

基于卫星数据的北京市生态质量 气象评价方法研究

刘勇洪 吴春艳 李慧君 高燕虎 叶彩华

(北京市气象局气候中心, 100089)

提 要: 针对目前生态质量气象评价在气象业务开展中存在的问题, 采用“3S”技术, 结合地面气象观测资料, 开展了以卫星数据为主的北京地区的生态质量气象评价方法研究, 重点对植被覆盖指数与土地退化指数进行了方法研究, 并以北京2006年第二季度为例开展了以区县为评价单元的生态质量气象评价, 评价结果与实际较为一致。研究表明: 基于卫星数据的生态质量评价指标信息提取及评价方法具有实践意义。

关键词: 生态质量气象评价 植被覆盖指数 土地退化指数 信息提取

Research on Meteorology Evaluation of Ecological Quality in Beijing Based on Satellite Data

Liu Yonghong Wu Chunyan Li Huijun Gao Yanhu Ye Caihua

(Climate Center, Beijing Meteorological Bureau, Beijing 100089)

Abstract: Present meteorology evaluation of ecological quality has some difficulty in practical use and satellite data are not used adequately. By using the 3S technology, the methods of extracting information of ecological quality indexes mainly by satellite data are studied, especially in extracting information on vegetation coverage index and soil degradation index. And these methods were applied for meteorology evaluation of ecological quality of Beijing in the second season in 2006. The evaluation results are satisfying and also show that the methods of extracting information on ecological quality indexes with satellite data are feasible and practical.

Key Words: meteorology evaluation of ecological quality vegetation coverage index soil degradation index information extracting

本文由北京区域气象中心科技创新基金“北京区域生态质量气象评价产品研发”资助。

收稿日期: 2006年3月27日; 修定稿日期: 2006年11月23日

引言

生态环境质量是指在一定具体的时间和空间内生态系统的总体或部分生态因子的组合对人类的生存及社会经济持续发展的适宜程度^[1]。生态环境质量评价是根据选定的指标体系和质量标准,运用恰当的方法评价某区域生态环境质量的优劣及其影响作用关系^[1]。近年来,许多学者对生态环境质量的评价展开了深入广泛的研究^[2-5],这些研究选择的指标体系虽注重了全面性,但由于不同地区生态环境的复杂性,评价忽视了针对性和普适性,忽视了影响生态环境的某一重要因子或专题的评价。而气象因子作为生态系统的重要自然属性,很大程度上影响着区域生态环境背景和生态环境适宜度。对生态质量开展气象评价则是从气象或气候事件变化中反映某一时段生态质量状况的变化趋势,为当地政府开展生态治理提供科学决策依据。

中国气象局从2005年7月开始下发《生态质量气象评价规范》(试行)(以下简称《规范》)^[6],把生态质量气象评价作为气象业务中生态与农业气象轨道的一项重要内容进行开展,国内一些省气象局着手开展了此项业务,但由于在评价中数据获取、评价方法及评价指标的不确定性,此项业务开展遇到许多困难,遥感数据并没有作为重要数据源充分地利用起来,而且利用遥感数据来开展生态质量气象评价的方法研究较少。北京市气候中心则以《规范》为标准,运用3S技术,开展了以季度为时间单元(以2006年第二季度4—6月份为例)的北京地区生态质量评价方法研究,其目的是找出适合生态质量气象评价的以遥感数据为基础的一套业务技术与评价方法。

1 研究区概况

北京地处华北平原与燕山山脉、太行山脉交界处,西北依山、东南为平原。山地丘陵占62%,平原占38%,全市面积 $1.68 \times 10^4 \text{ km}^2$,辖北京城区(包括东城、西城、崇文、宣武四区)、海淀、朝阳、丰台、石景山、房山、门头沟、通州、顺义、昌平、延庆、密云、怀柔、平谷和大兴等15个区县。北京属暖温带半湿润大陆性季风气候,夏热多雨,秋爽冬寒,生态自然环境呈季节性变化,年降水量500~700mm,又因地势复杂,气象灾害较为频繁。

