

分类号\_\_\_\_\_

U D C \_\_\_\_\_

密级\_\_\_\_\_

编号\_\_\_\_\_

# 中国科学院研究生院 硕士学位论文

## 华北及华东局部主要气候资源要素 的时空变异性研究

杨彦武

指 导 教 师 于 强 研究员 中国科学院地理科学与资源研究所  
申请学位级别 理学硕士 学科专业名称 生态学  
论文提交日期 2003年5月 论文答辩日期 \_\_\_\_\_  
培 养 单 位 中国科学院地理科学与资源研究所  
学位授予单位 中国科学院研究生院

答辩委员会主席 \_\_\_\_\_

# 目 录

摘要.....	i
Abstract.....	ii
第一章 绪论.....	1
1. 前言.....	1
2. 国内外有关发展状况.....	3
3. 研究方案.....	8
第二章 地理信息系统与时空分析模型.....	10
1. 前言.....	10
2. TGIS 与时空分析.....	11
2.1 TGIS.....	11
2.2 时空分析.....	11
3. 当前时空数据模型及分析方法评价.....	12
3.1 基于主题层的时空数据模型.....	12
3.2 基于空间对象的属性的时空数据模型.....	13
3.3 基于空间对象的时空数据模型.....	13
3.4 基于事件和过程的时空数据模型.....	13
4. 结论.....	14
第三章 在传统地理信息系统平台上扩展时空分析功能（1）.....	16
1. ArcView 地理信息系统平台及空间分析功能简介.....	16
1.1 ArcView 地理信息系统平台.....	16
1.2 空间分析功能模块.....	17
1.3 脚本语言（Script） Avenue.....	17
2. 气候资源要素时空数据库的组织.....	18
2.1 数据资料.....	18
2.2 数据的处理.....	18
2.2.1 数据的前期处理.....	19
2.2.2 数据的读取.....	19
3. 时空数据库中气候资源数据的组织与分析.....	20
3.1 多年平均气候资源要素时空变异性.....	20
3.2 春夏秋冬、作物生长期多年平均气候资源要素时空变异性.....	23
3.3 计算气候资源要素多年变率.....	24
4. 结论.....	24
第四章 在传统地理信息系统平台上扩展时空分析功能（2）.....	26
1 地理信息系统与作物生长模型结合.....	26
2 生长潜力模型介绍.....	27
2.1 计算温度校正系数.....	29
2.2 计算日辐射量.....	30
2.3 计算叶面积指数.....	31

2.4 作物群体光分布模式.....	31
2.5 计算光合量和潜在生产量.....	32
3 在时空数据库上结合作物生长模型.....	32
3.1 地理信息系统在复合系统中的作用.....	33
3.2 在时空数据库基础上集成作物生长模型.....	33
3.3 计算潜在生产量.....	34
4 结论.....	35
第五章 实例分析.....	36
1. 前言.....	36
2. 研究地区概况.....	37
3. 资料及其处理过程.....	39
3.1 资料来源.....	39
3.2 资料处理过程.....	39
4. 气候资源因子时空变异性.....	40
4.1 温度、降水、日照时数时间序列分析.....	40
4.2 温度、降水、日照时数多年平均值分析.....	42
4.3 温度、降水、日照时数时空变异性分析.....	46
5 在农业生产的应用.....	50
6. 结论.....	52
第六章 结论及工作展望.....	54
1 研究工作总结.....	54
2 后续研究展望.....	55
参考文献.....	56

# 摘要

作物生长模型、生态环境模型与地理信息系统的结合一直都是地理信息系统科学备受关注的研究方向之一。模型与地理信息系统的集成研究需要考虑模型的复杂程度、系统效率、可以利用的数据，同时还要顾及到分析影响作物生长的生态环境因子和模型运算结果的时空变异性。时空变异性的分析可以对于时间和空间上的相关性和依赖性进行比较，总结变化趋势和规律，分析原因，也有利于模型的验证工作。本学位论文在作物生长模型与地理信息系统结合的同时，考虑了在传统的地理信息系统软件平台上添加时空分析功能。论文中研究了作物生长模型与地理信息系统结合的相关的部分关键问题：

- (1) 评价和分析现有的时空数据分析模型及其与传统的地理信息系统软件平台结合的可行性。
- (2) 在传统地理信息系统软件平台上组建影响作物生长的生态环境因子（日平均温度、降水、日照时数）时空数据库，并基于其上在添加一些时空分析功能。
- (3) 在生态环境因子时空数据库的基础上，集成一个涉及日平均温度、日照时数、经度、纬度变量的小麦生长潜力模型。
- (4) 利用研究区域（华北及华东部分地区）的 87 个气象观测台站所提供日平均温度、降水、日照时数、经度、纬度数据，在以上所建立的气候资源时空数据库中进行影响作物生长的因子的时空变异性分析，并进行小麦潜在生产量的时空分析。

温度、降水、日照时数和潜在生产量时空变化规律的分析有助于对未来气候变化做出合理的预测，并制定相应的对策。本次研究暂时不考虑复杂的作物生长模型参数和变量，及易于用户进行交互的用户界面设计，主要目的是进行地理信息系统与作物生长模型结合的系统实验研究，旨在为模型与地理信息系统集成研究解决部分关键问题，为进一步的具有丰富计算和分析功能的模型与地理信息系统有机集成研究工作提供一个可行的方案。

关键词： 地理信息系统，作物生长模型，时空数据分析模型，时空数据库，  
时空分析，集成

# Abstract

Integration of crop growth simulation model, environmental model and geographical information systems (GISs) is one of active topics in the field of geographical information sciences. Integration simulation model with geographical information systems should consider the complexity of simulation model, efficiency of integrated systems, available data for systems and applications. In the meanwhile, spatio-temporal aviation analysis on environmental factors which influence crop growth, and results of model computing (such as, yield) should be paid attention of concern. Spatio-temporal aviation analysis compare the correlativity and dependence in space and time, summary the trends and rules of aviation and changes, analyze the reason for them, and is propitious to validation of simulation model. This thesis emphasizes on integration of crop growth simulation model and geographical information systems, at the same time, with consideration of adding some spatio-temporal analytical functions to conventional geographical information systems. In the thesis, some key questions on integration of crop growth simulation model and geographical information systems are discussed and settled, including,

- (1) Evaluation and comparison of the current spatio-temporal data models and the possibility that realize them on conventional geographical information systems.
- (2) Build spatio-temporal databases of environmental factors which influence crop growth (daily average air temperature, precipitation, sunshine hours) on conventional geographical information systems platform, based on which, add some spatio-temporal analytical functions to conventional geographical information systems.
- (3) Based on the spatio-temporal databases described above, integrate a wheat crop potential production model, which involves daily average air temperature, sunshine hours, longitude, and latitude.
- (4) Apply the above system to the region covering north China and part of east China, input data from 87 meteorological stations (daily average air temperature, precipitation, sunshine hours, longitude, and latitude) into spatio-temporal databases. The spatial and temporal variations of air temperature, precipitation, and sunshine hours, their relationships and

potential production were analyzed over the 40-year period from 1960 to 2000.

The analysis of spatial and temporal variations of air temperature, precipitation, sunshine hours, and potential production will be helpful in rational prediction of changes in climate, and corresponding decision strategy. The proposed research work doesn't consider complicated parameters and variables of crop growth simulation model, and the design of friendly user interface, its main objective is to provide a experimental research on integration of crop growth simulation model and geographical information systems, discuss and resolve some key questions, also offer a feasible scheme for integration crop growth simulation model with full and rich computing functions and geographical information systems.



# 第一章 绪论

## 1. 前言

地理信息系统 GIS(Geographic Information System)和遥感 RS(Remote Sensing)是空间信息科学的核心部分, 在处理、分析、解决有关空间性问题的过程中提供标准的操作平台和数据源。针对作物生长模型在时空尺度上的应用(扩展), 空间信息科学可以为其提供时间和空间参考平台、空间及专题数据获取手段、空间分析方法和技术。

空间信息科学自起初的理论萌芽和雏形系统建立起, 经历了 60 年代的开拓期, 70 年代的巩固发展时期, 80 年代的技术大发展时期, 90 年代的用户时代, 取得了长足的发展。随着 GIS、GPS、RS 和因特网等现代信息技术的发展及其相互之间的渗透和融合, 逐渐形成了以 GIS 为中心的集成化技术体系, 为解决区域范围更广、复杂性更高的现代时间性、空间性问题提供了新的方法和技术支持。

现存的大多数作物生长模型是典型的基于站点的模型, 只能针对某一站点进行运作, 来用于预测、评价、分析作物与气候、养分、水等生态环境要素之间的相互作用关系, 而不能反映生态环境因子及其与作物生长模型相互作用的空间关系及变异性, 其主要原因是现行作物生长模型不含有空间因子(Committee on Assessing Crop Yield 1997)。同时, 这也成为作物生长模型研究和实际应用的一个瓶颈问题, 限制了作物生长模型在时空尺度上的校准、验证特别是应用。

从而, GIS、RS 与作物生长模拟模型的集成就显得势在必行。其集成化体系结构的优势在于:

(1) 采用交叉科学特别是系统科学的观点理念来处理、分析、解决农业生产和科学研究中遇到的实际问题。在现代农业科学研究和生产活动中遇到的实际问题, 涉及多门基础学科, 受限于多项影响因子, 而这些因子通常皆非常量, 而且彼此之间存在不确定性互动和异动。从根本上理解气候气象、生态环境、农作物生长、土壤之间的相互关系, 以及影响农作物生长的多项因子间复杂的互动关系, 是提高农业生态管理系统的基础。进一步来说, 在生态环境中系统性理解农作物生长, 进行科研和生产, 就必须融合土壤、气候气象、营养、病虫害等因子于研究理念和决策制定过程中。

然而, 在传统的农业生产研究中未能采用交叉科学和系统科学的观点、方法来分析处理农业科学问题, 自然就不能形成一套完整的农业生态系统科学技

术理论。传统的农业生态系统实验研究往往将欲解决的科研问题的影响因子简单分为两类：常量因子、变量因子，即容许一个或很少几个因子为随条件发生变化，而把其他因子“控制性”设定为常量。这种科学研究方法在国际上被称为控制性实验研究。在实际的农田生态系统中，每一实际问题的所有影响因子可能同时随条件或其他因子的改变而发生变化。因此，控制实验研究方法得出的理论技术成果对于解决农业科研生产中遇到的实际问题可以说毫无意义（有局限性），同样，对于组建用来提高农业生产管理决策水平的空间模型没什么价值（尚缺乏综合性的观测和分析）。GIS、RS 与作物生长模拟模型的集成体系结构根据农业系统科学发展及科研生产的实际需要，采用交叉科学特别是系统科学的理念，克服了传统农业狭隘的科学观。

（2）利用现代信息技术采集、处理、分析高时空分辨率的多源数据，服务于农作物生产管理过程的运营和决策。利用信息技术可以采集取得海量数据，并进行处理、分析，使得动态实验研究、实时控制成为可能，克服了传统农业仅限于固定控制试验田的缺陷。能够实时获取实地田间生产活动状况数据，对于整个农业定性实例研究来说是必要的补充。

（3）给作物生长模拟模型处理、分析、解决空间性的问题提供空间参考及操作平台，同时也给作物生长模型在时空尺度上的校准、验证提供了条件。传统的作物生长模拟模型进只是能对单一的站点进行作物的生长期的模拟、分析和预测，所选的站点一般被认为是所在面域地区的作物生长生态环境的典型代表。但是，由于生态环境各个因子间复杂的相互关系及各自具有特有的时空变异性，使得这种假设前提缺乏理论前提和实际意义。而 GIS、RS 与作物生长模拟模型的集成化体系对于整个面域地区进行动态模拟，并分析其时空变异性，解决了单个站点模拟的缺陷，提供尽可能多而且实际的生态环境因子组合，以供作物生长模拟模型校准、验证，促进模型的进一步修正和完善。

作物的光合生产力是推动和支撑整个农田生态系统的原初动力。作物生长模型描述作物生长与环境因子的数量关系，是农田生态系统生产力研究的核心。作物生长模型的重要性体现在以下几个方面：（1）它是计算全球或区域初级生产力(primary productivity)、评价作物生长和资源利用效率的基础模型；

（2）由于全球变化涉及作物生长所需要的基本要素，如 CO<sub>2</sub>、温度和水分等，作物生长模型成为预测全球变化对农业影响的基本手段；（3）农田生态系统的 CO<sub>2</sub> 同化和冠层蒸散伴随一系列的物质能量传输，是地球表层能量物质迁移和生物地球化学循环(biogeochemical cycle)的重要组成部分。作物生长模型为这些研究提供了有力的工具；（4）在精准农业、信息农业和作物长势的遥感监测与产量预报中，作物生长模型提供了理论支持（于强等 1999）。它还广泛应用于农田水肥管理、作物布局、适宜播种期预报等等。目前，欧美等发达国家通过

长期的、大量的人力、物力投入，开发了数百种用于各种目的的农田生态系统模型。有些模型实现了商业化，在农业决策支持、生产管理与科学研究中发挥着巨大的作用。

黄淮海平原是我国重要的粮食生产基地。水资源的短缺是制约该地区农业持续发展的主要因素。水分不足和水资源不能合理利用不但限制了作物产量的进一步提高，也带来一些环境问题。要解决水分不足和利用效率低的问题，又要防止盐渍化、提高养分的利用效率、减少氮淋失对地下水的污染，就必须合理用水，加强地表水与地下水的联合调控。这就需要详尽了解农田生态系统中土壤—植物—大气连续体（SPAC）内水分运行、养分转化和盐分运移规律及其与作物生长的关系，建立相关的模拟模型。同时，黄淮海地区与西北干旱地区相比，大气降水相对较多，加之有一定的引黄水的补充，在水资源优化配置中有较大的回旋余地，效果也会更加明显。因而这一地区成为资源优化研究的理想区域。

GIS、RS 与作物生长模拟模型的集成化技术体系是农业资源优化管理的核心。然而，作为信息农业、精准农业的应用基础，我国作物生长模型特别是 GIS、RS 与作物生长模拟模型的集成化技术体系的研究与应用比较薄弱，难以满足我国农业现代化、信息化和农业资源管理、调控的要求。提高 GIS、RS 与作物生长模拟模型的集成化技术体系的研究与应用水平成为当今我国空间信息科学、生态学和资源环境科学研究的焦点。对我国典型农业生态区域作物生长模型和资源优化管理的研究，还可以为其它地区提供相应的模式和可资借鉴的方法。

## 2. 国内外有关发展状况

### 1. GIS 和 RS 的国内外研究进展状况

GIS(地理信息系统)是 60 年代中期开始发展起来的新兴技术，经过 30 多年的发展历程，现已经成为一门完整的科学技术理论，作为时空信息科学的核心，解决带有时空复杂性的实际问题。在 1962 年，国际著名的加拿大地理信息系统学者 Roger Tomlinson 首次提出“地理信息系统”的概念，并领导建立了世界上第一个地理信息系统——加拿大地理信息系统。之后，北美和西欧的部分院校和科研机构相继从不同角度开创了地理信息系统研究领域。随着国际学术性团体之间地理信息系统学术思想及技术的交流和推进，加之计算机技术特别是信息技术的迅猛发展，地理信息系统至今已成为一门涉及测绘学科、环境科学、计算机技术等多学科的交叉学科，广泛应用于土地和房产管理、资源调查、环境监测和保护、大型工程的选址和监控、区域与国家的宏观分析与调控乃至可持续发展等领域。

RS（遥感）技术是从 19 世纪初期（1839 年）出现的摄影技术开始发展的。20 年多来，遥感技术活得了迅猛的发展，作为一种空间探测技术，至今经历了地面遥感、航空遥感、航天遥感三个阶段。

随着遥感信息的时空分辨率、波谱分辨率的提高和图象解译技术的发展，遥感技术作为一种获取数据的手段已经广泛应用于土地利用普查、生态环境监测、地质勘探等领域。

低空间高时相频率的 AVHRR（气象卫星 NOAA 系统系列，星下点分辨率为 1km）以及其他各种航空航天多光谱传感器相继投入运行，使得现代遥感技术高速发展。除了常规遥感技术迅猛发展外，开拓性的成像光谱仪的研制于 80 年代开始，并逐渐形成了高光谱分辨率的新遥感时代。

信息技术和传感器技术的飞速发展带来了遥感数据源的极大丰富和空前精确。每天都有数量庞大的不同分辨率的遥感信息，从各种传感器上接收下来。这些高分辨率、高光谱的遥感数据为遥感定量化、动态网络化、实用化和产业化及利用遥感数据进行地物特征的提取，提供了基本的条件。

## 2. 作物生长模拟模型的国内外研究进展状况

追溯作物生长模型的基础理论的发展过程，可以发现，黄秉维先生（1978）较早地提出了光合生产潜力的概念，即在其它因素适宜的条件下，由太阳辐射决定的作物生产潜力（黄秉维 1978）。这对于认识作物产量的限制因子，发现改善的途径有重要意义。荷兰学者进一步提出了作物产量按照影响因素划分的三个水平（Drenth 等 1994）：（1）潜在产量(potential yield)：在适宜的土壤水肥条件下，只受太阳辐射和温度决定的作物产量；（2）可获得产量(obtainable yield)：当土壤水肥资源短缺的时候，而形成的作物产量；（3）实际产量(actual yield)：受到病虫和杂草等因素影响而形成的最终产量。对于这些因素的分析可以获得资源的投入与产出的数量关系。资源的优化就是基于在上述特征产量区间的资源利用效率的研究。

在影响因子复杂和环境变化剧烈的条件下，用数学方法描述作物生长过程为一个概念模型(conceptual model)或动力模型(dynamic model)是分析作物生长机理的一个重要手段。自 1968 年第一个作物生长模型 ELCROS(Elementary CROp growth Simulatio)问世以来，已发展了种类繁多、目的多样的农田生态系统模型。第一代作物生长模型倾向于整合各种来源的信息，以解释作物生长。它是作为研究的工具而不是预报和发现新的现象。它们成功地综合了光截获、微气象和作物与病虫的交互作用。同样后来的概化模型(summary model)，广泛应用于土地评价、水肥管理、病虫控制、世界粮食生产的研究和政策制定的支持，如 ELCROS, BACROS, SUCROS, WOFOST, ORYZA 等是著名的不同时代的作

物模型的代表。以 de Wit 为代表的荷兰学派以模型的理论性著称，而以美国 Ritchie 等为代表的 CERES 系列作物模型则以实用性见长。然而作物生长模型的内涵最终取决于设计模型的应用目的和可获得的数据。

