

植物源农药的研究利用

李典鹏, 张厚瑞, 陈海珊, 赵肃清, 刘 演

(广西壮族自治区广西植物研究所, 广西桂林 541006)
中国科学院

摘要: 综述了植物源农药的资源研究情况、几种传统植物农药的化学成分及其作用机制、植物农药的商品化研究等, 并就植物农药开发中值得注意的问题提出相应建议。

关键词: 植物农药; 资源; 作用机制; 商品化

中图分类号: Q949.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2003)04-0373-06

Research and utilization of plant pesticides

LI Dian-peng, ZHANG Hou-rui, CHEN Hai-shan,
ZHAO Su-qing, LIU Yan

(*Guangxi Institute of Botany, Guangxi Zhuangzu Autonomous Region and Academia Sinica, Guilin 541006, China*)

Abstract: Resources, chemical constituents, the mechanism and commercial products of plant pesticides were discussed in this paper. And some proposals in the exploitation of plant pesticides were put forward.

Key words: plant pesticide; resource; mechanism; commercial products

化学农药的长期使用会带来有害生物抗药性的产生, 残留毒性以及环境污染等弊端, 特别是在环境保护、生态平衡和人畜中毒等种种问题以及一些舆论的压力下, 化学合成农药受到了严重挑战, 许多高毒性、高残留、持久性农药已被禁止使用。目前, 世界各国都大力提倡“绿色农药”, 对农药的质量与标准提出了更严格要求: 必须具有选择性好、与环境相容、无公害、作用机理独特等特点, 为此, 研究和生产者一方面从化学农药和化学防治本身去探讨并加以改造和完善, 使其克服弊端; 另一方面, 人们重新将眼光投向天然源农药, 特别是植物源农药的研究与开发 (Rong, 1995; Jespers, 1993; 臧二乐, 1994; Pachlatko, 1998)。

植物是生物活性化合物的天然宝库, 其产生的次生代谢产物已超过 40 万种, 其中的大多数化学物质如萜烯类、生物碱、类黄酮、甾体、酚类、独特的氨基酸和多糖等均具有杀虫或抗菌活性 (Swam,

1977), 据统计, 地球上的植物种有 35 万种之多, 但迄今只有约 10% 的植物经过化学成分的研究, 从已研究的植物中发现约有 2 400 种植物具有控制有害生物的活性 (Grainge 和 Ahmed, 1988), 因此开发利用植物资源用于有害生物防治的前景十分广阔, 从植物中探寻新的活性先导物或新的作用靶标, 通过类推合成或生物合理设计进行新农药的开发已成为当前农药化学和农药毒理学研究的热点。

植物农药是指用于防治病虫害的植物体及植物体的提取物, 同时也包括分离纯化的单体物质。由于植物农药的有效成分是自然存在的, 一般易于降解, 在环境中积累毒性的可能性不大, 同时人和动物与这类植物长期处于同一环境中, 这些植物又是生态环境的组成部分, 因而植物农药被认为对人和动物的毒性比较低, 对生态环境影响小的农药。本文就近年来国内外有关植物农药特别是植物杀虫剂方面研究情况作一综述。

