

陈怀亮, 刘玉洁, 杜子璇, 等. 黄淮海地区植被生长季变化及其气候变化响应. 应用气象学报, 2011, 22(4): 437-444.

黄淮海地区植被生长季变化及其气候变化响应

陈怀亮¹⁾²⁾ 刘玉洁³⁾ 杜子璇^{1)2)*} 刘忠阳¹⁾²⁾ 邹春辉¹⁾²⁾

¹⁾(中国气象局/河南省农业气象保障与应用技术重点开放实验室, 郑州 450003)

²⁾(河南省气象科学研究所, 郑州 450003) ³⁾(国家卫星气象中心, 北京 100081)

摘 要

利用 1982—2000 年的 NOAA/AVHRR 逐旬数据, 采用最大变化斜率法、曲线拟合法等方法分析黄淮海地区植被生长季开始及结束时间, 选取典型样带, 制作基于逐像元的 I_{NDV} (归一化植被指数) 变化图, 研究 1982—2000 年植被生长季的变化规律及其对气候变化的响应。结果表明: 黄淮海地区生长季开始的平均时间为 3 月下旬, 结束时间为 11 月上旬。20 年来研究区植被四季平均 I_{NDV} 呈上升趋势, 春季增长尤为显著, 且随着年代的推移, 植被生长季有延长的趋势, 生长季提前是黄淮海地区植被活动对气候变化响应的主要方式。

关键词: I_{NDV} ; 气候变化; 生长季; 黄淮海地区

引 言

植被是陆地生态系统的主体, 在地圈-生物圈-大气圈交叉研究中具有特殊作用, 被认为是人类环境评价和监测的重要参数。植物及其群体对自然要素所施加的影响反应最灵敏, 并具有最充分的表现能力。这些表现不仅反映在植被及其群体的种群变化以及覆盖度与生物量的变化上, 而且反映在植被特有的年际和季节的变化上^[1]。

许多学者根据植被的这一特点, 利用宏观遥感数据监测的植被变化来反演气候的变化及影响, 同时由于地球表层的高度差异性, 植被对全球变化的响应应具有明显的地域分异规律并表现出不同的时间尺度^[2]。研究表明, 随着全球气候变暖, 植物物候正在发生改变, 许多植物通过改变与春天到来和秋天开始相关的同步活动以适应变暖, 而带来更长的生长季。但对于某些农业植被来讲, 可能会使生长季缩短^[3-4]。在 20 世纪 80 年代以来, 北半球中高纬度地区尤其是亚洲和北美 40°~70°N 地区的植被活动显著增强, 北半球高纬度地区 1981—1991 年植被生长季提早了 8 d, 而

生长季结束时间推迟了 4 d, 认为春季温度增加给高纬度地区植被带来了更长的生长季^[2]。随着全球变暖, 不仅植被生长活动增强, 而且生长季节的开始时间也有显著提前^[5]。这些地区的植被变化一是受大气 CO_2 浓度上升、温度增加以及氮、磷沉降的影响, 植被活动在季节变化中的振幅加大; 二是受气候变暖影响, 使植物的生长季提前或延长^[6-9], 即植被活动在不同季节有不同的响应。目前的研究大多是围绕全球或某一区域植被的平均活动状况, 而利用遥感资料研究植被活动年际变化的季节差异相对较少, 从而无法阐明不同地区植被对气候变化响应的具体表现形式。黄淮海地区作为我国最大的农耕区之一, 其植被类型以农业植被为主, 约占整个植被面积的 62.15%, 同时自然植被也占有相当的比例^[10]。了解在气候变化大背景下, 农业植被与自然植被混杂区的植被变化规律及对气候变化的响应, 对研究气候变化对农业的影响与适应具有重要意义。为此, 本文利用 1982—2000 年 10 d 最大合成法生成的 NOAA/AVHRR 探路者数据库 I_{NDV} (归一化植被指数) 数据, 研究这近 20 年时段内黄淮海地区植被生长季变化规律及其对气候变化的响应。

2010-12-16 收到, 2011-05-19 收到再改稿。

资助项目: 公益性行业(气象)科研专项(GYHY200906022, GYHY201006027, GYHY201106027)

* 通信作者, E-mail: dzxbtry@163.com

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

黄淮海平原(32°~42°N, 110°~123°E), 位于我国东部, 东濒渤海、黄海, 西倚太行山、伏牛山, 北以长城为界, 南至淮河, 包括海河、黄河、淮河流域中下游的京、津、冀、鲁、豫大部, 苏北、皖北、黄河支流的汾渭盆地。从《中国自然地理》丛书中的中国气候区划图看, 黄淮海地区主要属于华北类的暖温带亚湿润大区^[11]; 从中国植被覆盖图上看, 研究区主要植被为温带落叶阔叶林和温带落叶灌丛, 农业植被主要是一年两熟或两年三熟连作、落叶果园区^[12]。

