

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1787.2022.03.014

基于入侵植物和蜗牛信息素的非洲大蜗牛新型诱杀剂研究

王新峰^{1,2,3+}, 李再园^{1,4+}, 刘博¹, 乔曦¹, 万方浩¹, 钱万强^{1*}, 刘聪辉^{1*}

¹中国农业科学院农业基因组研究所, 岭南现代农业科学与技术广东省实验室深圳分中心, 广东 深圳 518120;

²河南大学生命科学学院, 河南 开封 475004; ³河南大学深圳研究院, 广东 深圳 518000;

⁴长江大学农学院, 湖北 荆州 434025

摘要:【目的】非洲大蜗牛是被世界自然保护联盟列入黑名单的一种入侵陆生螺。目前,其主要防治手段是使用化学农药,但化学农药有危害生态环境、威胁生物多样性的副作用。本研究旨在针对化学防治污染生态环境等问题,开发非洲大蜗牛新型植物源诱杀剂。【方法】通过对非洲大蜗牛的诱食、灭杀和诱杀试验测定,对比入侵植物提取物和非洲大蜗牛腹足部腺体中的信息素提取物复配成的诱杀剂对非洲大蜗牛的诱杀效果。【结果】食物诱食试验结果发现,非洲大蜗牛腹足部腺体中的信息素选择比例为40.30%,偏好性明显高于氨基酸、含硫化合物甜菜碱和酵母等。以五爪金龙和薇甘菊2种入侵植物提取物复配成的杀螺剂处理后,在24、48 h时非洲大蜗牛的死亡率分别达到65%、100%。利用信息素为诱剂,结合具有高效毒杀作用的入侵植物(五爪金龙和薇甘菊)粗提物复配成的诱杀剂,引诱率为34.12%,仅次于未复配的信息素(37.45%),而诱杀率明显优于所选择的市售诱杀药物。【结论】以入侵植物五爪金龙和薇甘菊为杀螺剂原料结合非洲大蜗牛诱食信息素,复配制成的诱杀剂(诱杀率31.76%)见效快、灭杀效果强,并且安全环保,减少了农药对生态环境的危害。

关键词: 非洲大蜗牛; 信息素; 植物源; 入侵植物; 诱杀



开放科学标识码
(OSID 码)

Research the new pesticide for *Achatina fulica* based on invasive plants and snail pheromone

WANG Xinfeng^{1,2,3+}, LI Zaiyuan^{1,4+}, LIU Bo¹, QIAO Xi¹, WAN Fanghao¹,
QIAN Wanqiang^{1*}, LIU Conghui^{1*}

¹Agricultural Genomics Institute at Shenzhen, Chinese Academy of Agricultural Science, Shenzhen Branch, Guangdong Laboratory for Lingnan Modern Agriculture, Shenzhen, Guangdong 518120, China; ²College of Life Sciences, Henan University, Kaifeng, Henan 475004, China; ³Shenzhen Research Institute of Henan University, Shenzhen, Guangdong 518000, China;

⁴College of Agriculture, Yangtze University, Jingzhou, Hubei 434025, China

Abstract: 【Aim】 *Achatina fulica* is an invasive terrestrial snail, listed among the "World's Worst Invasive Alien Species" by the International Union for Conservation of Nature (IUCN). The most widely used means of control are chemical pesticides which are detrimental to the environment and biodiversity. In this study, the aim was to develop a new botanical molluscicide against *A. fulica*. 【Method】 The food preference, and attract-and-kill assays were performed under laboratory conditions on *A. fulica*, and the induced mortality of extracts from invasive plants and pheromones extracted from abdominal and foot glands of *A. fulica* were compared. 【Result】 The preference for pheromone extracted from the abdominal and foot glands of *A. fulica* was 40.30%—significantly higher than that for amino acids, sulfur compounds, betaine, and yeast. Combined with the extracts of two invasive plants, *Ipomoea cairica* and *Mikania micrantha*, the induced mortality rate at 24 h and 48 h reached 65% and 100%, respectively. Using the snail pheromone as

收稿日期(Received): 2021-10-05 接受日期(Accepted): 2021-11-27

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目(31901950); 深圳市科技计划项目基础研究专项(JCYJ20190813120401662)

