

AVHRR NDVI 与气候因子的相关分析

李本纲, 陶

(北京大学城市与环境学系, 北京 100871)

摘要:对中国 160 个气象站 10a 的连续 AVHRR NDVI 数据、气象观测数据进行相关分析,并结合植被覆盖类型资料深入探讨了 AVHRR NDVI/气温和 AVHRR NDVI/降水相关系数的地区差异及其随植被类型变化规律。研究结果表明,对中国的大部分地区,气温对植被的影响超过降水。就自然植被而言,其对降水的敏感性趋势为草本植被大于灌木植被,灌木植被大于乔木植被。就农作物而言,降水影响取决于耕作制度、作物种类、降水季节分配、灌溉方式等因素。在华中、新疆等灌溉农业区,降水对植被的直接影响相对较弱;而在东北、华北、四川盆地等地区,降水对农作物的生长起决定性作用。

关键词:NDVI; 气候因子; 相关性; 植被

Correlation between AVHRR NDVI and climate factors

LI Ben-Gang, TAO Shu (Department of Urban & Environmental Sciences, Peking University, Beijing, 100871, China)

Abstract:Based on 10-year monthly average AVHRR NDVI data and weather records collected from 160 stations all over China, the relationship between AVHRR NDVI and the climate factors including air-temperature and rainfall was analyzed. The results showed significant correlation between the NDVI and the two climate factors and temperature was more influential than rainfall on the NDVI. It was also demonstrated that for natural vegetation, the NDVI/rainfall correlation coefficients decreased in an order of grass, shrub, and forest. The correlation coefficients of cultural land depended on a number of factors including agricultural practice, type of crops, seasonal variation in precipitation, especially irrigation pattern.

Key words:NDVI; climate factor; correlation; vegetation

文章编号:1000-0933(2000)04-0898-05 中图分类号:Q149, Q948.1 文献标识码:A

由气象卫星 NOAA AVHRR 数据得到的 NDVI 数据(Normalized difference vegetation index)可用于区域和全球尺度的植被覆盖研究。由于 NDVI 与绿色植物生物量有密切关系,加上 AVHRR 数据的时相分辨率高,目前 AVHRR/NDVI 数据被广泛应用于农作物的种植面积估算、作物长势监测和单产估算、以及森林、草地等自然植被监测。无论是天然植被还是人工植被,其生长过程都受到各种气候因子如气温、降水的影响,而植被覆盖的变化也包含与各种气候变化和人为扰动有关的信息。因此,研究 AVHRR NDVI 与各类气候因子的相互关系,有助于利用 AVHRR NDVI 数据进行作物长势预测和全球变化等相关研究。

自 90 年代以来,在 AVHRR NDVI 和气候因子的相互关系研究方面发表了大量论文,但彼此的有关结论却相差甚远。例如, Yang 得出 AVHRR NDVI 和降水量的相关系数达 0.7~0.9^[1];而 Eklundh 的计算结果仅为 0.1~0.36^[2]。产生类似差别的原因可能是:1)数据时间跨度短(一般仅 1~3a),所选年份有气候异常的可能。2)研究区域范围小和植被类型单一,如东部非洲、西部非洲、或美国的某个州。3)用于相关分析的降水和 NDVI 采样频率一般为 7d、10d,但由于观测点在该时间段内可能并无降水,造成降水数据代表性较差。4)很少结合具体的植被类型和生长环境进行分析,而各观测点的相关系数差别甚大,简单平均得到的结论有其局限性。

基金项目:国家杰出青年基金资助项目(49525102)

收稿日期:1998-06-13;修订日期:1999-10-07

作者简介:李本纲,男,湖北公安人,博士,讲师。主要从事遥感与地理信息系统在环境模拟,环境预测及环境评价中的应用研究。

中国地域辽阔,植被类型丰富,自然地理环境变化大,是进行 AVHRR NDVI 气候-植被相互关系研究的理想场所。本研究旨在探讨中国不同地区、不同植被类型的 AVHRR NDVI 与气候因子的相互关系。