2 生态质量气象评价指标体系

从生态系统的自然属性和气象角度出发,依据《规范》,选取了湿润指数、水体密度指数、植被覆盖指数、土地退化指数和灾害指数作为生态质量气象评价的指标。

2.1 湿润指数

湿润指数能较客观地反映某一地区的水热平衡状况。主要采用地面气象观测资料来计算:

$$K = R/E_T \quad (1)$$

式中, K 为湿润指数, R 为降水量, E_T 为潜在蒸散量,月潜在蒸散量 E_{Ti}/mm 采用下式计算:

$$E_{Ti} = \frac{22d_i(1.6 + U_i^{1/2})W_{\alpha i}(1 - h_i)}{p_i^{1/2}(273.2 + t_i)^{1/4}} \quad (2)$$

式中, i 是月份的编号, p_i 是月平均气压(hPa), t_i 是平均气温($^{\circ}\text{C}$), d_i 是月的天数, U_i 是在10~12m高度处观测的月平均风速($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$), $W_{\alpha i}$ 是在温度为 t_i 时的饱和水汽压(mmHg),而 h_i 是月平均相对湿度。

$K < 1$ 时,表示大气降水少于植被生理过程需水量;当 $K = 1$ 时,表示该区域大气降水

与植被生理需水达到平衡;当 $K > 1$ 时,表示大气降水大于植被生理过程需水量,降水条件不成为当地植被生理需水的限制因子,如果 $K > 1$,规定 $K = 1$ 。

2.2 植被覆盖指数

植被覆盖指数是指被评价区域内林地、草地及农田三种类型面积占被评价区域面积的比重。将不同土地利用/覆被类型赋以不同的权重,得出地表覆被状态值,作为生态状态的重要表征之一,可由下式获取:

$$\text{植被覆盖指数} = (0.5 \times \text{林地面积} \times \text{生长期} + 0.3 \times \text{草地面积} \times \text{生长期} + 0.2 \times \text{农田面积} \times \text{生长期}) / \text{区域面积} \quad (3)$$

其中生长期为生长天数占评价时段内天数的百分比。

2.3 水体密度指数

水在生态系统中具有重要作用,是生态系统物质流与能量流的重要载体,也是人类社会生活不可缺少的物质,尤其在干旱、半干旱生态系统中,水是生态系统的决定因素。计算方法为:

$$\text{水环境指数} = \frac{\text{水域面积}}{\text{区域面积}} \quad (4)$$

其中水域面积采用评价时段内平均水域面积,包括河流、湖泊、水库等水体面积。

2.4 土地退化指数

土地退化指数指评价区域内风蚀、水蚀、重力侵蚀、冻融侵蚀和工程侵蚀的面积占评价区域总面积的比重,是生态系统退化的重要表征之一。可以用下式来表示:

$$\text{土地退化指数} = (0.5 \times \text{轻度侵蚀面积} + 0.25 \times \text{中度侵蚀面积} + 0.7 \times \text{重度侵蚀面积}) / \text{区域面积} \quad (5)$$

2.5 灾害指数

灾害指数是指被评价区域内农田、草地、

森林等生态系统遭受气象灾害的面积占被评价区域面积的比重。包括:干旱、洪涝、渍害、雹灾、低温冷害、霜冻、雪灾、高温热害、风灾、病虫害及森林火灾等。灾害指数

$$I_{DS} = \sum_i^n (S_i) \quad (6)$$

式中 S_i 为各灾害因子指数:干旱、洪涝等, n 为灾害类型数目。

$$S_i = (0.1 \times \text{轻度灾害面积} + 0.3 \times \text{中度灾害面积} + 0.6 \times \text{重度灾害面积} + 1.0 \times \text{毁灭性灾害面积}) / \text{区域面积} \quad (7)$$