作者简介: 王新峰, 男, 硕士研究生。研究方向: 入侵生物基因组学。E-mail: wangxinfeng0211@163.com; 李再园, 男, 博士研究生。研究方向: 入侵生物综合防治。E-mail: zaiyuanli01@163.com

+ 同等贡献作者(The two authors contributed equally to this work)

* 通信作者(Author for correspondence), 钱万强, E-mail: qianwanqiang@caas.cn; 刘聪辉, E-mail: liuconghui@caas.cn

an attractant, combined with the crude extracts of two invasive plants with high toxicity, the attraction rate was 34.12 %, second only to the pure pheromone (37.45%), and the induced mortality was significantly higher than that caused by traditional chemical pesticides available on the market. 【Conclusion】 The developed attract-and-kill mixture was more effective and environmentally friendly, allowing to reduce the harmful effect of pesticide applications.

Key words: *Achatina Fulica*; pheromone; botanical pesticide; invasive plant; trapping

非洲大蜗牛 *Achatina fulica* Bowdich 属软体动物门腹足纲柄眼目玛瑙螺科玛瑙螺属的一种世界性有害螺类(杞桑, 1985; 周卫川和陈德牛, 2004; Liu *et al.*, 2020)。目前广泛分布于我国广东、云南、广西、湖南、湖北、福建及台湾等地(游意, 2016)。非洲大蜗牛具有繁殖力和抗逆性强等特点, 同时作为中间宿主会传播多种疾病, 对农作物和人体健康造成了极大的威胁(李萍和李燕, 2008; 孟锦绣等, 2007; 田宗立等, 2014; Matthew *et al.*, 2013)。面对非洲大蜗牛的入侵态势, 目前主要是依靠化学农药防治, 例如四聚乙醛和氯硝柳胺等(贺泳等, 2014; 王轶等, 2018; 元艺等, 2020)。虽然这些化学农药杀灭效果显著, 但会伤害非靶标生物, 同时破坏生态系统。施用氯硝柳胺会造成两栖类动物以及鱼类大量死亡(戴建荣等, 1997; 张涛, 2002)。四聚乙醛对于一些常见淡水鱼类具有低等毒性(朱丹等, 2010)。因此, 人们迫切需要高效、安全、环保的防治手段, 利用植物提取物研发植物源杀螺剂成为灭螺研究的重要方向(钱久李等, 2016)。据报道, 常见有毒或有害植物的提取物具有一定的杀螺效果, 如马桑 *Coriaria nepalensis* Wall、紫堇 *Corydalis edulis* Maxim、紫茎泽兰 *Eupatorium adenophora* Spreng、夹竹桃 *Nerium oleander* L. 等 4 种植物提取物对福寿螺有较强的毒杀活性(陈晓娟等, 2012)。与福寿螺 *Ampullaria gigas* Spix 同源地入侵植物的五爪金龙 *Ipomoea cairica* (L.) Sweet 杀螺潜力最优, 蟛蜞菊 *Wedelia chinensis* (Osbeck) Merr. 次之(曾坤玉等, 2008)。研究表明, 五爪金龙的茎和薇甘菊 *Mikania micrantha* Kunth 的叶的乙醇提取物对福寿螺 2 种胆碱酯酶的活性具有较强的抑制作用(邹湘辉等, 2016)。

植物源杀螺剂及诱杀剂的研发是当下研究的热点。传统杀螺剂需要大规模的喷洒实施, 而使用诱杀技术, 结合植物源杀螺剂在大蜗牛取食补充营养时进行毒杀, 可有效减少使用量、降低环境危害、控制防治成本(Roda *et al.*, 2019)。诱杀剂由诱食剂和灭杀剂 2 部分组成, 其中诱食剂的选择是关键