1.2 数据来源与预处理

植被指数是利用卫星不同波段探测数据组合而成的, 能反映植物生长状况的指数。各种植被指数中, 归一化植被指数 I_{NDV} 能够较准确地反映植被地覆盖状况、生长状况、生物量以及光合作用强度, 因此, 常被直接或间接地用于研究植被活动^[13-18]。其定义为

$$I_{NDV} = (R_{Ni} - R) / (R_{Ni} + R). \quad (1)$$

式(1)中, R_{Ni} 为物体在近红外波段附近的反射率, R 为物体在红光波段附近的反射率。

本研究用遥感数据为 NOAA 的 I_{NDV} 数字影像, 由于 NOAA/AVHRR 数据对光谱的红光及近红外的敏感性导致其被大量应用于地表研究^[19]。由于 I_{NDV} 与绿色植物生物量有密切关系, 同时, NOAA 数据不仅时间分辨率高, 而且校准有效而统一, 保证了数据质量^[20], 因此目前该数据不仅被广泛应用于农作物种植面积估算、作物长势监测和单产估算, 而且用于森林、草地等自然植被监测, 如物候生长季及对气候变化响应的监测^[21], NOAA 归一化植被指数数据在全球及区域植被活动变化研究中具有其他数据所无法替代的作用^[22-23]。

原始数据为 GOODE 投影, 空间分辨率为 8 km, 数据为重采样生成的等经纬度的格点资料, 主要记录的是植被指数格点信息, 信息值域为 0~255, 分辨率为 $0.072^\circ \times 0.072^\circ$; 数据量纲为 1, 信息值用于表示该陆表格点植被情况, 其动态范围为 3~253; 数据的时间分辨率为旬, 经过最大值合成和滤波处理, 时间序列为 1981 年 7 月—2000 年 12 月, 其中, 缺失的 1994 年 10—12 月数据由 1993 年和 1995 年对应月份的平均值替代, 并用其他月份的值进行了订正, 为进行年际间的比较, 本文选择 1982—2000 年的数

据。

I_{NDV} 按照式(2)转换成 -1~1 之间:

$$I_{NDV} = 0.008 \times (n_n - 128). \quad (2)$$

式(2)中, n_n 为用于表示植被状况的信息值。

对数据预处理时, 首先将原始数据转换成栅格图像, 根据式(2), 用 -1~1 之间的数值表示归一化植被指数值, 然后提取研究所需区域的 I_{NDV} 旬、月、年值。基于 ArcGIS 软件提取研究区域内经向与纬向样度带逐像元 I_{NDV} 数据与植被类型数据, 依照时间序列进行组合样度带, 得到所需图层。

2 黄淮海地区植被生长季变化及对气候变化的响应

2.1 植被生长季的划分

目前, 基于 NOAA/AVHRR I_{NDV} 数据划分生长季的方法有多种, 比较常用的有利用 I_{NDV} 阈值确定植被生长季^[24]、平滑移动平均法^[25]、平均法^[26]、最大变化斜率模型法^[27]、主分量分析法^[28]、基于曲线拟合法等, 各方法有不同的优缺点。本文根据研究区域大小及研究区内 I_{NDV} 变化特征, 主要采用最大变化斜率模型法及分段曲线拟合来确定黄淮海区域植被生长季。

对研究区 1982—2000 年的 I_{NDV} 逐旬数据进行平均, 得到植被生长多年旬平均变化曲线, 如图 1a 所示。从图 1a 中可以看出, 一年中平均 I_{NDV} 值有两个峰值, 分别在第 14 旬和第 23 旬, 即 5 月中旬和 8 月中旬, 说明此时是植被生长最旺盛的时期。对该曲线进行分段多项式拟合, 分别找出生长季开始和结束的时间以及相应的 I_{NDV} 临界值。

利用线性回归方法拟合多年平均 I_{NDV} 旬变化曲线, 分别对 1—5 月中旬和 9—12 月的 I_{NDV} 进行线性回归, 从拟合结果(图 2)可以看出, 拟合值与实际值的相关系数分别为 0.9872, 0.9944, 均通过了 $\alpha = 0.001$ 的显著性检验。对 I_{NDV} 时间变化曲线进行速度变化分析, 一阶导数表明物候变化的速度, 二阶导数表明物候变化速度的变化情况。根据曲线斜率的变化(图 1b)以及实际变化曲线的转折点, 确定研究区植被生长季的开始时间为第 9 旬, 即 3 月下旬, 生长季结束的时间为第 31 旬, 即 11 月上旬, 这与温刚等利用 AVHRR I_{NDV} 资料在 EOF 分析基础上得出的华北区生长季的结果相吻合^[28]。由此确定黄淮海地区植被生长季开始和结束时的多年平均 I_{NDV} 临界值分别为 0.19604 和 0.22899。

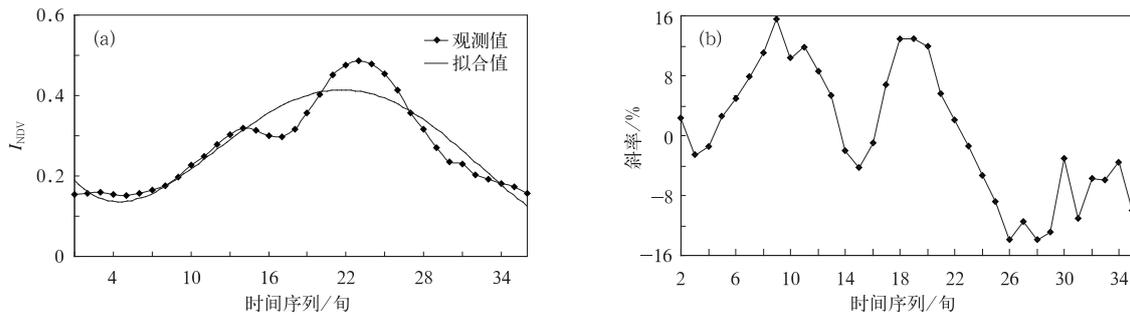


图 1 多年旬平均 I_{NDV} 变化曲线(a)及变化斜率曲线(b)

