

物候学研究进展及 中国现代物候学面临的挑战^{*}

葛全胜 戴君虎 郑景云

(中国科学院地理科学与资源研究所 北京 100101)

摘要 文章回顾了中国现代物候学的创立和发展历程,综述了现代物候学的最新研究进展。现代物候学在全球变化研究中发挥了巨大作用;物候学是全球生态学和陆地生态系统碳循环研究的新线索;现代物候研究中,新技术发挥了巨大作用,自动监测技术的引入使物候观测数据的获取方式取得较大进展;此外,传统物候观测继续受到重视,但研究对象更精致、细微,逐渐向微观方向发展。与国际物候学的迅猛发展相比,我国的物候研究遇到空前挑战。因此,中国的物候学研究者任重道远,许多基础性工作有待于深入开展。

关键词 全球变化,物候学,中国物候观测网

DOI:10.3969/j.issn.1000-3045.2010.03.008



葛全胜研究员

作为中国一
门传统学科^[1],物
候学一直关注自
然界,特别是生物
界季节性变化的
现象和规律。在
全球变化日益受
到重视的今天,物
候学则更加注重
气候变化对这些
季节性现象和规

律影响的研究,焕发出新的活力,发挥了重要作用。科学网(web of science)的文献检索结果表明,有8 000余篇科学研究文献以“物候学”为关键词,其中5 000余篇出版于最近10年^[2]。自然物候记录是全球环境变化的最直接和最有效证据,可以用来分析环境

要素的变化机理,是对仪器记录的重要补充;现代物候规律与历史物候记录相结合可用于深入分析长时间尺度的气候变化和生物对环境要素变化的响应;物候变化直接影响生物生产,对生态系统生产力和碳循环研究具有关键性作用^[3]。此外,物候学在农业生产、人类健康、园艺与旅游景观设计等传统应用领域仍存在较大的发展空间。研究物候学也有助于气候学、地理学、生物学、生态学及相关资源和环境科学的交叉和融合,从而推动多学科综合研究的深入开展。但是,与国外物候学受重视程度和迅猛发展相比,近年来我国的物候学研究遇到空前挑战,需要开展的基础性工作还有很多。

1 物候学概念及中国物候学的创立

1.1 物候学概念

物候学是研究自然界的植物(包括农作

^{*} 本研究得到国家自然科学基金项目(批准号:40625002,40871033)和国家科技支撑计划重大项目(批准号:2007BAC03A11)共同资助
收稿日期 2010年4月27日

物)、动物和环境条件(气候、水文、土壤条件)的周期变化之间相互关系的科学。它的目的是认识自然季节现象变化的规律,以服务于农业生产和科学研究^[1]。竺可桢和宛敏渭^[1]认为,“物候知识的起源,在世界上以我国为最早”,物候学可以称为“我国土生土长的一种学科”^[1]。物候学的研究对象包括各种植物的发芽、展叶、开花、叶变色、落叶等;候鸟、昆虫及其它动物的迁移、始鸣、终鸣、始见、绝见等;也包括一些周期性发生的自然现象,如初雪、终雪、初霜、终霜、融冰及河湖的封冻、融化、流凌等。物候现象不仅反映自然季节的变化,而且能表现出生态系统对全球环境变化的响应和适应,因而也被视为是“大自然的语言”^[1]和全球变化的“诊断指纹”(Fingerprints)^[4]。

1.2 中国现代物候学的创立

作为一种重要的自然现象,中、外物候观测和记录都可以追溯到很久以前。在西方,2 000 多年前的古希腊时代(公元前 800 年—公元前 146 年),雅典人就试制了包含物候内容的农历。在罗马凯撒时代(公元前 102 年—公元前 44 年),就颁布了简单的物候历以服务于农业生产。物候记录在我国出现在 3 000 多年前的西周时期,《诗经》和《吕氏春秋》等篇章对此都有记载。“《礼记·月令》是周、秦时代所遗留下来的一个比较完整的物候历”^[1]。据《淮南子·天文篇》记载,西汉时期 24 节气的全部名称已经出现,说明当时的物候记录已经相当完备和系统。

