

后, 进行中期评估, 重点评估项目的“工作状态”和“研究前景”, 围绕项目总体目标, 根据“集中目标、突出重点、精干队伍、择优支持”的原则, 调整和确定后 3 年的研究计划; 并根据中期评估情况, 对有突破前景的重点课题, 根据课题的实际需要进行强化支持, 从而保证重点工作得到重点支持。

“973”计划实施 9 年来, 立足国家需求, 面向科学前沿, 坚持“择需、择重、择优”和“公平、公正、公开”的原则, 坚持创新, 着力解决国家经济、社会和科技发展中的重大科学问题, 大力促进了基础研究与国家目标的结合, 推动了基础

研究的发展, 得到了科技界的广泛认可。实践证明, 实施“973”计划为国家培养了一批年富力强的科研队伍, 是一项具有战略意义的重大举措, 是国家重大战略需求与科学前沿相结合的成功范例。前述 8 个项目的实施和完成, 必将极大地促进我国昆虫科学基础研究, 产生一批重大的创新性成果。

#### 参 考 文 献

- 1 <http://www.973.gov.cn>
- 2 郝树广. 昆虫知识, 2007, 44(2): 158~163.
- 3 万方浩. 昆虫知识, 2007, 44(6): 790~797.

## “973”项目“农林危险生物入侵机理与控制基础研究”简介<sup>\*</sup>

万方浩<sup>\*\*</sup>

(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 100094)

**An introduction to “973” program “invasion biology and control strategy of alien species in agriculture and forest”.** WAN Fang-Hao<sup>\*\*</sup> (*State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100094, China*)

**Abstract** This project selects representative invaded and potential invasive alien species (IAS) to investigate the three key issues in invasion biology, including genetic diversification in early stage of invasion, ecological adaptation in the stage of spreading, and risk assessment for prediction of potential IAS. The key scientific issues will be explored at the molecular, individual, population, community and ecosystem levels using molecular biology, molecular ecology, ecology, ecological genetics, biochemistry and other theories or methods. The main contents of the program include: genetic differentiation and rapid evolution, molecular-ecological and chemical-ecological mechanisms in the processes of population growth and expansion, impacts on the structure and function of ecosystems, resistance mechanisms of ecosystems to IAS, establishment and spreading possibility analysis of several potential dangerous IAS, molecular basis and techniques for rapid monitoring and diagnosis of IAS. The project will investigate and develop prediction systems and risk management paradigms for invasive species, and provide the scientific and technological support for the control of invaded species.

**Key words** invasive alien species, biological invasion, invasive mechanism, control and management

**摘 要** 2002 年 12 月, 国家重点基础研究发展计划(“973”项目)“农林危险生物入侵机理与控制基础研究”经科技部批准正式立项, 2003 年启动。文章主要介绍该项目的立项背景、主要研究内容、研究方案

<sup>\*</sup> 国家重点基础研究发展计划(2002CB111400)资助。本文为《昆虫知识》编委会特邀稿件。

<sup>\*\*</sup> E-mail: wanfangh@public3.bta.net.cn

收稿日期: 2007-08-06, 接受日期: 2007-09-23

和技术路线、总体研究目标及研究进展。  
关键词 外来入侵物种, 生物入侵, 入侵机理, 控制与管理

2002 年 12 月, 国家重点基础研究发展计划(“973”项目)“农林危险生物入侵机理与控制基础研究”(2002CB111400)经科技部批准正式立项, 2003 年启动。该项目由中国农业科学院植物保护研究所万方浩研究员、南京农业大学郑小波教授主持, 研究期限至 2008 年 8 月。(本文主要介绍该项目的立项背景、主要研究内容、研究方案和技术路线、总体研究目标及研究进展。

1 立项背景

在 21 世纪经济全球化、国际贸易自由化的新形势下, 生物安全已成为各国国家安全的重要组成部分, 与国家军事防卫几乎相提并论。外来物种入侵是生物安全领域的重要组成部分, 其危害主要包括以下几个部分: (1)随着全球国际贸易、旅游和交通的迅速发展, 外来物种入侵的危险性日益增加, 已成为全球 21 世纪农业可持续发展面临的共同问题。(2)我国是一个生物灾害频繁的农业大国, 外来物种入侵对农林渔牧业安全生产、生物多样性、人畜健康等产生的严重经济损失与威胁将进一步加剧这一矛盾。危险性农作物病虫害, 特别是农业恐怖生物一旦传入后果不堪设想, SARS 的暴发给予了国际社会新的警示。(3)外来物种入侵的威胁已成为农产品国际贸易绿色技术壁垒的主要障碍之一。(4)防范恐怖分子利用高科技的手段—生物技术制造超强的生物武器、防止“恐怖分子生物入侵”是保卫国家安全的战略性任务。因此, 外来物种入侵的预防与控制研究也就成为了国际研究的热点与焦点问题<sup>[48]</sup>。

