

邱式邦院士在中国草蛉类天敌昆虫利用中的学术贡献

20 世纪 70—80 年代，我国生物防治科技创新和技术应用蓬勃发展，天敌昆虫资源挖掘与利用进步显著，各地研发出以赤眼蜂为代表的多种天敌昆虫产品，进行与规模生产相关的扩繁技术和工艺探索。邱式邦院士指导和带领团队成员开展草蛉类天敌的应用基础研究，重点围绕中华草蛉的生物学规律、扩繁技术、保护利用等方面进行了持续多年的系列研究，明确了中华草蛉生物学及越冬规律、优化人工饲料配方、总结大规模扩繁的工艺条件、并探索长时间贮存技术等，开启了中国草蛉类天敌昆虫扩繁和利用的研究先河，对草蛉类捕食性天敌昆虫的应用做出了重要贡献。

草蛉属于昆虫纲 Insecta 脉翅目 Neuroptera 草蛉科 Chrysopidae，是脉翅目的常见类群，也是一类优良的捕食性天敌，其幼虫和部分种类成虫可捕食多种农林害虫，寄主包括蚜虫、粉虱、蓟马、叶蝉、木虱、叶螨和介壳虫等。草蛉的种类繁多、分布广泛、捕食量大、适应性强、繁殖力高、易于人工饲养，被国内外普遍应用到害虫生物防治领域。全球草蛉科物种已超过 1415 种，其中中国已知种类超过 250 种，主要包括大草蛉 *Chrysopa pallens* Rambur、丽草蛉 *Chrysopa formosa* Brauer、日本通草蛉 *Chrysoperla nipponensis* (Okamoto)、普通草蛉 *Chrysoperla carnea* (Stephens) 和叶色草蛉 *Chrysopa phyllochroma* Wesmæl 等。

在邱式邦院士的科研著述中，多次提及的研究对象“中华草蛉 *Chrysopa sinica* Tjeder”，其分类学地位和名称已被研究者数次厘定，最早 Tjeder 命名中华草蛉 *Chrysopa sinica*，随后他将中华草蛉移入通草蛉亚属中，1977 年 Séméria 将通草蛉亚属提升为 *Chrysoperla* 属，故此“中华草蛉”在部分文献里也被写为“中华通草蛉”。1994 年 Brooks 将中华通草蛉处理为日本通草蛉 *Chrysoperla nipponensis* 的异名，对此昆虫分类学界没有太多的异议。由于本文作者不从事草蛉类昆虫的系统发育学研究，不对其分类学地位和学名置喙，为便于读者学习领会邱式邦院士的研究成果，在文中依邱式邦院士发表的原始论文，采用“中华草蛉”进行评述。

1 邱式邦院士在中国草蛉类天敌研究应用中的贡献

1.1 丰富了我国草蛉类天敌生物学和生态学理论

从 1980 年开始，邱式邦院士团队在北京地区进行了持续 4 年的中华草蛉种群波动和越冬习性研究，证实了在自然条件下，中华草蛉一年可繁殖 6 代。以成虫在 9 月下旬进入越冬，次年 3 月中旬开始活动。地势平缓的平原地貌区，6 月中旬以前发生数量不大，至 7、8 月份出现两次成虫高峰，9 月以后成虫发生转移，数量骤减。而在京郊山峦地貌区，在 9—10 月、次年 3—4 月出现两次显著的成虫高峰，说明山区是中华草蛉的主要越冬场所，是平缓地区春季虫口的重要来源，山区的栖息和