近十余年来，我国的一些农学、生态学科学家也开始了作物生长模型的研究工作，如黄策和王天铎(1985)建立了水稻的作物生长模型（黄策，王天铎 1986）。高亮之等(1992)建立了水稻生长发育模型与管理决策系统（高亮之等 1992）。于强等(1999)建立了作物光温生产潜力的数学模型，分析了我国南方稻区水稻的适宜生长期。刘建栋等(1999)建立了小麦和玉米的气候生产潜力模型，并分析了黄淮海地区作物的气候生产力分布（刘建栋等 1999）。但与国际同类研究相比，我国的作物生长模型研究起步较晚、总体水平较低、研究力量分散。存在的突出问题是模型重引进、轻验证。这一方面是受仪器设备和实验条件等客观因素的限制，另一方面是对模型的可靠性缺乏足够的重视。例如，经验性的模型直接使用水肥的利用效率系数，而其它基于过程的模型则包括吸收和转换的过程，转换的效率则是模型的输出（Ahuja 等 2000）。模型在应用时，首先需要证实他对环境变化的可预报性(predictability)。主要是说，它从生理上讲是否包含适当的反馈机制。

由于作物生长或环境动态的某些过程建立在经验的关系之上，目前的生长模型都是局限于特定地区的(plot-specific)，没有完全普适的模型。因而作物生长模型的种类繁多，目前国际上在农业生态系统模型注册库(CAMASE 1996)中已有数百种各类农业生态模型。这些模型都是根据研究目的的不同对所处理的过程有所侧重。如作物生长模型(SUCROS, CERES, AFRCWHEAT, CROPSIM, SINCLAIR, DEMETER, SOYMOD, SWHEAT, ECOSYS)，用于农业环境评价的根际水质模型 RZWQM (Root Zone Water Quality Model)（Ahuja 等 2000），作物生长与资源管理模型(CERES)等。

### 3. 有关 GIS、RS 与作物生长模拟模型的集成化技术体系国内外研究进展状况

虽然通过遥感可以获取大面积、多波段的空间信息和专题信息，但是遥感信息是典型的不连续、瞬时信息，不能表现出生态系统从一个状态转化到另外一个状态的过程和原因以及未来的状态。相比之下，作物生长模拟模型可以体现作物生长和蒸散的连续描述（Mass 1992, 1993a, 1993b），而且可以预测未来的状态。同样，现有的作物生长模拟模型由于其输入及输出因子不具有空间性，不能进行面域的应用。因此，考虑融合两者各自的优势，避免各自的局限性，将 RS 与作物生长模拟模型有机结合起来就成为一个发展的趋势。利用 RS 来计算和评价叶面积指数（LAI）是连接 RS 与作物生长模拟模型的最常用的手段（Weigand et al. 1979）。卫星遥感信息是评价一个地区地表蒸发和植被资源

的有效方法 (Jackson 1985, Moran and Jackson 1991, Moran 等 1992, Kustas 等 1994)。

前人的研究 (Maas 1998a, 1998b, 1991a, Maas et al. 1992, 1993, Moran et al. 1995) 表明遥感信息融入作物生长模拟模型, 进行面域的研究和工作, 取得了良好的效果。Maas 和 Doraiswamy 在 GIS 软件平台上利用遥感图象数据的空间特性将作物生长模拟模型的应用扩展到面域 (Maas 和 Doraiswamy 1996)。

温哥华大学农业工程系于 2000 年建立了作物生长模拟模型分析 (Crop Model Analyst, 简称 CMA), 为两种作物生长模拟模型 CERES-Maize 与 CROPGRO-Soybean 和地理信息系统 ArcView 3.1 之间将建立连接, 主要用于分析温哥华地区田间尺度的大豆和玉米两种主要粮食作物的时空变异性分析。Joel Obien Paz et al. 将作物生长模拟模型 (CROPGRO---Soybean) 用于精准农业的研究, 融合时空信息, 结合温哥华实际条件, 可以分析解释该地区 80% 的大豆产量的时空变异性现象及其原因, 并且对于温哥华地区几个田间管理措施进行了合理的评价 (Paz 等 1998, 1999, Paz 2000)。然而, 作物生长模拟模型在面域的应用需要大量的空间数据作为输入。(Paz 等 1999) 所用于分析田间作物产量的模型版本在建立输入数据文件时显得费时、费力。而且, 经过计算并存储为模型的输出文件的近 200 个日变化的变量的可视化也成为一难题。Matthew Stephen Seidl (2001) 利用作物生长模拟模型分析软件 CMA 进行田间作物的最优种群数量和最优品种选择, 取得了良好的试验结果 (Seidl M. S. 2001)。

美国农业部沿海平原地区土壤水植物研究中心的 Sadler 等人提出归结出三种模拟分析作物生长的时空变异性的方法: ①传统方法 (e.g., Sadler 等 1998, 1999, 2000), 即获取空间上多点的具有时空性的生态环境因子数据 (包括气象、土壤) 和站点数据作为作物生长模拟模型的输入, 并进行传统方式的运行, 然后分析其结果的时空变异性。②遥感方法 (e.g., Barnes et al 1997, 2000; Jones and Barnes 2000), 即以遥感数据作为作物生长模拟模型的参数输入和结果验证的参照, 并重复改变状态参数进行分析, 然后进行比较, 分析时空变异性。③Objective Parameterization (e.g., Irmak et al. 2001; Paz and Batchelor, 2001), 即运用最优化的例程和数据库查询分析机制, 来解决具有时空性变量输入的问题, 以减小生长期产量模拟结果和施测结果之间的差异。

东京大学的研究学者扩展 GIS 的应用, 加入作物产量模拟功能。最近在 Ecological Modeling 的一篇文章中, 作者论述了农业决策支持系统应用于国家和全球尺度的必要性。作者以 GIS 为基础集成基于站点的作物生长模拟模型 EPIC, 该系统融入更多的数据, 预测国家尺度上的作物产量。为了达到这一目的, 作者对 EPIC 模型进行了修正, 新的模型称为“Spatial EPIC”, 其中的子模型

有：气象，水文，土壤侵蚀，作为养分，作物生长，土地耕作和管理，作物环境控制等模块（Priya 和 Shibasaki 2001）。

综合国内外 GIS、RS 与作物生长模拟模型集成理论技术研究状况，基本上可以归纳为四种方法：

- ① 现存的大多数作物生长模型是典型的基于点的模型，只能针对某一站点进行运作，来预测、评价、分析作物与气候气象、养分、水、土壤等生态环境要素之间的相互作用关系，而不能反映生态环境因子及其与作物生长模型相互作用的空间关系及变异性，其主要原因是现行作物生长模型不含有空间因子。因此，考虑空间因子加入作物生长模拟模型，建立基于面域的模型，然后很自然地以 RS 信息作为主要的数据源，同空间分析模型或 GIS 结合起来。
- ② 针对现有基于站点的作物生长模拟模型在空间应用上的缺点，对现有模型进行改造，形成空间性作物生长模拟模型，即基于面域的模型。然后从 RS 信息中提取面域模型的部分输入数据，以 GIS 背景数据库为基础，同离散点数据进行融合，在 GIS 软件平台上进行有关空间性的分析和处理。
- ③ 在 GIS 平台支持下，将基于站点的作物生长模拟模型的带有空间性的输入参数进行面域的拟合和扩展，或者融合部分可以作为模型输入的遥感数据，在每个空间单元分别运行基于站点的作物生长模拟模型，得到面域的输出结果。
- ④ 收集面域上的多个离散点数据集，每一数据集为基于站点的作物生长模拟模型的完整输入部分，然后在每个离散点上分别运行基于站点的模型，最后在 GIS 平台支持下将模拟结果进行面域的拟合和扩展。

其中①②注重于建立空间性的作物生长模拟模型，即以系统科学和空间科学的理念进行模型的设计和建立，考虑作为模型输入和输出的因子的时空变异性及其之间的相互作用关系，形成基于面域的作物生长模拟模型。另外，由于模型的输入和输出变量具有空间性，并且考虑空间参考（Goodchild 1997），基于面域的作物生长模拟模型在一定程度上可以认为是空间分析模型在作物研究领域的扩展。③④倾向于利用现有的基于站点的作物生长模拟模型和数据条件，充分利用 GIS、RS 作为空间分析处理平台和数据源的优势，并借助于地学统计方法，应用模型进行面域问题的分析、处理和决策。鉴于以下原因，本学位论文针对 GIS 与作物生长模拟模型的集成方法必须联合采用③④两种方法：

- 输入数据不够丰富，而且在空间上缺乏连续性，必须借助空间插值方法对于离散点信息进行面域的拟合和扩展，并结合 GIS 背景数据库进行数据融合；
- 由于时间、人力、财力等条件的限制型，暂时不能考虑将遥感数据作为信息源，只能就 GIS 与作物生长模拟模型的集成方法开展研究工作；
- 于强博士正在进行开发的基于站点的作物生长模拟模型正处于调试阶段，暂时不能满足实际研究、工作的需求。
- 由于目前国内外基于面域的作物生长模拟模型尚处于实验研究阶段，国内仍然没有一套完善的作物生长模拟模型，本论文的研究内容只能沿用国外少数经过大量校准、验证的基于站点的模型。

### 3. 研究方案

#### (1) 研究目标、研究内容和拟解决的关键问题

本学位论文的研究内容是精准农业技术的核心部分，其研究目标是探讨有机集成 GIS 与作物生长模拟模型的有关方法和关键技术，以使三者形成一套完整的理论技术体系，分析作物生长过程中的时空变异性及相关生态环境因子，应用于农业生产管理中，为管理决策提供技术支持。

研究内容主要包括：

- ① 分析现有的时空数据模型，比较其优缺点，并试图利用一种可以在传统地理信息系统软件平台上组织气候资源数据，建立时空数据库，并在其之上连接作物生长模型。
- ② 模拟、分析华北平原粮食产量的时空变异性，并确定其主要的影晌因子，解决实际问题。
- ③ 研究探讨一套初步的 GIS、RS 与作物生长模拟模型有机集成的理论技术体系，并试图解决其中的部分关键问题，如时空分析模型和站点模拟模型的接口，作物生长模拟模型应用（包括站点和特别是面域）等方面的问题。

以下是拟采取的研究方法、技术路线、实验方案及可行性分析：首先进行华北地区有关数据的收集、整理、预处理等工作，并将多源数据进行融合，作为作物生长模拟模型的输入，接着进行模型的校准、验证，之后集成 GIS 与作物生长模拟模型，形成一套完整的软件系统，然后模拟、分析华北平原粮食产量的时空变异性，并确定其主要的影晌因子，解决实际问题，最后总结研究成果，并完成硕士学位论文。

本学位论文的研究内容主要是研究探讨在地理信息系统平台上进行气候资源因子的时空分析，建立时空数据库，并在其基础上，连接作物生长模拟模

型，探讨 GIS 与作物生长模型有机集成的理论技术体系，并试图解决其中的部分关键问题。根据国家经济建设和社会发展的实际需要，并考虑数据、研究目的，拟定以作物产量及影响因子的时空变异性分析为贯穿整个研究过程的实例主线来开展工作。

解决实际问题的简略技术路线：对于现有的时空数据模型进行分析比较，力求在传统的地理信息系统平台上添加时空分析功能；在站点上分析作物产量与其主要影响因子之间的关系，弄清楚作物生长模拟模型计算作物产量的方法；在传统地理信息系统软件平台上建立气候资源时空数据库，并连接作物生长模型；模拟、分析作物产量及影响因子的时空变异性，进行相关性分析，从而确定区域作物产量的主导影响因子，为国民经济建设及决策提供科学依据。

## 第二章 地理信息系统与时空分析模型

### 1. 前言

生活在知识与信息高度集成、爆炸式增长这样一个时代的人们,随时随地都与信息、知识有着千丝万缕的联系,而现代信息技术、智能化技术则广泛而深刻地影响着社会生活的方方面面:包括有工业、农业、商业、军事.....乃至科学技术的发展程度。以 INTERNET 为主体的计算机技术的应用面不断拓展和深化,带来了信息、知识社会特有的种种便利,使人们对于社会、生活和世界的认知有了一个全新的概念。

地理信息系统已经从初始的原始形态“自动制图工具”而发展成为可以进行多方面时空查询和信息计算的系统。目前,地理信息系统已经深入到政府管理、城市规划、科学研究、资源环境的监测评价、测绘、军事等与空间有着密切关联的领域。地理信息系统科学是介于地理环境、信息技术、测绘、乃至管理科学的一门交叉科学。同时,地理信息系统的发展一直都是受“应用”需求驱动的,随着其基础学科和信息技术特别是互联网的飞速发展,地理信息系统形成了更为广泛的技术体系。

一个地理信息系统的核心是数据模型的设计(Worboys 1990),它是进行数据组织、表达、查询、计算的基础。现今的商用地理信息系统平台,比如 Arc/Info, ArcView, Mapinfo 等,和空间数据库软件如 Oracle 等,都只能进行简单的时间序列分析(Time Series Analysis),而不能有效地处理时空数据,进行时空查询,其根本原因是没有一个良好的时空数据模型。传统的地理信息系统只能称之为“静态的”(static),或者“非时态”(atemporal)地理信息系统。

时间属性的表达、时空数据库及时空数据模型是近年来地理信息系统研究领域的焦点议题之一。大量的信息技术组织投入人力、物力进行时空领域的科研工作,从而,提出了一系列的时空数据分析模型和丰富的应用实例

(Armstrong 1988, Langran 和 Chrisman 1988, Langran 1992, Worboys 1992, 1994, Peuquet 1994, Peuquet 和 Duan 1995)。但是,仍然没有一个合理的时空数据模型和分析方法能够进行时空连续现象的分析(Adamu 等 2001)。时空连续现象指的是时间上连续,空间上连续的现象,比如,温度场的变化,降水等,这一类现象可以称为“动态场”(dynamic field)现象。在本章中,主要进行现有的主要时空数据模型的评价,得出结论,对于“动态场”(dynamic field)现象,当前仍然没有一个贴切的时空数据模型。需要指出的是,在整个论文中,

我们并不进行时空数据模型的研究工作，提出新的时空分析模型来分析动态场现象，而是在传统地理信息系统平台的基础上扩充时空分析功能，使其可以进行气候资源要素（温度、降水、日照时数）的时空分析。

## 2. TGIS 与时空分析

### 2.1 TGIS

空间、时间、实体对象是构成地理信息的三个基本特性（Berry 1964, Sinton 1978），可以系统性地表述为：

$$I = \{ S, T, O \}$$

其中 S 表示空间特性，即系统所描述实体对象的空间范围或者空间位置，也可以更为具体地表述为： $S = \{ X, Y, Z \}$ （X, Y 表示平面位置，Z 表示垂直位置）；T 表示时间特性，即系统所描述实体对象的时间范围或者时刻，包括特定时刻  $T_s$  与某一时段  $T_i$ ；O 表示系统所描述的实体对象及其属性，也可以更为详细地表述为： $O = \{ O_1, O_2, \dots, O_n, A_1, A_2, \dots, A_n \}$ （ $O_1, O_2, \dots, O_n$  表示对象序列， $A_1, A_2, \dots, A_n$  表示涉及的对象主题属性序列）。综合以上表述，我们可以给出一个关于地理信息的更为统一、普遍的表述形式：

$$I = \{ X, Y, Z, T_s, T_i, O_1, O_2, \dots, O_n, A_1, A_2, \dots, A_n \}$$

传统 GIS 则不能够管理和处理实体对象的时态特性，无法对实体对象进行时间序列的处理、分析。从而，将时态信息引入 GIS 的空间数据模型及空间数据库，对实体对象进行动态地描述和分析，认识其演变过程成为必要，是 GIS 的一个合理目标（张祖勋和黄明智 1995）。这样以来，TGIS 就应运而生。

TGIS 又称时态 GIS（Spatio-temporal Information System，缩写为 STIS），其区别于传统 GIS 的一个主要特点是引入了实体对象的时间特性，或者说引入了时间对象，可以动态地描述和分析地理信息。

Berry（Berry 1964）提出所谓的“地理矩阵”组织结构，用来组织属性、位置、时间信息，在“地理矩阵”中，时间作为第三维的属性，每一基于时间版本二维的信息组织为关系表的形式。Sinton（Sinton 1978）提出六种基本的数据获取形式，即对于地理信息的三个属性，固定一个，控制另一个，观测第三个。Yuan（Yuan 1996a, 1996b）对于地理信息的时空变化现象进行了归纳，得到六种基本的地理信息的时空变化分析类型。

### 2.2 时空分析

时空分析与时空建模是地理信息系统技术发展的主要方向。时空数据模型是 TGIS 的核心，定义了运行于系统的数据类型、数据关联、操作类型、完整性规则等（Codd 1980, Date 1995）。空间分析和 GIS 以空间作为主要的组织原

则来研究属性随空间变化的规律 (Goodchild 1987), 同样, 时空分析与时空信息系统以时间和空间作为中心组织原则来分析动态对象随时间和空间的变化机制。

时空分析的方法主要由研究对象、研究目的及研究过程中使用的时空数据模型决定。而时空数据模型的选择也是基于特定的研究对象、研究目的。比如, 基于状态的时空数据模型只能回答诸如“某一时刻对象或者属性的状态如何”的问题, 而对于“发生了什么事情”、“怎么发生的”、“为什么发生”之类的问题则无能为力。至于对于回答“发生了什么事情”, 则需借助基于事件的时空数据模型, 比如 ESTDM(Event-based spatio-temporal data model) (Peuquet 和 Duan 1995); 基于过程的时空数据模型可以解决“怎么发生的”之类的问题 (关于时空过程 spatio-temporal processes (STP), 参阅 Claramunt 等的论述 (Claramunt 和 Thériault 1995, 1996)); 对于回答“为什么发生”, 则是具有难度的问题, 至今没有比较满意的时空数据模型和时空分析方法。此类问题需要模拟分析现象的状态、过程、事件之间的因果关系, 因果关系则是基础领域研究的主要焦点所在, 因此, 时空分析需要时空数据模型和分析方法的支持, 但同样还是不能离开基础领域的模拟模型。比如, 分析华北地区的温度的时空变异性, 我们需要根据需求选择合适的分析模型和方法, 同时, 还要用到温度的物理性质、化学性质, 及基本的天气和气候变化方面的知识进行温度数据的组织、分析、处理。

### 3. 当前时空数据模型及分析方法评价

在本部分我们分析现有的时空数据分析模型, 并评价其对于表达和分析时空连续的动态场现象的能力。现有的时空分析模型主要可以分为以下几类:

基于主题层时间戳 (Armstrong 1988, Beller 等 1991);

基于空间对象属性时间戳 (Langran 和 Chrisman 1988, Langran 1992);

基于空间对象时间戳 (Worboys 1992, 1994);

基于事件 (Claramunt 和 Thériault 1995 and 1996);

