

气候变化 与作物产量

气候变化与作物产量编写组
国家自然科学基金资助项目



中国农业科技出版社

气候变化与作物产量

气候变化与作物产量课题组

中国农业科技出版社

421660

(京)新登字061号

内 容 提 要

我国自然灾害频繁,气候变化对作物产量和品质有很大的影响。本书系气候变化对农业生产的影响及其战略对策的研究成果的总结。该书重点论述了我国气候变异和作物产量变异及其相互关系的基本规律和主要作物(水稻、小麦、玉米、大豆、棉花)及主产区产量波动的天气气候原因,并就未来气候变化对农业生产的影响作了初步分析。本书可供农业气象、农学、农业生态、自然区划等学科的科研、教学人员和大专院校师生参考。

请于下列日期

1995.2

气候变化与作物产量

气候变化与作物产量课题组

责任编辑 刘淑民

中国农业科技出版社出版(北京海淀区白石桥路30号)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京市朝阳区建外印刷厂印刷

开本: 850×1168毫米1/32 印张: 14.25 字数: 380千字

1992年7月第一版 1992年7月第一次印刷

印数: 1—1700册 定价: 9.45元

ISBN 7-80026-305-3/S·233

421660

课题组名单

主持人	信迺詮	中国农业科学院科研管理部
	王世耆	中国农业科学院计算中心
	程延年	中国农业科学院气象所
	闵瑾如	中国农业科学院气象所
参加人	杨继武	沈阳农业大学
	叶修祺	山东省农业科学院
	韩慧君	河南省气象局
	习耀国	陕西省农林科学院
	任久江	西南农业大学
	李玉祥	湖南省气象科学研究所
	龙国夏	广西农学院
	李淑华	中国农业科学院气象所
	张厚瑄	中国农业科学院气象所
	苏 燕	中国农业科学院气象所
	谢力真	中国农业科学院计算中心
	竺可为	中国农业科学院计算中心

前 言

由于世界人口的增长、耕地的减少、环境的恶化和能源危机，农业生产受到很大威胁。本世纪60年代以来，不利天气气候条件频繁出现，几度形成粮食危机，又在很大程度上使矛盾加剧，引起各国政府和国际有关组织的关注。

我国自然灾害频繁，气候变化对作物产量和品质有很大影响，因而农业生产的发展在年度间不稳定，在地区间不平衡。近年来的研究表明，人类活动造成大气中温室气体增加使大气温度上升，从而未来气候变化可能出现新的格局，给社会和经济各方面带来新的影响。上述影响将在较长时期内存在，有可能给国民经济带来重大的损失，人们对此要有所准备，以防患于未然。因此，研究气候变化对农业生产的影响及其战略对策具有重要的理论意义和实用价值。

1988年，在国家自然科学基金委员会生命科学部和农业部农业司的大力支持下，由中国农业科学院科研管理部组织，中国农业科学院气象所和计算中心主持，沈阳农业大学、山东省农业科学院、河南省气象局、陕西省农业科学院、湖南省气象科学研究所、西南农业大学和广西农学院等7个单位参加，组成课题组，对这个问题开展了协作研究。

本书是协作组研究成果的第一部分，重点论述我国气候变异和作物产量变异及其相互关系的基本规律和主要作物（水稻、小麦、玉米、大豆、棉花）及主产区产量波动的天气气候原因，并就未来气候变化对农业生产的影响作了初步分析。本书可供农业气象、农学、农业生态、自然区划等学科的科学研究的、教学人员和大专院校师生参考，也可供各级农业部门和实际工作者参考。

本书作者：第一章，王世耆；第二章，信迺谏；第三章，任久

江、李玉祥、龙国夏；第四章，闵瑾如、程延年、习耀国；第五章，叶修祺；第六章，杨继武；第七章，韩慧君；第八章，张厚瑄；第九章，李淑华；葛燕华绘制了大部分插图。全书由程延年、闵瑾如、张厚瑄、杨继武负责统稿和编辑加工，最后由信迺詮定稿。