收稿日期: 2002-05-31 修订日期: 2003-01-26

基金项目: 广西科学基金资助项目 (桂科回 0009007); 国家自然科学基金资助项目 (30269002)。

作者简介: 李典鹏 (1968-), 男, 广西资源人, 副研究员, 从事植物资源的开发利用研究。

1 植物源农药的资源调查研究

人类古代就记载了许多种植物具有杀死或控制害虫的作用,象中国、印度以及一些非洲国家的劳动人民就积累了许多利用植物杀虫的经验(广西植物研究所,1972)。90年代以来,国外科研人员分别对数种楝科植物(Meliaceae),特别是该科的米仔兰属(*Aglaia*)植物(Nugroho等,1999;Chaidir等,1999;Schneider等,2000;Chaidir等,1999;Schneider等,2000;Dreyer等,2001)、姜科植物(Zigiberaceae)(Pandji,1993)、苦木科植物(Simaroubaceae)(Ozoe,1994)、樟科植物印度鳄梨(*Persea indica*)(Gonzalez等,1993)、天南星科植物菖蒲(*Caorus alamus*)(Suzuke,1992)等进行了杀虫评价。美国还成功地研制出鉴定植物提取物毒性的方法,并进行了739种高等植物的检验,结果汇编成表输入到计算机中,通过专门程序可以随时获取防治某种具体害虫最有效植物的提取物资料;菲律宾在80年代末已经有约200种植物被要求登记或报道有杀虫作用,其中34种通过试验得到了证实;保加利亚研究者发现毛茛、一年生野生牛舌草以及山梅花的提取物能有效防治科罗拉多甲虫;德国发现美国崖柏和漆树的水浸出物使马铃薯甲虫的幼虫营养发育停止;以色列发现长春花的叶提取物对埃及棉铃虫幼虫有驱避和拒食作用(李强,1993)。另外,Nishida(1984)发现唇形科(Labiatae)植物毛罗勒(*Sweet basi*)叶子中的二萜类化合物对库纹幼虫具有强的杀灭作用。Simmonds(1989)从一种叫石蚕的植物中分离出对棉铃虫幼虫具有较强拒食活性的物质,U. Eckenbach(1999)从北美植物*Cryptotaenia canadensis*中发现了杀蚊虫的活性成分。

我国植物资源极其丰富,现已查清三万余种高等植物的种类,其中已知的约有近千种植物具有杀虫活性物质(王启坤,1993),在《中国土农药志》一书中记载着分布于86个科中的220种植物性农药(郝及斌等,1999),据调查统计,我国作为农药的植物主要集中于楝科、菊科、豆科、卫茅科和大戟科等30多科(表1),其中以楝科、豆科和卫茅科的植物被认为最具有开发利用价值(杜小凤等,2000)。近年来我国在植物源农药资源的开发利用方面作了大量工作。张兴等(1993)对西北地区的杀虫植物资源作了系统调查,在陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆等五省

(区)发现了有研究和开发价值的杀虫植物47种;徐汉虹等(1994)分别对猪毛蒿、肉桂、齿叶黄皮、源水樟、芸香、八角茴香等近10种植物精油的杀虫作用进行了较为深入的研究;王兴林等报道了砂地柏、大戟、紫穗槐、牛心朴等10种植物提取物对棉铃虫生长发育的影响;付昌斌、余向阳等就砂地柏提取物的杀虫活性作用进行了进一步研究。此外,国内有关辣蓼、闹羊花、紫背金盘、骆驼蓬、大火草的杀虫活性均有不少研究报道(操海群等,2000)。

2 传统植物农药有效成分及其作用机制研究

楝科植物印楝(*Azadirachta indica* A. jass)是世界上最负盛名的杀虫植物。Butterworth(1968)分离得到其中最主要的活性成分——印楝素(azadirachtin),Broughton等(1985)采用X衍射法确定了印楝素的分子结构为四降三萜类化合物。印楝素对昆虫具有胃毒、神经毒性、拒食和生长发育抑制活性,其杀虫机理主要是扰乱昆虫内分泌系统,影响促前胸腺激素(PTTH)的合成与释放,减低前胸腺对PTTH的感应而造成20-羟基蜕皮激素酮合成、分泌的不足,致使昆虫变态,发育受阻(李晓东,1995)。也有研究报道,印楝提取物的活性成分在结构和成分上与昆虫体内许多激素类似物质相似,当害虫吸收了这些活性成分后,自身体内激素平衡被破坏,内分泌系统运转失常,新陈代谢失调而达到杀虫目的。苦楝(*Melia azedarach* Linn)和川楝(*Melia toosendan* Sieb. et zucc)是广泛分布于我国黄河以南地区的楝科植物,其主要活性成分为川楝素(toosendanin),室内生测发现川楝素对三化螟等许多害虫具有强烈的拒食作用以及胃毒、抑制生长发育等活性。川楝素的拒食活性机理,电生理研究认为,其对昆虫下颚瘤状栓锥感受器有抑制作用,这种抑制作用使神经系统内取食刺激信息的传递中断,幼虫失去味觉功能而表现为拒食作用(张兴,1993)。另外,最近多篇报道楝科的米仔兰属(*Aglaia*)植物具有高的杀虫活性(Nugroho等,1999;Chaidir等,1999;Schneider等,2000;Hiort等,1999;Dreyer等,2001),其杀虫物质为一种高度取代的苯并咪唑化合物rocaglamide。其杀虫机理可能是对昆虫中枢神经系统或是对消化道作用的结果。