3 生态质量气象评价模型

研究区域生态质量评价模型采用下式计算^[1]:

$$M_i = 100 \sum_{j=1}^n W_{ij} Y_{ij} \quad (8)$$

其中: M_i 为 i 区域的生态质量评价指数, W_{ij} 为 i 区域第 j 项指标的权重值, Y_{ij} 为 i 区域第 j 项指标值,公式右边乘以 100 是为了确保 M 按百分制显示。生态质量 M 分为 5 级:Ⅰ级为 100~70(优),Ⅱ级为 70~55(良好),Ⅲ级为 55~30(一般),Ⅳ级为 30~15(较差),Ⅴ级为 15~0(差)。根据前面所选的指标体系,并按照中国气象局下发的《生态质量气象评价规范》(试行)中各指标的权重取值,可以得到:

$$\begin{aligned} \text{生态质量指标} = & 100 \times [\text{湿润指数} \times 0.25 + \\ & \text{植被覆盖指数} \times 0.3 + \text{水体密度指数} \times \\ & 0.2 + (1 - \text{土地退化指数}) \times 0.15 + \\ & (1 - \text{灾害指数}) \times 0.1] \quad (9) \end{aligned}$$

对各种指标的评价数据一般采用卫星遥感和地面监测、统计、社会调查结合的手段,除了湿润指数以地面气象观测资料来计算外,其余指标均可从卫星遥感数据中获取。由于北京生态自然环境呈季节性变化,因此确定按季度为时间评价单元,以区县为空间

评价单元,并以2006年4—6月为例来进行北京市生态质量气象评价。

4 遥感数据的获取与预处理

为获取覆盖北京全境的遥感资料,选取了2006年4—6月晴朗无云的1.25景Landsat5-TM图像数据和相邻轨道的一小块Landsat5-TM图像作为遥感数据源,由于得到的图像仅是经过辐射校正和地理定位的系统校正产品,图像值是以灰度值DN表示的,需要进行一系列预处理才能应用,预处理主要是在遥感软件ENVI4.1中完成,并结合ENVI中的二次开发语言IDL来实现数据处理。主要预处理过程包括:

4.1 图像拼接

由于北京区域覆盖范围不止一景TM图像,因此需把相邻轨道图像进行拼接。拼接方式按照图像自带的地理投影定位信息进行,投影类型为横轴墨卡托投影(Transverse Mercator),椭球体为Krassovsky1940,投影中心精度为117°,东偏移量500公里,比例因子为1.0。拼接边缘采用10个像素距离进行羽化,重采样方式为最邻近,确保图像拼接的颜色和灰度值质量。

4.2 辐射定标

利用头文件中记录的辐射校正参数,可计算出地物在大气顶部的辐射亮度和反射率。计算公式如下:

$$L = gain \times DN + bias \quad (10)$$

$$\rho = \pi L \cdot d_s^2 / E_0 \cos \theta \quad (11)$$

其中: L 是地物在大气顶部的辐射亮度, DN 是像元值, $gain$ 和 $bias$ 可从头文件中得到, π 为常量, ρ 是地物表面反射率, d_s 是日地天文单位距离(天文单位), E_0 为大气层顶的平均太阳光谱辐照度, θ 是太阳天顶角。得到 ρ

后,就可进行图像地物信息提取和计算归一化植被指数NDVI。

4.3 图像切割

以北京地区的1:25万的行政边界矢量文件叠加到图像上,运用掩膜技术来提取北京及各区县范围,按区(县)范围作为单元来实现各生态指标值的计算。

5 生态质量指标的提取及评价结果

5.1 湿润指数的计算

根据全市15个气象观测站的气象资料,可计算处各区(县)4—6月份的湿润指数。湿润指数值在0.251~0.631之间变动。各区(县)湿润指数值均小于1,表示本地大气降水小于植物生理过程需水,表明本季度降水仍显不足,不利于生态环境改善。

5.2 土地利用类型和水体信息的提取

利用上述处理好的TM反射率影像,并辅以北北京地区的数字高程影像,共8个波段。采用最大似然法进行了2种林地、林地阴影、2种草地、水体、农田、休耕地、3种裸地、建筑用地等共12类的监督分类,分类后进行了类的合并,分别归并为林地、草地、农田、水体、非植被5种类型,并采用人机交互解译方式对分类错误明显的地物类别进行了修改,最后得到北京地区2006年4—6月份的土地利用图。根据前面式(3)和式(4),可得到按区县为评价单元的植被覆盖指数与水体密度指数值。各区县植被覆盖指数差异明显,在0.0408~0.4528之间变动,受季节性气候变化因素,在平原区仍分布着大片的非植被区(如休耕地、裸地建筑区),低植被覆盖区集中在北京市主城区、东部及南部等平原区域,植被覆盖指数均在0.055以下;高植被覆盖区集中在有较大林地面积覆盖的山区县如怀柔、