1.1 基础研究的进展与发展趋势

1.1.1 国际研究进展

早在 1958 年, 外国科学家就外来物种入侵问题出版了《动植物入侵的生态学》一书<sup>[13]</sup>。此后, 美国、加拿大、英国、澳大利亚和南非等国的科学家较系统地调查研究了外来动植物、微

生物和海洋生物的种类、分布及对本国农林牧渔业和生态系统的影响。近年来, 外来物种入侵机理日益成为国际上广泛关注和研究的热点与焦点, 国际众多刊物上相关研究报道日渐增多, 《Nature》和《Science》上也频频刊载有关论文与论述<sup>[3, 5, 7, 8, 16, 19, 24, 35, 37, 39, 41]</sup>, 其主要研究进展归纳如下。

(1)入侵种的生物学特征与成功入侵的关系<sup>[1, 4, 9, 12, 32, 38, 43]</sup>: 入侵物种的系统发育特征(生活史特征及生态学特性)往往在入侵过程初期起到决定性作用。如可塑性的生殖对策与生殖机制(有性与无性、r-选择与 K-选择)、较强的生存适应与种群增长对策(种子量大与易于扩散、诱导性休眠与滞育、快速出苗与较短的幼苗期)、较宽的生态幅与较强的环境忍耐度(生态适应与抗逆能力)、掠夺性的竞争能力(食物资源的争夺与瓜分、时间与空间生态位的占领)等, 以此解析入侵种最小种群的维持、潜伏与扩张的成功入侵特性。

(2)入侵物种的生态进化与生态适应的遗传背景<sup>[2, 11, 15, 22, 28, 34, 40]</sup>: 入侵种群一般由少量个体发展起来, 与其原产地种群相比, 其遗传多样性会降低, 这对种群发展不利; 但有研究表明, 入侵物种较低的种群遗传多样性反而能增强入侵种在新栖息地的竞争能力, 如对入侵美国的阿根廷蚂蚁的研究表明, 由于种群内遗传同质性的增加导致种群快速增长。有时入侵物种在新栖息地的选择压力下可产生新的有利于入侵的性状, 并被选择和保留下来, 加速了种群遗传结构的分化。外来物种一旦建立种群, 随着时间的推移, 可能发生遗传分化与演变, 同时受影响的本地种也随之发生相应的遗传调整。此外, 对入侵物种群体遗传结构特征的研究, 可揭示入侵物种的起源问题, 如美国对地中海实蝇 *Ceratitis capitata* (Wiedemann) 的研究。

入侵物种的生态学特征差异反映出遗传学背景的多样性。在揭示物种入侵过程中的遗传

行为(如遗传分化的格局、自然选择压力等)与生态行为(如生态适应性、生态位的保守性等)的相对重要性及其相互作用(如生态过程及格局与入侵种群内和种群间快速演变的关系等),以及解析导致入侵物种的快速进化与生态适应的入侵机理方面是国际上的研究热点。

(3)入侵物种种群扩张的生态学机制与生物控制技术<sup>[10 17, 25, 36, 42 46]</sup>:入侵物种得以成功入侵,除了入侵物种自身的生态适应性和食物及空间资源利用能力,入侵物种对本地种的抑制和竞争作用也是重要因素之一。如一些入侵杂草的根系分泌物能抑制本地种。一般情况下,入侵种比处于相似生态位的本地种更具竞争力,加上入侵种失去原产地天敌的控制,表现出更强的竞争性。外来物种成功入侵的主要原因是失去其原产地天敌的控制,因而从原产地引进天敌进行生物防治已成为控制外来物种的重要手段,有很多成功的实例证实了这一观点。竞争替换是种间竞争最严重的结果,已有许多本地种被入侵种所替代的现象,这种替换大多发生在近缘种之间和受干扰较大的环境中。

