

基于 Landsat-7 ETM+影像的上海市植被覆盖研究

彭永明¹, 孟飞²

5 (1. 华东师范大学地理信息科学教育部重点实验室, 上海 200241;
2. 山东建筑大学土木工程学院, 济南 250101)

摘要: 植被覆盖度是植被群落覆盖地表状况的一个综合量化指标。研究植被覆盖度的估算及其变化, 对生态系统环境变化起重要作用。本文介绍了 NDVI 指数及植被覆盖度遥感监测的基本方法, 以上海市为例, 利用多时相 ETM+ 遥感影像, 提取影像 NDVI 值, 建立模型反演
10 得到植被覆盖度, 进而分析其变化特征及导致其变化的因素。研究发现上海市的植被覆盖度的影响因素主要是经济发展水平, 人口数量, 土地利用状况等人为因素, 降水量、平均温度等自然因素对其影响很小。

关键词: 遥感; ETM+影像; NDVI; 植被覆盖度; 上海市

中图分类号: K909

STUDY ON VEGETATION COVERAGE IN SHANGHAI BY LANDSAT-7 ETM+ IMAGES

PENG Yongming¹, MENG Fei²

20 (1. Key Laboratory of Geographical Information Science, Ministry of State Education of
China, East China Normal University, Shanghai 200241;

2. School of civil engineering, Shandong Jianzhu University, Jinan 250101)

Abstract: Vegetation coverage is a comprehensive quantitative index which describes the earth's surface situation covered by vegetation communities. The estimation and change of vegetation coverage is important in the study of ecological system. This paper introduces the concept of
25 NDVI and the basic method of measuring vegetation coverage. Taking Shanghai as an example, NDVI and vegetation coverage of the year 2009 and 2000 are calculated based on an estimation model. Then, the dynamic characteristics of vegetation coverage and its agents are being discussed. At last, studies have found that the main influence factors of vegetation coverage in Shanghai is man-made factors, the economic development level, population, land use condition
30 and so on, the influence of natural factors such as precipitation, average temperature is very smaller.

Keywords: Remote Sensing; ETM+ Image; NDVI; vegetation coverage; Shanghai

0 引言

35 上海市是我国经济发展最迅速、人口最集中且城市化程度最高的地区, 具有非常重要的区位优势和发展潜力。近年来, 随着产业扩散与城市圈效应, 小城镇经济和城镇建设发展迅速。但在城市化进程中, 因破坏人口、资源及环境之间的平衡关系, 人口爆炸式增长、资源短缺、植被破坏、环境污染等问题不断涌现。城市植被作为城市生态系统的重要组成部分, 对城市化进程中生态环境的变化具有指示作用。上海市植被覆盖的研究对于上海市的能量循环、生物化学循环、水循环以及区域气候变化研究有重要意义, 是影响上海市生态环境的重要因子。同时, 定量分析及季节性、周期性、年际变化的研究对揭示地表空间变化规律, 探

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41271413)

作者简介: 彭永明, (1987-), 男, 华东师范大学硕士研究生, 研究方向是地理计算, GIS 开发, 遥感反演等。

通信联系人: 孟飞, (1974-), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向为土地利用/覆盖变化及其环境效应。
E-mail: lzhmf@163.com

讨变化的动因具有重要的现实意义。

国内外学者使用遥感技术对植被覆盖度和植被指数做了大量的研究。Silva 等利用两景 ETM/Landsat7 图像和其他的辅助数据,采用变化矢量分析的方法探测了巴西的亚马逊河附近因滥伐导致的土地利用和植被覆盖发生了变化,并计算出了变化强度^[1]。Mulle 曾描述了植被覆盖度地面测量的一般方法^[2]; Dymond 等使用栅格点采样法测量了草地的植被覆盖度^[3]; Purevdo 巧等使用彩色数码相机得到数字图像,通过计算图像中绿色像元数来测量植被覆盖度^[4]。孙红雨等人利用 1985~1990 年连续 69 个月的 NOAA 时间序列数据,进行了中国植被指数的季相推移研究,并结合同期的月均气温、降水数据,进行了植被覆盖变化的气候因子的驱动分析,指出植被指数在大范围上受水热条件驱动,在中国东部湿润区,受热量条件影响^[5]。陈晋等首先从遥感资料中提取 1975, 1991 和 1997 年北京市海淀区的植被覆盖度,并在此基础上,求得研究区不同植被覆盖等级的变化转移矩阵,分析了海淀区 22 年来植被覆盖等级变化的空间过程 and 变化趋势^[6]。

