

华中昆虫研究（第8卷）

雷朝亮 王满囤 赵树英 主 编

湖北科学技术出版社

编 委 会

主 编 雷朝亮 王满囤 赵树英

编 委 (按姓氏笔画为序)

牛长缨 文礼章 王小平 王佳璐

王满囤 帅移海 华红霞 李有志

原必荣 原国辉 郭线茹 黄求应

彭 宇 彭传华 雷朝亮

前 言

华中三省(湖北、湖南、河南)昆虫学会 2012 年学术年会暨全国白蚁防治学术研讨会于 2012 年 10 月 26—28 日在湖北省宜昌市召开。本次年会共收到学术论文和论文摘要 93 篇,主要涉及昆虫基础研究、农林害虫综合治理、有益昆虫利用、媒介生物、城市与水利工程白蚁治理等内容。既反映了昆虫学研究前沿领域的研究进展,又展示了生产第一线科技人员防治各类害虫的新经验、方法和策略,充分反映了近年来华中三省昆虫学研究及我国白蚁研究的重要成果,具有较高的理论水平和生产实用价值,对从事有害生物防治研究的教学与科研工作者具有较高的参考价值,对推动我国昆虫学事业发展和害虫控制新技术、新方法、新成果的应用具有重要的作用。

本论文集是由湖北省昆虫学会、河南省昆虫学会和湖南省昆虫学会共同组稿,论文集的出版得到了华中农业大学、湖北省植物保护总站、湖北省森林病虫害防治检疫总站、湖北省水利厅水利工程水下探测和白蚁防治中心、武汉市白蚁防治研究所、河南佳多科工贸有限责任公司、麻城白蚁防治研究所等单位大力支持,在此一并表示衷心感谢。

华中农业大学昆虫资源利用与害虫可持续治理湖北省重点实验室是本次学术研讨会的主办单位之一,论文的征集、修改及会议的筹备举办均得到了重点实验室全体老师的支持和帮助,在此一并表示衷心感谢。

由于时间仓促,编者水平有限,错误或遗漏在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

2012 年 9 月 6 日

目 录

• 文献综述 •	1
蛇床子素防护剂的研发及应用	1
昆虫嗅觉分子机理的研究进展	8
扶桑绵粉蚧研究进展	13
植物源杀虫剂防治绿豆象的研究进展	20
家蚕性信息素生物合成过程中几个关键性基因的研究进展	25
瓢虫对蚜虫功能反应的影响因子	30
蚜虫—植物—病毒的相互关系的研究概况	36
植食性昆虫寄主选择理论:历史与现状	43
引诱夜蛾的植物挥发物研究进展	46
中华蜜蜂良种培育及其主要病虫害防治	50
• 基础昆虫研究 •	54
荧光增白剂对杆状病毒病毒粒子与中肠上皮细胞融合的影响	54
不同玉米品种丁布含量及其与抗螟性的关系	58
转双价基因抗虫棉和转基因抗虫抗除草剂棉的挥发性气味谱特征	64
应用国际标准化色码卡研究甘薯天蛾幼虫体色分化特点初探	69
UV—A 对黑腹果蝇产卵影响的初步研究	75
空心莲子草野螟人工饲养初步研究	79
视觉在云斑天牛配偶定位过程的作用	82
拟环纹豹蛛交配和同类相食行为影响因子分析	86
不同防控措施区域稻田廊道生物群落调查	90
两个地区锈赤扁谷盗磷化氢抗性测定及过氧化氢酶活性比较	95
豇豆荚螟 <i>Maruca testulalis</i> 成虫气味源引诱物初筛	101
转三价 <i>Bt</i> 棉对棉蚜生长发育及体内消化酶的影响	108
几种药剂对二化螟的室内毒力测定	114
甜菜夜蛾白僵菌菌株分离及生物学特性研究	118
• 有害生物治理 •	123
湖北棉花害虫种类调查及其主要害虫发生特点初报	123
亚致死剂量的磷化氢熏蒸对嗜虫书虱种群生长发育的影响	131
郴州市稻飞虱重发生原因及综防对策	136
泽漆提取物对烟粉虱触杀活性的初步研究	139