(4)生态系统的可入侵性与生态系统管理<sup>[6, 14, 18, 21 23, 33]</sup>:对入侵物种而言,生态系统的抵抗力和可入侵性是一个事物的 2 个方面,也是目前研究的热点之一。外来物种的入侵可改变入侵地的生态系统或群落结构,影响系统内的营养循环和能量分配,造成系统结构与功能的紊乱。生物多样性对于抵抗外来种入侵起到关键作用,物种组成丰富的群落较物种组成简单的群落对生物入侵的抵抗能力要强,已有许多野外研究结果和数学模型支持这些观点,一些设计性实验证明了群落生物多样性与群落对生物入侵的抵抗性之间呈正相关。生态系统所受的干扰(自然干扰和人为干扰)越强,生物入侵越易发生;过强的干扰会在群落中形成空生态位,降低对生物入侵的抵抗力,给入侵物种提供更多的生态位机遇。最新的生态位理论表明,较高的物种多样性导致较弱的生态位机遇和较强的入侵抗性。一些对入侵物种的资源竞争模式、栖境模式、入侵与协同进化的数学模式的研

究为生态调控及生态修复技术提供了科学基础。

(5)生物入侵的风险预测模式与风险管理<sup>[20, 45]</sup>:早期预警系统理论与方法的研究成为预测生物入侵的基础研究命题。如:澳大利亚研制的 CLIMEX 系统,根据有害生物输出国和输入国生态气候指标的相似度,可预测入侵物种潜在的适生范围。PESKY 系统引进种群生态学概念,可评估某种有害生物的潜在分布、种群数量和发生风险。美国马里兰大学研制的 MARYBLT 系统可预测 4 种梨火疫病症状、出现时间和侵染的危险性。阿根廷开发出植物生长模型,定量评估外来入侵植物风险。美国利用 GIS 进行了斑贻贝 *Dreissena polymorpha* (Pallas)的时空扩张预测,考虑了水深、地层和阳光辐射等因素。

### 1.1.2 国际研究趋势

外来物种入侵对大农业生产带来的巨大经济损失及对生物多样性的严重威胁,已成为国际社会面临的重大科技问题。加强外来危险生物的入侵机理、灾变机理及控制技术的基础研究,发展早期预警与预防、检测与控制的理论与技术,是解决这一问题的根本途径<sup>[30, 31, 40, 47]</sup>。

当前,入侵生物学的学科理论与方法的框架正在初步形成。生物入侵过程和机制的研究极其复杂,多年来大多应用生物学和生态学的常规方法,限于对生物入侵的观察描述与提出理论假设。随着研究的深入,特别是近 10 年来,融入了较多的分子生物学、分子生态学、生态遗传学、生物化学、生物数学和 3S(GIS、GPS、RS)技术等方法,使生物入侵机理的研究水平得以较大提升,促进了入侵生物学的发展。由此产生了一些新的概念、假设与推论,如最小种群理论、1/10 定则、入侵物种的前适应性理论、生态位与遗传多样性正比相关理论、生物群不协调理论、天敌逃逸理论、群落多样性理论、生态位机遇、入侵应力、繁殖体应力等;发展了一些有实用价值的控制技术及其特定生态系统恢复与管理体制<sup>[26, 27, 29]</sup>。

国际上对于生物入侵的研究趋势着重于:

(1)传入前或传入过程中的预防与预警;(2)定殖与种群建立过程中的生物学与遗传的“前适应性”机制;(3)潜伏与扩散传播过程中的生态学与遗传的“后适应性”机制;(4)暴发成灾过程与生态系统的可入侵性;(5)特定生态系统中入侵物种的控制基础研究<sup>[49]</sup>。

1.2 国内研究进展及面临的挑战

我国外来有害生物入侵的形势严峻。主要体现在两大特征:(1)农业外来入侵物种扩散蔓延,暴发成灾。据初步统计,目前入侵我国的农林外来有害物种至少有 400 多种。(2)农业危险生物不断传入,新的疫情不断突发。一些危害性极大的外来物种相继传入我国,如红火蚁 *Solenopsis invicta* Buren、西花蓟马 *Frankliniella occidentalis* (Pergande)。