本文首先根据植被覆盖度定义分析研究植被覆盖度的意义,运用遥感技术监测植被覆盖度具有的优势,进而叙述植被覆盖度监测的方法。基于 RS 与 GIS 技术,以及已经发展较为成熟的植被覆盖度监测方法,选择 NDVI 植被指数,建立上海市植被覆盖度监测模型。本文使用 Landsat7 ETM+ 影像,针对上海市 2000 年和 2009 年的遥感影像数据,对其植被覆盖度进行计算。最后分析变化特征,揭示驱动上海市植被覆盖变化的可能因子,为今后在植被覆盖总量不可避免地不断减少的情况下尽量避免植被严重破坏提供策略。

60 1 植被指数

植被覆盖度是指植被(包括叶、茎、枝)在地面的垂直投影面积占统计区总面积的百分比^[7-8]。监测植被覆盖度时,是通过建立遥感数据与植被覆盖度之间的关系来实现的。遥感数据包括遥感数据的光谱信息(波段或是波段的组合)或者是根据光谱信息计算出的植被指数。其中,最常用使用的还是植被指数,而植被指数实际上也是某种特定的波段组合^[7-8]。

65 植被指数(Vegetation Index),又称光谱植被指数,是航天遥应用于对地观测而提出的专业术语,是指由遥感传感器获取的多光谱数据,经线性和非线性组合而构成的对植被有一定指示意义的各种数值^[7-8]。植被指数是根据植被反射波段的特性计算出来的反映地表植被生长状况、覆盖情况、生物量和植被种植特征的间接指标。

常用的植被指数有:归一化差异植被指数 NDVI,垂直植被指数 PVI,绿度植被指数 GVI,比值植被指数 RVI 等。

NDVI 植被指数即归一化植被指数,其计算公式为:

$$NDVI=(NIR-R)/(NIR+R) \quad (1)$$

其中: NIR 为近红外波段, R 为红光波段。

75 $-1 \leq NDVI \leq 1$, 负值表示地面覆盖为冰、水、雪等,对可见光高反射; 0 表示有岩石或裸土等, NIR 和 R 近似相等; 正值表示有植被覆盖,且随覆盖度增大而增大。

NDVI 在使用遥感图像进行植被研究以及植物物候研究中得到广泛应用,它是植物生长状态以及植被空间分布密度的最佳指示因子,与植被分布密度呈线性相关。NDVI 对土壤背景的变化较为敏感,是单位像元内的植被类型、覆盖形态、生长状况等的综合反映,其大小取决于植被覆盖度和叶面积指数等要素,从而可以用 NDVI 来估算植被覆盖度和叶面积指数。

2 上海市植被覆盖研究

2.1 研究区概况

上海市位于东经 120° 51' 至 122° 12'，北纬 30° 40' 至 31° 53' 之间，地处太平洋西岸，亚洲大陆东沿，长江三角洲冲积平原前缘，交通便利，腹地广阔，地理位置优越，是一个良好的江海港口。上海属北亚热带季风性气候，雨热同期，日照充分，雨量充沛。上海气候温和湿润，春秋较短，冬夏较长。2008 年末，上海全市土地面积为 6340.5 平方公里，南北长约 120 公里，东西宽约 100 公里。上海地区河湖众多，水网密布，大多属黄浦江水系，主要有黄浦江及其支流苏州河、川扬河、淀浦河等。上海境内除西南部有少数丘陵山脉外，为坦荡低平的平原，是长江三角洲冲积平原的一部分，平均海拔高度 4 米左右，陆地地势总体呈现由东向西低微倾斜。上海市是中国第一大城市，中国大陆的经济、金融、贸易和航运中心。2008 年末，全市常住人口 1888.46 万人，其中外来常住人口 517.42 万人。全市按常住人口计算的人口密度为每平方公里 2978 人。



图 1 上海市行政区划图
Figure1. Administrative Map of Shanghai

2.2 数据获取

本文采集了上海市 2009 年 5 月 22 日、2000 年 6 月 14 日遥感 Landsat7 ETM+影像各两景，数据来源为中国科学院国际科学数据镜像。根据上海市的经、纬度及 Landsat7 的轨道信息，对每一时间确定选取条带 118 号，行号分别为 38、39 号的两幅影像，以备后续拼接处理。其中 2009 年影像经过多影像局部自适应回归分析模型修复。国家基础地理信息系统下载 1:400 万国界与省界 E00 格式数据，此格式为 ArcGIS 空间数据交换格式，需进一步转