杜鹃花科植物黄杜鹃(*Rhododendron molle*)

表 1 国内植物源农药资源
Table 1 The resource of plant pesticide in China

植物科名 Families	种 类 Species	分 布 Distribution	应用部分 Section
楝科 Meliaceae	川楝 <i>Melia toosendan</i> 、苦楝 <i>M. azedarach</i> L.、印楝 <i>Azadirachta indica</i> 、香椿 <i>Toona sinensis</i> Roem.、米仔兰 <i>Aglaia odorata</i> Lour.	长江以南 Yangtze River	果实、叶、根 Fruits, leaves, roots
豆科 Leguminosae	鱼藤 <i>Derris elliptica</i> Benth.、苦参 <i>Sophora flavescens</i> Ait.、百脉根 <i>Lotus corniculata</i> L.、补骨脂 <i>Psoralea corylifolia</i> L.、皂荚 <i>Gleditsia sinensis</i> Lam.、紫穗槐 <i>Amorpha fruticosa</i> L.	全国各地 China	种子、根茎 Seeds, roots, stems
卫茅科 Celastraceae	苦皮藤 <i>Celastrus angulatus</i> 、雷公藤 <i>Tripterygium wilfordii</i> Hk. f.、南蛇藤 <i>Celastrus orbiculatus</i> Thb.	热带和温带 The tropical and the temperate zone	全草 Whole herb
菊科 Compositae	除虫菊 <i>Chrysanthemum cinerariifolium</i> 、艾蒿 <i>Artemisia argyi</i> : Levl.、万寿菊 <i>Tagetes erecta</i> L.、苍耳 <i>Xanthium sibiricum</i> Patr.	温带 The temperate zone	全草 Whole herb
大戟科 Euphorbiaceae	大戟 <i>Euphorbia peginensis</i> Rupr.、泽漆 <i>E. helioscopia</i> L.、乌桕 <i>Sapium sebiferum</i> Roxb.、油桐 <i>Aleurites fordii</i> Hemsl.、巴豆 <i>Croton tuchnocarpus</i> Benth.	全国各地 China	果实或根茎 Fruits, roots, stems
防己科 Menispermaceae	木防己 <i>Cocculus trilobrs</i> (Thb.) DC	热带、亚热带 The tropical and subtropical zone	根、茎 Roots, stems
罂粟科 Papaveraceae	博落回 <i>Macleaya cordata</i> R. Br.、白屈菜 <i>Chelidonium majus</i> L.	北温带 The north of temperate zone	全草 Whole herb
茄科 Solanaceae	曼陀罗 <i>Datura stramonium</i> L.、烟草 <i>Solanum verbascifolium</i> L.、番茄 <i>Lycopersicum esculentum</i> Mill.、龙葵 <i>Solanum nigrum</i> L.、莨菪 <i>Hyoscyamus miger</i> L.	温带至热带 The temperate zone to the tropical zone	根、茎 Roots, stems
瑞香科 Thymelaeaceae	了哥王 <i>Wikstroemia indica</i> C A.、芫花 <i>Daphne genkwa</i> Sieb.	热带 The tropical zone	根、茎 Roots, stems
胡桃科 Juglandaceae	胡桃 <i>Juglans regia</i> L.、枫杨 <i>Pterocarya stenoptera</i> C.	温带 The temperate zone	叶 Leaves
杨柳科 Salicaceae	垂柳 <i>Salix babylonica</i> L.	南部 South of China	叶 Leaves
毛茛科 Ranunculaceae	毛茛 <i>Ranunculus japonicus</i> Thb.、白头翁 <i>Anemone vitifolia</i> Buch.	全国 The whole China	全草 Whole herb
夹竹桃科 Apocynaceae	羊角拗 <i>Strophanthus divaricatus</i> HK.、夹竹桃 <i>Nerium indicum</i> Mil.、长春花 <i>Catharanthus roseus</i> G Don	南方各省 South of China	全株 Whole herb
石蒜科 Amaryllidaceae	石蒜 <i>Lycoris radiata</i> Herb.、仙茅 <i>Curculigo orchioides</i> Gaertn	温带 The temperate zone	块茎 Stems
天南星科 Araceae	半夏 <i>Pinellia pedatisecta</i> Schott.、独角莲 <i>Acorus lobatum</i> Engl.、菖蒲 <i>A. calamus</i> L.、天南星 <i>Arisuema consanguineum</i> schott	华南、西南 South of China	块茎 Stems
伞形花科 Umbelliferae	芹菜 <i>Apium graveolens</i> L.	北温带 The north of temperate zone	全草 Whole herb
马鞭草科 Verbenaceae	马鞭草 <i>Verbena officinalis</i> L.、黄荆 <i>V. negundo</i> L.	热带、亚热带 The tropical and subtropical zone,	全草 Whole herb
百合科 Liliaceae	藜芦 <i>Verateum japonicum</i> Loes.、蒜 <i>Allium sativum</i> L.	温暖地带、热带 The tropical zone	全草 Whole herb
蓼科 Polygonaceae	辣蓼 <i>Polygonum hydropiper</i> L.、大黄 <i>Rumex madaio</i> Mak.	北温带 The north of temperate zone	全草 Whole herb
芸香科 Rutaceae	芸香 <i>Psilopeganum sinense</i> Hemsl.、花椒 <i>Zanthoxylum bungeanum</i> Maxim.、香椒子 <i>Z. scjomofp;oi</i> , S.、黄皮 <i>Citrus lansium</i> , Skee; s.	热带、温带 The tropical and the temperate zone	全株或果实 Whole herb or fruits
唇形科 Labiatae	毛罗勒 <i>Ocimum basilicum</i> L.、半枝莲 <i>Scutellaria barbata</i> D. Don.、薄荷 <i>Mentha arvensis</i> L.	全国 The whole China	全草 Whole herb
番荔枝科 Annonaceae	紫番荔枝 <i>Annona squamosa</i> L.、圆滑番荔枝 <i>A. glabra</i> L.	温带 The temperate zone	叶 Leaves
杜鹃花科 Ericaceae	闹羊花 <i>Rhododendron anhweiense</i> Wils	西南 South of China	全株 Whole herb
木兰科 Magnoliaceae	厚朴 <i>Magnolia officinalis</i> R.	西南 South of China	皮、叶 Bark, leaves

