

文章编号: 1007-6301 (2003) 01-0053-07

内蒙古西鄂尔多斯国家自然保护区 植被的遥感分布特征及变化探测

韩秀珍, 马建文, 王志刚

(中国科学院遥感应用研究所, 北京 100101)

摘 要: 西鄂尔多斯自然保护区位于荒漠、半荒漠地带的中国北方生态环境脆弱带上, 保护区内的植物从第三纪演化至今仍带有荒漠特有种群标记, 对研究环境演化、生物多样性、全球变化等都具有重大的学术价值和诊断意义, 受到国内外生物学、生态学、地理学等学科研究者的极大的关注。利用传统的研究方法和样方统计方法不仅费时、费工, 而且进展缓慢, 另外, 很难实现对保护区植物分布规律与生境的全面了解与监测。我们利用 Landsat- 5、7 卫星提供的 1987 年 9 月的 TM 和 1999 年 8 月的 ETM 数据, 两景不同时相的数据间隔 12 年, 分辨率为 30m; 1:25 万的 DEM 数据; 地面样方统计数据等。用遥感技术对西鄂尔多斯珍稀濒危植物群落进行分布规律和变化探测的研究, 可以快速、大范围、准确、实时获取资源环境状况及其变化数据, 建立三维立体景观虚拟现实图, 再结合野外实地考察样方统计数据的综合分析, 揭示了间隔 12 年植被分布规律和植被覆盖动态变化情况。为合理利用这些植被资源, 对受损荒漠生态系统的恢复提供了依据, 同时, 对于保护和改善我国荒漠地区的生活环境和探索荒漠地区可持续发展也具有重要的意义。

关 键 词: 西鄂尔多斯; 探测变化; 三维景观影像; 植被指数 (NDVI)

中图分类号: P935.1

1 引言

内蒙古西鄂尔多斯于 1997 年被批准为国家自然保护区, 位于内蒙古自治区鄂托克旗西部和乌海市境内。主要保护对象为四合木、半日花等古老残遗濒危植物和荒漠生态系统^[1]。自然保护区的范围为东经 106°40′~107°44′, 北纬 39°13′~40°11′。面积 555 849hm², 海拔高度从黄河水面的 1 080m 到桌子山主峰的 2 149.4m。

西鄂尔多斯珍稀植物从第三纪以来一直保持至今, 对于研究环境演化、生物多样性、全球变化等具有重大的学术价值和诊断意义, 受到国内外生物学、生态学、地理学等学科研究者的极大关注^[1,2,3]。利用传统的研究方法和样方统计方法不仅费时、费工, 而且进展缓

收稿日期: 2002-10; 修订日期: 2002-11

基金项目: 本文得到中国科学院创新工程项目和研究生科学与社会实践创新研究资助, 项目编号: (KZCX20305; KZCX000027)

作者简介: 韩秀珍 (1974-), 女, 博士研究生, 主要从事遥感图像处理、数据模型和 GIS 等方面的研究。E-mail: hanxz3@hotmail.com

慢，另外，很难实现对保护区植物分布规律与生境的全面了解与监测。我们利用先进的 Landsat-5、7 卫星提供的 TM、ETM 数据，可以快速、大范围、准确、实时获取资源环境状况及其变化数据，建立三维立体景观虚拟现实图，再结合野外实地考察样方统计数据的综合分析，揭示了保护区植物的分布规律和变化探测。为合理利用这些植被资源，对受损荒漠生态系统的恢复提供了依据，同时，对于保护和改善我国荒漠地区的生活环境和探索荒漠地区可持续发展也具有重要的意义。

2 数据准备和遥感图像预处理

2.1 数据准备

主要数据是 1987 年 9 月和 1999 年 8 月，两景间隔 12 年不同时相 30m 分辨率的 TM 和 ETM 遥感数据、1：25 万 DEM 数据、地面样方统计数据（见表 1）。

表 1 使用数据信息
Tab.1 Application data list

序列号	数据类型	获取时间	分辨率（m）	景号
1	Landsat-5-TM	1987-9-20	30	129-32
2	Landsat-7-ETM	1999-8-12	30, 15（Pan）	129-32
3	1：25 万 DEM			
4	地面实测样方	1999-8-12		

2.2 几何校正及数据融合

对 1999 年的图像参照地形图和地面验证点进行校正，再以其为参考对 1987 年的图像进行图对图的配准和地图投影变化，以便获得空间信息的对比。几何校正的精度控制在 0.5 个像元以内。为了获取历史数据空间动态变化信息，对校正后不同分辨率的 2 景图像进行了数据融合，以便进行对比分析。

