

国家自然科学基金资助的生物入侵基础研究概况

侯有明¹, 胡琼波², 万方浩³, 尤民生¹
¹福建农林大学植物保护学院, 农业部亚热带农业生物灾害与治理重点开放实验室, 福建 福州 350002;
²国家自然科学基金委员会, 北京 100085; ³中国农业科学院植物保护研究所,
植物病虫害生物学国家重点实验室, 北京 100193

摘要: 基于 1999 ~ 2010 年国家自然科学基金资助项目, 分析了我国生物入侵基础研究概况。在这期间, 生物入侵领域得到资助的项目数和经费均呈现快速上升的趋势, 资助的项目从 1999 年的 3 个增加到 2010 年的 69 个, 资助的经费从 1999 年的 94 万元增加到 2010 年的 1838 万元。得到资助的项目数在不同学科的分布不均匀, 其中, 植物保护学科得到资助的项目数为 123 个, 生态学科得到资助的项目数为 82 个, 这 2 个学科得到资助的项目数占总项目数的 67.9%, 得到资助的经费占总经费的 66.3%。资助项目的主要研究内容涉及 22 种入侵植物病原微生物、26 种入侵动物和 24 种入侵植物, 从中可以透视本领域的研究重点。资助的项目主要集中在华北、华东和华南地区的国家级科研机构 and 高等院校, 这种区域分布格局与我国入侵生物的地理分布格局相吻合。为了进一步推动国家自然科学基金对生物入侵领域各项工作的资助, 本文提出了一些合理化的建议。

关键词: 生物入侵; 基础研究; 国家自然科学基金; 资助情况

A conspectus of basic research on biological invasions in China supported by the National Natural Science Foundation

You-ming HOU¹, Qiong-bo HU², Fang-hao WAN³, Min-sheng YOU¹
¹Key Laboratory of Subtropical Agro-Biological Disasters and Management, Ministry of Agriculture, College of Plant Protection, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou, Fujian 350002, China; ²National Natural Science Foundation of China, Beijing 100085, China; ³State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China

Abstract: Between 1999 and 2010, a total of 302 projects on biological invasions were supported by the National Natural Science Foundation (NNSF). There has been a trend of rapid increase in the projects funded and the expenditure budgeted, from 8 projects (total 0.9 millin RMB) in 1999 to 69 projects (18.4 million RMB) in 2010. The number of funded projects was unevenly distributed in different disciplines; most of them (123 projects) were in plant protection, followed by 82 projects in ecology, which account for 67.9% of the number of projects and 66.3% of the total budgets. The major focus of investigation included 22 species of micro-organisms, 26 species of animals and 24 species of plants. The NNSF-funded projects in bio-invasions have been mainly implemented by the national research institutes and universities located in the northern, eastern, and southern provinces of China, which is interestingly associated with the geographical distribution of invasive alien species.

Key words: biological invasions; basic research; National Natural Science Foundation; funding conspectus

在 21 世纪全球国际贸易、旅游和交通快速发展的新形势下, 外来有害生物的入侵和危害风险日益增加, 已成为威胁各国生物安全和生态安全的重
要因素(万方浩和郭建英, 2007; 付文杰, 2009)。我国是受外来有害生物入侵最严重的国家之一, 农、林、牧、渔、水产及养殖业遭到严重的损失, 一些入

收稿日期: 2010-12-01 接受日期: 2011-02-02
基金项目: 国家自然科学基金(30871656, 31071749, 30910303086)
通讯作者 (Author for correspondence): 尤民生, E-mail: msyou@iae.fjau.edu.cn
致谢: 感谢国家自然科学基金委员会网站 (<http://www.nsfc.gov.cn/Portal0/default124.htm>) 提供相关资料。本研究在“农业部亚热带农业生物灾害与治理重点开放实验室”、“福建省昆虫生态重点实验室”和“福建省高等学校农业生物多样性与生态安全重点实验室”完成

侵生物已导致严重的生态灾难,危及我国的生物资源和旅游业的发展,有些入侵物种已对人民群众的身心健康构成巨大的威胁,成为社会不稳定的因素之一(黄雪约,2007;郑培忠和沈健英,2009)。因此,开展生物入侵预防与控制的研究,防范外来有害生物的入侵,遏制其扩散蔓延和危害,是保障农业安全生产、国家生态安全、维护国家利益和社会安定的需求(万方浩等,2010)。

近年来,我国在生物入侵的基础研究和应用基础研究方面取得了较大进展,生物入侵学科体系已基本形成,在一些重大入侵生物的预警和防控中也取得了一定的成效,在国际上产生了较大的影响(万方浩和张桂芬,2010)。但我国生物入侵研究整体上仍处于初期发展阶段(万方浩等,2009)。随着我国入侵生物学的蓬勃发展、大量基础研究和应用基础研究工作的持续开展、研究平台与体系的不断完善,有望在基础理论研究和防控技术研发等方面取得一些突破,以满足国家经济建设和国计民生的需求。

国家自然科学基金委员会(以下简称“国家基金委”)是引领我国各学科基础研究和应用基础研究的重要机构,主要根据基础研究发展趋势和不同学科发展规划的总体部署,准确把握“支持基础研究、坚持自由探索、发挥导向作用”的战略定位,着

力培养创新思想和创新人才,通过创新性的科学研究和人才培养,提高基础研究水平。所以,国家基金委在推动我国基础研究、完善国家创新体系、建设创新型国家等方面发挥了很好的作用。本文通过对 1999~2010 年国家基金委所资助的生物入侵方面的基础研究和应用基础研究项目进行分析,阐明了我国生物入侵基础研究的现状。

