

用 MODIS 植被指数研究福州城区 空间扩展变化

张春桂

(福建省气象科学研究所, 福州 350001)

提 要: 城区空间的扩展变化对人居环境产生的影响越来越受到人们的关注。利用 2001—2005 年美国 EOS 卫星的 MODIS 遥感资料, 以福州市为示范区, 逐年计算能反映城区植被覆盖变化的比值植被指数、差值植被指数、归一化植被指数和植被覆盖度, 在地理信息系统 (GIS) 和全球定位系统 (GPS) 的辅助下, 对福州市各种植被指数的年际动态变化过程进行了研究, 并在此基础上对福州市的城区空间扩展变化情况进行遥感动态监测, 同时结合社会经济统计数据加以分析。结果表明: 福州市从 2001 年到 2005 年, 城区空间扩展约 29km^2 , 每年平均扩展约 7.3km^2 , 与实际情况一致。利用 MODIS 资料能准确地监测城区空间扩展变化面积的大小。

关键词: MODIS 植被指数 城区空间 扩展变化

Using MODIS Vegetation Index to Study Urban Expansion and Change

Zhang Chungui

(Fujian Province Meteorological Institute, Fuzhou 350001)

Abstract: It has been more and more noticed by people that the urban expansion and change impact urban environments. Take Fuzhou City as a demonstration case, the RVI, DVI, NDVI and VCI, which indicate urban vegetation coverage change, are calculated every year by using MODIS data of EOS satellite during 2001—2005. With the help of GIS and GPS, the interannual dynamic changes of different vegetation index in Fuzhou are researched, and

资助项目: 中国气象局项目 (CMATG2005M35) “MODIS 资料在福建省陆海环境监测中的应用” 资助。

收稿日期: 2006 年 1 月 26 日; 修定稿日期: 2006 年 5 月 7 日

urban expansion and change in Fuzhou are monitored based on MODIS data. At the same time, the research results are analyzed with socio-economic data. The results show that the urban expansion areas in Fuzhou have increased by about 29km² between 2001 and 2005, about 7.3km² each year. The above results are credible in comparison with the real situation. The urban expansion areas can be monitored correctly by using MODIS data.

Key Words: MODIS vegetation index urban expansion and change

引 言

城市空间扩展变化的大小是衡量城市化进程水平的主要指标, 城市发展造成的城市热岛效应也引起人们的关注^[1,2]。从 1990 年代中期以来, 基于卫星遥感技术的城市扩展变化动态监测研究开展了不少, 戴昌达^[3]应用 TM 图像, 通过各种图像处理, 直接获得北京市 8 年间城镇建设用地动态变化图像。黎夏^[4]利用 TM 图像和通过熵的计算有效地监测了珠江三角洲的城市扩张过程。史培军^[5]利用 MSS 和 TM 资料编制了深圳市土地利用覆盖图, 并分析了土地利用变化的时空分布规律。房世波^[6]利用了 TM 多光谱影像和 SPOT 全色光影像, 对南京市城镇用地扩展进行了动态监测。徐涵秋^[7]利用 TM 和 SPOT 影像并结合 GIS 技术提取了福清市 1991 年和 1996 年的城镇用地信息, 并发现在这 5 年中福清市城镇用地面积增加了 1.2 倍。祝善友^[8]以不同时相的 TM 和中巴卫星影像进行数据融合, 提取与城市扩展动态变化有关的参数因子。胡伟平^[9]利用 TM 资料在 GIS 支持下对 1988—1998 年间珠江三角洲城镇建筑覆盖变化特征进行了分析。马荣华^[10]以 ETM 影像为数据源, 分析了常熟市建设用地的时空特征。