1 研究方法

1.1 气象资料

本研究采用的气象观测数据是从国家气象局获得的中国 160 气象站的月平均气温和月降水量多年观测资料,时间跨度为 10a(1983 年 1 月~1992 年 12 月)。气象观测数据覆盖除青藏高原和台湾省以外的中国大部分地区。华北、华中、华南及东部地区站点密布,西北、西南站点稀疏。该 160 气象站都属于地区(市)级站,而且其选点大都在城市郊区开阔处,受城市人为活动的影响相对较小,因此利用该 160 气象站的观测数据进行全国 NDVI-气候-植被相互关系研究具有代表性、合理性。这些气象站分布如图 1 所示。

1.2 AVHRR NDVI 数据和植被资料

AVHRR NDVI 数据是月最大 NDVI 值合成图,即 MMVC NDVI (Monthly maximum value composite NDVI),而不是周/旬最大 NDVI 值合成图。该数据时间跨度为 1983 年 1 月~1992 年 12 月,每月一幅共 120 幅。图象几何空间分辨率为 1km,覆盖范围为 E72°.0~E136°.0,N17°.0~N55°.0,包括中国大陆的全部。该数据来自 US-GS(U.S.Geological Survey)的 AVHRR 数据库。

植被资料参考 1979 年中国科学院植物研究所编辑、中国地图出版社出版的 1:4 000 000 中国植被图^[3]。

1.3 相关分析

首先根据 160 气象观测站点的地理位置从 AVHRR NDVI 系列图中提取相应的 NDVI 值。然后分别计算各点的 NDVI 序列与月平均气温序列的相关系数,即 NDVI/气温相关系数(Cnt)。在计算各站 NDVI 序列与月降水序列的相关系数(Cnr)时,考虑到降水通过土壤渗透、植物根系吸收到反映在 NDVI 上的过程较为缓慢,NDVI 相对于降水有一定的时间滞后。由于该时间滞后不仅仅与植物类型有关,还随当地土壤特性、地形条件等因素而变化。为了确定不同地点降水对不同植物类型 NDVI 的真实影响,研究中分别取 1、2、3、4 月的时间滞后分别计算各点 NDVI/降水相关系数,然后取 4 个值中最大值为该点 NDVI/降水相关系数。

2 研究结果与讨论

NDVI/气温相关系数与 NDVI/降水相关系数的初步分析

分别对 160 个站位计算的 NDVI/气温与 NDVI/降水相关系数结果表明多数站点的 NDVI 与气温和降水显著相关。对 Cnt,95.0%(160 站中的 152 站)的计算相关系数在 0.05 水平显著,96.25%(160 站中的 154 站)的 Cnr 在该水平显著。两相关系数的空间分布则如图 2 所示。

从图中相关系数看,NDVI/气温相关系数(Cnt)明显高于 NDVI/降水相关系数(Cnr)。160 站中,Cnt 大于 Cnr 的共 131 个,约占 82%。而且 Cnt 小于 Cnr 的站比较集中,除了少数位于东北以外,其它全部位于我国西南地区的藏东南、川西以及云南省境内,如昌都、拉萨、西昌、丽江、临沧、德钦、昆明、大理等,即气候区划中的康滇区内。这说明在中国的大部分地区,气温对植被生长的影响超过降水的影响。

相对而言,NDVI/降水相关系数的分布、变化规律要比 NDVI/气温相关系数复杂得多。NDVI/气温相关系数主要受气候四季分配类型影响。由于受季风影响,中国大部分地区属冬冷夏热四季分明类型,NDVI/气温相关系数都较高。但在少数 Cnt 小于 Cnr 的站点,NDVI/气温相关系数都较小,有的甚至为负值。这主要是由于相应地区四季分配类型的特殊性所致。如云南的部分地区为四季如春类型,而东北的哈尔滨、海拉尔、齐齐哈尔等地、以及藏东南、川西小部分地区都属于长冬无夏春秋相连的四季分配类型,气温变化对植物生长影响有限。