1 生物入侵领域的总体资助情况

1.1 资助年度变化

1999~2010 年,国家基金委在生物入侵领域资助的基础研究和应用基础研究项目数为 302 个,总经费达 8862.9 万元。由图 1 可以看出,不论是资助项目数,还是资助经费总额,均呈逐年增加的趋势。大体可以分为 3 个阶段:(1)1999~2003 年,年资助项目数为 3~15 个,年资助经费为 94~369 万元;(2)2004~2008 年,年资助项目数为 20~35 个,年资助经费为 613~1121 万元;(3)2009 年以后,每年资助的数量超过 50 个,2010 年达到 61 个,年资助经费超过 1800 万元。这一变化趋势与国家基金委于 2010 年首次将“农业有害生物检疫与入侵生物学”列为“植物保护学”的一个研究方向有关,体现了国家基金委对入侵生物基础研究的重视。

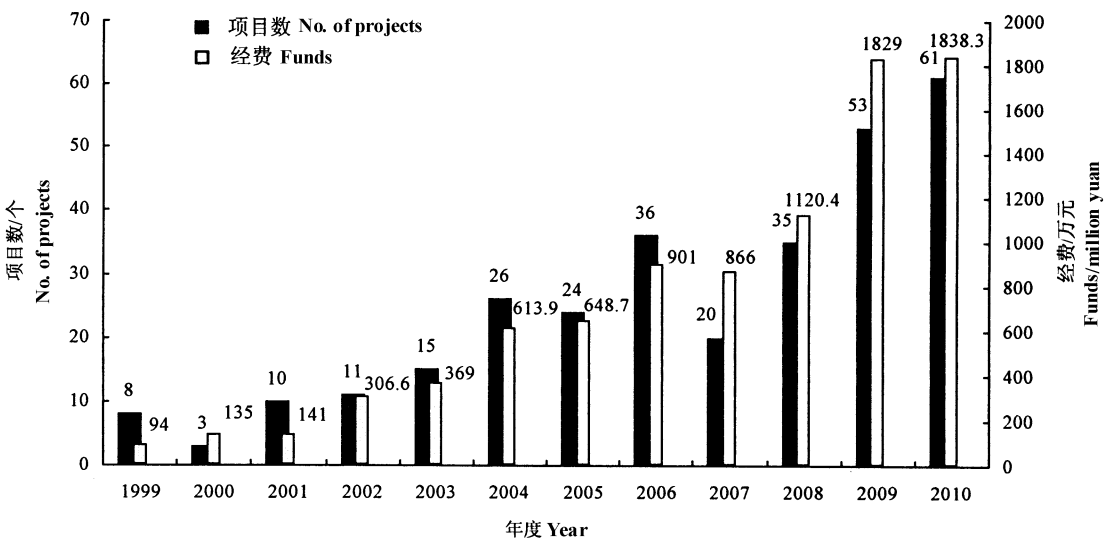


图 1 国家基金委资助生物入侵领域的项目数和经费(1999~2010)
Fig. 1 The number of projects funded and the expenditure on research into biological invasions in China by the National Natural Science Foundation between 1999 and 2010

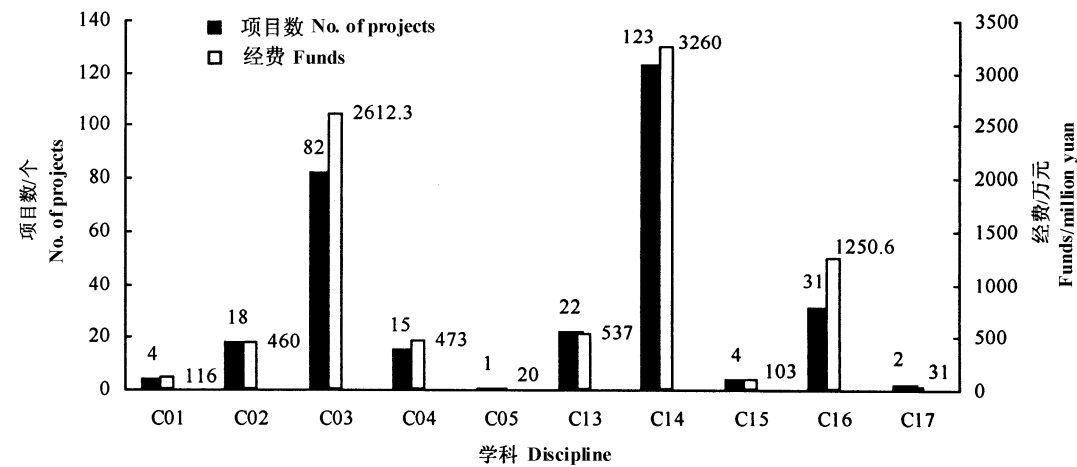
1.2 资助学科类别

1999~2010 年,国家基金委在生物入侵领域的资

助涉及 10 个学科(图 2),但主要集中在植物保护学和生态学上,这 2 个学科获得资助的项目数和经费分别

占总资助项目数和总经费的 67.9%和66.3%。林学、农学基础与作物学、植物学和动物学等 4 个学科得到资助的项目数,分别占总资助项目数的10.3%、7.3%、6.0%和 5.0% ,资助经费分别占总资助经费的 14.1%、

6.1%、5.2%和 5.3%。微生物学,生物物理、生物化学与分子生物学,园艺学与植物营养学和畜牧学与草地科学等 4 个学科获得的资助项目数较少,共占总资助项目数的3.6% ,资助经费占3.1%。



C01:微生物学;C02:植物学;C03:生态学;C04:动物学;C05:生物物理、生物化学与分子生物学;C13:农学基础与作物学;C14:植物保护学;C15:园艺学与植物营养学;C16:林学;C17:畜牧学与草地科学。
C01: Microbiology; C02: Botany; C03: Ecology; C04: Zoology; C05: Biophysical, Biochemistry and Molecular Biology; C13: Agronomy Basis and Crop Science; C14: Plant Protection; C15: Horticulture and Plant Nutrition; C16: Forestry; C17: Animal Science and Grassland Science.

