

国家自然科学基金研究专著——地球科学系列

长江三角洲低层大气 与生态系统相互作用研究

周秀骥等 著

气象出版社

国家自然科学基金研究专著——地球科学系列

长江三角洲低层大气与生态系统 相互作用研究

周秀骥 等著

气象出版社

内容简介

《长江三角洲低层大气与生态系统相互作用研究》是全面总结国家自然科学基金委员会资助的重大项目科研成果的一部专著,着重研究了近 20 年来长江三角洲地区人类活动对区域气候、环境和生态的影响。本书通过对近 20 年来该地区社会经济、土地利用、气候、环境和生态变化资料的系统分析,对地面大气痕量气体时空分布和农田水、热及痕量气体输送通量等外场观测试验,发展建立区域气候-空气质量-地表耦合模式和农田生物地球化学模式以及数值模拟试验,揭示了长江三角洲低层大气物理化学结构的变化规律及其与生态系统相互作用的机制,评估了区域社会经济未来发展对气候和环境可能产生的影响,提出了区域可持续发展相应对策的建议。

本书可供大气科学、环境科学、地理科学以及生态科学领域专业科研人员参考,亦可供区域可持续发展领域的领导和管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

长江三角洲低层大气与生态系统相互作用研究/周秀骥等著. -北京:气象出版社,2004.3
ISBN 7-5029-3737-4

I. 长… II. 周… III. 长江三角洲-低层大气-相互作用-生态系统-研究 IV. P461
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 014309 号

长江三角洲低层大气与生态系统相互作用研究

周秀骥等著

责任编辑:刘品 王桂梅 终审:周诗健

封面设计:阳光图文工作室 责任技编:陈红 责任校对:陶维玲

* * *

气象出版社出版

(北京市海淀区中关村南大街 46 号 邮编:100081)

北京市兴怀印刷厂印刷

新华书店总店北京发行所发行 全国各地新华书店经销

网址:<http://cmp.cma.gov.cn> E-mail:qxcs@263.net

* * *

开本:787×1092 1/16 印张:24.5 字数:627 千字

2004 年 4 月第一版 2004 年 4 月第一次印刷

定价:78.00 元

ISBN 7-5029-3737-4/X · 0090

序

长江三角洲是江南鱼米之乡,在我国社会经济与文化事业发展中占有举足轻重的地位。改革开放近 20 年来,由于城市化与经济建设持续高速地发展,土地利用引起地表结构的急剧变化,对该地区气候、环境与生态系统产生了十分显著的影响,这种现象引起了国内外的关注和重视。根据我国科学家的建议,在“九五”期间国家自然科学基金委员会地球科学部和生命科学部联合资助了重大项目“长江三角洲低层大气物理化学过程及其与生态系统的相互作用”。而以美国佐治亚理工学院(Georgia Institute of Technology) W. L. Chameides, 教授(美国科学院院士)为首席科学家的专家们也制定了长江三角洲地区的中国城乡复合体研究计划(CHINA-MAP),并与中国气象科学研究院签订了合作研究协议。两个研究计划的共同目标都是以长江三角洲地区低层大气物理化学过程与生态系统相互作用为核心科学问题,研究揭示地表结构变化与区域气候和环境变化的相互影响,探索区域社会、经济建设与生态、环境协调发展的对策。显然,完成这个研究目标对全球变化研究和长江三角洲地区社会经济发展都具有重要的理论意义和应用价值。

中国气象科学研究院作为项目的主持单位,与中国科学院遥感应用研究所和生态环境研究中心,北京大学环境科学研究中心与物理学院大气科学系等单位联合,集中了气候、中尺度气象、大气物理、大气化学、遥感、生态环境等领域的研究力量,大力协同开展了 4 年多的研究工作。以美国佐治亚理工学院 W. L. Chameides 院士和江家驹教授(Kiang C. S.)为首的美国科学专家组,以及香港理工大学(Hong Kong Polytechnic University)王韬博士和专家都积极参与了项目的科学试验和研究工作,他们分别在常熟、佘山及临安建立了三套地面大气化学观测系统,提供了观测仪器标定与观测资料质量控制的技术和方法,保证了科学试验数据的可靠性和国际可比性,中、美两国和中国香港地区的科学家在资料分析、数值模拟和理论研究中进一步密切合作,极大地推动了研究工作的深化。

限于资料与各种条件,我们主要集中研究 1980 年以来,长江三角洲气候与生态环境的变化问题,这是该地区受人类活动影响最为显著的时期。除全面系统综合分析了近 20 年来该地区有关社会、经济、土地利用、气候、环境和生态等资料外,又完成了为期一年的地面大气化学和农田水、热及痕量气体(N_2O , CO_2 和 VOC)输送通量等野外观测试验,不同臭氧浓度对农作物产量与品质影响及作用机理的实验模拟,并发展建立了高分辨率(5km)区域气候-空气质量-地表耦合动力学模式以及农田生物地球化学模式。项目采取资料诊断分析、综合观测实验与数值模拟相结合的方法,对长江三角洲近 20 年来人类活动对区域气候与生态环

