

· 学科进展与展望 ·

全球气候变化与农业有害生物控制研究进展及热点

——第66期“双清论坛”综述

戈 峰¹ 马占鸿² 胡琼波³ 罗 晶⁴

(1 中国科学院动物研究所, 北京 100083; 2 中国农业大学植物病理学系, 北京 100193;

3 华南农业大学资源环境学院, 广州 510000; 4 国家自然科学基金委员会生命科学部, 北京 100085)

[摘要] 2011年8月25—27日, 国家自然科学基金委员会第66期“双清论坛”在河南省郑州市举行。来自20余所高等院校和科研院所的30余名知名专家出席了本次论坛。论坛围绕“全球气候变化与农业有害生物控制的关键科学问题”这一主题, 结合国内外研究现状与发展趋势和国家重大需求, 深入研讨分析全球气候变化与农业有害生物控制的重大科学和关键技术问题, 凝练和提出了“十二五”我国全球气候变化与农业有害生物控制研究中急需关注和解决的重要基础科学问题和研究方向。

[关键词] 全球气候变化, 农业有害生物, 研究进展

近年来, 伴随着全球经济的发展, 臭氧层的破坏, 温室气体排放的增加, 全球气候变化问题和极端天气现象引起了广泛的关注。全球气候变化对人类生产生活的影响日益显著, 农业有害生物控制也面临着气候变化带来的严重挑战。关注气候变化对农业有害生物的影响, 制定相应的应对措施, 已成为各国政府和科研机构共同的课题。

在全球气候变化的背景下, 加强气候变化对有害生物影响的研究, 不仅丰富和发展全球气候变化生物学理论与方法, 更重要的是为我国应对全球气候变化、有效防控有害生物提供重要依据。为此, 国家自然科学基金委员会(以下简称自然科学基金委)生命科学部、地球科学部和政策局于2011年8月25—27日联合在河南省郑州市召开了以“全球气候变化与农业有害生物控制的关键科学问题”为主题的第66期“双清论坛”。来自全国20余所高等院校和科研院所的36位相关领域的知名专家参加了会议。本综述围绕“全球气候变化与农业有害生物控制的关键科学问题”这一主题, 结合国内外研究现状与发展趋势和国家重大需求, 研讨分析全球气候变化与农业有害生物控制的重大科学和关键技术问题, 凝练和提出“十二五”我国全球气候变化与农业

有害生物控制研究中急需关注和解决的重要基础科学问题和研究方向。

1 有害生物发生面临着全球气候变化的新形势

全球气候变化与可持续发展是当前人类社会面临的两大重要挑战。联合国气候变化政府间专门委员会(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)第四次报告指出, 大气CO₂浓度已由工业化革命前的280 μL/L上升到2000年的370 μL/L, 预计到2100年大气CO₂浓度将达到750 μL/L; 与此同时, 到2100年全球年平均温度将比20世纪90年代上升1.1—6.4℃。

作为生物圈中的重要组成部分, 农业生态系统对全球气候变化(如温度升高、干旱和CO₂浓度增加等)的响应极其敏感。其中, 有害生物的发生危害直接影响这些生态系统的结构与功能, 关系到农业粮食安全、森林生态服务功能降低和草原环境退化等。因此, 国内外都非常重视气候变化下有害生物的响应、防控的研究。

在全球气候变化下, 我国农业有害生物的发生、危害问题更为突出, 主要表现在生物灾害发生的频

本文于2011年9月26日收到。

率逐渐加快,危害性增强,发生范围扩大,所造成的损失越来越大。据统计,我国每年因各种气候和生物灾害所造成的农作物受灾面积达5000万公顷,粮食损失每年约2000万吨,平均每年因气候变化造成的直接经济损失2000多亿元,相当于国内生产总值的1%—3%;其中,1990—2009年我国农作物有害生物年平均发生面积达2.54亿公顷(次),较20世纪80年代增加41%。由此引起的化学农药用量剧增、环境污染日趋严重、人畜中毒频频发生,已经成为制约我国社会经济可持续发展的重大隐患。有害生物的基础研究与防控正面临着全球气候变化带来的新挑战。