因素(莫博程, 2017)。7 种诱食剂对于田螺 *Cipangopaludina chinensis* Gray 摄食行为的诱导试验显示, 甜菜碱和大蒜素的效果最好, 对田螺有明显的诱导作用(黄杰等, 2020)。管角螺 *Hemifusus tuba* (Gmelin) 诱食剂试验结果显示, 添加氨基酸诱食剂能促进管角螺摄食(周爽男等, 2017)。面粉发酵物添加到灭螺药物中作为毒饵诱杀钉螺 *Oncomelania hupensis* Gredler, 能提高钉螺死亡率(倪红等, 2010)。本研究从非洲大蜗牛腹足部黏液腺中收集信息素作为诱食剂, 与多种入侵植物提取物复配研发诱杀配方, 以期得到安全环保、高效专一的植物源诱杀剂, 从而更好地防治非洲大蜗牛。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验地点设在中国农业科学院深圳基因组研究所农场养虫室, 通风良好, 无日光直射。供试非洲大蜗牛采自中国农业科学院深圳基因组研究所农场。将收集的非洲大蜗牛置于铺有椰土的塑料盆中喂养, 饲养条件为温度 25~30 ℃、室内湿度 70% 左右, 定期投喂鲜嫩生菜叶, 饲养一周待非洲大蜗牛适应环境后进行试验。

试验装置分为 A、B 2 种: A 装置是以 Y 型管为原型自制的诱食选择器, 为 40 cm × 30 cm × 18 cm 的塑料箱, 在一侧开 2 个洞, 接入 2 个直径 10 cm 的圆管; B 装置选择直径 40 cm 的圆柱桶, 在 4 个方向开洞, 接入直径 10 cm 的圆管。2 种装置圆管下方为收集容器, 诱食物放置于收集容器中, 当非洲大蜗牛对诱食物做出选择时, 即沿着对应的圆管移动, 最后掉入收集容器中。

1.2 供试药剂

1.2.1 入侵植物提取物准备 薇甘菊和五爪金龙采于中国农业科学院深圳基因组研究所农场, 去除表面杂质后自然风干, 将茎剪成 3~5 cm 的小段, 经干燥箱干燥后研磨。参照曾坤玉等(2008)的方法, 取每种研磨后的样品 20 g, 用 100 mL 95% 乙醇在 60 ℃ 下萃取 4 h 后提取浸泡液, 此步骤重复 3 次,

将3次浸泡液混合,经旋转蒸发浓缩成浸膏,用去离子水配制得到五爪金龙乙醇提取液($2\text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$)和薇甘菊乙醇提取液($1\text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$),置于冰箱中备用。

1.2.2 信息素提取 用水清洗非洲大蜗牛,除去外壳和腹足上的杂质。采用溶剂浸提法提取信息素,取50头干净的蜗牛,轻轻挤压蜗牛腹足,挤出腹足部的腺体,用镊子或手术剪取下腹足腺体,按每腺体 $10\text{ }\mu\text{L}$ 重蒸正己烷,在 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下浸提 0.5 h 。将浸提液过滤,经多功能氮吹仪浓缩(氮气流速为 $200\text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$),浓缩10倍后得到所需信息素,置于 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的冰箱内密封保存。

1.2.3 药品 甲硫氨酸、异亮氨酸、丙氨酸、天冬氨酸、甜菜碱和酵母均购于上海阿拉丁生化科技股份有限公司;氯硝柳胺(有效成分:98%),购于西亚化学科技(山东)有限公司;四聚乙醛(有效成分:40%四聚乙醛;剂型:悬浮剂),购于江苏艾津农化有限责任公司;灭螺灵(有效成分:植物提取素;剂型:粉剂),购于郑州海燕生物科技有限公司;涡敌(有效成分:4.5%四聚乙醛+1.5%甲萘威;剂型:颗粒剂),购于深圳诺普信农化股份有限公司;密达颗粒剂(有效成分:6%四聚乙醛;剂型:颗粒剂),购于广东农密生物科技有限公司。

1.3 诱食试验

将8种待测诱食物随机分成4组,每组2种,使用A装置进行对比,将20头非洲大蜗牛放置于塑料箱中,诱食物置于收集容器中,日投喂2次($8:00$ 、 $16:00$),2d后统计各组诱食物引诱的非洲大蜗牛数目,判断非洲大蜗牛对每组2种食物的取食偏好,试验重复3次。8种诱食物中选择吸引效果较好的4种,使用A装置进行重复试验,从4种诱食物中比较出效果最好的2种,试验重复3次。此外,8种诱食物中,选择4种较佳的诱食物利用B装置进行食物偏好性选择试验,试验佐证第二步得出的最优食物,试验重复3次。

1.4 灭杀试验

选择高筋面粉分别与薇甘菊提取物、五爪金龙提取物复配(五爪金龙与薇甘菊体积比 $2:1$),以固液 $1:0.6$ 制成面团,并设常用化学杀螺农药四聚乙醛($2\text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$)、氯硝柳胺($1\text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$)和植物源农药灭螺灵($3.750\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)作毒杀对照。同时,选择清水混合高筋面粉作为空白对照。在正常饲养