也是一类毒性较高的杀虫植物,其主要有毒成分为四环三萜化合物闹羊花素Ⅲ(Rhodojaponis Ⅲ),生测活性测定表明,闹羊花素Ⅲ能降低草地粘虫(*Spodoptera frugiperda*)和马铃薯甲虫(*Leptinotarsa decemlineata*)对植物的危害,它能引起储粮害虫 89%死亡,且完全抑制其繁殖力,同时,黄杜鹃提取物对东方粘虫(*Mythimna separa*)稻飞虱和抗性小菜蛾(*Plutolla xylostolla*)具有强的拒食活性(冯夏等,1990a,1990b)。

卫矛科作为杀虫植物研究较多的有:雷公藤(*Tripterygium wilfordii*)和苦皮藤(*Celastrus angulatus*)。雷公藤中的主要杀虫成分为 5 种生物碱和 4 种内酯,生物碱为:雷公藤次碱、雷公藤特碱、雷公藤碱、雷公藤辛碱和 Wilforgine。内酯为:雷公藤羧内酯、雷公藤炭内酯、雷公藤羟酯以及异雷公藤内酯四醇。雷公藤提取物对猿叶甲、菜青虫、蓖麻夜蛾、平腹蜻、黄守瓜、甲虫等害虫有拒食、胃毒、麻痹作用。苦皮藤对昆虫具有麻醉、拒食、毒杀以及杀卵等多种生物活性,其杀虫有效成分至少有 29 种,其中主要是半萜酯和倍半萜生物碱的苦皮藤素和二氢沉香呋喃类生物碱(南玉生,1994)。苦皮藤素对昆虫的麻醉作用很可能是作用于昆虫的神经,肌肉接点,苦皮藤素胃毒作用主要由于其破坏了中肠细胞的质膜及其内膜系统(刘蕙霞,1998)。