硼酸胶饵与现场滞留喷洒灭蟑效果比较研究·····	143
甜菜夜蛾核型多角体病毒生物杀虫剂防治甜菜夜蛾田间药效试验·····	147
高大平房仓储粮磷化氢熏蒸散气后残留量变化研究·····	150
湖北省茶树害虫种类和分布情况调查初报·····	154
玉米螟绿色防控配套技术高效低毒低残留农药筛选试验研究·····	161
不同药剂拌种防治花生田地下害虫药效试验·····	165
10 种药剂防治豇豆豆野螟田间药效试验 ·····	168
防治水稻稻飞虱几种主要药剂效果比较·····	171
湖北小地老虎发生规律及综合防治·····	174
30%毒死蜱微囊悬浮剂防治草坪斜纹夜蛾药效试验·····	177
黄淮流域大葱甜菜夜蛾不同药剂防治效果试验研究·····	180
“生物导弹”在玉米螟绿色防控中的应用与效果·····	184
智能杀虫平台在棉花、水稻上的应用 ·····	187
堤防杨树主要害虫防治·····	191
0.5%吡虫啉·杀虫单缓释剂(药肥混剂)防治玉米蚜虫、玉米螟药效试验·····	194
50%吡蚜酮泡腾片剂对小麦蚜虫的防效研究·····	197
150g/L 茚虫威悬浮剂防治甘蓝甜菜夜蛾田间药效试验 ·····	199
5%阿维·高氯泡腾片防治甘蓝小菜蛾田间药效试验 ·····	202
25%噻虫嗪水分散粒剂防治棉花蚜虫田间药效试验·····	205
虫酰肼悬浮剂防治甘蓝甜菜夜蛾大田药效示范试验报告·····	208
螺虫乙酯对小麦吸浆虫的防治效果·····	211
• 城市与水利工程白蚁治理 • ·····	214
甘蔗白蚁防治研究进展·····	214
基质效应对气相色谱检测药土屏障中氰戊菊酯含量影响的试验·····	218
房屋装饰装修白蚁危害及预防·····	223
湖北省水利工程白蚁防治现状及对策研究·····	229
加强漳水库白蚁防治工作的措施与方法·····	233
湖北省汉江流域堤防白蚁危害现状及治理措施·····	236
常德市四种主要白蚁的 mtDNA RFLP 指纹图谱的初步构建 ·····	240
萍乡市园林植物的白蚁危害、种类、防治对策及其危害规律研究·····	246
水利防洪工程蚁害控制措施探讨·····	250
白蚁巢穴定位灌浆修复技术的应用·····	254
等翅目分类学研究进展·····	257
白蚁防治新技术在漳水库的应用与推广·····	264
白蚁隐患探测仪在水利堤坝中的应用·····	268
定位灌浆法在灭治黑翅土栖白蚁技术中的应用研究·····	272
汉江堤防白蚁防治实践和对策研究·····	276
湖北省鲁城水库黑翅土白蚁蚁巢解剖与分析·····	281
黄石市白蚁危害现状及防治对策·····	285

柳杉精油化学组分及对白蚁的生物活性研究·····	289
打孔灌药技术在白蚁防治中的应用·····	293
水库除险加固工程中白蚁综合治理技术初探·····	298
农村住房白蚁监测技术研究·····	302
浅层毒土处理是防治堤坝白蚁行之有效的办法·····	307
浅谈堤坝白蚁的危害特点·····	309
浅谈白蚁巢的形成、特点及防治方法·····	312
浅谈渠道工程白蚁防治·····	317
渠道工程白蚁防治初探·····	321
三峡库区文物建筑的白蚁防治·····	325
简论水利工程白蚁防治技术方略·····	328
水利工程穿堤蚁道的分类及特性研究·····	334
吴岭水库大坝白蚁防治研究·····	339
水利林木白蚁危害及防治研究进展·····	342
规范水利工程白蚁防治技术的思考·····	347
黄胸散白蚁串联追逐行为应对蚂蚁捕食的规避研究·····	350
吴岭水库白蚁危害及防治对策·····	351
小浪底水利枢纽管理区白蚁习性初探·····	354
• 论文摘要 • ·····	360
萤火虫(鞘翅目:萤科)防卫行为研究·····	360
园林害虫重阳木锦斑蛾的生活习性及其防治·····	361
棉铃虫幼虫味觉栓锥感器味觉神经元的投射通路·····	362
“生物导弹”持续控制松毛虫效果与评价·····	363
利用 RNAi 技术沉默 B 型烟粉虱 P450 CYP6CM1 基因·····	365
不同寄主植物上烟蚜 <i>Myzus persicae</i> (Sulzer) 的种群动态·····	366
甜菜夜蛾雄蛾对性信息素的行为反应受飞行活动节律控制·····	368
棉铃虫滞育蛹和非滞育蛹的细胞免疫研究·····	370
利用环介导等温扩增技术(LAMP)检测烟粉虱体内的瓜类褪绿黄化病毒(CCYV)·····	372
运用地理岛屿生态学设计中小学环境教育课程的策略·····	373
基于核糖体 18SrDNA 和 28SrDNA 基因序列的天牛部分种类系统发育研究·····	375

蛇床子素防护剂的研发及应用^{*}

谢令德¹ 贺艳萍¹ 沈茜¹ 刘栋枝¹ 唐宏泉² 陈传林² 胡亚群²

(1. 武汉工业学院食品学院, 武汉 430023; 2. 武汉天惠生物工程有限公司, 武汉 430070)

摘要:简述了新型植物杀虫剂蛇床子素的杀虫活性结构、物理特性、化学特性、杀虫作用方式、毒性、环境毒理及其对储粮害虫的药效试验和实仓应用技术的最新研究成果, 为国库和农户储粮害虫防治和推广应用提供科学依据。

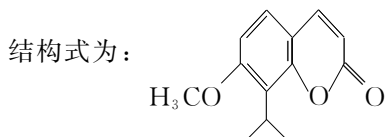
关键词:蛇床子素; 储粮害虫; 防护剂

蛇床子为伞形科植物蛇床 *Cnidium monnieri* 的果实。该植物为一年生草本, 生长于原野、田间、沟溪边等潮湿处, 主产于内蒙、河北、浙江、江苏、湖北、四川等省区。祖国医学用作中药, 主治温肾壮阳、燥湿、祛风等^[1], 具有杀虫、抑菌、抗衰老、抗骨质疏松、抗诱变、抗癌、松弛血管、抗过敏、杀水生藻类等活性。现已作为中药材被广泛地用于医疗方面。

