#### DOI: 10.5846/stxb201504190805

杜加强,舒俭民,赵晨曦,贾尔恒・阿哈提,王丽霞,香宝,方广玲,刘伟玲,何萍.两代 AVHRR GIMMS NDVI 数据集的对比分析——以新疆地区为 例.生态学报,2016,36(21): - .

Du J Q, Shu J M, Zhao C X, Jiaerheng Ahati, Wang L X, Xiang B, Fang G L, Liu W L, He P.Comparison of GIMMS NDVI3g and GIMMS NDVIg for monitoring vegetation activity and its responses to climate changes in Xinjiang during 1982—2006. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(21): -.

# 两代 AVHRR GIMMS NDVI 数据集的对比分析

——以新疆地区为例

杜加强<sup>1,2</sup>,舒俭民<sup>1,2</sup>,赵晨曦<sup>3</sup>,贾尔恒·阿哈提<sup>3</sup>,王丽霞<sup>4</sup>,香宝<sup>1,2</sup>,方广玲<sup>1,2</sup>, 刘伟玲<sup>1,2</sup>,何萍<sup>1,2,\*</sup>

1 中国环境科学研究院,北京 100012

2 中国环境科学研究院环境基准与风险评估国家重点实验室, 北京 100012

3 新疆环境保护科学研究院,乌鲁木齐 830011

4环境保护部南京环境科学研究所,南京 210042

摘要:最新发布的 1981 年—2012 年的 AVHRR GIMMS NDVI3g 数据为了解区域植被的近期变化状况提供了数据基础。深入理 解该版本与老版本 GIMMS NDVIg(1981 年—2006 年)之间的关系,对于使用新数据时充分利用已有老版本的研究结果具有重 要意义。以我国西北干旱区的典型区——域新疆为例,研究了两个数据集在反映生长季、春季、夏季和秋季植被现状,植被变化 趋势及其对气候变化响应方面的异同。研究结果表明两个数据集在描述植被活动空间分布、变化趋势及其与气候的相关性方 面大体相似,但在数值、动态变化率及其对气候变化响应强度等方面存在的差异也不容忽略。NDVI3g 数据生长季和各季节 NDVI 数值多大于 NDVIg,尤其是在夏季和在植被覆盖较好的区域。区域尺度,NDVI3g 所反映的植被变化趋势更为平稳,尤其 是在夏季和较长的时段,这可能与像元尺度 NDVI3g 显著增加范围小于 NDVIg,而显著减少范围多于 NDVIg 有关。两个数据集 对气温、降水量、潜在蒸散发和湿润指数的响应具有大体一致的空间格局,但对气候因子变化的敏感性存在差异,哪一个数据集 更为灵敏依赖于不同的气候因子和时段。一般规律是 NDVI3g 与热量因子显著正相关的区域小于 NDVIg,而与水分因子显著 正相关的区域则大于 NDVIg。利用长期的生态数据集,尽快理清两个数据集在表征植被变化之间的异同并建立两者的转换关 系,对于合理开展植被变化、碳平衡、生态系统服务功能评估等广泛利用 NDVI 数据的相关研究十分重要。 关键词:GIMMS NDVI3g;GIMMS NDVIg;植被活动;气候变化;比较分析;新疆

# Comparison of GIMMS NDVI3g and GIMMS NDVIg for monitoring vegetation activity and its responses to climate changes in Xinjiang during 1982—2006

DU Jiaqiang<sup>1,2</sup>, SHU Jianmin<sup>1,2</sup>, ZHAO Chenxi<sup>3</sup>, JIAERHENG Ahati<sup>3</sup>, WANG Lixia<sup>4</sup>, XIANG bao<sup>1,2</sup>, FANG Guangling<sup>1,2</sup>, LIU Weiling<sup>1,2</sup>, HE Ping<sup>1,2,\*</sup>

1 Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China

2 State Key Laboratory of Environmental Criteria and Risk Assessment, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China

3 Xinjiang Academy of Environmental Protection Science, Urumqi 830011, China

4 Nanjing Institute of Environmental Sciences, Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China, Nanjing 210042, China

Abstract: The released third-generation NDVI datasets in 2014, GIMMS NDVI3g, provide a data basis for quantifying

