



2000~2010 年中国地表植被绿度变化

刘爽^{①③}, 宫鹏^{②*}

① 中国科学院遥感应用研究所, 遥感科学国家重点实验室, 北京 100101;

② 清华大学全球变化研究院, 地球系统科学研究中心, 北京 100084;

③ 中国科学院研究生院, 北京 100049

* 联系人, E-mail: penggong@tsinghua.edu.cn

2012-02-03 收稿, 2012-04-28 接受

国家高技术研究发展计划(2009AA12200101)资助

摘要 自然界的绿度与地表植被覆盖率直接相关. 植被覆盖率能从含有近红外和红光波段的遥感图像计算得到的植被指数估算出来. 因此植被指数能反映地表植被的绿度. 特别对低植被覆盖率的荒漠区域, 植被指数与植被覆盖率有单调的正相关关系. 因此, 它可以用来研究荒漠区域地表植被绿度. 本文收集了 2000~2010 年 11 年间生长季的中等分辨率成像光谱仪(MODIS)数据计算的归一化差值植被指数(NDVI)产品, 应用最小二乘法 and 最小绝对偏差法对变化趋势进行线性拟合, 分析了 2000~2010 年中国地表植被覆盖绿度的变化情况. 结果显示, 在这一期间中国有 66.84%(最小二乘趋势拟合结果)或 64.27%(最小绝对偏差趋势拟合结果)的区域 NDVI 呈增加趋势, 表明整体上我国的绿度在增加. 同时, 中国荒漠化的面积呈缩减趋势. 中国绿度增加最显著的区域位于北方的陕西、山西、宁夏、河南、山东、青海、甘肃等地; 绿度降低最显著的部分出现在内蒙古的东北部、西藏南部、江苏和上海等地. 青海、甘肃、新疆、西藏南部等地荒漠化程度改变, 可能是由气候驱动所致. 内蒙古东北部绿度降低与人工开垦有关; 江苏和上海等地的绿度降低与快速的城市化有关. 气候对陕西、山西、宁夏、甘肃等地的绿度增高贡献不明显. 在全国尺度上, 荒漠化得到抑制和缩减, 可能与人为的治理和保护有关.

关键词

荒漠化
绿度
MODIS
NDVI
变化趋势

地表植被呈现的绿度与植被覆盖率密切相关, 在中分辨率遥感影像上, 植被覆盖率由低到高可以表现为真彩色合成的图像颜色由黄色向绿色逐渐变化, 遥感技术亦可以通过计算植被指数(Vegetation Index, VI)获得植被盖度情况, 植被指数成为衡量地表植被绿度的重要指标. 特别是对于低植被覆盖率的荒漠区域, 归一化植被指数(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)与植被覆盖率之间呈现较好的线性相关关系^[1].

荒漠化作为全球关注的重大环境问题之一, 以及全球变化研究中的一个重要内容, 给人类的生存和发展带来巨大困扰. 根据“联合国防治荒漠化公约”(简称“公约”)的定义, 荒漠化是指包括气候变化

和人类活动在内的各种因素所造成的干旱、半干旱以及亚湿润干旱地区的土地退化^[2]. 其中, 自然植被长期丧失, 植被覆盖度低, 环境荒凉, 是土地退化的显著特征, 也是荒漠化监测的重要依据. 因此, 可以用植被覆盖率的高低变化来评价荒漠化的程度, 故利用植被指数趋势作为荒漠化监测和评价的指标, 是切实可行的.

中国是世界上荒漠化严重的国家之一. 过去 30 多年来, 迅速扩展的城市化进程以及人们日益增长的物质需求使得我国土地利用/土地覆盖随之发生巨大改变, 建成区面积急速扩张, 过度开垦, 过度放牧的现象导致土地退化日趋加剧. 而另一方面, 人们逐渐意识到正在面临的全球环境变化对社会可持续发

展带来的巨大挑战,相关部门也在通过植树造林、引水灌溉、人工湿地、退耕还林等手段,增强植被生长,抑制荒漠化的进一步发展恶化^[3]. 2011年1月4日,国家林业局颁布了《第四次中国荒漠化和沙化状况公报》,公布了2005年初至2009年底5年间我国荒漠化和沙化土地现状及动态变化信息. 公报指出,截止2009年底,全国荒漠化土地面积 $262.37 \times 10^4 \text{ km}^2$, 占国土总面积的 27.33%. 五年间,全国荒漠化土地面积年均减少 2491 km^2 . 公报还指出,我国土地荒漠化和沙化状况呈现整体得到初步遏制,荒漠化、沙化土地持续净减少,局部地区仍在扩展的局面^[4]. 林业部门对荒漠化的监测和评价工作主要基于野外调查取样的长期定位或半定位方法^[5],这对于全国尺度的荒漠化监测而言,工作量巨大. 且荒漠化大多发生在边远、经济欠发达的地区,因此调查工作周期漫长,不容易做到长期动态的监测,调查数据的准确性也难以评价.

遥感技术中,目视解译、图像分类以及植被指数分析等方法,常用于荒漠化的动态监测、评价以及对于荒漠化驱动因子的探究^[6,7]; 以往对于中国荒漠化的遥感研究,在空间范围上主要集中在几个荒漠化的热点地区,如内蒙古的科尔沁、呼伦贝尔、鄂尔多斯草原,以及青藏高原、三北防护林、新疆民丰等地^[8~21], 尚未有面向全中国的荒漠化分析; 而在时间尺度上,以2000年之前的数据占多数,2000年之后的时间序列通常不完备^[8~21], 尚未有针对2010~2010年11年的研究报道.

本文旨在依据荒漠化的国际标准和定义,并结合遥感信息技术的特点,对21世纪以来我国荒漠化土地的分布状况和变化情况进行宏观制图,以期为我国长期的荒漠化遥感监测打下基础,提供客观数据.

1 数据与方法

1.1 数据及预处理

目前在荒漠化监测中应用最广泛的植被指数是NDVI. 在植被低覆盖地区,NDVI与植被覆盖率之间呈正比例关系,适宜作为荒漠化监测和评价的首选指标^[22]. 有研究认为净初级生产力(Net Primary Productivity, NPP)是一个很好的度量指标^[6],也有研究认为对NDVI进行改进的增强型植被指数(Enhanced Vegetation Index, EVI)可以作为衡量指标^[22]. 虽然这两种

指数在更有侧重性的定量研究中具有较好的指示意义,但利用遥感数据获取的NPP一般是在NDVI的基础上获得的,而EVI和NDVI反应的主要是植被在近红外和红光波段的反射差异. 因此,对于总体趋势的估计,这3种指标没有本质不同,能够达到同样的效果. 本研究亦利用EVI数据进行过一些实验,结果表明在趋势分析上其与NDVI的结果是一致的. 因此本研究选择NDVI作为衡量植被生长状况的指标. 提供长时序NDVI数据产品的中分辨率卫星有很多. NOAA-AVHRR/NDVI提供了1981年至今的15天合成的8 km空间分辨率的时间序列数据,但由于卫星观测时间在下午,造成获得的数据受水汽影响较大. 而且不同卫星过境的时间偏移较大,造成数据在时间上漂移. 这使NOAA数据在长时间序列的应用中受到一定局限^[22]. MODIS NDVI以适用于全球范围为目的,并增强了对植被的敏感度,减少了外部因素(如大气、观测视角和太阳角、云等)的影响^[23].

