

中国东北地区主要植被类型 NDVI 变化与气候因子的关系

张 军¹, 葛剑平¹, 国庆喜²

(1. 北京师范大学生命科学学院, 北京 100875; 2. 东北林业大学森林经营管理学院)

摘要: 利用 1982~1992 年时间序列的 NOAA/AVHRR 8km×8km 分辨率的归一化植被指数(Normalized difference vegetation index, NDVI), 将东经 120°~135°、北纬 40°~55°区域的土地覆盖类型分为 10 类。然后研究了各类型的 NDVI 年平均值的变化规律。结合该地区的 19 个气象站 1982~1992 年的年平均气温、年最高温度、年最低温度、年降水量和年相对湿度研究了各类型 NDVI 年平均值的变化与气候因子之间的关系, 进一步阐明了气候因子是 NDVI 动态变化的主要原因。

关键词: NOAA/AVHRR; 全球定位系统; 植被类型; 气候因子

The relation between the change of NDVI of the main vegetational types and the climatic factors in the northeast of China

Zhang Jun¹, Ge Jian-Ping¹, GUO Qing-Xi² (1. College of Life Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 2. Northeast Forestry University, Harbin 150040, China)

Abstract: The vegetation between longitude 120° and 135°E, latitude 40° and 55°E was classified into 10 types by the data of NOAA/AVHRR Normalized Difference Vegetation Index(NDVI) with spatial resolution of 8km×8km from 1982 to 1992. The annual change of average value of NDVI of the types was studied. With the annual average temperature, annual highest temperature, annual lowest temperature, annual precipitation and annual relative humidity from 1982 to 1992 at 19 stations in this zone, the relation between the change of NDVI and the climatic factors was studied, and it was found that the climatic factors are the main cause of the dynamic change of NDVI.

Key words: NOAA/AVHRR; GPS; vegetational types; climatic factors

文章编号: 1000-0933(2001)04-0522-06 中图分类号: S718.5 文献标识码: A

NOAA/AVHRR 的通道 1 主要对红光区反应敏感, 而植物的叶绿素吸收红光; 通道 2 对近红外线反应敏感, 而植物的叶状海绵体反射近红外, 另外, $NDVI = (\text{通道 2} - \text{通道 1}) / (\text{通道 1} + \text{通道 2})$ ^[1]。所以, 植物的绿色越浓, 植物叶绿素吸收红光的能力越强, 叶状海绵体反射近红外线的能力也越强, 则通道 1 的值越小, 通道 2 的值越大, (通道 2 - 通道 1) 的值也就越大, NDVI 的值也相应增大。因此 NDVI 对植被的生长势和生长量非常敏感, 常用来描述植被生理状况, 估测土地覆盖面积的大小、植被光合能力、叶面积指数(LAI)、现存绿色生物量、植被生产力等等。利用 NDVI 的值有 3 个优点: 一是太阳高度角的差别被大大地减少了; 二是减小远离星下点的像元点被选中的机会^[2]; 三是该卫星时间序列长, 精度粗。因此 NDVI 被广泛应用于植被类型方面的研究, 并被证明是非常准确的。

土地覆盖类型的 NDVI 值是星下点像元内的植被、土壤、大气、水分等多因子作用形成的综合反射, 反射率大小受植被类型、种类成分、植被盖度、植物生长势、土壤理化特征、大气状况等多种因素的影响。因

基金项目: 国家自然科学基金重大基金(编号: 39899370)、黑龙江省杰出青年基金和霍英东青年教师基金资助。

收稿日期: 2000-09-29 修回日期: 2000-11-10

作者简介: 张 军(1973~), 男, 甘肃省敦煌市人, 博士。主要从事生态学研究。

此,NDVI 值反映了植被类型的综合情况,而不是某一物种的特征,这为分类研究造成了一定的困难,需要利用野外调查资料进行验证工作。

1 研究区概况

选择东经 120°~135°、北纬 40°~55°作为研究区。该区域跨越暖温带、温带和寒温带。山系主要有大兴安岭、小兴安岭、长白山、张广才岭、锡霍特山脉等。河流主要有松花江、黑龙江、乌苏里江和嫩江及其支流。该区域还包括松辽平原、松嫩平原和三江平原等地势较开阔的地区^[3]。