105 换为 Shape 格式文件。全国 1:10 万土地利用数据；2009 年与 2000 年上海统计年鉴(含气候指标、人口、城市建设、工农业、交通运输、房地产等各方面统计数据)。

2.3 数据处理

110 由于原始数据为多个单波段 GeoTIFF 格式数据，需使用 Import/Export 功能将其导入为 Img 格式。然后单击 Main | Interpreter | Utilities | Layer Stack 命令，将第 4、第 3、第 2 波段依次加入，进行合成。这种合成为标准假彩色合成，即 4、3、2 波段分别赋予红、绿、蓝色，获得图像植被成红色，城镇为蓝灰色，水体为蓝色，由于突出表现了植被的特征，应用十分广泛。

115 遥感影像还需要辐射纠正和几何纠正。在 ERDAS IMAGINE9.2 中选择多项式模型 (Polynomial)，它根据多项式的阶数，选取足够数量的控制点，建立影像坐标与地面坐标的关系式，一般多用三次以下的低阶多项式。控制点的选择应选择易分辨且较精细的特征点，特征变化大的地区应多选，一定选取图像边缘部分，而且尽可能满幅均匀选取。最后使用 Geo Link/Unlink 功能，打开查询光标进行目视定性检查。

120 由于上海市跨越两幅标准影像，因此需对每一日期的条带 118 号，行号分别为 38、39 号的两幅影像进行拼接。运用 Main | Data Preparation | Mosaic Images | Mosaic Tools 命令，选择需拼接的图像，由于只有两幅图像，其重叠区时固定的，无需进行叠置组合的设置。确定组合后进行色彩校正，使用直方图匹配的方法，即利用叠加区直方图进行逐波段灰度调整，然后选择叠加方法为无剪切线，重叠区像元灰度值计算为均值，最后进行拼接。拼接的过程如图 2：

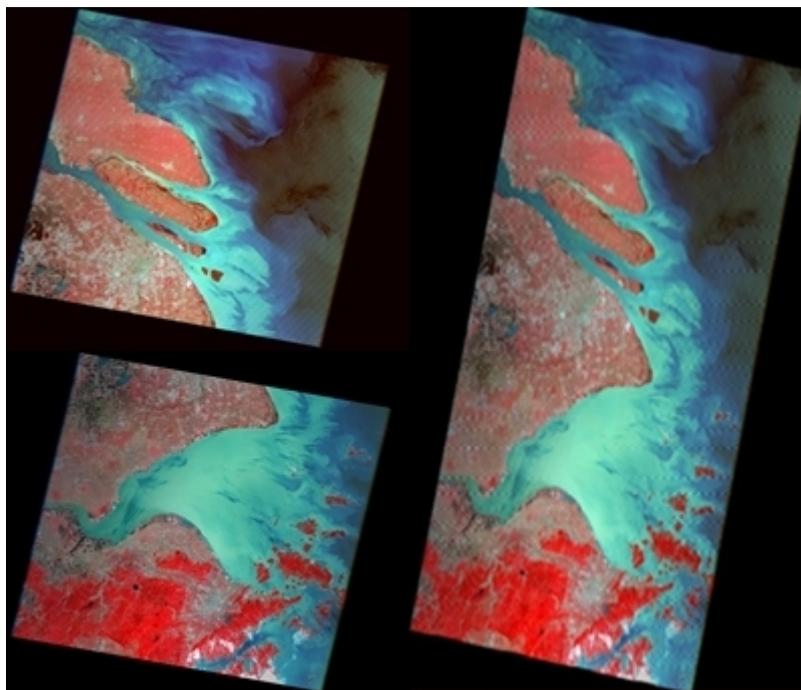


图 2 拼接过程

Figure2. Image Mosaic of Shanghai

125 在 ArcGIS 中使用 Spatial Analyst Tools | Extraction | Extract By Attribute 功能，根据行政区名称属性将上海市提取出来。由于提取出的上海市 Shape 文件没有定义投影系统，需要对其进行投影定义，利用 Data Management Tools | Projections and Transformations 功能，结合
130 实际情况选择北京 1954 高斯 3 度分带投影坐标系统，带号为 40。