图 2 国家基金委资助生物入侵领域不同学科的项目数和经费数 (1999 ~ 2010)

Fig. 2 The number of projects funded and the expenditure on research into biological invasions in China by the National Natural Science Foundation between 1999 and 2010, classified by scientific disciplines

1.3 资助项目类别

在国家基金委生命科学部所资助的 14 种类别中,入侵生物主要涉及的是研究项目系列中的面上项目和重点项目、人才项目系列中的青年科学基金项目 and 地区科学基金项目、环境条件项目系列中的联合项目和国际(地区)合作交流项目等。资助最多的是面上项目,有 191 项(占总资助项目数的 63.2%),经费 4985 万元(占总资助经费的 56.2%);其次是青年科学基金项目(53 项,占总项目数的 17.5%;1018 万元,占总资助经费的 11.5%);地区科学基金项目 30 项,占总资助项目数的 9.9%,经费 706 万元,占总资助经费的 8.0%;资助的重点项目数较少(13 项,占总资助项目数的 4.3%),但资助经费为 1990 万元,占总资助经费的 22.5%;国际(地区)合作交流项目 14 项(占 4.6%),经费 133.9 万元(占 1.5%);联合资助基金项目仅 1 项,经费 30 万元。截至目前,在研究项目系列中的重大项目、重大研究计划、专项基金项目尚缺;在人才项目系列中的国家杰出青年科学基金、创新研究群体科学基金项目、海外及港澳学者合作研究基金、国家基础科学人才培养基金仍为空

白;在环境条件项目系列中,海外或港、澳青年学者合作研究基金等类型也有待实现“零”的突破。

2 从研究对象透视我国生物入侵的资助重点

2.1 入侵植物病原微生物

在入侵植物病原微生物方面,共资助 94 个项目,总经费达 2646.6 万元,涉及 22 种研究对象。
2.1.1 松材线虫 *Bursaphelenchus xylophilus* (Sterner et Buhner) Nickle 共资助 29 项,总经费 1046.6 万元,几乎每年均有资助项目。研究主要集中在:(1)入侵机理方面,包括松材线虫与本地媒介松墨天牛及蓝变菌的协同互作入侵机制、松材线虫入侵对拟松材线虫的竞争替代及遗传侵蚀作用、不同疫区种群的分化研究等;(2)致病机理方面,包括致病物质及其分子机理、松材线虫与其携带的细菌共生致病机理、松材线虫与松树互作机理、食道腺细胞特异表达的寄生致病相关基因、松材线虫携带细菌的鞭毛蛋白对黑松作用的机理等;(3)危害的生态学效应方面,主要是马尾松林被松材线虫病危害后,土壤碳氮动态及氮淋失特点的研究;(4)扩散机理方

面,重点开展了媒介昆虫的化学指纹图谱、扩散及其与松树的信息联系、媒介昆虫交配定位的通讯机制,以及松材线虫病的流行等研究;(5)控制基础研究方面,主要开展了病害的早期诊断技术和基于太赫兹光谱的松材线虫病诊断技术、引诱管的机理、传播媒介昆虫松墨天牛的控制基础、生物活性物质作用的分子机理、植物次生物质对三级营养关系的影响、树栖捕食松材线虫和拟松材线虫菌物、松材线虫体表细菌演替及生防潜能等研究。同时,在转 *Bt* 蛋白基因灰葡萄孢菌构建及对松材线虫毒杀机制方面也开展了深入的研究。

2.1.2 棉花黄萎病 *Verticillium dahliae* Kleb 共资助 15 个项目,资助经费 372 万元。研究主要集中在:(1)致病机理方面,包括病菌胁迫下棉花抗病相关基因表达差异、黄萎菌毒素相关基因分离及基因消除、T-DNA 插入突变体库的构建及致病相关基因的克隆等;(2)抗性方面,包括抗性遗传及其分子标记,抗性基因功能分析、验证,抗性的信息传导,病原诱导启动子控制抗菌蛋白以提高棉花对黄萎病的抗性,棉花内生菌 HA02 诱导植株抗黄萎病的机理等;(3)控制基础方面,包括生防链霉菌抗生素基因的克隆、枯草芽孢杆菌 NCD-2 菌株抑制棉花黄萎菌功能基因克隆及其强表达体系构建等。

2.1.3 大豆疫霉病 *Phytophthora megasperma* f. sp. *glycinea* Kuan & Erwin 共资助 11 个项目,资助经费 258 万元。研究集中在:(1)入侵机理方面,包括大豆疫霉菌的来源、生理小种、外来小种风险分析、群体遗传结构及 *Avr1b* 无毒基因的毒性变异等;(2)致病机理方面,包括致病过程的分子机理、致病性相关转录因子的功能、大豆疫霉菌胁迫下大豆素合成途径相关酶基因、一种新型激发子的功能解析与机制、大豆疫霉菌新型效应蛋白的转录调控、疫霉菌诱导表达的大豆中一个新的病程相关蛋白类基因 *Pru ar1* 功能的研究等;(3)抗性方面,包括抗性遗传分析、抗性基因型分析和多抗资源创新等。