我国对外来物种入侵的研究起步较晚。“八五”以来,由于国家有关部门的重视,对农林危险生物入侵的研究积累了一定的工作基础。相关研究主要集中在:对检疫性有害生物开展了较为系统的检疫检验和除害处理技术的研究;对一些潜在的入侵物种(如小麦矮腥黑穗病 *Tilletia controversa* Kühn 等)开展了风险分析与评估的研究;对入侵的外来有害生物(如美洲斑潜蝇 *Liriomyza sativae* Blanchard、烟粉虱 *Bemisia tabaci* (Gennadius)、马铃薯甲虫 *Leptinotarsa decemlineata* (Say)、红脂大小蠹 *Dendroctonus valens* LeConte、松材线虫 *Bursaphelenchus xylophilus* (Stenier & Bubrar) Nickle、松突圆蚧 *Hamibleresia pitysophila* Takagi、湿地松粉蚧 *Oracella acuta* (Lobdell) Ferris、美国白蛾 *Hyphantria cunea* (Drury)、苹果蠹蛾 *Laspeyresia pomonella* (L.)、稻水象甲 *Lissorhoptrus oryzophilus* Kuschel、甘薯黑斑病 *Ceratocystis fimbriata* Ellis, et Halsted)的分布和种群动态、生物生态学特性、危害水平和控制技术进行了较为详细的研究;对入侵的有害杂草(如豚草 *Ambrosia artemisiifolia* L.)、空心莲子草 *Alternanthera philoxeroides* (Mart.) Griseb)、水葫芦 *Eichhornia crassipes* (Martius) Solms-Laubach)、薇甘菊 *Mikania micrantha* H. B. K.)、紫茎泽兰

(*Ageratina adenophora* (Spreng.)))开展了生物防治与综合治理技术的研究;对潜在的重大植物病害开展了诊断技术研究等。

这些研究在理论和应用方面为该项目的研究奠定了基础。尽管如此,我国对农林危险生物的入侵机理、灾变机理和控制的科学基础研究工作仍很薄弱,在整体上明显落后于国际水平。由于缺乏基础研究,难以取得重大控制技术的突破,难以提升可持续控制技术的整体水平,这与我国预防与控制生物入侵的国家需求极不相称。因此,有必要采用多学科的理论与方法,系统地开展危险生物入侵的基础研究,以服务于我国农林生产安全和国家生态安全体系的建立。

2 项目的主要研究内容

该项目针对我国实际情况,以外来物种入侵的不确定性和入侵后的暴发性为切入点,选择有代表性的已入侵和潜在入侵物种为对象,以外来物种入侵过程中的遗传分化、扩张过程中的生态适应和潜在危险生物入侵早期预警三大关键问题为核心,重点揭示松材线虫、烟粉虱、紫茎泽兰、红脂大小蠹、稻水象甲等已入侵物种的遗传分化与快速演变过程,解析入侵过程中种群增长与扩张的分子生态与化学生态机制,阐明入侵对生态系统结构和功能的影响及生态系统对入侵物种的抵御机制。阐明小麦矮腥黑穗病菌、大豆疫霉 *Phytophthora megasperma* (Drechs. )f. sp. *glycinea* Kuan & Erwin、梨火疫病病菌 *Erwinia amylovora* (Burrill) Winslow 等潜在危险生物在我国定殖并形成种群的可能性,建立快速检测的分子基础和技术体系。在此基础上,研制出潜在危险入侵物种的早期预警系统及风险管理程式,提出已入侵物种控制的科学与技术支撑(图 1)。

针对入侵物种的研究有别于对本地有害生物的研究。由于外来物种的入侵是一个有序的过程,各阶段的研究侧重点不同。由于不同入侵物种类群(动物、植物和微生物)的生物生态学特性显著不同,其入侵机理和控制基础也不

尽相同。

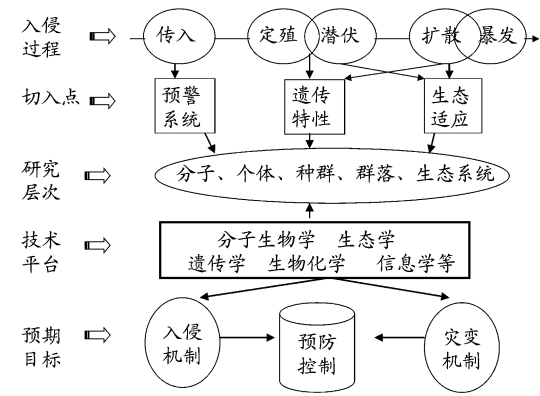


图1 研究思路与主要研究内容

2.1 农林危险生物入侵过程中种群的遗传分化与演变机制

入侵物种快速演变的群体遗传机制: 针对烟粉虱、松材线虫和紫茎泽兰等代表性已入侵物种在入侵过程中的遗传分化问题, 应用微卫星(SSR)、扩增片段长度多态性(AFLP)和单核苷酸多态性(SNP)等分子标记方法, 研究烟粉虱、紫茎泽兰、松材线虫不同地理种群的遗传结构, 以及迁移扩散、自然选择、遗传漂移、环境因子和寄主等对群体遗传分化的影响, 揭示入侵过程中种群系统发育地理格局与演变机制。