境变化的影响机理取得了新的认识,并根据该地区社会、经济的发展规划,对长江三角洲地区气候与环境未来的变化趋势做出了预测性的评估,对社会经济建设与生态环境的协调发展提出了对策和建议。本书正是对上述研究结果较全面地综合和总结。

本书由参加项目研究的主要科学家集体撰写而成,也是他们在各自承担课题研究工作的基础上进行的科学总结。全书分工如下:

序和绪论:周秀骥

第1章:田国良、陈隆勋

第2章:唐孝炎、王会祥、王木林、白郁华、陈忠明、刘北荣

第3章:丁国安、陆龙骅、刘晶森、张远航

第4章:刘建栋、周秀骥、张宇

第5章:冯宗炜、王春乙、金明红、张福珠、黄益宗

第6章:李维亮、秦瑜、刘洪利

第7章:欧阳志云、王效科、张巧显、白艳莹、张莉

最后,周秀骥完成了全书的审稿工作。

中国气象科学研究院刘品同志为本书的组稿、统稿以及文字图表处理等做了大量工作。本书能够成功出版与他们的辛勤劳动也是密不可分的,在此表示衷心感谢!

本书受国家自然科学基金重大项目(49899270)资助。

周秀骥

2003年12月

绪 论

长江三角洲是在自然和经济方面都具有明显特征和界线的地域。其范围包括上海市、江苏省沿长江的宁、镇、扬、泰、苏、锡、常、南通和浙江省东北的杭、嘉、湖、甬、绍、舟等 14 个市,面积共约 10 余万 km^2 ,人口七千多万(1995 年)。北以通扬运河—胥茶运河为界,与淮河水系相连;南至杭州市,与钱塘江水系相连;西至南京市;东至上海市,与东海、黄海濒临。而面积达 2250 km^2 的太湖则居于三角洲中心。

长江三角洲自然环境优越,是我国著名的平原水乡。她地属亚热带季风气候,四季分明,1 和 7 月的平均气温分别在 0 和 28℃ 左右,年降水量为 1000~1500mm。平原土地肥沃,类型复杂多样,光、热、水、土等自然条件组合较好,土地资源利用程度与生产经营水平很高,是我国重要的水稻、小麦和油菜种植区,也是桑、茶、竹等经济林木的重要分布区,人均粮食产量高出全国平均水平。

长江三角洲鱼米之乡孕育了悠久的历史文化,也是我国现代文化、科技和经济发展的中心和摇篮。长江三角洲作为我国轻工、纺织、丝绸、食品、电子、信息、机械、仪表、化工、冶金等现代综合工业基地,尽管土地面积只占全国的 1%,人口只占全国的 6.1%,而 1995 年的 GDP 已占全国的 15.1%(人均达 1200 美元左右),中央财政收入占全国的 22.6%,长江三角洲地区的可持续发展在我国现代化建设中占有举足轻重的地位。

1949 年以来,特别是 20 世纪 80 年代改革开放以后,长江三角洲地区获得空前的飞速发展。城市化进程明显加速,昔日的大片田野,而今迅速变为高楼林立的现代化城市。上海、南京、杭州等城市不断扩大,出现城市郊区化新的空间格局,沿沪宁线和沪杭甬线分别形成了 5 个和 4 个都市区,构成了长江三角洲的都市连绵带。到 90 年代中期,长江三角洲城市化水平已达 40% 左右,上海市已是人口千万以上的现代化巨型城市。

城市化和工业化进程促使现代交通密集成网,乡镇企业蓬勃发展,自然资源消耗呈指数增长,农田和生态用地大量萎缩,不得不过量施用化肥,提高单位面积产量,以保证农业生产不断增长。这种情景对区域气候、环境、资源和自然灾害的变化会产生何种影响?是否会制约社会经济的进一步发展?是关系到区域可持续发展的重大问题,也是全球变化研究的热点。

长江三角洲是近 20 多年来我国城市化进程的一个典型地区,也是举世瞩目的经济高速发展地区。由于环境与资源保护意识的薄弱,城市化进程和乡镇企业发展带来最明显的直接影响就是区域环境质量的严重恶化。该地区的严重酸雨事例频繁发生,太湖水受到严重污染,鱼米之乡的清洁水源严重减少,在太湖地区也不得不大量开采地下水供生活用水,从而造成大面积地下水漏斗,以致地面沉降,环境污染迫使投资数千亿资金治理太湖。1996 年,以严东生、任美铎院士为首的 30 余位专家,组成了长江三角洲经济和社会可持续发展考察组,对地区可持续发展问题进行了考察研究,撰写出版了专著“论长江三角洲可持续发展战略”,全面论述了长江三角洲地区社会、文化、经济发展的现状及可持续发展中存在的严重问题,提出了社会经济与环境及资源协调发展的任务和对策。

区域气候和环境变化既决定于全球变化的背景,又受局地自然条件和人类活动的严重影响。在全球变化中,人类活动最重要的特征就是改变地表和生态环境系统结构的时空分布,由此引起了地-气之间感热、潜热、辐射、动量以及物质(水、痕量气体、气溶胶等)交换输送时空分