Fig. 1 Multi-year average NDVI ten-day changing curve(a) and changing slope curve(b)

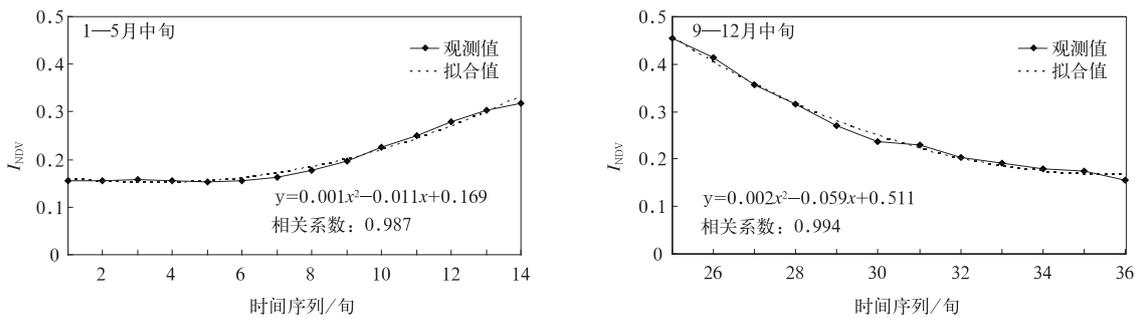


图 2 多年旬平均 I_{NDV} 变化曲线多项式拟合

Fig. 2 Multi fitting of multi-year average NDVI ten-day changing curve

2.2 植被生长季的年际变化

提取 1982—2000 年植被 I_{NDV} 达到生长季临界值所在的时间,做出生长季开始和结束时间变化曲线,如图 3a(其中 1995 年温度偏高、雨量丰沛,全年各旬 I_{NDV} 均大于 0.2,故该年生长季开始时间按比统计中最早的年份还提前 1 旬计算)、图 3b(1990,1995,1996 年秋、冬季各旬 I_{NDV} 均大于临界值,故将这 3 年生长季结束时间按比统计中最晚的年份还晚 1 旬计算)所示。图 3a 中,旬序值呈下降趋势,说明生长季开始的时间越来越早,生长季有提前的趋势,趋势线与年份的单相关系数为 0.3373。从图 3b 可以看出,生长季

结束的旬序值呈上升趋势,即生长季结束的时间出现了推迟的现象,趋势线与年份的单相关系数为 0.3483。尽管线性趋势未通过 $\alpha=0.1$ 的显著性检验,但近 20 年来生长季开始的时间呈提前趋势,而结束的时间呈推迟趋势,即植被生长季的时间间隔呈延长趋势。线性变化趋势分析表明:生长季开始时间每 10 年提前 0.89 旬,即 8.9 d;生长季结束时间每 10 年延迟 1.1 旬,即 11 d,也就是说在这 20 年间,生长季每 10 年延长了约 20 d。这与柳晶等^[30]、陈彬彬等^[31]分析的自然植被物候期变化相一致,但由于本研究中有农业植被,所以生长季延长天数上有所差别。

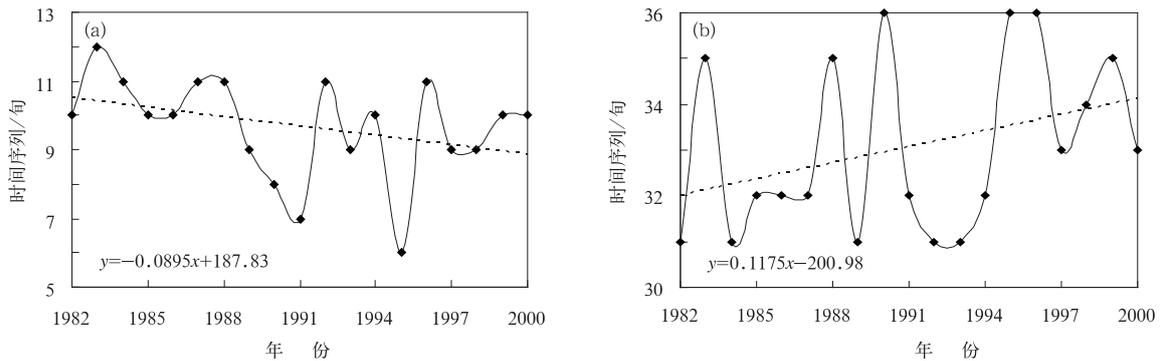


图 3 1982—2000 年生长季开始时间(a)和结束时间(b)变化曲线

Fig. 3 Changing curve on the beginning time (a) and ending time (b) of growth season from 1982 to 2000

2.3 植被生长季推移的空间变化

在我国,植被类型受热量影响呈南北经向带状分布,同时受东亚季风影响,同一纬向热量带内,又受水分因素影响,使得植被类型大致沿经线方向延伸,形成由东向西依次更替的经向地带性分布规律。此外,在高山地区,植被类型随海拔升高而呈垂直地带性分布。因此,对黄淮海地区来说,生长季开始时植被绿度指数由东南向西北推移,将这种带状分布称为绿波,生长季结束时植被绿度指数由北向南推移,称之为褐波。

