

吉林油田英台采油厂生态环境变化 遥感分析研究

——兼论 3S 技术和面向对象分类方法应用

于五一 齐小平 申晋利

(1. 中国石油勘探开发研究院测井与遥感研究所, 北京 100083; 2. 中国地质大学(北京), 北京 100083)

摘要: 本文综合运用 RS、GIS 和 GPS 技术, 利用 1989 年和 2002 年两期遥感数据对吉林省英台采油厂所处的生态敏感区域——莫莫格保护区东部的生态环境进行了土地利用类型遥感信息提取、GPS 野外验证, 总结了本区域环境变化的主要特点, 并对其影响原因做了初步分析, 就环境治理方面给出了可行性建议。为了提高遥感信息提取精度, 本文采取基于多特征的面向对象分类方法, 保证了所获取数据的可靠性和真实性, 同时为生态环境的长期监测打下了基础。

关键词: 生态环境; 3S 技术; 面向对象分类

0 引言

RS、GIS、GPS 三种技术的联合应用已经在土地研究、全球变化、环境动态监测、防灾救灾等方面显示出了巨大的作用^[1]。3S 技术通过利用遥感的实效性、经济性以及大面积同步观测的特点, 辅以 GPS 的精确定位功能, 获得的动态观测数据再通过地理信息系统快速处理和分析, 为我们的研究、应用提供了详细具体的参考信息, 在国民经济的发展中发挥了重要的作用。同时, 新一代的航空、航天遥感平台为我们提供了大量的高分辨率数据。这些高分辨率数据在给我们提供更丰富的信息内容的同时, 也使得遥感图像分类的处理更加困难。因为传统的影像分类主要是基于像素的, 处理信息量丰富的高分辨率影像数据时, 往往产生严重的“椒盐”现象, 极大地影响了分类结果。而基于多特征的面向对象分类方法, 很好地解决了这个问题, 同时弥补了遥感与 GIS 之间的鸿沟, 为 GIS 数据库的即时更新提供了快速、准确的方法^[2]。

吉林油田英台采油厂位于吉林省莫莫格保护区的东部。本区属于生态敏感区, 油田的开采会直接影响地表的土壤、植被、河流、湿地, 道路的修建、工矿用地和居民人口的增加也都会对生态环境造成不同程度的影响和破坏。因此, 应用环境遥感监测技术, 了解掌握油田所处地区的生态环境背景及其变化状况, 对采油厂的环境综合治理方案的制定以及保护区环保部门的监督实施都有着重要作用, 能产生巨大的社会、经济和环境效益。本文根据两期遥感图像的对比, 得出了本区生态环境的变化趋势, 并初步分析了引起生态环境变化的原因, 提出了环境恢复治理的可行性建议^[3]。

1 研究区概况

研究区域位于吉林省西北部, 地处松辽沉降带北段, 松嫩平原中西部, 地理坐标为东经 123°45'24" — 124°05'53", 北纬 45°47'23" — 46°15'07", 总面积约为 1381.73km², 包括吉林省莫莫格自然保护区的东部, 区内水系发达, 东侧有嫩江通过。地表水系非常发育, 沙丘与低洼地相间分布, 分布广泛的冲击平原, 地面缓坦低平, 成微波状起

伏。本区属中纬内陆，为大陆性季风气候。春季干旱少雨，大风多，气温回升迅速，夏季高温炎热，雨量集中，秋季西风渐强，气温急降，多晴朗天气，冬季严寒少雪。年均温 4.2℃，7 月均温 23.5℃，最高温 38℃，最低温 - 32℃，无霜期 135 天，年降水量 380—412 毫米。土壤为在冲积洪积母质上发育形成的草甸土，局部有轻盐碱土、洪积沙土。区内植被以小叶章——苔草和芦苇为主，有鸟类 295 种，其中国家保护鸟类 32 种；兽类 25 种，两栖爬行类 12 种，鱼类 52 种，种子植物 600 种。由于区内湿地分布广泛，植被、生物种类多样，成为鸟类迁徙途中重要的停歇取食的休息、觅食场所。同时，吉林油田在 2002 年开始扩大开采规模，对环境的影响和干扰更加明显，所以比较油田开采初期和现状的变化，具体了解油田开采对环境的影响，对经济建设和环境保护之间的关系意义重大。

