

# 生物气象预报的生态动力学基础

姜晓艳

(辽宁省沈阳市气象局, 沈阳 110168)

**摘要** 生物气象预报同公用天气预报有着密切关联。根据国内外物候学、数值天气预报、模式识别自动化技术和生态动力学进展趋势,从生态动力学出发评述了生物气象预报进展、生物气象预报的理论和方法及生物气象预报所涉及范围与生态动力学的关系,指出高新技术化的生态动力学是生物气象预报从定性发展到定量、从单站发展到区域的预测网络的基础,就生物气象预报研究、业务化和人才培养等问题,提出了一些个人看法,并展望了发展前景及其在可持续发展、生态环境改善等方面的作用。

**关键词** 生物气象预报 公用天气预报 生态动力学

## 引言

生物气象学是生物科学与大气科学的交叉或边缘科学,其研究对象是大气圈与生物圈的相互关系,是有关两个动力系统相互作用的科学。1956年由 Tromp 等共同发起、组建的国际生物气象学会,半个世纪以来对生物气象的进展起到了积极的推动作用。2005年9月5~9日在德国举行的第17届国际生物气象大会,深入探讨了生物气象因素与人类适应性之间的关系、气象因素变化对人类健康的影响、气候变化与人类社会的相互作用等问题<sup>[1]</sup>。尽管生物气象预报未被列入该次会议的一个专门的问题加以讨论,但生物气象预报渗透于若干专题之中,因为它是以普通生物气象学为基础的。在此次会议上交流的 209 篇论文被分为 11 个专题:农业与森林、空气污染、动物、城市居住环境、气候变化、生物气象史、人类、物候、花粉、旅游及紫外线辐射。在这些论文中,直接论述生物气象预报的有 10 篇,可以被认为是生物气象预报的生态动力学基础的约 50 篇。这些论文涉及生物与气象关系的评价、统计分析、数值模拟、有关天气形势与气候变化等。我国参与国际生物气象学会的活动虽然起步较晚,但生物气象预报业务,尤其是涉及农业生产的生物气象预报开展得却很早,规模也很大,从 1958 年至今已有

近 50 年的历史。生物气象预报的广大业务人员有一个共识:气象部门的生物气象预报与公用天气预报是相辅相成的,公用天气预报为生物气象预报提供了基础,生物气象预报为公用天气预报服务于社会搭建了一座桥梁,因为生物气象预报绝大多数内容涉及到人体、植物、动物或微生物。尽管在气象预报多年理论研究、教学和业务实践中,人们对生物气象预报作过许多专题研究,但对生物气象预报的实质,尤其是它的学科基础尚缺少充分概括性的评述,对气象台站人员多年经验也缺乏概括总结。这对于生物气象业务的进一步发展是不利的。回顾天气预报研究的历史,不难看出:在数值天气预报<sup>[2~5]</sup>的进展中,数值天气预报的数学物理基础起到了重要作用<sup>[6]</sup>。那么,对于生物气象预报的基础是什么这个问题,尚未见到一个准确而公认的答案。从宏观上来说生物气象预报必然涉及到生物学和气象学,这样的认识当然是正确的,但所涉及的内容实在是太广泛了。作者在多年预报实践和应用研究基础上,汲取其他生物气象预报工作者多年经验,参考国内外最新文献,尝试分析与评述生物气象预报的生态动力学基础。