布的显著变动,影响到局地气候、环境与灾害的变异。因此,揭露地球表层系统中大气、地表与生态之间物理、化学与生物过程及其相互作用的机制与规律,预测其变化趋势,研究其调控因子,以寻求并设计优化的地表结构格局,促进社会经济与生态环境之间相互作用的良性循环,就是社会经济与自然环境协调发展需要解决的基础科学问题,也是全球变化研究的根本任务之一。项目“长江三角洲低层大气物理化学过程及其与生态系统相互作用”就是以此为研究任务和研究内容,把长江三角洲城乡复合体作为一个典型区域进行分析研究,发展建立具有普遍意义的理论和方法。

我们认为,解决上述任务的根本途径之一是发展建立区域大气-地表-生态系统动态模型和耦合动力学模式,而这样的模式必须是经过观测实验检验,符合客观实际的。由于我们的研究对象是一个占土地面积 10 余万 km^2 具有三维结构的城乡复合体,地表特征水平分布又极不均匀。而地基观测站分布不可能很密,用卫星等空基遥感技术探测复合体的物理、化学与生态结构分布在原理和技术上还有不小难度,我们只能把地基观测、空基探测与系统动力学模式结合起来,通过地基观测与空基探测相结合,研究基本的物理化学与生态系统结构的状况及其变化。同时,用有限时空密度的观测资料来检验系统动力学模式的数值模拟结果,由此发展建立科学的高分辨率区域大气-地表-生态系统耦合动力学模式,用此模式就可以在现代巨型计算机上实现大量的数值模拟试验,全面深入研究揭露系统的变化机制,评估其未来变化趋势,分析其变化的调控因子,提出优化系统变化的对策。本书反映的正是沿着这个思路开展研究所取得的结果,即使是初步的,但充分表明这是当前一条比较现实可行、对城乡复合体进行动力学研究的途径,其成功的前景是诱人的。

显然,对于研究城乡复合体生态环境来说,水文过程是非常重要的环节。限于各种条件,作为工作的第一步,我们的研究主要是集中于大气与地表和生态之间的相互作用,所建立的区域系统动力学模式也尚未与水文模式相耦合,这既是我们现有工作结果中最大的不足,也是今后有待努力的主要方向。我国水文学和水文数值模式的研究已经取得很大进展,大气科学、水文科学与生态系统科学的密切交叉和融合将会在城乡复合体研究上出现更新、更为丰硕的成果。

区域大气-地表-生态系统是一个十分复杂的非线性地球表层系统,系统变化既涉及到大气、地表与生态各部分的物理、化学及生物过程,又依赖于它们之间的非线性相互作用,要弄清长江三角洲 10 余万 km^2 面积地球表层系统在自然驱动与人类活动共同影响下的变化规律与机制,找到调控其变化的有效因子,需要进行长期的系统研究工作,现已完成的研究只能是起步,但已经取得的研究成果仍令人鼓舞,它表明在现代科学技术领域的不同学科交叉的基础上,建立定量的大气-地表-生态系统动力学模式完全是现实可行的,利用模式进行数值模拟不仅能揭示系统变化规律与机制,而且可以探索调控系统变化趋势途径。大气科学家、遥感科学家、环境科学家和生态科学家们继续在该领域内通力协作的科学前景是美好的。

参考文献

- 1 严东生,任美镔主编. 1999. 论长江三角洲可持续发展战略. 合肥:安徽教育出版社
- 2 包晓斌. 1996. 长江三角洲地区生态环境建设模式研究. 地理学与国土研究, 12(8)
- 3 虞孝威著. 1993. 长江三角洲地区国土区域规划研究. 北京:科学出版社

目 录

序

绪论

1 长江三角洲地区大气-生态系统近期的动态分析	(1)
1.1 长江三角洲区域热岛特征及其变化机制	(1)
1.1.1 长江三角洲区域热岛特征	(1)
1.1.2 长江三角洲区域热岛中各要素的气候变化特征	(3)
1.2 上海市城市热岛效应特征及其可能形成的机制	(9)
1.2.1 上海市城市热岛效应特征	(9)
1.2.2 上海地区气候变化倾向	(12)
1.2.3 上海市热岛效应的可能变化机制	(14)
1.3 土地利用变化及其特征	(16)
1.3.1 基于遥感的土地利用变化信息的提取	(17)
1.3.2 土地利用类型变化的发现与空间模型研究	(19)
1.3.3 长江三角洲地区土地利用变化特征分析	(20)
1.3.4 长江三角洲地区地表覆盖变化及其气候响应	(22)
1.3.5 小结	(23)
1.4 地表参数的变化特征	(23)
1.4.1 地表特征模式的建立	(24)
1.4.2 地表参数的分布	(28)
1.4.3 小结	(31)
1.5 大气污染遥感监测方法及其在长江三角洲的应用	(31)
1.5.1 研究概况	(31)
1.5.2 人为气溶胶的光学特征及其数值模拟	(33)
1.5.3 地物的光谱组成与分解	(35)
1.5.4 人为气溶胶和粉尘浑浊度的遥感定量提取方法	(40)
1.5.5 方法检验	(41)
1.5.6 长江三角洲污染气溶胶分布及变化遥感监测	(42)