2 数据源

2.1 NDVI 数据

2.1.1 NDVI 数据的来源 NOAA 气象卫星的通道接收的光谱范围广,它产生的 AVHRR 数据是地物反射、散射或者本身发射出来的电磁辐射,这种信息是以辐射能量强弱来表征的,并且能够转换成可见的图像。该数据已经被证明是极有价值的区域及全球植被研究的数据源,已经在全球及区域尺度上进行的土地覆盖类型变化的研究中显示出其它数据无法替代的作用。NOAA/AVHRR 数据具有以下 4 个方面的特点:(1)第 1、第 2 通道的光谱值适于植被监测;(2)每日覆盖全球。该卫星每日绕地球转 3 圈,用于研究地表属性的时间序列的动态变化是非常有利的;(3)数据时间序列长。到目前为止,已经发射了 14 颗系列卫星;(4)空间分辨率较低,适于大尺度上的研究。NOAA 卫星通道参数见表 1。

表 1 NOAA 卫星 AVHRR/2 的参数
Table 1 The parameter of AVHRR/2 of NOAA

通道 Tunnel	波长 Wave-length(um)	主要观测气象因子 The mainly surveyed factor of climate	分辨率 Resolu- -tion	观测宽度 The width of survey	瞬时视场范围 (弧度‰) The range of temporal eyesight place(arc‰)
1	0.58~0.68(可见光 Visible light)	云、冰、雪 Cloud, ice, snow			1.39
2	0.73~1.10(近红外 Near infrared)	水陆边界、陆地植被 The border of water and land, the land vegetation			1.41
3	3.55~3.93(中红外 Middle infrared)	湿度、云、烟 Humidity, cloud, smoke	1.1km	2800km	1.51
4	10.3~11.3(热红外 Thermal infrared)	表面温度、云量、湿度 Temperature of the surface, amount of cloud, humidity			1.41
5	11.5~12.50(热红外 Thermal infrared)	表面温度、云 Temperature of the surface, cloud			1.30

2.1.2 NDVI 指数的生成 AVHRR 数据经过辐射计校准和大气校准后,再转换成 NDVI 归一化指数。NDVI 定义公式如下:

$$NDVI = (CH_2 - CH_1) / (CH_2 + CH_1)$$

$$NDVI = (-1, 1)$$

其中,NDVI 为归一化指数;CH₁、CH₂ 为分别为 NOAA 卫星的第 1、2 通道反射率。

许多研究表明,NDVI 可以部分消除由于照明条件、倾斜、观测姿态所造成的各通道反射率的改变,而且 NDVI 基本不依赖于卫星的观测角,并消除了单位的干扰,因此选用 NDVI。本研究就是利用美国地球资源观测系统(Earth resource observation system,EROS)数据中心的探路者数据库(Pathfinder data sets)提供的分辨率为 8km×8km 的 NDVI 旬数据。该数据是由经过了辐射计和大气校正^[4]的 NOAA/AVHRR 数据生成的。

2.2 气象数据

气象数据来源于研究区域内的 19 个标准气象站的 1982~1992 年的年平均气温、年最高温度、年最低温度、年降水量和年相对湿度。这 19 个气象站(如图 1)覆盖了暖温带、温带和寒温带区域,具有代表性。

2.3 GPS 数据和外业调查资料

本研究的外业调查从 1998 年 8 月开始,从哈尔滨出发,行程 5000 多 km,途经黑、吉两省,最后返回哈尔滨。此次调查利用摄像、书面记录和 GPS(采用 C/A 伪码)定位的形式,用两个 GPS 每隔几百米设一个点,并每隔 20km 设置一个样点,每隔 40km 打一个样地的方法,形成了一个环状调查带。然后又针对某些典型类型进行了两次调查,又形成了两条典型调查带。本次调查路线(如图 2)为:

- 环状带 哈尔滨—吉林市—长白山—图们—牡丹江—林口—密山—饶河—同江—逊克—五大连池—哈尔滨
- 典型带 哈尔滨—凉水
哈尔滨—帽儿山

3 数据处理

3.1 NDVI 预处理

将采集到的 NDVI 数据文件在 ARC/INFO 软件上转换成植被光谱响应图并进行预处理,以每月中最大值代表该月的 NDVI 值,以每年中的最大值代表该年的 NDVI 值,从而消除大气和云雾的部分干扰。

$$NDVI_{i,j} = \text{MAX}[NDVI_{i,jk}]$$

$$NDVI_i = \text{MAX}[NDVI_{i,j}]$$

其中, $i=1982$ 年, 1983 年, ..., 1992 年, 表示年; $j=1, 2, \dots, 12$, 表示月; $k=1, 2, 3$, 表示每月中旬。