2 研究方法

2.1 数据选取与处理

选择 1989 年 10 月 28 日成像的 TM 数据和 2002 年 5 月 17 日成像的 ETM 数据。影像清晰，无云覆盖，能够满足研究需要。本研究参照国家测绘局《中国卫星影像地图技术要求》，采用 1:5 万地形图结合野外 GPS 实地控制点采集和野外实地验证的方式进行几何精校正处理，实际点位误差 RMS<50 米。研究区数据采用 1954 北京坐标系、高斯-克吕格投影和 6° 分带方式。配准采用井位、道路河流明显交叉点、建筑物、裸地边角等明显标志点作为控制点位置，用多项式拟合方法对遥感影像进行配准。

2.2 研究方法

2.2.1 面向对象分类方法

面向对象分类的基础是多尺度分割，它用于以任意选定的尺度进行影像对象提取。使用不同尺度的分割来构建影像对象层次网络（见图 1）。每一次分割结果形成影像对象层次网络中的一层，影像对象层次网络能够同时表征不同尺度的影像信息，精对象是粗对象的子对象，每个对象知道其上下文、邻对象、父对象及子对象^[4]。基于这种层次网络结构，对象内部之间的相互关系可以定义。分割是将影像细分为不同的独立区域。通过分割，整个影像被分为有意义的影像对象。分割过程是基于可调整的色彩和形状的同质或异质标准来进行的。因为分割结果对分类有很大影响，所以需要通过调整色彩和形状参数，来获得满意的分割结果^[5]。面向对象分类与基于像素分类的异同见表 1

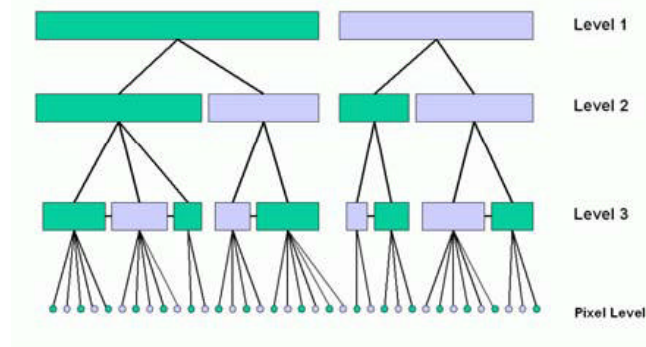


图1 影像对象的层次网络图^[4] (Willhauck, 2000)

表 1 基于像素分类和面向对象分类的不同^[6] (Shattri Mansor, et al.)

| 基于像素的分类 | 面向对象分类 |
|---------------------------------|-------------------------------------|
| 需要进行大气校正，需要获取偏移值、太阳高度角、地上能见距离等。 | 需要进行分割，直接应用影像，直到获得想要区分的地物。 |
| 基于影像所包含的每个波段的光谱值。 | 除了影像的全部波段的光谱值外，还可应用 DEM、亮度值或矢量层来做分类 |

| 基于像素的分类 | 面向对象分类 |
|------------|--------------------------------|
| 分类只能一次性地进行 | 分类可以逐步地进行。分类步骤可以不断地从两类到更多的类进行 |
| 应用滤波来减少变形 | 不需要进行滤波。因为在做完分割后，影像已成为有意义的影像对象 |