探讨生物气象预报的生态动力学基础,将会使生物气象学的其他学科基础在此领域被有机地结合起来,并促进生物气象预报的发展。

作者简介:姜晓艳,女,1960年生,学士,高级工程师,主要从事应用气象预报研究与业务工作,Email:sjxy@163.net

收稿日期:2006年3月24日;定稿日期:2006年7月24日

## 1 对生物气象预报若干基本问题的再认识

### 1.1 生物气象预报的进展与生态动力学的关系

尽管我国生物气象预报业务开展得很早,但当时由于出版物很少,许多业务实践并未用文字记录下来。为弥补这一不足,作者走访了早年(最早为1958年)做过生物气象预报业务的农业气象人员。据被调查者所述,从20世纪50年代后期至70年代,每年农事关键季节,都发布生物气象预报。比如:春播期在测定农田地温和土壤墒情的基础上,结合天气形势和作物生物学指标,发布适播期预报;在病虫害有可能发生或蔓延的形势下,发布病虫害气象预报;在某种疫病有可能发生时,发布某一城市或区域的疾病气象预报。如果从现在的认识水平来观察,当时的条件很差,预报主要是经验性的,以定性预报为基础的。那段时间(1958~1979年)预报质量较差的原因,是生态动力学基础较薄弱。概括地说:以大气动力学为基础的数值天气预报产品,基本上未以传真图的形式发至基层台站;由于当时生态学未被重视,生物气象指标依据不够充分;生物气象预报业务人员的生态学知识欠缺,用起来很难得心应手。但是毋庸置疑的是,当时的生物气象预报,实际上也是在当时的生态动力学基础上制作的,尽管在当时未从原理上考察这一实践行为。

文献调研结果表明:能够反映生物气象预报发展历程和新进展的国际权威性学术刊物是1957年创刊的《国际生物气象学杂志》(International Journal of Biometeorology)和1964年创刊的《农业气象》(Agricultural Meteorology)。后者于1984年改名为《农林气象》(Agricultural and Forest Meteorology)。两刊论文均被SCI收录,分别在4区和1区。其他相关刊物有:日本的《农业气象》,前苏联以及现俄罗斯出版的《水文与气象》(Метеорология и Гидрология),其中,涉及医学、农业、林业、牧业、野生动物的论文时有发表<sup>[7]</sup>。在国内,《气象学报》<sup>[8]</sup>等刊物有生物气象预报方法的论文发表。后来创刊的《应用气象学报》、《中国农业气象》也常有这方面的文章。我国高等院校和气象部门研究人员出版过关于农业气象预报的书籍或论文<sup>[9~12]</sup>。最近(2005年12月),谈建国和郑有飞<sup>[13]</sup>全面而客观地评述了我国医疗气象学研究的现状,并对其未来的发展前景作了展望。该评述引用了我国科技工作者在气

象、医学或生物学类杂志上发表的论文共36篇。《气象科技》第33卷6期在医疗气象专栏刊载多篇<sup>[14~20]</sup>论文。上述期刊中有许多文章关系到生物气象预报问题。作者浏览了《国际生物气象学杂志》2001~2005年发表的106篇有关论文,其中有9篇是专门研讨生物气象预报模式方法的,其余97篇未直接论述预报,可以认为是生物气象预报的生态动力学基础。除期刊外,历次会议文献、论文集和有关专著,也反映了生物气象预报发展的历程。

1980年以来,我国气象、植保、医药卫生等部门的生物气象预报业务大有进展,从中央到地方的各级农业气象中心、病虫测报站、卫生防疫站的生物气象预报业务向量化、模式化和自动化的方向发展,得益于生态动力学发展。相信现有文献中反映的成果,用于今后的业务实践是指日可待的。总之,生物气象预报技术,过去曾随生态动力学发展而发展,今后仍将随之发展而发展。当然,这并不意味着生物气象预报技术不依赖于其他学科,只是生态动力学对生物气象预报的支撑作用更为直接些。

### 1.2 生物气象预报的理论、方法对生态动力学的依赖关系

2001年,我国出版了《生态动力学》<sup>[21]</sup>一书。该书的序言作者路甬祥指出:“生态动力学就是在可持续发展的社会需求与生态学的学科发展需求中应运而生的。”2004年T. F. Pei等的“Ecological Dynamics and Cybernetic Principle.”(生态动力学及控制原理)<sup>[22]</sup>出版。该书的出版,为包括生物气象预报在内的有关学科提供了有生物意义的科学依据。比如,在论述物候动力预报的生物物理基础时,原作者用积分表达式说明了温差的时间积累,用热力学第一定律的微分表达式说明了温度变化的生物物理意义,用微分方程表达昆虫生态的箱式模式,用微分方程组表达的现代控制理论和数量生态学的Lotka-Volterra方程等,说明了可用于生物气象预报的许多确定性机理模型。如果说这些确定性模型有奠基和理论意义的话,那么随机模型既有理论意义又有实践意义。根据生态动力源(ecologico-dynamic resource)和生态动力汇(ecologico-dynamic sink)的原理,生物气象预报中所说的预报量或预报对象(predictand或predicted object)属于生态动力汇的范畴,而预报因子(predictor或prediction factor)属于生态动力源范畴。当然生物气象中的预报量,只是生态