2.4 上海市植被覆盖度的估算

将上海市 Shape 文件作为模板，运用 Spatial Analyst Tools | Extraction | Extract By Mask 对影像进行切割，切割后的影像如图 3:

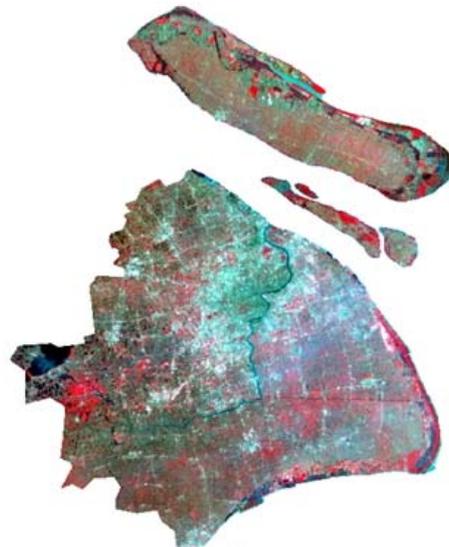


图:3 影像切割

Figure3. Extraction of Shanghai

135

尽管 ERDAS IMAGINE 中提供了计算 NDVI 指数的功能，即 Interpreter | Spectral Enhancement | Indices，但当 NIR+R 的值为零时，直接采用公式(1)会产生错误，因此利用 ERDAS IMAGINE 中的 Modeler 模块，对影像波段值采取逻辑判断，建立 NDVI 指数提取模型，模型如图,4:

140

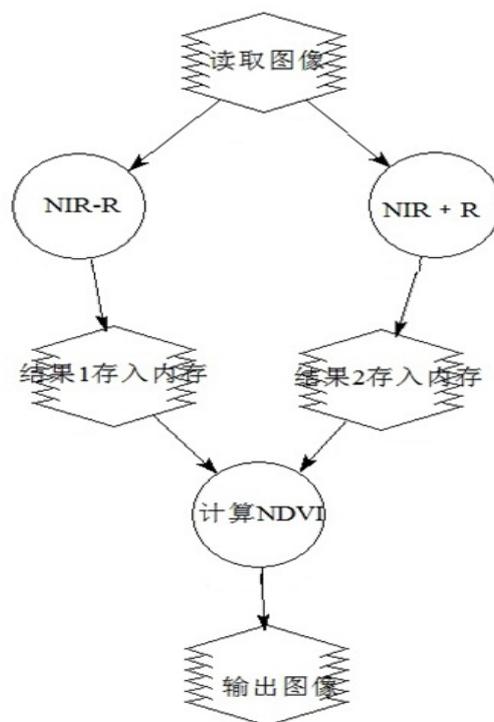


图 4 NDVI 提取模型

Figure4.Calculation Model of NDVI

145

计算 NDVI 的算法为:

EITHER 0 IF (\$n1_memory= =0) OR (\$n2_memory/\$n1_memory) OTHERWISE

其中, \$n1_memory 为近红外波段+红光波段生成的内存文件, \$n2_memory 为近红外波段-红光波段生成的内存文件。此语句所实现的功能是: 如果近红外波段+红光波段得值为零, 则此点值为零; 否则进行 \$n2_memory/\$n1_memory 运算。

计算得到的 2009 年与 2000 年 NDVI 影像如图 5:



图5 2009年(左)和2000年(右)的NDVI影像
Figure5 NDVI of 2009 (left) and 2000 (right)

利用 NDVI 植被指数计算覆盖度的公式为:

$$f1=(NDVI-NDVI_s)/(NDVI_v-NDVI_s) \tag{2}$$

$$f2=(NDVI-NDVI_{min})/(NDVI_{max}-NDVI_{min}) \tag{3}$$

其中 NDVI 为所求地块的植被指数; NDVI_s、NDVI_v 分别为纯土壤和纯植被的植被指数; NDVI_{min}、NDVI_{max} 分别为研究区内 NDVI 的最小、最大值。计算得到的 2009 年与 2000 年植被覆盖度影像如图 6:

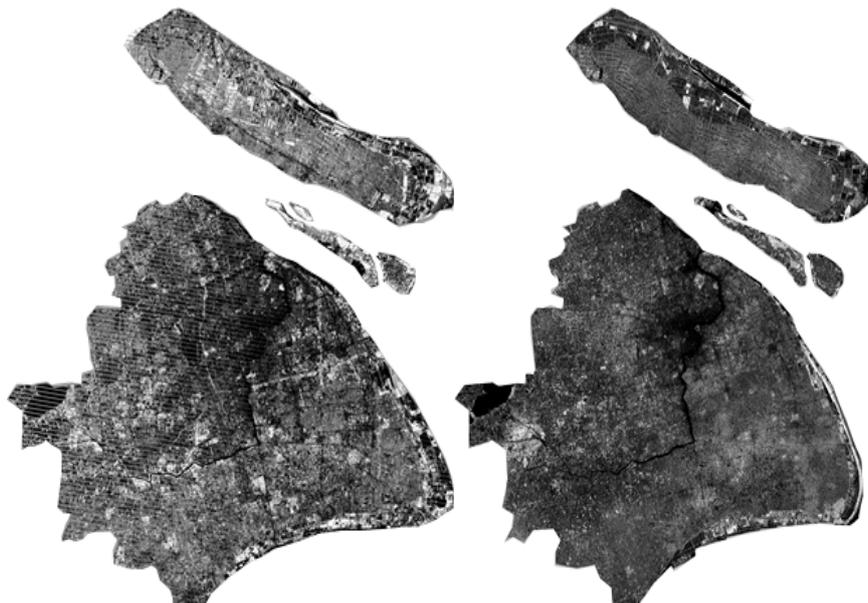


图6 2009年(左)和2000年(右)植被覆盖度
Figure 6 Vegetation Coverage of 2009 (left) and 2000 (right)

165 植被覆盖度常使用四等分级表示，其等级划分的主要依据是研究区植被的基本特征，充分考虑遥感图像的可解译程度以及其在土地沙漠化强度、水土流失强度划分时的阈值条件，等级设置为四级：

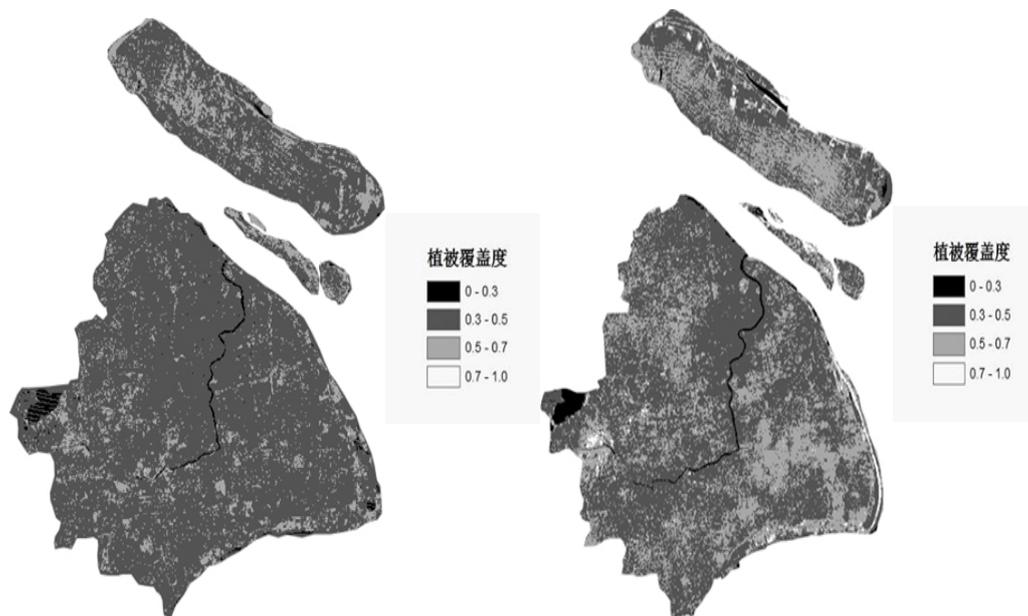
1级：植被覆盖度小于 30%，包括未利用土地、裸岩、裸土、疏林地、水体和居民点，属低覆盖度。

170 2级：植被覆盖度 30%~50%，包括低产水田、经济作物，属中覆盖度。

3级：植被覆盖度 50~70%，包括中高产水田、林地、公共绿地等植被，为中高覆盖度。

4级：植被覆盖度 70%以上，高产水田、密林地，属优等植被覆盖。

采用上述四级表示法对上海市植被覆盖度图像进行分级显示如图 7，这对掌握水土流失的发生、发展过程以及植被覆盖度的空间分布格局提供了数据。



175

图 7 2009 年（左）和 2000 年（右）植被覆盖度分级图

Figure7 Classification of Vegetation Coverage in 2009 (left) and 2000 (right)