2.1.4 香蕉枯萎病 *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* 共资助 7 个项目,资助经费 193 万元。研究集中在:(1)致病机理方面,包括 4 号生理小种致病相关基因分析,致病酶 *PGC1* 的功能和抑制蛋白的研究,不同小种致病果胶酶同工酶比较,1、4 号小种致病性遗传差异分析及致病相关基因分析,新型香蕉

枯萎病菌毒素的免疫细胞化学定位及生物活性等;(2)抗性方面,主要包括野生蕉防卫的分子机理等。

2.1.5 甘薯茎线虫 *Ditylenchus destructor* Thorne 共资助 6 个项目,资助经费 168 万元。研究集中在:(1)入侵生物学方面,包括分类地位和生物学研究;(2)致病机理方面,包括致病相关纤维素酶和扩展蛋白基因克隆和功能分析;(3)抗性方面,包括主要相关基因分析和抗性基因工程的研究;(4)控制方面,主要是杀线虫剂对甘薯茎线虫的 *Hormesis* 效应及机理等。

2.1.6 香蕉穿孔线虫 *Radopholus Similes* (Cobb) Thorne 共资助 5 个项目,资助经费 131 万元。研究集中在:(1)入侵生物学方面,主要是分子生物学特性和 *Cathepsin B* 基因的功能研究等;(2)致病性方面,包括致病性测定和相关基因分析、共生细菌对宿主个体发育和致病性的影响等。

2.1.7 其他入侵病原线虫 其他入侵病原线虫主要包括小麦禾谷孢囊线虫 *Heterodera avenae* Wollenweber、马铃薯胞囊线虫 *Globodera rostochiensis* (Wollenweb)、马铃薯腐烂茎线虫 *Ditylenchus destructor* Thome、花生根结线虫 *Meloidogyne hapla* Chifwood、南方根结线虫 *M. incognita* (Kofoid and white head) Chitwood、瓜哇根结线虫 *M. javanica* (Treub) Chitwood、甜菜胞囊线虫 *Heterodera schachtii* Schmidt 等,重点是在检测、危险性分析、入侵生物学特性、遗传多样性、无机盐的影响、抗性基因、抗性种质资源及抗性机理、致病机理等方面的研究。共资助 12 项,资助经费 284 万元。

2.1.8 其他入侵病害 其他入侵病害包括水稻细菌性谷枯病 *Pseudomonas glumae* Kurita et Tabei、小麦全蚀病菌 *Gaeumannomyces graminis* (Sacc.) Arx. oliver、李坏死环斑病毒(*prunus necrotic ringspot virus*, *PNRSV*)、番茄溃疡病 *Clavibacter michiganense* subsp. *michiganse* (Smith) Davis、凤仙花坏死斑病毒(*impatiens necrotic spot virus*, *INSV*)、向日葵茎点霉黑茎病 *Leptosphaeria lindquistii* Frezzi、柑橘溃疡病 *Xanthomonas campestris* pv. *citri* (Hasse) Dye 等,在检疫性真菌的分子监测方面也有资助。共资助 9 项,资助经费 194 万元。研究内容主要包括检测技术、风险评估、致病机理、入侵特性、遗传多样性、控制措施的基础研究等。

2.2 入侵动物

在入侵动物方面共资助 97 个项目,总经费达 3057.4 万元,涉及 26 种研究对象。

2.2.1 烟粉虱 *Bemisia tabaci* (Gennius) 共资助 37 项,总经费 1068 万元。研究集中在:(1)入侵机制方面,包括沃尔巴克氏体 *Wolbachia* 对入侵种群的影响及其机理、*Wolbachia* 在种群分化与竞争取代中的作用及其机制、唾液成分在 B 生物型寄主适应中的作用、共生菌在 B 型寄主适应过程中的作用、寄主植物对 Q 型与 B 型竞争取代的影响及其机制、“根结线虫—番茄—烟粉虱—丽蚜小蜂”系统对于 CO₂ 浓度升高的响应机制、寄主适应性机制、新型烟碱类杀虫剂对 Q 型取代 B 型的驱动效应及其机制、吡虫啉在 Q 型和 B 型种群替代中的作用等;(2)生物型方面,包括 B 型的分布及分子鉴定、种群分化及其抗药性差异、我国不同生物型的起源及其演化、对新烟碱类杀虫剂抗药性的遗传分化及分子监测技术、种内生殖隔离程度及其形成机制、复合种群内同域与异域遗传群之间的生殖互作、表皮碳氢化合物在遗传型之间交配行为互作中的作用、吡丙醚和氯化烟酰类杀虫剂的交互抗性机制等;(3)入侵生物生态学方面,包括甘蓝上 B 型对桃蚜的竞争取代机制、吡丙醚抗药性的风险评估及分子诊断技术、根结线虫危害与茉莉酸诱导植物对烟粉虱及其寄生蜂的影响、B 型诱导烟草对烟蚜防御的生化及分子机制、非遗传抗药性的研究、番茄黄化曲叶病毒(tomato yellow leaf curl virus, TYLCV)在烟粉虱体内存活及扩散的分子机制等;(4)致害性方面,主要是烟粉虱与 TYLCV 互作的机理等;(5)天敌控制的基础研究方面,涉及捕食性天敌的生物控制、小黑瓢虫引种后人工繁殖利用、主要捕食性天敌昆虫的田间控制作用的 cDNA 定量评价、寄生蜂资源及其区域分布多样性、双斑蚜小蜂寄生的生理适应性和调控机制、Q 型优势寄生蜂的竞争性互作及稳定性控制机制、适度饥饿提高浅黄恩蚜小蜂取食寄主和寄生能力的机理、TYLCV 病防治中寄生蜂的应用及控害机制、浆角蚜小蜂与恩蚜小蜂对寄主的免疫抑制与发育调控机制等;(6)控制技术方面,包括蜡蚧轮枝菌毒素Ⅷ对粉虱忌避作用的分子机理与构效关系、诱集植物苘麻对棉田 B 型种群的生态调控机理等。