由于 20 世纪中期化学农药的发现且无限制地广泛使用, 造成了严重的环境污染和害虫抗药性, 迫使人们反思使用化学农药的后果, 寻找新的低毒、低污染、抗性低的新农药和新技术。这一过程中, 早期广泛使用后来又被遗忘的植物源农药被人们重新认识和研发, 印楝、除虫菊等一批杀虫效果好、毒性低的生物农药又出现在世界农药市场上, 越来越受到各国政府的欢迎和使用^[2-4]。武汉工业学院、武汉天惠生物工程有限公司等在“十五”国家科技攻关课题“无公害储粮杀虫剂应用技术研究开发与示范”(2004BA523B03)和“十二五”“粮食丰产科技工程”重大专项(2006BAD0218-01)的支撑下, 研究开发了 0.4% 蛇床子素乳油、1.0% 蛇床子素粉剂^[5,6], 作为我国储粮害虫防治专用的新型高效、低毒、低残留、无污染生物源储粮防护剂, 目前已在国家粮库和农户中推广使用。以下就蛇床子素的主要研究成果做一简要汇报。

1. 蛇床子杀虫活性成分结构及其主要特性

蛇床子素为其蛇床子中的主要杀虫抑菌活性物质。其化学名称: 7-甲氧基-8-(3'-甲基-2'-丁烯基)-1-二氢苯并吡喃酮, 分子式为 $C_{15}H_{16}O_3$ 。



相对分子质量(按 1995 年国际相对原子质量计): 244.28

生物活性: 杀虫、抑菌

^{*} 基金项目: “十二五”国家科技支撑计划“粮食丰产科技工程”项目(2011BAD16B16)。

作者简介: 谢令德, 男, 1955 年生, 博士, 教授, 研究方向为储藏物害虫与防治, E-mail: xianld@163.com。

熔点:83~84℃

沸点:145~150℃

溶解度(g/L,20℃):不溶于水和冷石油醚、易溶于丙酮、甲醇、乙醇、三氯甲烷、醋酸乙酯。

稳定性:在普通贮存条件下稳定,在 pH 5~9 溶液中无分解现象。蛇床子素非常稳定,常规贮藏条件下的产品三年之内不会失活。对中性、弱酸性、弱碱性环境都稳定;强碱、强氧化剂和强紫外光照射会使其分子结构遭受破坏而失去生物活性。

2. 蛇床子素作用方式和作用机理初步研究

作用方式:以触杀为主,兼具驱避作用和干扰昆虫生长发育调节作用。

作用机理:江苏农科院石志琦研究员研究发现蛇床子素能抑制小菜蛾幼虫体内的酚氧化酶和乙酰胆碱酯酶的活性^[7,8]。据此初步推断,蛇床子素可能作用于昆虫脱皮,干扰昆虫和丝状真菌几丁质的合成,使虫体不能正常脱皮而死亡。作用于神经传导过程中,造成突触传导后电位异常,使害虫痉挛死亡。至于对其它作用靶标如钠离子通道、GABA 受体等作用机理有待进一步研究。

3. 蛇床子素毒性及其环境毒理学研究

由国家指定的同济医科大学农药毒理研究中心先后对 2.0%蛇床子素原液、0.4%蛇床子素乳油、1.0%蛇床子素粉剂进行了毒理学研究。结果:2.0%蛇床子素原液对雌性大鼠的经口 LD₅₀ 为 3162.8mg/kg,对雄性大鼠的经口 LD₅₀ 为 3687.6mg/kg,属低毒农药。0.4%蛇床子素乳油对雌雄性大鼠的急性经口 LD₅₀ >5000mg/kg,属于低毒;对雌雄性大鼠的急性经皮 LD₅₀ >2000mg/kg,属于低毒;对大耳白兔的皮肤无刺激性;对大耳白兔的眼睛无刺激性;对豚鼠的皮肤的致敏性分为 1 级,属弱致敏物。1.0%蛇床子素粉剂对雌雄性大鼠的急性经口 LD₅₀ >681mg/kg,属于低毒;对雌雄性大鼠的急性经皮 LD₅₀ >2000mg/kg,属于低毒;对家兔的皮肤无刺激性;对家兔的眼睛属轻度刺激性;对豚鼠的皮肤的致敏性分为 1 级,属弱致敏物。所以,2.0%蛇床子素原液、0.4%蛇床子素乳油、1.0%蛇床子素粉剂均属于低毒或微毒农药。

由国家环境保护总局南京环境科学研究所对 0.4%蛇床子素乳油进行了环境生物的毒性和安全性评价。实验表明:对蜜蜂 24 小时的 LC₅₀ 为 1.19mg/L,属于高毒;对家蚕的 LC₅₀ 为 0.32mg/kg,属于剧毒。由于在仓库使用,不会接触蜜蜂和桑树,因此是安全的。

经中国绿色食品发展中心审查,认定武汉天惠生物工程有限公司生产的天惠虫清(蛇床子素杀虫剂)符合 A 级绿色食品生产要求,推荐为 A 级绿色食品生产资料(编号:LSSZ-0505011713A)。

4. 蛇床子素防治储粮害虫药效试验

4.1 0.4%蛇床子素乳油

国家粮食储备局成都粮食科学研究所和浙江省粮食科学研究所为国家指定的储粮药剂药效试验单位。试验于 2006 年 8 月份完成,试验结果见下表 1:

结论如下:0.4%蛇床子素乳油杀虫剂按制剂浓度 100mg/kg(相当于有效成分为 0.4mg/kg)以上使用,对三种主要储粮害虫的成虫、卵、蛹和幼虫防治效果非常明显,并且可以有效抑制 3 种主要储粮害虫(玉米象、谷蠹和赤拟谷盗)其子代的发展。