动力汇的一个组成部分。因为气象类生态动力源只是生态动力源 5 个类别(气象类、水文类、地貌类、土壤类和生物类)中的一个类别。除气象类生态动力源之外,与气象条件有关的另外 4 类生态动力源,也可能构成生物气象预报的预报因子。比如,在  $Y = f(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_m)$  这一预报方程中,预报量  $Y$  依预报因子  $x_i$  的变化而变化,  $x_i$  可以是气象类预报因子,也可以是非气象类预报因子。

从预报因子的广泛性来说,生态动力预报的方法论为生物气象预报提供了广阔的视野,使生物气象的备选(candidate)即假设(hypothesized)预报因子来源于多方面,而限于生物气象预报或研究人员的固有思路范畴。比如,在王馥棠<sup>[10]</sup>主持的气象产量预报研究中,涉及多方面的预报因子,赵四强<sup>[11]</sup>提出的海温因子是一个重要创见。中国产量预报成果受到许多好评,获国家科技进步奖,至今一直被全国各地农业气象部门广泛应用。在关于淋巴腺炎发病与气象条件关系的研究中,曾主要考虑干旱的气象条件<sup>[23]</sup>,但从生态应用的观点看问题,就同时考虑了天气、老鼠和橡树果 3 种备选预报因子<sup>[24]</sup>。类似的研究在国外还有许多<sup>[25~28]</sup>。又如,在冬小麦霜冻害的动力预报研究中<sup>[29]</sup>,将 T42L9 数值预报模式输出的 500 hPa 图所揭示的天气形势(主要是冷锋等导致降温的形势)、指示植物旱柳的物候期、气象要素的实时观测结果作为备选预报因子,用自动化方法加以筛选。这正是充分利用广泛的备选预报因子群,将生态动力学原理用于生态气象预报,使之向模式化、定量化、信息化方向发展的一个重要步骤。涉及长期气候变化的生物气象研究,已有许多报道<sup>[30~43]</sup>。在农作物病虫害气象预报研究中,赵圣菊等用海温、厄尔尼诺事件、大气环流特征量为预报因子,建立了小麦赤霉病、黏虫等发生面积(量)和发生期的预测模型<sup>[44~46]</sup>;钱栓等<sup>[47]</sup>研究了我国小麦白粉病发生流行的长期气象预报方法;刘了凡等<sup>[48]</sup>研制出三代玉米螟发生程度和卵峰日的海温预报模式;汤志成等<sup>[49]</sup>研究了地球极地变形力及大气环流因子在小麦赤霉病预报中的应用途径;叶彩玲等<sup>[50]</sup>评述了农作物病虫害气象环境成因。

### 1.3 生物气象预报所涉及的范围与生态动力学关系

预报所涉及的时空范围的全面性,使生物气象预报研究和业务有了明确的目标,便于从业者和管理者正确地处理其中的具体问题。生态动力

学<sup>[21,30]</sup>和生态控制原理<sup>[30,31]</sup>中所论述的生态控制,正适合于生物气象预报所服务的时空范围。从时间来说,经典的生态预报往往只重视长期乃至超长期的预报问题,比如现在社会上引起公众关注的气候变暖的超长期预测问题——气候变暖引起生物地理的变化<sup>[31~37]</sup>。Leinonen 和 Kramer<sup>[38]</sup>评述了不同的物候动力机理模型方法,并用其中有关模型预测气候变暖对光合作用持续时间的影响。但除超长期的预报以外,考虑到生态动力与控制,生物预报的时间尺度范围必须加以扩大,不仅应考虑宏观的大范围超长期的预报对象,也必须考虑微观的小范围的长、中、短乃至短时等各个时间尺度的生物气象预报对象。预报的目的是为社会各个方面的可持续发展服务,为生产和改善人类生存环境服务。对于生物气象预报来说,以天气、气候预报的时间尺度为其尺度是比较合适的。众所周知,天气预报及有关某一方面的气象预报(生物气象预报是其中之一)现有的发展水平远不能满足社会之需求。丑纪范、许以平<sup>[39]</sup>曾经说过,“长期预报,尚待探索”。对于在生物气象预报基础上做出农事活动、卫生防疫等方面的决策(包括宏观的长远战略型决策和微观、具体措施的决策)来说,超长期、长期、中期、短期乃至短时的生物气象预报,都是有一定意义的。超长期预测可供大范围宏观的可持续发展参考,比如涉及全球环境的“京都议定书”的制定依赖于气候变化对人类影响的预测;长期预测可作为全年卫生防疫、农事活动的参考;中期预报可直接服务于播种、施肥、中耕等农事活动的决策;短期预报可直接用于防虫防病及及时防御冷害等活动;短时预报可用于防雷电、冰雹等灾害天气对人及其他动、植物的伤害。