2.2.2 实蝇类 共资助 10 项,资助经费 248 万元。研究集中在:(1)检测技术方面,主要是利用基因芯片进行检疫实蝇的高通量快速鉴定研究;(2)起源与扩散方面,包括瓜实蝇 *Bactrocera cucurbitae* Coquillett 种群遗传关系及其起源与扩散规律,基于分子标记的番石榴果实蝇 *Bactrocera correcta* (Bezzi) 入侵来源与扩散规律,番石榴实蝇发生、分布及扩散特征,橘小实蝇 *Bactrocera dorsalis* Hendel 地理种群及其分布与迁移规律,应用抑制消减杂交法(SSH)克隆橘小实蝇雌虫特异嗅觉蛋白基因及其引诱剂的计算辅助设计等;(3)入侵机制方面,包括检疫性实蝇 *Wolbachia* 感染与生殖调控作用、寡毛实蝇 *Dacus* 类群及生态系统对地中海实蝇 *Ceratitis capitata* (Wiedemann) 入侵的可抵御性、瓜实蝇与南瓜实蝇 *Bactrocera tau* (Walker) 种间竞争取代机制、橘小实蝇的种群遗传结构及入侵扩散特征等。

2.2.3 斑潜蝇 共资助 5 项,资助经费 19 万元。研究集中在:(1)入侵机制方面,主要是美洲斑潜蝇 *Liriomyza sativae* (Blanchard) 种群分化机制;(2)入侵生物生态学方面,主要包括南美斑潜蝇 *L. huidobrensis* (Blanchard) 寄主选择性及其机理、南瓜—南美斑潜蝇—黄瓜霜霉病三者相互作用关系等;(3)控制基础研究方面,包括苦瓜对美洲斑潜蝇的整体化学防御、植物—美洲斑潜蝇—寄生蜂三级营养系统内植物间接防御机制等。

2.2.4 红火蚁 *Solenopsis invicta* Buren 共资助 4 项,资助经费 108 万元。研究集中在:(1)入侵机制方面,主要是入侵规律及其对生态系统的影响;(2)入侵特性方面,主要是跟踪信息素和报警信息素化学成分及其行为功能以及巢间识别的化学和分子机制等;(3)控制基础研究方面,主要是化学药剂诱发的红火蚁工蚁清后行为及机理等。

2.2.5 稻水象甲 *Lissorhoptrus oryzophilus* Kuschel 共资助 3 项,资助经费 80 万元。主要资助入侵机制和入侵特性方面的研究,包括地理型孤雌生殖形成的机理、共生菌 *Wolbachia* 的多位点序列分型以及夏季滞育相关基因的分离及其差异表达特性等。

2.2.6 西花蓟马 *Frankliniella occidentalis* (Pergande) 共资助 4 项,资助经费 109 万元。研究主要集中在:(1)入侵机制和入侵特性方面,包括种群遗传及其对本地蓟马的竞争取代机制、对蔬菜寄主的

选择性及其选择机制等;(2)种间关系方面,主要是西花蓟马侵入对东亚小花蝽控制二斑叶螨的影响;(3)控制基础研究方面,主要是本地捕食性天敌昆虫对西花蓟马控制效能的 cDNA 定量评价等。

2.2.7 二斑叶螨 *Tetranychus urticae* Koch 共资助 1 项,资助经费 28 万元。主要资助入侵机制,即种群遗传结构方面的研究。

2.2.8 红脂大小蠹 *Dendroctonus valens* LeConte 共资助 4 项,资助经费 93 万元。研究集中在:(1)入侵机制方面,主要是入侵种群的遗传分化及其暴发的分子机理;(2)化学信息联系方面,包括华山松小蠹和红脂大小蠹对寄主树木的选择机制研究、化学通讯的地理变异与暴发机制、聚集信息素的生物合成途径及其调控机制等。

2.2.9 其他入侵林业害虫 有关 10 种重要的林业入侵害虫的基础研究获得资助,资助项目 15 项,资助经费 570 万元。(1)水椰八角铁甲 *Octodonta nipae* (Maulik),主要是寄主适应性及其变异和多次交配效应及繁殖适应性变异方面的研究;(2)松突圆蚧 *Hemiberlesia pitysophila* Takagi,主要是引进天敌花角蚜小蜂对低温的抵御及生理适应和极端雄性偏离机制的研究;(3)沙棘木蠹蛾 *Holcocerus hippophaecolus* Hua, Chou, Feng et Chen,主要是其灾害发生机制方面的研究;(4)葡萄根瘤蚜 *Viteus vitifoliae* Fitch,主要是生物型对葡萄资源的危害及其互作机制方面的研究;(5)悬铃木方翅网蝽 *Corythucha ciliata* (Say),主要是入侵的生态后果评价的研究;(6)美国白蛾 *Hlyphantia cunea* (Drury),主要是种群定殖扩散的遗传学机制的研究;(7)舞毒蛾 *Lymantria dispar* (Linnaeus),重点在嗅觉气味受体蛋白及其特异配体、立体选择性舞毒蛾稀烃单加氧酶的定向进化及催化机理等方面的研究;(8)苹果蠹蛾 *Cydia pomonella* L.,重点开展我国疫区内种群的分子遗传结构、基因流动与扩散规律、基于细胞核微卫星与线粒体基因的标记、体内 *Wolbachia* 的分子检测及对生殖的调控作用和颗粒体病毒 ORF13 蛋白对 *Bt* 增效机制等方面的研究;(9)日本松干蚧 *Matsucoccus matsumurae* (Kuwana),主要是受病原真菌感染的机理及生物防治方面的研究;(10)螺旋粉虱 *Aleurodicus dispersus* Russell,主要是种群遗传结构的研究等。