工作流程见图 2：

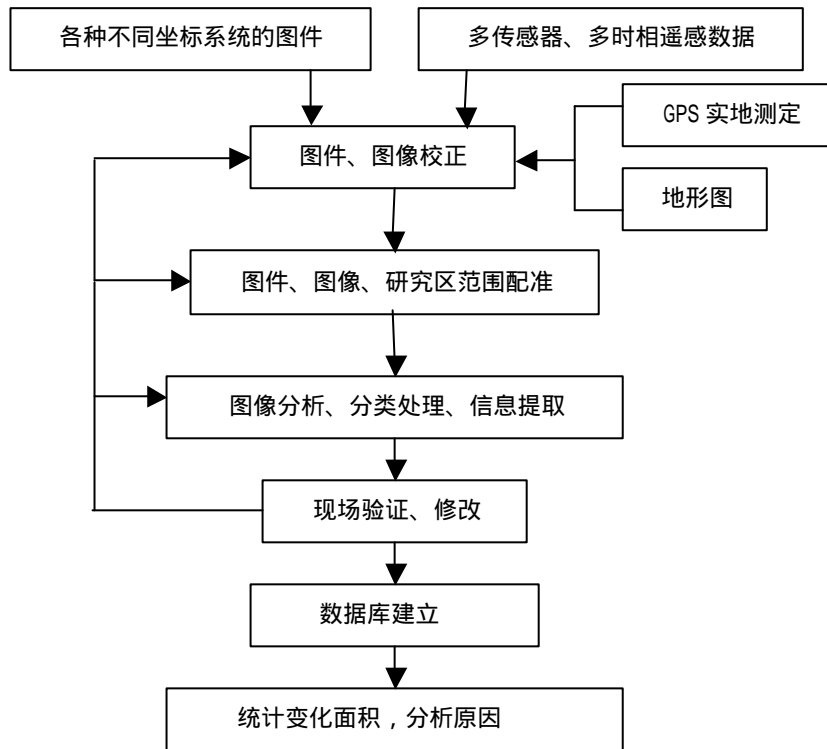


图 2 工作流程图

面向对象分类方法由两种分类器：最临近分类器和模糊隶属度分类器。二者都可以利用不同的对象特征，如光谱值、形状或纹理来进行分类。不仅利用影像对象的属性特征，还利用影像对象间的关系特征来获得高级分类结果。对象的属性特征包括颜色、纹理、形状、面积和大小等。类间特征包括与相邻对象的关系，如类层次中的父对象、子对象。根据试验区所在区域的背景知识和目视解译，我们确定要提取如下的土地利用类别：水体、河滩、低覆盖杂草、旱地、水田、碱斑、荒草地、居民地、苔草、林地、旱沙地、芦苇等共十二种地物类型。传统分类方法是根据一个个单独的、无意义的像素或矩形区域的光谱值进行分类的，而面向对象分类方法则是根据分割后的、与地物相符的一组像素或影像对象的多种特征进行分类的。本文是应用最临近分类器进行分类的。

3 结果与讨论

3.1 莫莫格地区土地利用类型变化趋势

对两个年度的遥感影像的分类结果数据进行统计，得到莫莫格地区的土地利用/覆盖类型的统计数据如表 2 所示：

从表中我们可以看出，本区域的土地利用特征主要以水域、耕地（包括旱地和水田、旱沙地）、苔草为主，其中水域在 89 年占本区域总面积的 8.82%，耕地占总面积的 54.4%，苔草占总面积的 16.58%。另外，89 年本区域芦苇分布广泛，占本区域总面积的 9.34%。

而到了 2002 年，水域面积急剧缩减为 72.91 平方公里，只占总面积的 5.28%。耕地面积有所增加，增加了约 100 平方公里，这与近年来人口增加、开荒种地有关。耕种结构有明显改变，从 1989 年以水田为主，转为 2002 年以旱地为主。苔草面积略有减少，但不很明显。改变最明显的是芦苇，从 1989 年的 129.12 平方公里锐减为 3.9 平方公里，到 2002 年只占总面积的 0.28%。