1.5.7	讨论与结论	(43)
	参考文献	(45)
2	长江三角洲地区低层大气痕量气体时空变化及其机理	(48)
2.1	区域空气质量监测	(49)
2.1.1	观测站位的选择和环境评述	(49)
2.1.2	观测项目的设置与质量要求	(51)
2.1.3	现场取样,观测的质量保证与控制	(52)
2.1.4	大气中臭氧(O_3)浓度的测量	(57)
2.1.5	大气中二氧化硫(SO_2)浓度的测量	(59)
2.1.6	大气中氮氧化物($NO/NO_2/NO_x$)浓度的测量	(60)
2.1.7	大气中一氧化碳(CO)浓度的测量	(62)
2.2	区域大气痕量气体时空变化特征	(65)
2.2.1	观测数据概况	(65)
2.2.2	氮氧化物(NO_x)	(66)
2.2.3	一氧化碳(CO)	(70)
2.2.4	二氧化硫(SO_2)	(73)
2.2.5	臭氧(O_3)	(75)
2.2.6	对气态污染物监测的总体评价	(81)
2.3	长江三角洲大气污染物源排放研究	
	——对 1980 和 1995 年排放的估算以及 2010 年排放的预测	(85)
2.3.1	估算方法	(85)
2.3.2	1995 年区域 II 人为源 SO_2 , NO_x , CO 和 HC 的排放清单	(86)
2.3.3	1995 年区域 II 能源消耗网格清单	(94)
2.3.4	1980 年区域 I 固定源 SO_2 和 NO_x 的排放清单	(95)
2.3.5	天然源 VOC 排放清单的制作	(96)
2.3.6	2010 年区域 II 固定源能源消耗及 SO_2 和 NO_x 的排放预测	(102)
2.4	低层大气 O_3 与碳氢化合物的汇机制	(103)
2.4.1	低层大气污染机制理论的发展	(103)
2.4.2	低层大气碳氢化合物反应的一般机制	(104)

2.4.3	低层大气中异戊二烯的反应	(105)
2.4.4	低层大气中 β -蒎烯的反应	(113)
2.4.5	低层大气中碳氢化合物生成过氧化物的机制	(121)
2.5	长江三角洲光化学污染模拟研究	(130)
2.5.1	二维空气质量模式	(130)
2.5.2	长江三角洲光化学污染模拟	(133)
2.5.3	源排放变化对臭氧浓度的影响	(138)
2.5.4	臭氧生成的过程分析	(140)
2.5.5	长江三角洲光化学污染预测	(145)
2.5.6	结论	(146)
	参考文献	(151)
3	稻田大气痕量气体通量及区域水热通量变化特征	(156)
3.1	概述	(156)
3.2	稻田感热、潜热通量	(157)
3.2.1	近地面感热、潜热湍流输送通量的计算方法	(157)
3.2.2	观测系统及资料概况	(160)
3.2.3	水稻各生长季的感热、潜热湍流通量特征	(162)
3.2.4	水稻各生长季湍流通量的平均日变化	(163)
3.2.5	感热、潜热等湍流通量变化与气象要素的关系	(164)
3.3	稻田大气二氧化碳通量	(166)
3.3.1	近地面动量和二氧化碳等物质湍流输送通量的计算方法	(167)
3.3.2	水稻各生长季的二氧化碳湍流通量特征	(168)
3.3.3	水稻各生长季各湍流通量的平均日变化	(168)
3.3.4	二氧化碳通量、湍流通量变化与气象要素的关系	(169)
3.4	稻田大气 N_2O 通量	(172)
3.4.1	常用大气痕量气体通量测量方法	(173)
3.4.2	测量仪器及试验条件	(174)
3.4.3	N_2O 通量测量结果	(176)
3.5	稻田大气 VOC 浓度及通量	(179)
3.5.1	实验方法	(179)

3.5.2	测量结果	(183)
3.6	长江三角洲稻田 O_3 , SO_2 , NO_x , NO 和 NO_2 的通量	(188)
3.6.1	痕量气体通量的动力学梯度法原理	(188)
3.6.2	实验	(188)
3.6.3	各参数的测量结果	(190)
3.6.4	各气体的通量	(192)
3.6.5	小结	(195)
3.7	区域水、热通量及变化特征	(195)
3.7.1	蒸发散量估算的目的及意义	(196)
3.7.2	蒸发散量计算方法及其改进	(197)
3.7.3	蒸发散量及感热通量的分布特征	(204)
3.7.4	三角洲地区蒸发散量和感热通量的主要影响因子及人类 活动对水文、气候环境的可能影响	(208)
3.6.5	小结	(212)
	参考文献	(213)
4	长江三角洲农田温室效应的动力机制及对策研究	(216)
4.1	农田生物地球化学模型	(217)
4.1.1	模式描述	(219)
4.1.2	模式的验证	(230)
4.2	温室气体排放与农田生态环境因子间关系的数值分析	(232)
4.2.1	气象因子对稻田生态系统 CH_4 排放影响的数值分析	(233)
4.2.2	气象因子对稻田生态系统 N_2O 排放影响的数值分析	(235)
4.2.3	气象因子对 CH_4 和 N_2O 排放双重影响的数值分析	(238)
4.3	长江三角洲地区农田温室气体排放的人文驱动效应分析	(240)
4.4	长江三角洲地区农田温室气体排放的区域估算	(243)
4.5	长江三角洲地区农田生态系统温室效应调控对策	(244)
4.5.1	生长期内温室效应变化规律分析	(245)
4.5.2	全生长期温室效应演变规律的数值分析	(246)
4.5.3	气象条件对最大汇施肥量和零排放施肥量影响的数值分析	(247)
4.5.4	长江三角洲地区最佳施肥方案	(249)

