±16.24a	77.78±27.22ab
	7.81	8.47±5.30c	61.11±24.53a	50.00±35.36bc
	0.98	44.29±3.64a	51.11±30.31a	86.67±16.33ab
正丁醇 N-butyl alcohol	4000	24.66±11.58a	51.11±10.89a	33.33±40.82c
	500	22.22±13.61a	64.44±23.73a	100.00±0.00a
	62.5	18.10±2.33ab	61.11±24.53a	44.44±36.00bc
	7.81	26.11±4.76a	28.89±5.44b	33.33±40.82c
	0.98	11.11±0.00b	47.78±9.53ab	77.78±27.22ab
水 Water	4000	24.44±15.15a	45.44±17.72b	76.67±17.80b
	500	20.74±14.17bc	40.67±16.26a	61.67±26.54a
	62.5	14.44±12.10c	27.38±20.26b	50.00±21.21bc
	7.81	13.70±10.72ab	26.19±17.74b	41.67±23.54a
	0.98	10.37±7.09ab	17.86±11.01b	28.33±7.36c

同溶剂中各列数据后附不同小写字母者表示处理间差异达 0.05 显著水平。
Different lowercase letters followed by the same column within the same solvent mean significant difference among treatments at 0.05 level.

2.2 喜旱莲子草提取物对斜纹夜蛾的杀虫活性

喜旱莲子草各层相提取物对斜纹夜蛾具有一定的选择忌避作用(表 3),且随着处理时间的延

长,忌避率基本呈上升趋势,但每天各层处理间的差异不显著 ($P>0.05$),忌避率与处理浓度无相关性。经石油醚提取物、乙酸乙酯提取物、正丁醇提

取物和水提取物 4000 g · L⁻¹及正丁醇提取物和水提取物 500 g · L⁻¹处理后,斜纹夜蛾的触杀和胃毒校正死亡率均达到 80%;随着处理时间的延长,触杀和胃毒校正死亡率均呈上升趋势,且每天各层处理间的差异显著($P<0.05$),校正死亡率与处理浓度均呈正相关关系(表 4)。但喜旱莲子草提取物对斜纹夜蛾的触杀作用比胃毒作用稍强,其中各层相对斜纹夜蛾的触杀活性由高到低依次为水提取物、正丁醇提取物、石油醚提取物、乙酸乙酯提取物、氯仿提取物。

表 2 喜旱莲子草提取物对小菜蛾的触杀和胃毒作用
Table 2 The contact and stomach poisoning of extracts of *A.philoxeroides* on *P.xylostella*