取食条件比平缓区优越，有利于草蛉的越冬。基于这个研究发现，提出调整农业和山区植物相，提供更多的蜜源植物，降低草蛉越冬死亡率的天敌昆虫保护措施。

研究掌握天敌昆虫生物学和生态学等基本规律，是深入天敌昆虫扩繁、释放利用的前提和基础。草蛉在我国各地都有分布，一年发生一至多代，多代发生者世代重叠明显，相同地区不同种类的草蛉年发生代数各异，同一种类在不同地区发生的世代数亦不同，往往随着发生地的南移而增加。邱式邦院士团队早在30多年前，就在北京周边山区、平川农区开展中华草蛉种群波动规律的对比研究，得出了关键性结论，对于指导野生资源采集、建立种群或复壮室内种群，具有重要的指导价值。

1.2 引领了我国草蛉类天敌昆虫扩繁技术研究

天敌昆虫的大规模饲养一般要有特殊的饲养设施，我国在上世纪七十年代，各地都不具备饲养天敌昆虫的大型设备，怎样因地制宜、简便易行地找到扩繁天敌的方法，对于促进生物防治应用至关重要。邱式邦院士针对草蛉等天敌昆虫生长条件需求，删繁就简，利用“罐头瓶”“果酱瓶”等容易找到的简易器材，开展了饲养天敌的科研探索。如对大草蛉的饲养，利用容积为500mL的装果酱或加工食品的旧玻璃罐，罐盖用6筛目的细铜纱自制，盖子中央插入一根去底的指形管，管口再塞以棉花或铜纱塞。喂食时，饲料可以通过指形管加入，不必打开罐盖，以防草蛉幼虫逃掉。罐底放一层宽约1cm折叠好的白报纸剪成的纸条，纸条起隔离草蛉幼虫的作用，使它们减少接触和相互残杀的机会。老熟幼虫结茧时，纸条也可附着虫茧，每罐可得茧40~50头。邱式邦院士的这种立足当前、另辟蹊径、不拘一格的敏锐科研思维和解决问题的能力，对后来的科研工作者极具启迪。

围绕用什么猎物饲养大草蛉这个核心问题，邱式邦院士带领科研团队，利用米蛾 *Corcyra cephalonica* (Stainton) 卵、麦蛾 *Sitotroga cerealella* (Oliv) 卵、蚜虫等容易大规模获得的替代猎物扩繁多种天敌。掌握了草蛉不同发育时期食量的变化，例如，中华草蛉幼虫期取食中等大小的蚜虫约100~200头，丽草蛉和大草蛉幼虫期取食米蛾卵524~642粒、中华草蛉幼虫取食麦蛾卵246粒。围绕降低草蛉类幼虫自残率，选出增加隔离纸条的简便措施，此外就保持扩繁湿度、发育进度等都总结了轻简化技术。这些技术至今还在实验室或生产上应用。

邱式邦院士团队一直在关注草蛉的大规模扩繁技术，不断探索和优化人工饲料配方。在剂型方面，探索出了以啤酒酵母、蔗糖等为基本成分的液体饲料，试验了以水解蛋白、啤酒酵母、蔗糖为基本成分的糊状饲料，再经过反复筛选确定以干粉饲料饲养中华草蛉成虫。干粉饲料的基本配方是啤酒酵母10g、蔗糖8g，研细过60~80目筛，混合蜂蜜涂层后饲喂中华草蛉，试验显示干粉饲料获得了良好的结果，单雌产卵能力最高达到455粒/20d。在探索人工饲料的同时，邱式邦院士团队还聚焦米蛾卵生产技术，经过不断改进配方，利用以麦麸为主的饲料饲养米蛾，出蛾率为56%~62%、雌蛾率为54%~60%，每雌产卵126~141粒，每斤饲料出蛾846~940头，得卵6.5~7.4万粒，繁殖倍数提升了43~49倍。这些饲料可再次利用，极大地推动了米蛾卵生产工艺的提升并在各地普及。由于米蛾卵营养丰富，既可作为草蛉类天敌昆虫扩繁的优质食物，还可作为稻螟赤眼蜂等寄生蜂的替代寄主，