参考文献	(251)
5 大气臭氧与环境变化对农业生态系统的影响机理与评估	(253)
5.1 大气臭氧变化对农作物影响的实验模拟	(253)
5.1.1 大气臭氧变化对农作物影响的实验方法及评价	(253)
5.1.2 OTC—1 型开顶式气室的结构	(253)
5.1.3 OTC—1 型开顶式气室臭氧发生、控制与测量系统	(256)
5.1.4 OTC—1 型开顶式气室臭氧发生、控制与测量系统的物理 性能及评价	(259)
5.1.5 大气臭氧变化对农作物影响的田间试验	(261)
5.2 大气臭氧变化对农作物生长发育、产量和品质的影响	(263)
5.2.1 实验概况	(263)
5.2.2 大气中 O_3 浓度变化对作物生理过程的影响	(263)
5.2.3 大气中 O_3 浓度变化对作物叶片的可见伤害	(266)
5.2.4 大气中 O_3 浓度变化对作物发育进程的影响	(269)
5.2.5 对地上部分生物量的影响	(270)
5.2.6 对地下部分生物量的影响	(271)
5.2.7 大气中 O_3 浓度变化对作物产量结构的影响	(273)
5.2.8 大气中 O_3 浓度变化对作物籽粒品质的影响	(274)
5.3 大气 O_3 浓度变化对农作物生理影响的机理分析	(275)
5.3.1 大气 O_3 浓度变化对作物的生理影响	(275)
5.3.2 大气 O_3 浓度变化对农作物叶片膜保护系统的影响	(278)
5.3.3 讨论与小结	(282)
5.4 区域大气环境变化对农业生态系统影响的综合评估 ——以长江三角洲为例	(284)
5.4.1 长江三角洲自然、社会、经济的概况	(284)
5.4.2 O_3 对农作物产量损失影响的估算	(285)
5.4.3 SO_2 和酸雨复合污染对农作物产量损失影响的估算	(289)
参考文献	(292)
6 区域气候-环境-地表系统耦合动力学模式与数值模拟试验	(294)
6.1 区域气候-环境-地表系统耦合动力学模式	(294)
6.1.1 三重套网格区域气候模式	(294)

6.1.2	三重套网格大气化学模式的改进	(299)
6.1.3	考虑较详细云雨物理和化学过程的大气化学模式	(304)
6.2	区域热岛效应与地表分布影响的数值模拟试验	(311)
6.2.1	地面特征对长江三角洲区域气候影响的模拟	(311)
6.2.2	长江三角洲城市热岛与太湖对局地环流影响的研究	(317)
6.3	区域大气环境的数值模拟实验	(323)
6.3.1	1995 年动力场的特征	(323)
6.3.2	区域大气环境的数值模拟结果	(324)
	参考文献	(331)
7	长江三角洲大气与生态系统变化趋势及调控对策	(332)
7.1	生态系统特征与变化趋势	(332)
7.1.1	森林生态系统	(332)
7.1.2	河流湖泊生态系统	(333)
7.1.3	湿地生态系统	(333)
7.1.4	近海海域生态系统	(334)
7.1.5	农田生态系统	(334)
7.1.6	城市生态系统	(335)
7.2	区域痕量气体排放趋势预测	(335)
7.2.1	长江三角洲能源活动及工业源痕量气体排放现状与未来 情景模拟	(335)
7.2.2	长江三角洲农田生态系统的 CH_4 和 N_2O 排放量	(350)
7.2.3	自然生态系统异戊二烯排放	(354)
7.3	区域社会经济发展与大气环境变化的协调对策	(364)
7.3.1	加速产业结构的调整	(365)
7.3.2	加速能源结构的调整	(365)
7.3.3	加快落后技术的淘汰与乡镇企业的转型	(365)
7.3.4	进行长江三角洲城市群总体规划,改善交通技术,减少 交通痕量气体排放	(365)
7.3.5	发展节能技术,提高能源利用效率	(366)
7.3.6	改善农业管理,减少农业痕量气体排放	(366)
	参考文献	(368)

1 长江三角洲地区大气-生态系统近期的动态分析

1.1 长江三角洲区域热岛特征及其变化机制

长江三角洲是我国最大经济区之一,也是中国改革开放以来经济发展最为迅速的地区之一。由于经济的发展,人类活动对气候影响必然很大,对气候的自然变化也会造成影响,这种影响到底有多大?实际的气候又是如何变化的?是本节要进行讨论的主要问题。本文所讨论的是长江三角洲经济区,因而讨论的范围西起南京,北起长江以北的南通至扬州一线,南部则包括浙江北部的杭州、绍兴和宁波。为了对比长江三角洲与邻近地区的气候变化,在讨论上述长江三角洲范围的气候变化时,还讨论了邻近地区的气候变化。为此,我们收集了 $29^{\circ}\sim 33^{\circ}\text{N}$, $118^{\circ}\sim 122.5^{\circ}\text{E}$ 区域内,自 1961 年 1 月到 1997 年 12 月的 53 个地面测站的 20 个要素,测站分布如图 1.1.1 所示。由于包含了上海市所属 11 个测站的资料,除讨论长江三角洲的气候变化外,还可以讨论作为这个地区中心城市上海市的气候变化特征。本节讨论长江三角洲的气候变化,第二节将讨论上海市的气候变化特征。