溶剂 Solvent	处理 Treatment (g · L ⁻¹)	触杀校正死亡率 Corrected mortality by contact toxicity (%)			胃毒校正死亡率 Corrected mortality by stomach poisoning (%)		
		24 h	48 h	72 h	24 h	48 h	72 h
石油醚 Petroleum ether	4000	82.22±4.16a	84.13±11.83a	93.33±8.16a	24.44±15.15a	45.44±17.72a	76.67±17.80a
	500	42.59±6.00b	62.10±3.38b	81.11±14.21b	20.74±14.17a	40.67±16.26a	61.67±26.54ab
	62.5	28.52±4.03c	42.86±8.75c	67.22±5.31c	14.44±12.10a	27.38±20.26ab	50.00±21.21abc
	7.81	21.48±0.91cd	18.65±3.98d	53.33±4.08d	13.70±10.72a	26.19±17.74ab	41.67±23.54bc
	0.98	17.78±11.86d	12.30±17.78d	38.33±8.90e	10.37±7.09a	17.86±11.01b	28.33±7.36c
氯仿 Chloroform	4000	49.63±6.35a	62.10±3.38a	72.78±8.36a	50.74±20.43a	80.16±15.28a	93.33±8.16a
	500	38.89±6.80b	42.86±8.75b	60.00±12.25ab	18.24±3.60b	42.86±8.75b	65.00±6.12b
	62.5	28.52±4.03c	32.34±9.78c	43.89±14.92bc	14.54±3.38bc	48.21±7.03b	58.33±12.42bc
	7.81	17.78±4.16d	12.30±17.78c	30.00±18.71c	7.04±4.33bc	22.02±13.85c	41.67±23.54cd
	0.98	7.04±4.33e	8.93±5.50c	12.22±7.58d	3.33±4.08c	8.93±5.50c	26.67±16.33d
乙酸乙酯 Ethyl acetate	4000	68.15±6.35a	79.96±8.17a	93.33±8.16a	43.15±2.40a	64.09±19.67a	76.67±17.80a
	500	42.59±6.00b	62.90±14.31b	75.00±17.68b	29.44±2.97b	55.95±11.93ab	65.00±6.12a
	62.5	24.81±3.18c	28.17±9.46c	43.89±14.92c	17.87±7.44c	42.06±5.91b	43.33±4.08b
	7.81	21.48±7.91c	17.26±13.38cd	24.44±15.15d	6.67±8.16d	22.82±9.03c	35.00±15.41b
	0.98	7.41±9.07d	3.37±12.29d	5.56±6.80e	3.70±4.54d	8.93±5.50c	13.33±8.16c
正丁醇 N-butyl alcohol	4000	74.81±5.05a	89.68±6.37a	93.33±8.16a	13.70±10.72a	59.33±19.20a	68.33±27.46a
	500	53.33±5.67b	72.42±7.39b	85.00±9.35a	10.37±7.09a	57.34±8.99a	56.67±14.72ab
	62.5	28.52±4.03c	47.02±12.13c	68.33±11.37b	10.00±12.25a	47.62±2.92ab	48.33±14.29ab
	7.81	17.78±4.16d	26.19±17.74d	43.89±14.92c	15.37±5.91a	36.51±12.41bc	33.33±21.60b
	0.98	10.37±7.09e	8.93±5.50e	26.11±4.76d	6.67±8.16a	22.02±13.85c	33.33±21.60b
水 Water	4000	39.26±3.95a	43.45±4.43a	73.89±4.76a	43.98±4.43a	66.27±6.32a	78.33±14.29a
	500	32.22±1.36a	31.75±11.94a	52.22±9.53b	39.44±12.93a	56.55±4.43b	63.33±10.80a
	62.5	21.11±6.71b	13.10±8.87bc	31.67±11.37c	14.54±3.38b	33.13±3.16c	35.00±6.12b
	7.81	17.78±11.86b	12.30±17.78c	9.44±21.61d	3.33±4.08c	22.02±13.85d	26.67±16.33b
	0.98	14.07±8.65b	4.96±11.88c	3.89±17.73d	10.00±7.07bc	14.48±1.48d	6.67±8.16c

同溶剂中各列数据后附不同小写字母者表示处理间差异达 0.05 显著水平。
Different lowercase letters followed by the same column within the same solvent mean significant difference among treatments at 0.05 level.

2.3 喜旱莲子草提取物对害虫的毒杀活性

χ^2 越小且 P 值越趋近于 1.0,说明曲线拟合好。根据回归方程,计算半致死浓度(LC_{50}), LC_{50} 越小,说明其毒杀活性越强。对小菜蛾而言,石油醚提取物和正丁醇提取物的触杀毒力较强,石油醚提取物和氯仿提取物的胃毒毒力较强。就斜纹夜蛾而言,除了氯仿提取物外,其他溶剂提取物的触杀和胃毒毒力均较强(表 5)。