## 2 生物气象预报定量研究和高新技术化的生态动力学基础

生物气象预报研究人员在早年的研究和业务实践中,试图寻找一种“在一般预报基础上,再考虑生物指标”的预报方法。其实这是生物气象预报研究的一种初级方法,尤其是作为一般天气预报业务基础的天气动力学原理,是不应当也不能机械地推论到生物气象预报中去的。因为生物气象预报必须考虑有关的生物物理意义,而不是像一般天气预报那样,只考虑其物理意义就可以了。

从生物气象预报进展的历史来看,物候学的观

测和预报似乎是最早的。早在 20 世纪 70 年代初出版的物候学著作中,就讲述了物候预报农时的方法,但一直到生态动力预报提出之前,物候预报仍是单站的和人工的。从裴铁的研究<sup>[21, 29, 30]</sup>可以看出,进入 21 世纪,已有了自动化的预报农业灾害的中期生物气象预报方法。这种生物气象预报方法显然是基于生态动力学中的生态动力源和生态动力汇这些基本概念。在以往的物候—农时(比如发育期)预报中,一般考虑物候期和温度条件,但温度本身是由客观天气形势决定的,它只是表现天气特征的一个重要要素,并不是天气形成的“本源”,而且在多数情况下,农时预报考虑的是温度实况和气候平均,作为预报因子的生物物理意义是不太客观的。而生态动力学指出的可作为备选生态动力源因子者,既包括了生物类生态动力源(如树木的物候期),也包括了非生物的生态动力源,于是考虑数值预报的模式输出图,并作为非生物生态动力源的“本源”就顺理成章了。将积累多年的大范围物候数据与数值预报的模式输出图有机结合起来,使生物气象的物候预报由单站发展到大范围的预测网络,从而为古老的物候学在现代高新技术条件下走向新的发展道路开辟了一条新的途径。这与天气预报从单站预报阶段走向区域预报阶段的历史很类似。

不难看出,即使有了生物气象预报模式的设想,如果不借助高新技术,那么这种设想也是不能实现的。上例所指出的中期生物气象预报的实现,是原文作者<sup>[21]</sup>借助一种先进的自动化模式识别技术——属性文法模式识别引入生物气象预报之中的。在运用模式识别之前,在制作生物气象预报的过程中,常常是靠肉眼观察来找相似。由于历史上的物候资料及相关图形很多,天气形势的图形也很多,并且千变万化,想在制作中期预报的短时间内用肉眼观察是很难找出相似的,而用机器视觉的人工智能原理,自动化则能实现。

需要指出的是,以生态动力学原理为基础的新的生物气象预报的综合模式还存在许多不足之处。比如,对于有关观测资料应按地貌、地势等条件做必要订正;针对不同的生物,运用更有代表意义的即生物物理意义更为明确的指标;气象要素的预报结合当地情况,需用 MOS (Model Output Statistics) 等方法加以订正等。

生态动力建模的方法论,对于生物气象预报有

相当重要的基础作用。可参照文献[21]所示的程序,结合具体问题试验应用,绘出基本流程图(图 1)。除上述例子中的方法外,在经典的数学方法中,还有许多方法可以用于数学建模,例如文献[40]~[43]中的许多新方法,其中包括:数学分析、概率统计、随机过程(马尔可夫过程、平稳随机系列过程)、微分方程、规划论、排队论、库存论、突变论、现代控制理论、蒙特卡罗方法、模糊数学、灰色系统、均匀设计等。