表 1 0.4%蛇床子素乳油杀虫剂处理 14 天后对 3 种试虫毒力

害虫名称	作用剂量	校正死亡率 (%)	对照药剂* 的校正死亡率 (%)	试验单位
玉米象	制剂 100mg/kg	100	100	成都粮科所
谷蠹	制剂 100mg/kg	100	96.6	
赤拟谷盗	制剂 100mg/kg	100	52.1	
玉米象	制剂 100mg/kg	100	100	浙江粮科所
谷蠹	制剂 100mg/kg	100	99.37	
赤拟谷盗	制剂 100mg/kg	100	97.39	

注：* 指马拉硫磷药剂对照，有效成分含量为 20.00mg/kg。

4.2 1.0%蛇床子素粉剂

由国家粮食储备局成都粮食科学研究所和广东省粮食科学研究所为国家指定的储粮药剂药效试验单位。试验于 2008 年 6 月份完成，试验结果见表 2、表 3。

表 2 1.0%蛇床子素粉剂杀虫剂处理 14 天后对 4 种试虫毒力试验

有效浓度	虫种	校正死亡率 (%)	
		成都粮科所	广东粮科所
0.25mg/kg	玉米象	100	100
	谷蠹	95.2	95.3
	书虱	100	100
	赤拟谷盗	—	100
0.50mg/kg	玉米象	100	100
	谷蠹	100	97.7
	书虱	100	100
	赤拟谷盗	—	100
0.75mg/kg	玉米象	100	100
	谷蠹	100	100
	书虱	100	100
	赤拟谷盗	—	100
药剂对照**	玉米象	100	100
	谷蠹	96.6	95.4
	书虱	100	100
	赤拟谷盗	—	44.2
空白对照*	玉米象	0.7	5.3
	谷蠹	2.7	15
	书虱	0	22
	赤拟谷盗	—	2.7

注：—表示未进行试验；* 空白对照结果为死亡率；** 马拉硫磷为药剂对照，成都所用有效成分含量为 15.00mg/kg，广东所用有效成分含量为 30.00mg/kg。

表 3 1.0%蛇床子素粉剂对 4 种储粮害虫模拟实仓药效结果

有效浓度	虫种	虫口抑制率(%)			
		14 天		42 天	
		成都粮科所	广东粮科所	成都粮科所	广东粮科所
0.25mg/kg	玉米象	100	100	100	100
	谷蠹	50	91.3	100	100
	书虱	100	—	100	—
	赤拟谷盗	—	100	—	100
0.50mg/kg	玉米象	100	100	100	100
	谷蠹	100	100	100	100
	书虱	100	—	100	—
	赤拟谷盗	—	100	—	100
0.75mg/kg	玉米象	100	100	100	100
	谷蠹	100	100	100	100
	书虱	100	—	100	—
	赤拟谷盗	—	100	—	100
药剂对照 *	玉米象	100	100	100	100
	谷蠹	75	88.3	0	96
	书虱	100	—	100	—
	赤拟谷盗	—	100	—	100

注：—表示未进行试验；* 马拉硫磷为药剂对照，成都所用有效成分含量为 15.00mg/kg，广东所用有效成分含量为 30.00mg/kg。

结论如下：1.0%蛇床子素粉剂杀虫剂按 0.5mg/kg 以上的有效浓度使用，对四种主要储粮害虫的成虫、卵、蛹和幼虫防治效果非常明显，并且可以有效抑制 4 种主要储粮害虫（玉米象、谷蠹、书虱和赤拟谷盗）其子代的发展。对于谷蠹发生较频繁的长江以南地区，有效浓度宜在 0.75mg/kg 以上。

5. 蛇床子素防治储粮害虫实仓应用试验

在武汉工业学院中试粮仓进行实仓试验。0.4%蛇床子素乳油按 0.4mg、0.8mg/kg 有效浓度处理，1.0%蛇床子素粉剂以 0.5mg/kg、0.75mg/kg 有效浓度处理，每仓装粮 250kg，每处理 2 次重复，设空白对照。处理后每隔 1 个月调查一次虫口密度，12 个月后调查虫蚀率。结果见表 4。

表 4 表明，用 0.4%蛇床子素乳油有效浓度为 0.4mg/kg、0.8mg/kg 时，可以有效控制玉米象、谷蠹等主要储粮害虫的发生与危害，处理 12 个月后，防治效果仍达 90.8%~92.3%；1.0%蛇床子素粉剂有效浓度为 0.5mg/kg、0.75mg/kg 时，各处理小麦中主要储粮害虫数量显著低于对照，处理 12 个月后，防治效果达到 91.4%~93.3%，防护期达一年。

表 4 不同药剂处理后小麦中害虫的发生情况

处理剂量(mg/kg)		处理后不同月份的虫口密度(头/kg)						12 个月后	
		1	3	5	7	9	11	虫蚀率(%)	防效(%)
0.4%蛇床子素乳油	0.4	0.0	1.0	2.1	1.9	2.4	4.5	6.2	90.8
	0.8	0.0	0.6	1.2	1.0	1.3	3.5	5.2	92.3
1%蛇床子素粉剂	0.5	0.0	1.1	2.3	2.5	3.5	4.9	5.8	91.4
	0.75	0.0	0.8	1.2	1.3	2.6	3.2	4.5	93.3
空白对照		3.8	17.2	9.5	24.3	25.6	51.5	67.5	