因此,本研究使用美国地球资源观测科学中心(Earth Resources Observation and Science Center, EROS)提供的空间分辨率为500 m的MODIS植被指数产品(MOD13A1),由经过水、云、重气溶胶以及云阴影掩膜处理的双向大气校正表面反射率计算得来,并经过16日合成,进一步提高数据质量. NDVI数据集的取值范围在(-2000~10000),尺度转换因子为10000. 数据获取的时间范围为2000~2010年,季节上以生长季(5~8月)为主,共收集了中国区88个时相的影像数据.

数据由19景影像拼接和裁剪而成,其范围覆盖了中国大陆和台湾地区. 将MODIS通用的正弦投影转换为阿尔伯斯等积投影. 对数据进行了最大值处理(Maximum Value Composites, MVC),将数据按月取最大值,进一步消除云和太阳高度角的部分干扰. 经过一系列预处理,共获得44幅无偏差无云的中国地区NDVI影像.

1.2 研究方法

本研究关注荒漠化的变化程度和变化范围,因此从趋势分析和绿度分级两个方面进行分析.

(1) 趋势分析. 为了分析NDVI逐年的变化情况,研究中利用一元线性回归分析模拟每个栅格像元的变化趋势. 拟合NDVI相对于年份的直线方程,获得一幅11年间变化斜率的影像. 对于每一个像元

点,分别采用最小二乘(ordinary least squares, OLS)估计和最小绝对偏差(least absolute deviations, LAD)估计两种方式建立植被指数的生长季最大值(NDVI)与年份(YEAR)的线性关系,拟合直线方程:

$$\text{NDVI} = \text{SLOPE} \times \text{YEAR} + b. \quad (1)$$

两种估计都可以决定变化趋势 SLOPE,只是过程中遵循的准则不同. OLS 要求各点的 NDVI 实际值到直线(1)的偏离平方之和 $\sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i)^2$ 最小, LAD 则要求 NDVI 实际值到直线(1)的偏离绝对值之和 $\sum_{i=1}^n |y_i - a - bx_i|$ 达到最小. OLS 回归之所以得到的应用比较广泛^[24~26],除其在拟合结果上的有效性外,也由于其极值问题的解可以通过很简单的公式表达.而 LAD 准则极值的求解过程就相对比较复杂,但由于只考虑偏差的一次方而非平方,使得拟合结果不容易受到个别数据异常点的影响,因此具有更好的稳健性^[27].

通过两种方法求得的斜率代表变化趋势,作为输出影像中该像元点的值.若 2000~2010 年植被 NDVI 是增加的趋势,则斜率 >0 ;若是减少的趋势,则斜率 <0 .

(2) 绿度分级. 进一步分析绿度变化,研究中将 NDVI 进行分级处理,绿度分级标准如下:一年内,生长季中 4 个月的 NDVI 值都小于阈值 a , 生长季中有 3 个月的 NDVI 值小于阈值 a , 生长季中有 2 个月的 NDVI 值小于阈值 a , 生长季中有 1 个月的 NDVI 小于阈值 a , 生长季中 4 个月的 NDVI 值都大于等于

阈值 a . 在这里,为了避免水体区域对于分析结果的影响,我们已经将 NDVI 值小于 200 的像元点剔除,余下的各点均可归入这 5 级绿度中的某一类.由此,可获得 2000~2010 年逐年的绿度分布情况.进而分析不同年份每一级的分布范围和所占的面积的变化情况,可以对 11 年来的绿度变化有一个整体的把握.由于关注变化趋势,研究选取的阈值 a 也是一个序列,结合《中华人民共和国人口与环境变迁地图集》中北方沙漠化土地分布地图^[28]和大量取值实验,我们选取的 a 值分别为 500, 1500, 2500, 3500 和 4500,避免了单一阈值的偶然性,又可进一步分析不同阈值范围的变化程度.

2 结果与分析

2.1 变化趋势

如图 1 所示,是 2000~2010 年中国地区 NDVI 线性拟合斜率的灰度影像,OLS 拟合斜率的取值范围为 $-1144.3 \sim 1507.5$; LAD 拟合斜率的取值范围为 $-1460.4 \sim 1574.0$. 两幅影像的拉伸程度一致,目视可见在拟合结果上,两种方法表现较为一致.斜率大于零表示这 11 年间,该点 NDVI 值大致呈增加趋势,斜率小于零表示 NDVI 值大致呈减小趋势.斜率的绝对值越大,拟合直线的倾斜程度越大,则该点 11 年间 NDVI 值变化的程度越大.

进一步,我们将斜率影像进行分级统计,以零为界限分为两级.其中,OLS 拟合结果中,斜率小于零

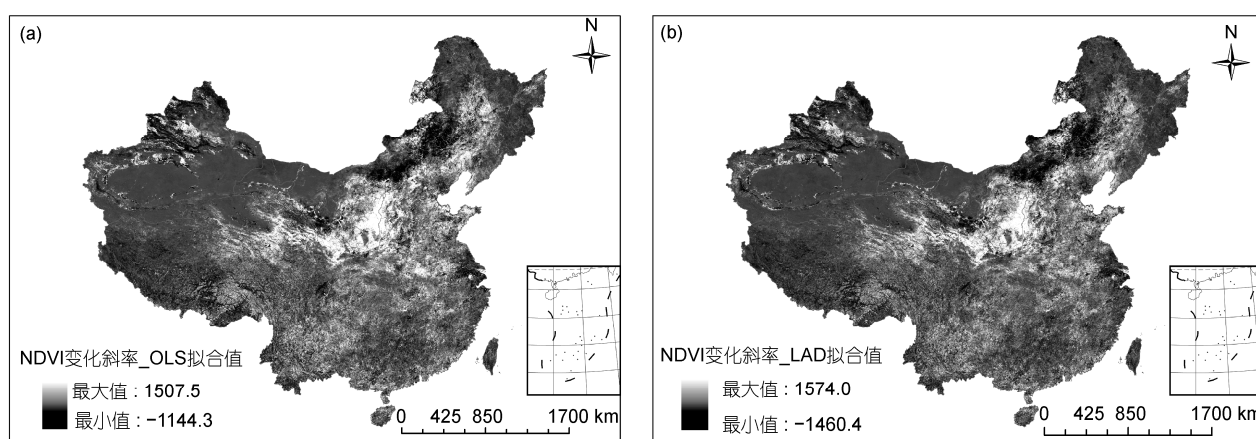


图 1 2000~2010 年中国绿度变化
(a) 最小二乘拟合结果; (b) 最小绝对偏差拟合结果

的区域占总面积的 33.16%，斜率大于等于零的区域占总面积的 66.84%；LAD 拟合结果中，斜率小于零的区域占总面积的 35.73%，斜率大于等于零的区域占总面积的 64.27%。结果相差 2.57%。可见，斜率大于零的区域约占全中国的 2/3，是图中的主体部分，而小于零的区域分布也相对比较集中，主要分布于新疆北部、青藏高原大部分地区、内蒙古东北部，以及东北三省、江苏省的部分地区。这在一定程度上说明 11 年来，我国的绿度整体上呈增加趋势，而在局部地区有较明显的减小趋势。

然后，以 100 为间隔，进行更细的分级统计，分级统计情况如表 1 所示。分布呈现近似正态分布的规律，即斜率绝对值相对较小的点占据主体，但这一分布明显偏向大于零的一侧。