菊科植物最负盛名的杀虫植物为除虫菊(*Chrysanthemum cinerariifolium*),起源于中东。本世纪 20 年代引入中国,60 年代对除虫菊的研究仿生合成了一系列高效低毒的拟除虫菊酯杀虫剂。除虫菊杀虫成分有 6 种,即除虫菊酯 I、II,瓜菊酯 I、II,以及 Jasmolin I、II。这些化合物作用于神经轴突膜使离子通道阻断,中毒后表现为击倒作用(唐春风,2000)。

豆科植物鱼藤是鱼藤属的统称,藤本,在我国广东、福建、云南、台湾省区有广泛分布,鱼藤(*Derris trifoliata*)中含有鱼藤酮、灰叶素、鱼藤素、灰叶酚等多种有杀虫活性化合物。鱼藤酮是一种代谢抑制剂和神经毒剂,可引起昆虫拒食,活动迟滞,麻痹,缓慢死亡,毒性机理是与 L-谷氨酸氧化和神经传导阻断有关。鱼藤对多种蚜虫、菜青虫、小菜蛾等 800 多种害虫具有防效。鱼藤酮对鱼类有强烈的毒性,但对人畜安全,并可在环境中降解,是一种安全的杀虫剂(王剑文等,1996)。

其它传统杀虫植物尚有竹桃科的羊角拗(*Stro-*

phanthus divaricatus),其中所含的羊角拗毒毛旋花素甙(D-strophanthin I)能刺激心脏,误食致死;唇形花科植物紫背金盘(*Ajuga nipponensis*),其提取物对菜青虫、小菜蛾、斜纹夜蛾及家白蚁等均有拒食和生长抑制活性,由于紫背金盘含有植物性蜕皮甾酮(phytoecdysteroids),昆虫取食后,干扰激素平衡,破坏生理代谢,达到防治害虫的目的(张业光,1992)。另外,从番荔枝属(*Annona squamosa*)植物分离得到的番荔枝内酯是近年来发现的具有杀虫作用的新结构类型化合物,对多种害虫显示强烈的胃毒、拒食和杀卵活性。番荔枝内酯是一种呼吸抑制剂,对 NADH-细胞色素 C 还原酶具有抑制作用(杨仁铎等,1983)。从苦参(*Sophora flavescens* Ait)中提取的苦参碱可杀死菜青虫、菜蚜、粘虫等农作物害虫,同时可被防治玉米大斑病(张宇牢等,1997)。

3 植物农药的商品化研究

随着人类健康意识的增强,人们越来越崇尚天然产品,比如绿色食品,天然纯净水,无污染蔬菜等等,这无疑给植物源农药的制剂化、商品化创造了机会。1985 年 W. R. Grace & Co. 在美国登记了第一个商品化的印楝制剂 Margosan-O 后,世界上出现了许多印楝产品,如美国的 Azatin 和 Neemesis,德国的 Neemazal 及印度的 Neemark 和 Neemguard 等等,中国是植物农药的生产和使用大国。50 年代以来,我国就对闹羊花、巴豆、百部、雷公藤、厚果鸡血藤等进行了包括应用在内的研究,各地挖掘出了很多植物农药。据统计,到 1998 年底,我国已登记注册的植物农药品种达 16 种之多,生产厂家达 46 家,品种包括烟碱、苦参碱、鱼藤酮、茵蒿素、藜芦碱、苦皮藤素、川楝素、苦楝素、毒藜素、茶皂素、乙蒜素等。从这些数字可见,植物农药在我国已成为一类重要的农药,对促进农业生产,保持生态环境将发挥重要作用。