瑞典著名植物学家林奈(Carl von Linné)是西方物候学的奠基人。1751 年,他在《植物学哲学》一书中第一次明确阐述了物候观测的目的和方法,描述了植物的发育期,该论述直到今天还有一定的参考价值。此后,瑞典、英国、德国等国科学家分别在 18 世纪中后期和 19 世纪前期开始进行物候观察和记录。但真正意义上的国家物候服

务机构是 20 世纪 20 年代在德国开始工作的。而西方现代意义上的物候学概念出自 Lieth。Schwartz^[5]认为, Lieth 的定义实际确立了物候学多学科交叉的特征^[6],而且显示了物候学在生态系统和一些管理课题上的潜在应用价值。

竺可桢先生是中国现代物候学的创始人,他撰写的“论新月令”一文是中国现代物候研究的开山之作,具有划时代的历史意义。他系统总结了中国古代物候学思想,提出了现代物候学的定义;借鉴国外有关物候观测和研究的经验,他亲自设计了中国现代物候观测规范和标准,建立了“中国物候观测网”;除此之外,他深入挖掘了我国史料中的物候信息,在耄耋之年独自重建了中国过去 5 000 年温度变化规律,开中国历史气候学研究之先河;竺先生特别注意物候学在实际生产和生活中的应用,利用国内外物候学研究成果,为我国农业发展提出了一系列有指导意义的真知灼见。他还负责撰写了中国第一部《物候学》著作,指出了物候学的研究对象、任务、研究意义与应用价值,为物候学在中国普及教育做出了杰出贡献。

竺先生一生热心于物候观测与研究,为在中国宣传和普及物候学知识起到关键作用。在他所留下 800 余万字日记中,几乎每天都在醒目位置记述当日物候。这些资料本身就是极为珍贵的物候观测数据。他与宛敏渭先生合著的《物候学》,是新中国发行量最大的科技书籍之一。该书首版于 1963 年,之后数次再版,对传播和普及物候学知识起到非常重要的推动作用。虽然我国科学的物候观测较欧洲晚近 200 年,但由于竺先生高瞻远瞩,他于 20 世纪 20—30 年代在物候领域的科学实践使我国现代物候研究及应用上基本与欧洲和北美同步。由于数据优势,在历史时期物候研究方面,则超越欧美,世界领先。



中国科学院

2 现代物候学的最新研究进展

2.1 物候学在全球变化研究中发挥了巨大作用

作为一种综合性响应指标,植物物候能敏感地指示气候变化,在全球变化中也受到很大重视。Schwartz^[5]在其新作《物候学:一门综合的环境科学》中指出,“物候学是研究受环境要素影响、特别是受气温等气象和气候条件变化影响的动植物的周期性变化等生物学现象的学科”,是一门综合反映环境变化的科学。近年来,物候学重新受到学术界重视的一个重要原因是因为物候变化是全球气候变化的一项独立证据^[7]。

大量的观测事实与分析表明,最近几十年以来,中高纬度地区春季物候大多都出现了不同程度的提前,它们很好地指示出了全球增暖的趋势及其区域差异^[8]。Walther 等人^[9]研究表明,近 30 年来的气候变暖对植物物候、植物沿纬向和垂直方向的分布变化以及植物之间相互作用过程等都有明显影响,这种影响体现了自然生态系统对气候变化的响应和适应方式。Root 等人^[4]对 143 项同类研究的荟萃分析也表明,植物物候变化与近期的气候变暖密切相关,他们认为在全球变化、特别是气候变化研究和未来气候预测领域,自然物候记录分析将发挥越来越大的作用,动植物物候是全球变化的“诊断指纹”。Cleland 等将野外观测与遥感数据结合研究,认为全球变化已经对物种到生态系统层次的生命系统产生巨大影响;他们认为这些“证据都是非常强有力的”^[10]。在 IPCC 第 4 次评估报告第二工作组报告(IPCC AR4)的“自然和管理系统所观察到的变化和响应评估”部分,作者们全面引用了欧盟科学技术合作计划(COST725)物候项目研究结论^[7]。他们基于 542 个植物物种和 19 个动物物种共计 125 000 个观测序列,采用荟萃分析方法研究了 1971—2000 年气候变化导致的物