为研究黄淮海区域植被生长季推移的空间变化,选取研究区中部的116°E经向带和36°N纬向带作为典型样带,利用1982—2000年月平均 I_{NDV} 资料,制作逐像元植被指数剖面图(图4),分析月平均变化情况。从图4可以看出,在经向带上,1—7月,

绿波由南向北逐渐推移;8月,南、北区域植被指数均达到最大值;9月后逐渐降低。在纬向带上,从114°E附近及向东大部植被类型为一年两熟农作区,因此植被 I_{NDV} 明显不同于其他地区,出现两个峰值,即4月和8月;110°E,112°E附近为阔叶林林区,其植被 I_{NDV} 在5—9月值最高;在一些针叶林山区, I_{NDV} 最高值在7—8月。

由图4可知,区域内植被季节变化明显,植被指数最大值出现在夏季,为体现植被的季节变化特征以及地理分布差异,进一步从空间角度分析,利用ArcGIS空间分析功能选取1982年1月—2000年12月116°E经向带(32°~42°N)和36°N纬向带(110°~120°E)的两个典型样带,基于植被覆盖类型,逐像元制作月最大植被指数剖面图,以分析黄淮海区域植被指数在这近20年期间的变化状况。

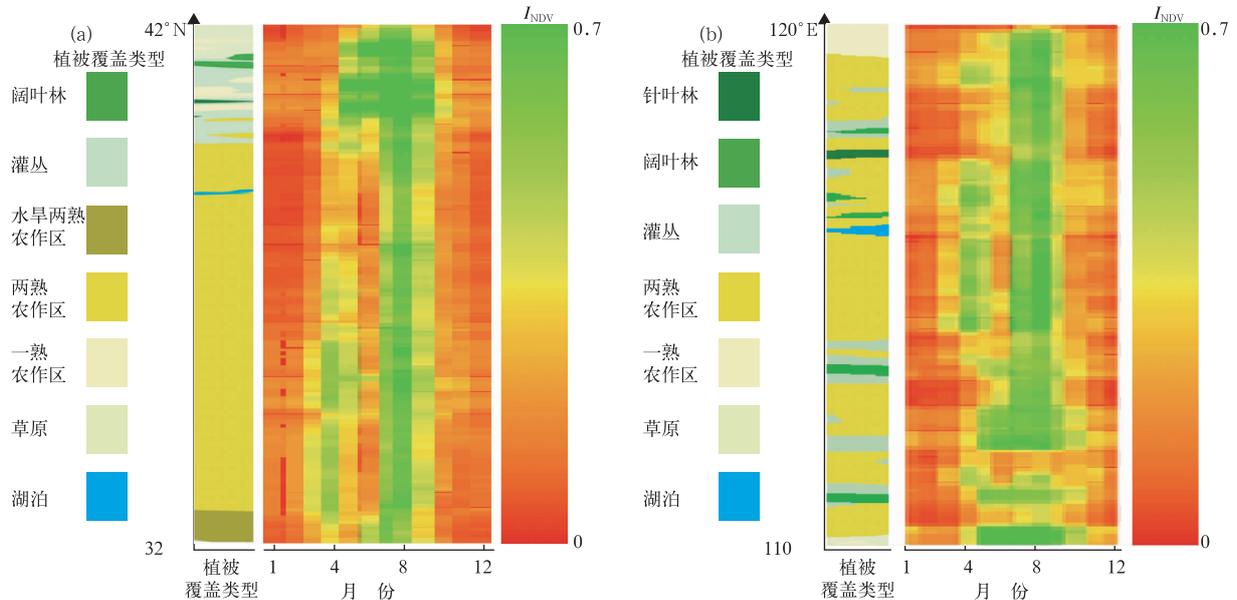


图4 1982—2000年116°E经向带(a)和36°N纬向带(b)上常年月平均植被指数变化剖面图

Fig. 4 Cross section of vegetation index changing in 116°E meridional band (a) and 36°N zonal band (b) during 1982—2000

图5为1982—2000年植被指数变化剖面图,其中每年从左到右代表1—12月 I_{NDV} 变化。由图5可知,平均 I_{NDV} 最低值出现在冬季,最高值出现在夏季,秋、春季的值介于夏、冬季之间。从春到夏,植被指数逐渐升高,而从夏到秋,植被指数逐渐降低,到冬季,植被指数降至最低,从冬季到春季,植被指数又开始缓慢上升,随着纬度的北移,这种交替现象更加明显,同时,植被非生长期变长,相应的生长期变短。从植被覆盖类型来看,草原、灌木丛草原混合区、农牧混合区以及落叶阔叶林季节变化明显,而灌溉农牧区几乎没有明显的季节变化。引起这一现象

的原因主要在于草原等季节变化明显的植被覆盖类型主要随自然环境的变化而变化,植被指数对气候的响应关系明显,而灌溉农田受人为因素的影响,通过人类的农业生产活动等,可以改变陆表的植被状况,植被指数对气候的响应关系相对较小^[32]。