由此推进了我国“小卵繁蜂”工艺的熟化和生产应用。

天敌昆虫的扩繁工艺，常规都是采取“三级营养”模式的技术路线，即生产植物、饲养猎物、扩繁天敌，往往耗费时间，占用空间，人力、物力成本高昂。对于捕食性天敌昆虫，如能利用人工饲料进行直接扩繁，无疑将大幅度降低生产成本。邱式邦院士指导团队人员，开展了利用人工饲料饲养中华草蛉的探索研究，不断改进饲料剂型，调整主成分配方，在生产上取得了良好的结果。在当时，该技术是国际领先的，通过这些成绩和事实，指引并激励着后来的科研工作者不断进步。

1.3 开启了草蛉类天敌产品长时间贮存技术探索

1975—1976年冬春季节，邱式邦院士对中华草蛉、丽草蛉、大草蛉、叶色草蛉这4种草蛉进行了冬季连续饲养试验，证实了中华草蛉成虫可以通过控制温度和光照变化，而人为地诱发和终止越冬。从1980年起，邱式邦院士团队深化中华草蛉人工贮存越冬和打破休眠的研究，调查发现北京地区全黄型成虫越冬死亡率低于7.5%、大量成虫能够顺利越冬的客观现象，试验总结了越冬死亡率与贮存温度、事件、密度、贮存前成虫营养等密切相关；把越冬成虫在不加温的室内贮存51~80d，或15℃贮存10d后，然后移入27℃、24h光照的环境下，成虫分别在4~5d和10.5d后产卵，即研究掌握了打破中华草蛉越冬的调控技术。

随着昆虫学理论探索的不断进步，滞育这一多数昆虫具有的遗传属性得到深入研究，邱式邦院士开展的“人为地诱发和终止越冬”正是目前学术界所说的“滞育诱导、滞育解除”技术；采用的高温和长日照的环境参数组合，也是当前解除对普通草蛉、大草蛉等滞育的关键因子。最新的研究表明，草蛉可受光周期、温度和食物等因子的诱导而发生滞育，普通草蛉的成虫在温度低于24℃，光周期短于15L : 9D时可被诱导进入滞育，当转移到高温长光照16L : 8D条件下后，成虫可在12~20d后重新开始产卵。丽草蛉预蛹在光照短于14h、温度低于22℃时有80%以上个体进入滞育，滞育预蛹经低温5℃~10℃处理30d以上可解除滞育。滞育的普通草蛉成虫在5℃、短光照10L : 14D条件下贮存31周(217d)后存活率仍达90%以上；但若在释放前将正常发育的普通草蛉在5℃、RH 70%~75%条件下储存，成虫只能储存90d。滞育的丽草蛉预蛹在5℃全黑暗条件下能贮存长达12个月，滞育解除后成虫羽化率能达85%以上，而正常发育的预蛹在5℃下保存30d后存活率只有60%~70%。可见，滞育显著延长了普通草蛉、丽草蛉的产品货架期。

早在40多年前，邱式邦院士带领团队掌握了中华草蛉的滞育诱导和解除技术，是非常难得的重大科学发现，这一成果能够显著延长草蛉类天敌昆虫的贮存期，解决了天敌产品的货架期延长的技术瓶颈，对推进我国天敌昆虫产业发展具有重大实践意义。

1.4 促成了草蛉类天敌昆虫应用实践，推动了我国生物防治的巨大进步

早在1976年，邱式邦院士发表了《植保工作必须坚持预防为主、综合防治的方针》的重要论文，分析了当时国内外植物保护面临的新形势，梳理了当时我国农业耕作改制、品种配置、灌溉条件以及病虫害新变化。预见性地指出：新的更适宜于病虫害繁殖的条件在不断产生，次要病虫可以上升为

主要病虫，偶发性病虫可以变为长发性病虫；过去没有的病虫可以传入和扩大蔓延；病虫本身的变化可以使防治工作变得更加困难；植保工作是复杂的、艰巨的，斗争是长期的，那种把植保工作看得过于简单，认为是一场战斗就能一劳永逸地解决病虫问题的看法是不对的，只能有碍于植保工作的发展和使农业生产遭到损失。这些 45 年前的预见性和判断性文字，今天读起来依然产生共鸣、引人深思。