2.3 归一化处理

图像辐射值归一化是变化探测技术的一个重要预处理环节。遥感非表面因素通常是引起不同时相数据亮度值差异的主要原因，其包括太阳高度角、日地距离、大气条件、成像几何条件等。在理想条件下，通过大气辐射传输模型校正来消除上述影响，但在实际应用中很难进行历史数据的大气校正，通常采用经验方法来实现（Joon Heo 等，2000）^[4]。本文采用最为常用的线性回归方法（Jensen 等，1995）^[5]。假设靶区辐射特性不变，图像亮度的变化由非表面因素引起。选取靶区的基本原则（Joon Heo 等，2000）^[4]：靶区在同一高程带上；应含有尽量少的植被，且不随季节而变化；靶区相对平坦；在不同时相的图像中亮度基本相同；不同靶区有较宽范围的亮度覆盖，以便于回归统计。在基本满足这些条件下，在 2 景不同时相融合的影像上选择 18 个归一化靶区。其中选择了 6 个沙地，6 个公路，6 个煤坑。对 2 景 TM 和 ETM 的第三、四波段 DN 值（亮度值）分别进行靶区的回归分析（图 1、2），依据回归模型参数对 1999 年的图像进行归一化处理。

3 珍稀植被的遥感分布

3.1 ETM 遥感数据中植物种群信息分离与提取

从卫星 30m 分辨率的多光谱数据中分离不同灌木种群信息是弱信息提取问题。本研究采用了弱信息处理技术 (MPH 技术)^[6~9] 中的两个步骤。第一步, 利用掩膜技术从 6 个波段中剔除了图像范围内代表水体和部分干涸河道的像元; 第二步, 在掩膜了的基础上, 对 ETM 的 1, 2, 3, 4, 5, 7 等 6 个光谱波段的数据采用了主成分变换处理。选择 MPH-2, MPH-3 和 MPH-5 合成假彩色图像能较好地区分出不同的植物种群 (图版 E, 图 4)。

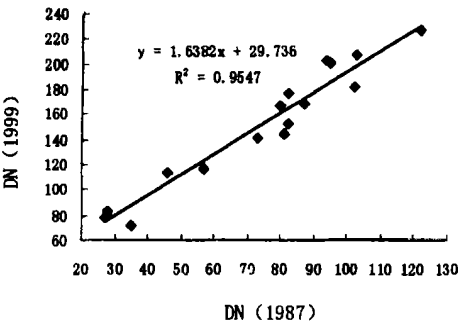


图 1 TM 第三波段归一化靶区散点图

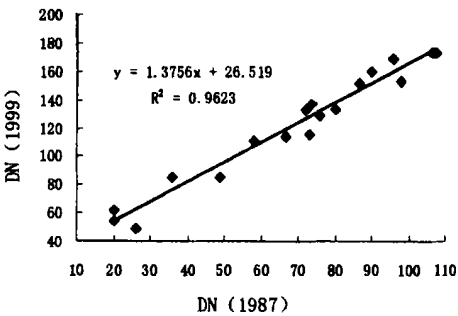


图 2 TM 第四波段归一化靶区散点图

Fig.1 TM 3rd band normalized target area chart Fig.2 TM 4th band normalized target area chart

3.2 样方统计结果与图像三维景观种群分带性分析

野外样方 (见图 3) 和观测剖面选择在岗格尔山和桌子山之间。样方 4×4m², 通过野外样方实验对主要植物种进行了平均高度、覆盖度、密度、多度等四个因子的统计分析求出优势度^[9~11], 同时参考了李新荣 (1998 年) 10×10m² 的样方结果^[12]。

在实现 MPH 技术图像几何校正与 1:25 万地形图的栅格化处理的基础上, 利用 PCI 图像处理软件做成三维景观图像 (图版 E, 图 4), 更好地表达虚拟三维实地景观。从景观图像中可以直观地看到种群的分带性特点。