**基金项目**:国家自然科学基金资助项目(41001055);国家环保公益性行业科研专项经费资助(201209027-5);中国环境科学研究院中央级公益性 科研院所改革启动专项(2012-YSGQ-05)

收稿日期:2015-04-19; 网络出版日期:2015-00-00

\* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: heping@ craes.org.cn

http://www.ecologica.cn

recent regional vegetation dynamics over a sufficiently long term. The comparison between the new and old versions (GIMMS NDVIg, from 1981 to 2006) is necessary to link previous studies with future applications of GIMMS NDVI3g in monitoring vegetation activity trends and their responses to climate change. In this study, GIMMS NDVI3g was initially compared with GIMMS NDVIg in an evaluation of spatio-temporal patterns of seasonal vegetation changes in Xinjiang Province, China, at regional and pixel scales during overlapping periods from 1982 to 2006. The influences of climate change (including temperature, precipitation, potential evapotranspiration, and humidity index) on vegetation growth were then analyzed based on GIMMS NDVI3g and GIMMS NDVIg. To better understand the relationships between GIMMS NDVI3g and GIMMS NDVIg, NDVI trends and correlations between NDVI and climatic factors were calculated over multiple nested time series from 18 to 25 starting in 1982. The results indicated that most areas showed an approximate consistency in overall changing trends and correlations with climate variables for both datasets, but differences in many aspects should not be ignored. In most pixels, numerical values of GIMMS NDVI3g were larger than those of GIMMS NDVIg in the growing season, spring, summer, and autumn, particularly in summer, and also in those areas with dense vegetation. At a regional scale, the NDVI trends of GIMMS NDVI3g were smoother than those of GIMMS NDVIg in the growing season and all seasons, particularly in summer and longer periods. At the pixel scale, areas with a significant increase in GIMMS NDVI3g were less than those in GIMMS NDVIg, whereas this was not true in those areas with a significant decrease. The spatial patterns of correlations between GIMMS NDVI3g and four climate variables were approximately similar to those between GIMMS NDVIg and the climate variables, but there were some differences in the sensitivity of both datasets to climate change. Which dataset is more sensitive depends on climate variables and periods. In general, areas with significantly positive correlations between GIMMS NDVI3g and thermal factors were fewer than those of GIMMS NDVIg, whereas positive correlations between NDVI and moisture factors were greater in GIMMS NDVI3g than in GIMMS NDVIg. Integrated other ecological datasets, it is urgent to identify the similarities and differences between the two datasets and to establish a connection between them for reasonably monitoring vegetation dynamics using NDVI datasets.

#### Key Words: GIMMS NDVI3g; GIMMS NDVIg; vegetation; climate change; comparison; Xinjiang

植被是陆地生态系统最重要的组成部分,联接了土壤圈、水圈和大气圈的物质循环和能量流动,在调节陆 地碳平衡和气候系统方面发挥了重要作用<sup>[1-3]</sup>,监测植被动态变化具有重要的科学价值和现实意义。植被覆 盖变化强烈地受到气候变化、人类活动的影响<sup>[4-9]</sup>,地表植被对外界干扰的响应已经成为国内外学术界研究 的热点。开展大范围的野外实地调查无疑是理论上监测植被状况的最优方法<sup>[10]</sup>,但该方法需要耗费大量人 力、财力,同时由点上的结果扩展到面上时也可能产生偏差<sup>[11]</sup>。因此,在大尺度监测植被变化的最有效的方 法是基于卫星的植被监测<sup>[10,12]</sup>,其具有时间连续、空间范围广、可重复、廉价等特点<sup>[10,13-14]</sup>。

归一化植被指数 NDVI 是公认的陆地植被生长状况的最佳表征指标,广泛地应用于从全球到区域尺度的 植被动态变化及其对气候变化响应、土地退化区域识别、植被生产力和碳平衡等领域的研究之中。AVHRR GIMMS NDVI 数据集具有时间序列长、覆盖范围广、时空可比、较强地植被动态变化表征能力<sup>[15]</sup>等特点,被证 明是描述植被生长动态变化最好的数据集之一<sup>[7,16-18]</sup>,得到了非常广泛的应用,取到了大量的研究成果。目 前,最常用的 NDVI 数据集是时间序列为 1981—2006 年的 GIMMS NDVIg 数据集,有关最近几年植被变化及 其与过去三十年比较的研究需要扩展 GIMMS NDVIg 数据集的时间序列<sup>[14,19-22]</sup>。国内外已经有学者开始进行 GIMMS NDVIg 和与其他传感器 NDVI 数据集的比较与数据插补工作<sup>[3,12,23-30]</sup>。最近,最新版本的 GIMMS NDVI 数据集发布<sup>[31]</sup>,被称作 GIMMS NDVI3g,时间跨度为 1981 年—2012 年,其数据处理目标旨在提高高纬 度地区的数据质量<sup>[32-33]</sup>,以便于更适合北半球生态系统植被活动变化的研究<sup>[23,34]</sup>。作为新一代的长时间序 列数据集,该数据集可以为地表植被 30 多年来的整体变化趋势提供基础数据,势必得到广泛的应用。然而, 由于 AVHRR 传感器设计之初并不是以植被研究为目的,获取 NDVI 之前需要进行一系列的校正处理工作,导 致 GIMMS NDVI 数据集本质上是动态变化的,每一次有更新的数据加入必须要重新计算<sup>[35]</sup>,这就使得即使是 重叠年份 1981—2006 年的 GIMMS NDVI3g 与 GIMMD NDVIg 也不相同。因此,最新的 GIMMS NDVI3g 与过去 应用最为广泛的 GIMMS NDVIg 版本之间的对比研究势在必行,这也是连接已有研究和未来利用 GIMMS NDVI3g 监测植被活动的桥梁。目前有关两代数据的对比研究刚刚开始,尚未检索到有关我国干旱区两代数 据集对比研究的相关报道。