4 发展植物性农药应注意的几个问题

(1)建立科学的植物农药的筛选标准。在进行植物农药筛选中,我们不能片面地追求其毒性的广谱和高效,因为在害虫的综合治理中,农药不必一定要有很强的生物杀伤性和广谱性,只要它们在一个

较长的期间内,可用于减少害虫的种群和降低农作物毁坏的程度,就具有利用价值(贺红武等,2002)。各类植物次生化合物对大多数植食性昆虫作用过程的顺序是:忌避作用—拒食作用—毒杀作用(庞雄飞,1999),因此植物农药筛选就不应局限于毒杀作用。以忌避、拒食、毒杀等综合作用为依据,以害虫种群控制指数作为各类防治措施的标准,着眼于多种活性成份的有效利用,我们将会获得更丰富的植物农药资源。

(2)科学确定植物农药高活性新成分的来源。在植物农药的研究中,获得新的高活性成分是植物农药取得新突破的必然途径。寻找新的植物农药活性成分,以下植物来源值得我们重视:1、从已证实的植物农药的近缘属、种中寻找新的抗虫活性成分。虽然目前尚有许多科属的植物还未得到研究,但从目标植物着手我们会减少研究的盲目性,缩短研究时间。例如,国外学者从研究中发现,楝科的6个属和一个楝科以外的亲缘属植物有强烈的生物活性,特别是该科的米仔兰属植物的19个种中,有三分之一有高活性杀虫效果(Nugroho等,1999; Chaidir等,1999; Chaidir等,1999; Dreyer等,2001),有望从该属植物中筛选出可与印楝素相比美的化合物。2、选择药用植物作为研究的起点(Ciccia和Coussio,2000)。所谓的药用植物实际上是根据采用人体反应的生测系统来筛选植物试材的结果所形成的叫法。药物和毒药都能以适当的亲合力和酶、受体、细胞膜、细胞类脂质及其他相互作用,人类的药物很可能就是昆虫的毒物(贺红武等,2002)。从药用植物着手,我们很有可能筛选到对昆虫表现出较好的杀虫和拒食活性的成分。3、从抗病虫作物中提取杀虫成分。例如从抗稻飞虱水稻中可得到对稻飞虱有强烈毒性的成分(Guren等,1999);从栽培向日葵中分离出的一些内酯类倍半萜烯(germacranolide),它们是玉米根叶甲的拒食剂。

(3)加强植物农药有效成分作用机理方面的基础研究。对于一些能杀虫防病的植物种类,必须研究清楚其高效植物农药的有效成分,把有效成分提纯,研究它的分子结构及理化性质,同时进行毒力试验,研究分子结构与杀虫作用的关系,建立生物化学的测定方法。另一方面有必要深入研究植物杀虫成分的前体物质和活性基因。目前,从天然植物源杀虫活性物质中寻找具有作用机理独特的先导化合物已取得重大进展。国际上杀虫剂的三大支柱中,有

两大支柱是从植物源杀虫剂中找到先导化合物,并以此为模板,经化学模拟合成的,即拟除虫菊酯类杀虫剂是以除虫菊酯为模板合成的,而氨基甲酸酯类杀虫剂是以毒扁豆碱为模板合成的。

(4)加强多学科,多部门的协作,包括与国外研究机构的合作,建立统一的化学和生物测定的标准方法,统一用标准方法进行筛选、测试和分析,确保研究的可靠性和可比性。

(5)合理利用资源。开发植物农药要谨防物种毁灭和生态环境的破坏,需要制定严格的资源保护措施以促进野生植物资源合理利用。

参考文献:

- 广西植物研究所. 1972. 土农药[M]. 南宁: 广西人民出版社.
- 李强(译). 1993. 防治害虫的植物[J]. 国外农学保护, 6(4): 19-20.
- 周红晔. 1994. 高等植物源农药[J]. 农药译丛, 16(2): 1-6.
- 庞雄飞. 1999. 植物保护剂与植物免害工程——异源次生化合物在害虫防治中的应用[A]. 院士论坛[C]. 北京: 中国科学院.
- 贺红武, 黄刚良. 2000. 作为生物合理农药资源的热带植物[J]. 世界农药, 22(5): 8-13.
- 唐春风(译). 2000. 天然产物化学经济器在农业中对病虫害的防御作用[J]. 世界农药, 22(1): 10-27.
- Butterworth JH. 1968. Isolation of a substance that suppresses feeding in cocusts[J]. *J Chem communs*, 23-24.
- Cao HQ(操海群), Yue YD(岳永德), Hua RM(花日茂), 等. 2000. Research progress of plant pesticide(植物资源农药研究进展)[J]. *Journal of Anhui Agricultural University*(安徽农业大学学报), 27(1): 40-44.
- Chaidir J, Hiort B W, Nugroho F I, et al. 1999. New insecticidal rocaglamise derivatives from flowers of *Aglaia duperreana*(Meliaceae)[J]. *Phytochemistry*, 51: 837-842.
- Ciccia G, Coussio J, Mongelli E. 2000. Insecticidal activity against *Aedes aegypti* larvae of some medicinal South American plants[J]. *Journal of Ethnopharmacology*, 72: 185-189.
- Dreyer M, Nugroho BW, Bohnenstergel FI, et al. 2001. New insecticidal rocaglamide derivatives and related compounds from *Aglaia oligophylla*[J]. *J Nat prod*, 64: 415-420.
- Du XF(杜小凤), Xu JM(徐建明), Wang WZ(王伟中). 2000. Research progress of plant pesticide(植物源农药研究进展)[J]. *Pesticides*(农药), 39(11): 8-11.
- Eckenbach U, Lampman R L, Seigler D S, et al. 1999. Mosquitocidal activity of acetylenic compounds from *Cryptotaenia Canadensis*[J]. *Journal of Chemical Ecology*, 25(8): 1885-1893.