#### 3.1 基于主题层的时空数据模型

基于主题层的时空数据模型有“快照” (Snap) 模型和时态图层集合 (Temporal Map Sets) 模型。快照模型将时空数据表示成若干等时间间隔或者不等时间间隔的地图主题层, 每一层是某一时刻的主题分布。这一类模型的思想源于传统的地图学的思想, 同样, 传统的地理信息系统也是脱胎于基于图层的思想, 所以也是其不能有效地处理时空数据的根本所在。时态图层集合模型对快照模型进行了扩展, 但对于每一层的时间上的持续性进行了定义和记录。

基于主题层的时空数据模型的缺点是，没有表示相邻两层之间的逻辑因果关系，而且相邻两层之间的时空表达无法得知。其优点是可以在现有的地理信息系统平台上进行表示，而且可以很好的和遥感影像数据进行集成。在现有的商用地理信息系统平台上进行时空数据的表达和分析，在可行性方面来说，基于主题的时空数据模型是一个唯一的选择。这儿，我们用快照模型来表达动态场问题（如图 1 所示），图中是华北地区及华东部分地区 1961、1970、1980、1990、2000 年 1 月 1 日温度快照模型表示。可以看出，两个相邻的图层之间的信息无法得到，但是，往往是科学家的兴趣所在。但是，在传统的商用地理信息系统平台上可以比较方便地进行表达。在下一章中，我们会扩展快照时空模型进行温度、降水、日照时数等气候因子的表达和分析，而且，它们也是动态场现象的典型例子。

### 3.2 基于空间对象的属性的时空数据模型

基于空间对象的属性的时空数据模型的典型代表是时空复合模型（Space-Time Composites）。时空复合模型仍然可以看作是来自于基于图层的时空数据模型，一个时空复合体表示空间对象的属性的一个变化。但是属性变化被分解为一系列的间断的变化，这样以来，就限制了其表达时空连续的动态场现象的能力，而仅仅适用于一些不连续的变化，比如土地利用类型（图 2 所示）、土地覆被的变化，因为这一类变化本身受认为影响，而且每隔一段时间才发生一次。同时，时空数据模型不能很好的表达变化现象在空间上的拓扑关系。用于表达动态场现象，最大问题将是数据容量问题和系统效率问题。

### 3.3 基于空间对象的时空数据模型

时空对象模型通过把时间维加入二维空间将现实世界表示为不连续对象的集合（如图 3 所示）。模型认为时空原子（Spatio-temporal atoms）是最大的时间和空间上的匀质单位。但是，对于表达和分析动态场现象，将会产生大量的数据，虽然，当前计算机硬件的技术发展在一定程度上可以解决这个问题，但是，仍然不能在根本上解决问题。

### 3.4 基于事件和过程的时空数据模型

基于事件和过程的时空数据模型可以分为两类，以栅格数据结构为基础的时空数据模型和以实体结构（即矢量数据结构）为基础的时空数据模型。前者将事件和过程记录在栅格点上，对记录的初始状态进行修改，如 Peuquet 和 Duan<sup>[8]</sup>提出的 ESTDM(Event-based spatio-temporal data model) 时空数据模型（如图 4 所示），其主要结构是一个基态数据层和一个时间列表。在一定程度

上, ESTDM 可以用来描述场现象, 但是, 这又引发了一个问题, 即事件和过程的定义与数据量和处理效率的取舍, 比如, 分析温度场的变化, 首先确定一个基态图层, 然后定义升高  $5^{\circ}\text{C}$  为事件 1, 降低  $5^{\circ}\text{C}$  为事件 2 (在场现象的主题域中, 只有升高和降低两种方向的事件)。然而, 由于动态场现象的连续性, 如果我们需要定义升高  $1^{\circ}\text{C}$  和降低  $1^{\circ}\text{C}$  为事件, 数据量会大幅度增加。这一问题可以借助多层结构来解决, 也就是说, 多尺度 (包括多空间尺度、多时间尺度、和多主题属性尺度) 地组织时空数据。然而, 有时, 我们关注动态场现象中的等值线 (isoline) 的变化, ESTDM 时空数据模型不能处理这个问题。同时, ESTDM 继承了栅格数据结构的缺点, 不能表示空间上的拓扑关系, 这也是其主要缺点之一。

后者将现实世界中的空间实体、空间关系和主题属性特征在时间域的变化及关系抽象为一组系统性分类的改变空间实体状态的过程。Claramunt 和 Theriault<sup>[15,16]</sup> 分析定义了时空变化中的基本事件, 包括单一实体的变化过程、多个实体的变化关系、多个实体空间结构的演变等 (如图 5 所示)。在文献 (Claramunt 和 Thériault 1996) 中, (这种引文方式不好) 借助事件状态语言 EPL (Event Pattern Language) 来描述复合时空事件, 并用基于事件戳和基于拓扑的时态算子实现空间实体演变过程的查询。这一类时空数据模型正好可以解决基于栅格事件的时空数据模型的不足之处, 可以描述场现象中等值线的变化和场实体的外部变化, 如移动, 缩小, 膨胀等过程。该模型目前为止只是一个概念模型, 还没有进行应用层次上的考虑。

当前, 国内外学者都提出了许多不同的数据模型, 但基本不超出以上讨论的 4 个类型。还有一些模型可以考虑嵌套到其他数据模型中, 比如, 三域模型 (three-domain model) (Yuan 1996a, 1996b) 在表达时空查询方面比较优秀, 可以连接到基于事件的时空数据模型中, 有助于其时空查询方面功能的加强。而在这四类模型中, 目前只有基于图层的时空数据模型可以在传统的地理信息系统平台上进行应用扩展。这主要是因为, 这一类数据模型和传统的地理信息系统软件都是基于图层进行数据的组织、分析、处理等工作。

#### 4. 结论

本论文中需要在现有的商用地理信息系统平台 (ArcView 3.1) 进行时空表达和分析功能的扩展, 对影响作物生长的主要气候资源因子进行时空分析。在本章中, 针对当前国内外现有的主要时空数据模型进行了分析, 特别是在表达和分析动态场现象的这一问题上的功能。得出结论, 限于目前商用地理信息系统平台依然是基于传统的图层处理模式, 虽然基于图层的时空数据模型有许多明显的缺点, 但是可以在传统地理信息系统平台上进行表示, 并且可以完成一

些时空表达和分析操作。同时指出，其他几类数据模型可以解决不同方面的问题，比如，时空复合模型在表达土地利用类型和土地覆被变化时就比较合适。基于事件的时空数据模型在概念层次上来说，是一种很理想的模型，该模型区别于其他模型的一点是，同时把时空对象和时空变化类型作为建立模型的因子。

下一章节将对于依照基于图层的时空数据分析模型，在传统地理信息系统平台 ArcView 3.1 上扩展相应的时空表达和分析功能进行论述。

### 第三章 在传统地理信息系统平台上扩展时空分析功能（1）

#### ——以 ArcView 3.1 为例组织气候资源时空分布数据库

在第二章中分析了现有的各类时空分析模型，并讨论了在传统的地理信息系统平台上嵌入时空分析模型，实现时空分析功能。通过比较得出结论，在传统的地理信息系统平台上，只有基于图层的时空分析模型可以比较容易地实现部分时空分析功能。本章将在 ArcView3.1 地理信息系统平台上以基于图层的时空分析模型 snapshot 组织分析时空数据，主要针对动态场现象（在本论文中用来分析主要气候资源要素温度、降水及日照时数的时空变化）时空变异性进行分析。更进一步，基于气候资源要素的时空数据库，我们连接一个简单的生长潜力模型，计算研究区域上各个站点的农作物生产量，并分析其时空变异性。

#### 1. ArcView 地理信息系统平台及空间分析功能简介

##### 1.1 ArcView 地理信息系统平台

地理信息系统（Geographic Information System, GIS）是集成地球科学、测绘科学、管理科学、信息科学与计算机技术为一体的高新技术。特别是互联网技术的出现，地理信息系统、遥感技术、全球定位系统集成一体化，形成了以地理信息系统技术为中心的地球信息科学技术体系。它在最近的 30 年来取得了惊人的发展，并广泛应用于资源调查、环境评估、区域发展规划、公共设施管理、交通、科研、军事现代化方面[]。

ArcView 是 ESRI 公司推出的基于窗口的集成地理信息系统平台，提供了输入、编辑、组织、显示、查询与分析空间数据的方法。ArcView GIS 3.1 为 GIS 用户提供了功能更完善、使用更便捷的 GIS 应用平台。它推出的基于向导的方式可以完成一系列复杂的制图及空间分析功能。这种向导及 ArcView 界面的更新使 GIS 用户在完成任务时更便捷。在制图方面，除了推出制图向导外，ArcView 3.1 还新增了上百种新的符号，对 ARC/INFO 线型的支持能力更强了。在扩展功能方面，ArcView 3.1 在已有的基础上，更不断推出新的功能。包括对话框设计（Dialog Designer），用于建立更复杂的应用；数据访问（Database Access），用于更好的访问企业化的数据资源；CAD 读取（CAD Reader），用于读取 CAD 14 版的数据；以及 MGE 读取（MGE Reader），用于读取 Intergraph 的 MGE、MicroStation 的 MSG 以及 design files 文件。其他直接读取

的数据包括 TIFF 6.0 及 MrSID 等。此外,新推出的报表生成功能 (Report Writer Extension) 可以帮助你生成专业化的、可嵌入地图和统计图表的报表,用来更清晰地显示 GIS 分析结果 (ESRI, 1996)。

## 1.2 空间分析功能模块

需要注意的是,在 ArcView 平台上扩充时空分析功能时,大部分的工作还需要扩展功能模块——空间分析模块 (Spatial analyst) 的支持。Spatial Analyst 为桌面制图和 GIS 分析带来了一个全新的角度。它使得复杂的空间分析和可视化工具简易化。Spatial Analyst 使桌面 GIS 用户可以创建、查询、分析基于栅格的光栅地图;从已知数据获得新的信息;通过多数据层查询信息;基于栅格的光栅数据与传统的矢量数据的全面结合。

基于格网的光栅数据特别适合表现传统的大量跨空间连续的地理信息,如温度、等高线、坡度、降雨量等,也被用于表现非传统的信息,例如人口密度,消费行为和其他人口统计特征。栅格是通过连续地表数据表现空间模型,进行流域和流向分析的理想数据。例如,水文模型或一个时间段的动态人口变迁。

基于格网的光栅数据的空间分析和可视化工具与 ArcView 的基于矢量的操作的完美结合为用户基于桌面的应用带来没有先例的无缝分析、建模、可视化、制图能力。

Spatial Analyst 提供基本的栅格数据建模能力,这包括表面生成 (将已有数据源的地理要素的 Themes 转变为栅格 Themes)、表面分析 (基于要素的缓冲区分析、基于单个要素的邻近分析、生成点密度图、选址分析),地形模型 (坡度、坡向、山影、流域描绘、可视化) 以及生成等高线等。这些工具集成在 ArcView 的用户界面上,使得用户只需轻轻点几下鼠标就可以快速、方便地完成主要的空间操作。Spatial Analyst 可以从点、线、面要素生成栅格数据 (包括 ArcView 支持的 CAD 数据),或读入标准格式数据,包括 TIFF、BIL、Sun raster、USGS DEM、DTED 及其他。

## 1.3 脚本语言 (Script) Avenue

Avenue 是一个面向对象的程序设计语言和开发环境,它功能强大,利用它可以重新组织 ArcView 的界面和功能,设计出特定功能的专业系统。该语言具有如下特点 (esri 1996):

- 面向对象: ArcView 包含一系列有继承关系的多类对象,每类对象都可接收一些特定的请求(Request),并完成相应任务. 所以, Avenue 的程序设计就是确定对象(Object),发出请求。功能齐全,结构完备: 具有数据类型、变量、List(比数

组更高级),支持代数运算和逻辑运算、具有健全的流程控制、支持程序调用和参数传递。

- 应用程序之间的通讯: Arcview 可与本机或网络上其他结点的其他应用程序之间相互通讯,包括发送或接收数据,执行请求,返回分析结果。IAC (Inter-Application-Communication)可在多种协议标准下实现,如 PC Microsoft Windows DDE、Unix RPC、Macintosh AppleEvent。Arcview 既可作 Client,又可作 Server,如: ARC/INFO 作为 GIS 分析的 Server, Arcview 作为 Client,为最终用户显示 ARC/INFO 分析的结果。

- 支持 DLL: Avenue 中增加了 DLL, DLLProc 等类和多种参数类型,可以直接调用 DLL 中的函数,并传递参数。AVExec 允许用户在自己的 DLL 过程中执行 Avenue 程序。

- 开放性:可调用操作系统的执行程序,并传递参数.如,可利用 Avenue 执行其他的多媒体程序。

- 易学好用:带有编辑器、编译器、随机帮助和多种调试工具。

- 移植性强:它是独立于硬件平台和操作系统的,在一种平台上的 Avenue 程序可在其他任何平台的 ArcView 上执行。

## 2. 气候资源要素时空数据库的组织

### 2.1 数据资料

在本次系统实验过程中我们采用的是来自分布于华北地区及华东部分地区的 87 个气象台站的气候资源观测资料,包括自 1961 年起 40 年的日平均气温、降水、日照时数的数据。每个气象台站的相关气候资源要素资料以 3 个文本格式的文件来表示,

- TA+××××× (五位数字,表示该气象台站的站点号) .txt – 日平均温度
- P+××××× (五位数字,表示该气象台站的站点号) .txt – 日降水量
- S+××××× (五位数字,表示该气象台站的站点号) .txt – 日照时数

在文本文件中,数据以每行 33 个元素来处理,

年份 月份 1<sup>st</sup> 2<sup>nd</sup> ... 31<sup>st</sup>

天数不足 31 天的月份,则在后面用“32744”来代替。另外,每个站点都有相应的经度和纬度资料。

### 2.2 数据的处理

此次的数据处理分为数据的前期处理和数据读取两部分工作进行。数据的前期处理主要是为了促进下一阶段也就是数据读取工作的效率,以减小产生错误的机会,加强工作的流畅性。

### 2.2.1 数据的前期处理

由于数据中存在少数缺测的部分，这部分是以‘32744’或者‘32766’等比较大的数来表示。在数据的前期处理过程中，去掉了存在缺测时段较多的站点；而对于缺测不多的站点则保留，将缺测的部分以距离该天最近的前后两天（如果前后两天没有缺测）的平均值来代替。

然后，由于月份号与气候资源的数据容易引起混淆，因此将关于月份的一列去掉，于是数据文件的每行在前期处理后变成 32 列。

### 2.2.2 数据的读取

关于数据的读取，这儿指的是把文本文件中的数据读入 ArcView 的空间数据库中。为了方便后续类似工作的开展，提高工作效率，在 ArcView 地理信息系统平台上，以 Avenue 语言编写了读取数据的程序（见附录）。数据读取程序模块的简单流程如下图（图 2）：

在所生成的气候资源时空数据库中，每一个气候资源要素（温度、降水、日照时数）的信息按照年份由 40 个数据表记录。而且，表示不同的气候资源要素的数据表的名称都加上不同的前缀：

Spt+年份.dbf -- 表示温度数据表

Spp+年份.dbf -- 表示降水数据表

Sph+年份.dbf -- 表示日照时数数据表

在每个数据表中，记录数据的格式如下，

（站点号，1<sup>st</sup>，2<sup>nd</sup>，...，366<sup>th</sup>），其中 1<sup>st</sup>，2<sup>nd</sup>，...，366<sup>th</sup> 表示某年的第 n 天，闰年第 366 天有观测值，平年则没有。

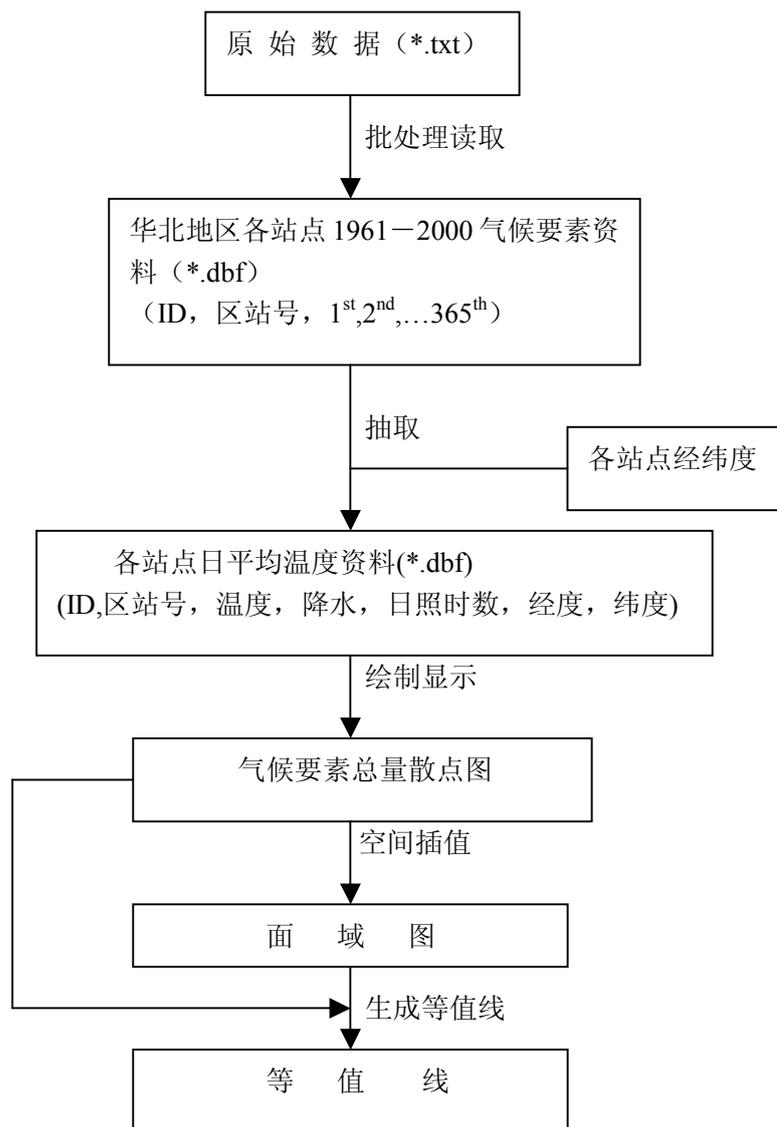


图 2 资料处理工作流程图

Fig. 2 Flow chart on data processing

每个站点的经纬度数据记录在一个单独的数据表中，在下面的时空数据处理及分析过程中，会多次从该表中读取各个站点的经纬度信息。

### 3. 时空数据库中气候资源数据的组织与分析

#### 3.1 多年平均气候资源要素时空变异性

组织多年平均气温、降水、日照时数数据，可以选择分析的时间粒度（temporal granularity），比如，1年，5年或者10年，甚至40年。组织多年平均气温、降水、日照时数模块的简单流程图（图2）给出的是计算气温、降