条件下,每组设置40头非洲大蜗牛,分别投喂供试灭螺剂。及时补充面团以保证非洲大蜗牛取食,每隔 12 h 统计死亡率,试验重复3次。

1.5 诱杀试验

选择复配的植物提取物(五爪金龙与薇甘菊体积比 $2:1$)、信息素以及两者复配(体积比五爪金龙:薇甘菊:信息素= $2:1:1$)作为供试诱杀剂,以市场上具有引诱和触杀效果的涡敌($9\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)和具有触杀效果的密达($6\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)作为对照。正常饲养条件下,装置B改成五管,设置40头非洲大蜗牛进行诱杀对比,每日投喂2次($8:00$ 、 $16:00$),2d后统计每种诱杀剂引诱及毒杀的非洲大蜗牛数量,试验重复3次。

1.6 分析方法

采用SPSS 17.0进行数据分析。单对引诱物对非洲大蜗牛的引诱率差异进行独立样本 t 检验;不同药剂或植物提取物对非洲大蜗牛的致死率之间差异进行单因子方差分析,平均数差异均采用LSD法多重比较,百分数均经反正弦平方根转换;不同药剂及植物混合物对非洲大蜗牛的诱杀效果(引诱致死率)之间差异进行单因子方差分析,平均数差异均采用LSD法多重比较,百分数均经反正弦平方根转换。灭杀试验结果中以2种植物提取物复配不同时间段累计致死率/同时间段不同药剂或单一植物提取物对非洲大蜗牛的累计致死率计算致死倍数变化;诱杀试验结果中以2种植物提取物和信息素复配的诱杀率/不同药剂或植物提取物的诱杀率计算诱杀率倍数变化。

2 结果与分析

2.1 诱食试验

在诱食试验中,对8种食物进行两两诱食偏好性对比(图1A),发现非洲大蜗牛对丙氨酸、啤酒、信息素和甲硫氨酸4种食物的选择较高,4种食物表现出较好的引诱效果,非洲大蜗牛对信息素的选择占比(77.14%)显著高于对甜菜碱的选择(22.86%)($P=0.011$)。对4种偏好性较强的食物进一步分组进行两两诱食对比(图1B),对甲硫氨酸的选择占比(81.45%)优于丙氨酸(18.55%),对信息素的选择占比(77.78%)强于啤酒(22.22%)($P=0.001$)。对4种诱食物的诱食效果进行验证(图1C),可以看出信息素的选择占比优于其余3组,其次是甲硫氨酸,与第二步的结论一致。