为此,本文以中国西北干旱区的主体——新疆地区为例,利用生长季(3月—11月)、春季(3月—5月)、 夏季(6月—8月)和秋季(9月—11月)4个合成时段,评价两代数据集在表征植被时空变化趋势及其对气候 变化响应的量级和空间模式上存在的差异和相似性,以期为未来利用 GIMMS NDVI3g 数据集评估干旱区植被 动态变化趋势时,如何合理利用 GIMMS NDVIg 的研究结果提供支撑和参考。

#### 1 材料和方法

# 1.1 研究区域

新疆位于我国西北边陲,介于 73°20′—96°25′E,34°15′—49°10′N 之间,总面积约 1.66×10<sup>6</sup> km<sup>2</sup>。境内大 致呈纬向伸展的三大山系阿尔泰山、天山和昆仑山分割着准噶尔和塔里木盆地,形成了独特的山体、盆地相间 的地貌格局。山体垂直地带性差异明显,天山、阿尔泰山、昆仑山发育有大面积的森林和草地植被,准噶尔盆 地和塔里木盆地分布有典型的温带荒漠植被,绿洲和城市则分布在河谷平原区。由于新疆南北跨度大,形成 了以天山为界,南疆、北疆自然地理状况差异较大的格局,分别属于温带大陆性干旱半干旱气候和暖温带大陆 性干旱气候。区域干旱、少雨、多大风的气候特点,形成了广布的沙漠戈壁景观,植被覆盖率总体较低,生态系 统较为脆弱、敏感,是研究植被变化变化及其对气候变化相应的理想区域。

# 1.2 数据来源与处理

GIMMS NDVIg 和 GIMMS NDVI3g 数据集均来源于 NASA 戈达德航天中心,合成时段均为 15 d。GIMMS NDVIg 的空间分辨率为 8km×8km(约为 0.072°×0.072°),时间跨度是 1981—2006 年;GIMMS NDVI3g 则分别为 0.083°×0.083°,1981—2012 年。

气象数据来源于中国气象科学数据共享服务网,包含 53 个站点的月气温、月降水量数据(气象站点分布 见图 1)。1:1000000 矢量化植被类型图来自中国植被类型图<sup>[36]</sup>,将新疆地区的植被分为森林、灌丛、草地、耕 地、荒漠和无植被 6 大类。

两种 NDVI 数据经过子集提取、图像镶嵌、裁剪、数据格式转换、投影转换及质量检验等预处理过程,形成 新疆 GIMMS NDVIg 和 GIMMS NDVI3g 数据集。采用最大值合成方法得到月尺度 GIMMS NDVI 数据,以进一 步去除云的影响,并减少月内物候循环的影响<sup>[35]</sup>。参考相关研究<sup>[3,7-8]</sup>,采用 0.05 的 NDVI 值作为的植被阈 值,排除非植被因素的影响。

# 1.3 研究方法

数值比较<sup>[15,29-30]</sup>、相关性分析<sup>[17-18]</sup>、趋势一致性分析<sup>[15,35]</sup>以及 NDVI 对气候变化响应<sup>[32]</sup>被认为是评价 NDVI 数据集之间一致性的有效方法。本文从 NDVI 数值、变化趋势及其与气候变化的相关性三个方面,来评 价重叠年份(1982—2006年)GIMMS NDVIg 和 GIMMS NDVI3g 数据集的一致性,以期在静态、动态、空间格 局、对外部干扰反映等多方面综合反映两个数据集的相似性。为了更好地利用两代数据集的优势与特点,以 及方便利用已有 NDVIg 成果和未来 NDVI3g 数据处理,保留两代数据集各自的分辨率。