入侵物种的生物型间基因交流与分化机制: 分析烟粉虱不同生物型间基因交流与杂交带形成的遗传机制, 探讨生物型间与寄主选择适应性及传病毒能力等性状相关基因的分化机制, 揭示其新致害类群形成的遗传基础。

2.2 农林危险入侵物种的分子生态适应机制

入侵植物病原菌与寄主互作的适应机制: 针对潜在入侵植物病原菌与寄主互作的适应问题, 研究危险入侵物种大豆疫霉、梨火疫病菌等寄主识别及信号传导的过程和机制; 比较国内和原产地菌株寄主识别特性的差异, 通过分离并鉴定病原菌与寄主信号识别与传导因子, 解析病原菌致病基因与寄主防卫基因的互作模式, 揭示入侵物种与寄主互作过程中的分子适应机制。

入侵物种对生态环境胁迫的适应机制: 从

烟粉虱、大豆疫霉、紫茎泽兰等已入侵物种对生态环境胁迫的分子生态适应性入手, 研究入侵物种对环境胁迫的响应、与生态适应相关基因的表达与调控, 以及生态胁迫诱导相关蛋白的功能, 揭示生物入侵过程中的分子生态适应机制。

2.3 农林危险入侵物种种群的形成与扩张机制

入侵物种种群形成与扩张的种群和化学生态机制: 研究稻水象甲和烟粉虱的生活史特征与种群维持及扩张的关系, 提出种群形成的特征生活史决定机制。研究红脂大小蠹、松材线虫和烟粉虱的传播与扩散生物学过程、主动扩散的诱发机制、传播媒介的作用机制、环境因子对扩散的影响, 种群密度和地理障碍对种群扩张的制约机制。研究烟粉虱、红脂大小蠹与寄主之间的化学信息联系, 植物挥发性次生物质对入侵物种的引诱与驱避作用, 探讨入侵物种寄主谱扩张与对寄主次生代谢物质解毒酶系间的关系, 阐明农林危险生物入侵后对新寄主的选择与适应机制。研究紫茎泽兰在不同入侵地化感物质的组成和含量变化规律, 分析其化感物质对本地物种的排斥作用, 揭示入侵种分布扩张的化学生态机制。

危险生物入侵对特定生态系统结构与功能的影响: 以紫茎泽兰、松材线虫入侵的生态系统为对象, 研究生物入侵导致生态系统(主要是群落和功能群)的食物网络结构、群落稳定性、生态服务功能等影响及其机制; 阐明生物入侵导致生物群落中功能群组成变化的机制。

2.4 生态系统的抵御机制

生态位机遇与危险生物成功入侵的关系: 研究入侵物种烟粉虱与温室粉虱等对资源的竞争作用与种间竞争置换的机制; 阐明同一营养层次危险入侵物种与本地物种间相互竞争的作用机制。研究农林生态系统中, 紫茎泽兰、红脂大小蠹等入侵物种对生态位选择与利用的时空动态, 生物多样性结构与格局对入侵物种的抵抗与接受机制, 生境破碎及人为干扰与生物成功入侵的关系; 揭示资源机遇、天敌逃避机遇在

生物入侵过程中的作用机制。

2.5 重要农林危险入侵物种快速检测的分子基础

构建潜在入侵物种的特异性分子标记: 利用线粒体 DNA、核糖体 DNA—I TS 序列分析及微卫星(SSR)、扩增片段长度多态性(AFLP)等现代分子生物学技术与方法, 研究潜在危险生物小麦矮腥黑穗病(TCK)、大豆疫霉、梨火疫病菌等潜在危险生物的遗传多态性, 筛选目标病原物特异性 DNA 片段, 构建目标病原物的特异性分子标记。

建立潜在入侵物种的分子检测技术体系: 根据已筛选的小麦矮腥黑穗病、大豆疫霉、梨火疫病菌的识别基因序列, 设计特异性引物, 建立潜在生物入侵快速检测技术体系和标准。

2.6 农林危险生物入侵风险与环境经济评估模式

潜在危险生物的风险评估理论与预警系统: 研究小麦矮腥黑穗病、梨火疫病、红脂大小蠹等潜在危险生物的入侵、定居潜力与环境生态阻力, 确定评估参数集, 建立入侵物种种群发展的概率模型, 量化风险评估指标, 结合数据库系统和软件技术平台, 构建潜在危险生物入侵风险图生成系统。