注:表中虫口密度为玉米象和谷蠹等活虫数量。

6. 蛇床子素防护剂施药技术研究

蛇床子素粉剂施药时只需和处理粮食直接拌合均匀,不需要其他设备和材料,农户和国库皆可采用。而蛇床子素乳油使用时先与砻糠等填充料拌合,再与粮食拌合均匀储藏。

蛇床子素农药以触杀作用为主,兼具驱避作用,因此可作为储粮防护剂使用。作为防护剂使用的注意事项和条件适用于蛇床子素。首先要对粮仓进行必要的空仓消毒,采用蛇床子素药剂喷施或敌敌畏熏蒸处理,以减少虫源感染;药剂处理粮食根据情况可采用以下几种方式:①表层处理,处理表层粮 30~50cm 即可,有条件的达到 100cm 左右更好;②分层处理,一般进行表层和底层进行药剂拌合处理;③全仓处理,全仓粮食拌合处理。同时对粮仓四周及其门、窗等部位撒施药剂作防虫线。

7. 蛇床子素处理后的粮食品质分析

为了检验使用蛇床子素杀虫剂后对粮食品质的影响,按照国家相关标准对药剂处理 1 年内的稻谷进行了品质分析,结果如下:

表 5 蛇床子素处理后的稻谷品质分析结果

仓房	检验日期	数量(t)	入库日期时间	色泽	气味	水分(%)	黏度(mm ² /s)	发芽率(%)	脂肪酸值(mgKOH/100g)	品尝评分值(分)
8 号仓	2006.4.10	1528	2005.10	正常	正常	13.8	9.8	97	19.8	80
	2006.7.20			正常	正常	13.8	9.5	95	21	79
	2006.9.10			正常	正常	13.8	9.4	94	22.1	78
4 号仓 (对照仓)	2006.4.10	1839	2005.10	正常	正常	13.9	9.8	98	19.8	80
	2006.7.20			正常	正常	13.9	9.5	96	20	79
	2006.9.10			正常	正常	13.9	9.5	90	22.1	78
	2006.9.10			正常	正常	13.9	9.5	90	22.1	78

注:8 号仓使用剂量 0.8mg/kg。

表 5 表明,用 0.4%蛇床子素乳油(0.4mg/kg、0.8mg/kg)处理的粮食与磷化铝常规熏蒸处理相比,对储存粮食的品质无不利影响。

广东省粮食科学研究所对施用蛇床子素粉剂对后的稻谷品质进行了测定,结果如见表 6。实仓试验 640d 后,拌药的稻谷各项品质指标与不拌药的稻谷比较,各项品质指标均无显著劣变,其脂肪酸值还低于对照组,表明施用蛇床子素粉剂对粮食品质无不良影响。

表 6 蛇床子素粉剂 640d 后对稻谷品质的影响(广东)

处理号	处理	品质指标					
		水分 (%)	黄粒米 (%)	不完善粒 (%)	脂肪酸值 (KOH/干基)/(mg/100g)	色泽 气味	品尝评分值 (分)
1	不拌药	13.0	0	3.3	26.5	正常	71
2	表层拌药	12.5	0	2.4	22.6	正常	76
3	全部拌药	12.2	0	2.9	20.6	正常	77

中央储备粮武汉直属库对使用蛇床子素粉剂处理后的玉米进行了品质检测,见表 7。结果表明,1.0%蛇床子素粉剂防护储粮 1 年后,根据 GB 1353—2009《玉米》,被保护储粮为 2 等品,空白对照仓为等外品。该药对储粮品质无不良影响,保证了储粮品质。

表 7 实仓玉米储存 12 个月后的质量检测(武汉)

处理仓	水分(%)	容重(g/L)	不完善粒(%)	颜色	气味
空白对照仓	15	560	72.7	霉	霉
50g/t 表层拌药	13.5	685	8.5	正常	正常
50g/t 全仓拌药	13.5	690	7	正常	正常
75g/t 表层拌药	13.5	695	7.5	正常	正常
75g/t 全仓拌药	13.5	690	6.5	正常	正常

8. 蛇床子素在粮食储藏安全中的应用前景分析

蛇床子素作为无公害防护剂使用,具有杀虫活性高、对人畜安全、使用安全、使用方法简便、防护期时间较长、减少熏蒸次数、降低害虫抗药性、保持储粮品质等优点,可在农户和国库中大面积使用。

蛇床子素对于农户储存一年期的新粮来讲在进仓时拌合使用,可基本保证全年安全储藏。对储存一年以上的国库来讲,需与其他熏蒸、低温等措施配合使用,可减少熏蒸次数,保证储藏安全。

参 考 文 献

[1] 徐国钧. 中草药彩色图谱. 福州:福建科学技术出版社,1990,466.
[2] 吴文君,高希武. 生物农药及其应用. 北京:化学工业出版社,2004.
[3] 张友军. 无公害农药使用指南. 北京:中国农业出版社,2003.

- [4] 陈万义,薛振祥,王能武. 新农药研究与开发. 北京:化学工业出版社,1995.
- [5] 姚英娟,薛东,杨长举,等. 蛇床子提取物对几种储粮害虫的驱避和触杀效应. 昆虫知识,2006,43(4): 23—25.
- [6] 潘俊,谢令德,贺艳萍,等. 1.0%蛇床子素粉剂实仓应用的储粮害虫防效研究. 中国粮油学会第五届学术年会论文选集,2008,308—311.
- [7] 石志琦,沈寿国,范永坚,等. 蛇床子素对植物病原真菌抑制机制的初步研究. 农药学学报,2004,6(4): 28—32.
- [8] Shi Z, Shen S, Zhou W, et al. Fusarium Graminearum Growth Inhibition Due to Starvation Caused by Osthol. International Journal of Molecular Sciences,2008,9,371—382.