NDVI 的变化趋势采用其与年份的最小二乘法回归进行分析,得到回归方程的斜率(Slope)和 Pearson 相关系数,分别用来表示植被生长的变化速率和变化趋势。定义(Slope<sub>CIMMS NDVIg</sub>-Slope<sub>CIMMS NDVIg</sub>)/ Slope<sub>CIMMS NDVIg</sub> ×100 为两个数据集变化趋势的差值比率(ratio of difference between NDVI3g slope and NDVIg slope, RDNS)。 NDVI 对气候变化的响应,采用 NDVI 与同期气候要素的相关性来表征。气象数据采用 Kriging 方法插值到 GIMMS NDVIg 和 GIMMS NDVI3g 数据集的空间分辨率。为了更好地表征植被与干湿条件之间的关系,计算 了蒸散发和湿润指数。蒸散发是唯一一个即出现在在水量平衡方程又出现在地表能量平衡方程中的要素<sup>[37-38]</sup>,与生态系统水分利用密切相关<sup>[8,38]</sup>,尤其是在干旱和半干旱地区。参考相关研究<sup>[8]</sup>,研究区域潜在 蒸散发(evapotranspiration, ET)采用 Thornthwaite 方法计算,湿润指数(humidity index, HI)采用降水量与潜在 蒸散发之比计算。

时段不同植被变化趋势不同,时段长度也可能会对结果产生影响。因此,为深入探讨两个数据集所反映的新疆植被变化及其对气候变化响应的动态过程,分别在 1982—1999 年、1982—2000 年、……、1982—2006 年 8 个时段计算 NDVI 变化趋势及其与气候因子的相关性。显著增加、显著减少区域面积在 8 个时段的变化趋势、强度,采用其与 2006—2012 年年份的 Pearson 相关系数、斜率来计算。根据显著性检验结果,将变化趋势分为如下 3 个等级:极显著(P<0.01);显著(P<0.05);不显著(P>0.05)。

#### 2 结果

# 2.1 数值差异与相关性

生长季多年平均 NDVI3g 和 NDVIg 数据的数值分布显示(图 1), ≤0.20 区间 NDVIg 的分布区域均大于 NDVI3g,在大于 0.20 区间则相反。两者之间逐像元的差值结果显示(图 1),66%的研究区域 NDVI3g 均大于 NDVIg,生长季多年平均的平均偏差为 0.0230,且植被覆盖度较高的天山南北、阿尔泰山以及塔里木盆地西北 边缘、西南边缘偏差较大。

分别统计 1982—2006 年植被区域 NDVI3g 和 NDVIg 生长季、各季节的区域平均年 NDVI 值,并计算相关 系数、平均偏差、均方根误差和相对偏差,结果见表 1、图 2。各季节两者之间的相关性均达到了 0.01 的显著 性水平,秋季相关性最强,春季最弱;数值差异方面,植被区域 NDVI3g 数值比 NDVIg 高 19%—28%,秋季相对 差异最小,夏季较大。

Tuble 1 - Suddetes of universes between 11D (15g and 11D (15g at regional state												
季节 Seasons	<i>R</i> <sup>2</sup>	多年平均 <sup>#</sup> Mean	平均偏差 Mean deviation	均方根误差 Root mean squared error	相对偏差/% Relative deviation							
生长季 Growing season	0.8399	0.1824; 0.1396	0.0017	0.0429	23.4761							
春季 Spring	0.7454	0.1296; 0.1033	0.0011	0.0266	20.3619							
夏季 Summer	0.8336	0.2616; 0.1893	0.0029	0.0724	27.6670							
秋季 Autumn	0.8590	0.1561; 0.1262	0.0012	0.0300	19.1394							

表1 区域尺度各季节 NDVI3g 与 NDVIg 的关系 Table 1 Statistics of differences between NDVI3g and NDVIg at regional scale

#该列中 NDVI3g 在前, NDVIg 在后

#### 2.2 变化趋势的一致性

区域尺度,尽管两个数据集 NDVI 的变化趋势十分相似(图 2、表 2),两者在 8 个时段均多呈显著增加趋势;除夏季所有时段 NDVI3g 变化量小于 NDVIg(约低 10%—43%),生长季、春季和秋季均呈前几个时段 NDVI3g 变化量大于 NDVIg,而后几个时段 NDVIg 大于 NDVI3g,春季趋势变化幅度差异最大,达到-34%—55%,秋季最小为-15%—13%。两个数据集夏季变化趋势的差异呈随时段延长而增加趋势,生长季、春季和 秋季多呈随时段延长先减小后增加趋势。