在邱式邦院士等众多植物保护学家的共同努力下，“预防为主，综合防治”成为我国植物保护工作方针，充分发挥生物防治、农业防治、物理防治的特长，有效结合化学防治措施，从病虫与环境的整体观念出发，遵循“安全、有效、经济、简便”的原则，因地因时制宜，把病虫控制在经济危害水平之下，指引着农林草多种有害生物的科学治理。随着科技进步和形势发展，我国植物保护理论不断完善和进步，发展出“公共植保、绿色植保、科学植保”等新理念，生物防治在农业病虫害防治中更受重视，天敌昆虫和微生物农药产品不断丰富，配套技术不断完善，应用面积逐年扩大，在病虫害防治中取得了显著成效。如今，大草蛉、丽草蛉、中华草蛉等草蛉类天敌，不同程度地应用在设施蔬菜、水果、茶叶、中草药害虫防治实践中，控制了蚜虫、粉虱、蓟马等小型刺吸式害虫危害，也有取食草地贪夜蛾等重大害虫卵、低龄幼虫的最新报道。

目前，我国可以工厂化生产草蛉、瓢虫、捕食螨、赤眼蜂、蚜茧蜂等 30 余种天敌昆虫，以生物防治技术为主要手段，组建了大区域病虫害可持续防控技术体系。在东北玉米大豆主产区，针对本区重大害虫玉米螟、大豆食心虫等，总结并应用“赤眼蜂、白僵菌生物防治害虫技术”，生防产品有松毛虫赤眼蜂、玉米螟赤眼蜂、白僵菌粉剂等，防控面积曾连续在 1 亿亩次以上。在华北设施蔬菜主产区，以天敌昆虫“接种式+接力式+饱和式”高效释放和生态调控技术，有效控制了多种小型刺吸式口器害虫为害，“利用天敌昆虫防控设施蔬菜害虫的轻简化配套技术”入选农业农村部主推技术；针对蛴螬等重大害虫，在山东日照、海阳等地建立土蜂类天敌昆虫的保护区，散播蜜源植物，保护本地天敌数量增长，有效控制了花生蛴螬的为害，年应用面积 350 万亩次以上。在华中水稻主产区，针对本区重大病虫害水稻纹枯病、稻曲病、稻纵卷叶螟等，推广应用“微生物制剂结合天敌综防技术”，生产并应用 Bt 制剂、枯草芽孢杆菌制剂、赤眼蜂等生防产品，年应用面积 1.5 亿亩次。在华南蔬菜、甘蔗、荔枝主产区针对重大害虫小菜蛾、蔗螟等，在福建、广东、云南等地推广应用“寄生蜂组合的生防技术”，保护利用赤眼蜂、平腹小蜂、半闭弯尾姬蜂等，年应用面积 5000 万亩次；在北方草原，针对本区重大害虫草地螟、蝗虫及有毒有害杂草，推广应用“虫菌互补防控技术”，发掘、保护与利用天敌昆虫和有益微生物，年应用面积 1700 万亩；在青藏高原，针对重大害虫西藏飞蝗、青稞蚜虫等，推广应用“生态调控与生防制剂主打型技术”，保护土著天敌瓢虫、寄生蝇、寄生蜂等，减少了大量化学农药的使用。