候期变化。结果表明,78%样本的展叶、开花和果实成熟有显著提前趋势,但秋季叶变色和落叶有推后趋势。物候对前月温度变化具有敏感响应,增温 1℃ 将导致春、夏季物候期大约提前 2.5 天。北美也有类似工作受到重视。这清楚地说明了全球变暖对植物物候和陆地生态系统的影响。物候学是全球变化研究的重要线索。

也是由于全球变化研究的推动,物候学在理论和应用上具有新的发展趋势。首先,机理研究受到特别重视。以往的物候学理论认为,生物物候、特别是植物物候变化主要是受气温影响^[9],但是最近该观点受到巨大挑战。Koner 和 Basler 注意到^[11],水青冈属(*Fagus*)一些物种的物候期主要是受光周期条件控制的,温度只是在植物满足临界日照长度后对植物生长起到一定的调节作用。他们还特别指出,单纯地把物候期长度与温度作线性相关分析是不科学的。其次,植物某些特殊生命周期受到特别重视。近年来,学术界对植物的生长季长度表现出异乎寻常的关心^[3,12]。Piao^[3]研究了生长季长度变化对陆地生态系统碳循环的影响,研究成果受到极大关注。Steltzer 和 Post^[12]指出,群落和生物群区(Community and bione)层次的野外调查和遥感观测表明,北半球大部分地区和南半球有观测数据区域的植物生长季有延长趋势。然而,对个别其他种生命历史的观察显示出,这些物种通过缩短生命周期来适应全球变暖。他们从生态和进化角度对此进行了解释。

2.2 物候学是全球生态学和陆地生态系统碳循环研究的新线索

理论上说,全球变化引起生态因子变化,特别引起主导气候要素的变化,结果影响到陆地生态系统的结构和功能。在该过程中,生态因子变化往往首先改变植被系统植物物候期的出现时间和物候期长度,进而影

响到生态系统的物质循环和能量流动^[7,13]。因此,物候与生态系统碳循环之间的关系是最近几年生态学和全球变化生物学的关注焦点。物候学理论和研究成果在生态系统结构和功能分析、陆地生态系统碳循环变化研究上均得到很深入的应用,物候学已经融入全球变化的各个研究领域。

过去 20 年来,北半球陆地生态系统碳平衡对春、秋季升温比较敏感。各地春季物候普遍提前和秋季物候推后使植物生长季得以延长,但是秋季升温对呼吸作用的促进更大,因此秋季增温后,植被系统排放更多碳^[3]。这是寻找陆地生态系统“损失碳汇”(missing carbon sink)的重要线索。受物候变化的复杂性影响,陆地系统碳平衡在区域和全球尺度均具有不确定性。大气碳平衡的季节变化是指示不同地区碳源、碳汇交替的时间标志。北半球中纬度地区碳源的不稳定性就是由于生态系统植物物候期的起始时间和长短变化所引起的^[14]。春季物候对陆地生态系统年际碳循环过程具有特别重要的影响,但传统物候指标不足以指示这种变化,于是物候研究中引入大量对地观测等地理信息技术的手段和方法。物候学在陆地碳循环和全球生态学研究正在发挥越来越大的作用。

2.3 自动监测技术的引入使物候观测数据的获取方式更加灵活多样

近年来,新技术为传统物候观测带来活力,出现了采用自动拍照和数据网络传输的新观测技术。Michael 和 Theresa^[15]提出运用数码重复拍摄手段观测物候,既节约了人力资源,又便于对物候现象采用统一的观测标准和数据管理模式进行处理。此外,一些自动物候观测网络也在迅速出现,如日本著名的“物候眼网络”就是物候自动观测、数据网络传递的一个案例。将物候观测与有关自动气象记录仪的观测数据结合起来进行研

究,也将补充传统物候学研究中气象台站数据精度低、距离远等问题,将更精准地把握气候变化对生物物候影响的各个方面。就观测手段而言,近年的物候观测中,人们往往将地理信息科学对地遥感观测的新成果与地面观测结合起来开展工作。遥感数据是对地面观测的有益补充,二者结合使用可以实现地理事物的空间尺度转化。比如上文 Cleland 等人^[10]的工作就是从物种水平向生态系统尺度的一种转化,遥感和地面观测数据结合研究的结果既雄辩地说明了物种对全球变化的响应方式,同时也深入揭示了生态系统生产力受全球变化的影响情况。