2.1 年均温与 Cnt 以及年降水量与 Cnt 的关系

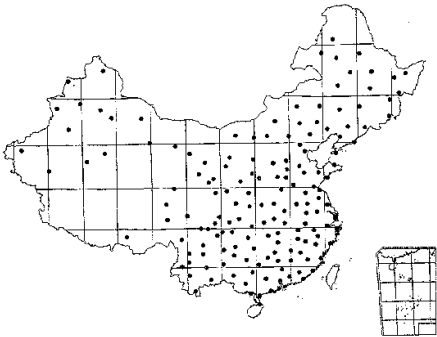


图 1 用于研究的中国 160 个气象观测站分布图

Fig.1 Locations of 160 weather stations in China

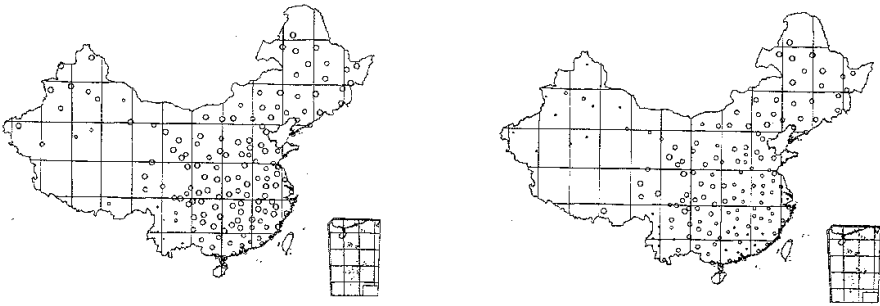


图 2 NDVI/气温(左)与 NDVI/降水(右)相关系数分布图

Fig. 2 Correlation coefficients of NDVI/temperature(left) and NDVI/precipitation(right) over China
两个相关系数与各点年均温及年降水量的关系在图 3 中以散点图的方式给出。

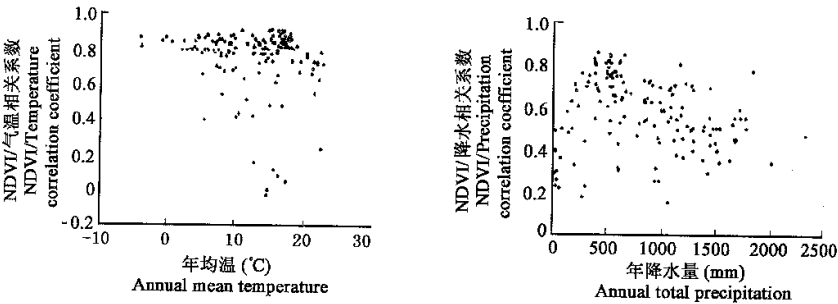


图 3 NDVI/气温相关系数(Cnt)及 NDVI/降水相关系数(Cnr)与年均温及年降水量关系

Fig. 3 NDVI/Temperature and NDVI/Precipitation correlation coefficients
against annual mean air temperature and total precipitation

图中结果表明,各站点的 Cnt 与相应的年平均气温的分布无显著关系。也就是说,年平均温度的高低与各站点气温对植被的影响力并无必然联系,影响 NDVI/气温相关系数的主要是气温的变率。

而对于 Cnr,则随着年降水量的变化呈现规律性变化。当年降水量小于 300mm 时,植被对灌溉的依赖性在减少,相关系数随之增加;在年降水量为 300~700mm 的内蒙古东部草原、东北平原以及东北丘陵,无论自然植被还是农业植被,其所需水分主要来源于降水,因此相关系数达到最高;当年降水量大于 700mm 时,雨量过大可能会对自然植被的生长有害,农业植被随着耕作强度的加大而对灌溉的依赖程度加强,因此相关系数随降水增多反而呈下降趋势。

2.2 植被类型对 NDVI/降水相关系数的影响

为了分析植被类型对 NDVI/降水相关系数的影响,首先根据 160 站的空间坐标和 1 : 4 000 000 植被图确定每一站点的植被类型。由于地图比例尺在精度的限制,植被类型只能具体到植被纲组。在此基础上分不同植被类型分别进行 NDVI/降水相关分析。在分析的 160 站中属于自然植被的仅 46 个,属于农业植被的站点有 114 个。分析结果归纳在表 1 中。

从以上的分析资料可以看出,对于自然植被而言,草本植被的 NDVI/降水相关系数最高,灌木植被次之,最小的是乔木植被。这可能与植物的生长环境有关。雨水充沛或过剩的地区,降水不是植物生长的限制因素,NDVI 与降水的相关性也小。植物本身的生长特性,如根系特征、生长周期等也是影响该相关系数的重要因素,草本植被根系发达、且相对较浅,对降水很敏感,NDVI 与降水的相关系数也较大,灌木植被与乔木植被对降水的敏感性相对较低。同为乔木植物,常绿树种就比落叶树种的 NDVI/降水相关系数小。