已入侵物种的生态经济影响评估理论与模式: 研究烟粉虱、松材线虫病、紫茎泽兰等入侵物种对自然、社会资源的影响指数, 生物入侵对生态、经济结构的影响指数, 提出外来物种入侵的环境经济危害阈值, 提出评估的指标体系(定性与定量)、风险判别标准, 评价不同风险控制策略的有效性等, 进而建立生物入侵的环境经济影响评估模式。

2.7 可持续控制策略

入侵物种的可持续控制策略与途径: 针对烟粉虱、松材线虫、紫茎泽兰等已暴发成灾的入侵物种, 在阐明其入侵与灾变机制的基础上, 明确抑制其种群增长和暴发的关键时期或发育阶段, 研究本地天敌与引进天敌的作用方式、环境友好技术及其控害潜能, 提出相应的生物控制策略和技术体系; 研究上述入侵物种与入侵生

态系统内其他因子的相互作用, 明确抑制种群增长或导致种群暴发的关键生态因子, 制定生态控制策略与生态修复技术; 根据系统生态学原理, 研究生物防治和生态调控的协同作用机制, 构建入侵物种的可持续控制途径。

3 项目研究方案和技术路线

该项目运用分子生物学、分子生态学、生态遗传学、生物化学、种群生物学、生态学和地理信息系统等方法, 采用 DNA 水平的遗传分化、蛋白质水平的分子生态适应、控制条件下的实验生物学模拟与宏观生态现象的调查等宏观与微观相结合的技术路线, 从分子、个体、种群、群落和生态系统不同层次上综合研究生物入侵所涉及的关键科学问题, 突出生物入侵机理与控制基础研究的有整体联系。该项目设置了 7 个课题, 其分布如图 2 所示。

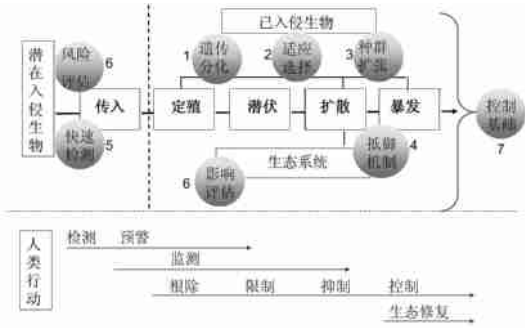


图 2 课题设置及其相互间的联系

按照外来物种入侵的有序过程, 针对每个阶段的侧重点, 该项目分别从以下几个方面进行了部署: 研究入侵物种的遗传分化与快速演变机制(课题 1); 揭示农林危险入侵物种成灾的分子生态机理(课题 2); 明确外来物种成功入侵的决定因子, 揭示入侵物种种群增长与扩张的生态学机制(课题 3); 阐明生态系统对生物入侵的抗性与敏感性及其机理, 揭示生物入侵对特定农林生态系统结构和功能的影响(课题 4); 建立潜在危险入侵生物风险评估的理论模型与技术体系, 构建预警系统, 评估紫茎泽兰和烟粉虱入侵造成的环境经济损失(课题 5);

研究重大潜在入侵病原物种快速检测的分子基础(课题6);针对严重危害和扩张的入侵物种,深入研究生物防治、生态控制及生物生态协同控制作用及其机制,制定入侵物种可持续控制的策略与途径(课题7)。由此可见,这7个课题既相对独立,又相互联系,形成一个有机的整体。特别是针对各主要研究对象(紫茎泽兰、烟粉虱、松材线虫等),在各课题中分别从其遗传分化与演变机制、分子生态适应机制、种群形成与扩张的生态机制、入侵风险和环境经济评估、可持续控制策略与途径等方面展开深入研究,具有较强的系统性。

### 3.1 研究目标瞄准国家重大需求

该项目以维护我国农林生产安全和国家生态安全为总体目标,选择的研究对象是严重影响我国农林生产、国际贸易和生态安全的重大外来危险生物的典型代表,既体现了国家重大需求和中国特色,又具有良好的研究基础积累;主要研究对象松材线虫、烟粉虱和紫茎泽兰分别代表了重大的入侵植物病害、入侵昆虫和入侵植物。选择这些重要农林危险入侵物种,抓住关键问题,点面结合进行其入侵机理、风险评估、持续治理理论基础的研究,可为农林危险入侵生物的预防、狙击、控制与管理提供重要依据。