2.4 传统物候观测继续受到重视,但研究对象更精致、细微,逐渐向微观方向发展

我们注意到,世界各地传统的物候观测网都在持续有效地工作,并逐步发展壮大。在延续过去观测数据的基础上,最新观测要素更为精细。比如,草本物候研究受到重视。由于草本植物对环境因素的响应比木本植物要敏感得多,因此物候观测已经出现重视草本观测的趋势。Fumio^[16]比较了一种春季短命草本植物和一种森林夏季常绿草本植物叶寿命对于生长季温度和冬季持续时间长短的响应,发现两者之间有很大区别。Lemmensl 等人^[17]研究了草地植物种对于气候变暖的响应,发现虽然变暖和种类丰富度影响其生长季的长度,但并没有对植物个体的地上生物量产生明显影响,气候变暖并不一定提高草地生态系统中植物个体的生产力。其次,根、落叶和一些微观、地下物候现象开始引人关注。生理生态学的飞速发展,使物候学在研究生物响应周围环境要素方面越来越重视较为微观的部分。Steinaker 和 Wilson^[18]研究了森林和草地中根与叶的物候变化,发现了森林中植物叶生产量峰值与根生产量峰值的关系,是物候学一个新的应



中国科学院

用领域。与此相似,落叶物候受到重视。落叶是地上生物量转化为土壤物质的转折点,影响生物地球化学循环。对于季节性森林,叶落周期与降水格局和干旱季节的长度有关,而对于季节不分明森林,其他气候因素会引起落叶。如,Zalamea 等人^[19]在波多黎各研究了季相变化不明显的亚热带湿润森林的落叶格局,结果发现,落叶格局主要与太阳辐射、光量子通量密度、日长和温度有关,与降水关系不甚明显。除了太阳辐射作为主要的制约因素,他们还发现物候与环境因素年际变化具有不同步性,表明落叶是环境和生理因素共同作用的结果。此外,Cufar 等人^[20]还研究了欧洲水青冈形成层活动、树轮形成、叶物候及其与气候要素的关系。此类结果对于陆地生态系统对气候变化响应研究有很大帮助。

物候学的应用领域在不断拓宽,并越来越贴近人类生活,现代物候学研究已经在旅游地理、人类健康与环境要素关系分析等方面得到了很好应用。

3 我国物候学发展面临的巨大挑战

当前,与地理学其他研究方向相比,我国的物候学研究显然没有得到应有重视,与国外物候学的迅猛发展形成鲜明对照。我国当前的物候研究在研究重点转移、应用领域和服务对象、观测手段和研究方法等方面都与国际相关研究具有较大差距。

3.1 未能及时跟上国际物候学研究重点转变的步伐

目前我国物候学的多数研究还在原有领域内开展工作。国际物候学研究在内容、工作重点等方面已经全方位转向全球变化领域,不断为全球变化研究提供基础材料和理论依据。在全球变化的物候指示^[7]、生长季变化研究、陆地生态系统碳源、汇动态分析^[3]、生态系统对全球变化响应研究等方面都开展了卓有成

效的工作,但是国内工作与传统物候学研究相比改观不大,这种局面需要尽快扭转。

3.2 应用领域和服务对象拓宽不够

近年来国际物候学研究的应用领域和服务对象有较大拓宽,但是国内物候研究的跟进不够。物候学除了服务于农业生产,在作物选种、农时预报、病虫害防治或用于综合农业区划以外,现代物候学与人类健康、景观变化与旅游、高光谱遥感植物分类等领域都有较为成熟的应用。相形之下,国内物候学研究在这些领域还鲜有工作。