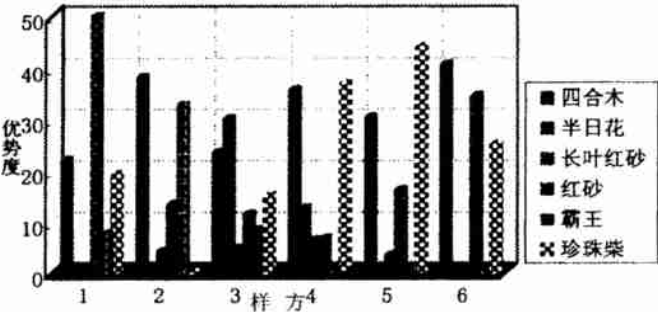


图 3 野外样方统计分析图

Fig.3 Statistic analysis chart of field sample

图版E，图 4 中的 a, b 为野外照片，a 为岗德格尔山和桌子山之间的台地上的四合木，b 为四合木放大显示照片。图 5 从北到南观测角为 45°，图像水平倾角 35°，为了显示全景像元压缩到 0.001。图中箭头指示的地点为野外观测点，图像中相应的色彩分带代表了不同的建群物种群分带特点。

根据前人的工作和野外调查可以分出，图 4 中 1~6 系列标记表示野外样方剖面，解释如下：1- 红砂，2- 四合木，3 代表半日花，4、6 代表四合木、珍珠柴；5 代表四合木和松叶猪毛菜的混合；a~e 系列标记表示与前人的植被分布图比较，解释如下：a- 霸王和油蒿，b、c- 代表红砂和小禾草，d- 代表戈壁针茅和松叶猪毛菜，e- 针茅和半日花，f- 四合木。具体的解释为：

1 桌子山与岗德格尔山之间的砾质或轻度覆沙台地上四合木长势良好，除建群种四合木外，还有红砂、小禾草等。影象上主要呈紫红色；

° 桌子山、岗德格尔山的倾斜平原红砂群落，除建群种红砂外还有四合木、珍珠、藏锦鸡儿、小禾草等。在遥感影象上颜色以淡蓝色为主；

» 岗德格尔山、桌子山低山丘陵及山麓石质和砾石质山上有大片的针茅群落和半日花群落，在影象上为黄色和灰色的混合，黄色占优势为针茅群落；灰色占优势为半日花群落；

¼ 在桌子山北坡高丘陵和低山石质山上戈壁针茅和松叶猪毛菜成片生长，在影象上也比较明显，其颜色为红色。

4 利用不同时相 NDVI 特征图像的探测变化

植物光谱在 0.63~1.1Lm 出现一个反射肩，根据植物光谱的这一特征，利用陆地卫星 TM 和 ETM 的蓝波段 CH3 (0.63~0.69Lm) 和近红外波段 CH4 (0.75~0.90Lm) 进行比值处理，称为植被指数处理，图像称为植被指数 (NDVI) 特征图像。NDVI 对植被覆盖面积、长势及光合作用的强弱反应灵敏，是研究植被覆盖面积、生物量和 NPP 的基本参数。本研究利用植被指数揭示植被覆盖面积的变化。

目前，流行的探测变化技术有：光谱图像差分 (SID)、穗帽亮度图像差分 (TCBID)、主成分分析 (PCA)、光谱变化矢量分析 (Amod Sagar 等, 2002)^[13]。我们采用 PCI 图像处理软件来求 1987 年 9 月和 1999 年 8 月十二年植被覆盖度的动态变化。

首先，利用公式 (2) 分别提取两个不同年份 TM、ETM 数据的植被指数 NDVI₈₇、NDVI₉₉；然后，用 PCI 图像处理软件中探测变化模块求 99 年和 87 年两期影像的探测变化，将 1987 年与 1999 年 NDVI 图像 NDVI₈₇、NDVI₉₉代入公式 (1) 求探测变化影像 NDVI_{changed}，公式 (1)、(2) 是用最小二乘法原理，整个运算是由系统内部自动完成的。

$$NDVI_{changed} = NDVI_{99} - (B1 \times NDVI_{87} + B0) \tag{1}$$

$$Mini \hat{=} NDVI_{99} - (B1 \times NDVI_{w87} + B0) \hat{=} \tag{2}$$

公式 (1) 中系数 B0、B1 代表参量，是由公式 (2) 计算而得到的，通过系统自身选取靶区代入 (2) 中，得到 B0、B1，再将 B0、B1 代入公式 (1) 得到整个影像的探测变化值 NDVI_{changed}，式中，NDVI₉₉、NDVI_{new87}、NDVI_{changed} 分别代表目标影像 (1987 年)、被探测影像 (1999 年) 探测变化影像。