3.2 投影转换

由数据文件转换后的图像投影方式为 ITTER- RUPTED GOODE HOMOLOGOSINE 投影^[5]。该投影是由 J. P. Goode 在 1923 年提出的,是一个等面积的圆柱体组合地图投影。该投影方式的坐标采用行列式的形式表示,与国际上惯用的经纬度坐标不同。而且该投影是由适合于高纬度区域的 Mollweidal 投影(也叫做 Homolographic 投影)和适合于低纬度区域的 Sinu- soidal 投影组成(Goode, 1925),这两个投影在南北纬度 $40^{\circ}44'11.8''$ 处连接。这种投影具有以下两个重要的特征:(1)是一种便于空间分析(Spatial analysis)的等面积投影(Equal area projection);(2)为了减少变形,将全球划分为 12 个区域。本论文研究区域覆盖了 2 个不同的投影区,因此需要先将这个图像从投影结合处分割,对不同投影方式的区域分别进行投影转换^[6],最后再将它们结合即完成。

3.3 植被分类

首先将该区域划分为 3 个地带性基本类型^[7]:寒温带针叶林类型、温带草原类型和温带针阔混交林类型。然后将 1982 年 12 个月的图像放在一个堆栈中,在 GIS 软件上利用非监督分类法将该区域分为 10 个子类型。该分类过程首先利用 K-MEANS 方法和各像点单元 12 个月的属性值产生各类间的协方差文件,以此为依据,不用数据自然法^[8]将该区域分为 10 个子类型。

3.4 各类型 NDVI 年际变化

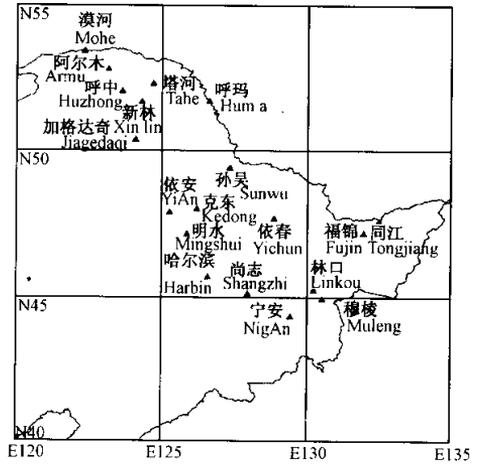


图 1 各气象站位置图

Fig. 1 The location of the climatic stations

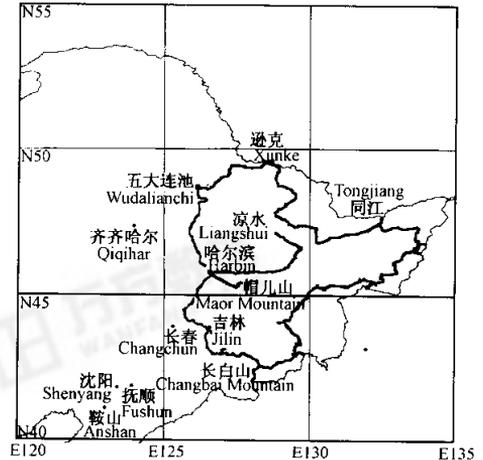


图 2 野外调查路线

Fig. 2 The route of the wild survey

由于本论文采用的遥感数据分辨率太低,植被类型的微小变化在图中不可能反映出来。因此,本论文采用提取每个类型在各年的平均 NDVI 值作为逐年植被类型变化的响应值。因为任何一个类型中某一部分的变化都会引起该类型在该处的光谱特征的变化,从而引起该部分单元的 NDVI 的变化,这会进一步引起整个类型的 NDVI 平均值的变化,而对该类型的 NDVI 的最大值、最小值、众数和中数都影响不大,甚至这些参数可能不会产生变化。所以采用 NDVI 平均值来判断各类型在这 11a 间的变化规律是合理的。