2 发展天敌昆虫和生物防治的展望和建议

在“两个一百年”的历史交汇期，落实《生物安全法》《农作物病虫害防治条例》，对农作物

病虫害开展绿色防控，实现“虫口夺粮”“防病增粮”“抗灾保粮”，将是长期坚持不能松懈的根本措施。随着国民生产水平的提高，在解决温饱问题的基础上，农产品安全和优质成为未来我国农业发展的重要目标，从“吃得饱”到“吃得好”，从粮食安全到质量安全，对病虫害防控也提出了更高的新要求。蔬菜、水果、水稻、玉米等果蔬及大宗粮食作物的安全生产，病虫害仍然会不同程度暴发，以生物防治为主导手段的绿色防控技术体系面临诸多挑战：在核心技术方面，如生防产品大规模生产技术、天敌昆虫与生防微生物联合互增技术需深入实用化研究；在产品保障方面，天敌昆虫产品、微生物制剂产品创制的技术需要整体提升，特别是微生物农药的效价提升、天敌昆虫的规模扩繁及长期贮存；在应用技术方面，单项技术的科学组装、技术体系的实用化，更是生产上的迫切需求；在政策支持方面，目前国内对生物农药登记要求依然过于严苛、对天敌昆虫公益性定位不准、缺乏最关键的生防制剂从实验室到工厂的中试研发验证平台。故此开展生物防治核心技术提升与实用化研究，解决我国农产品安全中的植保现实问题，具有重要意义。我国应该抓住机遇，加快生防科技创新，具体是要：依靠科技进步，拓展产品类群，革新扩繁工艺，培育新兴产业，优化实用技术。

在生物防治基础研究方面，要以科技自立自强为目标，加强基础理论研究，从系统科学的角度出发，集成现代生命科学、信息科学和数理科学成果，不断深入天敌昆虫、生防微生物的控害机理，揭示环境—害虫—天敌的互作关系，剖析微生物对病虫害的拮抗作用，阐明天敌昆虫滞育调控机制，研究生防作用物对寄主识别信号及传递机制，探索生防功能基因及表达调控，不断丰富我国生物防治学科理论知识体系。

在生物防治产业化及产品研发方面，要以突破“卡脖子”技术和关键短板技术为目标，针对生产技术、制剂技术各环节，革新方法，筛选高效微生物菌株及工程菌株，提升制剂效价，丰富天敌种类，优化生产工艺，延长生防产品货架期，创制符合新发展格局、新发展理念需求的新一代生物防治产品；针对单项技术、高效利用、生态保育、综合配套各环节，开展生物防治及生态调控的新技术研究，深入单项技术组装配套，建立技术体系。

在生物防治技术体系构建与推广应用方面，要以大区域生产需求导向为目标，破解生物防治实用化技术瓶颈，研发天敌昆虫及生防微生物制剂的互补增效技术，深入生物防治产品的定殖增效保障技术，兼顾新型生物防治技术与集成。在粮食生产功能区、重要农产品生产保护区开展技术应用示范，不断提高生物防治产品及技术在农业病虫害防治中的比例，为保障国家农产品质量安全、粮食生产、产地环境安全战略目标的实现提供技术支撑。

在对生物防治扶持和政策引领方面，一是参照国外通行做法，大幅度减免生物农药登记材料，降低登记费用，目前我国很多微生物农药已被迫变通登记为生物肥料；二是准确定位天敌昆虫的公益性定位，充分利用植物保护工程等政策性投资，在科研部门、植保机构进行天敌昆虫扩繁工厂投资，既能保证国家投资的安全性，又体现了公益性事业需求，从根本上促进植保转方式；三是政府采购



公益性的天敌昆虫和微生物农药，发挥生防产品能在田间种群自持特点，稳步提高田间天敌昆虫和生防微生物数量，实现对害虫和病原菌基数的压制；四是尽快投资建立生防产品的中试平台，打通从实验室到工厂化的“最后一公里”，利用中试验证平台，将实验室的小试放大样，优化工厂化扩繁的关键参数，最终实现产业化生产，丰富我国天敌昆虫和生物农药产品类型，实现生防产品系列化。

（中国农科院植保所 张礼生、李玉艳、王孟卿、毛建军、张莹撰稿，
转载自《中国生物防治学报》，2021年第4期）