可以看出, 在利用卫星遥感动态监测城市扩展变化时, 总体上是以 MSS、TM、ETM、SPOT、中巴卫星影像为数据源, 其实早期用于城市遥感研究的主要是航空像

片, 但由于其飞行代价高且无周期性无法满足要求, 而 AVHRR 数据源虽然成像周期性好, 但空间分辨率太低, 同样无法满足要求。但必须注意的是, ETM、SPOT 以及分辨率更高的 IKONOS、QUICKBIRD 卫星影像, 由于资料接收、预处理、订购等一系列问题造成了数据一定的滞后性, 这与当今社会对信息的快速需求显得有些不足。

美国 EOS 卫星上搭载的中分辨率成像光谱仪 MODIS 具有周期性和质量的连续性, 有 36 个探测通道, 空间分辨率可达 250m, 越来越受到人们的关注, 已经在森林火灾等自然灾害监测中得到很好的应用^[11,12]。唐俊梅^[13]利用 MODIS 影像在宏观上准确地解译出松嫩平原土地利用方式, 刘勇洪^[14]提出了利用 MODIS 数据进行宏观土地覆盖分类, 其研究表明仅利用 MODIS 遥感自身信息对宏观土地覆盖分类就可达到较高的精度。但直至今日, 利用 MODIS 遥感资料开展城市扩展动态监测和城市化进程研究的文献还很少见。

福州市地处中国沿海前线, 由于历史的原因, 工业基础弱, 城市规模小。但随着经济的发展和外来人口的增长, 土地覆盖类型和土地利用方式也有了很大的改变, 尤其是城乡结合部, 耕地绿地不断减少。虽然 MODIS 资料是新的遥感数据源, 但目前已积累了 5 年的数据, 基本能满足动态变化监测的需要, 本文正是基于这种想法, 尝试利用 MODIS 数据来对福州市的城区空间扩展变化进行动态研究。

1 MODIS 资料及其预处理

1.1 研究区概况

福州市地处福建省东部闽江下游,总面积 12153km²,其中市区面积 1043km²,境内地势自西北向南倾斜,地貌属典型的河口盆地,城区位于盆地中央,闽江穿城而过,形成“枕山、面海、襟江”的山水格局。福州植被类型比较复杂,包括常绿阔叶林、针叶林、竹林、灌丛、草丛等。研究区地理位置位于 25.93°~26.44°N, 119.15°~119.57°E。本研究主要针对福州市主要城区,不包含琅岐镇。

1.2 资料来源与预处理

本研究以 EOS/MODIS 卫星数据作为遥感信息源,其中 2001—2003 年的 MODIS 资料来源于国家卫星气象中心,2004—2005 年的 MODIS 资料来源于福建省气象科学研究所卫星接收站实时接收。MODIS 卫星数据接收系统将实时接收的卫星信号经解调、解码后生成 L0 级数据文件(PDS 格式),再经过解包与归整、地理定位、多通道定标校正,生成 L1B 级数据文件(HDF 格式),同时从 36 个探测通道中拆出 250m 和 500m 分辨率通道数据和地理信息数据,将 500m 分辨率数据插值成 250m 分辨率并进行等经纬度投影,生成福州市区域的局地数据集。卫星数据预理由国家卫星气象中心提供的 ShineTek 软件包完成。

虽然在预处理中已进行高精度地理定位,但不同时间接收的 MODIS 数据还存在有一定程度的地理偏差,为了保证不同时相同一地理位置的卫星数据能严格配准,利用 ENVI3.4 软件对不同时相的图像进行进一步的地理精校正。

2 MODIS 植被指数

2.1 植被指数

植被指数是根据植被在红光波段和近红外波段对太阳辐射具有不同的反射、吸收的机理,通过对红光波段和近红外波段的线性或非线性组合而定义的一种数学表达式。植被在红光波段由于叶绿素的强吸收作用,其反射率低,而在近红外波段则由于叶片的强反射作用,其反射率较高,因此,植被指数能够定量地反映出植被的相关信息。最早的一种植被指数,是比值植被指数^[15]:

$$RVI = \frac{[X_{nir}]}{[X_{red}]}$$

其中 X_{nir} 和 X_{red} 分别是近红外波段和红光波段的反射率,对于 MODIS 数据来说,分别对应于 CH2 波段(0.841 μ m~0.876 μ m)和 CH1 波段(0.62 μ m~0.67 μ m)。后来有人提出了差值植被指数和归一化植被指数^[16]:

$$DVI = [X_{nir} - X_{red}]$$

$$NDVI = \frac{[X_{nir} - X_{red}]}{[X_{nir} + X_{red}]}$$

为了同时校正土壤和大气的影 响, Liu 和 Huete 通过参数构建了增强型植被指数^[17]:

$$EVI = G \times \frac{X_{nir} - X_{red}}{[X_{nir} + C_1 X_{red} - C_2 X_{blue} + L]}$$

其中 X_{blue} 为蓝色光波段反射率,对应于 MODIS 数据的 CH3 波段(0.459 μ m~0.479 μ m)。 C_1 为大气修正红光校正系数,其值一般取 6, C_2 为大气修正蓝光校正系数,一般取 7.5。 L 为树冠背景亮度校正系数,其值一般取 1, G 为增强因子,本研究取 1。

此外,植被覆盖度在宏观土地利用动态变化监测中也常常被采用,植被覆盖度是指

植被垂直投影在地面上的面积占单位面积的比例。植被覆盖度的遥感估算方法很多^[18], 本研究采用陈云浩提出的计算模型^[19]:

$$VCI = \frac{[NDVI - NDVI_{\min}]}{[NDVI_{\max} - NDVI_{\min}]}$$

式中, $NDVI_{\min}$ 和 $NDVI_{\max}$ 分别为研究区的最小值和最大值归一化植被指数。

2.2 MODIS 植被指数的特点

与 AVHRR 植被指数相比, MODIS 植被指数具有以下特点^[20,21]: 第一, MODIS 具有较高的空间分辨率, 有两个通道分辨率为 250m, 可反映详细的地表植被特征。第二, 红光和近红外探测波段更窄, 红光对叶绿素的吸收更敏感, 增强对植被的敏感度, 提高了对稀疏植被探测能力, 近红外避开了水汽吸收带, 可有效减少水汽的影响, 同时, MODIS 设有蓝光段波 (CH3), 用于大气气溶胶修正, 并设有绿光段波 (CH4), 用于解决高密度植被的饱和问题。第三, MODIS 带有 3 个在轨定标器用于太阳反射波段的定标, 可以提供高精度的定标结果, 由定标不确定性导致的植被指数的最大不确定性约为 2.5%, 可见 MODIS 能更稳定地反映植被状况。第四, 根据 MODIS 辐射仪的特点, 可以较为准确地计算增强型植被指数 EVI, 许多研究表明该指标通过订正地表反射率和减少大气气溶胶影响, 大大消除了地形和群落结构的阴影影响, 以提高对植被监测的敏感性和准确性。但不同区域下背景调节参数和大气修正参数的确定尚待研究, 本研究采用上述缺省的参数值来计算 EVI。

3 福州市植被指数年际变化特征

从 2001—2005 年的 MODIS 资料中每

月选择福州市晴空资料一景 (其中 2001 年 6 月和 2002 年 1 月缺资料), 共 58 景。由于涉及到多时相植被指数的合成, 因此对不同时相的 MODIS 影像必须有准确的地理定位, 同时进行太阳高度角订正, 除了在预处理时利用 ENVI 软件进行地理精校正外, 对每景 MODIS 影像还在 ArcView GIS 软件中通过叠加福州市地理信息数据进行验证与调整。为了分析福州市不同地表覆盖物的植被指数变化, 借助于 GPS, 在福州市选择若干点进行地理定位, 见表 1。

表 1 GPS 地理定位位置

地表类型	地理位置
无植被区	五一广场 26.0775, 119.3032
稀疏植被区	金山浦上 26.0464, 119.2738
低密度植被区	鼓山下院 26.0652, 119.3743
高密度植被区	森林公园 26.1509, 119.2891