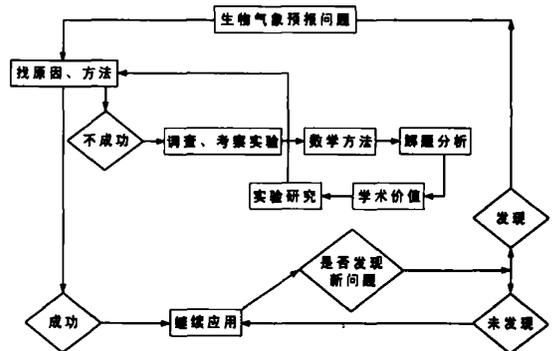


图 1 生物气象数理预报方法研究与应用的基本流程

### 3 生物气象预报业务化途径

从生态动力学原理可知,无论是非生物类的生态动力源或者是生物类的生态动力源,都是只有涉及到生物时才构成生态动力源。可见本来只有物理意义的气象类的生物气象预报因子(包括温度、湿度等要素、地面及 500 hPa 等压面上的槽脊、高低值中心及冷暖平流等)在生物气象预报中,必须与有关生物联系起来。要实现生物气象预报的业务化,需要气象部门(系统)、涉及有关生物的单位(农、林、牧、疗养地建筑设计、公共卫生等)和地理生态研究部门 3 方面密切合作。既然是生物气象预报,及时的气象信息是必不可少的,这种信息只有在气象系统所属的台站才有,包括天气图信息、数值预报模式输出图、气象卫星云图、雷达回波图片信息等。而所用的必要即时数据,均是气象台站观测的,其中绝大部分信息能及时传递给各级气象中心。为实现生物气象预报的业务化,对气象台站原有的信息系统中的有关信息须进一步完善。各级气象生态中心最好形成一个独立的为生物气象预报所应用的系统,并承担对全社会有关单位的生物气象业务化的行业协调任务。这样,各级生态气象中心会成为业务化的生物

气象预报中心。

有关生物部门所特有的与气象有关的生物信息,一般分布在各个管理部门,但在现有的体制管理下,这些信息尚不能及时收集到生物气象业务中心来。在过去的几十年中,我国的气象部门尤其是基层台站在关键农事季节,一直与农业、牧业、林业、水利、卫生防疫部门保持联系。如何积极主动为这些部门提供有针对性的生物气象预报服务,是实现其业务化的思想基础和人力资源基础。与此同时,这些部门也非常重视气象情报。随着通信设备的完善,网络、电子邮箱等现代化通信手段为进一步加强相互联系,使之系统化提供了很好的物质保障。在政府支持下,在具有了较好的设计方案的前提下,只需投入必要的少量的经费,就可以把服务于生物气象预报的大量生物信息集中到预报中心来。由生物气象预报中心收集的生物信息,大概可以来自农业厅(局)的农情信息、生产进度等,植物保护部门的农作物病虫害发生、蔓延、防治情况,牧业兽医管理部门的家禽放牧、畜(禽)疫病信息,林业厅(局)的造林、营林、森林病虫害信息,水产渔政部门的水生物生产发育信息,野生动物管理部门的候鸟迁徙信息,卫生防疫部门的流行病信息,建筑与环保部门的人居环境受污染信息等。

由于所涉及的生物部门是生物气象预报中心的大量信息的提供单位,也是所制作出来的业务化预报的受益部门,所以生物信息的收集是容易实现的。一般可试行用约定的符号,在网站接受信息即可,这有些像气象部门发布天气预报和墒情报告的做法。而对于特急信息,比如某地发生了致病性禽流感或非典(SARS)疑似病例,可在互联网上加急传送至中心,这有些像气象部门的航(空)危(险)报。

为了使生物气象预报尽快实现业务化并逐步提高其业务质量,就必须加强这方面的应用研究工作。由于生物气象预报的主要基础是生态动力学,并且生态研究部门具备相应研究实力,所以促进生物气象业务化的科学研究工作,应以生态研究单位为中心。这里所说的研究单位,包括专门的比较大的生态研究单位,也包括大专院校和地方农林牧渔以及环保园林等研究单位的生态研究组(室)。这样的应用基础研究,应立足于深度、广度并能及时为业务化服务。业务化信息系统的实现、研究工作的加强和社会有关部门的配合,是实现生物气象预报业务化