从经向带和纬向带剖面图还发现以下特征:年内两个峰值从1982—2000年表现越来越清晰,在平原农耕区表现更明显,但在38.5°N以北,京、津市区及其山区没有明显表现,且初夏峰值低于秋季峰值;夏季区域内峰值有向南部扩展的趋势,北京市植被随年代推移生长季明显变长;区域内农作区绿度

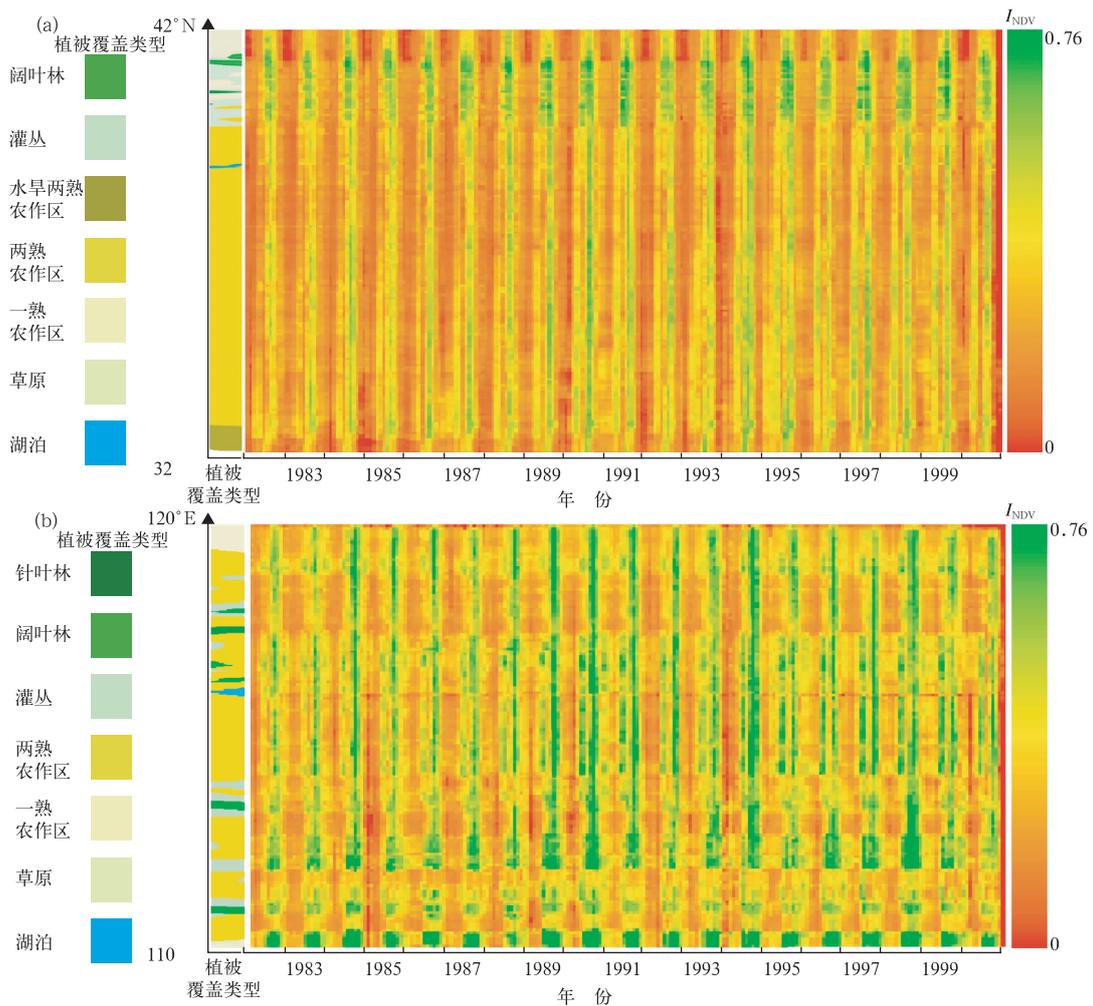


图 5 1982—2000 年 116°E 经向带(a)和 36°N 纬向带(b)上植被指数变化剖面图
 Fig. 5 Cross section of vegetation index changing in 116°E meridional band (a) and 36°N zonal band (b) during 1982—2000