根据上述 5 种植被指数计算公式, 分别计算得到福州市 2001—2005 年比值植被指数 RVI 、差值植被指数 DVI 、归一化植被指数 $NDVI$ 和植被覆盖度 VCI 的变化曲线图, 见图 1。

从图 1 可以看出福州市植被指数的年际变化在整体上呈现出较强的规律性。首先, 高密度植被区的植被指数最高, 无植被区最低, 低密度植被区和稀疏植被区处于其间。其次, 高密度植被区、低密度植被区和无植被区的 RVI 、 DVI 、 $NDVI$ 、 VCI 年际变化不大, 而稀疏植被区的 RVI 、 DVI 、 $NDVI$ 、 VCI 有着明显的变化, 变化基本上可以分两个时段, 2001—2003 年是缓慢下降的时段, 2003—2005 年则为迅速下降的时段。

但是, EVI 植被指数的年际变化特征却显得较为复杂, 见图 2。

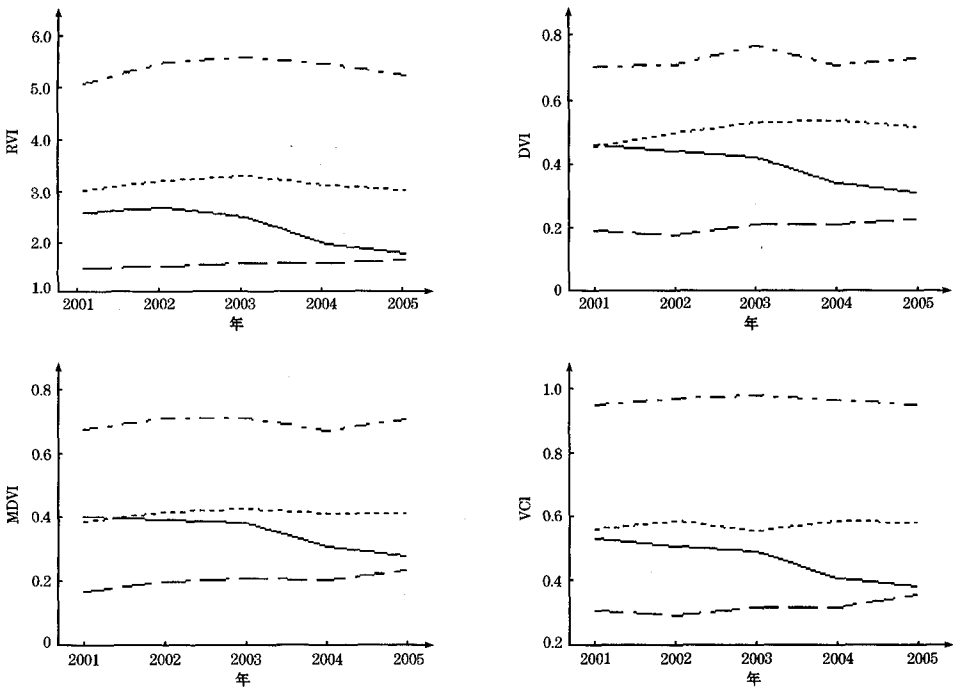


图 1 福州市 RVI、DVI、NDVI、VCI 植被指数年际变化曲线图
 ---无植被区；——稀疏植被区；.....低密植被区；-·-·-·高密植被区



图 2 福州市 EVI 植被指数年际变化曲线图
 ---无植被区；——稀疏植被区；
低密植被区；-·-·-·高密植被区

这说明福州市城区不宜采用上述缺省的大气与树冠背景修正参数来计算 EVI 植被指数，适合于福州市的正确的参数有待于今后进一步研究。在计算中还发现会产生异常大的 EVI 值，这与王正兴^[17]的研究结果一

致，说明 EVI 计算对原始卫星数据质量要求很高，如果存在有其它大气噪音，会产生很大的误差。由于增加了蓝光波段，并对大气和树冠背景亮度进行修正，对于无植被区 EVI 很高，但是对高密度植被，EVI 却不容易饱和，这说明 EVI 对植被冠层变化敏感，适宜于高生物量群体的遥感监测，不适宜于对低密度植被，特别是稀疏植被和无植被区的监测。