的必由之路。

#### 4 生物气象预报业务与研究人才培养问题

学校教育是人才培养的基础。虽然在我国高等院校没有设置过“生物气象”这一本科专业,但事实上,培养生物气象人才的高等教育至今已有 50 年的历史。20 世纪 80 年代初期,我国高校本科专业分得过细,曾经设置过的农业气象、林业气象、水文气象专业都培养出不少生物气象预报人才,同时也有农学、植保、气候、天气和大气物理等专业的人从事生物气象预报工作。根据现有本科专业的划分,生物气象人才一般应出自应用气象专业。从生物气象人才培养的历史、现状和未来发展来说,在本科教育基础上,应分别培养研究、业务和教学 3 种类型人才。研究型人才一般应接受研究生阶段的教育,或在在职研究实践中取得同等学历,使被培养者具有坚实的理论基础并掌握有关学科广泛知识,跟踪国内外动态,在专题科研中逐步提高自身的开拓创新能力、组织协调能力和攻克难关能力。实用型人才一般应有天气预报员的经历,天气预报是搞好生物气象业务预报的前提。实用型人才在业务实践的同时,应从事一些新技术的应用开发研究工作,不断接触、了解新的研究成果并应用到业务工作中。教学人才应在掌握有关研究成果、了解学科动态的基础上,编写好讲义、教材,以便把新的知识传输给学生。上述 3 种人才的培养,各有侧重,但也是有机联系的。理论与实践的结合,或者说“格物致知”(实践出真知)的哲理,在生物气象预报人才培养中是值得提倡的。对于一个具体生物气象预报工作者来说,所属“类型”不一定是终身的。根据社会需要,观察有关生物气象预报人员的特点,因势利导,量才录用,实施必要的人才流动机制,是在工作中进一步培养生物气象人才的必要措施。

#### 5 小结与讨论

我国以及其他国家近几十年来的论著(期刊、书籍和会议录)和实际调查结果表明:生物气象预报的进展是迅速稳健的,这种进展与其生态动力学基础是分不开的;尽管过去未见明确指出这一基础的文献,但这样的基础,无疑已潜移默化地渗透于生物气象预报的发展历程之中。在今后的发展历程中,针对生物气象预报某些具体问题,自觉地、深入广泛地

探讨其生态动力学基础应是很必要的。这样的探讨,将会促进该学科理论框架进一步完善,使其科学依据更加充分,同时有利于业务实践水平的提高,为社会提供较可靠的预报,服务于有关生产部门、社会公益部门和广大民众,为国民经济的持续发展做出贡献。

当然,“生物气象预报的生态动力学基础”是近年才被明确提出的,作者的看法不可能很全面、很具体。为使生物气象预报在其生态动力学基础上向纵深发展,向多学科渗透,应首先结合不同生物对象分别加以研究。有了多种类似的研究,再进一步综合,积累到一定数量的成果及反映这些成果的大量文献,将使该领域内容更加充实。从单点预报到区域预报,从定性预报到定量预报,从人工预报到智能预报,应是本学科发展的必由之路。

## 参考文献

[1] 戴君虎, 郑景文, 葛全胜. 当前国际生物气象学的研究热点——第17届国际生物气象大会在德国加米施·帕滕基兴(Garmisch-Partenkirchen)召开[J]. 地理学报, 2006, 61(2): 223.

[2] 陈德辉, 薛纪善. 数值天气预报业务模式现状与展望[J]. 气象学报, 2004, 62: 623—633.

[3] 陈德辉, 薛学胜, 胡江林, 等. 多尺度通用动力模式框架的设计策略[J]. 应用气象学报, 2003, 14: 452—461.

[4] 陈伯民, 纪立人, 杨培才, 等. 与非线性区域预测方法结合的月延伸预报试验 I: 纬向平均环流的预报[J]. 气象学报, 2004, 62(1): 1—9.

[5] 丑纪范, 郜吉东. 长期数值天气预报(修订本)[M]. 北京: 气象出版社, 1995: 1—10.