峰值随年代间隙变宽,由南向北更加明显。

2.4 不同季节植被平均 I_{NDV} 变化

1982—2000 年,黄淮海地区植被四季平均 I_{NDV}

均呈上升趋势(图 6)。其中,春季 I_{NDV} 上升趋势最为显著;夏季和秋季 I_{NDV} 上升趋势不显著;冬季 I_{NDV} 上升趋势较为显著。

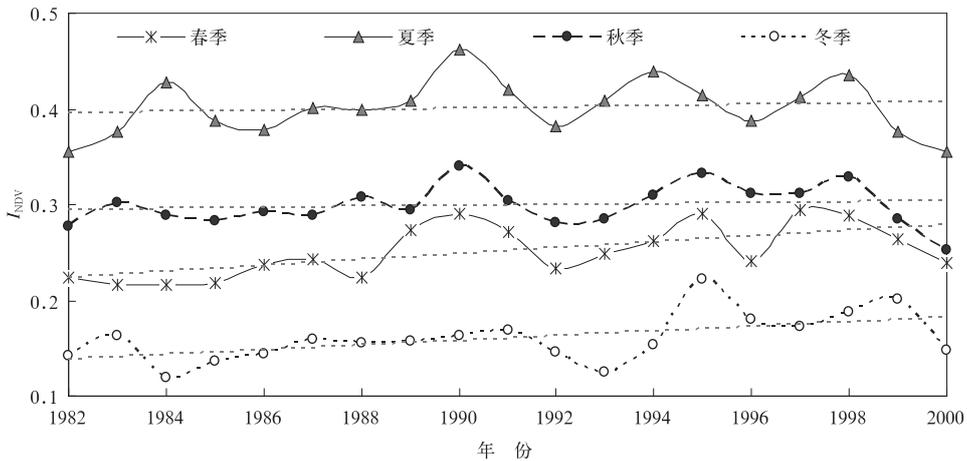


图 6 1982—2000 年不同季节植被平均 I_{NDV} 变化趋势
 Fig. 6 Average I_{NDV} changes of vegetations in different seasons from 1982 to 2000

春季不仅是四个季节中平均 I_{NDV} 上升趋势最为显著的季节(通过 0.1 的显著性检验),而且是上升速率最快的季节,平均 I_{NDV} 以 0.022/10 a 的速度增加。由此说明 1982—2000 年黄淮海地区植被生长季提前了^[28],与前面分析的生长季变化情况相符;夏季、秋季平均 I_{NDV} 呈波动上升趋势,但上升的显著性水平较低。

夏季平均 I_{NDV} 变化曲线中,有 4 个明显的波峰(1984, 1990, 1994, 1998 年)和 1 个明显的波谷(1992 年)。1984 年是 20 世纪 80 年代中夏季降水量最多的年份,1989 年夏、秋两季降水较多,1998 年黄淮海地区降水量也是达到 90 年代最高值,而 1994 年平均温度在 1982—2000 年中最高,这些因素可能是这 4 年 I_{NDV} 出现明显峰值的原因。1992 年全国平均温度和降水量均低于其他年份,这可能是导致 1992 年夏季(春季、秋季)植被平均 I_{NDV} 低于其他年份的原因。

资料表明,1983—2007 年冬季平均气温上升趋势比较显著^[8],由于冬季温度是限制植被生长的主要因子,温度升高有利于植被生长,因此黄淮海地区植被平均 I_{NDV} 在 1982—2000 年呈上升趋势。

2.5 植被类型及典型样区的选取

为了更好地研究黄淮海地区植被的季相变化规律及其对气候变化的响应,根据中国气候区划^[11]以及中国植被覆盖类型图^[12]等选取研究区南部的农田、温带落叶阔叶林两种植被类型作为研究对象,每

种植被类型选取 5 个典型样区,各样区大小为 3×3 像元,以像元平均值作为该样区的值,以确保样区的代表性。

对两种植被类型 1982—2000 年各旬 I_{NDV} 进行平均,做出样区植被的年变化曲线(图 7a 所示)。从图 7a 可以看出,农田植被的 I_{NDV} 变化波动较大,有两个明显的周期,两个峰值分别出现在第 12 旬和第 22 旬,即农田植被 I_{NDV} 在 4 月底和 8 月中旬左右达到最大值,这与下垫面的农作物类型密切相关,所选样区的农作物主要为冬小麦(油菜)、夏稻等一年两熟的粮食作物,生长季开始的时间较早(2 月底),4 月底和 8 月中旬是农作物生长最为旺盛的时期,因此,此时 I_{NDV} 也最高。对于落叶阔叶林来说,自 3 月下旬开始进入生长季,5 月下旬达到一个峰值,期间为快速生长阶段,此后进入缓慢生长阶段,至 8 月上旬达到最旺盛时期。两种植被类型长年平均 I_{NDV} 的年际变化与整个黄淮海地区植被 I_{NDV} 年际变化整体趋势相同。

图 7b 为典型样区农田和落叶阔叶林 3 月下旬植被 I_{NDV} 的年际变化曲线。从总体上看,样区农田植被生长季开始时 I_{NDV} 高于落叶阔叶林植被相应值,随着时间的推移,植被 I_{NDV} 均有逐渐升高的趋势,农田和大部分林地植被 I_{NDV} 高于黄淮海地区生长季开始临界值,说明样区生长季相对于研究区其他地区来说开始较早。曲线整体上呈波动上升的趋势,表明生长季呈提前趋势,1984—1990 年尤为明显。

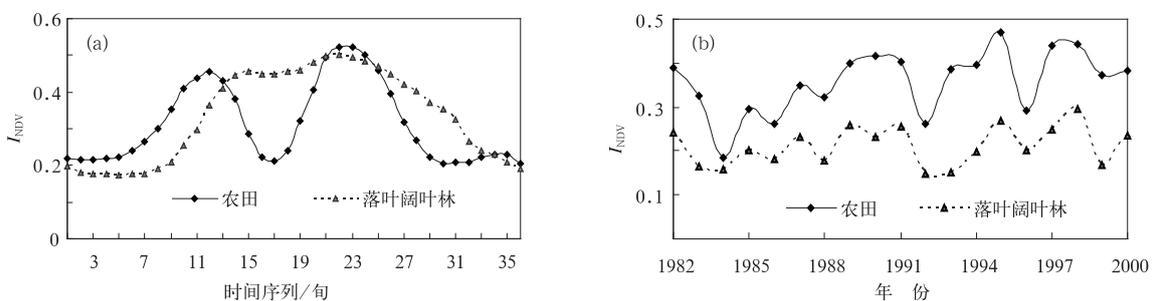


图 7 典型样区植被旬变化曲线(a)及 3 月下旬植被 I_{NDV} 年际变化曲线(b)