水、日照时数等气候资源要素年总量年平均（1960~2000）的过程，其他时间粒度的平均值的计算方法与其相同，也可以从年平均计算结果中得到）。经过以上流程，系统得到每个站点每年的年平均温度值，年降水总量，和年日照时数总量，数据表的记录格式为（年份，年平均温度值，年降水总量，和年日照时数总量）。基于这些信息，系统可以计算站点多年平均气候资源要素值（如图 3），也可以进行时间序列分析（time series analysis），即分析各个站点逐年的变化趋势。

下图（图 3）描述的是基于图 2 流程处理的结果进行多年平均气候资源要素的分析，即温度多年平均值，降水年总量多年平均值，日照时数年总量多年平均值的计算。

经过图 3 描述的流程处理结果，可以得到记录格式为（站点号，温度多年平均值，降水年总量多年平均值，日照时数年总量多年平均值，经度，纬度）的数据表。由于经度和纬度记录了该站点的位置信息，就可以将其先加入视图（view）生成散点图，然后进行时空插值，可以得到气候资源要素多年平均的面域描述图，进行空间变异性分析（如分析 40 年平均气候资源要素空间变异性及其之间的关系），或者时空变异性分析（如分析 1961~1970，1971~1980，1981~1990，1991~2000 以 10 年为阶段的年平均气候资源要素时空变化分析）。

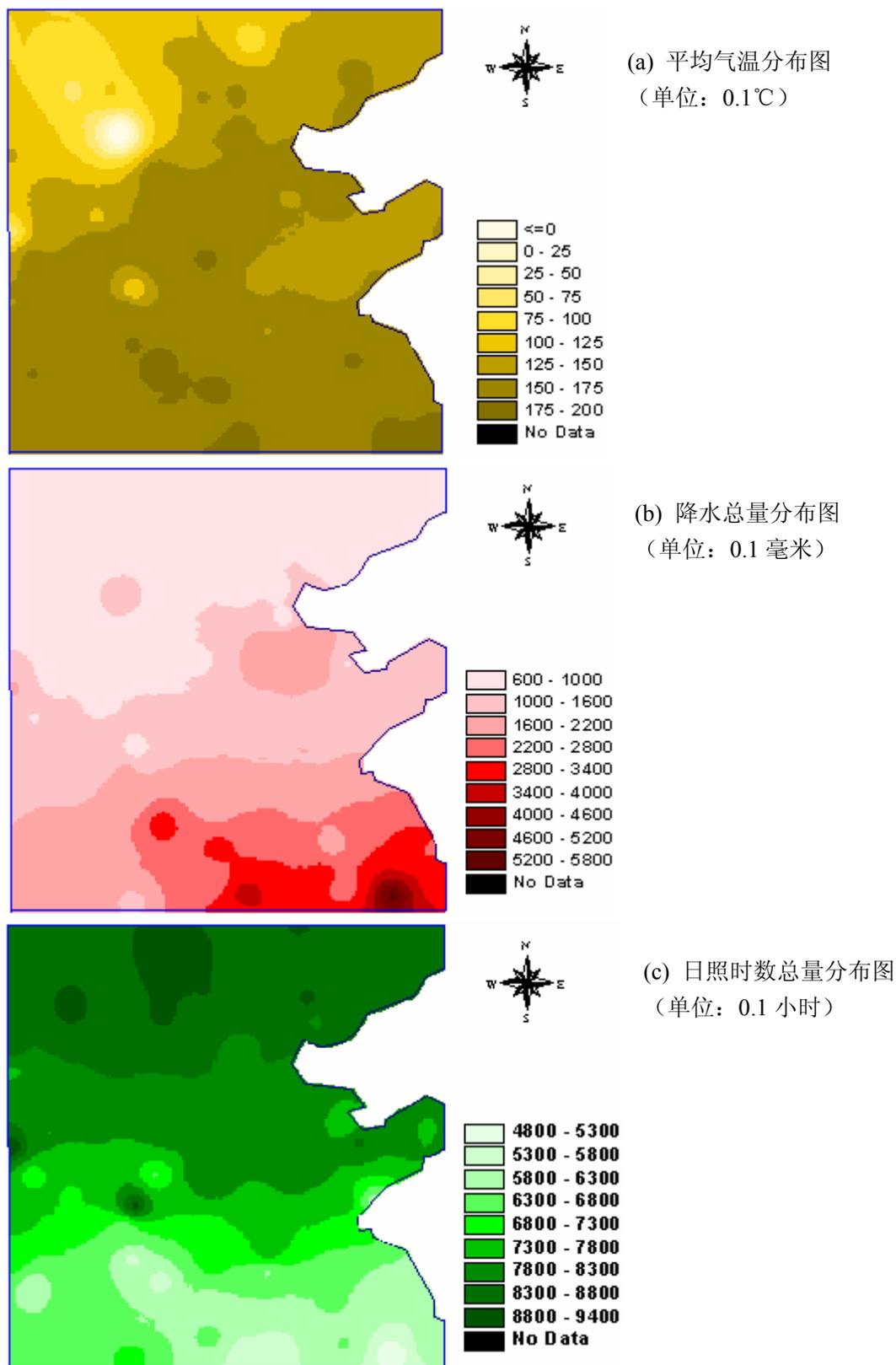


图3 小麦生长季(3月1日-6月10日)40年(1961-2000)平均气温、降水总量、日照时数总量分布图

Fig. 3

### 3.2 春夏秋冬、作物生长期多年平均气候资源要素时空变异性

计算和分析春夏秋冬、作物生长期多年平均气候资源要素时空变异性就是对于某一年或者多年中某一时间段的信息进行归纳，得到温度平均值，降水总量和日照时数总量。

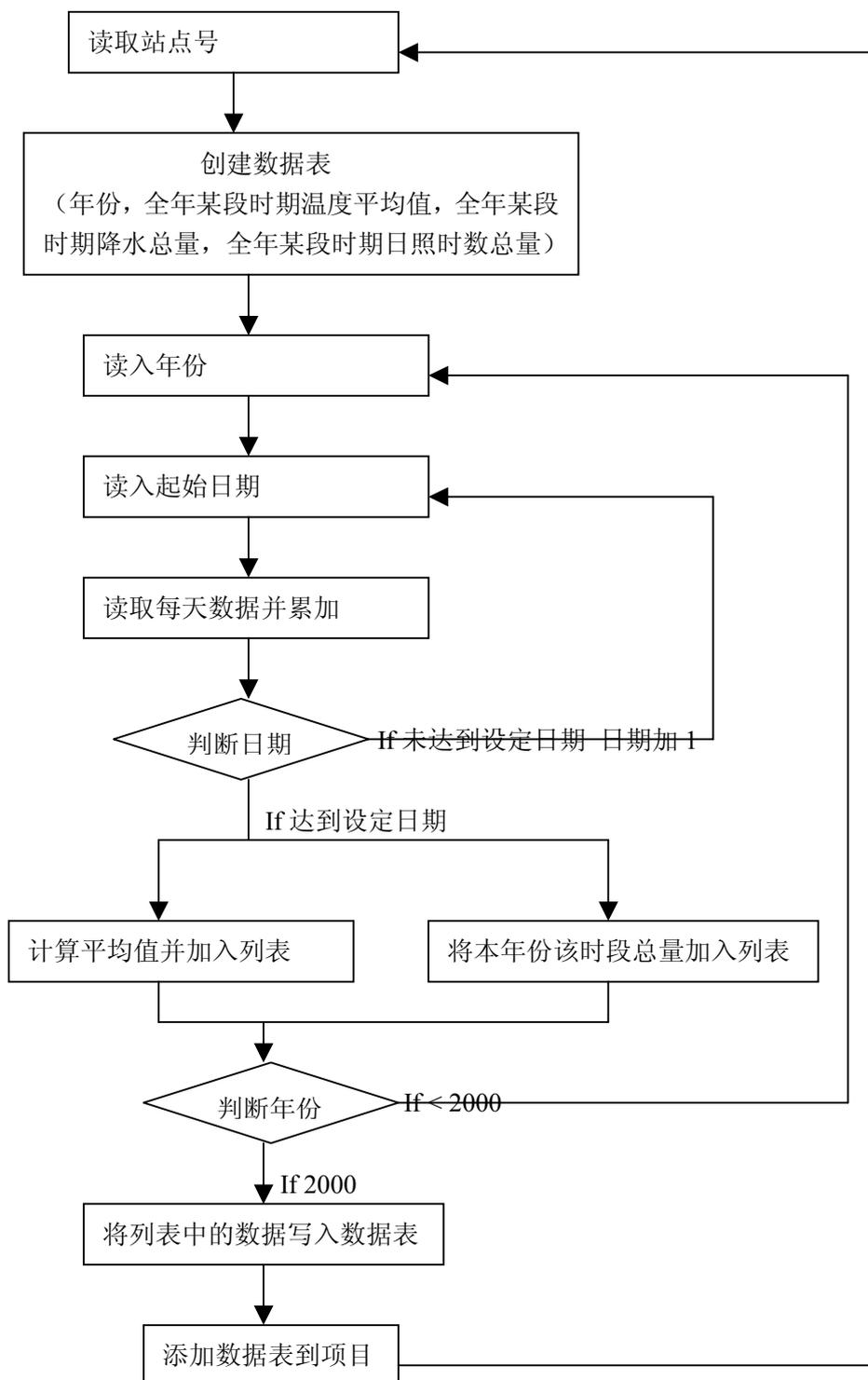


图 4 计算每年某一时段气候资源要素的总量或者平均值模块流程图

经过图 4 流程处理的结果以（年份，全年某段时期温度平均值，全年某段时期降水总量，全年某段时期日照时数总量）格式的数据表来记录。同样，这个阶段的数据表可以作为分析多年平均值的基础，可以以类似于图 3 所描述的流程来处理和分析这些数据表，如分析 40 年平均温度，年降水总量，年日照时数总量的空间变异性，或者 1961~1970，1971~1980，1981~1990，1991~2000 以 10 年为阶段的多年平均温度，多年平均年降水总量，多年平均年日照时数总量时空变化。

### 3.3 计算气候资源要素多年变率

计算气候资源要素多年变率模块的流程图如下图（图 5），这里描述的是计算 1961~2000 年年平均温度变率，年降水总量变率，年日照时数总量变率的过程，处理结果为记录格式为（站点号，年平均温度变率，年降水总量变率，年日照时数总量变率，经度，纬度）的数据表。

分析该地区的气温变化情况，则主要是指气候资源因子变化。根据下面的公式：

$$\sum_i^{40} |x_i - x_0| / 40$$

（以上公式中， $x_i$  表示每年的年平均气温，或者降水年总量，日照时数年总量， $x_0$  表示 1960—2000 年的多年平均气温，或者降水年总量，日照时数年总量），可以得到该地区的气候资源因子的变化变率分布图。在这一部分，主要介绍在前一部分所建立的气候资源要素（温度，降水，日照时数）时空数据库基础上进行时空分析和数据挖掘的一些方法及具体流程。在系统中，以 Avenue 语言编写了各个模块的具体分析过程，对于进一步的研究工作或者类似工作的开展都可以提供方便。

## 4. 结论

本章在前一章对于时空数据模型分析所得出的结论的基础上，在 ArcView3.1 地理信息系统平台上进行时空分析功能的扩展。由于传统的地理信息系统平台的基础数据模型仍然是基于图层（map-based）的，因此，就只能依照基于图层模式的时空数据模型的思想进行设计时空分析功能。虽然如此，本章中的时空数据设计思想并不完全受限于 Snapshot 数据模型，它可以处理多时空尺度的时空分析，而且依照气候资源要素的本质变化特征（表现出日历变化规律）组织数据，即以年、月、日为时间单位组织时空数据库。其次，在所

建立的时空数据库的基础上，进行了时空分析功能模块的设计，并且以 Avenue 脚本语言编写具体的分析流程，有利于后续工作的进行。

本章介绍了我们在 Arcview GIS 平台上以 Avenue 语言开发的小型时空分析系统，在系统在传统的静态 GIS 基础上引入时间概念，在关系型数据库中组织现有 1960 年到 2000 年的日照时数、温度、降水资料，表示、分析华北及周围地区日照时数、温度、降水的时空变化。下一步工作将考虑在现有系统中连接一个简单的生长潜力模型（仅考虑光、温种气象要素），为作物生长模型在区域应用提供技术基础。

## 第四章 在传统地理信息系统平台上扩展时空分析功能（2）

### ——在 ArcView 3.1 平台上结合生长潜力模型

#### 1 地理信息系统与作物生长模型结合

模型是客观真实世界某种现象的表示、体现或图式。作物生长模拟模型 (Crop Growth Simulation Model) 是指能定量和动态地描述作物生长、发育和产量形成过程及其对环境反应的计算机模拟程序。作物生长模拟模型的开发研究与应用过程, 称为作物生长模拟 (Crop Growth Modeling), 是作物学科和计算机科学新兴的交叉研究领域。模拟模型是研究复杂系统的重要方法, 传统上由于数据的有限性和计算机技术的局限, 模拟模型只能是在某一个或者几个特定的站点上来进行运行, 给科学研究和实际的生产生活提供技术支持。九十年代以来, 随着计算机技术和人工智能的迅速发展, 并向农业领域的渗透, 使得在作物生产和管理方面采用计算机进行管理和决策成为可能。而且, 地理信息系统技术乃至地理信息科学的出现, 为进行面域 (如地区, 国家) 农业生产的信息化提供了发展平台。

自九十年代中期以来, 国内外就相继开始了作物生长模型与地理信息系统结合来研究分析面域上的农业生产、科学问题。关于作物生长模型与地理信息系统结合的方法可以分成三个层次: 第一种方法, 属于比较松散的结合, 地理信息系统只是作为演示模型运算结果的平台。该方法的执行步骤大体上是, 首先在作物生长模型 (如 Wofost, Ceres 等大写) 中分别计算每个站点的叶面积、产量、需水量等值, 再将模型结果输入到地理信息系统的时空数据库中进行空间插值、叠加、坡面、坡向等空间分析方法来分析面域上作物生长情况。这一方法的实例有把 GLEAMS 连接到 ArcInfo 地理信息系统平台上 (Stallings 等 1992), 连接 USLE 到 MAP GIS (Hession 和 Shanholz 1998), 连接 WOFOST 连接到 ArcInfo (Van Laanen 等 1992)。第二种方法, 直接在地理信息系统平台上处理、显示作物生长模型运算结果, 而且模型是配置为地理信息系统的一个可以进行交互的工具或者模块, 这样一来, 模型和地理信息系统就可以自动进行数据的传输。该方法一般是利用地理信息系统平台软件的宏语言 (如 AML, Avenue 等) 来编写所嵌套的作物生长模型, 其模型与地理信息系统之间的接口也是用宏语言来编写。相较于前一种方法, 这种方法需要更复杂的编程和数据处理技巧。需要说明的是, 在本次研究中所采用的就是这种结合方法。这一方法的实例有在 ArcView 平台上开发的 AEGIS 系统 (Engel 等 1997), 在

ArcInfo 平台上实现 GLEAMS 形成 GIDM 系统 (Fraisie 等 1994), 在 ArcView 上实现的 WEPP 系统 (Cochrane 等 1997)。第三种方法, 是将一个系统嵌套入另外一个系统的方法, 把作物生长模型嵌套入地理信息系统, 或者把一个简单的地理信息系统嵌套入作物生长模型。这种方法需要自动建立、分析时空数据库, 连接专家系统, 空间信息分析工具等。基于第三种方法的系统必须从数据格式、数据组织等深层次的系统建立问题着手, 自然, 大量的编程工作是不可避免的, 更不用说地理信息系统专家和模型专家之间的交流, 因此只有很少的基于这一方法的实例。需要指出的是, 在第三种方法中的作物生长模型含有空间因子, 即考虑了空间上的变异性和依赖型。这一方法的实例有 RAISON(Lam 和 Swayne 1991, Lam 等 1996)和 Stuart 和 Stocks 开发的接口 (Stuart 和 Stocks1993)。

当前计算机科学及地理信息系统科学的一个新的热点问题是关于如何表示时间。在地理信息系统中, 时间是作为第四维加入到其表示、分析功能中。第二章已经得出结论, 传统的地理信息系统没有考虑到时间因素。现有的大部分作物生长模型都是基于单个或者几个有限的站点, 不能进行面域的作物长势模拟, 为面域农业生产管理提供支持, 然而, 它包含了时间因子, 以线状时间 (linear time) 格式, 沿着时间轴来模拟作物生长、发育和产量形成的过程。(Hartkamp 等 1999)提出了在地理信息系统中两种表示时间的方法。一是采用一系列的遥感或者实测数据来表示其沿着时间轴的变化, 即所谓的“快照” (Snapshot) 方法, 一系列静态的变化状态的依次累加, 可以利用简单的空间统计方法, 比如 overlay 来分析变化。在前面分析气候资源要素的时空变异性时, 采用的就是这种方法。第二种方法是在地理信息系统中利用基于变化过程 (process-based) 的模块表示随着时间的变化。模型的运算结果可以看作是一系列的变化状态。在以下的在地理信息系统中结合作物生长模型的工作就是属于这一方法的范畴。

## 2 生长潜力模型介绍

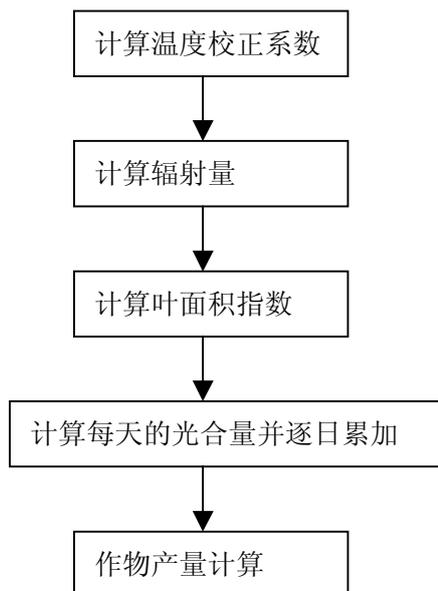
为了表示和分析作物生长情况的时空变异性, Wofost 模型区分了三个层次的作物生长模型 (Supit 等 1994):

- 一是潜在生产量 (potential production), 作物生长受辐射, 温度和一些作物参数 (如最高温、最低温、适宜温度、生长期长度) 来决定。空气中的 CO<sub>2</sub> 被认为是常数, 其他的作物生长因子假设为充足;
- 二是限制生产量 (limited production), 除了考虑辐射, 温度和和一些作物参数外, 还要参考包括水分和养分限制条件的影响作用。如果在作