[6] 曾庆存. 数值天气预报的数学物理基础[M]. 北京: 科学出版社, 1979: 1—8.

[7] Yu X M, Bi B J. Forecasting the distribution of meteorological yields using Chebyshev polynomial[J]. Agric. For. Meteor., 1985, 34(3): 323—332.

[8] 于系民, 毕伯钧, 冯耀煌. 用车贝雪夫多项式预报气象产量地理分布的试验[J]. 气象学报, 1987, 45: 86—92.

[9] 冯定原. 农业气象预报和情报方法[M]. 北京: 气象出版社, 1988: 1—10.

[10] 王馥棠. 农业气象预报概论[M]. 北京: 农业出版社, 1995: 1—2.

[11] 赵四强. 应用海温预报粮食产量的初步探讨[J]. 科学通报, 1982, 27(20): 1269—1272.

[12] 杨继武. 农业气象学[M]. 北京: 中国广播电视出版社, 1990: 35—60.

[13] 谈建国, 郑有飞. 近10年我国医疗气象学研究现状及展望[J]. 气象科技, 2005, 33(6): 550—553.

[14] 米娜, 谈建国, 姚克敏, 等. 南京市呼吸道疾病时间序列模型的

建立与分析[J]. 气象科技, 2005, 33(6): 554—558.

[15] 董惠青, 字春霞, 郭琳芳, 等. 南宁市呼吸道疾病预测研究[J]. 气象科技, 2005, 33(6): 559—564.

[16] 叶殿秀, 杨贤为, 吴桂贤. 北京地区冠心病发病率的气象评估模型[J]. 气象科技, 2005, 33(6): 565—569.

[17] 李兆芹. 幼年上呼吸道感染发病的预测模型研究[J]. 气象科技, 2005, 33(6): 570—573.

[18] 张德山, 邓长菊, 尤焕苓, 等. 北京地区中暑气象指数预报与服务[J]. 气象科技, 2005, 33(6): 574—576.

[19] 李雄, 郭琳芳, 董惠青. 癌症死亡的气象影响因素探讨[J]. 气象科技, 2005, 33(6): 577—579.

[20] 范伶俐. 广州禽流感流行的气象条件分析[J]. 气象科技, 2005, 33(6): 580—582.

[21] 裴铁麟, 于系民, 金昌杰, 等. 生态动力学[M]. 北京: 科学出版社, 2001: 163—223.

[22] Pei T F, Jin C J, Guan D X. Ecological Dynamics and Cybernetic Principle[M]. Monmouth Junction: Science Press USA Inc, 2004: 1—5.

[23] Jones C J, Kitor U S. Populations of Ixodes scapularis (Acari: Ixodidae) are modulated by drought at a Lyme disease focus in Illinois[J]. Journal of Medical Entomology, 2000, 37(14): 408—415.

[24] Schaubert E S, Ostfeld R S, Evans A S. What is the best predictor of annual Lyme disease incidence: weather, mice or acorns?[J]. Ecological Applications, 2005, 15(5): 575—586.

[25] Goulson D, Derwent L C, Hanley M E, et al. Predicting calypttrate fly populations from the weather, and probable consequences of climate change[J]. Journal of Applied Ecology, 2005, 42(6): 795—804.

[26] Buckland S M, Thompson K, Hodgson J G, et al. Grassland invasions: effects of manipulations of climate and management[J]. Journal of Applied Ecology, 2001, 38(2): 301—309.

[27] Crick H Q P. The impact of climate change on birds[J]. ibid. 2004, 146: 48—56.

[28] Leamont J, Chapman P, MacNicoll A. Impact of an insecticide resistance strategy for house fly (Diptera: Muscidae) control in intensive animal units in the United Kingdom[J]. Journal of Economic Entomology, 2002, 95(10): 1245—1250.

[29] 裴铁麟, 金昌杰. 物候模式识别在生态动力预报中的应用[J]. 应用生态学报, 2005, 16(9): 1661—1666.

[30] 裴铁麟, 金昌杰, 关德新. 生态控制原理[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 140—145.

[31] 王馥棠, 赵宗慈, 王石立, 等. 气候变化对农业生态的影响[M]. 北京: 气象出版社, 2003: 1—3.