### 3.2 研究内容突出前沿性和创新性

入侵生物学学科正在处于初步形成阶段,其基础理论及技术体系在形成中,许多科学问题需深入探索。该项目研究所涉及的关键科学问题明确,体现了科学的前沿性,研究成果可促进我国入侵物种的管理和控制技术的跨越式发展。如从生物入侵过程的关键环节入手,发展农林危险入侵物种的生活史特征与遗传“前适应性”、生态学特性与遗传“后适应性”的协同理论;创建“生态模拟现实”的方法,研究建立潜在危险生物入侵的快速安全准确的风险评估与预警技术体系;建立危险生物入侵的定量风险与环境经济评估理论模式。这些研究具有前沿性和创新性。该项目采用宏观和微观相结合的技术路线,从分子、个体、种群、群落和生态系统不

同层次上研究农林危险生物入侵所涉及的生态适应性、遗传变异、可入侵性与控制基础,以及快速检测的关键科学问题,形成学科交叉、相互融汇的学科群研究体系,具有新颖性。

### 3.3 研究思路强调系统性

研究内容重点突出,具有内在的有机联系,体现了层次性和系统性。该项目的实施以入侵生物学的理论基础与控制基础为切入点,以外来生物的入侵性与生态系统的可入侵性为核心,阐明农林危险入侵物种的遗传分化、生态适应、生态系统对生物入侵的抵御机制,解析危险物种入侵成灾的机制,构建入侵生物学新的理论框架。在此基础上,发展入侵物种的预警与预防、检测与控制的理论与策略,具有内在联系与系统性。各个研究课题相互关联,有机结合,形成入侵生物学的理论基础与技术体系基础,必将推动入侵生物学学科的形成与快速发展。

## 4 项目的总体目标及研究进展

项目的总体目标是阐明重要农林危险生物入侵机制、灾变机制及其控制的科学基础,提出预防和控制科学理论、方法和技术。为促进我国农林生产可持续发展、维护国家生态安全与生物安全、保障人民健康和社会稳定提供科学依据。在入侵生物研究领域,造就一支高水平的研究队伍。丰富和发展入侵生物学的科学理论与技术体系,整体上达到国际先进水平,部分处于国际领先水平。

迄今为止,研究项目进展顺利,取得了一定的成果(有关详细研究成果将另文介绍),如:(1)基本阐明B型烟粉虱入侵种群遗传快速演变机制,确立烟粉虱—双生病毒—寄主植物与B型烟粉虱的入侵关系。(2)研究揭示危险性入侵线虫——松材线虫的遗传分化与扩散路线,揭示松林生态系统对松材线虫和红脂大小蠹入侵的抵御和恢复机制,创建松林生态系统对松材线虫入侵抵御和恢复能力的评价指标体系。(3)阐明中国境内紫茎泽兰的遗传多样性的地理模式,明确紫茎泽兰在中国的入侵路径和传播方式。(4)建立小麦矮腥黑粉菌种的特

异性 SCAR 标记分子检测体系; 建立检测梨火疫病病原菌富集培养结合分子检测的 BIO-PCR 方法; 发现梨火疫病菌 *LuxS* 基因与致病性相关。(5)发现大豆疫霉转录因子 Crzi 的突变体完全丧失对大豆的致病性, 这对解释大豆疫霉致病性相关基因调控网络具有重要作用。

参 考 文 献

1 Alpert P., Bone E., Holzapfel C. *Evol. System.*, 2000, **3** (1): 52~66.

2 Brasier C. M., Buck K. W. *Biol. Invas.*, 2001, **3**(3): 223~233.

3 Callaway R. M., Aschehoug E. T. *Science*, 2000, **290** (5 491): 321~323.

4 Carroll S. P., Dingle H. *Biol. Conserv.*, 1996, **78**(1-2): 207~214.

5 Chapin F. S., Walker B. H., Hobbs R. J., Hopper D. U., Lawton J. H., *et al. Science*, 1997, **277**(5 235): 500~504.

6 Chesson P. *Ecol. System.*, 2000, **31**(1): 343~366.

7 Christian C. E. *Nature*, 2001, **41**(11): 635~639.

8 Cohen A. N., Carlton J. *Science*, 1998, **179**(23): 555~558.

9 Crawley M. J. *Phil. Trans. R. Soc. Lond.*, 1986, **B 314**, 71~73.

10 Holway D. A. *Ecology*, 1999, **80**(1): 238~251.

11 Davies N., Villablanca F. X., Roderick G. K. *Genetics*, 1999, **153**: 351~360.

12 Ehler L. E. *Biol. Contr.*, 1998, **13**: 127~133.

13 Elton C. S. *The Ecology of Invasion by Animals and Plants*. London: Chapman & Hall, 1958.

14 Higgins S. I., Richardson D. M., Cowling R. M., *J. Appl. Ecol.*, 2001, **35**(3): 571~584.

15 Holt R. D. *Evol. Ecol.*, 1996, **10**(1): 1~10.

16 Holway D. A., Suarez A. V., Case T. J. *Science* 1998, **282** (5 390): 949~952.

17 Jiu M., Zhou X. P., Tong L., Xu J., Yang X., *et al. PLoS ONE*, 2007, **2** (1): e182. doi: 10.1371/journal.pone.0000182.