物的生长季节水分或者养分的供应不足，就会得到水分或者养分限制的生产量。一般情况下，（任何情况下）限制生产量要比潜在生产量低；三是减少的生产量实际产量（reduced production actual production），在这个层次上，处理除了？考虑以上作物参数和作物生长因子的作用，还要大部分的生物因子，如作物品种、病虫害等。这个层次上的模型运算结果与实际的产量比较接近（就应该是实际产量），可以与实测资料进行对比。

实际的作物生产，一般不会严格地对应到某一个生产量层次，但是，把实际的生产情况抽象到某一个层次，可以使研究人员将研究重点集中在影响作物生产量的主要生态环境因子，如光照，温度，降水及氮磷钾等养分要素。其他一些对于作物生产量相关性不大的因子就可以暂时忽略（De Wit 1987, Rabbinge 和 De Wit 1989, Penning de Vries 等 1989）。模型在模拟作物潜在生产力时，对群体的光合作用和呼吸作用过程进行了比较详细的模拟，结合生理机制较紧；对水分限制情况下生产力模拟是通过模拟土壤水分平衡，引入水分修正系数来模拟实际干物质生产量；对养分限制条件下作物生产力有三种处理方法：一是假设其它处于最佳供给状态，通过动态模拟土壤和作物中氮素平衡及对作物生长的影响，模拟氮素限制下的作物生产力；二是应用在热带地区的肥料实验研究成果，建立了土壤肥力指标，如有机质、全氮、速效磷和 pH 值，和土壤养分供给量的关系式，计算养分限制下的生产力（Jassen 1989）；三是应用作物正常生长情况下，作物体内所需最低养分含量和不施肥农田中作物产量（Driessen 1992），计算潜在生产力和水分限制情况下生产力对养分的需要量和施肥量。在本章节采用的是潜在生产量计算模型，用 ArcView 的二次开发语言 Avenue 编写模型的计算模块，自动处理模型的输入和输出。从计算的结果出发，可以进行潜在产量的时空分析。本次研究的主要目的是进行地理信息系统与作物生长模型结合的一个系统实验，分析研究区域潜在产量的时空变异性，并为后续工作（结合更复杂的，层次更高的作物生长模型）提供样本和技术支持。

论文的工作中涉及的生长潜力模型是于强等（于强 1994）所发展的作物生长模型的一个简化模式。该生长潜力模型仅考虑日照时数和温度两个气候资源因子，仍然是基于每个站点进行计算。图 1（序号应该按照章节，如 4.1）是所采用的生长潜力模型的流程图。



图# 生长潜力模型流程图

## 2.1 计算温度校正系数

作物生长并不是处于适宜条件下，光合作用还受其它环境因子的胁迫作用。对于水稻而言，水分的作用相对较弱（这里没有必要提水稻，这里做的是生长潜力，跟水分没有关系），温度是影响光合作用的重要因素。

作物生长存在三基点温度。当温度大于生长下限温度时，光合作用随温度升高而增大，至最适温度时达最大。此后温度升高光合作用反而减少，至上限温度等于零。

植物环境因素的关系模式有多种。光温影响的光合作用模式：

$$P_g(T, Q_{PAR}) = F(T)F(Q_{PAR})$$

$$F(Q_{PAR}) = P_c(h, Q_{PAR})$$

$F(T)$  则为温度影响函数。温度影响函数的钟形模式为：

$$F(T) = \begin{cases} \exp[-K_t(T_{op} - T)^2 / (T - T_{min})(T_{max} - T)] & T_{min} < T < T_{max} \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

其中： $T_{op}$ 、 $T_{max}$ 、 $T_{min}$  分别为作物光合作用最适温度和限上、下限温度。

$K_t$  为参数，当取不同数值时，曲线有不同峰耸度。在各种温度条件下，有  $0 \leq F(T) \leq 1$

此钟形模式是符合温度三基点理论的。三基点温度随生育期改变。总体上，在旺盛生长期生长适宜温度较高。参考有关研究，取  $K_t=2.0^{\circ}\text{C}$ ， $T_{op}=23^{\circ}\text{C}$ ， $T_{max}=40$ ， $T_{min}=0^{\circ}\text{C}$ 。

## 2.2 计算日辐射量

我国有辐射观测的站点较少，辐射量的推算是多年来人们所关注的。由于辐射量与日照时数（s）和云量（n）有密切关系，直接辐射（S）或散射辐射（D）计算模式的基本形式是：

$$S = Q_0 f(s, n)$$

$$D = Q_0 f(s, n)$$

$Q_0$  为同期天文辐射量。

1、天文日照：作物生育期中每一天的太阳日出没时间、天文辐射量等是基本的计算参数。赤纬（ $\sigma$ ）由季节决定。首先需要计算赤纬（ $\delta$ ），在 Worfost 模型中计算赤纬可以通过一个余弦函数来表达[]，

$$\delta = -23.45 * \cos\left(2\pi \frac{Td + 10}{365}\right)$$

其中：Td 表示自本年一月一日起到该天的日数。

根据太阳视轨道方程，太阳日没时角为：

$$\omega_0 = \arccos(-\operatorname{tg} \psi \operatorname{tg} \delta)$$

$\psi$  为纬度。天文日长为：

$$DL = \frac{2\omega_0}{15} \quad (\text{hr})$$

2、太阳辐射：地面太阳辐射量受天文辐射、大气透明度、云量等因素影响。其日变化主要由天文辐射和云量决定。天文辐射决定地面辐射的确定性，云量的随机变化决定了太阳辐射的随机性。

实际辐射与同期天文辐射之比，称为晴朗系数（clearness index）。设 S、D 分别为直接辐射、散射辐射日总量。 $Q_0$  为水平面天文辐射日总量：

$$Q_0 = \frac{I_0 E_0 t}{\pi} (\omega_0 \sin \psi \sin \delta + \cos \psi \cos \delta \sin \omega_0)$$

其中  $I_0$  为太阳常数,取值 1.97,  $E_0$  为日地距离订正系数, 取值为 1.0,  $t$  为日长 (1440 分)。

3、日照太阳总辐射: 左大康等[]给出计算日总辐射的公式为:

$$Q = Q_0(0.248 + 0.752S_1)$$

其中  $Q$  为总辐射,  $Q_0$  为晴天总辐射,  $S_1$  为日照百分率。

### 2.3 计算叶面积指数

作物叶面积指数随生育期的变化, 在抽穗前符合经典 Logistic 曲线, 达最大值后在灌浆成熟期降低。这里采用的公式形式为

$$w = \frac{w_m}{1 + \exp(a_1 + a_2t + a_3t^2)}$$

在本次研究工作中, 用下面的形式和参数来准确模拟叶面积指数与生育期的关系

$$LAI = \frac{11.5}{1 + \exp(4.11 - 13.9t + 9.9t^2)}$$

### 2.4 作物群体光分布模式

由于植株结构的变异性和非均匀性, 植物群丛中辐射传输理论之一, 是建立在把植物群体看作混浊介质, 就平均情况建立模式。在目前的作物生长模式中, 作物光分布模式一般使用指数递减模型 (Penning and Vries 1975, 李秉柏 1986)

$$S = S_0[1 - \exp(-k \cdot LAI)]$$

$1 - \exp(-k \cdot LAI)$  为群体受光率。它能表示群体截光率与叶面积指数的正相关关系, 但实际上是群体太阳辐射吸收率。这是将冠丛作为一个整体来考虑的群体水平的模式。

鉴于群体辐射过程的复杂性和我们研究的目的, 模拟冠丛不同层次上在叶片水平上的光分布, 当  $LAI < 1$  时, 由于叶层较薄, 群体只分一层。当  $LAI \geq 1$  时, 由于太阳辐射在上部衰减, 按不等间隔划分。即自上部第一、二层, 叶面积深度每增加 0.5 为一层。以下叶面积深度每增加 1 为一层, 至最下层, 叶面积厚度不足 1 时, 并入上一层。因此群体划分的层次 (N) 为:

$$N = \begin{cases} 1 & \text{LAI} < 1 \\ \text{INT}(\text{LAI}+1) & \text{LAI} \geq 1 \end{cases}$$

其中若  $\text{LAI} \geq 1$ ，第一、二层叶面积厚度为 0.5，最下层，即第  $\text{INT}(\text{LAI}+1)$  层，叶面积厚度为  $1+\text{LAI}-\text{INT}(\text{LAI})$ 。其余各层均为 1。

在模型的实际处理过程中，以 0.2 为单位进行分层处理，每层计算光分布，再得到光合量，进行累加，最终结果为该天植株的光合总量。

## 2.5 计算光合量和潜在生产量

单叶光合作用的光响应曲线模型用直角双曲线或指数曲线表示

$$P_L(Q_{PAR}) = \frac{\alpha \cdot Q_{PAR} P_{max}}{\alpha \cdot Q_{PAR} + P_{max}}$$

或 
$$P_L(Q_{PAR}) = P_{max} [1 - \exp(\frac{-\alpha \cdot Q_{PAR}}{P_{max}})]$$

$P_L(Q_{PAR})$  为叶面积总光合速率， $Q_{PAR}$  为叶面光合有效辐射。

$\alpha$  是  $\frac{P(Q_{PAR})}{Q_{PAR}}$  的初始值，即光—光合作用曲线的初始斜率。

$P_{max}$  是  $Q_{PAR} \rightarrow \infty$  时  $P(Q_{PAR})$  的近似值。

据前述试验研究，取  $P_{max} = 8.0$  ( $\text{gCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \text{h}^{-1}$ )，据殷宏章等研究取  $\alpha = 4.3$  ( $\text{gCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \text{h}^{-1}$ ) ( $\text{Jcm}^{-2} \text{min}^{-1}$ )<sup>-1</sup>。

在得到作物生长期的总光合量后，对于小麦，模型取 8: 2 的比例系数作为冠根比，乘以系数 0.8，得到潜在生产量。

## 3 在时空数据库上结合作物生长模型

从 80 年代开始，就开始了作物生长模型、地理信息系统、专家系统结合组建决策支持系统的研究工作 (Hoogenboom 和 Thornton 1990, Lal 等 1990, 1991, Calixte 1992, Papajorgji 等 1994)。荷兰以瓦赫宁根农业大学理论生产生态系和农业生物研究中心为核心的研究组，已建立了作物生长发育、水分平衡、灌溉、作物-土壤氮动态平衡、病虫发生与防治、农田小气候等方面的模型。成功地将 GOSSYM (Lemmon 1986) 与专家系统 COMAX 结合 (Mckinion 1989) 后，又增添了普通昆虫模型和化学药物对植株生理影响的模型，现正在

增补品质和经济评价软件包。CERES 现被应用于决策支持系统, 如 U. Singh 等人(1992)运用 CERES 与 GIS 相结合, 建立了印度半干旱地区决策模型; 周天颖等(1994)利用 CERES—Rice, RS 和 GIS 相结合, 建立了台中市水稻生产农业土地使用决策支持系统。美国夏威夷大学 IBSNAT 推出的由作物模拟模型支持的 DSSAT, 到九十年代有了进一步的发展, 形成了以知识库或专家系统支持的智能化决策系统。目前世界上已有几十国家和地区加入了 IBSNAT, 以共同协作进行作物模拟研究。

### 3.1 地理信息系统在复合系统中的作用

地理信息系统、作物生长模型(或者环境模型)、统计分析工具一直是三个彼此分离发展的计算功能实例, 而且都已经达到相当成熟的发展水平(Lam 等 1996)。但是, 科学的专业模型(如作物生长模型)一般情况下不被认为是对于实际的生产管理直接有效, 同时这种模型也只是局限在实验室中或者面积不大的实验区域。作物生长模拟模型反映的是作物生长发育的基本生理生态机理和过程, 被称为机理模型或过程模型, 与传统的反映因果关系的统计回归模型有显著差别, 它具有系统性、动态性、机制性与预测性, 更重要的是它具有通用性, 适用于任何地点、时间和品种, 不受地区、时间、品种与栽培技术差异的限制。作物生长模型被用来解决专业问题, 可以进行专业性的处理、计算数据, 统计分析工具提供各种类型、层次的分析手段。地理信息系统可以(1)解决数据的组织、管理问题。地理信息系统可以作为进行时空表达、编辑、处理、分析的平台, 在其之上, 集成各种专业模型、软件系统, 并使其过程和结果可视化。(2)管理模型和软件包的输入、输出, 使其自动化。(3)地理信息系统提供自然查询语言, 而且可以进行模型的验证及各种模型比较。

### 3.2 在时空数据库基础上集成作物生长模型

已开发的绝大多数模型的模拟范围属于田间水平(Field level), 适于田间范围内生态条件相对一致的情况下的模拟。对农场或较大范围的区域进行作物产量模拟时, 则需要按照光、热、水、土等生长条件相对一致性进行分区模拟, 然后加权计算全区域作物产量。后者称为区域水平(Regional level)的模拟。现有的作物生长模型大多是基于站点或者是只是适用于很小的区域, 这种模型往往非常复杂, 涉及大量的参数, 需要非常详细的观测数据来计算。因此, 这就限制了作物生长模型的推广, 即在某一站点或者地区发展研制的模型, 不能适用于其他区域。更重要的一点是, 在某一站点或者实验区域运行、验证模型时, 如果有充足的设备条件, 可以提供模型所需的参数和观测数据, 但是, 在

面域上,可以利用的数据就很有有限,因为在整个地区或者国家布设足够多的站点设备是不可取的。因此,在将基于站点或者小区域开发的作物生长模型推广到区域上来应用时,就需要对模型进行简化,一是简化其输入数据、参数和输出类型,二是简化其机理过程。在本次研究过程中采用的模型是一个复杂的站点模型的简化形式,以便于区域上应用。

在传统地理信息系统平台上连接作物生长模型进行作物田间管理及产量预测评估,当前的主要形式还是结合基于站点的模型,对其结果进行空间插值得到空间面域上的信息。由于上面介绍的生长潜力模型仍然是基于站点进行计算,而不考虑其空间上的变异性和依赖性,因此,在计算得到其每个站点上的潜在产量后,执行空间插值操作,结果为整个研究区域的潜在产量数据。

### 3.3 计算潜在生产量

在第三章中,在 ArcView3.1 平台上建立了气候资源因子(日平均气温、降水、日照时数)的时空数据库,在本章中主要是要在其基础上连接作物生长模型,实现研究区域作物潜在产量的功能。计算研究区域各个站点潜在产量模块的流程图如图 2 所示(源代码见附录)。利用作物生长模型,结合地理信息系统和遥感技术进行作物生产量的计算及其在一个地区时间、空间上变异性的分析国内外都有大量的研究实例(Moen 和 Kaiser 1994, Supit 1997, Priya 和 Shibasaki. 2001)。(Bouman 1995)将作物生长模型和遥感技术应用于作物产量的评估,介绍了两种作物生长模型与遥感技术结合的方法,一是利用光学遥感测量光截获量(地面覆盖和叶面积指数),二是用遥感模型来模拟光学和雷达遥感信号的时间序列值。这两种方法都可以使得模型在模拟作物长势和评估产量时的精确度。(Paz 2000, Seidl 2000)建立了作物生长模拟模型分析(Crop Model Analyst, 简称 CMA),为两种作物生长模拟模型 CERES-Maize 与 CROPGRO-Soybean 和地理信息系统 ArcView 3.1 之间将建立连接,主要用于分析温哥华地区田间尺度的大豆和玉米两种主要粮食作物的时空变异性分析。

计算各个站点潜在产量模块实现原理是,首先,读取各个站点的站点号,并从一个数据文件中得到其各自的经度和纬度;其次,根据所得的站点号,从气候资源因子时空数据库中读取该站点的所研究时段(比如,针对小麦,取每年第 59 天到 103 天的数据)日平均温度和日照时数;然后,利用研究时段每个站点的经度、纬度、日照时数、日平均温度数据,运行连接的作物生长模型,最终结果为某一年研究区域内各个站点的潜在产量数据表,格式为(站点号,产量,经度,纬度)。在所得结果的基础上,可以进行空间插值,从而得到研究区域面域上的作物产量分布图。

采用以上的程序流程, 计算得到研究区域 1961 年到 2000 年每年的小麦潜在产量, 进行代数平均, 结果为 1961 年到 2000 年 40 年来多年平均潜在产量。

## 4 结论

本章介绍了在地理信息系统平台上集成作物生长模型的方法, 回顾了一些有影响的系统实例, 并在前一章所建立的气候资源因子时空数据库的基础上, 连接一个简单的生长潜力模型, 该模型仅考虑光照、温度及地理位置对于作物产量的影响, 可以对于研究区域内作物产量的进行计算, 可视化表达, 分析其时空变异性。本次研究暂时不考虑复杂的模型参数和变量, 及易于用户进行交互的用户界面设计, 主要目的是进行地理信息系统与作物生长模型结合的系统实验研究, 旨在为模型与地理信息系统集成研究提供技术支持。

## 第五章 实例分析

### —华北及华东局部主要气候资源要素及产量的时空变异性

#### 1. 前言

华北地区处于东亚季风气候区，温度和降水的年际和年代际变化很大，旱涝灾害频繁，并且地区差异性很大。从 80 年代以来，科学家对华北地区温度和降水的时空变化规律作了大量的研究(张庆云 1880，王绍武 1994，陈隆勋等 1998，韦志刚等 1999)，研究表明从 70 年代以来，华北地区温度上升，而降水除华北东南部外，呈下降趋势。本文在以往研究的基础上，主要讨论我国华北地区和华东部分地区近 40 年（1960 年—2000 年）来温度、降水和日照时数的时空变化规律以及它们三者的关系。对近几十年温度、降水和日照时数时空变异性的研究有助于对未来气候变化及其对农业的影响作出准确的预测。

气候资源要素的时空变化学要借助于地理信息系统的空间信息处理功能。空间信息科学自起初的理论萌芽和雏形系统建立起，经历了 60 年代的开拓期，70 年代的巩固发展时期，80 年代的技术大发展时期，90 年代的用户时代，在理论研究和实际应用方面都得到了长足的发展，随着 GIS、GPS、RS 和因特网等现代信息技术的发展及其相互之间的渗透和融合，逐渐形成了以 GIS 为中心的集成化技术体系，为解决区域范围更广、复杂性更高的现代空间性问题提供了新的方法和技术支持。（与前面是否重复？）然而，传统的 GIS 只是静态地描述实体对象，即对某一个或者几个时刻的对象状态进行孤立的数据备份，也就是称之为“快照”的系统行为。这样以来，一方面随着系统的运行和数据更新，造成了大量的数据冗余；另一方面又割裂了实体对象在时间序列上的演变过程和时间关系。系统所描述的实体对象的演变和作用过程变得模糊，系统既不能对过去进行基于时间序列的统计、分析，也不能预报其未来的行为及状态（张祖勋和，黄明智 1995）。