[32] 秦大河. 中国气候与环境演变[M]. 北京: 科学出版社, 2005: 569—583.

[33] 周广胜, 赵宗慈. 全球变化的中国气候——植被分类研究[J]. 植物学报, 1996, 38(1): 8—17.

[34] 王石立, 娄秀荣. 气候变化对华北地区冬小麦水分亏缺状况及生长的影响[J]. 应用气象学报, 1996, 7: 308—315.

- [ 35] Limieri N, Levin P S. The roles of fishing and climate in the population dynamics of bocaccio rockfish [ J ]. *Ecological Applications*, 2005, 15(4): 458—468.
- [ 36] Roemmich D, Mc Gowan J. Climatic warming and the decline of zooplankton in the California Current [ J ]. *Science*, 1995, 267(18): 1324—1326.
- [ 37] Langford I H, Bentham G. The potential effects of climate change on winter mortality in England and Wales [ J ]. *International Journal of Biometeorology*, 1995, 38(2): 147.
- [ 38] Leinonen I, Kramer K. Application of pherological models to predict the future carbon sequestration potential of boreal forests [ J ]. *Climatic Change*, 2002, 5: 99—113.
- [ 39] 丑纪范, 许以平. 天气预报 [ M ]. 北京: 气象出版社, 1985: 84—102.
- [ 40] Yu Q, Liu J D, Zhang Y Q, et al. Simulation of rice biomass accumulation by an extended logistic model including influence of meteorological factors [ J ]. *International Journal of Biometeorology*, 2002, 46(4): 185—191.
- [ 41] 裴铁, 梁文举, 于系民. 自然灾害非参数统计方法 [ M ]. 北京: 科学出版社, 1999: 446—466.
- [ 42] 王明太, 耿建国. 中国天灾信息预测研究进展 [ M ]. 北京: 石油工业出版社, 2004: 68—76.
- [ 43] Kulkarni V. *Operations Research: Applied Stochastic Models* [ M ]. Tsinghua University Press, 2004: 75—85.
- [ 44] 赵圣菊, 姚彩文. 小麦赤霉病流程度海温预报模式的研究 [ J ]. *植物病理学报*, 1989, (1): 11—18.
- [ 45] 赵圣菊. 用海温作临近地区第一代黏虫数量长期预报的初步探讨 [ J ]. *科学通报*, 1983, 28(19): 1202—1205.
- [ 46] 赵圣菊. 用海温预报第一代黏虫发生量和发生期的初步探讨 [ J ]. *海洋学报*, 1984, (1): 128—132.
- [ 47] 钱栓, 霍治国, 叶彩玲. 我国小麦白粉病发生流行的长期气象预测研究 [ J ]. *自然灾害学报*, 2005, (4): 56—63.
- [ 48] 刘了凡, 黄善武, 孔繁忠. 三代玉米螟发生程度和卵峰日的海温预报模式 [ J ]. *南京气象学院学报*, 1999, 22(2): 264—268.
- [ 49] 汤志成, 居为民. 地球极地变形力及大气环流因子在小麦赤霉病预报中的应用 [ J ]. *植物保护*, 1989, 15(2): 5—8.
- [ 50] 叶彩玲, 霍治国, 丁盛利等. 农作物病虫害气象环境成因研究进展 [ J ]. *自然灾害学报*, 2005, 14(1): 90—97.

## Ecological-Dynamic Basis of Biometeorological Forecasting

Jiang Xiaoyan

(Shenyang Municipal Meteorological Bureau, Shenyang 110168)

**Abstract:** Biometeorological forecasting is closely related to public weather forecasting. The ecological-dynamic basis of biometeorological forecasting is described on the basis of operational practice, applied researches, the related references and experts' experiences. The advancements, theories and methods, and research scope of biometeorological forecasting, as well as the relation with ecological dynamics, are reviewed. It is pointed out that the introduction of high-new technology into ecological dynamics is the foundation for the development of biometeorological forecasting from qualitative to quantitative forecasting and from single station to regional network. Some suggestions on the operationization and specialist training for biometeorological forecasting are presented. Discussion is also made on the prospects of biometeorological forecasting and its importance for the sustainable development of the national economy and the ecological environment.

**Key words:** biometeorological prediction, public weather prediction, ecological dynamics