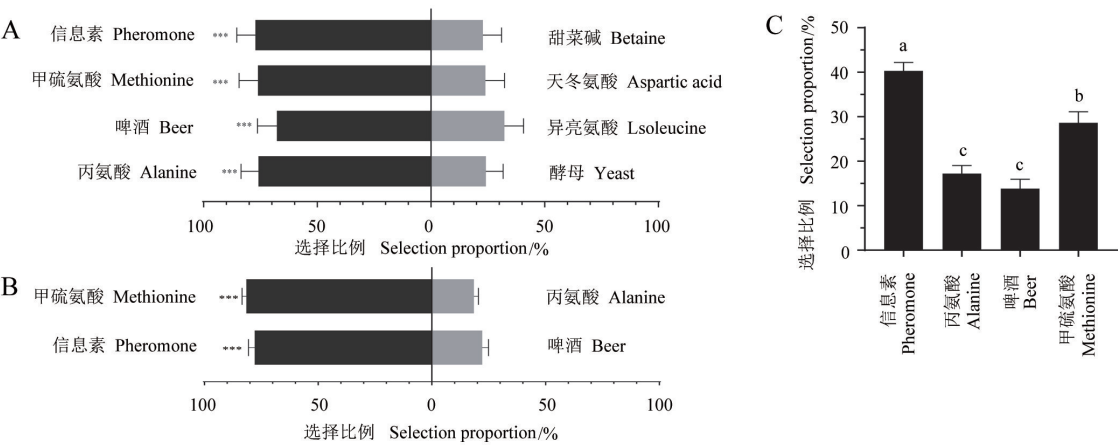


图 1 非洲大蜗牛对不同食物的取食偏好性

Fig.1 The preference for diverse foods of *A. fulica*

A: 非洲大蜗牛对 8 种初始食物的偏好性选择; B, C: 非洲大蜗牛对 4 种较优食物的偏好性选择。*** 表示不同食物之间偏好性选择在 0.001 水平上差异显著; 柱上不同小写字母表示不同食物之间偏好性选择在 0.05 水平上差异显著。
A: The *A. fulica* preference for eight initial foods; B, C: The *A. fulica* preference for four superior foods. *** indicates a significant differences at 0.001 level. Different lowercase letters denote a significant difference at 0.05 level among diverse foods.

2.2 灭杀试验

在灭杀试验中,四聚乙醛对非洲大蜗牛的毒杀效果强于氯硝柳胺和植物源农药灭螺灵,且在前 12 h 时死亡率大于复配的五爪金龙和薇甘菊提取物。在 12~24 h 内,五爪金龙和薇甘菊提取物复配杀螺效果最佳,死亡率大于四聚乙醛、五爪金龙提取物、薇甘菊提取物、灭螺灵和氯硝硫胺(图 2A)。五爪金龙和薇甘菊提取物单独使用时,效果略差于四聚乙醛,药效作用较慢,在 24 h 非洲大蜗牛才出现死亡(图 2B)。而 2 种植物提取物复配后杀螺效果提升明显,在 12 h 时 2 种植物提取物复配(五爪金龙

和薇甘菊)已杀死 10% 的非洲大蜗牛,与氯硝柳胺 (FC = 6, $P = 0.025$) 和灭螺灵 (FC = 12.012, $P = 0.025$) 相比,差异显著。在 24 h 时复配的植物提取物处理组,非洲大蜗牛死亡率为 65%,在所有处理中最高,48 h 时非洲大蜗牛全部失去生命体征,与灭螺灵 (FC = 2.833, $P < 0.001$)、氯硝柳胺 (FC = 4.407, $P < 0.001$)、薇甘菊提取物 (FC = 1.75, $P < 0.001$)、五爪金龙提取物 (FC = 1.266, $P = 0.001$) 相比,差异极显著,与四聚乙醛 (FC = 1.202, $P = 0.013$) 差异显著。

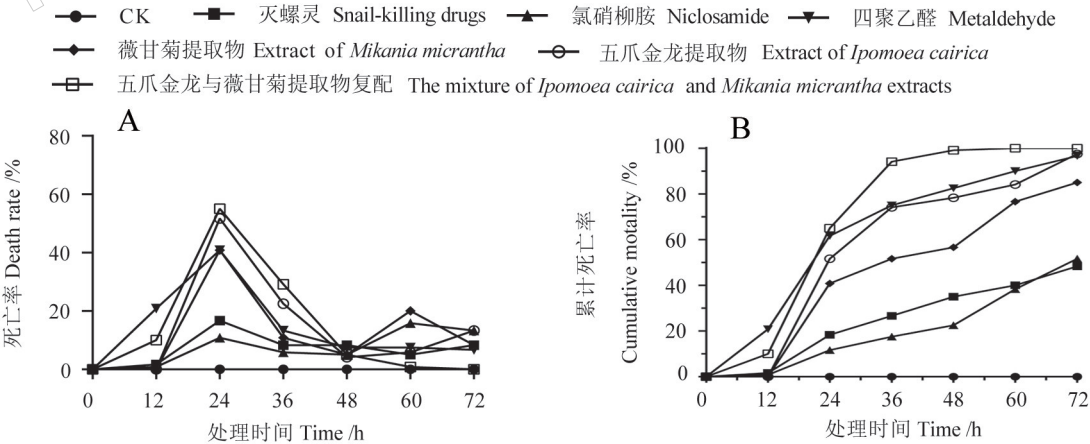


图 2 不同药剂或植物提取物对非洲大蜗牛的灭杀效果比较

Fig.2 Comparison of lethality of the different agent or plant extracts against *A. fulica*

A: 非洲大蜗牛每 12 h 的死亡率; B: 非洲大蜗牛在不同药剂或植物提取物饲喂下的累计死亡率。
A: Mortality per 12 hours of *A. fulica*; B: Cumulative mortality in the different agent or plant extracts against *A. fulica*.