3 讨论

本研究表明,喜旱莲子草各层相提取物对小菜蛾和斜纹夜蛾均具有一定的选择忌避作用,对小菜

蛾和斜纹夜蛾的触杀作用比胃毒作用稍强。毒杀作用强度随着提取物浓度的升高而增强,且随着作用时间的持续而增强。忌避作用的产生可能是因为提取物对害虫感觉器官的影响,使害虫远离提取物载体并产生拒食作用(Escoubas *et al.*, 1993; Wheeler & Isman,2000、2001)。触杀和胃毒作用的产生可能是由于喜旱莲子草提取物通过幼虫的口器和体表,干扰了其内分泌系统,改变了其表皮成分,影响其正常生长(Macleod *et al.*, 1990; Verma *et al.*, 1986)。

表 3 喜旱莲子草提取物对斜纹夜蛾的忌避作用
Table 3 The repellency of extracts of *A.philoxeroides* on *S.litura*

溶剂 Solvent	处理 Treatment (g · L ⁻¹)	忌避率 Repellency rate (%)		
		24 h	48 h	72 h
石油醚 Petroleum ether	4000	42.62±12.38a	47.78±9.53a	44.44±36.00a
	500	19.44±12.27b	18.10±2.33b	11.11±13.61b
	62.5	15.00±9.35b	11.43±7.28bc	6.67±8.16b
	7.81	12.17±1.30b	6.67±8.16c	28.89±5.44ab
	0.98	8.47±5.30b	17.78±11.86bc	11.43±7.28b
氯仿 Chloroform	4000	26.11±4.76a	56.67±28.58a	66.67±40.82a
	500	20.63±7.78a	31.11±21.26b	22.22±13.61b
	62.5	20.37±5.67a	15.87±11.83b	27.78±18.00b
	7.81	10.37±7.09b	11.43±7.28b	27.78±18.00b
	0.98	4.76±5.83b	18.10±2.33b	11.11±13.61b
乙酸乙酯 Ethyl acetate	4000	36.11±9.00a	38.89±6.80a	83.33±20.41a
	500	19.58±8.50b	13.33±8.16bc	73.33±32.66ab
	62.5	15.87±11.83b	13.33±8.16bc	51.11±30.31b
	7.81	15.13±3.19b	21.43±18.21b	14.81±12.00c
	0.98	12.17±1.30b	4.76±5.83c	13.33±8.16c
正丁醇 N-butyl alcohol	4000	35.56±2.72a	34.44±10.63a	77.78±27.22a
	500	18.70±4.97b	16.19±2.33b	44.44±36.00b
	62.5	19.44±12.27b	35.87±16.24a	27.78±18.00b
	7.81	8.47±5.30c	6.67±8.16b	26.98±7.78b
	0.98	3.70±4.54c	15.87±11.83b	23.33±17.80b
水 Water	4000	20.95±15.16a	43.33±14.72a	66.67±40.82a
	500	28.70±13.94a	37.78±14.40a	27.78±18.00b
	62.5	16.67±10.21ab	20.63±7.78b	23.33±17.80b
	7.81	14.81±12.00ab	22.54±6.91b	38.89±6.80ab
	0.98	4.76±5.83b	13.33±8.16b	16.67±20.41b

同溶剂中各列数据后附不同小写字母者表示处理间差异达 0.05 显著水平。
Different lowercase letters followed by the same column within the same solvent mean significant difference among treatments at 0.05 level.

表 4 喜旱莲子草提取物对斜纹夜蛾的触杀和胃毒作用
Table 4 The contact and stomach poisoning of extracts of *A.philoxeroides* on *S.litura*