图版É, 图 5 中 a、b、c 分别为 1987、1999 年植被指数和探测变化合成影像; 提取 1999 年比 1987 年植被指数增多部分的影像; 提取 1999 年比 1987 年植被指数减少部分的影像。图版É, 图 6 中¹、°、» 对应图版É, 图 5a 中¹、°、» 的放大部分。

统计图 (图版É, 图 5) b、c 图像中的红色和绿色部分的像元数就可以量化的得到十二年的植被覆盖变化情况: 1999 年比 1987 年植被指数减少的部分多于增加的部分, 植被总的变化趋势为减少了 9.97%。这一变化主要体现在黄河改道或河道变窄而在滩地上人工种植植被使植被覆盖增多, 如图版É, 图 6 中¹ 中粉色和红色部分; 沿黄河冲积、洪积平原上的胡杨林、人工林、河滩植被等的减少, 如图版É, 图 6 中¹ 绿色部分; 分布在乌海市、桌子山和岗德格尔山之间台地上和桌子山、岗德格尔山低山、浅山丘陵带上的珍稀植被的减少, 如图版É, 图 6 中°、»。

四合木、半日花、绵刺等珍稀植物主要分布在乌海市附近的桌子山、岗德格尔山之间的台地和桌子山、岗德格尔山低山、浅山丘陵带上。近年来随着城市扩建、工矿企业的迅速发展, 加之人口的猛增, 大大超出了荒漠地区所能承受的范围。在这种恶劣的生态环境下研究区及其相邻地区内的四合木、半日花、绵刺等珍稀、濒危保护植物退化十分严重。由于四合木易燃, 化工厂炼焦煤和被当地居民砍伐其作为薪柴来用, 使植被一度减少; 开矿、修路对珍稀植被的破坏更直接; 另外, 化工厂排放的污水、污汽、洗煤水等所到之处四合木全部死亡, 取而代之的是盐爪爪等荒漠退化植被。这些都是导致珍稀植被减少的重要原因。这些变化客观地反映了十二年中, 人为因素叠加在自然因素之上而产生的对植被盖度的影响。自建立保护区以来珍稀植被受破坏的程度有所缓解, 但这种变化仍在继续, 为保护珍稀植被的生存环境, 今后应进一步加强这方面的研究。

5 结论与讨论

本研究采用了 MPH 技术提取和区分珍稀植物种群特征, 特征图像与 DEM 数据融合形成三维景观图, 三维景观图像展示了植物的空间分布规律, 结合野外样方和前人的工作成果, 证实了从岗德格尔山、桌子山西坡到东坡珍稀植物种群的水平和垂直分带的特点。

通过辐射归一化处理使 TM 和 ETM 多年的系列多光谱数据具有可比性, 可以揭示植被盖度的时空变化, 从植被盖度的时空间变化揭示了十二年中, 乌海市、桌子山和岗德格尔山之间台地上和桌子山、岗德格尔山低山、浅山丘陵带上植被减少的速度比其他地区快。

本研究揭示了遥感在研究荒漠地区珍稀濒危植物的潜力, 使用廉价的 30m 分辨率多光谱 ETM 数据可以形成遥感运行系统对保护区实施动态诊断和监测。

参考文献

- [1] 赵一之, 雍世鹏. 内蒙古珍稀濒危植物及其保护对策的初步探讨. 草原环境保护学术讨论会论文集, 1986, 811~820.
- [2] 李博. 内蒙古鄂尔多斯高原自然资源与环境研究, 北京: 科学出版社, 1990.
- [3] 保柳睦美. 中国北部内蒙古沙漠化的考察报告. 东亚研究所所报, 第 8 号.
- [4] Joon Heo and Thomas W. FitzHugh, A Standardized Radiometric Normalization Method for Change Detection Using Remotely Sensed Imagery]. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 2000, Vol. 66, No. 2, 173~181.