表 2 莫莫格地区土地利用类型统计表

| | 1989 年 10 月 28 日 | | 2002 年 5 月 17 日 | | 变化量 (km ²) |
|-------|--------------------------|----------------|--------------------------|-------------|---------------------------|
| | 面积 (km ²) | 占总面积百分比 (%) | 面积 (km ²) | 占总面积百分比 (%) | |
| 水域 | 121.90 | 8.82 | 72.91 | 5.28 | 48.99 |
| 河滩 | 5.97 | 0.43 | 9.13 | 0.66 | 3.16 |
| 低覆盖杂草 | 54.61 | 3.95 | 71.38 | 5.17 | 16.77 |
| 苔草 | 229.12 | 16.58 | 241.41 | 17.47 | 12.29 |
| 碱斑 | 1.56 | 0.11 | 4.27 | 0.31 | 2.71 |
| 居民地 | 17.09 | 1.24 | 24.22 | 1.75 | 7.13 |
| 林地 | 42.28 | 3.06 | 45.80 | 3.31 | 3.52 |
| 旱地 | 250.58 | 18.14 | 454.20 | 32.88 | 203.62 |
| 水田 | 345.14 | 24.98 | 174.40 | 12.62 | -170.74 |
| 荒草地 | 28.54 | 2.07 | 57.07 | 4.13 | 28.53 |
| 芦苇 | 129.12 | 9.34 | 3.90 | 0.28 | -125.22 |
| 旱沙地 | 155.82 | 11.28 | 223.04 | 16.14 | 67.22 |
| 合计 | 1381.73 | 100 | 1381.73 | 100 | 97.98 |

通过比较我们不难看出，莫莫格区域从 1989 年—2002 年的 14 年时间里呈现出不断恶化的趋势，水域面积大幅度减少，芦苇植被大面积被围湖造田，土地盐碱化加剧。

3.2 生态环境变化原因初步分析

纵观莫莫格区域的生态环境的影响因素，既有自然因素，又有人为因素，但自然因素是基础，人类因素是诱因。受全球环境变化趋势影响，气候、降雨等因素导致该地区干旱少雨、地表水面退缩，嫩江流域的水量逐年减少，造成本区域的自然植被面积急剧下降；另外，由于人口的持续增加，居民地和耕地面积不断扩大，开矿建井、开荒种地和畜牧养殖不断地蚕食已有的自然植被资源。自然植被的减少，加剧了本地区土壤的荒漠化、盐碱化。人工占地面积的持续扩张，自然植被面积的不断减少，使得该地区的生态环境日趋恶化。同时为了保证农田的即时灌溉，区域内修建了大量的堤坝、水库。这些水力设施在对农业做贡献的同时，却破坏了区域环境的一致性，造成部分支流减少甚至断流，使其成为影响环境的重要因素^[7]。所以，正确处理好社会发展、人口增加与自然环境之间的关系对本地区的环境保护来讲显得尤为重要。

3.2.1 自然因素

我们收集了本地区所属的吉林省白城地区 1961 年到 2004 年的降雨量数据。本地区的降雨量集中在 6、7、8 三个月，44 年来总的年平均降雨量为 388.1mm。从五年周期平均降雨量柱状图可以看出，从九十年代开始，本区降雨量呈直线下降趋势，九十年代后期平均降雨量已低于 44 年来的年平均降雨量，2000 年以后平均值仅为 258.5mm，大大低于总年均值。即使 1998 出现了百年一遇的暴雨也未能阻止降雨量下降的趋势。降雨量的急剧减少直接导致吉林北部地区湖泊、水泡面积的大量消退，河流流量的急剧减少，这种强大自然力的作用和影响是人力根本无法抗拒的。