3 结果及分析

180 从以上植被覆盖度分级图可看到，无论是上海市中心城区还是其余郊区，植被覆盖情况在近 10 年间发生了明显退化。而且这种趋势在郊区地区最为突出：优等覆盖几乎消失；高等覆盖面积急剧减少，并向中等覆盖转化；中等覆盖面积迅速增加，成为主要的植被覆盖模式；低等覆盖变化微小。

185 植被覆盖变化是多种驱动力共同作用的结果，包括自然因素和人为因素。人为因素的影响是在自然环境因素的大背景下起作用的，同时两者相互联系，共同作用。本文将进一步从自然因素和人为因素考虑，验证上海市的植被覆盖度的影响因素。

3.1 自然因素的影响

190 自然因素是引起土地覆被发生变化的主要生物物理因素。影响土地覆被发生变化的，自然因子有很多，主要有气候条件、地形地貌、水文及土壤条件。就一个固定的区域而言，其地形地貌、土壤条件是相对稳定的因素，因此，气候变化被认为是引发地表覆盖变化的主要原因之一。气候因子中气温和降水是主要的影响因子，也是植物种类及其分布、生长的主要影响因子。

(1) 降水量

一般地,南方的降水量对植物的生长而言已相对充足,过多的降水便意味着云量的增多,入射辐射量的减少,同时土壤湿度的增加也会使植物的光合作用能力降低,对植物的生长产生不利的影响,反映在 NDVI 上就是其值降低。因此降水量通过影响 NDVI 值的变化影响植被覆盖度的估算。根据上海基本气候情况统计表,5月、6月份平均降水量分别为 85.2 毫米和 211.6 毫米。由此可知,2000 年 6 月的影像数据受当年 6 月份平均降水量大的影响,植被覆盖情况应稍逊于与同年 5 月。2009 年 5 月的影像中,植被处于较好的水利条件下,植被覆盖情况却显著退化。上海市平均降雨量(单位:毫米)如图 8 所示。

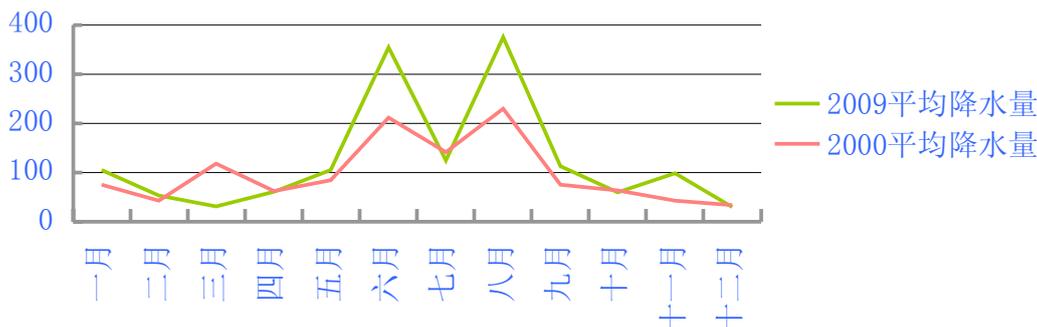


图 8 上海市平均降水量
Figure8. Average Rainfall of Shanghai

(2) 温度

上海市处于我国南方地区,降水较为充沛,水分不是植被生长的主要限制因子,因此温度的上升在一定程度上有利于植物的生长:延长生长季节,提高光合作用效率和水分利用率。上海 5 月、6 月份平均温度为 20.3° 和 23.8°, 均处于植物生长的适宜温度范围内。