2.2.10 重大入侵动物 有关 5 种重要的入侵动物的研究获得资助,共资助 9 项,资助经费 257.4 万元。(1)福寿螺 *Ampullaria gigas* Spix,主要开展其对稻田水体生物多样性的影响及其作用机理、发生危害规律及稻田养鸭控制的效果与机制、福寿螺多功能纤维素酶结构与功能等方面的研究;(2)红耳龟 *Trachemys scripta elegans* Schoepff,主要开展生态适应机制的研究;(3)食蚊鱼 *Gambusia affinis* (Baird et Girard),主要研究其对溪流生境的入侵机制及其与濒危土著物种唐鱼的种间关系;(4)牛蛙 *Rana catesbeiana* Shaw,主要开展其入侵、扩散和对当地蛙危害机理的研究等;(5)外来蚯蚓,主要涉及种群快速扩散及入侵的驱动因素、本土种与外来种分布格局及相互作用机制的研究等。

2.3 入侵植物

在入侵植物方面共资助 103 个项目,总经费达 3142.3 万元,涉及 24 种研究对象。

2.3.1 入侵植物的理论研究 在一般入侵植物的理论研究方面,共资助 25 项,经费 1024 万元。主要涉及:(1)风险评估方面,开展了外来植物的杂草化风险评价体系的研究;(2)扩散方面,分析了扩散限制因素、青藏铁路沿线外来植物空间扩散机理模型、林业外来有害生物入侵与扩散的多智能体模拟与空间预测等;(3)入侵机制方面,开展了入侵植物根际微环境的反馈调节机理、若干入侵机制、人工引种的生物入侵潜伏效应、纬向梯度对植物入侵性的影响及其适应策略、克隆整合对 2 种入侵植物入侵性的影响、农田外来杂草对资源波动的适应策略及与作物的竞争机制、应用 DNA C-值评估植物入侵性的原理与方法、根际土壤微生物与外来杂草的入侵关系、生态位漂移和非平衡分布对 4 种入侵植物适生区预测的影响等;(4)入侵生物生态学方面,包括道路对典型外来植物入侵的影响、基于生物地理尺度分析入侵种生态位的保持性与变异性、外来入侵植物能量里通特性及调节机制的研究等;(5)生态影响机制和生态系统的抵御方面,从线虫群落剖析外来植物入侵对河口湿地生态系统功能的影响、生态系统的防御响应、植物寄生对群落可入侵的影响及机制、外来植物影响下红树林生态系统服务功能的维持机制、资源有效性在外来入侵植物生长和防御进化中的作用、外来植物入侵改变系统氮素循环的化感驱动新机

制、不同植物功能群对外来植物入侵的抵抗力形成机制、以本地及外来植物为优势种的植物群落对滇中土壤质量影响的比较研究等;(6)控制基础研究方面,包括我国主要入侵植物丛枝菌根真菌的多样性及生态功能、从入侵杂草化感武器的破解途径入手研究外来杂草入侵系统的恢复途径及其机理等。

2.3.2 紫茎泽兰 *Eupatorium adenophorum* Spreng

共资助 16 项,经费 386 万元。研究集中在:(1)入侵机制方面,包括紫茎泽兰和同属本地种资源捕获能力和利用效率的比较、F3'H 基因的功能分析、AM 真菌在入侵中的生态功能、化学防御机制、调控其活性物质分泌的信号机制、与本地近缘种对 CO₂ 浓度和氮水平响应差异的比较、根际化感物质的解析及其在不同入侵程度土壤中的动态、叶内共生菌对逃逸天敌作用的影响、代谢产物中的抑菌活性成分、耐冷性种群分化的分子生态机制、与不同功能型植物种间竞争效应及其生理机制等;(2)生物防治方面,包括紫茎泽兰致病型链格孢菌新毒素的作用靶标、链格孢菌紫茎泽兰专化性毒素产生的分子生物学基础、松针褐斑病菌毒素诱发紫茎泽兰细胞死亡方式及促进杂草感病机理、重金属胁迫对泽兰实蝇防治紫茎泽兰效果的影响及其机制、紫茎泽兰致病型链格孢菌毒素(AAC-toxin)在病原体侵染寄主过程中的产生和作用等。

2.3.3 互花米草 *Spartina alterniflora* Loisel 和其他米草

共资助 14 项,经费 466 万元。研究集中在:(1)入侵机制方面,分析了成功入侵长江口湿地的生态学机理(种群过程与生态适应)、分子遗传基础与快速进化机制、入侵红树林生态学机理与受损红树林恢复模式等;(2)入侵生物学特性方面,开展了耐盐相关基因的发掘和植物泌盐分子机理、重金属污染下根际与内生菌的群构特征和细菌效应等研究;(3)生态系统的影响及其响应方面,包括其对海河三角洲湿地生态系统功能的影响、入侵对盐沼含硫量气体产生的影响、生态系统工程效应及其在盐沼植物群落分带中的驱动作用、入侵条件下红树林的保护与生态恢复、对环境硫的响应机制、与土著生态系统中土壤生物主要功能的相互作用及其对群落与生态系统水平的后果、入侵对河口潮汐湿地地下碳循环的影响等;(4)利用研究方面,主要是海涂米草与水稻远缘杂交种质资源的发掘与创新等。