延庆和门头沟等,植被覆盖指数较高,均在 0.350 以上。水体密度指数在 0.0022 ~ 0.0438 之间变动,密云、城区、通州和朝阳水体密度指数较高,在 0.02 以上,密云由于密云水库的存在而水体密度指数为最高,达到 0.0438,其它区(县)则较低,不到 0.02,显示这些区域水资源较为贫乏。

5.3 土地退化信息的提取

北京地区 2006 年第二季度(4—6 月)仍存在着大片的低指标覆盖区和裸地,期间既有强降水,又有明显的强风,因此需综合考虑水力侵蚀与风力侵蚀的作用,不考虑工程侵蚀与重力侵蚀。

5.3.1 水蚀信息提取

近年来提高遥感技术结合其它地面资料进行水蚀调查已成为生态环境调查的重要手段^[7-9]。在这里采用文献[10]的方法来提取土壤侵蚀信息,即采用植被覆盖度、坡度和土地利用类型三种指标,但这种遥感方法给出的是潜在性的最大水蚀类型,并没有考虑降雨这一重要因子的影响。根据国际上修正的通用土壤流失方程 RUSLE 模型^[11],在上述遥感方法的基础上加入了降雨因子:日降雨量 $\geq 12.0\text{mm}$ (产生侵蚀的日降雨强度阈值^[12])的日数,它能反映出降雨侵蚀力的强弱。

其中坡度指标的提取可根据数字高程 DEM 计算得到,土地利用类型直接采用前面的土地利用分类图,而植被覆盖度获取则比较复杂,有许多学者做过方法研究^[10,13-15]。在这里采用植被指数转换模型^[15]来进行提取,具体公式为:

$$f_{\text{cover}} = \frac{NDVI - NDVI_{\min}}{NDVI_{\max} - NDVI_{\min}} \quad (12)$$

其中 f_{cover} 为植被覆盖度, $NDVI_{\min}$ 、 $NDVI_{\max}$ 分别为图像的最小、最大归一化植被指数值。考虑到水体 $NDVI$ 的非常小,不

能代表 $NDVI_{\min}$ 的取值,因此仅仅取裸地 $NDVI$ 的均值作为 $NDVI_{\min}$,取图像上 $NDVI$ 直方图累计频率为 95% 处的 $NDVI$ 值作为最大 $NDVI_{\min}$,并令小于 $NDVI_{\min}$ 的 f_{cover} 值为 0,大于 $NDVI_{\max}$ 的 f_{cover} 值为 1,这样就可以得到北京地区 2006 年 4—6 月份的植被覆盖度。

由此,根据这四种指标等级相互组合而得到的不同土壤侵蚀类型建立决策树进行图像分类,从而得到北京地区 2006 年 4—6 月份的土壤水力侵蚀分布图(见图 1)。然后根据前面式(5),得到按区(县)为评价单元的土壤侵蚀指数图。结果显示,土壤水力侵蚀主要发生在山区,中度侵蚀和重度侵蚀主要发生于山区的坡陡低植被覆盖区,房山、门头沟和延庆的部分区域水力侵蚀较重。