在对于两种拟合方法的结果统计中，大部分像元值都在(-100, 100)这一阈值范围内，分别占到总数的 90%和 89%，而(-350, 350)范围内的像元，也都超过总数的 99%。为排除绝对值接近零的取值所代表的趋势变化不显著的影响，我们将变化显著的区域表现在图 2 中做进一步分析，在这些显著变化的重

表 1 斜率分级统计

分级阈值	像元数		所占百分比(%)		累计百分比(%)	
	OLS	LAD	OLS	LAD	OLS	LAD
未分类	353	939	0.00	0.00	0.00	0.00
-850~-500	4555	6508	0.01	0.02	0.01	0.02
-500~-400	6914	8925	0.02	0.02	0.03	0.04
-400~-300	21951	31220	0.06	0.08	0.09	0.13
-300~-200	101010	149463	0.27	0.40	0.36	0.52
-200~-100	757612	976295	2.00	2.58	2.36	3.10
-100~0	11644462	12333942	30.80	32.62	33.16	35.73
0~100	22507964	21364877	59.53	56.51	92.69	92.24
100~200	2335383	2443837	6.17	6.46	98.87	98.70
200~300	339309	387939	0.90	1.03	99.77	99.73
300~400	58194	67518	0.15	0.18	99.92	99.90
400~500	17574	20513	0.05	0.05	99.97	99.96
500~850	12467	15772	0.03	0.04	100	100

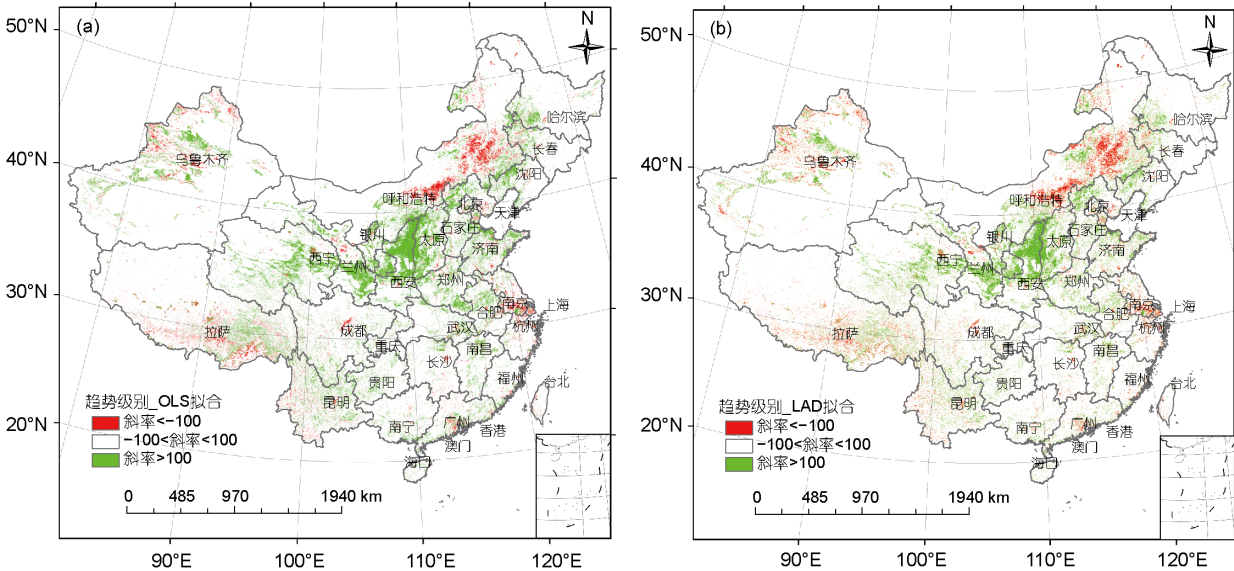


图 2 2000~2010 年中国绿度变化重点区域
(a) OLS 拟合结果; (b) LAD 拟合结果

点区域中,仍以绿度增加的像元点为主体,OLS的拟合结果中,斜率>100的绿色区域占总体的7.3%,斜率<-100的红色区域占总体的2.4%;LAD的拟合结果中,斜率>100的绿色区域占总体的7.8%,斜率<-100的红色区域占总体的3.1%。表2和3统计了我国各省级行政单位的平均绿度变化情况。图3以LAD拟合结果为例,将变化较为显著的4部分区域放大,11年间,中国绿度增加最显著的区域位于中部的陕西、山西等地,位于西部的青海、甘肃、宁夏的部分地区,也呈现较明显的变绿的趋势(图3(a));相应地,绿度降低最显著最集中的部分出现在内蒙古的东北部(图3(b)),除此之外,西藏南部的部分地区(图3(c))、以及江苏(图3(d))、四川中部的成都平原,绿度也有明显的降低趋势。在我国荒漠化土地主要分布的5个省区中,甘肃、青海11年来绿度呈明显

的增加趋势,荒漠化程度有得到抑制的倾向,而新疆、内蒙古、西藏3地,在不同的区域,绿度有增有减,因而整体上统计绿度无明显改变。按省统计,我国变绿最快的4个省区是北方的陕西、山西、宁夏和河南。而南方诸省相对变化趋势不明显。变绿最低的5个省区有上海、江苏、台湾、西藏和浙江。

长江三角洲的上海、江苏和浙江是我国过去10年城市化发展最快的省市。成都地区的绿度降低也与城市化的进程密切相关。根据中国三期城市制图得到的结果,江苏省的建成区面积由2000年不足1500 km²一跃为2010年超过4500 km²,现为我国城市建成区面积最高的省区。而成都作为四川平原的省会大都市,2000年建成区面积仅228 km²,到2010年,猛增到498 km² [29]。

而2000~2010年间,有研究对中国森林LAI变化

表2 省级行政区的绿度变化——OLS拟合结果

省区	变化斜率	省区	变化斜率	省区	变化斜率
上海	-44.70	澳门	15.32	青海	32.00
江苏	-4.76	广东	16.34	甘肃	36.07
台湾	-4.38	云南	16.82	安徽	36.79
西藏	-2.14	吉林	17.60	河北	37.50
浙江	2.16	四川	17.87	辽宁	40.57
内蒙古	3.63	海南	18.47	山东	41.42
新疆	6.76	北京	20.86	河南	47.13
香港	7.16	江西	24.83	宁夏	57.63
黑龙江	9.80	重庆	28.31	山西	76.78
湖南	11.93	天津	29.94	陕西	85.56
福建	12.94	湖北	30.70		
广西	13.65	贵州	31.63		

表3 省级行政区的绿度变化——LAD拟合结果

省区	变化斜率	省区	变化斜率	省区	变化斜率
上海	-63.10	天津	15.32	山东	35.44
台湾	-5.85	四川	15.57	安徽	35.53
江苏	-5.52	广东	16.66	澳门	35.91
西藏	-2.63	海南	16.68	香港	36.13
浙江	-2.14	云南	16.88	辽宁	36.81
内蒙古	-0.27	北京	18.15	河北	37.17
新疆	5.20	江西	24.07	河南	41.50
黑龙江	8.35	重庆	25.06	宁夏	58.59
福建	9.82	贵州	28.90	山西	68.62
湖南	10.18	湖北	29.96	陕西	83.19
广西	12.69	青海	31.05		
吉林	14.78	甘肃	35.06		