3.2.2 人类因素

英台采油厂所在区域的嫩江大堤东侧是莫莫格保护区的核心区域，也是嫩江湿地、苔草——小叶樟、羊草的主要分布区域。因为油田开采引发的环境争议问题之一就是破坏了自然

植被，对此事实是毋庸置疑的。但从遥感图像上看到，人为的开荒种地，对环境的破坏也是不容忽视的。1989年堤内的耕地面积为5.94km²，而到了2002年，堤内耕地面积增到21.48km²。而油田占地主要是井场占地。英台油田1989年的井场占地面积是0.13km²，2002年井场占地为0.93km²。油田与耕地两者在同期增加的面积相差将近20倍，并且井场还不都位于嫩江堤内。由此可见，在加强油田开发环境治理的同时，关键还得加强对当地居民开荒种地的管理，这样才能切实保护自然植被免遭破坏。

表3 吉林省白城地区1961 - 2004降雨量统计表

| 年降水 _{mm} | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 合计 |
|-------------------|-----|-----|------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|-----|-------|
| 1961 | 0.2 | 0 | 7.7 | 5.7 | 27.2 | 8.1 | 218.6 | 78.4 | 25.5 | 6.9 | 1.7 | 1.5 | 381.5 |
| 1962 | 0.2 | 0.7 | 0 | 4.4 | 17 | 78 | 212.8 | 37.5 | 28.9 | 3.7 | 0 | 0.2 | 383.4 |
| 1963 | 2.8 | 0.1 | 0 | 13.9 | 39.4 | 21.3 | 259.3 | 116.6 | 17.7 | 4.9 | 2.7 | 2.3 | 481 |
| 1964 | 2.9 | 0.4 | 1.4 | 6.9 | 10.5 | 81.7 | 147.7 | 119.9 | 11.3 | 7.5 | 2.7 | 0.3 | 393.2 |
| 1965 | 0.4 | 0.5 | 0.2 | 1.2 | 2.4 | 58.9 | 325.2 | 59.3 | 12.7 | 9.4 | 1.8 | 2 | 474 |
| 1966 | 0.4 | 0 | 2 | 24.5 | 5.4 | 142.2 | 92.4 | 224.9 | 33.7 | 44.6 | 0.2 | 0.4 | 570.7 |
| 1967 | 0 | 0 | 4.1 | 13.2 | 4 | 75.6 | 53.5 | 57.2 | 19.4 | 7.8 | 2 | 0.5 | 237.3 |
| 1968 | 2.6 | 4.3 | 1.4 | 2.9 | 29.5 | 17.6 | 39.1 | 119.3 | 53.9 | 29.1 | 0.3 | 0 | 300 |
| 1969 | 0.4 | 0.1 | 0 | 33.4 | 11.5 | 55 | 209.4 | 185.6 | 8.3 | 63.9 | 1.6 | 2.2 | 571.4 |
| 1970 | 1.9 | 0.1 | 0.2 | 2.3 | 38.3 | 29.5 | 101.2 | 20.7 | 76.3 | 9.7 | 13 | 0.6 | 293.8 |
| 1971 | 0.2 | 4.7 | 0 | 1.5 | 69.5 | 162.2 | 92.7 | 65.3 | 42.2 | 2.1 | 6.9 | 1.2 | 448.5 |
| 1972 | 1 | 2 | 4.5 | 2.4 | 19.7 | 55.8 | 64.2 | 32.8 | 25 | 30.2 | 0.7 | 0.2 | 238.5 |
| 1973 | 0 | 2.4 | 6.3 | 5.2 | 32.2 | 30.9 | 235.5 | 144.9 | 8.2 | 12.1 | 5.4 | 0.1 | 483.2 |
| 1974 | 0.8 | 0.5 | 2.4 | 7.3 | 5.5 | 76.1 | 188.3 | 129.1 | 55.7 | 7.3 | 1 | 0.3 | 474.3 |
| 1975 | 1 | 0.5 | 1.6 | 4.4 | 42.6 | 52.9 | 35.8 | 16.2 | 20.8 | 14.6 | 4.9 | 0 | 195.3 |
| 1976 | 0.2 | 1.4 | 14.3 | 6.6 | 26.7 | 80.9 | 107.5 | 70.3 | 29 | 16.6 | 1.7 | 2.5 | 357.7 |
| 1977 | 0.9 | 0.2 | 11.2 | 4.9 | 51.3 | 137 | 132.2 | 43.9 | 5 | 47.9 | 5.4 | 3.8 | 443.7 |
| 1978 | 0 | 0.4 | 1.1 | 6 | 4.8 | 142 | 79.5 | 48.4 | 56.4 | 13.2 | 0.1 | 0.9 | 352.8 |
| 1979 | 0.6 | 2 | 8 | 20.2 | 6.1 | 81.8 | 176.3 | 30.1 | 22.3 | 4.9 | 4.5 | 9.4 | 366.2 |