溶剂 Solvent	处理 Treatment (g · L ⁻¹)	触杀校正死亡率			胃毒校正死亡率		
		Corrected mortality by contact toxicity (%)			Corrected mortality by stomach poisoning (%)		
		24 h	48 h	72 h	24 h	48 h	72 h
石油醚 Petroleum ether	4000	85.71±10.10a	93.33±8.16a	100.00±0.00a	79.03±10.19a	90.28±6.13a	94.44±6.80a
	500	56.61±0.65b	64.05±6.78bc	66.67±11.79b	61.04±12.38b	70.24±12.96b	82.22±1.36ab
	62.5	61.38±15.57b	74.17±15.84ab	61.11±24.53b	57.80±11.45b	67.66±9.78b	77.78±13.61ab
	7.81	25.40±7.01c	56.67±28.58bc	52.78±29.07bc	32.67±7.32c	51.79±7.03c	64.44±12.10bc
	0.98	12.17±7.96d	43.69±12.21c	38.89±6.80c	16.34±3.66d	28.17±9.46d	46.67±23.92c
氯仿 Chloroform	4000	25.40±15.91a	65.95±14.25a	80.56±12.27a	36.38±11.81a	55.16±14.78a	74.44±21.90a
	500	20.63±7.78a	57.98±11.45a	61.11±24.53ab	27.91±10.81ab	49.60±21.13ab	56.67±23.21ab
	62.5	2.65±13.01b	32.86±10.93b	47.22±14.83b	12.63±1.13bc	42.66±8.99ab	64.44±12.10a
	7.81	3.70±4.54b	13.10±8.87c	8.33±27.00c	4.76±5.83c	28.77±17.44bc	51.11±30.31ab
	0.98	3.70±11.07b	10.83±7.14c	5.56±29.66c	0.99±27.84c	12.50±15.31c	28.89±12.98b
乙酸乙酯 Ethyl acetate	4000	60.32±10.82a	95.24±5.83a	100.00±0.00a	70.57±5.43a	80.75±5.90a	88.89±6.80a
	500	42.33±9.55b	59.29±11.37b	77.78±13.61b	61.04±12.38b	76.59±4.32a	82.22±11.86a
	62.5	15.87±11.83cd	32.86±10.93c	50.00±11.79c	37.90±3.38c	50.99±10.98b	64.44±12.10b
	7.81	16.93±3.24c	39.52±7.58c	36.11±9.00c	24.21±6.75d	36.51±12.41c	52.22±19.20bc
	0.98	2.65±13.01d	30.95±19.12c	33.33±20.41c	11.81±0.49e	23.61±14.53c	35.56±12.10c
正丁醇 N-butyl alcohol	4000	100.00±0.00a	100.00±0.00a	100.00±0.00a	84.13±11.83a	95.83±5.10a	100.00±0.00a
	500	73.54±10.43b	83.81±10.37a	94.44±6.80a	70.57±5.43b	79.96±8.17b	87.78±7.58ab
	62.5	77.25±7.13b	83.81±10.37a	77.78±13.61ab	74.74±2.25ab	76.59±4.32b	83.33±11.79bc
	7.81	38.62±6.18c	61.79±13.14b	61.11±24.53b	44.71±10.08c	60.12±16.96c	71.11±12.98cd
	0.98	1.59±21.91d	18.93±29.31c	8.33±25.69c	10.98±15.50d	47.02±12.13c	60.00±12.25d
水 Water	4000	90.48±11.66a	93.33±8.16a	100.00±0.00a	87.83±7.96a	95.83±5.10a	100.00±0.00a
	500	85.71±10.10a	86.67±16.33a	100.00±0.00a	83.66±3.66ab	91.07±5.50a	94.44±6.80ab
	62.5	69.84±10.29b	95.83±5.10a	91.67±10.21ab	73.63±8.75bc	86.11±9.00a	87.78±7.58b
	7.81	60.32±3.89b	83.81±10.37a	83.33±11.79b	61.76±13.59cd	70.24±12.96b	76.67±6.24c
	0.98	43.39±10.12c	68.81±5.54b	66.67±11.79c	49.34±16.69d	62.90±14.31b	65.56±10.63d

同溶剂中各列数据后附不同小写字母者表示处理间差异达 0.05 显著水平。
Different lowercase letters followed by the same column within the same solvent mean significant difference among treatments at 0.05 level.