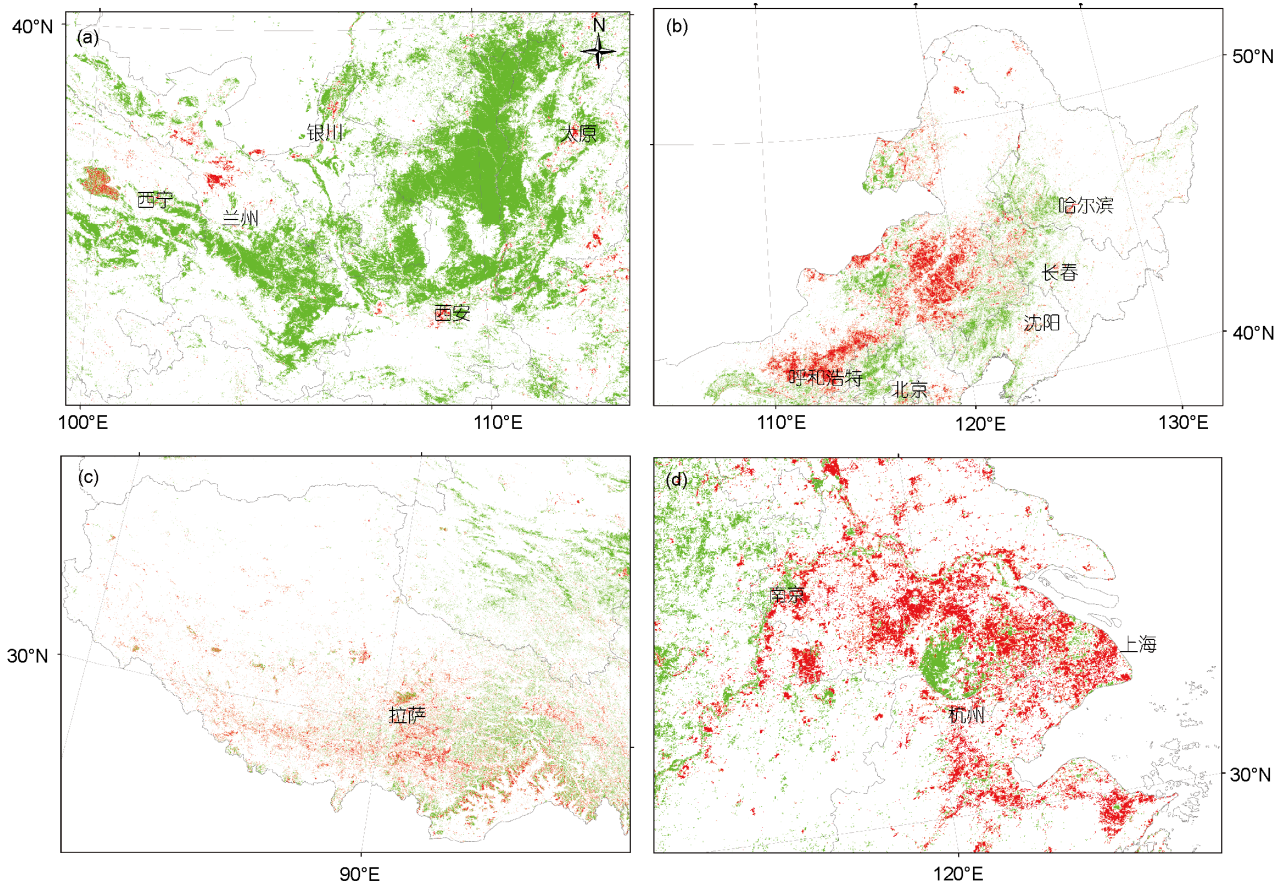


图 3 绿度变化显著的部分区域

(a) 陕西、山西、青海、甘肃; (b) 内蒙古东部; (c) 西藏; (d) 江苏

趋势进行研究, 结果也显示了在浙江、江苏的部分地区, 森林 LAI 呈明显的下降趋势, 而在陕西、山西中部等地, 森林 LAI 有较明显的增加趋势^[30]. 1980~2000 年间, 其他研究认为位于内蒙古西南部的鄂尔多斯高原的荒漠化土地, 整体上呈缩减趋势^[8,9]; 而位于中国、俄罗斯、蒙古 3 国交界地带的呼伦贝尔草原的荒漠化土地面积由 2000 年的 4053.9 km² 缩减为 2006 年的 3859.6 km² ^[10]; 位于新疆西南部的民丰县的荒漠化面积在 1992~2001 年间呈缩减趋势^[11]. 1996~2001 年间, 青藏高原土地退化严重, 荒漠化面积增加, 年增量约 1.8%^[12]; 吉林省西北部的通榆县的荒漠化面积在 1992~2002 年间由 2400 km² 扩大到 4214 km² ^[13]; 位于内蒙古与辽宁省交界区域的科尔沁草原的荒漠面积由 2000 年的 22423.1 km² 变为 2005 年的 22422.4 km², 基本保持稳定, 但他们的工作仅分析了有限的荒漠化区域, 未评价该区域整体的绿度变化情况^[14]. 针对同一地区, 另一项研究通

过分类后比较的方法得出科尔沁草原的沙地面积在 2007 年比 1999 年有所减少, 但同时森林、草地以及湿地的面积也有所减少, 农地面积却有所增加, 这也是该地区土地退化的标志^[15]. 这些研究结果在空间范围上都是本研究的子集, 时间范围上以早于本研究所跨时间为主, 或是本研究时间范畴内的一部分, 或与本研究的时间范围有承接关系. 虽然这些研究结果不能作为本研究的验证数据, 但仍可以作为本研究的参照和依据. 将我们的工作与前人相比较, 以上的这些研究结论与本研究的结果在趋势上并没有出现突然的转折或不可解释的巨变, 甚至表现出较好的一致性, 也一定程度上佐证了本研究方法和结果的可信度.

本研究选取 11 年间每一年的最大值进行趋势分析, 所得拟合结果在两种准则下表现出较好的一致性, 超过 70% 的点都通过了 $\alpha=0.05$ 的假设检验. 不同区域内部也表现出较好的空间均质性, 并没有出现

明显的噪声,如新疆南部的极干旱沙漠区域,植被覆盖度处于长期极低的状态,而本研究所得的变化率在该区域也均一地接近于零.并且在中国荒漠化研究的重点区域(如内蒙古东部),本研究的结果与前人的诸多研究结论呈现出一致性.因此,我们认为,在大尺度的趋势分析上,本研究选取的方法和所得的结果是可信的.

2.2 绿度分级

结合《中华人民共和国人口与环境变迁地图集》中北方沙漠化土地分布地图,我们选取了 500, 1500, 2500, 3500 和 4500 为阈值,对低于该绿度阈值的区域分布进行了制图.将本研究中所绘制的荒漠化范围与图集集中的北方沙漠化土地分布地图进行比较,阈值为 1500 的荒漠化范围与该地图在西部地区范围基本一致.但内蒙古东部地区没有包含进去,尤其这一部分区域在 2000~2010 年间,呈现较为明显的绿度降低趋势;阈值为 3500 的荒漠化范围,北部区域与图集集中的地图范围较为一致,但却比图集集中的地图多出了西藏的大部分区域.西藏地区绿度值低的主导因素不是干燥引起,温度控制应是主导因素.

如图 4 所示,为 2000 与 2010 年不同阈值范围下的 NDVI 分级图.随着阈值的增加,红色区域由西北部向东南方向蔓延,说明我国 NDVI 值的分布由西北向东南方向递增,绿度最低的区域出现在新疆南部的沙漠;其次,新疆的大部分地区、青藏高原大部分地区、内蒙古的东部以及中部,都是 NDVI 值较低的区域.