3.5 气象数据和外业调查资料的整理

在 GIS 软件的支持下,将 19 个气象站的位置与其地理坐标准确配准,形成气象站分布图,并将各站的气象资料与相应的站点相连接,形成图形与数据库的动态结合。

将外业调查中各样点的记录资料整理后,在 GIS 软件上将该资料与 GPS 接收机采集到的各样点位置相连接^[9]。

4 结果分析

4.1 植被类型的确定 将 1982 年的植被分类图中的各类型经外业调查验证后,最终确定为 10 种类型(如图 3)。

I 温带草原类型 (1)松辽平原草甸草原类型;(2)松辽平原外围森林、草原、农田混合类型;(4)三江平

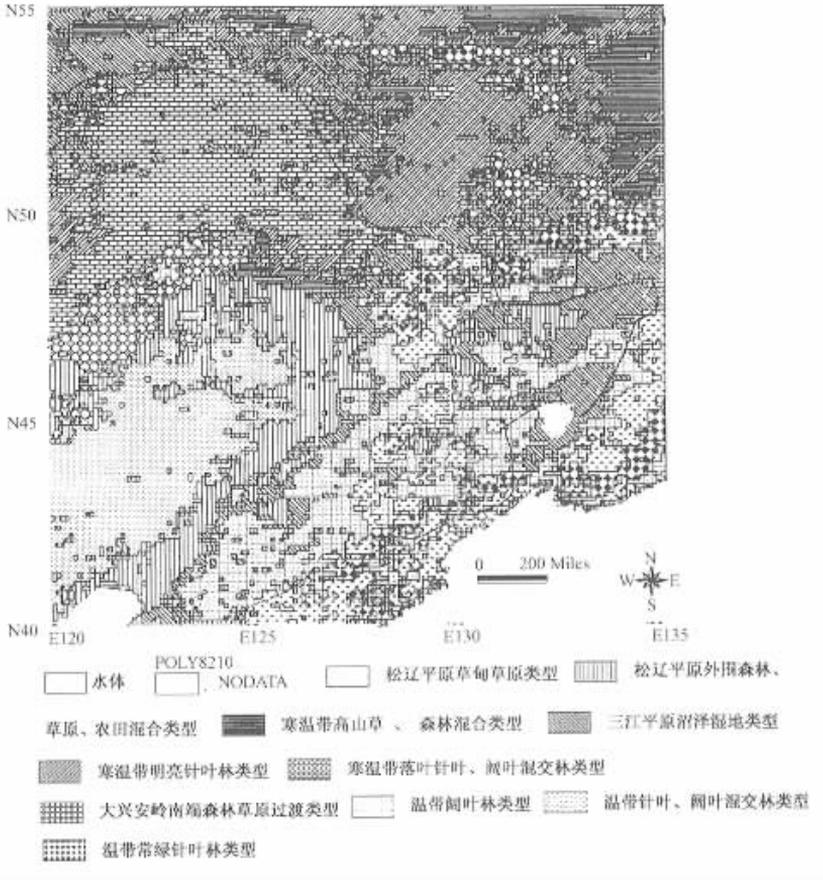


图 3 1982 年植被类型分布图

Fig. 3 The distribution of the vegetational types

原沼泽、湿地类型。

II 寒温带针叶林类型 (3)寒温带高山草原、森林混合类型;(5)寒温带明亮针叶林类型;(6)寒温带落叶针叶、阔叶混交类型。

III 温带针阔混交林类型 (7)大兴安岭南端森林、草原过渡类型;(8)温带阔叶林类型;(9)温带针叶、阔叶混交林类型;(10)温带常绿针叶林类型。

IV 水体 从该植被图中可看出,该区域的温带植被分布从西到东呈现明显的规律性。在西部主要是以草原、农田为主的温带草原类型,向东逐渐过渡到温带森林、草原过渡类型,再到温带针阔混交林类型,呈现明显的纬度地带性分布。将各类型的 NDVI 值与气候因子结合分析得出,这种分布与降水量相关性最密切。这与我国整体植被分布规律是相吻合的。