用来表达现实世界的计算机系统最关键的问题就是表示时间（Allen 1991）。建立全新的时空数据模型是当今 GIS 科学领域的热门话题之一，但是考虑到现今已经有大量的所谓的“静态”GIS 系统在处理、分析大量的空间数据，所以设法在传统 GIS 系统中引入“时间”是更为经济、合理的做法。近二十年来，将时间引入 GIS 一直是很活跃的研究领域之一。综合国内外的关于时态 GIS 的研究现状，总的来说，现有两种发展时态 GIS 和进行时空分析的方法：（1）在现有的 GIS 功能的基础上，借助一些时空数据模型的思想方法，发展一些有限的时空数据分析功能，用于某种特定的时空现象(Joerin 和 Claramunt

1994, Christakos 1998, Christakos 和 Serre 2000, Hogeweg 2001, Yuan 2001)。

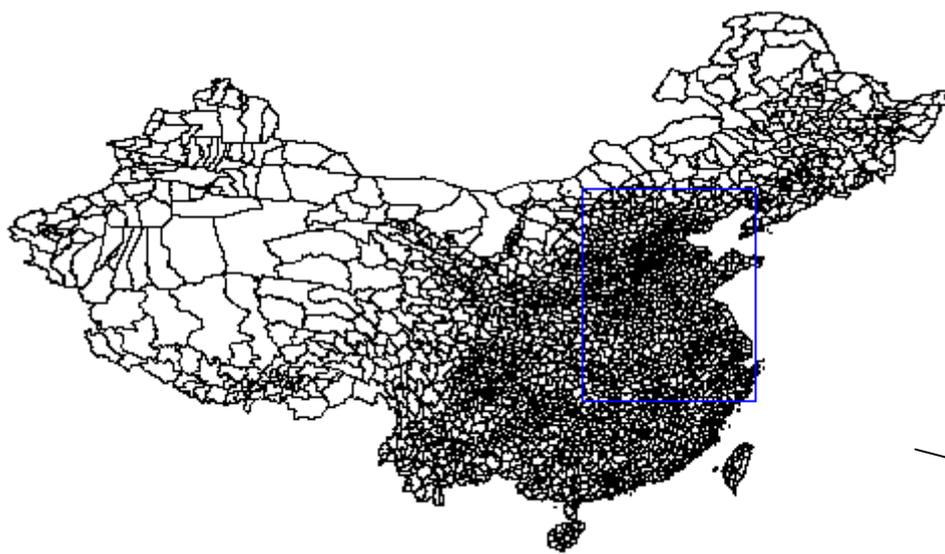
(2) 建立一套完整的时空数据模型和时空分析方法是另外一种选择(Armstrong 1988, Langran 和 Chrisman 1988, Langran 1992, Worboys 1992, 1994, Peuquet 1994, Peuquet 和 Duan 1995, Yuan 1996), 强调一种全新的时空观念, 而不是建立在传统 GIS 的基础上, 从而不会受到其功能制约。前一种方法的依据是, 目前各个领域都普遍应用传统的 GIS 进行空间数据的处理, 每天都有大量的传统 GIS 系统在运行, 处理大量的专业数据和分析操作。要完全建立一套新的时空理论、系统来代替现有的所有运行中的静态 GIS 系统实际上是不可行的。然而, 后一种观念, 强调从长远的观点来看, 简单地给传统的 GIS 系统加入一些有限的时空数据处理功能, 或多或少地受现有系统功能的制约, 不能完全解决实际生产和科研中遇到的所有时空性问题。Yuan (Yuan 2001)在概念层次上介绍了一个系统框架, 这个框架是基于一些来自现有的三个时空数据模型的扩展思想, 分别是时空对象模型, ESTDM, Oogeomorph 模型。在这个概念框架中在 Arc/Info 平台上分析了降水的时空变化, 来证明系统的可行性。本次研究中仅对日照时数、温度、降水气候资源的时空分布进行分析, 数据量小, 不会牵涉到不同现象之间的相互作用, 所需时空分析方法相对简单, 所以沿用第一种观念来组织工作, 基于简单的“快照”时空数据模型, 在现有的空间信息系统平台 (ArcView 3.1) 上, 扩展一些简单的时空分析功能进行日照时数、温度、降水变异性分析。

本章利用时空数据模型引入时间维, 在传统 GIS 平台上来分析了我国华北地区和华东部分地区 40 年来 (1961-2000) 温度、降水和日照时数的时空变化规律, 以及三者的相互联系。结果表明, 华北地区北部温度变化不大, 而南部和华东部分地区温度升高明显, 10 年平均气温大约升高  $0.5^{\circ}\text{C}/40$  年; 华北地区降水呈东南高西北低的特点, 并有明显的年代际变化, 华北南部和北部的降水变化存在一定的反相关关系, 华北北部降水减少, 而东南部降水却呈上升势头; 华北地区和华东部分地区的日照时数都有明显的降低。对三者的关系进行了定性分析, 华北中北部温度和降水的关系为暖干型, 而南部和华东地区为暖湿型; 华北中北部日照时数的降低主要是因为大气污染加剧而引起, 而华北东南部和华东部分地区是由于降水的增加, 即云量的增加和晴天日数的减少而导致日照时数的降低。对温度、降水和日照时数时空变化规律的分析有助于对未来气候变化做出合理的预测, 并制定相应的对策。

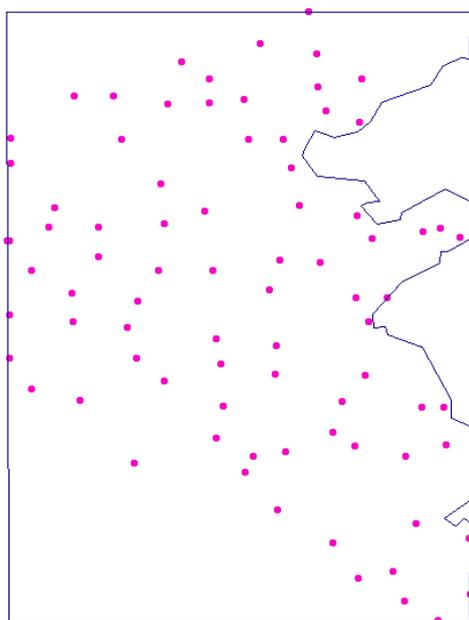
## 2. 研究地区概况

研究区域 ( $28^{\circ}\text{N} \sim 42^{\circ}\text{N}$ ,  $111^{\circ}\text{E} \sim 122^{\circ}\text{E}$ ) 包括华北平原华东的部分地区 (如图 1 所示)。华北平原是中国最大的平原, 在农业和经济发展中具有非常

重要的地位，面积 20.1 万平方公里（ $31^{\circ}\text{N} \sim 42^{\circ}\text{N}$ ， $113^{\circ}\text{E} \sim 119^{\circ}\text{E}$ ），包括北京和天津两个直辖市、河北省、山东省以及河南省北部。除华北外，研究区域还包括安徽省、江苏省和山西省的部分地区。



(a) 研究区域



(b) 研究区域内气象台站分布情况

图 1 研究区域及该区域气象台站的分布情况  
Fig. 1 Study area and distribution of meteorological stations

季风是影响华北平原及华东局部地区气候的重要因素。本地区气候受干、湿季风影响，使得冬季和夏季气温差异显著。本区属温带大陆性季风型气候，冬季西伯利亚高压带来高纬度地区的干冷空气，引起强劲的西北风，气候寒冷，雨雪量甚小，春季干旱风沙严重，夏季在东南季风（来自海洋的暖湿气流）影响下高温多雨。秋季凉爽而光照时间长。可以概括为冬冷少雨雪，春旱多风，夏热雨集中，秋爽日照长。年平均气温在 1.5~14℃ 之间，由西北向东南逐渐增高，年最低气温出现在一月份，最低可达 -35℃，最高气温出现在七月份，最高在 38℃ 左右，全年大于 10℃ 积温在 2000~4600℃ 之间，日照时数为 2400~3100 小时，无霜期由西北向东南递增，为 150~220 天(崔读昌 1998)。

### 3. 资料及其处理过程

#### 3.1 资料来源

本次研究中所涉及的资料包括：华北地及华东局部 81 个气象站点的关于日照时数、温度、降水的整编资料及各个站点的经纬度。华北地区及华东局部共分布有 93 个县级的气象台站（其分布状况如图 1）。在本次分析研究中，我们主要是针对华北地区及华东局部 1961—2000 年的日照时数、温度、降水资料进行批处理。

#### 3.2 资料处理过程

数据的输入、编辑、处理、分析工作全部在 ArcView GIS 平台上完成。

首先，从原始的文本文件中读入数据，每次可以读入一年或者几年的日照时数、温度、降水数据，每年的数据对应一个数据表（ID，区站号，1<sup>st</sup>, 2<sup>nd</sup>, ... 365<sup>th</sup>）；然后，抽取每天或者计算某一时段的日照时数、温度、降水的空间分布时，要求从另外一个数据文件或者手工输入站点的经度和纬度，形成的数据表示为（ID, 区站号，日照时数，温度，降水，经度，纬度）。后面的工作就可以应用 ArcView 进行可视化时空及分析操作，生成散点图，然后选择空间插值方法拟合为面域数据，或者生成等值线图。并且，可以选择不同的时段，不同的时间比例尺来分析日照时数、温度、降水的时空分布状况。本章主要针对几个典型站点的气候资源因子多年的变化，及整个研究区域不同年代间的变化进行分析处理，时间尺度为 10 年，计算得到日照时数、温度、降水的每个年代的平均值及空间分布，及在小麦生长季节的变化特征，同时对于小麦生长季节的长势进行模拟，得到潜在生产量，分析其空间分布和时间变化。

为了方便后续类似资料处理工作的开展，以上工作流程中的每一处理步骤都以 ArcView 的二次开发语言 Avenue 编写了相应的处理模块。

## 4. 气候资源因子时空变异性

基于第三章的方法，组建了气候资源因子的时空数据库，在这一节中进行气候资源因子的时空变异性。

### 4.1 温度、降水、日照时数时间序列分析

下面在站点上分析温度、降水、日照时数的时间序列变化特征。在本研究区域中，选择北京（如图3）、石家庄（如图4）、济南（如图5）三个站点作为典型站点，分析其气候资源因子的时间序列变化。

从图3可以看出，北京地区的平均温度在60年代一直是下降态势，但是自70年代以来持续上升，40年来年降水量基本保持均衡，只是近两年大幅度下降，而日照时数一直都处于下降趋势，但是，自90年代又有所回升。降水量和日照时数一般情况下是负相关。而在北京地区的降水量和日照时数的关系情况被认为是由于近年来工业发展而造成的大气污染所致。在后面对于温度、降水、日照时数在每个年代的变化情况的分析中，对于这种降水量和日照时数的关系情况进行详尽的描述。

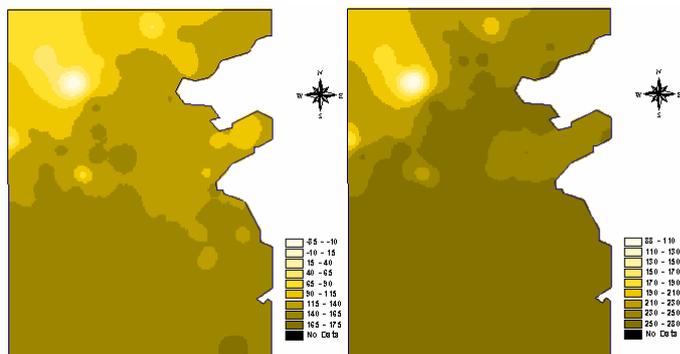
从图4可以看出，石家庄地区的温度也是保持一种上升的趋势，特别是80年代中期以来，上升的幅度更加剧烈。年降水量在60年代起伏比较大，自70年代以来基本是围绕500mm为中心线上下波动，然而，日照时数40年来都是在下降。其降水量和日照时数的关系情况和北京地区基本差不多。与北京地区比较，石家庄地区的最大年平均温度大于北京，但是，北京地区的最高温度明显比石家庄要高，所以，可以得出结论，相较于石家庄，北京地区一年中的温度变化比较大，特别是季节温差大。

从图5可以得知，济南地区的年平均温度呈现上升趋势，但是与北京、石家庄地区比较，趋势比较平稳，年降水量在60年代大幅度下降，在70年代初有抬头倾向，在70年代中期又开始下降，90年代初上升，随之趋于平稳。日照时数在整个40年中呈下降态势。综合3个典型站点情况，近40年来，温度基本都趋于升高，降水量波动不大，而日照时数都是在大幅度下降。在后面的部分会对这种现象进行进一步的分析。



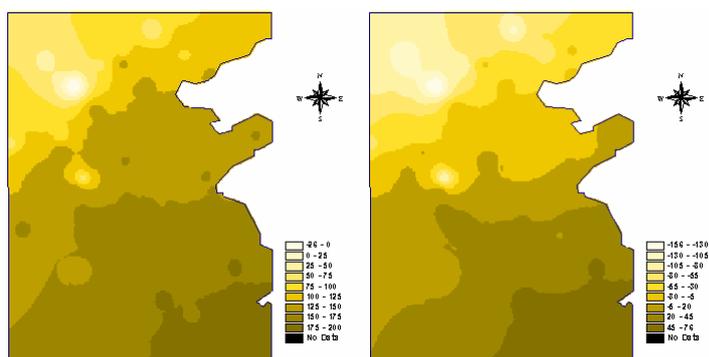
## 4.2 温度、降水、日照时数多年平均值分析

在讨论某地区气候的冷暖情况时，主要是针对大范围内长时期的年平均气温。基于现有的气温资料，得到春季 40 年平均气温分布图（图 6a）、夏季 40 年平均气温分布图（图 6b）、秋季 40 年平均气温分布图（图 6c）、冬季 40 年平均气温分布图（图 6d）及全年 40 年平均气温平面分布图（图 6e）。



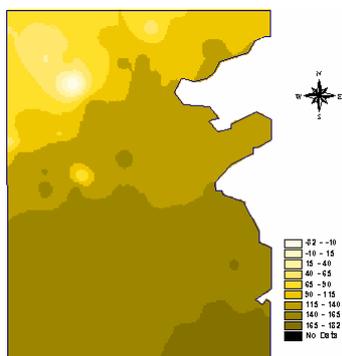
(a) 春季多年平均气温分布图

(b) 夏季多年平均气温分布图



(c) 秋季多年平均气温分布图

(d) 冬季多年平均气温分布图



(e) 多年平均气温分布图

图 6 全年及春夏秋冬 40 年平均气温分布图

从图 6 可以看出，本次研究的区域气候程很明显的纬度地带性，同时受到海洋的影响，该地区东南部平均温度比较高，而西北地区则平均温度低。本研究区域的高温时期主要集中在夏季，在春季和冬季，西北大部地区处于  $0^{\circ}\text{C}$  以下，研究区域的大部分地区的季节间的温度差异大，而东南沿海地区的温度差异不是太大。春季，南部大部分地区日平均气温处于  $11.5^{\circ}\text{C}$  以上，西北地区温度相对偏低，尤其是五台山地区由于地势太高，日平均温度在  $-10^{\circ}\text{C}$  以下。夏季整个区域中，山东省大部分地区及其以南日平均温度处在  $23\sim 28^{\circ}\text{C}$  之间，临沂地区由于海洋影响，日平均气温在  $21\sim 23^{\circ}\text{C}$ 。秋季和冬季气温都是自东南到西北逐渐降低，呈现明显的地带性。

以下分析多年降水量的时空分布。基于现有的降水资料，得到春季 40 年降水年总量分布图（图 7a）、夏季 40 年降水年总量分布图（图 7b）、秋季 40 年降水年总量分布图（图 7c）、冬季 40 年降水年总量分布图（图 7d）及全年 40 年降水年总量平面分布图（图 7e）。

从图 7 可以看出, 本次研究的区域气候表现出很明显的纬度地带性, 同时受到海洋的影响, 该地区东南部平均降水比较高, 而西北地区则平均降水低。春季, 该地区西北和东北部的总降水量处于 100mm 以下, 除五台山和离石地区超过 100mm, 而南部广大地区总降水量则大于 100mm, 东南沿海地区大于 300mm, 最高可达 600 mm 以上。夏季, 由于季风因素, 该地区西北和西南小部分地区总降水量处于 230mm—390mm 之间, 五台山和离石地区超过 450mm, 而东部地区则超过 390mm, 其中东北部的遵化、承德达到 450mm, 东南部的常州、屯溪、温州超过 520mm, 山东省沂源以东部分则处于 390—450mm 之间。秋季, 该地区可以分为四部分进行分析, 最北部分降水总量小于 100mm, 依次往南地区处于 100—150mm 之间, 再向北的地区处于 150—200mm 之间, 东南地区的降水总量普遍大于 200mm, 其中屯溪、徐州、温州达到 590mm。冬季, 该地区的降水空间分布可以分为三部分, 北部除五台山地区大于 10mm, 其余地区降水总量小于 10mm, 中部处于 10-50mm 之间, 东南部超过 50mm, 最高可达 189.6mm。

以下分析多年年日照时数总量的时空分布。基于现有的日照时数资料, 得到春季 40 年年日照时数总量分布图 (图 8a)、夏季 40 年年日照时数总量分布图 (图 8b)、秋季 40 年年日照时数总量分布图 (图 8c)、冬季 40 年年日照时数总量分布图 (图 8d) 及全年 40 年年日照时数总量平面分布图 (图 8e)。

观察分析图 8 可以得出, 研究区域内北部的日照时数高于南部, 呈现纬度地带性分布, 由于降水量对于日照时数的影响, 其分布同时也受海洋的影响, 沿海地区的日照时数偏少。春季东南沿海部分地区日照时数处于 520 小时以下, 北部大部分地区都高于 670 小时, 夏季, 区域内南部和中部日照时数都基本低于 670 小时, 只有西北部分地区高于 770 小时。秋季该地区的日照时数可以分为两地带, 临沂地区以北日照时数高于 568 小时, 以南低于这个数值。冬季临沂以北高于 440 小时, 以南大部分地区日照时数低于 440 小时。



### 4.3 温度、降水、日照时数时空变异性分析

在 Arcview GIS 平台上开发出一个用于表示和分析日照时数、温度、降水时空变化的计算机系统，该系统在传统静态 GIS 的基础上引入时间概念，在关系型数据库中组织数据。系统在可以完成基本的空间统计功能之外，可以进行多时间、空间尺度的降水变化分析。