3.3 国内物候观测手段还有一定局限性

中国物候观测网建立于 1963 年,到 20 世纪 90 年代初,因经费紧缺,系统的物候观测陆续停止,1996 年则全面停止观测。数据中断直接导致物候研究基本停滞。而且数据序列不完整性将长期影响今后的研究工作。虽然自 2002 年起,笔者自筹经费使“中国科学院物候观测网”部分站点恢复工作,直接带动了近年国内物候研究。但因经费限制,目前全国仅恢复了 21 个观测站点,覆盖范围和资料数量都不及 20 世纪 60—90 年代的观测网络,限制了我国物候学向更高水平的发展。在中国植被区划图上,有的植被区域甚至没有一个观测站点(图 1),无疑给以后的科研工作带来消极影响。

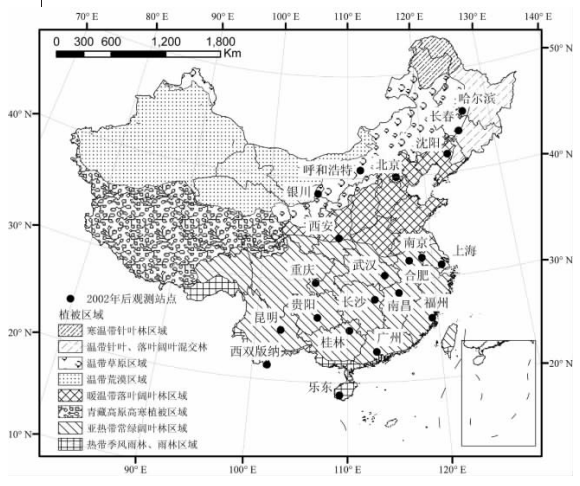


图 1 中国物候观测网在各植被区域的观测站点分布

3.4 研究方法与国外物候研究也有较大差距

与国外物候研究相比,国内的工作仍是零星和有限的,深度和广度都不够。由于很长一段时间缺少重大研究项目的支持,目前大多数物候研究成果多停留在单站点(如北京、民勤等)或局部区域(如华北平原)的植物春季物候变化分析上,只有极少数的工作涉及全国或较大区域,国家尺度上植物物候的荟萃分析基本没有。这种局面如果继续下去,我国的物候研究将再次陷入低谷,与国际物候研究前缘的差距将越来越大。

综上所述,目前我国的物候观测和研究工作不仅落后于西方国家,而且落后于我国的历史水平。据记载,即使在20世纪30年代抗战的艰难时期,我国仍有数十个站点在坚持物候观测。但是目前观测站点稀少,科研工作严重滞后。当前中国的物候学研究还面临许多困难,研究人员任重道远。首先,应力争得到国家和有关部门对物候学的重视,在中国物候观测网络、人才培养等方面注意加强物候学研究的能力建设。其次,拓宽物候观测数据的渠道,借鉴国外物候研究的先进经验,最大程度地利用便捷的通讯技术来收集广大志愿者的观测结果。将民间物候爱好者、中小学生和大学生志愿者的业余物候观测结果,通过互联网等工具收集、整理后加以利用。中国物候研究还应该继续总结以往的历史资料中的物候信息,特别是挖掘中国历史文献资料中的大量物候学数据,在物候学这门传统学科中发挥中国悠久历史文化遗产的作用。

主要参考文献

- 1 竺可桢,宛敏渭. 物候学. 北京: 科学出版社, 1973, 1-131.
- 2 Noormets A. Phenology of Ecosystem Process-Applications in Global Change Research. Springer, 2009, v-x; 3-34.