昆虫嗅觉分子机理的研究进展

范荫荫 李为争 原国辉

(河南农业大学植物保护学院, 郑州 45002)

摘 要:灵敏的嗅觉对昆虫适应环境和种群繁衍具有重要的生物学意义。昆虫对气味的识别过程是非常复杂的, 气味结合蛋白、气味受体以及气味降解酶等多种蛋白参与了这一过程, 综述了嗅觉相关蛋白和信号传导等方面的最新研究进展。

关键词:嗅觉感器; 气味结合蛋白; 气味受体; 受体传导机制

昆虫是地球上种类最为丰富的类群, 在长期的进化中, 其嗅觉系统已经成为一个高度专一和极其灵敏的化学检测器, 可以识别环境中特异性的化学气味分子, 并依此作为觅食、求偶、选择寄主及产卵场所和躲避天敌的信息, 对昆虫适应环境和种群繁衍具有重要的生物学意义^[1]。探索昆虫对外界气味分子的识别机制, 不仅有利于阐明昆虫行为反应的本质原因, 为研究无脊椎和脊椎动物的嗅觉行为提供理想的模型, 而且为我们开发害虫嗅觉干扰剂从而控制害虫数量提供科学理论依据。

研究表明, 昆虫对环境中特异性气味的嗅觉识别过程非常复杂, 有多种蛋白参与这一过程, 这些蛋白主要包括气味结合蛋白(odorant binding proteins, OBPs)、气味受体(odorant receptors, ORs)、气味降解酶(odorant degrading enzymes, ODEs)和感觉神经元膜蛋白(sensory neuron membrane proteins, SNMPs)等^[2]。本文综述了嗅觉相关蛋白及嗅觉信号传导等方面的最新研究进展。

1. 嗅觉感器及嗅觉识别过程

嗅觉感器多分布于昆虫的触角和触须上, 形状和大小变化很多, 在不同昆虫间, 其分布与数量亦变化很大, 嗅觉感器根据形态可分为 3 类: 毛形感器、锥形感器和腔锥形感器。在果蝇中, 嗅觉感器位于触角的第 3 节以及口器的下颚须上。每个嗅觉感器含有 1 至 4 根嗅觉神经元(olfactory receptor neurons, ORNs), 这些神经细胞属于双极神经元, 树突端延伸到嗅觉感器, 并浸没在表皮细胞分泌的富含钾离子和蛋白质的淋巴液内, 树突部的细胞膜上能特异性表达相应的嗅觉受体蛋白^[3], 表达相同嗅觉受体 ORNs 的轴突端汇集到触角叶中相同的嗅小球中^[4]。触角叶中的功能组织与脊椎动物的嗅球相似, 是传递和处理嗅觉信息的初级中枢。在嗅小球中, ORNs 的突触连接到二级神经元, 称为投射神经元(projection neurons, PNs), PNs 的轴突投射到位于蘑菇体(mushroom body, MB)和原脑叶外侧角(lateral horn, LH)等区域的三级神经元^[4], 从而在昆虫的脑部形成关于该气味分子的抽象信息, 引发相应的行为。

嗅觉感器的表皮上分布有许多微孔, 环境中的气味能通过这些微孔扩散到嗅觉感器的淋巴液中, 通过与水溶性的气味结合蛋白形成复合物或直接作用到 ORNs 树突膜上的嗅觉受体上, 刺激嗅觉神经, 产生动作电位, 最后传入中枢神经系统, 引起相应的行为反应。嗅觉信号的终止依赖于气味降解酶, 它可以迅速降解气味分子从而终止气味信号的持续刺激(图 1)^[5]。