2 全球气候变化加重了一些农业有害生物的危害

农业有害生物包括植物病原物、害虫、杂草、鼠类等,受气候变化影响明显。其中,大气CO₂浓度升高、温度上升、降雨分布不均、灾害性天气出现频次增加等全球气候变化,深刻改变着农业生态系统有害生物的组成结构、功能和演替,使有害生物分布区域扩大、发生世代增多、生态适应性变异,从而影响了原有的作物-害虫-天敌、作物-病原菌-环境之间内在联系,最终导致一些有害生物暴发成灾。

2.1 改变了农业有害生物发生分布格局

病原菌、害虫等多数有害生物作为变温生物对温度变化尤为敏感,气候变暖对其分布格局影响很大。已有研究表明,年均温升高可能导致各种病虫害的分布向高纬度或高海拔地区延伸,分布范围扩大,目前分布在热带的有害生物将会蔓延到亚热带甚至温带地区,病虫害不严重的寒温带将深受其害,纬度较高的地区危害更大。此外,温度带向极地移动,使得北半球中纬度的作物带将在水平方向北移150—200 km,垂直方向上移150—200 m。伴随着作物带的移动,有害生物的地理分布也随之发生改变和扩展。如传播病毒病的灰飞虱过去仅在长江三角洲发生,近年来在山东省甚至东北地区大量发生,危害十分严重。又如,小麦赤霉病原来在北方地区很少发生,目前已经成为了北方小麦上的一个重要病害。显然,全球气候变暖扩大了病虫害的发生分布,导致一些地方新的有害生物发生危害。

2.2 加重了一些农业有害生物发生危害程度

气候变暖,尤其是冬季温度增高,有利于植物病原物的越冬,越冬基数增加,越冬范围扩大,危害时间提前,导致病害加重。气候变化可能会导致新的

有害生物种类的发生,次要病虫害上升为主要病虫害,诱发新的病害;还可能导致现有病原物分化出更加能够适应新环境条件的生理小种或致病型;某特定病害的发病规律(病害循环)可能发生变化,一些土传病害、线虫病害的大规模爆发等。

昆虫是典型的变温动物,对温度变化非常敏感。气候变暖将增加昆虫发生季的有效积温,导致许多昆虫发生世代数增加及伴随的种群密度增大。研究结果表明,气候条件与褐飞虱的发生、发展和危害有很密切的关系。如褐飞虱是迁飞性昆虫,由于“温室效应”及全球气候变化,冬季气温升高,稻飞虱向北迁飞的时间提前;夏季风相对加强,有利于迁飞,使迁飞范围更广。秋季气候变暖,田间食料丰盛,从而使发生时间延长,危害程度加重。在长江中下游地区,“盛夏不热,晚秋不凉,夏秋多雨”是引起褐飞虱这些年来长期大面积发生的重要原因。

气候变化对鼠类种群暴发影响是多方面的。鼠类对极端或异常气候的反应性则表现为生理及存活策略的适应性,进而影响鼠类种群的暴发过程。气候的变化可引起不同尺度空间鼠类种群暴发,如降水量的增加通过食物资源量增加影响致使野外小家鼠种群暴发。

气候变化对农业有害生物的影响是多方面的。气候变暖可导致一些低温适生种的种群逐渐萎缩,种群密度下降;可导致一些害虫在冬前进入滞育的时期延后,在低温到来时不能进入滞育虫态而死亡;可以通过影响昆虫共生微生物而削弱昆虫对环境的适应性。持续渐进的温度升高,有利于像小麦条锈病这样重大农作物病害病原菌耐高温性菌株的产生,从而导致越冬越夏区扩大,为防控带来更大的压力。利用紫外线照射小麦条锈菌夏孢子的研究表明,条锈菌夏孢子存活能力严重降低,致病性改变,潜育期延长,反应型降低,严重度减少,繁殖能力下降,也可能产生致病性更强的新小种,而CO₂浓度升高有利于小麦光合作用,提高了其抗病性。