| 1980 | 0.8 | 0.7 | 1.2 | 8.9 | 24.3 | 90 | 97.8 | 92.8 | 41.1 | 12.6 | 0.5 | 1.8 | 372.5 |
| 1981 | 0 | 1.7 | 6.7 | 8.9 | 38.9 | 16.3 | 181.4 | 68.9 | 39.6 | 18.3 | 2.2 | 0 | 382.9 |
| 1982 | 0 | 1.7 | 7.1 | 4.5 | 66 | 23 | 148.8 | 50 | 11.3 | 12.4 | 5.6 | 1.8 | 332.2 |
| 1983 | 0.7 | 0 | 0 | 61.5 | 26.8 | 47.7 | 179.8 | 85.2 | 53.5 | 0 | 6.6 | 0.1 | 461.9 |
| 1984 | 0.2 | 0 | 4.2 | 15.3 | 8.9 | 95.8 | 76.2 | 105.4 | 23.3 | 14.3 | 0 | 0.6 | 344.2 |
| 1985 | 0.9 | 2 | 4.5 | 9 | 13.2 | 77.5 | 119.1 | 148.7 | 49.8 | 18.3 | 0.2 | 0.2 | 443.4 |
| 1986 | 0.1 | 2 | 2.8 | 3.9 | 3 | 156.4 | 243.6 | 82.4 | 66.7 | 0.4 | 1.1 | 1.2 | 563.6 |
| 1987 | 2.8 | 0.6 | 2.5 | 0 | 14.3 | 26.2 | 194.7 | 127 | 56.3 | 10.6 | 3.6 | 1.1 | 439.7 |
| 1988 | 0 | 0.9 | 2.6 | 16.9 | 20.3 | 23 | 136.7 | 144.8 | 40.8 | 42.1 | 0.3 | 3.1 | 431.5 |
| 1989 | 0.2 | 4.3 | 6.8 | 4.6 | 6.7 | 112.9 | 60.3 | 15.9 | 43.5 | 27.1 | 0 | 3.4 | 285.7 |
| 1990 | 1.5 | 4 | 2.7 | 31.1 | 60.4 | 129.1 | 181.1 | 109.1 | 61.6 | 0 | 1.7 | 0.8 | 583.1 |
| 1991 | 0.2 | 0.1 | 1.1 | 88.1 | 9.6 | 81.4 | 181.5 | 35.3 | 76.4 | 23.4 | 0.4 | 1.1 | 498.6 |
| 1992 | 0.1 | 0.1 | 0.9 | 3.3 | 63.3 | 121.2 | 67 | 54.1 | 29.6 | 10 | 15.3 | 0.1 | 365 |
| 1993 | 0 | 2.9 | 9.9 | 2.6 | 45.9 | 164.7 | 155.3 | 75.1 | 66.7 | 21.5 | 6.4 | 6.1 | 557.1 |
| 1994 | 0.8 | 0.2 | 6.9 | 0.3 | 17.4 | 71 | 144.7 | 57.1 | 72.6 | 9.2 | 2 | 2.1 | 384.3 |
| 1995 | 0.4 | 0 | 10 | 18 | 39.4 | 81.3 | 33.9 | 16 | 26 | 21.4 | 0.1 | 1.4 | 247.9 |
| 1996 | 0 | 0.1 | 0.3 | 22.2 | 20.3 | 98.1 | 167 | 54.9 | 19.8 | 6.5 | 7.6 | 0.1 | 396.9 |
| 1997 | 0.1 | 0 | 0.2 | 9.5 | 32.1 | 13.8 | 49.9 | 77.2 | 4 | 4.5 | 0.9 | 0.4 | 192.6 |
| 1998 | 0.2 | 0.5 | 4.8 | 4.9 | 33.3 | 82.7 | 208.5 | 310.6 | 65.2 | 10.5 | 4.4 | 0.7 | 726.3 |
| 1999 | 0 | 0 | 11 | 6 | 7 | 54 | 114 | 82 | 6 | 25 | 0 | 0 | 305 |
| 2000 | 2.6 | 0.9 | 0 | 32.1 | 17.7 | 38.6 | 65.2 | 86.7 | 0.8 | 25.4 | 6 | 3.6 | 279.6 |
| 2001 | 4.1 | 0.3 | 0.9 | 5 | 5.7 | 28.5 | 33.8 | 17.8 | 14.3 | 10.5 | 1.7 | 0.4 | 123 |
| 2002 | 2.6 | 0.1 | 1 | 89.8 | 5.4 | 103.2 | 96.2 | 21.4 | 0.3 | 9.6 | 4.7 | 0.1 | 334.4 |
| 2003 | 0.2 | 1.2 | 11.9 | 6.8 | 0 | 81.1 | 156.5 | 83.5 | 66.2 | 15.1 | 1 | 1.1 | 424.6 |
| 2004 | 0.1 | 1.6 | 0 | 0 | 4.5 | 19.6 | 27.6 | 60.6 | 30 | 1.7 | 0.5 | 5.9 | 152.1 |