18 Johnson L. E. *Biol. Conserv.*, 1996, **78**: 23~33.

19 Kennedy T. A., Naeem S., Howe K. M., Knops J. M. H., Tilman D., Reich P. *Nature* 2002, **417**: 636~638.

20 Kolar C. S., Lodge D. M. *Ecol. Evol.*, 2001, **16**(4): 199~204.

21 Levine J. M. *Science*, 2000, **288**(5): 852~854.

22 Loescheke V. *Amer. Natur.*, 1985, **126**(4): 505~520.

23 Lonsdale W. M. *Ecology*, 1999, **80**(5): 1 522~1 536.

24 Lovei G. L. *Nature*, 1997, **388**(14): 627~628.

25 Mack R. N., Simberloff D., Lonsdale W. M., Evans H., Clout M., Bazzaz F. A. *Ecol. Appl.*, 2000, **10**: 689~710.

26 McNeely J. A., Mooney H. A., Neville L. E., Schei P., Waage J. K. (eds.), *A Global Strategy on Invasive Alien Species*. IUCN Gland, Switzerland and Cambridge, UK. 2001. 227.

27 Moller H. *Biol. Conserv.*, 1996, **78**: 125~142.

28 Mooney H. A., Cleland E. E. *Proc. Nation. Acad. Sci. Unit. Stat. Amer.*, 2001, **98**: 5 446~5 451.

29 Morrison S. L., Molofsky J. *Canad. J. Botany*, 1998, **76**: 1 939~1 946.

30 Nanako S., Kohkichi K. *Biological Invasions: Theory and Practice*. Oxford University Press. 1997. 205.

31 Pimental D., Iach L., Zuniga R., Morrison D. *BioScience*, 1999, **50**(1): 53~65.

32 Sakai A. K., Allendorf F. W., Holt J. S., Lodge D. M., Molofsky J., *et al. Annu. Rev. Ecol. Syst.*, 2001, **32**: 305~332.

33 Shea K., Chesson P. *Trends Ecol. Evol.*, 2002, **17**: 170~176.

34 Siemann E., Rogers W. E. *Ecol. Lett.*, 2001, **4**: 514~518.

35 Stachowicz J. J. *Science* 1999, **286**: 1 577~1 579.

36 Stuart R. R., Trumble J. T. *Annu. Rev. Entomol.*, 2002, **47**: 435~65.

37 Tabashnik B. *Nature*, 1997, **389**: 778.

38 Thompson J. D. *Bioscience* 1991, **41**: 393~401.

39 Thompson J. N., Cunningham B. M. *Nature*, 2002, **417**: 735~738.

40 Thompson J. N. *TREE*, 1998, **13**(8): 329~332.

41 Waage J. K., Reaser J. K. *Science*, 2001, **292**: 1 486~1 486.

42 Williamson M. *Biological Invasion*. Loudon: Chapman & Hall, 1996. 244.

43 Williamson M. H., Fitter A. *Biol. Conserv.*, 1996, **78**: 163~170.

44 Wittenberg R., Cook M. (eds.), *Invasive Alien Species: A Toolkit of best Prevention and Management Practices*. CAB International, Wallingford, Oxon, UK. 2001. 227.

45 万方浩, 叶正楚, Hamis P. *中国生物防治*, 1997, **13**(1): 37~41.

46 万方浩, 关广清, 王韧. *豚草及豚草的综合治理*. 北京: 中国科学技术出版社, 1993. 322.

47 万方浩, 郭建英, 王德辉. *生物多样性*, 2002, **10**(1): 119~125.

48 万方浩, 郑小波, 郭建英 (编著). *重要农林外来入侵物种的生物学与控制*. 北京: 科学出版社, 2005. 820.

49 万方浩. 2004. 生物入侵研究概况与发展趋势. <http://zhxh.jaas.ac.cn/2004/8-12/16341.html>.