低于阈值的区域中,4 个月都小于阈值的分布占据主体,说明 NDVI 值在生长季 4 个月里的跳跃性不大,比较稳定,即在这些绿度较低区域内,生长季开始时的 NDVI 水平一直延续,并没有随着时间推移(5~8 月)而发生太大的改变.而低于阈值的时间为 3 个月,2 个月以及 1 个月的分布,则分布的范围很小,且均分布于红色区域的东南边缘,是向下一个阈值过渡的表现.

2010 年相对于 2000 年荒漠区域的面积变化情况如表 4 所示.其中,阈值小于 1500 的面积减少得最多,减少了 293077 km²,但由于不同阈值下包含区域的基准面积相差较多,在面积缩减比例上,NDVI 小于 500 面积缩减率最大,达 22.9%.

结合林业部门第四次荒漠化调查的结果,其统

表 4 2010 年相对于 2000 年的荒漠变化面积统计(km²)

阈值	2010 年	2000 年	减少量	缩减率(%)
500	414282	537508	123225	22.90
1500	2718486	3011563	293077	9.73
2500	3759064	4021385	262321	6.52
3500	4743689	5006777	263088	5.25
4500	5631516	5889116	257600	4.37

计结果在数值上与本研究阈值 1500 的结果较为接近,如表 5 所示,荒漠化公报中指出 2009 年的荒漠化面积为 262.37×10⁴ km²,比 2004 年减少 12454 km²,年均减少 2491 km²,而本研究中截取 2004~2009 年的结果表明,2009 年荒漠化面积为 278.88×10⁴ km²,比 2004 年减少 19508 km²,年均减少 3902 km².本研究所统计出的荒漠面积更大,但减少比例也更大.

综上所述,本研究认为将荒漠区的阈值设定在 1500 左右与我国荒漠化制图结果以及面积统计结果具有较高的吻合度.在将来使用同类数据研究中,具有参考意义.

2000~2010 年 NDVI 低于阈值的面积统计如表 6 所示.表中给出的是低于阈值的区域占中国的面积百分比,以及对于每一个阈值,给出了 11 年间面积变化的线性拟合斜率.需要提及的是,本研究中,认为只要出现 1 个月 NDVI 小于阈值的情况,就属于 NDVI 低于阈值.对于选取的 5 组阈值,拟合斜率均为负值,说明 11 年间低于这些阈值的面积均呈减少趋势,这也反映了荒漠化地区的绿度在这 11 年内有增加的趋势.阈值范围由 4500 减小至 500,线性拟合的斜率在一定范围内呈现增加的趋势.总体上,NDVI 值越低的区域,11 年内面积缩减的程度越大,即植被覆盖率越低的荒漠化地区,11 年来绿度的改善越明显.其中 NDVI 值在 1500 左右的区域,11 年来面积缩减的程度最大.

图 5 列出了以阈值 1500 为例的西北地区 11 年逐年的绿度分级情况,虽然 NDVI 小于 1500 的区域面

表 5 植被指数与林业局调查荒漠化面积结果比较^[5]
(× 10⁴ km²)

	2011 荒漠化公报	NDVI 2004~2009 年数据
2009 年	262.37	278.88
2004 年	263.62	280.83
2009 比 2004 年减少量	1.25	1.95
5 年来年均减少量	0.25	0.39

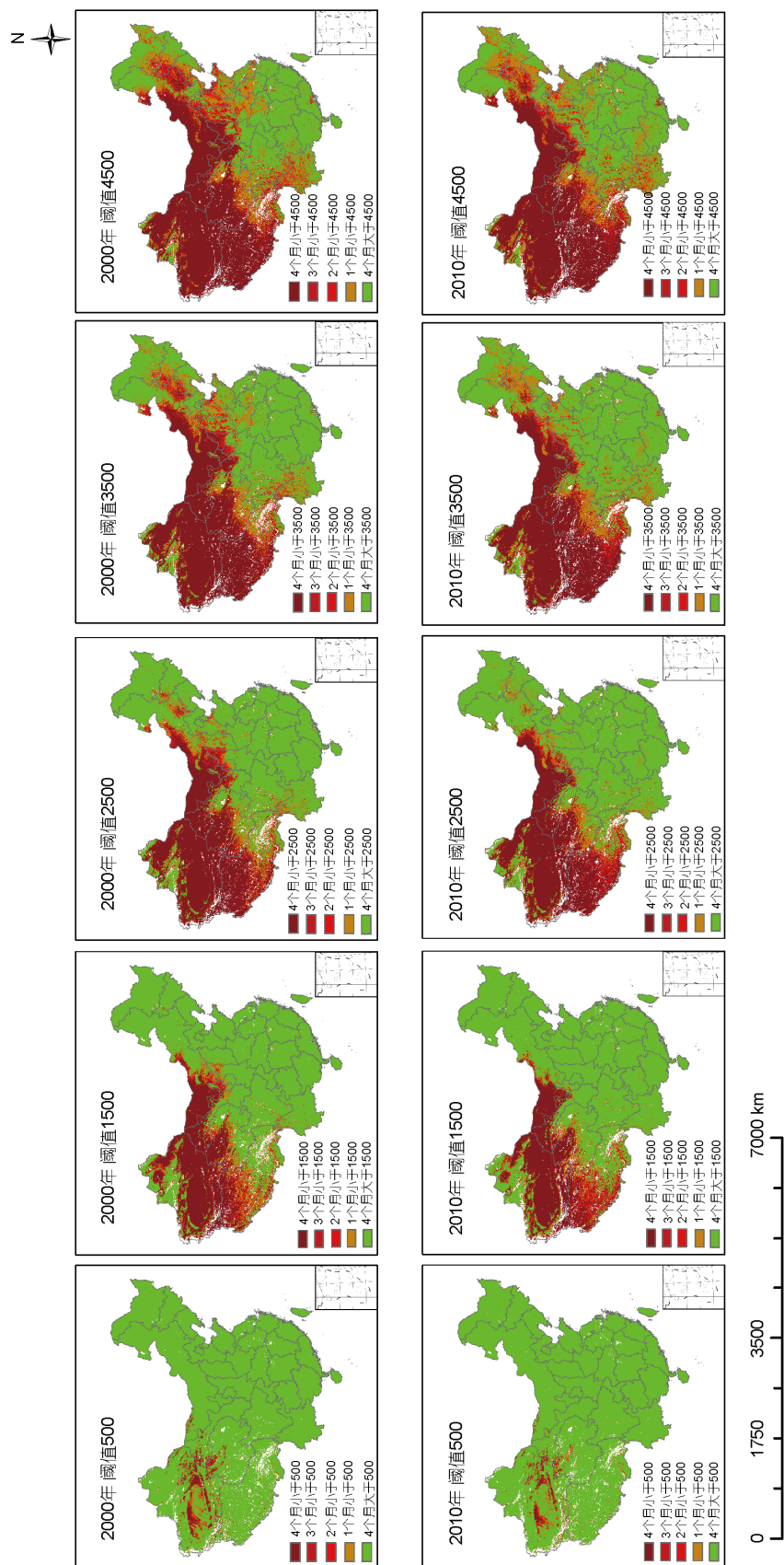


图 4 2000~2010 年绿度分级序列

表 6 2000~2010 年 NDVI 低于阈值的面积统计以及线性拟合斜率

阈值	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	斜率
500	5.69%	6.68%	5.48%	4.77%	3.85%	4.37%	4.01%	3.50%	4.54%	5.02%	4.38%	-0.17
1500	31.9%	31.6%	29.0%	29.9%	29.8%	29.4%	30.1%	29.3%	29.7%	29.5%	28.8%	-0.21
2500	42.6%	42.6%	40.1%	41.6%	41.3%	39.0%	41.6%	41.0%	41.2%	40.4%	39.8%	-0.18
3500	53.0%	51.6%	49.3%	51.6%	50.9%	49.2%	51.8%	50.5%	51.0%	50.4%	50.2%	-0.14
4500	62.3%	59.9%	57.2%	59.7%	59.1%	58.3%	60.7%	58.7%	59.6%	58.8%	59.6%	-0.10