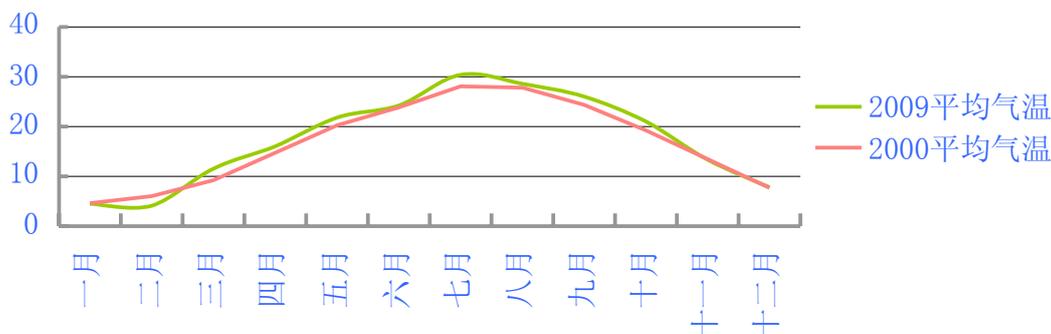


图 9 上海市平均气温
Figure9. Average Temperatures of Shanghai

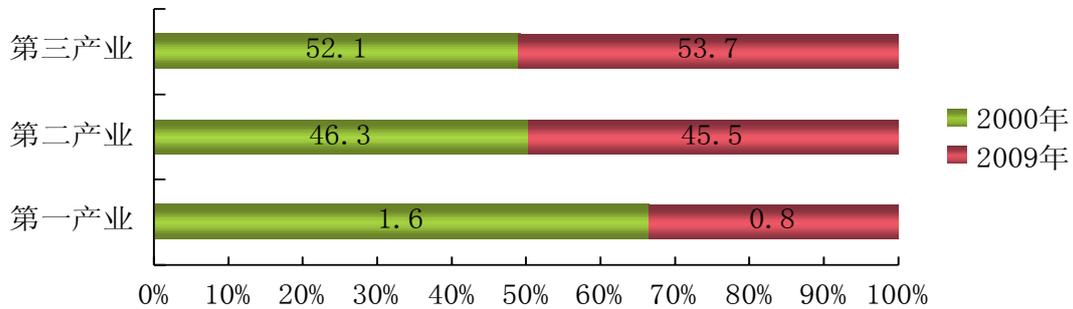
由以上分析可知,降水量和平均温度等自然因素对上海市的植被覆盖度影响较小,不可作为其影响因素。

3.2 人为因素的影响

(1) 经济发展

经济因素是上海市植被覆盖变化的直接驱动力。从产业结构方面来看(见图 10),第一产业、第二产业对国民生产总值的贡献率明显下降,第三产业贡献率显著增加。一方面农业从业人口数由 2000 年的 81.45 万降至 2009 年的 47.52 万,另一方面耕地面积由 2000 年的

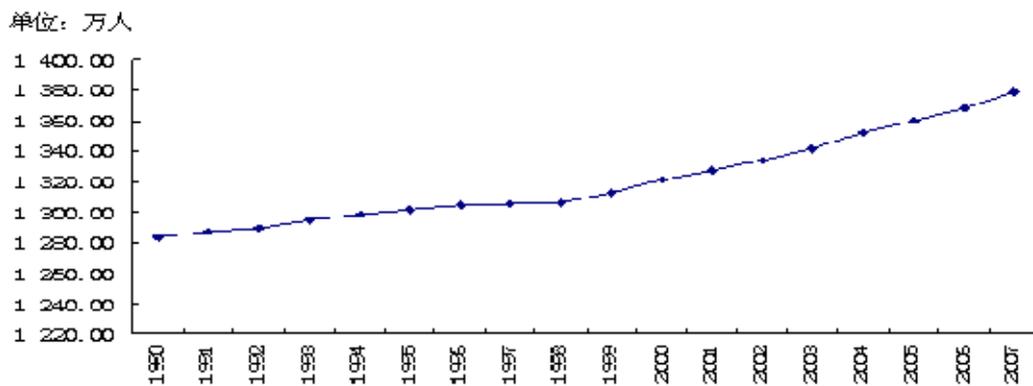
220 28.59 万公顷减至 2009 年的 20.50 万公顷。第二产业更多地向上海市郊迁移。第三产业带来的人口组成结构的变化和服务配套设施（各种固定资产）的建设同样是造成植被覆盖变化的因素，例如：上海市全社会固定资产投资总额由 2000 年的 1869.67 亿元猛增至 2009 年的 4829.45 亿元。土地是固定资产的重要组分，住宅的兴建直接影响地表植被覆盖情况。



225 图 10. 上海市生产总值构成变化
Figure10. Change of GDP Constituent

(2) 人口

230 人口持续增长是诱发环境、资源危机的主导因素。人口的激增使土地资源受到的压力愈来愈大，开垦耕地与建筑房屋供给增加，森林面积急剧减少。而且人均资源消费水平的下降，人类活动与资源、生态的矛盾日益突出。同时，植被覆盖变化程度在一定程度上反映了人类活动强度。从上海市 1990~2007 年人口变化曲线趋势来看（见图 11），近二十几年来总人口数量逐渐增加。