对农业植被而言,除南疆、北疆的绿洲以及四川盆地等特殊地区外,NDVI/降水相关系数分布的大致

规律是由南到北随着耕作频率的增加而降低。在东北平原,由于受太平洋季风气候影响,年降水量在 600~700mm 之间,属中温带湿润气候,降水为农业植被水分的主要来源,NDVI 受降水影响明显,NDVI/降水相关系数大多都在 0.7 以上。随着耕作频率的增加,灌溉的比例逐渐加大,NDVI/降水相关系数逐渐下降。在黄淮平原、长江中下游平原水稻区和洞庭湖区,各类灌溉沟渠纵横,降水对农业的影响变小,NDVI/降水相关系数下降到 0.5 左右。到了河西走廊和南疆、北疆等完全靠灌溉的绿洲,NDVI/降水相关系数下降至最低,为 0.3~0.4。

表 1 不同植被类型的 NDVI/降水相关系数

Table 1 Correlation coefficient of NDVI/Rainfall for various vegetation types

	植被类型 Vegetation type	站点数 Number of stations	NDVI/降水相关系数统计特性 Statistics of NDVI/Precipitation correlation coefficient				站点所属地区及站名 Location and name of stations
			平均值 Mean	最大值 Max.	最小值 Min.	标准差 St. Deviation	
自然植被 Natural vegetation	常绿针叶林 Evergreen coniferous forest	7	0.45	0.51	0.33	0.07	川西及云南高原西北部横断山脉一带,如西昌、雅安、会理、丽江等
	落叶阔叶林 Deciduous broad-leaved forest	6	0.52	0.60	0.40	0.06	东北山区,如通化、长春、延吉等
	灌丛和荒漠 Scrub and coppicewood	22	0.61	0.82	0.41	0.15	分布范围广,如内蒙古东部的海拉尔、博格图,西南地区的昌都、榆林、恩施、康定、临沧等
	草原和草甸 Steppe and savana	11	0.77	0.86	0.68	0.06	主要在东北平原和内蒙古中西部,如富锦、佳木斯、锡林浩特、多伦、朱日和等
	一年一熟粮作 One crop annually(rice)	25	0.74	0.85	0.61	0.07	东北平原及甘肃、内蒙古的部分地区,如嫩江、乌兰浩特、通辽、哈尔滨、兰州、中宁、西宁、包头、呼和浩特等
农业植被 Agricultural vegetation	一年两熟或两年三熟旱作(局部水稻) Two crops annually or three crops in two years (with rice locally)	24	0.65	0.71	0.46	0.07	华北的广大地区,如北京、天津、石家庄、安阳、太原、临汾、铜川
	一年水旱两熟粮作 Two crops containing upland and rice annually	9	0.28	0.38	0.20	0.05	南疆的喀什、和田、且末以及北疆的阿勒太、伊宁、乌鲁木齐等
	双季稻或单季稻连作喜凉旱作 Double-cropping rice followed by a cool-loving crop annually or three upland crops annually	12	0.54	0.67	0.47	0.08	河南、安徽、江苏的部分地区,如南阳、信阳、南京、合肥等
	双季稻或单季稻连作喜凉旱作 Double-cropping rice followed by a cool-loving crop annually or three upland crops annually	19	0.48	0.59	0.34	0.06	湖北、湖南、江西、浙江的广大地区,如宜昌、武汉、常德、衡阳、长沙、南昌、赣州、宁波、温州
	三季稻或双季稻连作喜温旱作 Thrice-cropping rice annually or double-cropping rice followed by warm-loving crops	8	0.72	0.81	0.69	0.03	四川盆地,如成都、宜宾、南充、内江等
	三季稻或双季稻连作喜温旱作 Thrice-cropping rice annually or double-cropping rice followed by warm-loving crops	10	0.55	0.64	0.45	0.07	华南的大部分地区,如广州、汕头、桂林、柳州、百色、海口等
	各类经济林和果园 Economic crops and economic forest	7	0.45	0.56	0.40	0.04	山东的青岛、烟台以及沿河西走廊的吐鲁番、哈密、库车等

于其它同类地区站点。为了分析四川盆地与其它同植被类型地区 NDVI/降水相关系数差异的原因,对成都、宜宾、南充、内江、武汉、长沙、南昌、温州等 8 站的降水资料进行比较(表 2)。