2.3 影响了“寄主作物-有害生物”相互作用关系

生命活动和新陈代谢与环境温度息息相关。寄主作物-昆虫-天敌、寄主作物-病原-环境等系统内部会因气候变暖发生变化。气候变化可导致不同物种(作物、有害生物、天敌)适应性不同而改变原有关系;昆虫和寄主作物的物候同步性发生变化;植食性昆虫的寄主作物范围或取食器官发生变化;作物和害虫间的营养关系发生变化;天敌与害虫的原有种间关系发生变化等。事实上,在长期的协同进化过

程中,作物-病原-环境和作物-害虫-天敌相互作用、相互制约,形成了一个有机整体。近年来,由于 CO₂ 浓度升高,气候变暖,降雨分布不均等变化,导致了作物-病原-环境系统破坏,及作物、有害生物、天敌 3 类生物对全球气候变化的响应不同,致使原有的系统内在联系和各营养层间的固有平衡格局发生改变,作物的抗性和天敌控害作用难以得到发挥,最终导致有害生物暴发成灾。

2.4 全球气候变化增加了生物入侵的风险

全球经济发展和国际贸易日益频繁,增加了生物入侵的风险;全球变化改变了物种的分布范围和生存行为,改变了陆地和水生生态系统中资源的流动性,为外来物种入侵和新有害生物的产生创造了机会和空间,驱动了生物入侵。全球变暖可能会导致生态系统的结构和功能改变,而这种改变可能更有利外来种成为优势种,加剧了外来种对生态系统的破坏。氮沉降增加与 CO₂ 浓度升高和臭氧浓度变化有协同作用,有效氮的增加会提高外来植物的生长速率和优势度,同时减少本地种的物种丰富度,将加剧入侵杂草的控制难度。

气候变化会影响外来植物种的本土化,温度升高将会使生长季节延长,从而有利于果实和种子成熟。温度升高消除了一些生物的生理限制,使之能够在更高的纬度上生存。温度升高还会影响入侵植物的定居、建群和扩散,可以增加外来种在入侵地区的存活率和生长率,促进外来种的建群与成功繁殖,增加已建群外来种的竞争能力,促进其向更适合的生境扩散。

随着气候因素的变化,尤其是温度的升高、CO₂ 浓度的上升以及人为制造的小气候环境,致使某些生物在原本不可能生存的区域定居下来。随着生物的适应和演变,某些生物甚至可以暴发危害,形成越来越多的入侵物种及其对新的环境和生态造成破坏,对入侵地的农业和林业造成严重损失。同时,全球气候变化导致了农业生态系统组成结构的变化,并加剧了外来入侵害虫的进程与扩张的格局,进而对农业生态系统多样性和稳定性造成深远的影响。

3 全球气候变化给农业有害生物控制带来了新的挑战

随着全球气候变化加剧,我国农林牧业主要有有害生物种类增加、猖獗危害加重、发生面积不断扩大、危害频率逐年上升、灾害程度日益严重,不但造成巨大的经济损失,还深刻影响生态系统的结构和

功能,导致生态系统脆弱性增加,威胁到我国的粮食安全、生态安全和可持续发展。全球气候变化下有害生物危害的增加,还将导致以化学防治为主要防治手段的投入增加和环境的恶化。为应对新的形势,农作物有害生物自然生态控制、气候控制等一些大尺度、非常规技术措施和方法应加以关注。

3.1 气候变化增加了化学防治的难度

气候变化导致作物病虫害发生范围扩大、发生程度加重,使得农药用量增加。我国 2010 年农药使用量比 10 年前增加了约 3 倍。化学农药的大量应用,促使农药环境行为的改变,也产生了一系列的环境毒理学问题。全球气候变暖可以使化学农药降解加速,但另一方面,气候变化造成降雨频率增加,更容易将农药冲刷进入水体、土壤,污染地下水与土壤。气候变暖还将会提高空气污染物、稳定性有机污染物(POPs)和农药的环境浓度和毒性。

温度对农药活性以及副作用的影响近年来尤显突出。低温防治效果下降、药害增加(或加重)等;高温的影响表现更突出,美国陶氏公司的一种熏蒸剂——硫酰氟(sulfuryl fluoride)对大气的影 响是 CO₂ 的 4780 倍。气候变暖使得农药对水生生物的效应会加大,影响水生生物的体内生理生化代谢过程,从而影响农药的生物效应,对农业有害生物具有类似的影响。针对气候变化条件下的农药使用方法、农药表现出的正、副效应及其机制也是今后研究的重点。