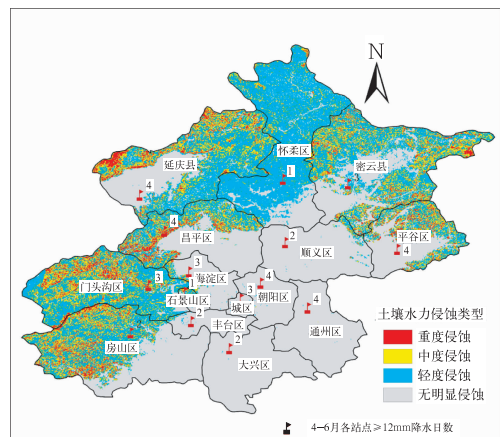


图 1 北京地区 2006 年 4—6 月土壤水力侵蚀分布图

5.3.2 风蚀信息的提取

对风蚀的研究至今无成熟的遥感信息提取方法,根据文献[16—18],在这里采用了与风蚀强度密切相关的几个因子:地物反射率、植被覆盖度、土地利用类型、坡度及最小风蚀风速 $\geq 6\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 日数,并结合实际情况来建立决策树进行风蚀分类,得到北京地区 2006 年 4—6 月份的土壤风力侵蚀分布图(见图 2)。

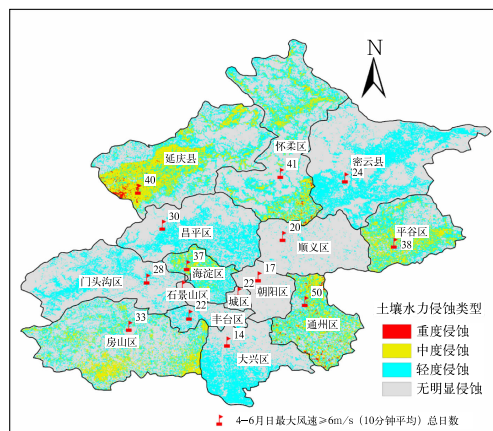


图2 北京地区2006年4—6月土壤风力侵蚀分布图

根据前面式(5)可得到各区县风蚀指数,风蚀主要发生在低植被覆盖区、裸地及风力强盛区。

5.3.3 土地退化指数的计算

结合水蚀和风蚀不同等级的土壤侵蚀信息,考虑二者的综合作用,可建立不同等级的土地退化类型,然后根据前面式(5)计算出土地退化指数,各区县土地退化指数为0.0036~0.1891。由于门头沟、房山和延庆均处于水力侵蚀强盛区,因此土地退化指数较大,在0.16以上,而顺义和朝阳则由于无明显水蚀和风蚀,土地退化指数在0.01以下。

5.4 灾害信息的提取

根据NOAA卫星监测和地面调查资料,确定2006年4—6月气象灾害主要是干旱和冰雹大风。利用NOAA卫星进行干旱监测已有许多研究^[19-20],在这里采用的方法是温度植被指数法,即NDVI/ T_s 法(NDVI为归一化植被指数, T_s 为地表温度),通过地面墒情普查,并结合前面得到的土地利用类型,可提取旱情分布信息(见图3);并利用地面调查资料可获取冰雹大风灾害,根据公式(6)和(7),从而求得灾害指数。结果显示,北京各

区(县)灾害指数为0.0191~0.2081,延庆、门头沟和怀柔受灾较重,灾害指数在0.12以上,顺义和丰台受灾最轻,灾害指数在0.02以下。

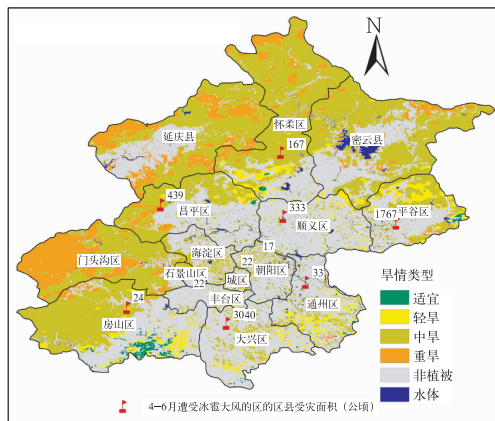


图3 北京地区2006年4—6月春旱分布图

5.5 生态质量气象评价

根据前面的生态质量气象评价计算公式(8)和(9),可计算得到北京市各区(县)4—6月份的生态质量指标,其值为32.4~45.9。根据生态质量评价分级标准,可以确定:2006年北京市各区县第二季度(4—6月)的生态质量属于一般类,其中排名前三的分别为密云县、怀柔区和延庆县。