表 2 气象观测站的年降水资料与 NDVI/降水相关系数比较

Table 2 Comparison of annual rainfall data and NDVI/Rainfall correlation coefficient from 8 weather stations

站名 Station name	年降水量 Annual total precipitation(mm)	春季 Spring (%)	夏季 Summer (%)	秋季 Autumn (%)	冬季 Winter (%)	NDVI/降水相关系数 NDVI/Precipitation correlation coefficient
成都 Chengdu	976.0	16.5	62.9	18.3	2.3	0.71
宜宾 Yibin	1221.4	19.1	58.7	20.0	2.2	0.81
南充 Nancong	1018.3	18.0	60.5	18.1	3.4	0.69
内江 Neijiang	1276.0	18.3	58.0	20.3	3.4	0.71
武汉 Wuhan	1260.1	32.5	42.1	15.1	10.3	0.52
长沙 Changsha	1422.4	41.9	29.1	15.8	13.2	0.50
南昌 Nanchang	1598.0	43.6	31.2	12.8	12.4	0.51
温州 Wenzhou	1698.2	28.6	33.7	24.5	13.2	0.45

表中 8 个测站的植被类型都属于双季稻,从表中可以看出,四川盆地的成都、宜宾、南充、内江的 NDVI/降水相关系数都较高,而非四川盆地的武汉、长江、南昌、温州则较小。这主要是由降水的季节分配比例决定的。如果在植物生长期内降水充足、均匀,则其 NDVI 受降水的影响非常明显,反之则两者相关性弱。四川盆地的 4 个测站夏季降水都接近全年降水的 60%,两季水稻的水分相当部分由降水供给,相应 NDVI/降水相关系数在 0.7 以上;其它 4 个测站的降水在两季水稻水分需求量最大的夏季明显不足,为缓解旱情,不得不以各种灌溉措施补充作物所需水分,NDVI/降水相关系数在 0.5 左右。

3 结论

- 通过对中国 160 站的 AVHRR NDVI 数据、气象数据、植被类型数据的分析可以得出以下结论:
- (1)中国大部分地区植物生长情况与降水和气温显著相关。
 - (2)气温对植物生长的影响明显超过降水,且气温对植被的影响程序与年平均气温高低无关。
 - (3)降水对植物生长的影响力随年降水量的变化呈现规律性变化,当年降水量小于 300mm 时,降水的影响力随降水量增加而增加,当降水量在 300~700mm 时达到最大,当降水量大于 700mm 时,降水的影响力反而下降。
 - (4)对自然植被而言,草本植被对降水的敏感性大于灌木,灌木植被对降水的敏感性大于乔木。
 - (5)对农业植被而言,降水的影响取决于耕作制度、作物种类、降水季节分配、灌溉力度等因素。在华中、新疆等灌溉农业区,降水对植被的直接影响相对较弱;而在东北、华北、四川盆地地区,降水对农作物的生长起决定性作用。

参考文献

[1] Wenli Yang,Limin Yang and James W. Merchant,AVHRR-derived NDVI and ecoclimatological parameters;relations,spatial and temporal variabilities. ASPRS/ACSM 1994,744~755.

[2] Eklundh L. Estimating relations between AVHRR NDVI and rainfall in East Africa at 10-day and monthly time scales. *Int. J. of Remote Sensing*,1998,**19**(3):563~568.

[3] 中国植被图,中国科学院植物研究所编辑,中国地图出版社,1979.

[4] Cihiar J,Laurent St,*et al.* relation between the NDVI and ecological variables. *Remote Seneing of Environment*, 1991,**35**:279~298.

[5] Narasimha Rao,Venkataratnam P V L. *et al.* ,Relation between root zone soil moisture and NDVI of vegetated fields. *Int. J. of Remote Sensing*,1993,**14**:441~449.

[6] Schultz P a and Halpert M S. Global correlation of temperature,NDVI and precipitation. *Advances in Space Research*,1993,**13**:277~280.

[7] Eric F Lambin Change detection at multiple temporal scales;seasonal and annual variation in landscape variables. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*,**62**(8):931~938.

[8] Reed,Tracy and Limin Yang. Seasonal Vegetation Characteristics of the United States. *Geocarto International*, **12**(2):65~71.