- [5] Jensen. K. R., et al., Inland Wetland Change Detection in the Everglades Water Conservation Area 2A Using a Time series of Normalized Remotely Sensed Data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 1995, 61 (2): 199~209.
- [6] Jianwen Ma, V. R Slaney, J. Harris, S. B Balkmtyne, "Use of Landsat TM data for the mapping of limonitic and altered rocks in the Sulphurets area Central British Columbia", *Proceedings of the 14a Canadian Symposium on Remote Sensing*, Calgary, Alberta, 1990, p. 419~422.
- [7] Jianwen Ma, Chaofai Ma, Buheasier, Xiaoxia Huang, Extracting Cu Bearing Rock Information from Landsat TM Data Projection Transformation Method, *Proceedings of IEEE2000 International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, Hawaii, USA, 2000.
- [8] G.Chen, H. lin and J. Ma. On the Seasonal Inconsistency of Altimeter Wind Speed Algorithms. *INT. J. Remote Sensing*, July, (10), 2000, 21 (10): 2119~2126.
- [9] 刘素红, 马建文. 利用掩膜和多因子逐步正交变换区分遥感数据中的岩性信息. *遥感学报*, 1999, 3 (4): 295~299.
- [10] 刘国厚, 周世权等. 蒙古特有植物四合木生态环境及濒危原因的研究. *内蒙古林学院学报*, 1993, 7 (2): 100~105.
- [11] 韩秀珍, 马建文, 布和敖斯尔等. 利用卫星 ETM 与样方统计数据研究西鄂尔多斯珍稀濒危植物种群分布规律. *遥感学报*, 2002, 第 6 卷, 第 2 期. 136~141.
- [12] 李新荣, 陈仲新等. 鄂尔多斯高原西部几种荒漠灌丛群落间联结关系的研究. 北京: *植物学通报*, 1998, 15 (1).
- [13] Amod Sagar Dhakal et al., Detection of Areas Associated with Flood and Erosion Caused by a Heavy Rainfall Using Multitemporal Landsat TM Data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 2002, Vol. 68, No3, 233~239.

Remote Sensing Distribution Pattern and Changes Detection of West Ordos Vegetation

HAN Xiu-zhen, MA Jian-wen, Wang Zhi-gang

(Institute of Remote Sensing Application, CAS, Beijing, 100101)

Abstract: West Ordos Nature Conservancy District locates at north environment fragility belt of Hungriness and Half-hungriness Belt in China. The plants in this area have always appeared the sign of Hungriness specific vegetation from tertiary evolution till now.

It is overwhelming importance of academic value and diagnose meaning to study environment evolution, biology diversity and globe transformation, with great worldwide attention of researcher of many subjects such as biology, ecology and geography. Traditional research method and sample statistic approach is not only need more time and labor, but also are difficult to totally comprehend and monitor the biology diversity and environment. Take advantage of two scenes of TM and ETM data from Landsat-5, 7 planet at an interval of 12 years (Sept. 1987 and Aug. 1999), 1:250,000 scale DEM data and sample statistic

data, Researchers can use remote-sensing technique to study the distribution pattern and changes detection of West Ordos Vegetation, which acquires rapid and precise large-scope and real-time data of resource environment status and its changes, produces a virtual reality 3-D imagery , and merges with the synthesis analysis of Sample statistic.

It opens up vegetation diversity rule and changes status at 12 years intervals. It takes reasonable advantage of these vegetation resource, and provides basis to the revival of damaged hungriness ecological system. At the same time, it is important to protect and improve hungriness environment and to explore the persistent development of hungriness distribution.

Keyword: West Ordos; Detect change; 3-D imagery; Vegetation index (NDVI)

图版 I

韩秀珍等：内蒙古西鄂尔多斯自然保护区植被的遥感分布特征及变化探测

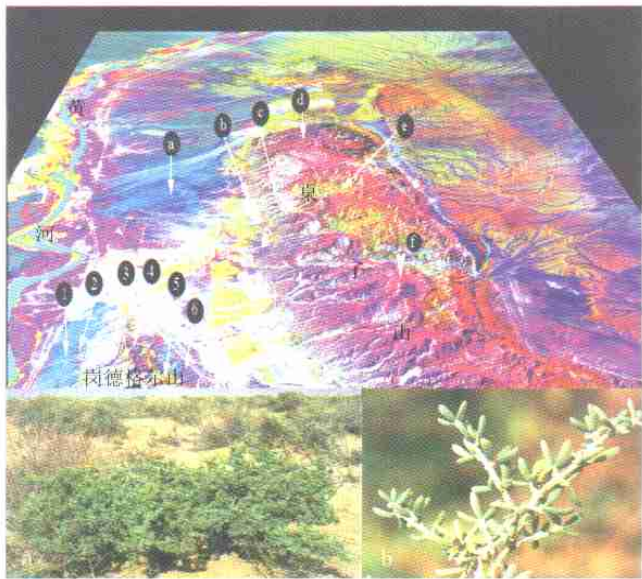
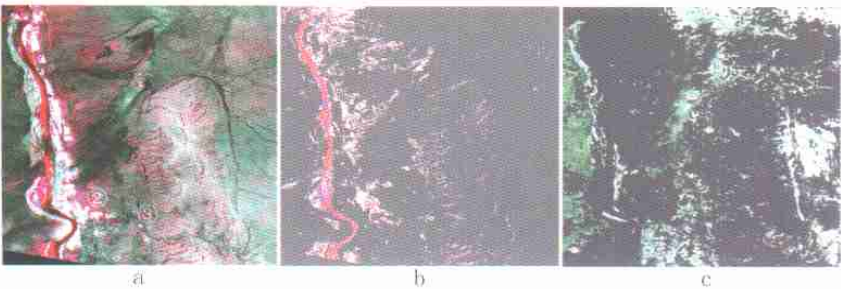