本节分析的主要内容是以 10 年为时间尺度的关于日照时数、温度、降水等气候资源要素的时空变异性。以 10 年为时间尺度的该地区气温变化状况如图 9 所示。

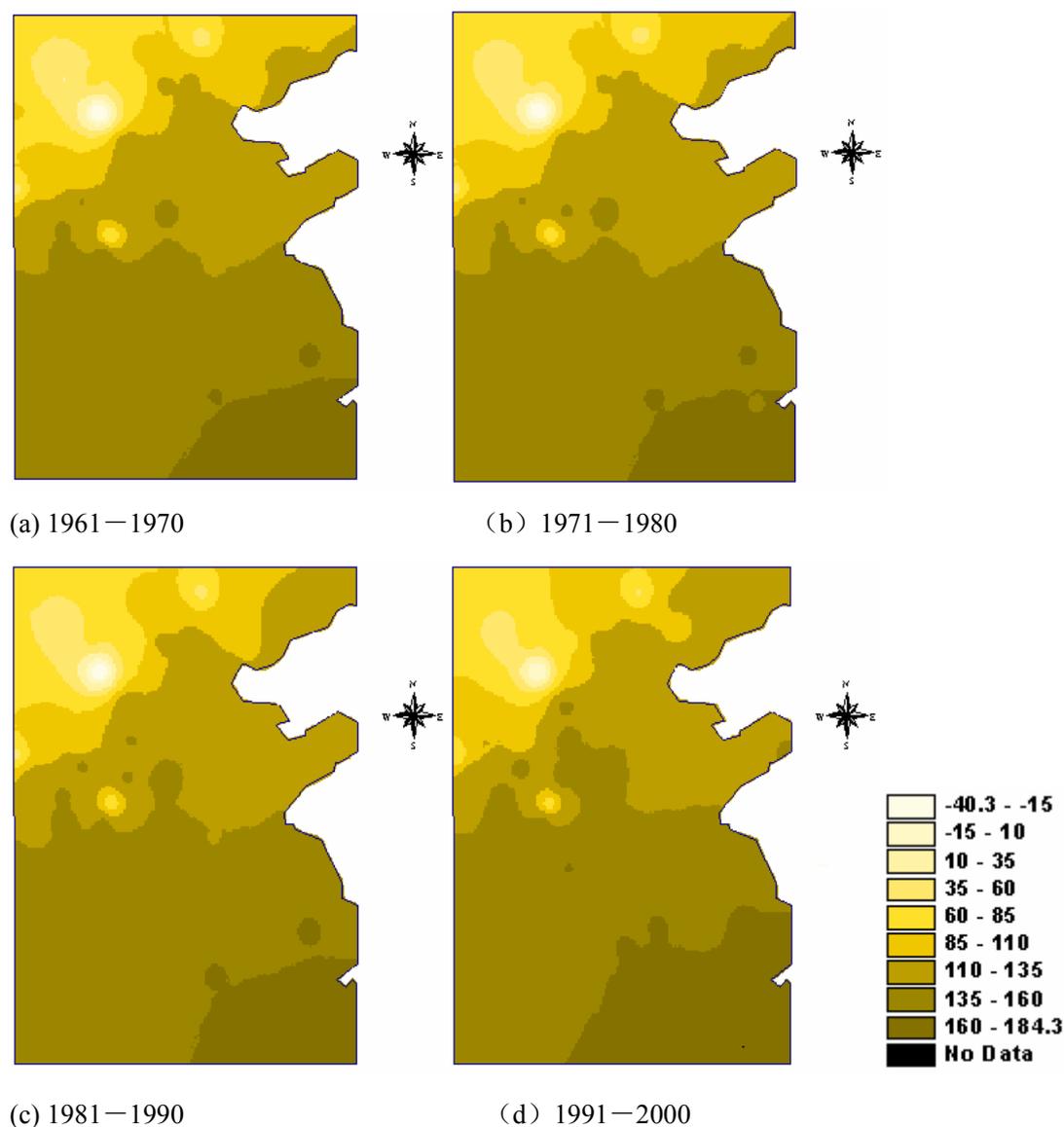


图 9 研究区域不同年代平均气温分布图（单位 0.1℃）

Fig. 9 Average air temperature distribution 10 over 10 years in study area (unit 0.1℃)

从上图可以看出，自 1960 年起 40 年来西北地区气温变化普遍不大，而东南沿海则气温有明显的升高趋势，尤其是 90 年代，10 年平均气温大于  $16^{\circ}\text{C}$  的地区范围明显扩大，呈向北延伸的趋势。自 80 年代以来，河北省青龙以东地区，山东中部地区气温有升高的趋势，前者 10 年平均气温跨过  $8.5^{\circ}\text{C}$  界限，后者 10 年平均气温跨过  $11^{\circ}\text{C}$  线。

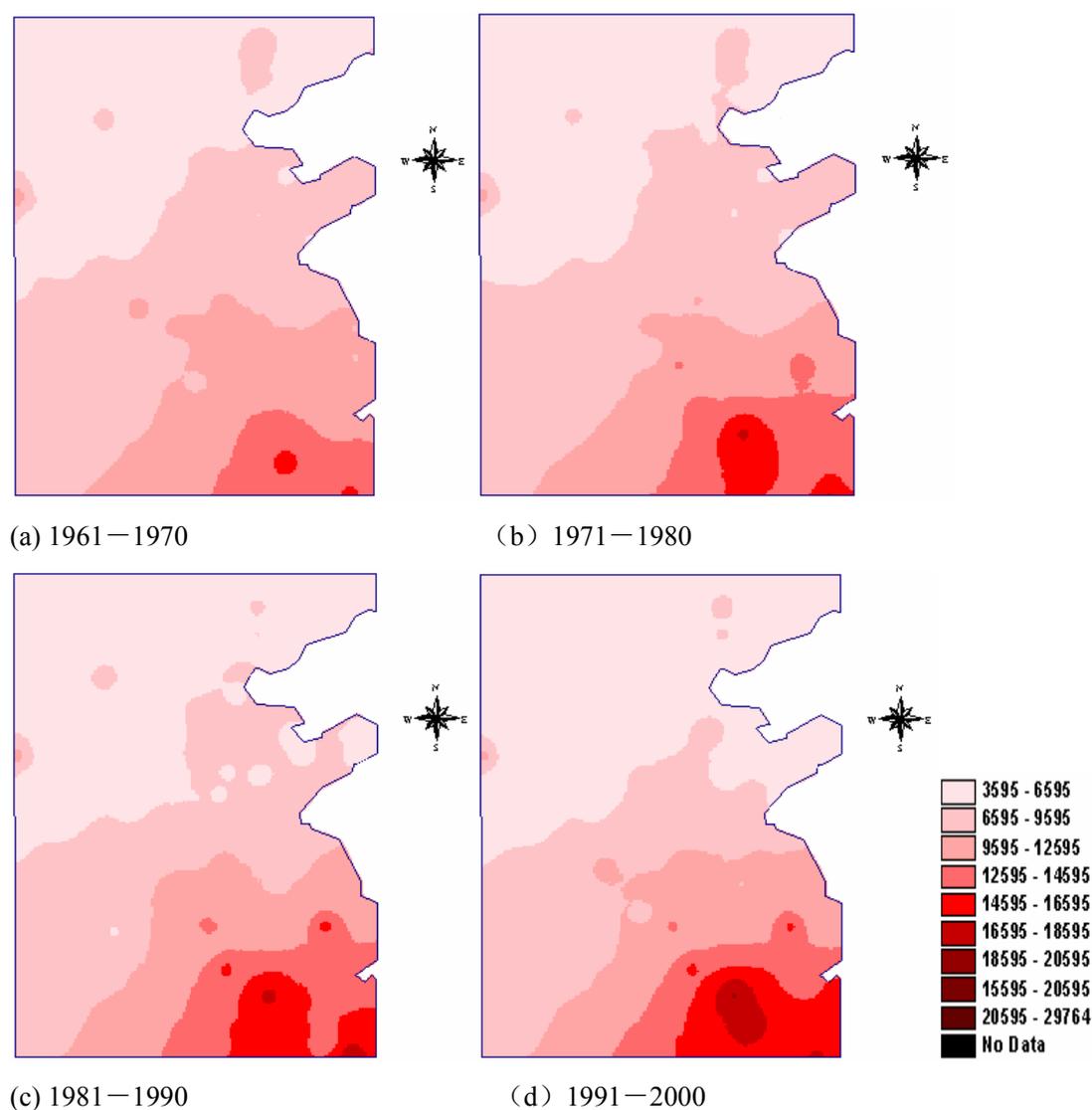


图 10 研究区域不同年代年降水总量分布图（单位 0.1mm）

Fig.10 Precipitation distribution over 10 years in study area (unit 0.1mm)

图 10 为以 10 年为时间尺度的该地区降水年总量变化状况。总体来看，该地区年降水总量变化普遍不大，仅小部分地区变化明显。河北省遵化、承德地区的降水年总量自 80 年代以来逐渐减小，降水年总量大于  $650\text{mm}$  的区域逐渐减小。山东省临沂地区的降水年总量 90 年代明显减小，降水年总量从 80 年代

650mm 以上降到 90 年代 650mm 以下，华东沿海地区的浙江省的降水年总量一直呈上升趋势。华北地区降水存在着显著的年代际变化，从 60 年代起，华北地区降水量呈持续减少趋势，特别是山东东部地区降水量明显减少。华北平原夏季降水的年代际变化与夏季东亚—西太平洋地区上空的 500hpa 位势高度场以及西太平洋副热带高压脊线的位置的年代变化密切相关，70 年代以来，西太平洋副热带高压位置偏南，不利于水汽输送到华北平原，因此使得华北夏季降水偏少。同时华北平原地区之间存在明显的差异性，华北南部和北部的降水变化存在一定的反相关关系，60 年代以来，华北北部降水减少，而东南部降水却呈上升势头。

该地区日照时数 10 年平均年总量变化状况如图 11 所示。

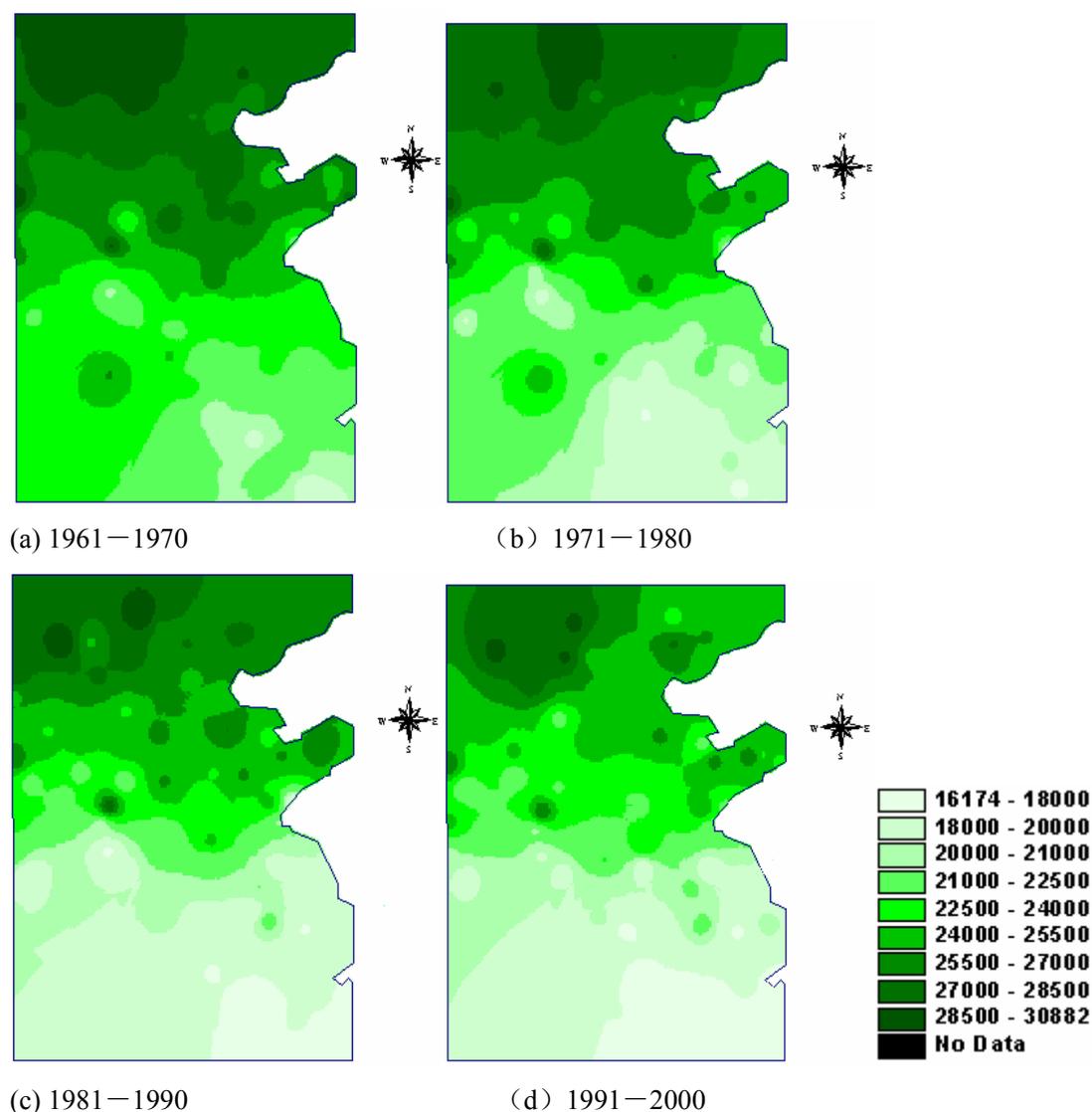


图 11 研究区域不同年代年日照时数总量分布图（单位 0.1°C）

Fig. 11 Sunshine hours distribution over 10 years in study area (unit 0.1°C)

研究区域内，日照时数的空间分布也是呈现明显的纬度地带性和海洋的影响作用，北部日照时数多，南部日照时数少，并且从南向北梯级式降低，沿海地区的日照时数明显高于内陆地区。从时间角度来分析，南部特别是华东部分地区的年日照时数总数从 60 年代到 90 年代一直在减小，而西北部分地区的年日照时数总数也有减少的趋势。从 80 年代到 90 年代，北部地区日照时数明显减小。

综合定性分析温度、降水、日照时数时空变异性之间的关系，可以作为分析研究地区的生态环境变化的依据。降水和气温的关系是最近几十年研究的很多，但没有一致结论的问题，大量的研究表明，降水和气温的关系不是绝对对应的，也即气温高时降水可多可少<sup>[21]</sup>。从研究区域多年（10 年）平均气温分布图和研究区域多年（10 年）平均降水分布图（如图 4 所示）可以看出，不同地区气温和降水的关系不同，东南沿海主要为暖湿型，气温逐渐升高，降水持续增加。而华北北部及中部主要为暖干型，气温增加而降水减少。因此，未来气候变暖会对我国华北地区及其附近产生不利的影响，华北北部降水会减少，旱情严重，而华北东南部降水增加，会产生涝害。但由于温度的变化不是降水变化的直接原因，因此未来降水的变化如何需要进一步的研究。

日照时数是评价一个地区辐射资源的一个很重要的气候要素。从研究区域多年（10 年）日照时数分布图，可以看出从 60 年代起，华北地区及其附近区域，日照时数普遍减少。但对华北平原不同地区日照时数减少的原因可能不同，对于东南沿海地区，由于降雨的增加，也即低云量增加和晴天日数的减少，导致日照时数的减少。而对于华北平原北部大部分地区，日照时数的减少，主要是大气污染造成的。从 60 年代起，华北地区工业迅速发展，由工厂、汽车排放到空气中的烟尘、废气、微粒等逐渐增多，使大气中的气溶胶逐渐增加，对太阳光线有削弱作用，导致日照时数的降低。一般，日照时数和降雨有着直接的反相关关系，日照时数随降水的增加而减少，但是在华北北部，由于近 40 年来，大气污染加剧，空气气溶胶浓度增加，雾日增多，能见度降低，使日照时数降低，但对于降水影响不大，因而，降水与日照时数的联系发生改变，降雨减少导致的日照时数增加远小于大气污染导致的日照时数的减少程度。

从原理上来讲，日照时数减少会导致气温的下降，因为日照时数减少，太阳辐射减小，气温会降低。但对于北半球来说，由于大气中温室气体的增加，温室效应导致了气温的增加。

## 5 在农业生产的应用

本节中所涉及的资料包括：华北地区 72 个气象站点（其分布状况如图 1b）的关于日照时数、温度、降水的整编资料及各个站点的经纬度。主要是针对华北地区 1961—2000 年的日照时数、温度、降水资料进行批处理，分析该地区小麦生长季和玉米生长季光照、温度、降水的分布规律及对农业的影响。图 12 是小麦生长季节（3 月 1 日~6 月 10 日）40 年平均气温、降水总量、日照时数总量分布图。

在小麦生长季节，研究区域大部分地区的多年平均气温处于 15~17.5℃ 之间。山西省五台山地区由于海拔较高，平均气温仍然处于 0℃ 以下。受海洋气候影响，山东省临沂地区平均气温（12.5~15℃）低于周围地区。研究区域降水总量分布呈纬度地带性，并表现出海洋季风的作用。北部大片地区降水总量低于 100mm，包括山西省东部及河北省的大部分地区。日照时数分布体现出北部高，南部低的特点，并呈梯级分布状态。