限于水平和研究的阶段性，本书难免有错漏之处，恳请广大读者批评指正。

作者

目 录

前言

第一章	气候变化与作物生产	(1)
第一节	温室效应与气候变化	(2)
第二节	气候变迁对作物生产的影响	(3)
第三节	气候波动对作物生产的影响	(6)
第四节	气候变化对作物产量影响的研究方法	(7)
第二章	气候变化与我国粮食生产	(12)
第一节	粮食生产发展及现状	(12)
第二节	光、热、水与粮食作物的关系	(13)
第三节	主要农业气象灾害对粮食产量的影响	(21)
第四节	气候变化对粮食生产的影响	(36)
第五节	未来气候变化及其对粮食生产的可能影响	(43)
第三章	水稻	(50)
第一节	中国水稻生产及发展现状	(50)
第二节	中国水稻的气候生态特点	(53)
第三节	中国水稻生产的主要农业气象灾害	(62)
第四节	气候变化对水稻产量的影响	(78)
第五节	未来气候变化对水稻产量的可能影响	(138)
第四章	小麦	(142)
第一节	我国小麦生产及发展现状	(142)
第二节	我国小麦气候生态特点	(148)
第三节	我国小麦生产的主要农业气象灾害	(171)
第四节	气候变化与小麦产量波动	(184)
第五节	春小麦与气候条件关系	(202)
第六节	气候变化对小麦生产的可能影响	(208)
第五章	玉米	(213)
第一节	玉米产量波动研究的意义与方法	(213)

第二节	中国玉米产量波动的分析	(217)
第三节	玉米产量波动与气象灾害的关系	(224)
第四节	气候变化对玉米产量的影响	(227)
第五节	未来气候变化对玉米生产的可能影响	(244)
第六节	减轻玉米产量波动的对策	(245)
第六章	大豆	(256)
第一节	我国大豆生产发展状况	(256)
第二节	我国的农业种植制度与大豆种植区域	(258)
第三节	我国大豆主产区气候生态特点	(261)
第四节	气候变化对我国大豆产量的影响	(273)
第五节	未来气候变化对我国大豆产量的可能影响	(298)
第六节	稳定和发展我国大豆生产的对策和趋利避害措施	(300)
第七章	棉花	(302)
第一节	我国棉花生产的地位和作用	(302)
第二节	气候生态条件与棉花生产	(305)
第三节	棉花产量和品质的波动	(312)
第四节	我国棉花生产中的主要农业气象问题	(320)
第五节	气候变化对棉花产量和品质波动的影响	(327)
第六节	气候生态条件与棉花品种类型	(340)
第七节	趋利避害提高产量和品质的途径	(348)
第八节	未来气候变化对棉花生产的可能影响	(352)
第八章	温室效应对我国农业生产的影响	(357)
第一节	温室气体与气候变化趋势	(357)
第二节	CO ₂ 浓度增大对农作物的直接影响	(370)
第三节	气候变暖对我国农业生产的直接影响	(373)
第四节	气候变暖对我国农业生产的间接影响	(383)
第五节	气候变暖的农业对策初探	(396)
第九章	近十年来天气气候对我国农业生产的影响概况	(402)
第一节	我国近十年来主要气象灾害对农业生产的影响概况	(402)
第二节	1987~1989年气候条件对我国农业生产的影响	(431)

第一章 气候变化与作物生产

气候变化及其对作物生产的影响，一直受到人们的关注。最近20年，更成为热门话题。气候是基本的生活因子，又是经常起作用的环境因素。尽管今天人类已能飞入太空去探索宇宙的奥秘，但是，对于人类赖以生存的地球气候，依然有许多不解之谜。现有科学技术，至今尚不能控制气候的变化。人们不能随意地改造气候，使之适合作物生产的需要，相反，只能使作物生产适应气候的变化。这样，就必须掌握气候变化的客观规律以及气候影响作物生产的客观规律。

气候变化是由于气候形成因子中某个或某些因子发生异常而引起的。传统的看法认为，气候形成的因子是太阳辐射，大气环流与下垫面。之后，有人提出“气候系统”概念，认为该系统中有5种自然分量，即大气圈、水圈、冰雪圈、岩石圈与生物圈。无论是三大因子，还是气候系统，气候应是太阳-地球，海洋-大气，陆地-大气，以及人类活动-大气之间四种关系错综复杂相互作用的结果，气候变化是它们之间的异常造成的。