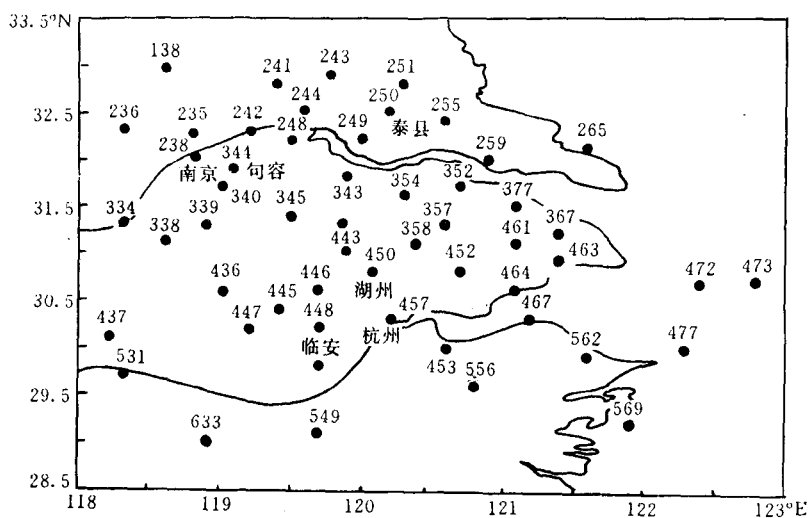


图 1.1.1 长江三角洲及其邻近地区测站分布

1.1.1 长江三角洲区域热岛特征

长江三角洲(经济区)年平均太阳辐射总量约为 $4.6\times 10^5\sim 5.0\times 10^5\text{J}\cdot\text{cm}^{-2}$,年日照时数 $2\times 10^3\sim 2.2\times 10^3\text{h}$,年平均气温 $14\sim 17^{\circ}\text{C}$,年降水量 $1000\sim 1400\text{mm}$,1995 年人口约 7371.32 万人(占全国人口的 6.1%),人口密度 $740\text{人}\cdot\text{km}^{-2}$,GDP 为 8834.9 亿元(占全国 GDP 的 15.1%),人均 GDP 1.1986 万元(相当于全国的 2.535 倍);1982—1993 年城市人口增加 50%

(余之祥, 1997)。因而长江三角洲是一个光、热、水充足, 经济发展并且城市人口密度大的地区。从气象卫星遥感观测到的地面(气)温度表明, 长江三角洲是一个由许多大中城市热岛组成的地区(国家卫星气象中心, 2001)。在此之前, Chen Longxun 等(2000)计算了长江三角洲地区 1961—1995 年气温的线性倾向, 发现长江三角洲地区年气温线性倾向均为正值, 而邻近地区为负值, 亦即长江三角洲在变暖, 而邻近地区相对变冷, 变暖区由一个个大中城市暖中心所组成, 表明长江三角洲地区相对于邻近地区是一个正在加强的区域性热岛, 这个大热岛由一些大中城市的小热岛组成。图 1.1.2 为年和季气温倾向值分布。对年气温线性倾向, 可以看到长