分析福州市植被指数的年际变化特征可以表明，除了 EVI 植被指数外，MODIS 的其它植被指数对城区植被覆盖的变化是敏感的，可以用植被指数的年际变化来反映福州市城区空间土地覆盖变化的大小。

4 福州市城区空间扩展变化分析

分别将 2005、2004、2003、2002 年的

植被指数与 2001 年的植被指数图像作差值运算, 同时利用阈值分割技术, 获得福州市 5 年来植被覆盖变化情况, 其中的 *NDVI* 差值图像见图 3 (见彩页), 它能很好地体现出植被信息的变化。本研究将 *NDVI* 差值在 $-0.1 \sim +0.1$ 之间的像元认为植被无变化, 这样可以适当剔除一些伪变化信息。图中植被减少区以红色表示, 植被增加区以绿

色表示, 而植被无变化区则以浅紫色表示, 水体以蓝色表示。利用 ENVI 软件中定义感兴趣区 (ROI) 技术方法, 得出福州市在 2001—2005 年间, 根据 4 种不同植被指数估算的城区空间扩展变化面积大小, 见表 2。这里的 ROI 区域范围只包括福州市主城区, 不包括琅岐镇和位于闽侯县上街镇的大学城。

表 2 福州市 2001—2005 年城区空间扩展变化情况 (面积单位: km^2)

植被指数	2001—2002 年		2001—2003 年		2001—2004 年		2001—2005 年	
	像元数	面积	像元数	面积	像元数	面积	像元数	面积
<i>RVI</i>	54	3.375	133	8.313	320	20.000	421	26.313
<i>DVI</i>	58	3.625	154	9.625	316	19.750	436	27.250
<i>NDVI</i>	50	3.125	142	8.875	345	21.563	447	27.938
<i>VCI</i>	67	4.188	180	11.25	381	23.813	523	32.688

从表 2 计算结果来看, 福州市从 2001 年到 2005 年, 城区空间扩展约 29km^2 , 每年平均扩展约 7.3km^2 , 与福州市近年社会经济统计数据 (每年平均扩展 8km^2) 相吻合。1978 年福州市城区面积仅 34km^2 , 1997 年为 80km^2 , 2001 年达 145km^2 , 根据以上的遥感监测, 到 2005 年福州市城区面积约为 174km^2 。同时近年来福州市的绿化面积也有一定的增长, 这对福州市的区域生态环境质量的改善起到了一定的积极作用, 但大面积的绿化增加不多。

福州市城市建成区界线较明显, 郊区植被覆盖相对较高, 城区扩展是以有植被覆盖的农业用地 (如耕地和菜地) 转变为非农业用地为主。近年来, 福州市结合实施福州城市总体规划, 大力实施推进福州城市发展的“东扩南进西拓”战略。“东扩”以鼓山新区为建设重点, “南进”以金山新区为建设重点, “西拓”以位于闽侯县上街镇的大学城为建设重点, 这在 MODIS 监测的城区扩展变化图中可以得到客观的反映, 说明福州市城市用地空间分布格局以及扩展程度是与城

市规划这一政府的决策行为有着密切的联系, 同时福州市城市用地的扩展明显受到地形等地理条件的影响, 以交通方便、地势平坦的区域为主要扩展对象。

5 小 结

(1) MODIS 植被指数对植被的叶绿素变化是敏感的, 能反映城区植被的年际变化规律, 通过植被指数差值图像能快速准确地提取城区空间扩展变化面积的大小。

(2) 福州市的高密度植被区、低密度植被区、稀疏植被区、无植被区这 4 种有代表性地表类型中除了稀疏植被区的植被指数变化比较剧烈外, 其它类型植被指数年际变化均比较稳定, 表明了福州市城区空间扩展变化主要是以有植被覆盖的农业用地转变为非农业用地为主这样的事实。