Fig. 7 Annual I_{NDV} changing curve of vegetations (a) and vegetations in the last 10 days of March (b) in target areas

植被在陆地生态系统中对其他要素所增加的影响反映最为敏感,对于气候变化的响应,主要表现在植被生长季的变化。上述研究表明,黄淮海地区植被对气候变化的响应主要表现为生长季提前。为进一步研究植被和气候变化的关系,本文选取了典型

样区内(或临近)气象站 1982—2000 年逐旬气象资料,用多年旬平均气象资料与样区植被 I_{NDV} 做相关统计分析(表 1)。结果表明:植被 I_{NDV} 与温度和降水均密切相关,相关性均通过显著性为 0.01 的检验,且对温度的反应尤为敏感。

表 1 样区植被旬平均 I_{NDV} 与旬气候因子相关系数Table 1 Relativity index of each ten-day average I_{NDV} of vegetations in target areas and the ten-day climate factors

植被类型	温度	降水
农田	0.538*	0.304*
落叶阔叶林	0.894*	0.435*

注: * 表示通过 $\alpha=0.01$ 的显著性检验。

3 小 结

利用 1982—2000 年 NOAA 归一化植被指数数据和同期气象资料,分析了黄淮海地区植被生长季的变化及其对气候变化的响应,研究发现:黄淮海地区植被生长季为 3 月下旬至 11 月上旬。在这近 20 年时段内,随着气候的变化,生长季开始时间出现了提前的趋势,结束时间呈延迟趋势,即生长季有所延长,每 10 年约延长 20 d;黄淮海地区植被四季平均 I_{NDV} 均呈上升趋势。其中,春季不同类型植被平均 I_{NDV} 显著增加,且增加速率大于其他季节,植被 I_{NDV} 与温度和降水关系密切,生长季提前是黄淮海地区植被对气候变化响应的主要方式。

参 考 文 献

- [1] 王长耀,牛铮,张庆员,等. 利用 NOAA NDVI 数据集分析中国植被绿波推移规律. 中国图象图形学报,1999,4(11):976-979.
- [2] 方修琦,余卫红. 物候对全球变暖响应的研究综述. 地球科学进展,2002,17(5):714-719.
- [3] 崔读昌. 气候变暖对水稻生育期影响的情景分析. 应用气象学报,1995,6(3):361-365.
- [4] 裘国旺,王馥棠. 气候变化对我国江南双季稻生产可能影响的数值模拟研究. 应用气象学报,1998,9(2):151-159.
- [5] Myneni R B, Tucker C J, Asar G, et al. Interannual variations in satellite-sensed vegetation index data from 1981 to 1991. *J Geophys Res*, 1998, 103(D6): 6145-6160.
- [6] Zhou L M, Tucker C J, Kaufmann R K, et al. Variations in northern vegetation activity inferred from satellite data of vegetation index during 1981 to 1999. *J Geophys Res*, 2001, 106(D17): 20069-20083.
- [7] Keeling C D, Chin J F S, Whorf T P. Increased activity of northern vegetation in inferred from atmospheric CO_2 measurements. *Nature*, 1996,382:146-149.
- [8] 李红梅,马玉寿,王彦龙. 气候变暖对青海高原地区植物物候期的影响. 应用气象学报,2010,21(4):500-505.
- [9] 朴世龙,方精云. 1982—1999 年我国陆地植被活动对气候变化响应的季节差异. 地理学报,2003,58(1):119-125.
- [10] 杜子璇,陈怀亮,刘忠阳. 黄淮海地区植被覆盖变化驱动力与驱动机制研究. 气象与环境科学,2007,30(3):3-7.
- [11] 《中国自然地理》编辑委员会. 中国自然地理(气候). 北京:科学出版社,1984.
- [12] 中国科学院植物研究所. 1:400 万中国植被图. 北京:中国地图出版社,1979.
- [13] 除多,德吉央宗,普布次仁,等. 西藏藏北高原典型植被生长对气候要素变化的响应. 应用气象学报,2007,18(6):832-839.
- [14] Eleonora Runtuwuu, Akihiko Kondoh, Ketut Wikantika, et al. NDVI-derived length of the growth period estimations for different vegetation types in Monsoon Asia. *IECI Chapter Japan Series*, 2001, 3(1):106-109.
- [15] Eleonora Runtuwuu, Akihiko Kondoh. Length of the growth period derived from remote sensed and climate data for different vegetation types in Monsoon Asia. *Indonesian Journal of Agricultural Sciences*, 2001, 1: 1-4.
- [16] 陈怀亮,刘玉洁,杜子璇,等. 基于卫星遥感数据的黄淮海地区植被覆盖时空变化特征. 生态学杂志,2010,29(5):991-999.
- [17] 郑有飞,牛鲁燕,吴荣军,等. 1982—2003 年贵州省植被覆盖变化及其对气候变化的响应. 生态学杂志,2009,28(9):1773-1778.
- [18] 陈燕丽,龙步菊,潘学标,等. 基于 MODIS NDVI 和气候信息的草原植被变化监测. 应用气象学报,2010,21(2):229-236.
- [19] 史培军,宫鹏,李晓兵. 土地利用/覆盖变化研究的方法与实践. 北京:科学出版社,2000.
- [20] James M E, Kalluri S N V. The pathfinder AVHRR land area data set: An improved coarse resolution data set for terrestrial monitoring. *Int J Remote Sens*, 1994, 15: 3347-3363.
- [21] 李本纳,陶澍. AVHRR NDVI 与气候因子的相关分析. 生态学报,2000,20(5):898-902.
- [22] Defries R S, Townshend J R G. NDVI-derived land cover classification at a global scale. *Int J Remote Sens*, 1994, 15: 3567-3586.
- [23] 陈怀亮,徐祥德,杜子璇,等. 黄淮海地区植被活动对气候变化的响应特征. 应用气象学报,2009,20(5):513-520.
- [24] Groten S M E, Ocatre R. Monitoring the length of the growing season with NOAA. *Int J Remote Sens*, 2002, 23(14): 2797-2815.
- [25] Schwartz M D, Reed B C, White M A. Assessing satellite-derived start-of-season(SOS) measures in the Conterminous USA. *International Journal of Climatology*, 2002, 22(14): 1793-1805.
- [26] Hogda K A, Karlsen S R, Solheim I. Climatic Change Impact on Growing Season in Fennoscandia Studied by a Time Series of NOAA AVHRR NDVI Data. *Proceedings of IGARSS*,2001:9-13.
- [27] Yu F, Price K P, Lee R Y, et al. Analysis of the Relationships Between Climatic Variation and Seasonal Vegetation Development in Eastern Central Asia. *ASPRS 2000 Annual Conference*. Washington D C, 2000.
- [28] 温刚,符淙斌. 中国东部季风区植被物候季节变化对气候响应的大尺度特征:多年平均结果. 大气科学,2000,24(5):667-682.
- [29] 王宏,李晓兵,莺歌,等. 基于 NOAA NDVI 的植被生长季模拟方法研究. 地理科学进展,2006,25(6):21-32.
- [30] 柳晶,郑有飞,赵国强,等. 郑州植物物候对气候变化的响应. 生态学报,2007,27(4):1471-1479.
- [31] 陈彬彬,郑有飞,赵国强,等. 河南林州植物物候变化特征及其原因分析. 植物资源与环境学报,2007,16(1):12-17.
- [32] 韩秀珍,李三妹,罗敬宁,等. 近 20 年中国植被时空变化研究. 干旱区研究,2008,25(6):753-759.