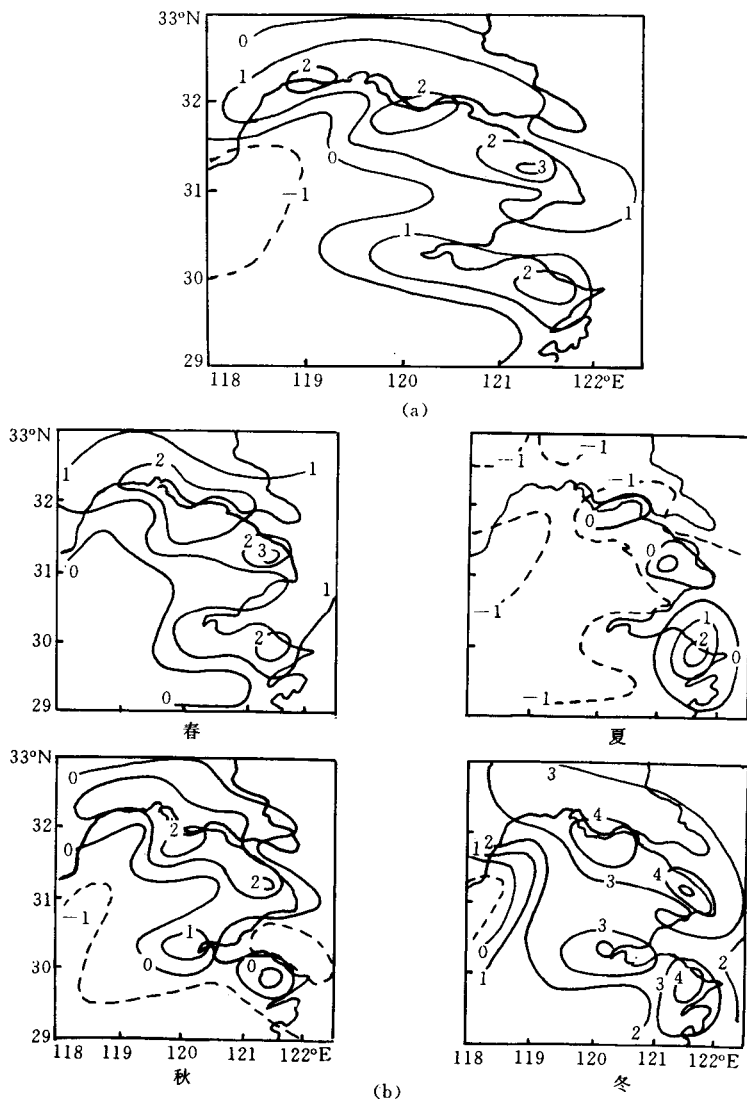


图 1.1.2 1961—1995 年气温和四季气温线性倾向值分布

实线为正值, 虚线为负值, 单位: $0.01^{\circ}\text{C} \cdot \text{a}^{-1}$; (a) 为年气温线性倾向值分布; (b) 为四季气温线性倾向值分布

江南北两侧以及浙江北部是正值区(气温正在增暖), 以测站密度可以分析出在这个变暖区内存在南京、常州、上海、杭州和宁波等小的变暖中心。与此相反, 邻近地区自 1961 年以来, 年气温线性变化是变冷的。因而长江三角洲地区相对邻近地区是一个由一些城市热岛组成的区域

热岛。由倾向值四季分布来看,要注意邻近的变冷地区都是小城市、山区或农村地区;区域热岛以冬季为最强,春、秋季其次,夏季最弱。例如:上海中心 35 年(1961—1995 年)中平均年增温 1.05°C , 冬季则增温 1.75°C 。夏季只剩下常州、上海和宁波三个小加暖中心,其余地区均为线性变冷区。

我们以图 1.1.2 中年气温线性倾向零值为界,做出正值区气温平均值和负值区气温平均值,把二个平均值之差值定义为长江三角洲热岛强度。图 1.1.3 为差值的年变化曲线,图中还作出年最高和最低气温差值年变化曲线。

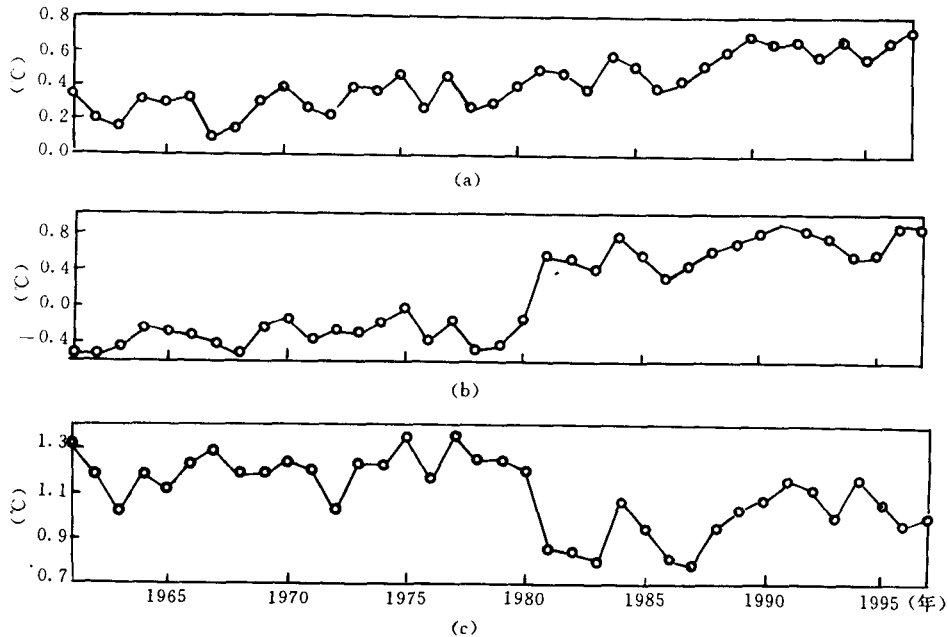


图 1.1.3 长江三角洲与其邻近地区年平均气温、年最高和最低气温差值的年变化曲线

(a) 为年平均气温差值; (b) 为年最高气温差值; (c) 为年最低气温差值(单位: $^{\circ}\text{C}$)

由图可见,对年气温差值(即本文定义的长江三角洲热岛强度指数),1961—1963 年强度减弱;1964—1966 年有弱上升并维持;1967 年突然减弱很大;1967—1970 年有回升;1970—1978 年维持在比 1965—1966 年略高的水平上;1978 年以后,热岛指数迅速增强,直到 1997 年。其中,1986 年以后为增强最迅速时期,这种变化与长江三角洲地区政治经济发展变化是一致的,1961—1963 年为中国经济发展三年困难时期,长江三角洲也是如此;1966—1968 年为“文化大革命”盛期,经济发展几乎停顿;1978 年以后为改革开放时期,其中 1986 年以后为改革开放后该地区经济发展最快时期。因而可以认为,长江三角洲区域热岛的强弱变化与社会经济发展有极为密切的关系。