2.3.4 喜旱(空心)莲子草 *Alternanthera philoxeroides* (Mart.) Griseb. 共资助 12 项,经费 324 万元。研究集中在:(1)对生态系统的影响,包括入侵和逸生对局部水域水生植物区系演变的影响、对农田生态系统中节肢动物群落的影响;(2)入侵机制方面,包括入侵中生长变异的遗传基础及其生态学效应、在我国亚热带气候区暴发的机制、表型可塑性变异的表观遗传调控机制及其适应意义以及对环境胁迫的补偿反应与机制等;(3)入侵特性方面,主要是高锰胁迫下空心莲子草对草甘膦的耐药性机理等;(4)天敌方面,重点是对莲草直胸跳甲的低温适应性、对非靶标植物的选择性等,以及引进天敌防治的效果及天敌生态变异评价等;(5)病原微生物方面,主要是假隔链格孢毒素的除草效用与作用机制等;(6)利用方面,主要是空心莲子草植物资源品质及其抗病毒活性次生代谢产物等的研究。

2.3.5 加拿大一枝黄花 *Solidago canadensis* L. 共资助 4 项,经费 82 万元。在入侵机制方面,从种间关系剖析其入侵机制,探讨其入侵过程的化学生态机制等;在入侵生物生态特性方面,分析其繁殖策略及其快速进化等;在扩散机制方面,分析种子风传播扩散的时空分布规律等。

2.3.6 薇甘菊 *Mikania micrantha* H. B. K. 共资助 5 项,经费 93 万元。在种间竞争方面,分析乡土树种幌伞枫对入侵种薇甘菊的耐受和遏制机理;在控制基础研究方面,分析菟丝子对恶性杂草薇甘菊的寄生生理机制,以及用寄主植物菟丝子致死恶性杂草薇甘菊的机理及其生态安全,菟丝子寄生薇甘菊的生理生态机制与应用基础研究等;在生物防治方面,探讨薇甘菊萎蔫病毒生物学特性与传播机理等。

2.3.7 凤眼莲(水葫芦) *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms 共资助 4 项,经费 79 万元。在入侵机制方面,包括入侵过程、机制及其生态学效应,克隆生长与有性繁殖对水环境的生态适应策略等;在入侵生物学特性方面,分析凤眼莲质膜转运蛋白对重金属污染的分子响应机制;在控制基础研究方面,分析马缨丹 *Lantana camara* Linn. 提取物对水葫芦生长抑制作用的化学机制等。

2.3.8 假臭草 *Eupatorium catarium* Veldkamp (*Praxelis clematidea* R. M. King) 共资助 3 项,经费 78 万

元。在入侵特性方面,分析遗传结构与环境适应对策;在利用研究方面,探讨其资源化利用等;在生物防治方面,开展了植原体寄主专一性测定和风险评估等研究。

2.3.9 入侵菊科植物 共资助 10 项,经费 380 万元。在入侵机制方面,主要探讨牛膝菊 *Galinsoga parviflora* Cay. 入侵过程的分子生态机制、欧洲千里光 *Senecio vulgaris* Linn. 的遗传变异与适应进化——原产地和入侵地的比较、有害入侵植物飞机草 *Chromolaena odorata* Linn. 的进化等;在化感作用及机理方面,分析加拿大蓬 *Erigeron Canadensis* L. 的化感物质及其化感作用机制,胜红蓟 *Ageratum conyzoides* L.、黄守瓜生态化学调控机理等;在入侵特性方面,分析银胶菊 *Parthenium hysterophorus* L. 入侵的繁殖与扩散和遗传结构与生态适应性等;在生态影响方面,分析南美蟛蜞菊 *Wedelia trilobata* (L.) Hitchc. 入侵对土壤微生物的影响及反馈作用等;在控制基础研究方面,分析本土植食性叶甲抵御入侵豚草 *Ambrosia artemisiifolia* L. 的作用及其机制、三裂叶豚草 *Ambrosia trifida* L. 锈病致病机理及分子遗传变异研究等。

2.3.10 其他入侵植物 资助其他入侵植物 7 种,共资助 10 项,经费 230.3 万元。(1)水盾草 *Cabomba caroliniana* Gray,探讨其入侵和扩散机制及其对群落物种多样性的影响;(2)无瓣海桑 *Sonneratia apetala* Buch-Ham,分析其对我国红树植物物种多样性的影响,探讨其入侵潜能的分子遗传学等;(3)日本菟丝子 *Cuscuta japonica* Choisy var. *japonica*,主要研究茎寄生植物日本菟丝子与寄主发生缠绕行为的诱导机制和 ASM 诱导大豆对恶性寄生杂草菟丝子的抗性;(4)禾叶慈姑 *Sagittaria graminea* Michx.,主要对该新记录入侵杂草的种群扩散机制及生态风险评估进行分析;(5)少花蒺藜草 *Cenchrus pauciflorus* Benthham,主要分析该入侵杂草在科尔沁草原入侵的适应性;(6)刺萼龙葵 *Solanum rostratum* Dun,主要研究遗传多样性及其生态适应潜力、繁殖生物学与其进化适应潜力等;(7)大藻 *Pistia stratiotes* L.,主要研究虎刺榕木对外来水生恶性杂草大藻的除草活性成分、机理和安全性等。