- 3 Piao S L, Ciais P, Friedlingstein P et al. Net carbon dioxide losses of northern ecosystems in response to autumn warming. *Nature*, 2008, 451: 49-52.
- 4 Root T L, Price J T, Hall K R et al. "Fingerprints" of global warming on wild animals and plants. *Nature*, 2003, 421: 57-60.
- 5 Schwartz M D. Phenology: An Integrative Environmental Science. Kluwer Academic Publishers. 2003, 1-564.
- 6 Lieth H. phenology and Seasonality Modelling. New York :Springer-Verlag, 1-20.
- 7 Rosenzweig C, Casassa G, Karoly D J et al. Assessment of observed changes and responses in natural and managed systems. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Parry, M L. Canziani, O F. Palutikof, J P. et al. Cambridge :Cambridge University Press, UK. 2007, 79-131.
- 8 Parmesen C, Yohe G. A global coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*, 2003, 421: 37-42.
- 9 Walther G R, Post E, Convey P et al. Ecological Responses to Recent Climate Change. *Nature*, 2002, 416: 389-395.
- 10 Cleland E E, Chuine I, Menzel A et al. Shifting Plant Phenology in Response to Global Change. *Trends in Ecology and Evolution*. 2007, 22(7): 357-365.
- 11 Körner C, and D Basler. Phenology under global warming. *Science*, 2010, 327(5972): 1461-1462.
- 12 Steltzer H, and Post E. Seasons and life cycles. *Science*, 2009, 324(5929): 886-887.
- 13 Barr A, Black T A, Hogg E H et al. Inter-Annual variability in the leaf area index of a boreal aspen-hazelnut forest in relation to net ecosystem production. *Agricultural and Forest Meteorology*,

- 2004, 126(3-4): 237-55.
- 14 Miller J B. Carbon cycle: sources, sinks and seasons. *Nature*, 2008, 451: 26-27.
- 15 Michael A C and Theresa M C. Monitoring Plant Phenology Using Digital Repeat Photography. *Environmental Management*, 2008, 41: 949-958.
- 16 Fumio Y. Effects of growth temperature and winter duration on leaf phenology of a spring ephemeral (*Gagea lutea*) and a summergreen forb (*Maianthemum dilatatum*). *Journal of Plant Research*, 2008, 121: 483-492.
- 17 Lemmensl C M H M, Boeck H J, Zavalloni C et al. How is phenology of grassland species influenced by climate warming across a range of species richness? *Community Ecology*, 2008, 9: 33-42.
- 18 Steinaker D F, Wilson S D. Phenology of fine roots and leaves in forest and grassland. *Journal of Ecology*, 2008, 96: 1 222-1 229.
- 19 Zalamea M, Gonzalez G. Leaf fall Phenology in a Subtropical Wet Forest in Puerto Rico: From Species to Community Patterns. *Biotropica*, 2008, 40(3): 295-304.
- 20 Cufar, Katarina, Peter Prislan et al. Tree-Ring Variation, Wood Formation and Phenology of Beech (*Fagus Sylvatica*) from a Representative Site in Slovenia, Se Central Europe. *Trees-Structure and Function*, 2008, 22(6): 749-758.

The Progress of Phenology Studies and Challenges to Modern Phenology Research in China

Ge Quansheng Dai Junhu Zheng Jingyun

(Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS 100101 Beijing)

The establishment and development process of modern phenology in China are reviewed in this paper, and an overview of the up-to-date research progress in modern phenology is also given. Modern phenology is playing a very important role in global warming research; phenology becomes a new clue in researches of global ecology and terrestrial ecosystem carbon cycle; new technology plays important roles in modern phenology research, especially the adapting of automatic monitoring technology has resulted in great progress in the data acquiring methods; the traditional phenology observation is still of much concern, but research objects are more fine, gradually developing towards microscopic direction. As compared with the rapid developing of international phenology, the phenology researches in China are encountering unprecedented challenges. Thus, Chinese researchers in phenology will shoulder heavy responsibilities in the future, and many fundamental researches remain to be deeply conducted.

Keywords global change, phenology, China's Phenological Observation Network

葛全胜 中科院地理科学与资源所副所长、研究员、博士生导师,所学术委员会副主任、旅游研究与规划设计中心主任。1963 年出生于安徽省。兼任国际全球环境变化人文因素计划(IHDP)中国国家委员会秘书长,国际地圈生物圈计划(IGBP)中国全国委员会秘书长,中国文物学会副会长、中国文物学会文化旅游规划与研究中心主任,中国地理学会理事、气候专业委员会主任,中国气象学会理事,《地理研究》副主编。国家杰出青年基金获得者,主要从事全球变化研究。先后主持中科院方向群项目、国家支撑计划项目、国家基金委重点基金及国务院西开办“中国西部开发旅游发展战略研究”和国家旅游局“中部六省旅游规划”。

E-mail:geqs@igsnr.ac.cn