The Change of Growing Season of the Vegetation in Huanghe-Huaihe-Haihe Region and Its Responses to Climate Changes

Chen Huailiang¹⁾²⁾ Liu Yujie³⁾ Du Zixuan¹⁾²⁾ Liu Zhongyang¹⁾²⁾ Zou Chunhui¹⁾²⁾

¹⁾ (CMA/Henan Key Laboratory of Agrometeorological Ensuring and Applied Technique, Zhengzhou 450003)

²⁾ (Henan Institute of Meteorological Sciences, Zhengzhou 450003)

³⁾ (National Satellite Meteorological Center, Beijing 100081)

Abstract

Using the each ten-day data of NOAA/AVHRR from 1981 to 2000 and adopting the Maximum-Slope method, Curve-Fitting method and stepwise regression, the beginning and ending of the growth season of the vegetations in the Huanghe-Huaihe-Haihe (HHH) region are analyzed. Meanwhile, the pixel by pixel I_{NDV} map is worked out with typical bands as the sample. Through analyzing the change of green wave and brown wave, the changing rules of vegetation activities and its responses to climate changes in the past 20 years are revealed. The growth season in HHH region starts at the last 10 days of March with $I_{NDV} 0.19604$ and ends at the first 10 days of November with $I_{NDV} 0.22899$ on average. The tendency is that the growing season has prolonged obviously by starting earlier and earlier, while ending later and later from 1982 to 2000. The average I_{NDV} for the vegetation in the researched area in the past 20 years is generally increasing, especially in spring. According to the I_{NDV} map of typical bands as the sample worked out with the pixel by pixel, the green wave changes from south to north during January—July on the band of 116°E , the maximum of I_{NDV} occurs in August and decreases gradually after September. On the band of 36°N , to the east and nearby 116°E , the I_{NDV} has two peaks because of two crops a year, which is obviously different from other regions. The two peaks occur in April and August and they become clearer and clearer from 1982 to 2000, especially in agriculture area. However, the two peaks are not obvious to the north of 38.5°N , in the area of Beijing, Tianjin and the mountain areas, and the peak value of early summer is lower than that of autumn. In agriculture area, the peak interval of green wave is broadening with the time passing by, and it's more obviously from south to north. With the time passing by, the green wave of the critical value of the growth season in the area changes from south to north, while the emergence of brown wave prolongs from north to south. According to the stepwise regression result of the every ten-day meteorological data and the I_{NDV} of the typical sampling areas in the HHH region, the I_{NDV} of vegetation is closely related to the temperature and precipitation, especially it's more sensitive to the temperature, and the significance of the correlation is 0.01. The prolonging of vegetation growth season is a main response to climate changes of vegetation activities in target areas.

Key words: I_{NDV} ; climate change; growing season; Huanghe-Huaihe-Haihe region