1.1.2 长江三角洲区域热岛中各要素的气候变化特征

为了探讨长江三角洲区域热岛的气候变化形成机制,对 1961—1995 年间年和季平均最高气温、最低气温、土壤温度、降水、总云量、湿度、日照时数和能见度的线性倾向值进行分析,以下分别介绍。

图 1.1.4 为年和季最高气温($T_{\max}$)线性倾向分布,可以看到其分布和年、季气温线性倾向

分布大致一致,即对年分布,120°E 以东为正区,以西为负区。正区范围比年气温的正区要小,即最高气温 $T_{\max}$ 热岛加暖区域比年气温热岛加暖区要小。但可以看到, $T_{\max}$ 热岛仍是由常州、上海、宁波等城市的热岛变暖中心组成的。对 $T_{\max}$ 的四季倾向分布,其特征和气温倾向基本一致,即夏季 $T_{\max}$ 热岛区最小且最弱,只剩下常熟、上海和宁波几个孤立的小变暖中心,其它地区包括邻近地区均为负线性倾向区,即变冷区。冬季 $T_{\max}$ 热岛最强,长江三角洲均为变暖区,邻近地区只有其西南角有变冷。

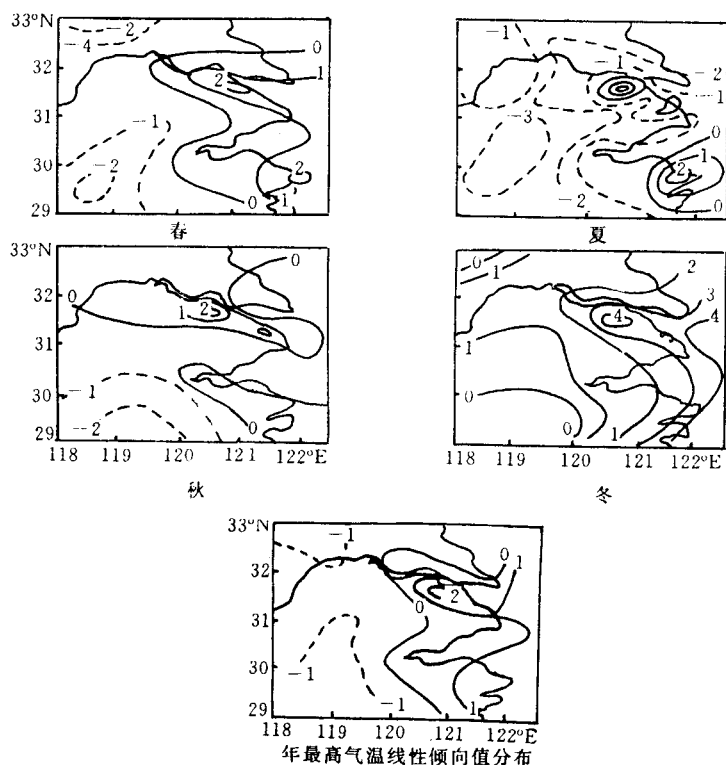


图 1.1.4 长江三角洲及其邻近地区年和四季最高气温线性倾向值分布(单位: $0.01^{\circ}\text{C} \cdot \text{a}^{-1}$)

图 1.1.5 为最低气温($T_{\min}$)线性倾向值分布。对年平均值,长江三角洲地区均为变暖区,并由常州、上海、杭州和宁波等几个城市的变暖中心组成,中心值几乎比最高气温倾向大一倍,邻近地区除个别站外,均为弱变暖区。对最低气温线性倾向的季节变化,我们看到冬季变暖最强,夏季则长江三角洲主要城市变暖,而邻近地区变冷,其分布与平均气温和最高气温一致。

图 1.1.3(b)和图 1.1.3(c)为长江三角洲和邻近地区年最高和最低气温差值年变化曲线。最高气温差值曲线表明,1978 年以前在 $-0.2 \sim 0.4^{\circ}\text{C}$ 间振荡;1979 年后迅速增加;1981 年变为正值;以后缓慢增加,1997 年达 0.81°C 。最低气温温差却与最高气温温差变化相反,1978 年前基本上在 1.2°C 上下振荡,但自 1979 年后迅速减小,维持在 $0.9 \sim 1.0^{\circ}\text{C}$ 上下振荡。四个季节的变化特征与年平均的变化相似,即最高气温的区域差值变化均与最低气温差值变化相反。1979 年前差值在 -0.4°C 附近振荡,表明长江三角洲地区最高气温低于邻近地区,但 1979 年以后差值迅速增加,1981 年已由负值变为正值,达到 0.58°C ,表明长江三角洲地区最高气温迅速增温并转变为暖于邻近地区。从以上分析可见,长江三角洲热岛强度增强主要发生在 1978 年“改革开放”以后,与改革地区经济发展密切相关,而热岛强度主要是由最高气温热岛强度增