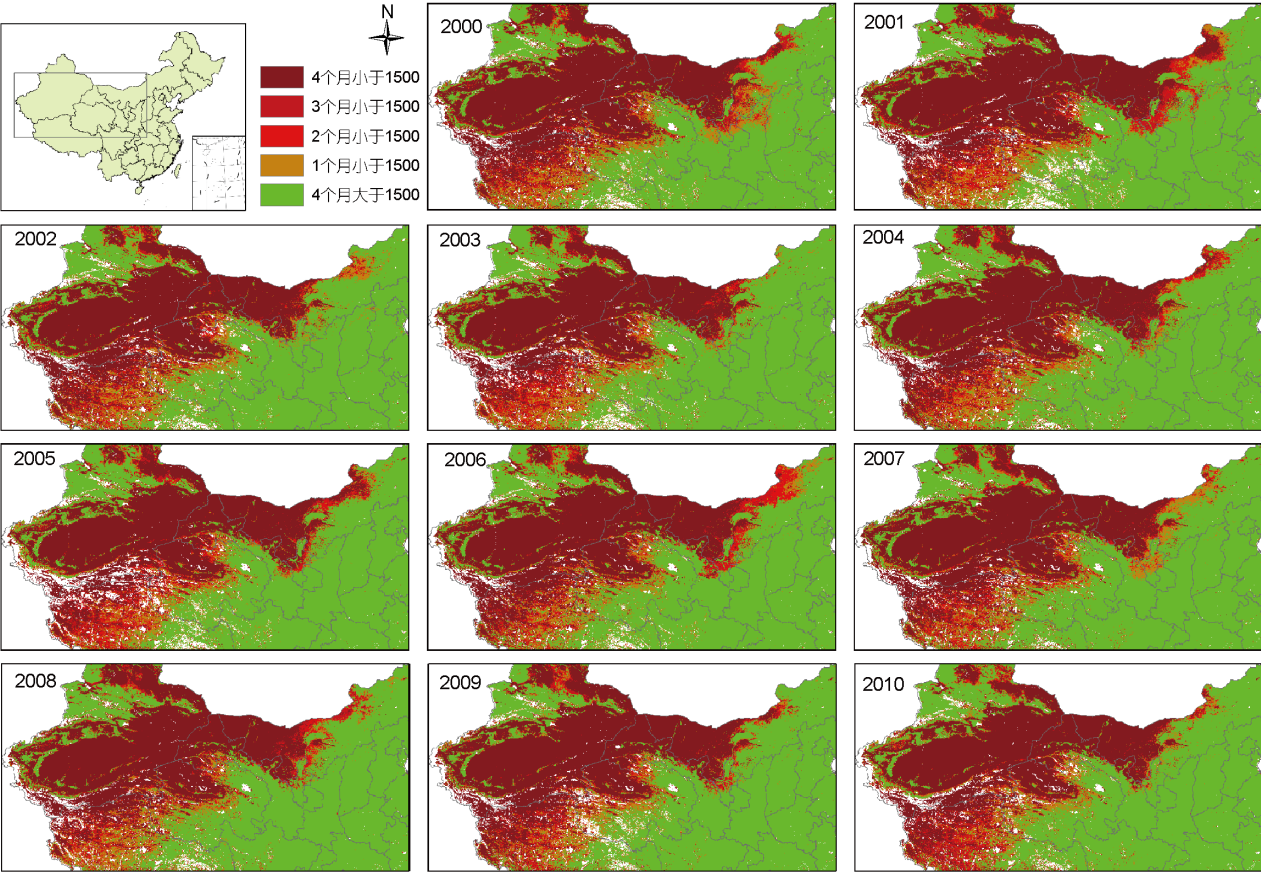


图 5 西北地区 2000~2010 年 NDVI 变化情况(阈值 1500)

积并不是逐年减小, 范围年际浮动, 但 11 年间仍有较为一致性的变化趋势. 位于内蒙古中部的阈值分界线年际浮动较大; 位于甘肃、青海的荒漠面积呈缩减趋势; 但新疆南部的大部分地区仍处于绿度较低的范围, 变化不大; 西藏的荒漠面积在 11 年内略有减少但变化范围不明显.

3 讨论

3.1 荒漠化监测指标

本文使用的 NDVI“绿度”指标只能反映植被覆盖

率的高低^[1]. 与“公约”中的荒漠化定义不能完全等同. “公约”中荒漠化的定义是从气候类型角度进行描述, 在定义的外延补充中指出, “干旱、半干旱以及亚湿润干旱地区”是指除去极地以及副极地地区外, 年降水量与潜在蒸散的比值(湿润指数)在 0.05~0.65 的地区^[2], 可见湿润指数可以作为荒漠化定量划分的依据. 但是, 定义中对于荒漠化土地的植被覆盖程度, 并没有进一步的说明, 不同的地理景观和生态特征所对应的植被覆盖率阈值也难有统一的标准, 这也是本研究中对于绿度的分级选取了一系列阈值的原因之一. 事实上, 本研究中低绿度的区域, 虽不局限

在“公约”定义的荒漠化范围,却能反映荒漠化区域的植被变化^[16-19,31].

结合林业局第四次荒漠化公报的结果,本研究中以 NDVI 小于 1500 作为荒漠化的评价标准.但“公约”给出的定义指出湿润指数在 0.05~0.65 之间为干旱、半干旱和亚湿润干旱区的范围,即湿润指数 <0.05 的极端干旱区虽属“荒漠”,但不属“荒漠化”,被排除在联合国防治荒漠化行动计划的范围之外,例如本研究中 NDVI 小于 500 的区域;除却“公约”中提及的干旱缺水,气温低也是制约植被生长的重要因素,因此与传统的定义相比,本研究所划出的“荒漠化”范围,还包括植被覆盖率较低的高寒地区,例如青藏高原,这也是超出“公约”定义范围的.

因此,用绿度变化作为监测指标,不但可以反映荒漠化的变化情况,同时包含了对于极干旱地区以及高寒地区植被覆盖变化的描述,鉴于林业局荒漠化公报采用了“公约”的定义,这在一定程度上也可以解释表 5 中我们的研究结果得到的荒漠化面积要略高于荒漠化公报的结果是合理的.本研究所关注的荒漠化主要指植被长期丧失,覆盖度较低的区域,基本对应我国新疆、西藏、内蒙古、甘肃、青海 5 个省区.

3.2 2000~2010 年间中国荒漠化土地变化的驱动力

荒漠化土地是我国重要的土地覆盖类型之一,占国土面积近 30%. 21 世纪中国在变绿,但荒漠化情况为何好转?是自然因素主导还是人为干预的结果?这样的好转趋势是否稳定?能否延续到下一个 10 年?这仍是值得后续研究和探讨的题目,对此本研究亦收集了相关数据并进行了简要的整理和分析.