3.3 环境恢复的治理对策

3.3.1 提高环境保护意识，建立相应的环境保护管理制度

加强环境保护的宣传，使环境保护意识深入人心。各级政府要重视，广大群众要参与，并且落实到相应的制度，严明奖惩，坚决执行，常抓不懈。对工矿企业占地要加强监管，对地方居民个人开荒种地要加强宣传和引导，促进环保意识的全方位树立，全面推进环境保护管理制度的建立和实施。

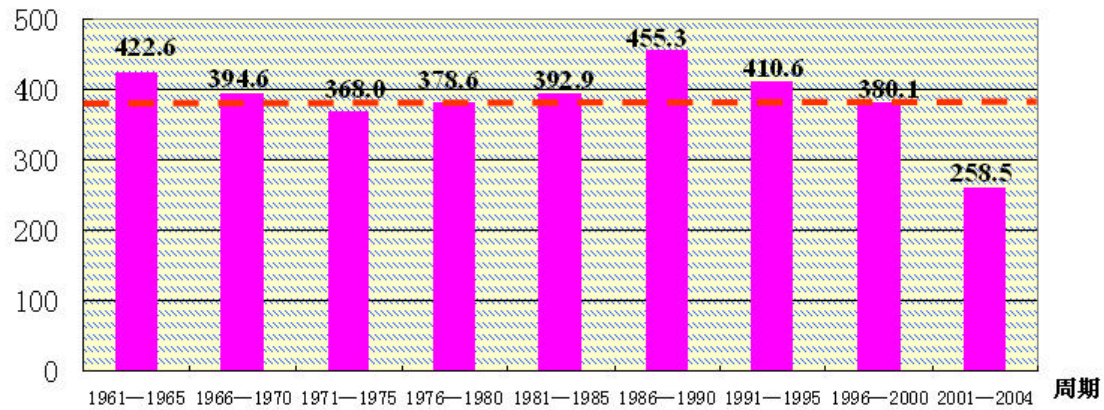


图3 吉林白城地区5年周期平均降雨量变化趋势图
(红色虚线为总年均降雨量)