(3) 由于 MODIS 卫星数据的地面空间分辨率还是比较低, 在研究城市扩展变化时, 混合像元的影响较为严重, 无法对城区内部微观的环境进行有效的监测。

参考文献

- 1 丁金才, 周红妹, 叶其欣. 从上海市热岛演变看城市绿化的重要意义 [J]. 气象, 2002, 28 (2): 22-24.
- 2 曾侠, 钱光明, 潘蔚娟. 珠江三角洲城市群城市热岛效应初步研究 [J]. 气象, 2004, 30 (10): 12-16.
- 3 戴昌达, 唐伶俐, 陈钢等. 卫星遥感监测城市扩展与环境变化的研究 [J]. 环境遥感, 1995, 10 (1): 1-8.
- 4 黎夏, 叶嘉安. 利用遥感监测和分析珠江三角洲的城市扩张过程 [J]. 地理研究, 1997, 16 (4): 56-62.
- 5 史培军, 潘耀忠, 陈晋等. 深圳市土地利用/覆盖变化与生态环境安全分析 [J]. 自然资源学报, 1999, 14 (4): 293-299.
- 6 房世波, 潘剑君, 陈巍等. 利用遥感和 GIS 技术监测城镇用地的扩展 [J]. 江苏农业学报, 2001, 17 (2): 115-118.
- 7 徐涵秋. 福清市城镇空间扩展规律及其驱动机制分析 [J]. 遥感技术与应用, 2002, 17 (2): 86-92.
- 8 祝善友, 江涛, 韩作振等. 基于遥感技术的泰安城市扩展变化的动态研究 [J]. 山东科技大学学报 (自然科学版), 2002, 21 (3): 51-54.
- 9 胡伟平, 何建邦. GIS 支持下珠江三角洲城镇建筑覆盖变化遥感监测分析 [J]. 遥感学报, 2003, 7 (3): 201-206.
- 10 马荣华, 陈雯, 陈小卉等. 常熟市城镇用地扩展分析 [J]. 地理学报, 2004, 59 (3): 418-426.
- 11 张树普, 李登科, 李星敏等. 卫星遥感在秸秆焚烧监测中的应用 [J]. 气象, 2005, 31 (9): 83-83.
- 12 许东蓓, 梁芸, 蒲肃等. 迭部“4.15”森林大火的气象条件及 EOS 遥感监测 [J]. 气象, 2006, 32 (1): 107-112.
- 13 唐俊梅, 张树文. 基于 MODIS 数据的宏观土地利用/土地覆盖监测研究 [J]. 遥感技术与应用, 2002, 17 (2): 104-107.
- 14 刘勇洪, 牛铮. 基于 MODIS 遥感数据的宏观土地覆盖特征分类方法与精度分析研究 [J]. 遥感技术与应用, 2004, 19 (4): 218-224.
- 15 田庆久, 闵祥军. 植被指数研究进展 [J]. 地球科学进展, 1998, 13 (4): 327-333.
- 16 郭妮. 植被指数及其研究进展 [J]. 干旱气象, 2003, 21 (4): 71-75.
- 17 王正兴, 刘闯. 植被指数研究进展: 从 AVHRR-NDVI 到 MODIS-EVI [J]. 生态学报, 2003, 23 (5): 979-987.
- 18 田静, 阎雨. 植被覆盖率的遥感研究进展 [J]. 国土资源遥感, 2004, (1): 1-5.
- 19 陈云浩, 李晓兵. 北京海淀区植被覆盖的遥感动态研究 [J]. 植物生态学报, 2001, 25 (5): 588-593.
- 20 刘良明, 梁益同, 马慧云等. MODIS 和 AVHRR 植被指数关系的研究 [J]. 武汉大学学报 (信息科学版), 2004, 29 (4): 307-310.
- 21 程乾, 黄敬峰, 王人潮. MODIS 和 NOAA/AVHRR 植被指数差异初步分析 [J]. 科技通报, 2005, 21 (2): 205-209.