2.3 诱杀试验

诱杀试验结果(图 3A)表明,信息素对非洲大

蜗牛引诱效果最好,而植物提取物对蜗牛引诱效果较差。根据诱杀结果来看(图 3B),引诱效果最好

的信息素对非洲大蜗牛无毒杀作用, 2种植物提取物与信息素的复配诱杀效果最优, 与涡敌 ($FC = 2.167, P = 0.001$)、密达颗粒剂 ($FC = 7.222, P <$

0.001) 以及 2种植物提取物的复配 ($FC = 3.611, P < 0.001$) 相比, 差异极显著。

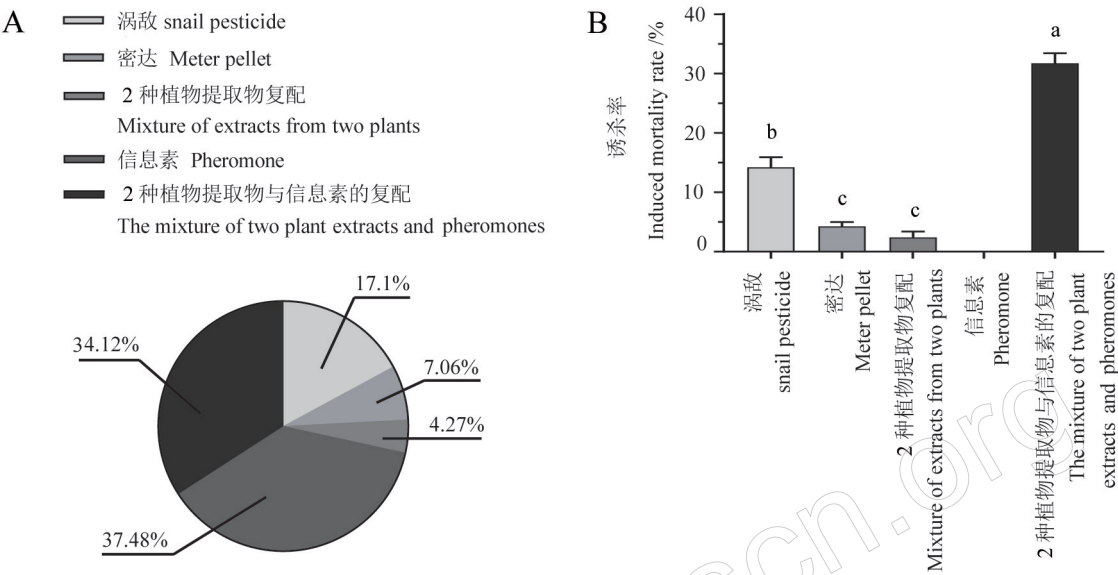


图 3 不同药剂或植物提取物对非洲大蜗牛的诱杀比较
Fig.3 Comparison of induced mortality in the different agent or plant extracts against *A. fulica*
A:引诱率;B:诱杀率。柱上不同小写字母表示不同药剂或植物提取物之间的诱杀率在 0.05 水平上差异显著。
A: Attractant rate; B: Induced mortality rate. Different lowercase letters denote a significant difference at 0.05 level among agent or plant extracts.

3 讨论

国内外对于灭螺药物的筛选,大部分集中在四聚乙醛、杀螺胺等化学药剂,这些化学农药的弊端也逐渐暴露(韩俊艳等,2011)。五爪金龙和薇甘菊都是中国南方地区危害很大的入侵植物(余细红和李韶山,2019; Yin *et al.*, 2020),利用五爪金龙和薇甘菊等入侵植物作为植物源杀毒剂在有效控制非洲大蜗牛的同时,有效治理了泛滥的入侵植物。

近年来,国内螺类诱捕研究侧重于通过简单对比,找寻一种或多种对螺取食有吸引力的物质或成分,且诱食技术的研究目的大部分是为了饲养食用螺(黄杰等,2020; 周爽男等,2017)。在低等动物到高等动物中都存在一类能对同种个体的摄食行为产生影响的信息素(唐丽花等,2009)。自然界中存在活蜗牛聚集性食用死蜗牛尸体的同类残食现象,因此推测非洲大蜗牛自身能分泌诱食信息素。本试验结果表明,从非洲大蜗牛腹足部腺体中收集到的信息素的诱食效果远远超过氨基酸类物质以及甜菜碱这类含硫化合物。