下图（图 13）是玉米生长季节（3 月 1 日~6 月 10 日）40 年平均气温、降水总量、日照时数总量分布图。

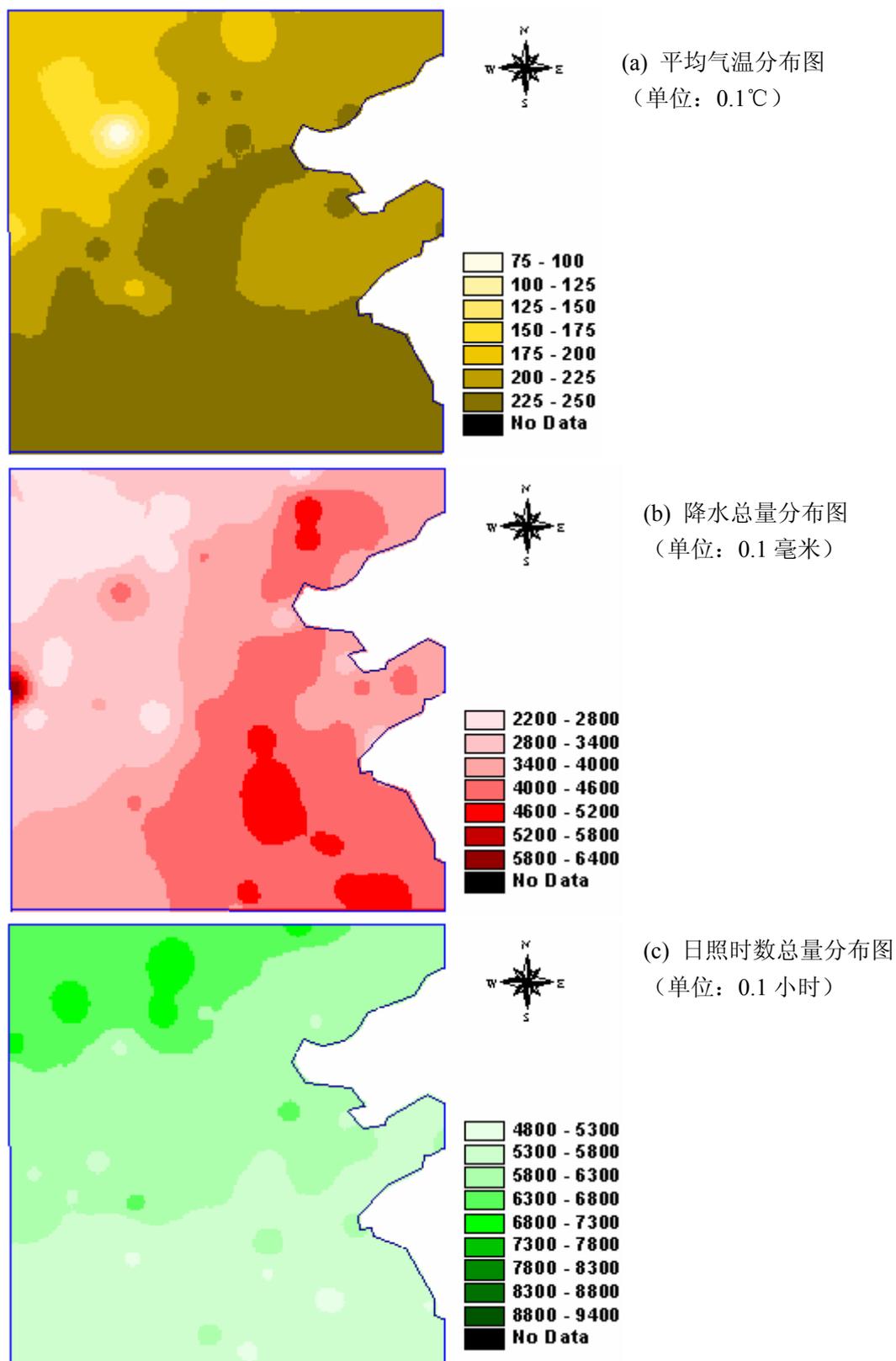


图4 华北地区玉米生长季(6月11日-9月1日)40年(1961-2000)平均气温、降水总量、日照时数总量分布图

在玉米生长季节, 研究区域南部大部分地区的多年平均气温处于 22.5~25℃ 之间。同样, 山西省五台山地区由于海拔较高, 平均气温仍然处于 10℃ 以下。受海洋气候影响, 山东省临沂地区平均气温 (20~22.5℃) 低于周围地区。该地区的降水主要受东南季风的影响, 所以在本研究时段的降水总量分布表现出沿海地区高, 内陆地区的特点。山西省离石地区受山地影响, 降水较周围地区高。日照时数总量分布可以看出明显的三个梯级地带, 西北部为 630~680 小时, 中部地区为 580~630 小时, 南部则为 530~580 小时。

在第四章中, 介绍了在地理信息系统平台上结合作物生长模型的理论和方法, 并提出一个简化的生长潜力模型, 在 ArcView3.1 平台上完成集成工作部分, 可以根据温度、日照时数、经度、纬度来计算每个站点每年的小麦潜在产量, 并进行空间插值, 可以得到研究区域每个年份的小麦潜在产量分布图, 进行时空变异性分析。图 14 是集成了作物潜在模型的实验系统所计算得出的 2000 年及 1991 到 2000 年平均小麦潜在产量分布图。

所采用的作物生长潜力模型的主要因子是日照时数, 另外涉及日平均温度、经度、纬度等校正参数。图 14 可以看出, 研究区域内, 北部的潜在产量高于南方, 这主要是因为北方的日照条件比较好。2000 年, 大部分地区的潜在产量在 11000~13000 克二氧化碳/亩之间, 山西的五台山, 兴县, 山东的济南, 莒县, 莱阳, 河南省的安阳, 商丘, 及东南部分地区都在 9000~11000 克二氧化碳/亩之间, 而包括河北省在内的北部地区则在 13000~15000 克二氧化碳/亩之间。九十年代, 研究区域的小麦潜在产量的平均值分布, 大部分地区的潜在产量在 11000~13000 克二氧化碳/亩之间, 山西省的右玉, 阳城, 河南省的固始, 江苏省的南京, 南通地区的小麦潜在产量在 9000~11000 克二氧化碳/亩之间, 山东的朝城产量则低于 7000 克二氧化碳/亩, 河北省大部分地区产量在 13000~15000 克二氧化碳/亩之间。(这里是论文中的最大的问题: 产量单位很少这样用, 重量用公斤, 亩产才 20-30 斤, 差好几个量级。单位用公斤 (粮食, 经济产量不是二氧化碳)/公顷, 1 公顷=15 亩。可以跟其它同学讨论一下。)

## 6. 结论

本章基于前两章所讨论的在地理信息系统中建立气候资源时空数据库, 添加时空分析功能, 在现有系统中连接一个简单的生长潜力模型 (仅考虑光、温、种气象要素), 为作物生长模型在区域应用提供技术基础。从以上的分析可以看出, 华北地区降水总量从 60 年代起呈下降趋势, 这主要与气候变暖和西太副高位置偏南有关 (张庆云 1999)。但地区间变化有差异, 东南和西北呈反相关关系, 西北递减, 而东南沿海有上升的趋势。华北平原降水呈东南向西北递减

的趋势。东南沿海和西北部年降水变率大，易发生涝和旱灾害。中部年际降水变率小，降水稳定。研究区域内的潜在产量大部分集中在 11000~13000 克二氧化碳/亩，基本布局是北方高于南方。

## 第六章 结论及工作展望

### 1 研究工作总结

现有的作物生长模型大都是基于站点或者仅适用于有限区域，为了应用这种点模型进行面域上（地区、国家等大尺度）的农业生产管理和评估，就需要借助地理信息系统技术来进行面域扩展。传统的地理信息系统注重于空间表现和分析功能的实现，没有考虑到时间要素。然而，基于站点的作物生长模型考虑了作物沿着时间（在生长发育期）的长势变化。因此，将作物生长模型与地理信息系统有机结合起来，就可以进行时间和空间上作物生长发育情况、生态环境因子等的变异性分析。同时，作物生长模型与地理信息系统的有机结合是精确农业的核心问题。

国内外作物生长模型与地理信息系统结合的案例大都注重了作物产量的计算，而且借助现有的基于点的生长模型在地理信息系统平台上进行面域研究和评估。这种点模型一般情况下比较复杂，必须经过简化处理才能进行大尺度上的应用。这样一来，这些案例系统一般不对影响作物生长的生态环境因子进行时空变异性分析，而且，数据准备工作相当繁重，系统的运行效率太低，不利于进行地区级甚至国家级尺度的应用。本学位论文在分析作物生长模型与地理信息系统平台集成发展动态的基础上，从气候资源数据的编辑、建库、作物生长模型的简化等基本工作着手，在 ArcView3.1 地理信息系统软件平台上以其二次开发语言 Avenue 对每一个步骤的工作进行代码的编写，对于后续的类似工作的开展有一定的借鉴价值。主要的成果如下：

- (1) 设法在传统地理信息系统平台上添加一些时空分析功能，建立日平均温度、降水、日照时数气候资源因子时空数据库。
- (2) 在气候资源因子时空数据库的基础上，将一个简化的小麦生长潜力模型连接到地理信息系统软件平台上。
- (3) 利用研究区域的 87 个气象观测台站所提供数据，在以上所建立的气候资源时空数据库中进行影响作物生长的因子的时空变异性分析，并进行小麦潜在生产量的时空分析。

研究表明，在传统地理信息系统平台上添加的一些时空分析功能及所建立的气候资源因子时空数据库可以进行作物生长生态环境因子的时空变异性分析；连接小麦生长潜力模型，可以进行整个研究区域的小麦潜在生产量的评估和时空分析。分析结果表明，华北地区北部温度变化不大，而南部和华东部分地

区温度升高明显, 10年平均气温大约升高 $0.5^{\circ}\text{C}/40$ 年; 华北地区降水呈东南高西北低的特点, 并有明显的年代际变化, 华北南部和北部的降水变化存在一定的反相关关系, 华北北部降水减少, 而东南部降水却呈上升势头; 华北地区和华东部分地区的日照时数都有明显的降低。对三者的关系进行了定性分析, 华北中北部温度和降水的关系为暖干型, 而南部和华东地区为暖湿型; 华北中北部日照时数的降低主要是因为大气污染加剧而引起, 而华北东南部和华东部分地区是由于降水的增加, 即云量的增加和晴天日数的减少而导致日照时数的降低。研究区域的小麦潜在生产量的时空分布与日照时数的分布规律相似, 这一特点主要与所采用的生长潜力模型有关, 原因是该模型的主要影响因子是日照时数, 而温度、经度、纬度是作为校正系数。

## 2 后续研究展望

作物生长模型、生态环境模型与地理信息系统的结合地理信息科学中重要的一个方向, 也是一直都备受关注的研究热点之一。本次研究暂时不考虑复杂的模型参数和变量, 及易于用户进行交互的用户界面设计, 主要目的是进行地理信息系统与作物生长模型结合的系统实验研究, 旨在为模型与地理信息系统集成研究提供技术支持。进一步的研究内容包括:

- (1) 考虑连接具有更多实用功能的作物生长模型, 同时在数据准备、系统运行效率和系统功能之间的选择达成一种可行性的策略。
- (2) 考虑一些模型参数和变量的赋值, 进行友好的用户界面的设计, 以适应各种层次的用户和需求。
- (3) 设法首先进行把基于站点的作物生长模型扩展成为空间上的模型, 考虑生态环境因子空间上的依赖性和相关性, 然后在地理信息系统平台上进行连接。
- (4) 研究总结出一套作物生长模型、生态环境模型与地理信息系统有机集成的理论和方法, 包括系统设计与实施的软件工程方法。

## 参考文献

- Allen, J.F., 1991, Time and time again: the many ways to represent time. In: International Journal of Intelligent Systems. 6(4) 341-355
- Armstrong, M. P. 1988, Temporality in spatial databases [M]. Proceedings of GIS/LIS'88, (2): 880~889.
- Beller, A., Giblin, T., Le, K. V., Litz, S., Kittel, T., and Schimel, D., 1991, A temporal GIS prototype for global change research. Proceedings: GIS/LIS'91, 2:752-765.
- Berry, B.J.L. 1964. Approaches to spatial analysis: A regional synthesis. Annals of the Association of American Geographers 54 : 2-11
- C. Parent, S. Spaccapietra, E. Zimányi, P. Donini, C. Plazanet, and C. Vangenot. 1997 MADS: A conceptual model for spatio-temporal applications. Technical Report YEROOS TR-97/26, Laboratoire de Bases de Données, Département d'Informatique, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, 1997. Submitted for publication.
- Cheyland, J.P. and Lardon, S., 1993 Toward a conceptual model for the analysis of spatio-temporal process. In Spatial Information Theory, edited by Frank, A.U. and Campari, I. (Berlin: Springer-Verlag) : 158-176
- Christakos G. 1998 Spatiotemporal information systems in soil and environmental sciences. Geoderma 85 (1998) 141-179
- Christakos G., Kolovos A. 1999 A study of the spatiotemporal health impact of ozone exposure. Journal of Exposure Analysis and Environmental epidemiology (1999) 9, 322-355
- Christakos G., Serre M.L. 2000a Spatiotemporal analysis of environmental exposure-health effect associations. Journal of Exposure Analysis and Environmental epidemiology (2000) 10, 168-187
- Christakos G., Serre M.L. 2000b BME analysis of spatiotemporal particulate matter distributions in North Carolina. Atmospheric Environment 34 (2000) 3393-3406
- Christakos G., Serre M.L. Kovitz J.L. 2001 BME representation of particulate matter distributions in the state of California on the basis of uncertain measurements. Journal of Geophysical Research, Vol. 106, NO. D9 9717-9731
- Claramunt, C. and Thériault, M., 1995, Managing Time in GIS: An event-oriented approach, Recent Advances on Temporal Databases, Clifford, J. and Tuzhilin, A. (eds.), Springer-Verlag, Zurich, Switzerland, pp. 23-42
- Claramunt, C. and Thériault, M., 1996, Toward semantics for modelling spatio-temporal processes within GIS, Advances in GIS II, Kraak, M. J. and Molenaar, M. eds, Taylor and Francis, Delft, the Netherlands, pp. 47-64.
- Claramunt, C., Parent, C. and Thériault, M., 1997a, Design patterns for spatio-temporal processes, In Searching for Semantics: Data Mining, Reverse Engineering, S. Spaccapietra and F. Maryanski eds., Chapman & Hall, pp. 415-428.

- Claramunt, C., Parent, C., Spaccapietra, S. and Thériault, M., 1999b, Database modelling for environmental and land use changes, Chapter 10 in Geographical Information and Planning: European Perspectives, Stan Geertman, Stan Openshaw and John Stillwell eds., Springer-Verlag, pp. 181-202.
- Claramunt, C., Thériault, M. and Parent, C., 1997b, A qualitative representation of evolving spatial entities in two-dimensional spaces, In Innovations in GIS V, Carver, S. Ed., Taylor & Francis, pp. 119-129.
- Codd E F 1980 Data models in database management. In Brodie M L and Zilles S N (eds) Proceedings: Workshop on Data Abstraction, Databases, and Conceptual Modeling. Pingree Park, Colorado, June 23-26 1980, pp. 112-114.
- D. Sinton 1978. The Inherent Structure of Information as a Constraint to Analysis: Mapped Thematic Data as a Case Study. In: G. Dutton (ED.), Harvard Papers on Geographic Information Systems. 7, pp. SINTON/1-SINTON/17. Addison-wesley, Reading, MA.
- Date C J 1995 An Introduction to Database Systems, 6th edition. Reading, Addison-Wesley Publishing Company.
- Goodchild, M. F. (1987) "A spatial analytical perspective on geographical information systems," International Journal of Geographical Information Systems, 1, 327- 344.
- Hogeweg Drs. M 2000 Spatio-temporal Visualization and analysis. Unpublished MSc Thesis for the Degree of Master of Science in Geographical Information Systems University of Salford
- Hogeweg Drs. M 2001 Spatio-temporal Visualization and analysis. Geoinformatics June 2001 :32-35
- Joerin, F. and Claramunt, C. Integrating the time component in a GIS: An application to assess flooding impacts on agriculture [M], in: Harts, J. J., Ottens, H. F. L. and Scholten, H. J. Eds, Paris, France. EGIS'94 European Conference and Exhibition on GIS Proceedings. 1994. 524~532.
- Langran, G. and Chrisman, N. R., 1988, A framework for temporal geographic information. Cartographical, 25(3):1-14.
- Langran, G., Time in Geographic Information System [M]. Taylor & Francis. London. 1992.
- Peuquet, D. and Wentz, E. 1994b. An approach for time-based spatial analysis of spatio-temporal data. Advances in GIS Research, Proceedings One.
- Peuquet, D. J. and Duan, N. An event-based spatiotemporal data model (ESTDM) for temporal analysis of geographical data [J]. International Journal of Geographical Information Systems, 1995, 9(1): 7~24.
- Peuquet, D. J. It's about time: a conceptual framework for the representation of temporal dynamics in geographic information systems [J]. Annals of the Association of American Geographers, 1994, 84(3): 441~462.
- Rapper, J. and Livingstone, D., 1995, Development of a geomorphological spatial model using object-oriented design. International Journal of Geographical Information Systems, 9(4): 359-384.

- Thériault, M., Claramunt, C. and Villeneuve, P., 1999a, A spatio-temporal taxonomy for the representation of spatial set behaviours, *Spatio-temporal Database Management*, M. Böhlen, C. Jensen, and M. Scholl (eds.), Springer-Verlag, LNCS 1678, pp. 1-19.
- Worboys, M. F. A model for spatio-temporal information [M]. In: *Proceedings of the 5th International Symposium on Spatial Data Handling, 1992*, (2): 602~611.
- Worboys, M. F. A unified model for spatial and temporal information [J]. *The Computer Journal*, 1994, 37(1) : 26~34.
- Yuan M. 1996 Modeling semantic, spatial, and temporal information in a GIS. In Max Craglia and Helen Couleclis eds. 1996. *Geographic Information Research: Bridging the Atlantic*. Taylor & Francis. 334-347
- Yuan M. 1996b *Temporal GIS and Spatio-Temporal Modeling*. The University of Oklahoma, Norman, Okla.
- Yuan, M. 2001. Representing Complex Geographic Phenomena with both Object- and Field-like Properties. *Cartography and Geographic Information Science* , 28(2): 83-96.
- 陈隆勋等. 中国近 45 年来气候变化的研究[J]. *气象学报*, 1998, 56(3): 257-271.  
Chen Long-xun etc. Study on climate change in China in recent 45 years [J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 1998, 56(3): 257~271.
- 崔读昌. 中国农业气候学[M]. 浙江: 浙江科学技术出版社, 1998. 241~247. Cui du-chang. *Chinese Agroclimatology* [M]. Zhejiang: Zhejiang Sci-technology Press, 1998. 241~247.
- 施雅风等. 中国历史气候变化[M]. 山东: 山东科学技术出版社, 1996. 443~467.  
Shi ya-feng et al. *Chinese Historical Climatic changes* [M]. Shandong: Shandong Sci-technology Press, 1996. 443~467.
- 王绍武. 近百年气候变化与变率的诊断研究[J]. *气象学报*, 1994, 52(3): 261~273.  
Wang Shao-wu. Diagnostic studies on the climate change and variability for the period of 1880-1980 [J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 1994, 52(3): 261-273.
- 韦志刚等, 80 年代以来华北地区气候和水量变化的分析研究[J]. *高原气象*, 1999, 18(4): 525~534. Wei Zhi-gang etc. Analysis and research on relationship between the climatic and runoff variation since 1980s in North China [J]. *Plateau Meteorology*, 1999, 18(4): 525~534.
- 张庆云. 1880 年以来华北降水及水资源的变化[J]. *高原气象*, 1999, 18(4): 486~495. Zhang Qing- yun . The variation of the precipitation and water resources in North China since 1880 [J] . *Plateau Meteorology*, 1999, 18(4): 486~495.
- 张祖勋, 黄明智. 时态 GIS 的概念、功能和应用[J]. *测绘通报*, 1995 (2) : 12~14.