- Feng X(冯 夏), Zhao SF(赵善欢). 1990a. Preliminary studies on the biological activity of extracts from *Rhododendron molle* (黄杜鹃提取物对几种害虫的生物活性及其作用机制的初步研究)[J]. *Journal of South China agricultural university*(华南农业大学学报), **11**(2): 68—76.
- Feng X(冯 夏), Zhao SF(赵善欢). 1990b. Preliminary studies on action mechanism of active constituent from *Rhododendron molle* (黄杜鹃有效成分作用机制的初步研究)[J]. *Guangdong agricultural sciences* (广东农业科学), (3): 40—41.
- Gonzalez Coloma A, et al. 1993. *Rerseia indica* as a natural source of the insecticide Ryan odo[J]. *Phytochemistry*, **34**: 397—400.
- Grainge M, Ahmed S. 1988. Handbood of plants with pest control properties[M].
- Guren Zhang, Wenqing Zhang, Bin Lian, et al. 1999. Insecticidal effects of extracts from two rice varieties to brown planthopper[J]. *Journal of Chemical Ecology*, **25**(8): 843—1 853.
- Hao JB(郝及斌), Ge QY(戈巧英). 1999. Research and application of China plant pesticides(中国植物源农药的研制与应用)[J]. *Phytophylacica aviso*(植物学通报), **16**(5): 495—503.
- Hiort J, Chaidir FI, Bohnenstengal, et al. 1999. New Insecticidal Rocaglamide Derivatives from the Roots of *Aglaia duperreana*[J]. *J Nat Prod*, **62**: 1 632—1 635.
- Jespers ABK. 1993. Natural products in plant protection[J]. *Neth J Pl Path*, **99**(3): 109—117.
- Liu HX(刘蕙霞). 1998. Effects of celangulin V on yhr mid-gut cells and the digestive enzyme activeties of *Mythimna separata* (Walke) Larvae(苦皮藤素 V 对东方粘虫细胞及其消化酶活性的影响)[J]. *Acta Entomologica Sinica*(昆虫学报), **41**(3): 258—260.
- Li XD(李晓东). 1995. Study on action mechanism to insectival toxicologically of Azadirachtin(印楝素对昆虫的毒理作用机制)[J]. *Journal of South China agricultural university*(华南农业大学学报), **17**(1): 118—122.
- Nan YS(南玉生). 1994. Plant insectival antifeedant-Studies on antifeed effect of *Clelastrus angulatus* seed botanical(植物源昆虫拒食剂苦皮藤种油化学成分的拒食效果)[J]. *Journal of Wuhan Botanical Research*(武汉植物学研究), **12**(1): 95—96.
- Nishida R. 1984. Synthesis of highly active juvenile horm one analogs, Juvocimune I and II, from the oil of sweet basil, *Ocimum basilicum* L[J]. *J Chem Ecol*, **10**: 1 435.
- Nugroho BW, Edrada RA, Wray V, et al. 1999. An insecticidal rocaglamide derivatives and related compounds from *Aglaia odorata*(Meliaceae)[J]. *Phytochemistry*, **51**: 367—376.
- Pandji C. 1993. Insectidal constituents from species of *Zingiberacen*[J]. *Phytochemistry*, **34**(2): 415—419.
- Paul Pachlatko J. 1998. Natural products in crop pretection [J]. *Chimia*, (52): 29—47.
- Rong Tsao. 1995. Starting from nature to make better insecticides[J]. *Chemtech*, **25**(7): 23—27.
- Schneider C, Bohnenstengel FI, Nugroho B W, et al. 2000. Insecticidal rocaglamide derivatives from *Aglaia spectabilis* (Meliaceae)[J]. *Phytochemistry*, **54**: 731—736.
- Simmonds MSSJ. 1989. The antifecdant activity of clerodance diterpenoids from *Teucrrium*[J]. *Phytochemistry*, **28**(4): 1 069—1 071.
- Suzuki K. 1992. Eight picrotoxane Terpenoids, Picrodendrius K-R from picrodendron *Bauatum*[J]. *Phytochemistry*, **31**(6): 2 059—2 064.
- Swam T. 1977. Secondary compounds as protective agents [J]. *Ann Rev Plant Physiol*, (28): 497—501.
- Wang JW(王剑文), Fu Y(付 昀), Song QS(宋启示). 1996. Development and application of the resource plant pesticide(植物杀虫剂资源的开发应用)[J]. *Resource Development and Market*(资源开发与市场), **12**(6): 254—255.
- Wang QK(王启坤). 1993. Research progress of natural product for control insect pests(天然产物害虫控制剂的研究进展)[J]. *Journal of North-West Agricultural University*(西北农业大学学报), **2**(2): 485—495.
- Xu HH(徐汉虹), Zhao SF(赵善欢). 1994. Application of essential oils for the control of insect pests(植物精油在害虫防治上的应用)[J]. *Natural Product Research and Development*(天然产物研究与开发), **6**(1): 82—88.
- Yang RZ(杨仁铎), Xu HH(徐汉虹). 1983. CN, 083060 (CL. CO7D407/14).
- Zhang X(张 兴). 1993a. Plant pesticide-develop of toosendanin(植物性杀虫剂川楝素的开发研究)[J]. *Journal of North-West Agricultural University*(西北农业大学学报), **21**(4): 1—5.
- Zhang EL(臧二乐), Li P(李 萍). 1994. Research actuality of plant pesticide(植物源杀虫剂研究现状)[J]. *Pesticides* (农药), **33**(4): 5—7.
- Zhang X(张 兴). 1993b. Inverstigate of north-west plant pesticides in China(西北地区杀虫植物资源初步调查)[J]. *Journal of Gansu Agricultural University*(甘肃农业大学学报), **28**(1): 93—98.
- Zhang YG(张亚光). 1992. Priliminary studies on the bioactivity of the extracts from *Ajuga nipponensis* Makino against four species of lepidopterous insect pests(紫背金盘提取物对四种鳞翅目害虫作用活性的初步研究)[J]. *Journal of South China Agricultural University*(华南农业大学学报), **13**(40): 63—68.
- Zhang YL(张宇牢), Zhang SM(张淑梅), Yin ML(殷美玲). 1997. Research of plant pesticide-Sophora flavescens alkaloid(植物农药苦参生物碱的研究)[J]. *Pesticides*(农药), **36**(5): 26—27.