刘芳等(2015)测试了 4 种植物提取物的杀螺效果,夹竹桃 *Nerium indicum* Mill. 和半夏 *Pinellia ternata* Breit 组合灭螺效果明显优于单一植物浸提

液。本试验中,虽然五爪金龙提取物杀螺效果优于氯硝柳胺及灭螺灵,但是与四聚乙醛相比,在试验 24 h 后非洲大蜗牛才出现死亡,药效发作较慢。五爪金龙与薇甘菊这 2 种入侵植物提取物的混合物相较于单一的五爪金龙提取物,杀螺效果更强。不同的入侵植物中有效成分不同,杀螺机理不同,并且同种有效成分针对不同的物种作用效果也不同。因此,可以利用五爪金龙和薇甘菊等多种入侵植物开发不同配方的植物源杀螺剂,通过不同有效成分杀螺机理的互相作用,提高杀灭效率。

将诱食技术结合杀虫剂应用于害虫防治,可引诱害虫主动取食杀虫剂,改善大范围喷洒模式,在达到同样杀灭效果的同时,具有使用量少、使用简便且能保证诱杀剂不与其他植物接触造成污染和残留等优点,更加安全环保(曹海昌,2018; 修春丽等,2020)。单一的信息素对非洲大蜗牛的引诱效果最优但不具有毒杀效果,而 2 种植物提取物虽具有较强的杀螺效果但对非洲大蜗牛引诱效果较差。将信息素和 2 种植物提取物复配成诱杀剂,克服了两者的缺点。此次诱杀试验以信息素作为引诱剂,添加植物提取物复配成植物源诱杀剂为非洲大蜗牛等有害螺类的防治提供了新思路,为进一步实现诱食

剂量产提供了理论支持。而非洲大蜗牛的诱食信息素中是哪些物质在起吸引作用,入侵植物提取中哪些物质对非洲大蜗牛具有毒性,以及在非洲大蜗牛体内的毒杀机制等,还需进一步深入研究。