自然因素和人为干预都有可能驱动土地覆盖类型变化,从而引起植被变化.位于东部的人口密集的地区,由于人类活动频繁,城市化,过度的开垦、耕种、放牧、砍伐,都会导致荒漠化的加剧^[8,9,13],因此人为干预成为荒漠化加剧的主要影响因子.同时,也能成为抑制荒漠化发展的推动力.例如三北防护林的建设,虽然有研究指出,其作用有被过高估计的倾向^[16,17],但它的建立依然对降低荒漠化程度有一定意义;气候对植被生长状况的影响是巨大的^[32],西部的广袤区域,气候干旱,土地贫瘠,因而人类的聚集和活动都不太强烈,于是自然因素有可能成为荒漠化程度的风向标^[12].

有研究分析了气温和降水对中国植被 NDVI 动态变化的驱动作用,认为我国地表 NDVI 变化的气候因子驱动存在着明显的区域分异现象.如在东北大兴安岭和小兴安岭北部地区,降水多常伴随着低温寡照,不利于植被生长;而在半干旱的华北地区,水分则是影响植被生长的主要因子,降水量增加可促进植被生长^[30].而我国大部分荒漠化土地处于降水驱动区,只有塔里木盆地,天山东部这两部分区域处于气温-降水协同作用驱动区^[33].可见,气候数据中,能够直接影响植被覆盖程度的降水量是影响荒漠化土地变迁的重要驱动因子.除此之外,气温也起到一定作用.因此,本研究分析了从中国气象科学数据共享服务网(China Meteorological Data Sharing Service System)下载的我国 2000~2009 年 732 个气象站点的降水和气温数据.

以 OLS 拟合结果为例进行讨论,在这些站点中,有 340 个站点 11 年来年降水量呈增加趋势,如图 6 所示,这些站点多分布于东部和中部,在西部各省区中,青海、甘肃以及内蒙古大部分地区分布了较多这样的站点;而有 392 个站点 11 年来降水量呈减少趋势,新疆以及西藏南部地区分布了大量这样的站点.21 世纪以来,我国的降水情况并没有呈现一致性的增加或减少,而在不同区域各有增减,总量上基本持平,甚至在总量上略有减少的趋势.因此,从全局上无法断定 21 世纪以来我国整体荒漠化的情况有所好转是降水增加所导致.将气象站数据与图 2 叠加,分析绿度变化比较明显的重点区域,发现落入 NDVI 急

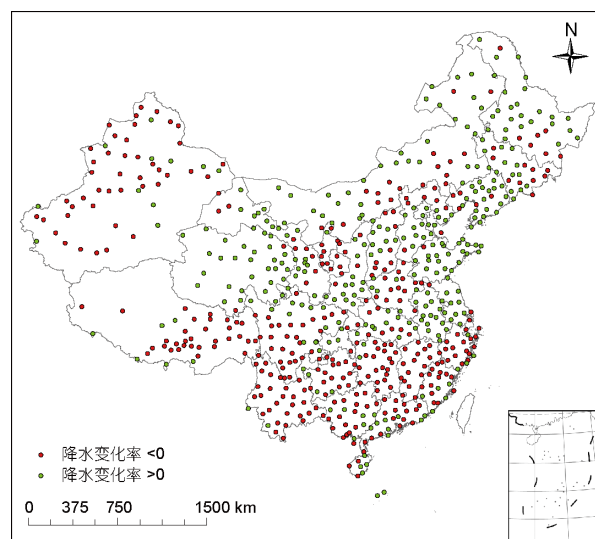


图 6 11 年来各气象站点降水量变化斜率

剧减少范围的 158 个站点中, 有 98 个站点降水量也呈减小趋势, 60 个站点降水量呈增加趋势; 落入 NDVI 增加显著范围的 152 个站点中, 有 88 个站点降水量也呈增加趋势, 65 个站点降水量呈减小趋势。在局部地区, 如西部的青海、甘肃、新疆、西藏南部, 年降水量的增减趋势与 NDVI 的变化趋势有所对应。

如图 7 所示, 分析各站点的气温变化, 有 585 个站点 11 年来年均温呈增加趋势, 而只有 147 个站点 11 年来气温呈减少趋势。21 世纪以来我国的气温总体上呈升高的趋势, 温度升高致使干旱, 半干旱地区蒸发量增大, 缺水的情况更为严重, 而对于水分充足的地区, 气温的升高有助于植被的生长。因此, 缺乏进一步的数据和分析的情况下, 气温这一气候因子不能作为荒漠化情况得到好转的有力证据。

针对本研究所关注的荒漠化问题, 如图 8 所示, 列出了荒漠化面积较大的西部 5 个省区的 NDVI 与降水量、温度的变化斜率。图中西藏和青海地区的绿度变化, 较明显的表现出对气温和降水量变化的反馈, 青海的绿度增加伴随着 11 年来降水量的增加, 西藏的绿度降低伴随着 11 年来温度升高, 降水量减少。可见自然因素, 尤其是降水, 可能是主导这两个地区荒漠化进程的主要驱动力; 而甘肃、新疆、内蒙古地区, 自然因素的改变与绿度的变化对应关系不明显, 因此, 在这几个地区, 人为的干预可能是主导因素, 对于甘肃地区, 人为保护治理较有成效, 而对于新

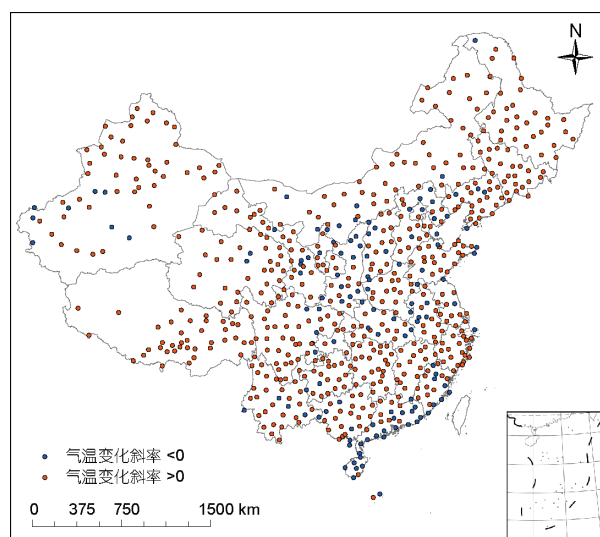


图 7 11 年来各气象站点气温变化斜率

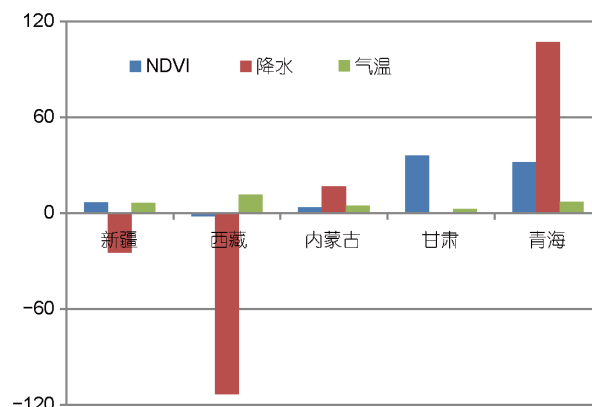


图 8 西部 6 省区 NDVI、降水和气温斜率

疆、内蒙古地区, 农业、牧业、城市化进程的飞速发展, 都可能是荒漠化加剧的重要因素。有研究针对 1983~1999 年锡林郭勒地区, 运用分时段回归分析和残差分析来评价人为因素在土地退化区域中的影响趋势, 结果表明该地区 20 世纪 90 年代以来出现了较为严重的人类活动加剧土地退化的现象, 这与本研究的时间范畴有承接关系, 所得的结论也表现出一致性^[31]。