表 5 喜旱莲子草提取物的毒杀活性测定 (72 h)
Table 5 Poison activity determination of extracts of *A.philoxeroides* (72 h)

供试虫 Insect	作用方式 Functional type	溶剂 Solvent	毒力回归方程 Regression equation	LC_{50} ($g \cdot L^{-1}$)	浓度 95%置信区间 95% confidence interval	χ^2	P
小菜蛾 <i>P.xylostella</i>	触杀 Contact toxicity	石油醚 Petroleum ether	$Y=0.472X-0.336$	5.150	2.241~9.855	1.012	0.798
		氯仿 Chloroform	$Y=0.470X-1.032$	156.615	88.021~295.910	1.322	0.724
		乙酸乙酯 Ethyl acetate	$Y=0.824X-1.538$	73.625	50.850~106.960	1.436	0.697
		正丁醇 N-butyl alcohol	$Y=0.612X-0.652$	11.641	6.741~18.814	0.344	0.952
		水 Water	$Y=0.685X-1.796$	419.898	269.029~695.912	1.089	0.780
	胃毒 Stomach toxicity	石油醚 Petroleum ether	$Y=0.342X-0.568$	45.779	20.212~99.579	0.731	0.866
		氯仿 Chloroform	$Y=0.498X-0.678$	22.957	2.380~117.044	9.002	0.029
		乙酸乙酯 Ethyl acetate	$Y=0.485X-0.973$	101.313	57.869~182.541	2.705	0.439
		正丁醇 N-butyl alcohol	$Y=0.268X-0.533$	98.200	36.729~291.907	1.920	0.589
斜纹夜蛾 <i>S.litura</i>	触杀 Contact toxicity	石油醚 Petroleum ether	$Y=0.598X-1.338$	172.447	107.541~287.705	3.719	0.293
		氯仿 Chloroform	$Y=0.456X-0.396$	7.393	—	24.916	—
		乙酸乙酯 Ethyl acetate	$Y=0.725X-1.652$	190.706	54.490~883.919	9.901	0.019
		正丁醇 N-butyl alcohol	$Y=0.595X-0.743$	17.710	0.066~287.234	23.929	0.003
		水 Water	$Y=1.050X-1.011$	9.179	1.763~30.875	14.047	0.003
	胃毒 Stomach toxicity	石油醚 Petroleum ether	$Y=0.677X+0.386$	0.269	0.068~0.632	3.382	0.336
		氯仿 Chloroform	$Y=0.422X-0.052$	1.326	0.370~3.177	2.004	0.572
		乙酸乙酯 Ethyl acetate	$Y=0.281X-0.369$	20.590	0~818.240	9.776	0.021
		正丁醇 N-butyl alcohol	$Y=0.449X-0.368$	6.581	2.849~12.719	0.639	0.888
		正丁醇 N-butyl alcohol	$Y=0.454X+0.186$	0.390	0~2.949	6.559	0.087
		水 Water	$Y=0.505X+0.334$	0.218	0.039~0.631	2.567	0.463

“—”表示没有拟合的曲线和置信区间。
“—”means that there is no fitting curve or confidence interval.

本试验发现,石油醚提取物、乙酸乙酯提取物和正丁醇提取物的毒杀活性高于氯仿提取物,说明极性有机溶剂提取物的杀虫活性要高于非极性水层提取物,也表明杀虫活性物质易溶于极性溶剂中。研究表明,石油醚提取物、乙酸乙酯提取物和正丁醇提取物主要含植物甾醇类、黄酮类、三萜类、有机酸和皂苷类等物质,这基本涵盖了喜旱莲子草已测得的成分(熊卫国等,2000)。这些物质对昆虫均有一定毒杀活性,作用方式表现为拒食、忌避、触杀和胃毒(Prakash & Rao,1996)。本研究表明,高浓度(4000 g · L⁻¹)提取物对小菜蛾和斜纹夜蛾幼虫的致死率均达 80% 以上,且在一定时间内,作用效果随着作用时间的持续而增强。这一特性与植物源农药(Dubey *et al.*,2010)一致。