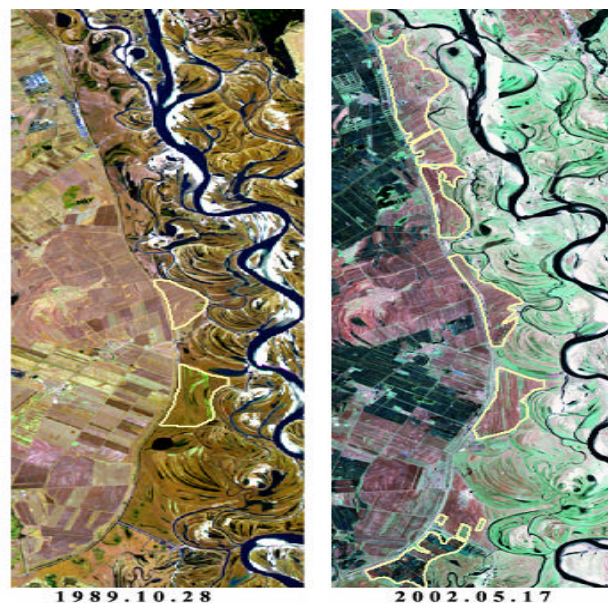


图4 嫩江大堤以东耕地(黄色区域)变化遥感对比图

3.3.2 统筹规划全区域的水力设施

各种建设既要考虑其实用性，又要考虑整个区域的生态环境，不能以偏废全。修建的防洪、灌溉工程，不能只照顾局部的利益，还要兼顾大局，竖立全区域一盘棋的思想。而且水力设施既要考虑其防洪、分洪的用途，还要顾及对本区域生态环境的影响。如果以损害环境为代价而取得一点小的利益，那就太得不偿失了。同时还要积极推广节水灌溉、生态农业等有科技含量的高科技技术，多方面提高农业效益。

3.3.3 积极退耕还草、退耕还湖，控制畜牧养殖数量和方式

围湖造地、家畜无序放养对环境的破坏和影响是最明显的。在有条件的地方适时地开展退耕还草、退耕还湖，还是深有成效的。另外对畜牧养殖的数量在总体上加以控制，在放养方式上给予指导和调节，实行轮流放牧或制定休牧期，减少家畜对自然植被的啃食破坏，促进人类与自然的和谐发展。

参考文献

- [1] 梅安新, 彭望球, 秦其明, 等. 遥感导论[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001
- [2] Martin Baatz et al. eCognition User Guide. 2000, Germany: Definiens AG, München
- [3] Liu Zh L, Ma J W, Ch X, et al. The Use of "3S" Technology Synthetically Research on 11 Years Ecosystem Changes in Middle and Lower Region of Talimu River, Xinjiang, China[J]. Journal of Remote Sensing, 2003, 7(2): 146-152. [刘志丽, 马建文, 陈嘻, 等. 利用 3S 技术综合研究新疆塔里木河流域中下游 11 年生态环境变化与成因[J]. 遥感学报, 2003, 7(2): 146-152.]
- [4] G. Willhauck. Comparison of object oriented classification techniques and standard image analysis for the use of change detection between SPOT multispectral satellite images and aerial photos. Amsterdam: ISPRS. Vol , 2000
- [5] Akiko Harayama, Jean-Michel Jaquet. Multi-source object-oriented classification of landcover using very high resolution imagery and digital elevation model. www.grid.unep.ch/product/publication/download/article_ecognition.pdf
- [6] Shattri Mansor, Wong Tai Hong, Abdul Rashid Mohamed Shariff. Object oriented classification for land cover mapping. www.gisdevelopment.net/application/environment/overview/envo0010.htm
- [7] 罗新正, 朱坦, 孙广友, 等. 松嫩平原湿地荒漠化形状、成因和对策[J]. 中国沙漠, 2003, 23(4): 372-378