235 图 11 上海市户籍人口增长情况
Figure11. Population Growth of Shanghai

240 与此同时，伴随着两种现象：一是中心城区部分人口向郊区扩散，二是郊区城镇人口增长，数据见表 1。受中心城区的辐射和带动，郊区经济越来越发达，发展较快，具体体现在中心城的不断拓展和行政区的调整，如 2009 年南汇区并入浦东新区。中心城区人口的郊迁扩散和农村人口的转移积聚是郊区人口增长的主要来源。郊区城镇人口的增加，对近 10 年间上海郊区地区植被覆盖变化影响显著。

表 1 上海市人口密度变化
Table1. Change of Population Density

地区	人口密度(人/平方公里)		人口密度变化(人/平方公里)
	2000 年	2009 年	2000~2009 年
中心城核心区	51400	43208	-8192
中心城边缘区	15338	17209	+1871
近郊区	1741	1962	+221
远郊区	807	780	-27

245 (3) 土地利用

社会经济的发展一直以来都是推动城市空间扩展的主要动力。经济发展的速度不仅决定了城区扩展的速度，而且决定了城市空间扩展形式的更替。

250 植被覆盖减少的区域一般主要对应城镇和工业用地的拓展区，特别是在郊区。随着上海郊区城市化进程加快，各大工业园、卫星城蓬勃发展，土地利用类型发生了很大变化，即主要是耕地向城镇和工业用地转化，这是导致郊区地面植被覆盖度锐减的直接原因。市区植被覆盖面积虽然减少，但是变化并不明显，这与政府重视中心城区环境绿化是分不开的，陆家嘴绿地、长风公园、中山公园等大型开放式绿地的建设对于保持市内植被覆盖度和生态环境的健康起着不可忽视的作用。

4 结论

255 由植被覆盖度分级图可见上海市中心城区及其其余郊区，植被覆盖情况在近 10 年间发生了明显退化，而且这种趋势在郊区地区最为突出，郊区的优等覆盖几乎消失；高等覆盖面积急剧减少，并向中等覆盖转化；中等覆盖面积迅速增加，成为主要的植被覆盖模式；低等覆盖变化微小。

260 由以上研究表明，上海市植被覆盖度的影响因素主要是人为因素，包括经济的发展水平，人口数量，人口由城区到郊区的扩张，土地利用的状况等，像降水量、平均气温等自然因素对上海的植被覆盖度影响较小。因此，要想不让上海市的植被覆盖度下降，或者减少植被覆盖度的下降，应该主要从人的因素来考虑，比如可以采取适当控制人口数量，科学利用土地等。

265 人为因素在植被覆盖变化中起着主导作用。人类通过改变土地利用/土地覆盖的类型与结构来满足自身生存和发展的需要，人的生存和发展离不开环境，但环境为人类提供的物质基础是有限的，自然环境承受人类发展的平衡能力是有限的。如若不加控制地任意而为，一定导致环境恶化和引起一系列环境问题，进而威胁人类的生存和发展。

[参考文献] (References)

- 270 [1] Silva P G, Santos J R, Shimabukuro Y E, et al. Change vector analysis technique to monitor selective logging activities in Amazon[C]//Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2003. IGARSS'03. Proceedings. 2003 IEEE International. IEEE, 2003, 4: 2580-2582.
- [2] Muller-Dombois D, Ellenberg H. Aims and Methods of Vegetation Ecology. New York, Wiley, 1974
- 275 [3] Dymond J R, Stepens P R, Newsome P Fetal. Percent vegetation cover of a degrading rangeland from SPOT. International Journal of Remote Sensing, 1992
- [4] Purevdor JTS, Tateishi R, Ishiyama T, et al. Relationships between percent vegetation cover and vegetation indices. International Journal of Remote Sensing, 1998
- [5] 孙红雨, 王常耀, 牛铮等. 中国地表植被覆盖度变化及其与气候因子关系. 遥感学报, 1998
- [6] 陈晋, 陈云浩, 何春阳等. 基于土地覆盖分类的植被覆盖率估算亚像元模型与应用. 遥感学报, 2001
- 280 [7] 赵英时. 遥感应用分析原理与方法. 北京: 科学出版社, 2003
- [8] 梅安新. 遥感导论. 北京: 高等教育出版社, 2007