植物源杀虫剂对害虫具有独特的作用机制且对环境安全,已经成为未来农药发展的趋势,也是保护生态环境安全的需要(商显坤等,2008; Kushwaha & Maurya,2012)。然而,目前我国对外来入侵植物合理利用方面的研究还较少(商显坤等,2008)。将喜旱莲子草作为植物源杀虫剂原料,不仅能够环境友好地毒杀农田害虫,而且能够降低其

作为入侵种的危害,真正实现经济效益、社会效益和生态效益的统一。

参考文献

常瑞英,王仁卿,张依然,刘建. 2013. 入侵植物空心莲子草的入侵机制及综合管理. 生态与农村环境学报, 29 (1): 17-23.

程丽坤,刘小侠,张青文,马晓牧,孙艳艳,钟勇. 2007. 紫茎泽兰乙醇提取物对棉铃虫生长发育和繁殖力的影响. 昆虫学报, 50(3): 304-308.

马瑞燕,王韧. 2005. 喜旱莲子草在中国的入侵机理及其生物防治. 应用与环境生物学报, 11(2): 246-250.

商显坤,韦德卫,周兴华,曾涛,王助引. 2008. 广西 4 种外来入侵植物提取物对烟蚜的生物活性. 广西农业科学, 39(6): 763-766.

沈国军,徐正浩,俞谷松. 2005. 空心莲子草的分布、危害与防除对策. 植物保护, 31(3): 14-18.

韦芳三,李纯厚,戴明,吕国敏,齐占会,肖雅元. 2011. 索氏提取法测定海洋微藻粗脂肪含量及其优化方法的研究. 上海海洋大学学报, 20(4): 619-623.

熊卫国,刘雅士,刘焱文. 2000. 空心莲子草的化学成分研究. 中草药, 31(7): 501-502.

张国财, 赵杨, 马力, 毕冰, 黄毅, 庄宸, 张欣倩, 孟什. 2010. 豚草杀虫活性物质毒力测定及安全测定. 东北林业大学学报, 38(6): 94-96.

郑忠添. 2009. 小菜蛾综合防治技术探讨. 现代农业科技, (17): 170, 173.

周忠实. 2009. 斜纹夜蛾种群控制的研究概况. 昆虫知识, 46(3): 354-361.

左玲霞, 谢晓鹏, 杨敏丽. 2010. 野西瓜苗对枸杞蚜虫的杀虫活性研究. 安徽农业科学, 38(30): 16918-16919.

Dubey N K, Shukla R, Kumar A, Singh P and Prakash B. 2010. Prospects of botanical pesticides in sustainable agriculture. *Current Science*, 98: 479-480.

Escoubas P, Lajide L and Mitzutani J. 1993. An improved leaf-disk antifeedant bioassay and its application for the screening of Hokkaido plants. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 66: 99-107.

Kushwaha V B and Maurya S. 2012. Biological utilities of *Parthenium hysterophorus*. *Journal of Applied and Natural Science*, 4: 137-143.

Macleod J K, Moeller P D, Molinski T F and Opender K. 1990. Antifeedant activity against *Spodoptera litura* larvae and ^[13C]NMR spectral assignments of the melia toxins. *Journal of Chemical Ecology*, 16: 2511-2518.

Prakash A and Rao J. 1996. *Botanical Pesticides in Agriculture*. USA: CRC Press Inc., 204-216.

Verma G S, Ramakrishnan V, Mulchandani N B and Chadha M S. 1986. Insect feeding deterrents from the medicinal plant *Tylophora asthmatica*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 40: 99-101.

Wheeler D A and Isman M B. 2000. Effect of *Trichilia americana* extract on feeding behavior of Asian armyworm, *Spodoptera litura*. *Journal of Chemical Ecology*, 26: 2791-2800.

Wheeler D A and Isman M B. 2001. Antifeedant and toxic activity of *Trichilia americana* extract against the larvae of *Spodoptera litura*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 98: 9-16.

(责任编辑:杨郁霞)