4.2 各类型 NDVI 值年际动态变化规律分析

从图 4 中可看出,松辽平原草甸草原、松辽平原外围森林草原过渡类型和寒温带高山草原、森林混合类型的 NDVI 平均值在各年中普遍最低,说明这 3 种类型植被的生长较差,特别是草甸草原,明显低于其它类型。从图 3 中可看到,这些类型主要为温带草原、农田类型和草原森林过渡类型;而温带针叶、阔叶混交类型和温带常绿针叶林覆盖类型的 NDVI 平均值普遍高,这两个类型主要是针阔混交林和常绿针叶林,是该地区的顶极群落,林分稳定、蓄积量大,它们的植被生长普遍好于其它类型。纵观整个图 4,可得出各类型中 NDVI 平均值由低到高的顺序为:松辽平原草甸草原类型→松辽平原外围森林草原过渡类型→寒温带高山草原、森林混合类型→三江平原沼泽、湿地类型→寒温带明亮针叶林类型→寒温带落叶针叶、阔叶混交类型→大兴安岭南端森林、草原过渡类型→温带阔叶林类型→温带针叶、阔叶混交类型→温带常绿针叶林类型。

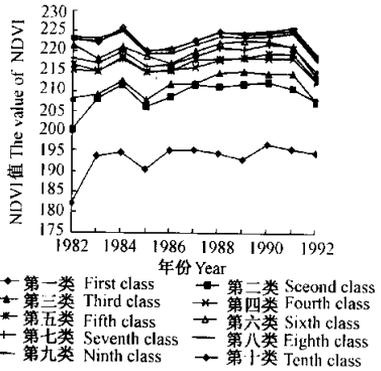


图 4 各植被类型 NDVI 年平均值变化曲线

Fig. 4 The change of the annual average of NDVI of vegetation types

4.3 NDVI 年际变化与气候因子间的关系分析 从图 4 中可看出,1982 年松辽平原草甸草原和松辽平原农田的 NDVI 平均值明显降低。利用 ARC/INFO 算术统计方法统计得第一类型共有 1787 个单元,其中有 1715 个单元的 NDVI 值在此期间降低了,降低率为 95.97%;第二类中的 1939 个单元中有 1815 个单元的 NDVI 降低了,降低率为 93.60%。因此可以判定该年对这两个类型来说是灾年,有向荒漠化发展的趋势。在该年内,其它类型的 NDVI 平均值也降低了,但降低的幅度不大;在 1985 年和 1992 年该地区所有的土地覆盖类型的 NDVI 均值都明显地降低了,而且降低的幅度都较大,结合气候资料研究发现,该地区各植被类型的 NDVI 的变化(图 4)与年降水量(图 5)和年最高温度(图 6)的变化呈现密切的相关性。1982 年和 1992 年该区域的年最高温度达到最大值,年降水量却普遍下降,说明在这两个年份里,NDVI 下降的原因是由于高温、干旱影响了植被的生长,从而引起 NDVI 的降低;而在 1985 年是年最高温度在部分地区达到了最大值,年降水量也在部分地区达到最大,说明在该年份里,由于高温、暴雨使得植被生长受影响,引起各类型 NDVI 的明显最低。在其它年份里,虽然年降水量变化很大,如在 1986 年和 1989 年该地区降水量普遍减少,而在 1987 年和 1991 年降水量又普遍增多,但由于年最高温度变化不大,相对保持稳定,所以对植被的生长影响不大,在光谱特征上表现为各类型的 NDVI 均值基本保持稳定,略有升降,但幅度都不大。NDVI 的年际变化与年平均气温、年最低气温和年相对湿度的变化关系不明显,在这里就不再讨论了。另外,人为干扰也能引起 NDVI 值的变化,但由于本研究采用的数据分辨率较大,短期内的人为干扰造成的 NDVI 值的变化表现不明显,而且这种干扰只对少部分类型造成影响。因此,大多数或所有类型的 NDVI 的变化一般数据由气候因子引起的,而非人为干扰。