3.2 气候变化对农业有害生物的自然控制系统提出新的挑战

地球上各种生物和非生物因子之间有着丰富多样的相关性。对于每种生物的种群数量,自然界存在着一个天然的控制系统,这个系统由全部对该生物种群数量有制约作用的生态因子组成,对自然界中各种生物的种群数量实施强有力的控制。气候变化将影响各物种种群的数量和结构,引起害虫-天敌,病原物-寄主作物系统的变化,从而破坏生态系统平衡,导致自然控制系统失效或效果减弱。

4 应关注的重大科学问题

显然,未来需要针对全球气候变化下有害生物如何变化、如何适应、如何控制这个主线开展研究,即着重解决以下 3 个关键科学问题:(1) 由于不同生物对全球气候变化的响应不同,在全球气候变化下我国主要有有害生物发生的时空格局和流行规律有什么变化?(2) 有害生物如何适应不断变化的气候

因子? (3) 如何提前预测并采用新的防治对策以应对全球气候变化下有害生物发生危害与防治的新挑战。具体表现在:

4.1 全球气候变化背景下作物病害防治的科学问题

通过采用生物信息学、病害流行病学和环境生态学等方法,重点开展如下方面的研究。(1) 加强对全球气候变化条件,特别是极端气候下主要农作物重大病害的发生流行及成灾机理的研究;(2) 加强对新发病害及病原致病性变异的监测、预测、风险评估以及遗传变异、选择适应及进化、演替方面的研究;(3) 加强对重大农作物病害监测、预测和时空动态规律的研究;(4) 加强对新型农作物抗病资源的挖掘、培育和利用研究;(5) 探讨重大的气候型病害(如小麦赤霉病)与气候变化之间的关系;(6) 加强土传病害、病毒病和逐年加重的线虫病害问题的研究;(7) 加强如小麦条锈病、稻瘟病等农作物重大病害随着气候变化而在发生规律、监测预测和防控方面出现的新问题(如耐高温菌株的产生及其分子机制、越冬越夏范围扩大及分布格局和寄主范围变换等)的研究。

4.2 全球气候变化背景下作物害虫防治的科学问题

未来将通过长期观测、可控试验和模型模拟分析相结合的方法,加强以下4个方面的研究:(1) 气候变化和温室气体浓度变化对重要害虫生物学、生态学、行为学等的影响及其机理;(2) 气候变化对作物-害虫-天敌及昆虫间互作关系的影响机制;(3) 昆虫对极端环境(温度、干旱)与温室气体(CO₂、O₃)变化的适应规律及其机理;(4) 大尺度区域下迁飞性害虫发生预警与适应进化机制。

4.3 全球气候变化背景下生物入侵的科学问题

主要集中于研究:(1) 入侵种对全球气候变化的环境应变力与响应特征;(2) 全球气候变化背景下农业生态系统对生物入侵的抵御能力;(3) 入侵种对农业生态系统的影响评估和预警。

4.4 全球气候变化背景下农业有害生物控制技术与方法问题

重点研究作物布局变化下有害生物的群落结构响应、有害生物对暖温及其相关条件的适应机制、有害生物向新适生区转移的扩散机制、持续变暖趋势下有害生物的致灾预测;研发新技术和新方法(微生

物及植物源农药资源、天然产物),以应对全球气候变化对有害生物防治的挑战。

4.5 有害生物防治与节能减排关系

重视研究典型农业生态系统的固碳能力评价、不同耕作制度和病虫害防治措施对农业生态系统CO₂释放的影响、农业生态系统在全球CO₂收支平衡和气候变化中作用等,评估有害生物防治在节能减排中的作用;分析CO₂释放和紫外辐射及其综合作用对农作物重大有害生物系统演替的影响,开展3S技术和分子生物学技术对气候变化作用下农业有害生物发生流行规律的监测和预测研究,分析未来有害生物发生发展趋势,制定相应的防控对策。