3 生物入侵基础研究队伍的地区分布

从国家基金委资助生物入侵领域的项目分布

来看,最多的是华东、华北和华南地区,分别占总资助项目数的 33.6%、26.3% 和 21.1%;其次是西南地区,占总资助项目数的 7.2%;再次是东北、华中、西北地区,其资助项目相差不大,3 个地区合计占总资助数的 11.8%。这种情况与我国不同地区入侵生物的数量及其危害程度的分布格局基本吻合。

4 资助对象

1998 ~ 2008 年,在入侵我国主要农田和林业生态系统的 19 种危险性、暴发性的外来有害生物种类中,只有 8 种获得国家基金的资助,包括红脂大小蠹、红火蚁、悬铃木方翅网蝽、西花蓟马、螺旋粉虱、水椰八角铁甲、香蕉穿孔线虫、李属坏死环斑病毒等;而其余 11 种,包括刺槐叶瘿蚊 *Obolodiplosis robiniae* (Haldemann)、桉树枝瘿姬小蜂 *Leptocybe invasa* Fisher et LaSalle、扶桑绵粉蚧 *Phenacoccus solenopsis* Tinsley、椰心叶甲 *Brontispa longissima* (Gestro)、刺桐姬小蜂 *Quadrastichus erythrinae* Kim、锈色棕榈象 *Rhynchophorus ferrugineus* (Oliver)、褐纹甘蔗象 *Rhabdoscelus lineaticollis* (Heller)、银合欢豆象 *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit、黄瓜绿斑驳病毒 (cucumber green mottle mosaic virus, CGMMV)、番茄曲叶病毒 (tomato leaf curl virus, TLCV)、黄顶菊 *Flaveria bidentis* (L.) Kuntze 等,尚未获得资助。

在所资助的研究对象中,17 种属于我国最具危险性的外来入侵物种(20 种),包括烟粉虱、稻水象甲、苹果蠹蛾、橘小实蝇、松突圆蚧、红脂大小蠹、红火蚁、松材线虫、香蕉穿孔线虫、福寿螺、紫茎泽兰、豚草、水葫芦、互花米草、薇甘菊、加拿大一枝黄花、空心莲子草等。另外 3 种最具危险性的外来入侵物种尚未获得资助,包括马铃薯甲虫 *Leptinotarsa decemlineata* (Say)、椰心叶甲 *Brontispa longissima* (Gestro)、克氏原螯虾 *Procambarus clarkia* (Cirard)等。

5 展望

前期国家基金委所资助的项目,对于推动我国生物入侵领域的基础研究和应用基础研究、构建入侵生物预防与控制的关键技术、加快入侵生物学学科建设和培养科技人才等方面起到了重大的促进作用。建议在后续的基金资助中,主要注重如下几个方面的问题。

(1)集中力量,解决生物入侵方面的重大科技

问题。在基础研究方面,重点开展 3 个方面的研究:第一,围绕入侵生物的种群特征和调节机制,探讨入侵种群构建与崩溃的生态学过程,分析影响其变化的生态因子,明确入侵种群的生态适应性变异和进化关系等;第二,围绕全球变化(如气候、大气组成、土地利用变化等)对生物入侵的效应问题,在景观、区域和全球尺度上,着重研究各种环境因子对外来物种的入侵机制、适应特性和暴发危害的影响机理,分析入侵地生物多样性和生态系统的响应、可入侵性及其抵御能力等的变化过程和特征;第三,围绕生物入侵与农田、森林、水域等生态系统的功能变化,揭示入侵生物对生态系统功能的影响过程及其机理,探讨生态系统恢复和抵御的过程和机制等。在控制基础方面,重点开展入侵生物的快速鉴定、监测与评估技术、控制新技术和入侵生物利用等方面的研究。

(2)在生物入侵的理论研究方面,尚需加大支持力度,尤其是通过持续的研究,形成一些具有普遍意义的系统理论,以提升我国在该领域的研究水平。

(3)一些重要入侵种类的基础研究尚需加强。在入侵我国的 500 多种外来生物中,造成重要危害的高达 100 多种,但目前基金资助的研究对象仅占

很小的比例。因此应加强一些重大入侵性、危险性和暴发性种类的基础研究和应用基础研究等。

(4)有关生物入侵的热点问题和前沿领域,需要持续资助。同时,鼓励不同单位之间开展不同层次的合作研究,鼓励与国际组织间的合作研究等。

(5)争取在国家基金的其他项目,尤其是人才项目、平台项目等方面有所突破,从而为生物入侵的研究开创新的局面。

参考文献

- 付文杰. 2009. 生物入侵研究概况与发展趋势. 现代农业科技, (21): 149, 152.
- 黄雪约. 2007. 我国外来生物入侵与防治措施. 科技资讯, (20): 22 - 23.
- 万方浩, 郭建英. 2007. 农林危险生物入侵机理及控制基础研究. 中国基础科学, (5): 8 - 14.
- 万方浩, 郭建英, 张峰. 2009. 中国生物入侵研究. 北京: 科学出版社.
- 万方浩, 张桂芬. 2010. 我国农业有害生物检疫的研究现状及发展策略. 植物保护, 36(4): 6 - 9.
- 万方浩, 郭建英, 王瑞. 2010. 首届国际生物入侵大会会讯. 植物保护, 36(1): 21.
- 郑培忠, 沈健英. 2009. 外来生物入侵及其机制. 杂草科学, (4): 1 - 6.