参考文献

- 曹海昌, 2018. 食诱剂诱杀技术在夏玉米虫害绿色防控上的试验示范情况. 科学种养 (9): 38-40.
- 陈晓娟, 何忠全, 高平, 2012. 10 种植物提取物对稻田福寿螺的毒杀活性. 西南农业学报, 25(4): 1294-1297.
- 戴建荣, 吴锋, 高智慧, 洪青标, 1997. B002 和氯硝柳胺及其复方对鱼类急性毒性的观察. 实用寄生虫病杂志, 5(4): 168-170.
- 韩俊艳, 张立竹, 纪明山, 2011. 植物源杀虫剂的研究进展. 中国农学通报, 27(21): 229-233.
- 贺泳, 高金彬, 朱玉芳, 黄亚民, 2014. 氯硝柳胺粉剂湖滩喷洒近期灭螺效果研究. 江苏科技信息 (22): 21-22.
- 黄杰, 易弋, 罗福广, 文衍红, 胡大胜, 兰健勇, 韩书煜, 2020. 田螺人工养殖诱食剂的筛选试验. 水产养殖, 41(7): 38-41, 45.
- 李萍, 李燕, 2008. 云南省非洲大蜗牛发生及防治研究. 云南大学学报(自然科学版), 30(S1): 203-205.
- 刘芳, 吴三林, 缪静, 张吉林, 刘超, 2015. 四种植物水浸提液对福寿螺的毒杀效果. 湖北农业科学, 54(19): 4734-4736, 4739.
- 孟锦绣, 詹希美, 程梅, 梁瑜, 李素丽, 甘明, 徐贵峰, 李卓雅, 余细勇, 蒋文玲, 李运雄, 何蒿, 2007. 广州市褐云玛瑙螺感染广州管圆线虫的调查分析. 中国人兽共患病学报, 23(2): 191-194.
- 莫博程, 2017. 柑橘大实蝇成虫诱杀剂和诱杀装置的筛选与应用. 硕士学位论文. 长沙: 湖南农业大学.
- 倪红, 马安宁, 张云, 耿鹏, 2010. 钉螺食物诱螺效果及在颗粒灭螺剂中的应用. 中国媒介生物学及控制杂志, 21(3): 208-210.
- 杞桑, 1985. 褐云玛瑙螺的生态研究. 生态学杂志 (5): 15-18.
- 钱久李, 秦俊豪, 黎华寿, 2016. 福寿螺植物源杀螺剂绿色农药的研究进展. 农药, 55(10): 707-714.
- 唐丽花, 王广军, 余德光, 谢骏, 2009. 诱食信息素对日本鳊的诱食效果研究. 安徽农业科学, 37(16): 7498-7499.
- 田宗立, 黄新动, 李文跃, 2014. 非洲大蜗牛发生特点及防治方法初探. 农民致富之友 (4): 58.
- 王轶, 朱平阳, 周小军, 朱丽燕, 何晓婵, 陈桂华, 2018. 四聚乙醛对铁皮石斛蜗牛的防治效果. 浙江农业科学, 59(9): 1553-1554.
- 修春丽, 李国平, 高宇, 栗爱丽, 陆宴辉, 2020. 食诱剂与不同诱捕器结合使用对棉铃虫成虫诱捕效果的影响. 植物保护, 46(2): 229-233, 253.
- 游意, 2016. 非洲大蜗牛的分布、传播、为害及防治现状. 广西农学报, 31(1): 46-48.
- 余细红, 李韶山, 2019. 外来入侵植物五爪金龙的防治及其资源化利用展望. 湖北农业科学, 58(4): 5-9.
- 元艺, 单晓伟, 李博, 何汇, 2020. 60% 四聚乙醛水分散粒剂杀螺效果评价. 热带病与寄生虫学, 18(3): 165-168.
- 曾坤玉, 胡飞, 陈玉芬, 陈建军, 孔垂华, 2008. 四种与福寿螺 (*Ampullaria gigas*) 同源地入侵植物的杀螺效果. 生态学报, 28(1): 260-266.
- 张涛, 2002. 氯硝柳胺的毒理学研究. 中国血吸虫病防治杂志, 14(3): 234-236.
- 周爽男, 杜学星, 彭瑞冰, 韩庆喜, 蒋霞敏, 2017. 不同诱食剂种类对管角螺幼螺摄食、生长的影响. 宁波大学学报(理工版), 30(6): 42-47.
- 周卫川, 陈德牛, 2004. 非洲大蜗牛的进境风险分析//田桂山. 中国青年农业科学学术年报. 北京: 中国农学会: 329-333.
- 朱丹, 闻海波, 刘和香, 徐钢春, 顾若波, 周晓农, 2010. 密达利对淡水鱼类的毒性研究. 中国血吸虫病防治杂志, 22(3): 284-285.
- 邹湘辉, 谢东, 吴丽娜, 查广才, 孙延杰, 2016. 入侵植物乙醇提取物对福寿螺胆碱酯酶活性的影响. 湖北农业科学, 55(6): 1451-1454.
- LIU C H, REN Y W, LI Z Y, HU Q, YIN L J, WANG H C, QIAO X, ZHANG Y, XING L S, XI Y, JIANG F, WANG S, HUANG C, LIU B, LIU H W, WAN F H, QIAN W Q, FAN W, 2020. Giant African snail genomes provide insights into molluscan whole-genome duplication and aquatic-terrestrial transition. *Molecular Ecology Resources*, 21(2): 478-494.
- CIOMPERLIK M A, ROBINSON D G, GIBBS I H, FIELDS A, STEVENS T, TAYLOR B M, 2013. Mortality to the giant African snail, *Lissachatina fulica* (Gastropoda: Achatinidae), and non-target snails using select molluscicides. *Florida Entomologist*, 96(2): 370-379.
- RODA A, MILLAR J G, JACOBSEN C, VEASEY R, FUJIMOTO L, HARA A, MCDONNE R J, 2019. A new synthetic lure for management of the invasive giant African snail, *Lissachatina fulica*. *PLoS ONE*, 14(10): e0224270.
- YIN L J, LIU B, WANG H C, ZHANG Y, WANG S, JIANG F, REN Y W, LIU H W, LIU C H, WAN F H, WANG H H, QIAN W Q, FAN W, 2020. The rhizosphere microbiome of *Mikania micrantha* provides insight into adaptation and invasion. *Frontiers in Microbiology*, 11: 1462.