6 结论与讨论

(1) 利用遥感信息提取技术可以获取表征生态质量的重要指标,例如植被覆盖指数、水体密度指数、土地退化指数及灾害指数,而且各指数的评价结果均与实际基本一致,表明在本研究中采用的遥感技术方法是现实可行的,而且实现简单。

(2) 从气象对生态质量的影响角度出发,选定的5种指标体系能基本反映生态自然环境质量状况,如何更好地选择气象条件下的指标来反映生态质量仍是值得研究的问题。

题,如在北方气候环境下发生的冻融侵蚀、城市大气污染等因子在本研究中没有考虑。

(3) 由于遥感数据存在空间、时间、尺度上的光谱不确定性,从遥感数据提取的各种生态环境因子信息也具有不确定性,采用何种数据和方法来有效提取这些生态环境因子仍是需要改进研究的一个方向。如土地利用信息的提取和土壤干旱信息的遥感提取至今仍是遥感应用的关键技术。

参考文献

- [1] 万本太,张建辉,董贵华,等. 中国生态环境质量评价研究[M]. 北京:中国环境科学出版社,2004:1-21.
- [2] 魏丽,黄淑娥,李迎春,等. 区域生态环境质量评价方法研究[J]. 气象,2005,31(1):23-28.
- [3] 朱梅芳. 湖南省生态环境质量研究[J]. 作物研究,2005,19(1):38-40.
- [4] 刘新卫. 长江三角洲典型县城农业生态环境质量评价[J]. 系统工程理论与实践,2005(6):133-138.
- [5] 吴秀芹,蔡运龙,蒙古军. 塔里木河下游典型区景观生态质量评价[J]. 干旱区资源与环境,2003,17(2):12-17.
- [6] 中国气象局. 生态质量气象评价规范(试行),2005年7月.
- [7] 乔彦肖. 卫星遥感技术在永定河流域(河北)土壤侵蚀调查评价中的应用研究[J]. 遥感技术与应用,2001,16(2):91-96.
- [8] 段淑怀,周玉喜. 流域 3S 技术进行北京市土壤侵蚀调查[J]. 北京水利,2006(3):15-17.
- [9] 乔玉良. 土壤侵蚀遥感调查技术应用的若干问题[J]. 地球信息科学,2003(4):97-100.
- [10] 谭炳香,李增元,王彦辉. 基于遥感数据的流域土壤侵蚀强度快速估测方法[J]. 遥感技术与应用,2005,20(2):215-220.
- [11] 许月卿,蔡运龙. 贵州省猫跳河流域土壤侵蚀量计算及其背景空间分析[J]. 农业工程学报,2006,22(5):50-54.
- [12] 叶之茵,刘宝元,章文波,等. 北京市降雨侵蚀力及其空间分布[J]. 中国水土保持科学,2003,1(1):16-20.
- [13] 胡良军,劭明安. 论水土流失研究中的指被覆盖度量指标[J]. 西北林学院学报,2001,16(1):40-43.
- [14] 黄健熙,吴炳方,曾源,等. 水平河垂直尺度乔、灌、草覆盖度遥感提取研究进展[J]. 地球科学进展,2005,20(8):871-880.
- [15] 牛宝茹,刘俊蓉,王政伟. 干旱区指标覆盖度提取模型的建立[J]. 地区信息科学,2005,7(1):84-86.
- [16] 董治宝,陈渭南,李振山,等. 风沙土开垦中的风蚀研究[J]. 土壤学报,1997,34(1):74-80.
- [17] 李玉宝. 干旱半干旱区土壤风蚀评价方法[J]. 干旱区资源与环境,2000,14(2):48-52.
- [18] 张国平,张增祥,刘纪远. 中国土壤风力侵蚀空间格局及驱动因子分析[J]. 地理学报,2001,56(2):146-158.
- [19] 李星敏,郑有飞,刘安麟. 我国用 NOAA/AVHRR 资料进行感觉遥感监测的方法综述[J]. 中国农业气象,2003,24(3):38-41.
- [20] 徐英,吴明阳,李秀芬,等. NOAA/AVHRR 资料在黑龙江省干旱监测中的应用研究[J]. 哈尔滨理工大学学报,2005,10(2):51-53.