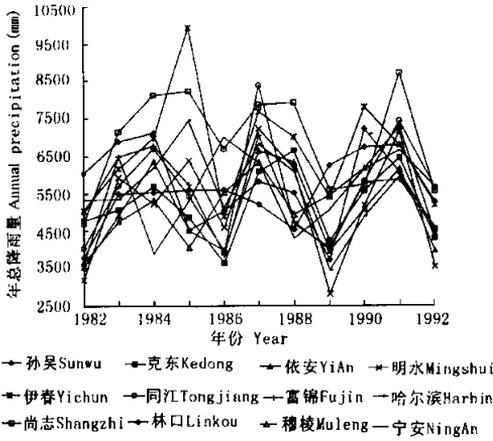


图 5 1982~1992 年年降水量变化曲线

Fig. 5 The change of the annual precipitation between 1982 and 1992

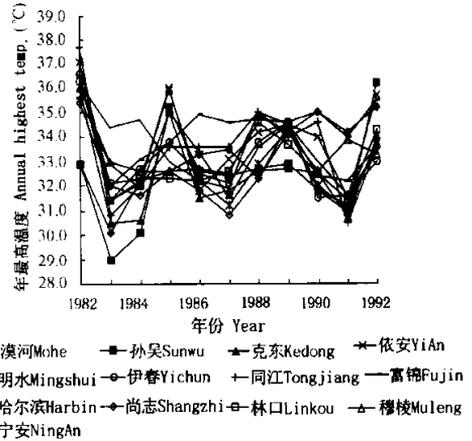


图 6 1982~1992 年年最高温度变化曲线

Fig. 6 The change of the annual highest temperature

5 结论

(1)NDVI 是由 NOAA 卫星 AVHRR/2 的通道 1 和通道 2 复合而来的,该指数对地物的绿色程度非常敏感,并能消除云雾的干扰和降低星下点被选中的概率,提高了识别地物的精度,而且该数据时间序列长、分辨率低、数据量大。经研究证明,对于研究大尺度的植被分布、植被动态和植被-气候关系是非常有用的。

(2)在 GIS 和 GPS 技术的支持下,利用 1982 年的 8KM 分辨率的 NDVI 图像将该地区最终划分为 3 个地带性类型和 10 个子类型,并得出该地区的植被分布呈现明显的纬度地带性分布,并分析出这种分布与降水量相关性最密切。

(3)受各类型植被自身生理特点和气候因子的影响,随着温带典型草原-森林、草原过渡类型-森林类型的逐渐过渡,各类型的 NDVI 由低到高变化。

(4)通过分析该地区的各植被类型 11a 的 NDVI 变化与同时期的气候资料得出,各类型的 NDVI 年际变化与年最高温度和年总降水量的变化相关性最密切。在 1982 年和 1992 年 NDVI 下降的原因是由于高温、干旱影响了植被的生长而引起 NDVI 的降低;而在 1985 年是由于高温、暴雨使得植被生长受影响,引起各类型 NDVI 的明显最低。在其它年份里,由于气候条件相对稳定,对植被的生长影响不大,因此,在光谱特征上表现为各类型的 NDVI 均值基本保持稳定,略有升降,但幅度都不大。

参考文献

[1] Los S O, Justice C O, Tucker C J. A Global 1 by 1 Degree NDVI Data Set For Climate. Studies Derived From the GIMMS Continental NDVI Data. *International Journal of Remote Sensing*, 1994, 15(17): 3493~3518.

[2] 李晓兵,史培军. 基于 NOAA/AVHRR 数据的中国主要植被类型 NDVI 变化规律的研究. *植物学报*, 1999, 41(3): 314~324.

[3] 李 祯,祁承留,等. 东北地区自然地理. 北京:高等教育出版社,1993,4.

[4] Brown O W Brown and Evans R H. Calibration of Advanced Very High Resolution Radiometer Observations. *Journal of Geophysical Research*, 1985, (90): 11667~11677.

[5] GOODE J P. The Homolosine Projection; A New Device for Portraying The Earth's Surface. *Entire Association of American Geographers, Annals*, 1955, (15): 119~125.

[6] 王茂新,沙奕卓,于 莉. 关于 NOAA AVHRR 图像重采样及投影方法的研究. *中国图像图形学报*, 1997, 2(1): 38~42.

[7] 高尔捷也夫 T II. 朱有昌译. 中国东北及内蒙古自治区东部的植被概要. *植物生态学与地植物学资料丛刊*(第 12 号). 北京:科学出版社,1957.

[8] 王 铮,梅安新,刘树人,等. 利用计算机从遥感图像识别植被类型的理论研究. *植被生态学与地植物学学报*, 1999, 13(2): 184~189.

[9] 钱天爵. *数字地球定位系统以及应用*. 北京:海潮出版社,1993.