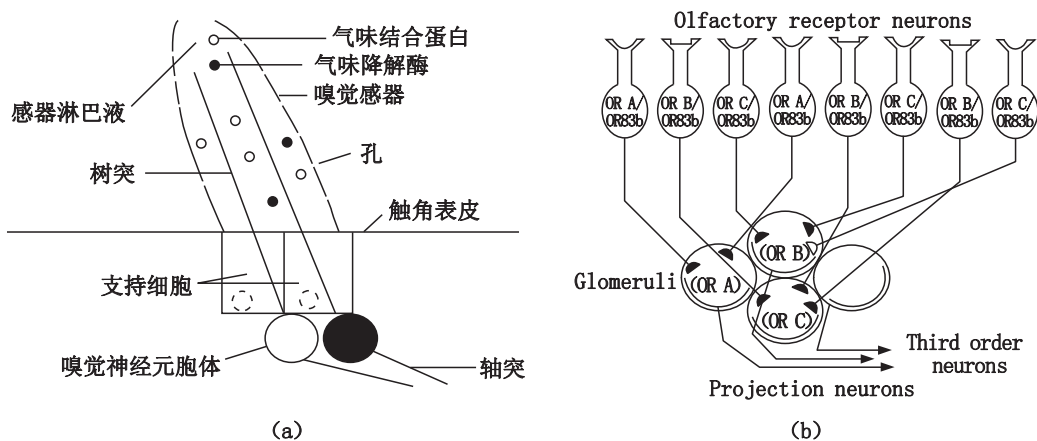


图 1 昆虫嗅觉感器结构及嗅觉信息传递示意图

2. 嗅觉相关蛋白

2.1 气味结合蛋白

气味结合蛋白(OBP)是水溶性、在感受器淋巴液中高度表达的一类蛋白,这些分泌蛋白大都含有保守的半胱氨酸残基,目前认为其功能主要是对气味分子进行初步过滤和识别,运输疏水性气味受体分子到达受体。根据其结合配体,通常将气味结合蛋白分为性信息素结合蛋白(pheromone binding protein, PBP)、普通气味结合蛋白(general odorant binding protein, GOBP)2类,PBP 主要存在于感受性信息素的毛形感器中,与昆虫感受性信息素有关^[2];也有研究表明,家蚕的 PBP 在性信息素处理过程中可能起过滤作用^[6]。GOBP 则存在于锥形感器中,在昆虫感受植物挥发性气味、捕食者发出的气味等过程中发挥作用^[7]。黑腹果蝇的 LUSH(OBP76a)是第一个功能明确的气味结合蛋白,LUSH 能被特定的性信息素刺激引起其构象的改变,激活了对性信息素敏感的神经元^[8]。LUSH 不是一个简单的气味分子传输者,它还可以调节信息素分子与神经元的相互作用,可能直接与受体蛋白相互作用或与信息素分子一起激活受体蛋白^[9]。

2.2 气味受体

昆虫的气味受体分为两类,一类是传统气味受体(Conventional odorant receptors, COR),每种昆虫含有多种传统气味受体,不同昆虫之间含有的数量差异较大;另一类是 Or83b 家族受体,每种昆虫只含有一种。Or83b 家族受体在大部分嗅觉神经元中与传统气味受体共同表达,而传统气味受体只在嗅觉神经元中有选择的表达,且表达量较低。传统气味受体决定嗅觉神经元对气味分子的反应特异性,而 Or83b 则不与气味分子反应但对传统气味受体的正常功能却是不可或缺。两类气味受体的氨基酸序列中均含有 7 个跨膜区^[10,4]。最近发现了一个果蝇气味受体蛋白家族,这个家族并不具有 7 个跨膜区的特征,这个家族被命名为离子型谷氨酸盐受体(IRs)家族^[11]。

气味受体基因功能的研究目前还局限于少数几种基因组测序已完成的昆虫,其中对果蝇的研究比较深入。除了采用生物信息学、体内定位表达和基因编码产物相互作用蛋白研究等方法推测气味受体基因的功能外,将气味受体基因导入特定的细胞和个体、或通过气味受体基

因的缺失和沉默技术,来观察细胞生物学行为或个体表型的遗传性状变化,已被证明是气味受体基因功能研究的有效方法^[10]。如在爪蟾卵母细胞中注射表达气味受体的 cDNA,双电极电压钳(two-electrode voltage clamp,TEVC)记录结果表明,腐烂果实的气味物质环己酮、环己醇、苯甲醛和苯甲醇可以激活果蝇的 DOR43a 气味受体^[12]。在利用基因缺失突变体研究气味受体基因功能方面,目前的工作主要在耶鲁大学的 John R. Carlson 实验室开展,该实验室研究人员将果蝇 ab3A 嗅觉神经元中的 DOR22a 和 DOR22b 两个气味受体基因敲除成“空神经元”(empty neuron, Δ halo),利用 Δ halo 这一工具已鉴定出果蝇、冈比亚按蚊和家蚕的一些气味受体基因的功能^[13,14]。此外研究表明缺失 *Or83b* 基因突变体果蝇的神经元依然能够感受相应的气味分子,但是效率大大降低^[15,12],而且影响传统气味受体在神经元细胞内的定位,引起嗅觉反应降低,同时研究发现,*Or83b* 是昆虫气味受体定位在树突上所必须的^[16]。

2.3 气味降解酶

当气味分子激活气味受体后,昆虫气味受体为避免受连续的刺激,因此必须将气味分子降解,这一重要生理过程是在被称为气味降解酶(ODE)的蛋白质参与下完成的。1981 年 Vogt 和 Riddiford 首先在多音大蚕蛾触角中发现作为气味降解酶的酯酶,近年来随着对昆虫 ODE 研究的深入,发现了除酯酶外的多种气味降解酶,如醛氧化酶、环氧化物水解酶以及谷胱甘肽-S-转移酶等,其中对昆虫触角的细胞色素 P450 研究最为深入。细胞色素 P450 是一个超级家族,目前从 20 多种昆虫中鉴定出上百个细胞色素 P450 基因。在模式生物家蚕中已经鉴定出了 7 个细胞色素 P450 基因,其中 CYP6AE21 在触角有高水平的表达,并且此蛋白定位在细胞质中,表明该 P450 需要在气味分子或失活后的信息素内进入到细胞内才能起到降解清除作用^[17]。Maibeche-Coisne 等试验结果也证明 CYP4AW1 是甘蓝夜蛾 *Mamestra brassicae* 的一种信息素降解酶^[18]。

3. 受体传导机制

哺乳动物气味受体属于 G 蛋白偶联受体(GPCRs)超级家族,有 7 个跨膜区,N 端在胞外,C 端在胞内。昆虫气味受体虽然具有 7 个跨膜区,但是与哺乳动物气味受体没有同源性,通过跨膜区预测发现,果蝇气味受体 N 端在细胞内、C 端在胞外的拓扑异构与 GPCRs 受体刚好相反,而果蝇 DOR83b 受体和 GPCRs 具有相反的拓扑结构已经被证明^[16],所以昆虫气味受体不太可能是 G 蛋白偶联受体。随后愈多研究发现昆虫气味受体是一种激活离子通道的离子通道型受体,在果蝇离子通道的激活过程中,昆虫气味受体是离子通道的一部分,而在脊椎动物中离子通道的激活是与气味受体分开的。因此,昆虫的信号传导机制和脊椎动物并不相同,但关于昆虫的信号传导机制至今仍旧不是很清楚。