70年代，地球上多处出现少见的气候。一时众说纷纭，气候变冷说曾占了上风。更有危言耸听的推测，说地球将进入另一个小冰期。当时我国著名气候学家竺可桢根据我国特有的5000年的丰富史料，应用物候学方法，撰文论述了我国近5000年的温度变化，指出5000年中气候曾有多次变动，其中前2000年黄河流域年平均温度比现代高 2°C ，冬季温度高 $3\sim 5^{\circ}\text{C}$ ，与现在长江流域相似；后3000年有一系列冷暖波动，每个波动约历时400~800年，年平均温度变化范围为 $0.5\sim 1.0^{\circ}\text{C}$ 。他认为这种气候变化是世界性的，并不限于中国。

气候变化的时间、空间变幅可以很大。5000年也只不过是中小

尺度。长尺度可以大至 $10^8 \sim 10^9$ 年，短的为 $10^0 \sim 10^1$ 年，更短的则属于天气变化范畴。一般地，也可将气候变化分为长期趋势变化 (trend) 或气候变迁，和有明显起伏的气候波动 (Climatic fluctuation) 两种。人们通常所说的“气候异常”，实乃上述两种气候变化的泛称。不过，更多的场合，系特指气候波动。

随着世界人口的增长、耕地的减少、资源的破坏和能源危机，农业生产受到很大威胁。本世纪60年代以来，“气候异常”事件频繁出现，几度形成粮食危机，更使矛盾加剧。

我国自然灾害频繁，气候多变，大范围的气候波动是造成农业生产在年度间不稳定、在地区间不平衡的重要原因。在社会发展和其它因素相对稳定的条件下，天气气候条件是影响作物产量的重要自然因素。随着农业生产水平的提高，作物对适宜气象条件的要求相应提高，而对不利气象条件的反应更加敏感。在今后相当长时期内，气象条件对农业生产的潜在威胁仍将存在。因此，研究气候变化影响农业生产的基本规律，分作物按地区制定气候变化的农业对策，对加速发展我国农业生产具有重要的现实意义和应用价值。

第一节 温室效应与气候变化

由70年代延续至今的地球气候行将变暖还是变冷的争论，还很难说已成定论。因为影响气候变迁的因子很多，有地球的天文参数对太阳辐射的影响，还有太阳常数的变化、潮汐现象、火山活动、海洋等等。本世纪以来，人们普遍意识到人类自身的活动也是十分重要的影响因子。

众所周知，地球-大气系统是受太阳短波辐射加热的，同时又向太空放出长波辐射（热辐射或红外辐射）。若不考虑某些气体的辐射性质按热量平衡原理估算，地球表面气温只有 -18°C 。可是，地球大气中存在某些辐射性质活跃的气体，如水汽、 CO_2 及其它微量气体，它们对太阳短波辐射透明，而对地面放出的长波辐射则不透明。它们吸收地表向上的长波辐射，一方面向下再辐射，加热

底层大气，一方面向上，维持大气顶层的辐射平衡。这使全球平均气温上升 33°C 并维持在 15°C 左右，人类因此得以生存。上述气体的这种作用，就是人们所说的“温室效应”，具有这种作用的气体，被称为“温室气体”。

由于人类活动的结果，自工业革命以来，大气中 CO_2 浓度显著增加。不少科学家推测，由此产生的温室效应终将导致气候变暖，全球气候将发生重大变化。

关于全球气候变暖的结论主要来源于以全球气候模式(GCM)为基础的气候数值模拟。GCM是三维大气环流模式，实际上可看作适合于在较长模拟时间内运行，而又特别着重描述那些重要气候过程的数值天气预报模式。其中一般有5个预报量，即温度、湿度、气压、南-北和东-西向风速分量，且都在全球模式的网格点上取值。网格大小一般为5个纬度和7个经度，垂直方向分2~11层。预报量由Navier Stokes方程、热力学方程、水分和质量平衡方程来确定。GCM的运行(模拟)就是在一组初始观测值条件下作数值积分。若模式中某些方面(如 CO_2 浓度)发生变化，就重复进行模拟。通过一段时间内求平均，并且作统计检验来说明气候是否发生了显著变化。迄今为止，几乎所有的GCM都模拟出在 CO_2 倍增的前提下，将出现这样一些气候变化：冬季高纬近地层增温，降水增加；低纬地区增温较小，北半球大部分温带大陆地区土壤湿度增加；但夏季的模拟输出差异很大。