综上所述, 自然因素(这里主要指降水)的变迁在局部地区与 NDVI 的变化有所对应, 但在全国范围内并不明显。而气温的变化趋势在干旱、半干旱地区有加剧荒漠化程度的倾向。在这样的条件下, 荒漠化得到抑制和缩减, 可能与人为的治理和保护有关。当然, 本研究只是进行初步的探讨分析和常识性的推断猜想, 要得到 21 世纪中国荒漠化土地变化驱动力分析的确切结论, 仍需进行更加系统的研究。

4 结语

过去的 11 年里, 我国的 NDVI 在整体上呈增加趋势, 表明我国的绿度在增加, 荒漠化状况得到一定抑制; 局部地区呈减少趋势, 表明该地区的荒漠化情况仍有扩张趋势。这与林业部门 2011 年发布的第四次荒漠化调查结果基本吻合。虽然, 在一些地区, 由于气候干旱, 城市化的推进和土地过度开发利用等原因导致荒漠化加剧。但总体上, 荒漠化状况在 21 世纪有所改善, 中国在变绿。而对于上述变化, 所对应的气候变化或者人工影响的信号, 仍需进一步分析和验证。

参考文献

- 1 Franklin S E, He Y, Pape A, et al. Landsat-comparable land cover maps using ASTER and SPOT images: A case study for large-area mapping programmes. *Int J Remote Sens*, 2011, 32: 2185–2205
- 2 Wikipedia. United Nations Convention to Combat Desertification. 1994
- 3 方精云, 朴世龙, 贺金生, 等. 近 20 年来中国植被活动在增强. *中国科学 C 辑: 生命科学*, 2003, 33: 554–565
- 4 国家林业局. 第四次中国荒漠化和沙化状况公报. 2011
- 5 杨晓晖, 慈龙骏. 基于遥感技术的荒漠化评价研究进展. *世界林业研究*, 2006, 19: 11–17
- 6 Xu D, Li C, Zhuang D. Assessment of the relative role of climate change and human activities in desertification: A review. *J Geogr Sci*, 2011, 21: 926–936
- 7 Wu J, Xia H, Liu Y. Theory and methodology on monitoring and assessment of desertification by remote sensing. *IGRSS*, 2004, 4: 2302–2305
- 8 Xu D, Kang X, Zhuang D, et al. Multi-scale quantitative assessment of the relative roles of climate change and human activities in desertification—A case study of the Ordos Plateau, China. *J Arid Environ*, 2010, 74: 498–507
- 9 Xu D, Kang X, Qiu D, et al. Quantitative assessment of desertification using Landsat data on a regional scale—A case study in the Ordos Plateau, China. *Sensors*, 2009, 9: 1738–1753
- 10 Guo J, Wang T, Xue X, et al. Monitoring aeolian desertification process in Hulunbir grassland during 1975–2006, Northern China. *Environ Monit Assess*, 2010, 166: 563–571
- 11 Nasierding N, Zhang Y. Change detection of sandy land areas in Minfeng oasis of Xinjiang, China. *Environ Monit Assess*, 2009, 151: 189–196
- 12 Yang M, Nelson F, Shiklomanov N, et al. Permafrost degradation and its environmental effects on the Tibetan Plateau: A review of recent research. *Earth-Sci Rev*, 2010, 103: 31–44
- 13 Gao J, Liu Y. Determination of land degradation causes in Tongyu County, Northeast China via land cover change detection. *Int J Appl Earth Obs*, 2010, 12: 9–16
- 14 Han Z, Wang T, Yan C, et al. Change trends for desertified lands in the Horqin Sandy Land at the beginning of the twenty—first century. *Environ Earth Sci*, 2010, 59: 1749–1757
- 15 Hasi B, Wataru T, Tsuguki K, et al. Land cover classification and change analysis in the Horqin Sandy Land from 1975 to 2007. *IEEE J-STARS*, 2010, 3: 168–177
- 16 Zhang C, Niu S, Xu D. Monitoring of desertification in Inner Mongolia based on MODIS data. *ICIC*, 2010, 3: 2278–2280
- 17 Wang X, Zhang C, Hasi E, et al. Has the Three Norths Forest Shelterbelt Program solved the desertification and dust storm problems in arid and semiarid China. *J Arid Environ*, 2010, 74: 13–22
- 18 Sternberg T, Tsolmon R, Middleton N, et al. Tracking desertification on the Mongolian steppe through NDVI and field—Survey data. *Int J Digit Earth*, 2011, 4: 50–64
- 19 Verstraete M, Hutchinson C, Grainger A, et al. Towards a global drylands observing system: Observational requirements and institutional solutions. *Land Degrad Dev*, 2011, 22: 198–213
- 20 Du J, Yan P, Dong Y. Precipitation characteristics and its impact on vegetation restoration in Minqin County, Gansu Province, northwest China. *Int J Climatol*, 2011, 31: 1153–1165
- 21 Yan Q, Zhu J, Hu Z. Environmental impacts of the shelter forests in Horqin Sandy Land, northeast China. *J Environ Qual*, 2011, 40: 815–824
- 22 王正兴, 刘闯, Huete A. 植被指数研究进展: 从 AVHRR-NDVI 到 MODIS-EVI. *生态学报*, 2003, 23: 979–987
- 23 杜子涛, 占玉林, 王长耀, 等. 基于 MODIS NDVI 的科尔沁沙地荒漠化动态监测. *国土资源遥感*, 2009, 80: 14–18
- 24 Becket H E, McVicar T R, Dijk A I, et al. Global evaluation of four AVHRR–NDVI data sets: Intercomparison and assessment against Landsat imagery. *Remote Sens Environ*, 2011, 111: 2547–2563
- 25 Stockli R, Vidale P L. European plant phenology and climate as seen in a 20-year AVHRR land-surface parameter dataset. *Int J Remote Sens*, 2004, 25: 3303–3330
- 26 Eklundh L, Olsson L. Vegetation index trends for African Sahel 1982–1999. *Geophys Res Lett*, 2003, 30: 1430–1433
- 27 何书元. 概率论与数理统计. 北京: 高等教育出版社, 2006. 279–301
- 28 宫鹏, 刘岳. 北方荒漠化土地分布. 见: 中华人民共和国人口与环境变迁地图集. 北京: 科学出版社, 2010. 83
- 29 王雷, 李丛丛, 应清, 等. 中国 1990–2010 城市扩张卫星遥感制图. *科学通报*, 2012, 57: 1388–1399
- 30 柳艺博, 居为民, 陈镜明, 等. 2010–2010 年中国森林叶面积指数时空变化特征. *科学通报*, 2012, 57: 1435–1445
- 31 曹鑫, 辜智慧, 陈晋, 等. 基于遥感的草原退化人为因素. *植物生态学报*, 2006, 30: 268–277
- 32 Song Y, Ma M. A statistical analysis of the relationship between climatic factors and the Normalized Difference Vegetation Index in China. *Int J Remote Sens*, 2011, 32: 3947–3965
- 33 陈云浩, 李晓兵, 史培军. 1983–1992 年中国陆地 NDVI 变化的气候因子驱动分析. *植物生态学报*, 2001, 25: 716–720