Sato 等用第二信使 cAMP、cGMP 和 IP₃ 刺激果蝇 Or47a/Or83b 表达的 HeLa 细胞系,不能引起电流的产生,而磷酸酶 C 的抑制剂也不能引起钙离子的变化。因此认为 OR/OR83b 复合体具有离子通道的功能,直接被气味配体激活^[19]。如果形成的是离子通道,那么不论是 Or83b 与 Or47a 形成的异构体离子通道,还是 Or83b 形成的同聚体离子通道并没有被证实。Kaupp 认为,昆虫 ORs 形成异构体离子通道,一个配基结合配体,另一个配基作为门离子通道^[20]。Wither 等作了同样的研究,他们将 Or22a 和 Or83b 在人体胚胎干细胞(HEK293)中共表达,cAMP 类似物可以诱导跨膜电流,而且 OR83b 可以单独形成对 cAMP 敏感的通道,但单独表达 Or22a 则不能诱导跨膜电流。结果证实,一是 DOr22a 直接激活 DOr83b,从而导致

一个快速而短暂的离子传导;二是 DOr22a 先激活 G 蛋白,产生 cAMP 后,在 cAMP 刺激下进行速度较慢、持续时间较长的离子传导^[21]。这些发现又产生了争议,昆虫气味受体到底是 G 蛋白偶联受体还是离子通道受体,但是更有可能昆虫气味受体既是 G-蛋白偶联也是离子通道受体。

Kiely 将果蝇气味受体的激活模式归纳为 3 种,第一种是 Or83b 与配体 ORs(传统气味受体)形成异构体构成离子通道(A);第二种是 Or83b 形成一个同聚体离子通道,而配体 ORs 直接传达对配基的感应(B);第三种是配体 ORs 活化后激活了 G 蛋白,G 蛋白又激活了腺苷酸环化酶(AC)的活性,AC 又促进了 cAMP 信号的产生,而 cAMP 激活了 Or83b 的离子通道活性(C)。昆虫 ORs 传导气味物质的信号是一个复杂的过程,可能并不是一种激活途径,这 3 种途径都可能参与气味受体的激活作用,甚至还会有更多途径参与昆虫 ORs 激活机制^[22]。

4. 小结与展望

昆虫嗅觉分子机理是当今分子生态学、化学生态学和昆虫生理生化等学科的前沿研究领域,研究昆虫嗅觉机理为我们开发拒避剂、引诱剂或者嗅觉干扰剂从而控制害虫数量、实现可持续绿色农业提供科学理论依据。此外昆虫作为一种良好的模式生物,其嗅觉系统的构造、生理功能以及参与化学识别的分子等,与脊椎动物有很多相似之处,因此研究昆虫的嗅觉识别机理,对研究脊椎动物和其它的无脊椎动物的嗅觉机理具有借鉴作用。

参 考 文 献

- [1] Field LM, Pickett JA, Wadhams LJ. Molecular studies in insect olfaction. *Insect Molecular Biology*, 2000, 9(6):545—551.
- [2] Vogt RG, Riddiford LM. Pheromone binding and inactivation by moth antennae. *Nature*, 1981, 293(5828): 161—163.
- [3] Stocker RF. The organization of the chemosensory system in *Drosophila melanogaster*; a review. *Cell Tissue Research*, 1994, 275:3—26.
- [4] Smith DP. Odor and pheromone detection in *Drosophila melanogaster*. *Pflugers Archiv European Journal of Physiology*, 2007, 454(5):749—758.
- [5] Vogt RG. Molecular basis of pheromone detection in insect. In: Gilbert Li, Iatro K, Gill S eds. *Comprehensive Insect Physiology, Biochemistry, Pharmacology and Molecular Biology*. Endocrinology, 2005, 3: 753—804.
- [6] Lautenschlager C, Leal WS, Clardy J. Bombyx mori Pheromone—Binding Protein Binding Nonpheromone Ligands; Implications for Pheromone Recognition. *Structure*, 2007, 15(9):1 148—1 154.
- [7] Rützler M, Zwiebel LJ. Molecular biology of insect olfaction; recent progress and conceptual models. *Journal of Comparative physiology A*, 2005, 191(9):777—790.
- [8] Laughlin JD, Ha TS, Jones DN, et al. Activation of pheromone—sensitive neurons is mediated by conformational activation of Pheromone—Binding Protein. *Cell*, 2008, 133:1255—1265.
- [9] Xu PX, Atkinson R, Jones DN, et al. *Drosophila* OBP LUSH is required for activity of pheromone—sensitive neurons. *Neuron*, 2005, 45:193—200.
- [10] Hallem EA, Carlson JR. Coding of odors by a receptor repertoire. *Cell*, 2006, 125:143—160.
- [11] Benton R, Vannice KS, Gomez—Diaz C, et al. Variant ionotropic glutamate receptors as chemosensory receptors in *Drosophila*. *Cell*, 2009, 136(1):149—162.
- [12] Wetzel CH, Behrendt HJ, Gisselmann G, et al. Functional expression and characterization of a *Drosophila*