如此重大的气候变迁，对作物生产会有什么样的影响？人们正在着手研究这一问题。

第二节 气候变迁对作物生产的影响

气候变迁对作物生产的影响是多方面的：作物的种植范围、作物品种的适应性、作物管理、作物产量及作物产品的质量等。

Rosenzweig在分析北美冬麦、春麦和秋播小麦对环境要求的基础上，以 CO_2 倍增为条件，用全球气候模型GISS的模拟输出作为新

气候条件，研究了北美小麦区的变化。结果表明，北美小麦生产区面积将有所增加，尤其在加拿大；但美国的主要麦区仍将保持不变。墨西哥的小麦生长区因高温胁迫，被鉴别为脆弱区。由于整个北美在小麦生长期，特别是生殖阶段，平均温度较高，因而更需种植耐热的作物品种。Newman模拟了气候变化对北美玉米带的影响，他不考虑降水本身的变化，在 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 温度变化对可能蒸散影响的条件下，用生长热单位测定了玉米带对每 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 变化的敏感性，发现玉米带将在西南偏南，或东北偏北的方向上，每变化 1°C 产生175公里的位移。Blasing和Solmon研究了 CO_2 倍增条件下，北美玉米带的可能位移；指出西南玉米带较暖而干燥的预测气候状况更适合种植冬麦，大湖区域气候将影响玉米带北伸。Terjung研究了作物蒸散、灌溉和气候变化的关系以及北美大平原玉米产量对气候变化的反应。Liverman研究了124种可能的气候变化格局对玉米产量的影响。这些格局由太阳辐射的5种变化（ $\pm 50\%$ ， $\pm 25\%$ ，0），温度的5种变化（ ± 5 ， ± 2.5 ，0）和降水的5种变化（ $\pm 50\%$ ， $\pm 25\%$ ，0）组合而成。结果表明，气候变化对大平原生产有显著影响。美国环境保护署（US.EPA）最近组织了一项名为“气候变化对全球粮食生产影响”的国际合作课题，参加者有英、法、苏、日、加、澳、印度、印尼、巴西、埃及、阿根廷、菲律宾、马里、泰国和中国的科学家。其基本内容是应用GCM产生的气候变化情景输入作物动态模型CERES（其2.0版本已由中国农科院汉化），模拟作物产量和其它农业变量的可能变化。这些结果将被进一步用来估计农业生产和贸易方面的变化，借以研究由于气候变化而导致的食物短缺的数量和特征，并分析对气候变化的适应性反应。金之庆等用该项目提供的软件，模拟了全球气候变暖对我国南方水稻生产的影响。模拟结果显示，在 CO_2 倍增的气候情景下，如只考虑 CO_2 的间接效应，即气候变化，南京等九个地点不同品种的水稻生育期明显缩短，成熟期普遍提前，产量明显下降，即使有良好的灌溉条件也不能完全补偿高温造成的减产效应，只可缩小减产幅度。如同时考虑气候变化和 CO_2 直接效应，则在雨育条件下， CO_2 倍增，各地

区都有增产效果。此外，还模拟了改善灌溉条件，改变种植日期，引进新品种，提高复种指数，以及改革稻作制度等不同对策所产生的效应，结果是在降雨奇缺地区，“引进”旱稻，不同地区的效果不同；单纯地改变播期，在南京和徐州有一定增产作用，而在其它地点，则增产效应不明显，甚至减产。单纯地“引进”新品种，在南昌、福州、长沙和徐州等地有明显增产作用，而在其它地点，则收效甚微。模拟同时改变播期和“引进”新品种，增产效果尤为明显。

以上关于温室效应导致的气候变化对作物影响的研究，都是以一种“正”向思维作为指导思想的，即不怀疑GCM模式输出的可用性，把它假想为未来气候变化的基本格局，探讨这一气候背景下的作物生产或产量问题。应当承认科学界对于气候变化的研究成果，确实也使人们知道了一些基本的并且有用的信息。人们一直试图找出可能减少甚至消除目前估计的 CO_2 加倍造成全球变暖的物理效应。但却没有任何突破性发现。尽管海洋吸收热量的能力把估计变暖的时间推迟了几十年；且增暖将伴随着气候因子的改变，如温度、降水、蒸发以及土壤湿度。但一些结论并没有因为进一步的研究而发生实质性的改变。在这个意义上说，“正向”思维指导下的有关研究是有一定意义的。