图4 MPH图像与1:25万数字地形图融合生成三维景观图像，
野外照片a、b中，a为岗德格尔山和桌子山之间台地上的四合木，b为四合木的放大显示
Fig.4 3D image fused MPH image with DEM and field photo



a—NDVI₂₀₀₀、NDVI₂₀₀₁和NDVI₂₀₀₂的合成影像；b—NDVI₂₀₀₁比NDVI₂₀₀₀增加的部分；
c—NDVI₂₀₀₁比NDVI₂₀₀₀减少的部分

图5 探测变化系列图
Fig.5 Detection changes series map

图版 II

韩秀珍等：内蒙古西鄂尔多斯自然保护区植被的遥感分布特征及变化探测

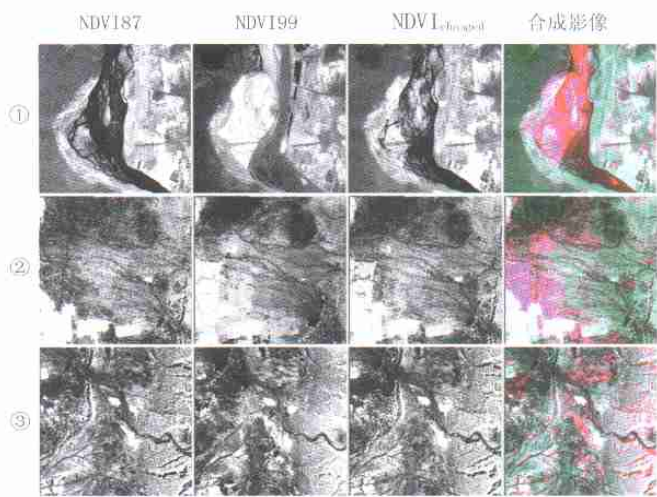


图 6 不同地形地貌类型的植被变化
Fig.6 Vegetation changes of different types of landform

廖顺宝等：基于 GIS 的定位观测数据空间化

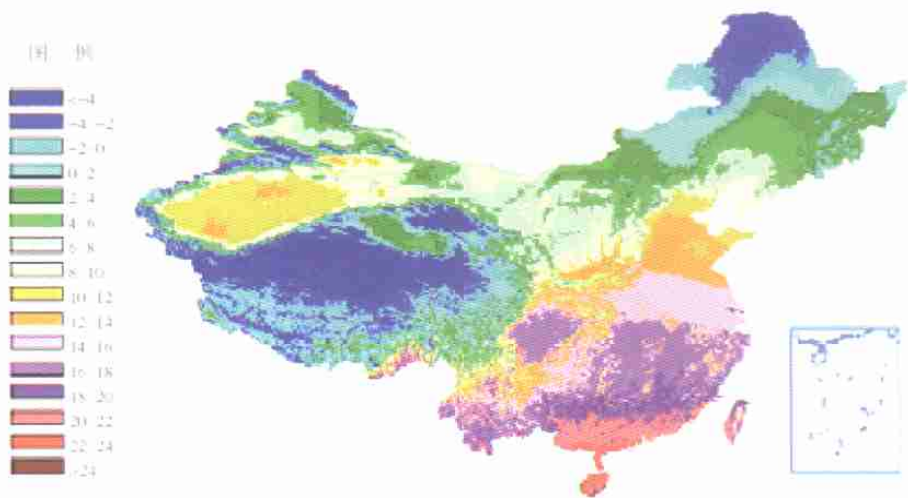


图 8 按 2℃ 分级的中国多年平均气温（1951—1980）分布图
Fig.8 Distribution figure of China's average temperature by two degree step from 1951 to 1980