5 建议

综上所述,我国的有害生物防治面临着新的挑战。气候变化所引起的大气CO₂浓度升高、温度上升、气温变暖、降雨分布不均、灾害性天气出现频次增加,使有害生物分布区域扩大、发生世代增多、生态适应性发生变化,导致有害生物的暴发成灾。因此,开展农业有害生物对全球气候变化响应的科学问题研究,是深入理解当前全球变化背景下生物适应环境变化的重要科学基础,也是保障我国粮食安全和生态安全的基石。

在全球气候变化的大背景下,针对农业有害生物一系列科学问题展开探讨,各位专家形成的一个共识是,我国应大力加强全球气候变化与农业有害生物控制领域的研究,关注全球气候变化趋势及其对农业有害生物的影响,重点探讨全球气候变化对重大农业有害生物发生危害规律、控制策略及影响机制等方面的科学问题,通过气候变化背景下有害生物控制研究平台建设,协调国内相关科研机构 and 高等院校的研究力量,开展全球气候变化下有害生物控制研究,使我国在全球气候变化生物学领域在国际上占有重要地位,为我国农业的可持续发展奠定基础。

致谢 中国农业大学植物病害流行实验室王海光博士、黄冲博士及孙振宇博士参与了论坛会议文献的归纳、整理,特此致谢。

(下转 16 页)

海-气相互作用研究;全球增暖对热带气旋变化的潜在影响及其气候系统模式模拟和预估研究。

(5) 关键海区海洋环流变化与气候的关系研究;

(6) 海-陆-气相互作用对我国年际和年代际气候变化的影响;

(7) 海-气相互作用过程数值模式、资料同化和再分析系统的建立和应用。

致谢 感谢国家自然科学基金委员会地球科学部大气处张朝林处长和海洋处任建国处长对本次论坛的大力支持。

A REVIEW OF MULTI-SCALE AIR-SEA INTERACTION STUDIES REVIEW FOR THE 61ST SHUANGQING FORUM OF NSFC

Su Jilan¹ Wu Guoxiong² Zhou Tianjun² CHEN Dake¹ Wang Guihua¹

(1 *The 2nd Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Hangzhou 310012;*

2 *LASG, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029*)

Abstract The 61st Shuangqing Forum of National Natural Science Foundation of China (NSFC) was held during April 12–13 of 2011 in Hangzhou. The forum was entitled “Multi-scale Air-sea Interactions”. Scientists from the community of air-sea interaction studies have given active responses to the forum. More than 50 scientists from about 20 research centers, universities and institutes have participated in the forum. The scientists have presented 12 reports on 6 sessions, including regional features of air-sea interaction, response of air-sea interaction to global warming, the predictability of inter-decadal climate variability, hot topics in the field of seasonal to interannual climate variability, the thermal and dynamical processes of Typhoon-ocean interaction, and numerical modeling of air-sea interaction processes. Based on the discussions, the frontiers in the field of multi-scale air-sea interaction studies have been proposed by the forum and need to be highlighted in the forthcoming research activities of future 5–10 years.

Key words multi-scale air-sea interaction, shuangqing forum

(上接 12 页)

THE RESEARCH PROGRESS AND HOT SPOT OF GLOBAL CLIMATE CHANGE AND AGRICULTURAL PEST CONTROL —Review for the 66th Shuangqing Forum of NSFC

Ge Feng¹ Ma Zhanhong² Hu Qiongbo³ Luo Jing⁴

(1 *Institute of Zoology, Chinese Academy Sciences, Beijing 100083;*

2 *The Department of Plant Pathology, China Agricultural University, Beijing 100193;*

3 *The College of Natural Resource and Environment, South China Agricultural University, Guangzhou 510000;*

4 *Department of Life Sciences, National Natural Science Foundation of China, Beijing 100085*)

Abstract The 66th Shuangqing Forum organized by National Natural Science Foundation of China was held in Zhengzhou, Henan Province from August 25 to 27, 2011. About 30 well-known experts from more than 20 universities and institutes attended the forum. Combined with the research advances and development trends and national great demands, the key scientific issues of global climate change and agricultural pest control were discussed thoroughly. The urgent attentions and important basic scientific topics and fields about global climate change and agricultural pest control, needed to be focused on in the twelfth five-year plan, were addressed and defined in the forum.

Key words global climate change, agricultural pests, research advance