不过，毕竟GCM模型的输出仍有诸多不确定性，其来源有：①大气成分的来源；②碳的地球化学循环的各环节；③辐射强迫作用的计算；④气候系统对此强迫作用的响应。最后这一不确定性，又是由另外一系列不确定因素决定的：①对由海洋热吸收控制的强迫作用变化的非稳态调整；②云辐射特性的响应；③高纬冰雪覆盖的变化；④依赖于海洋表面温度变化，大气内部动力过程以及地表面过程中的反馈作用的区域气候型的改变。这些不确定成分的相对重要性又因地理区域而异。凡此种不确定性，使得目前所估计的气候变化的可能范围同样具有不确定性。

另外，倘若使用“逆”向思维方式，则也还确实存在与流行的理论不符的疑点和矛盾。比如，在我国一些地区，甚至找不到“温

室效应”的证据。而存在的某些气候变暖又不能排除是由自然变化所引起。因此，有关 CO₂ 倍增导致的气候变化对作物生产的可能影响的若干结论，就多数而言，还只是一种看法或观点，它们距实际情况也许还有不小的距离。

第三节 气候波动对作物生产的影响

过去时间里的气候波动，特别是异常气候对作物生产或产量的影响，是人们已经观察到的事实。人们应当对这类事实作深入研究，从中提取有用信息，形成正确的认识，以便指导未来。同研究温室效应的影响相比，分析当前气候背景之下的（短尺度）气候波动以及异常气候影响问题，比起研究未来可能有的气候变化背景之下的同样问题，也许具有更加实在的意义。

为了客观地描述逐年气候变动情况，强调某些特殊气候，有人把明显偏离过去30年气候的天气定义为异常气象。具体地说，凡月平均气温距平绝对值大于过去30年标准差2倍以上，即为异常高温或低温；降水量大于或小于30年间的任何一年，即为异常多雨或少雨年。这种定义显见是要突出气候的短尺度变化。短尺度气候波动对作物的强烈影响，是显而易见的。

在西方国家，月或季的降水异常能够严重地影响农业生产和粮食价格。全世界咖啡价格的行情可以取决于一次侵入巴西的大西洋气团。欧洲马铃薯生产取决于引起植物病害的温度或长时期的干旱。我国一次强烈的寒潮过程会使大片东北地区粮食大幅度减产，乃至失收。这些清楚地说明，研究极端的或异常的气候变动规律及其在生产上的影响是十分重要的问题且难度很大。

表示气候异常的重要统计量是气候变率。人们研究发现，如同气候平均值是个变化的量一样，气候变率也不是常定的气候特征。它是可变的。气候变率随时间空间而变化。以生产小麦和玉米为主的美国和加拿大的中、西部，历史上曾经历过近于连续的异常湿润年，之后却又为频繁连续干旱期所代替。内岛分析了异常气候情

况下，日本南部、中部和北部，大于 10°C 积温的等值线将偏离其正常位置，大约分别向南或北移动150、200、300公里。温度异常下降，则等值线向南移动，对日本北部的水稻生长和产量极为不利。王书裕研究了东北地区的水稻产量和温度逐年序列，查明东北水稻稳产指数与5~9月平均温度密切相关。陈家其利用太湖流域的丰富史料研究近1200年的旱涝变率，发现冷冬时期，旱涝变率较大。崔读昌统计得出年降水变率与粮食产量波动关系密切。作者曾用包括变率在内的多种气候要素变量研究了小麦等作物稳产特性在全国范围不同地区间的差异。结果显示，抽穗至成熟期的最高温度变率与冬麦产量变异系数显著相关，但不同地区，相关的因子不同。在西北地区，产量的波动与冬前及抽穗期温度变率关系密切；在长江中下游地区，越冬期最高温度和降水变率是重要的相关因子；而在华南地区，则冬前降水和春季生长到抽穗一段时期的降水和温度变率相关性较高。

当人们的兴趣集中于“温室效应”时，对于实际中已经存在着的且经常影响农作物生产或产量的气候变率问题，自然更需加强研究。短尺度的逐年气候变化和气候极值对农作物产量的影响值得深入探讨。从某种意义上说，如对这类基本问题缺乏足够的了解，关于“温室效应”的影响也很难弄清楚。事实上，研究极值气候与气候变率问题是研究 CO_2 倍增导致的气候效应问题的重要基础工作之一。

第四节 气候变化对作物产量 影响的研究方法

一般地说研究气候变化对作物产量的影响，有两条途径，即实物试验和数值试验。前者又可分为田间试验和控制实验两种方法；后者也可分为统计分析和动态模拟两种方法。

田间试验其实是农业研究的基本方法。在气候-作物研究中有两类田间试验。一类是根据田间设计，安排对比试验；另一类是在

固定地块，使用同样管理技术，栽培有关作物，观测在自然条件下的生长发育和产量，以此获得同一试验条件下，天气气候条件不同的历年产量气象资料序列。

控制实验是在实验室里进行的。现代更多地采用人工气候室（箱）作为控制实验的基本工具。作物生长的环境条件全由人工控制，或者是半自动或者是全自动控制方式。当然用这种方法获得的数据不等同于自然条件下的观测值。美国通过控制试验发现，四种主要作物——小麦、水稻、玉米和棉花都可得益于 CO_2 倍增，其中棉花增产8成，小麦，水稻可增产36%，玉米可增产16%。

鉴于气候变化影响作物生产或产量的复杂性，人们经常需要同时分析处理多种因子变量和相应的数据。人们在长期的研究实践中，更多的是采取数值试验途径，并逐步发展了统计分析和动态模拟方法。他们是研究气候变化对作物影响的主要方法。

统计方法的要点是通过对大量资料 and 数据的统计分析，得出结论，其基础是大数定律和统计假设检验。研究气候变化和作物产量的关系，早就采用了这类方法，细分有回归分析、周期分析、主成分分析、判别分析和方差分析等等，实际应用时，常常是这些方法的多种组合。

应用统计学方法经常遇到的困难是统计样本量的不足和气候变量生物学意义的识别。在研究过程中，人们对统计推断必须小心谨慎，以免为假象所蒙蔽。试验表明，二组样本数不大的伪随机数，也可统计出“高”的相关系数。我国现有的气候-作物产量序列都不太长，为了克服样本不足的困难，选择生物学意义清楚的要素变量具有重要的意义。

动态模拟方法开始于60年代。其实现基础是土壤-作物-大气系统的能量守恒、物质平衡、能量-物质转化等生物物理原理，系统动力学方法及计算机数值模拟技术。研究气候变化对作物生产或产量影响的动态模拟方法最基本也最重要的步骤是构造土壤-作物-大气系统动力学方程组（模型）。用动态模拟方法获得的信息丰富，可涉及有作物生长发育的各种性状（包括产量）和多种环境因素的

时间动态值（如土壤蒸发、土壤水分含量等）。按系统动力学概念，气候因素普遍被规定为外因变量或驱动变量，又称强迫函数。这些名词意指在模拟中，它们被确定为外部输入量，而且总是影响其它的模型变量，但不被其它变量所影响。不同规模的系统动力学方程组，描述系统过程的细致程度不同。严格地讲，土壤-作物-大气系统动力学方程组比一般大气方程组要复杂。它不仅需要描述系统中发生的各种物理过程，还需要考虑有关的生物学、化学、生物化学等过程。通常包含的子模型有：光合作用、呼吸作用、水分吸收、水分利用、干物质分配与转移以及发育过程等。由这些子模型的名称可知，它们将涉及多学科的知识。为了使若干子模型结合成一个系统模型，不同的模型需要在若干特征点上严密联结，并仍保持子模型的特殊功能。应用动态模拟方法在开始工作阶段往往比较困难，要通过一系列试验或实验获取各种参数，或者通过系统收集整理，直接取用已有的研究结果，在统一的设计下，进行集成。然而，一旦建立起动态系统的模型构架，并初步运行之后，进一步的开发和完善又会变得比较容易。

统计方法和动态模型用于研究气候变化对作物产量的影响，有着一系列区别：

研究得出的结论性质不同 统计方法揭露的事实，可以有效地反映气候变化与作物产量共变的统计性质，一般不能说明因果关系。而动态模型方法所揭示的规律，通常可以反映出因果关系，这是由动态模型赖以支撑的理论基础决定的。此外，若将不同的气候变量值输入动态模拟系统，人们可以从模拟输出中观察到作物生长发育乃至环境变化的一系列时间动态特征；统计方法取得的结果通常是静态的。

研究得出的结论适用时空范围不同 统计方法得到的结论，只适用于取得统计数据的特定环境；动态模拟中的气候变量被规定为驱动变量，它同生物学、生理学等变量的相互关系遵循的是普遍适用的基本原理，故取得的结论在原则上不受地域和时间限制。

可能模拟的气候类型不同 统计方法可以描述已经出现过的气