像元尺度,两者生长季、春夏秋3个季节 NDVI 变化趋势的空间分布大致较为相似(图3),但不同时段呈显著变化的区域大小明显不同(表3)。夏季、秋季 NDVI3g 呈增加、显著增加趋势的范围8个时段均小于 NDVIg,面积差值的多时段平均值范围为-6.31% —3.15%;生长季和春季也多小于 NDVIg,面积差值的多时段平均值范围为-6.91%—1.13%;而 NDVI3g 呈显著减少趋势的区域则多大于 NDVIg,面积差值的多时段平均值范围为 0.96%—3.08%。两个数据集除生长季显著增加、春季显著增加区域的差值呈先减少后增加趋势外, 生长季、夏季和秋季两者呈增加、显著增加和显著减小区域面积差值均呈随时段延长而明显快速扩大。



图 1 NDVI3g 与 NDVIg 生长季多年平均值分布与差值 Fig.1 Distribution and differences between NDVIg and NDVI in growing season

第一行和第三行分别为 NDVIg 生长季和春季的结果,第二行和第四行分别为 NDVI3g 生长季和春季的结果,第一列到第四列分别为 1982—1999 年变化趋势显著性、变化量和 1982—2006 年变化趋势显著性、变化量。(限于篇幅仅给出生长季和春季 1982—1999 年和 1982—2006 年两个时段变化趋势显著性和变化量,生长季和春季其他时段、夏秋两个季节所有时段的图略。)



图 2 两个数据集 1982 年—2006 年的 NDVI 变化趋势 Fig.2 NDVI dynamics of two datasets during 1982—2006

表 2	两个数据集 NDVI 变化趋势(a)

Table 2 NDVI trend of two datasets											
季节 Seasons	指标 Indicators	1982—1999	1982—2000	1982—2001	1982—2002	1982—2003	1982—2004	1982—2005	1982—2006		
生长季	NDVI3g	0.0010 **	0.0010 **	0.0009 **	0.0009 **	0.0007 **	0.0006 **	0.0005 **	0.0004 *		
Growing season	NDVIg	0.0010 **	0.0009 **	0.0009 **	0.0009 **	0.0008 **	0.0007 **	0.0007 **	0.0006 **		
	RDNS/%	1.21	6.49	3.70	-2.96	-10.46	-16.67	-21.69	-33.02		
春季 Spring	NDVI3g	0.0006 *	0.0008 **	0.0008 **	0.0007 **	0.0005	0.0004	0.0003	0.0002		
	NDVIg	0.0005	0.0005	0.0006 *	0.0006 *	0.0005	0.0004	0.0004	0.0004		
	RDNS/%	40.05	55.14	27.72	16.24	4.81	-7.98	-21.16	-33.56		
夏季 Summer	NDVI3g	0.0014 **	0.0013 **	0.0011 **	0.0010 **	0.0008 **	0.0007 *	0.0006 *	0.0005		
	NDVIg	0.0016 **	0.0014 **	0.0013 **	0.0012 **	0.0011 **	0.0010 **	0.0010 **	0.0009 **		
	RDNS/%	-12.06	-9.60	-13.67	-20.62	-26.98	-30.87	-35.71	-43.30		
秋季 Autumn	NDVI3g	0.0011 **	0.0009 **	0.0009 **	0.0009 **	0.0008 **	0.0007 **	0.0006 **	0.0005 *		
	NDVIg	0.0010 **	0.0008 **	0.0008 **	0.0008 **	0.0008 **	0.0007 **	0.0006 **	0.0006 **		
	RDNS/%	4.36	4.48	13.23	9.26	4.71	-0.57	-1.64	-14.67		

\*\*代表显著性水平小于 0.01,\*代表小于 0.05; RDNS: NDVI 变化趋势的差值比率

#### 2.3 对气候变化响应的差异

区域平均尺度,两个 NDVI 数据集与同期气温、降水量、ET 和 HI 的相关性见表 4。两个数据集在生长季和各季节对不同气候因子变化响应的差异基本一致。除秋季 NDVI3g 与降水量和 HI 的相关系数绝对值在多数时段大于 NDVIg 以外,NDVIg 与气候因子的相关性总体高于 NDVI3g,仅在少数时段 NDVI3g 与气候因子的相关性高于 NDVI3g,



图 3 两个数据集 NDVI 变化量与趋势显著性 Fig.3 Spatial distribution of NDVI trends over Xinjiang with two datasets

像元尺度,两个 NDVI 数据集与同期气温、降水量、ET 和 HI 相关性的空间格局(图 4)表明,总体上,两个 数据集在反映植被对气候变化响应方面基本一致,NDVI 与气候因子相关性的空间格局较为相似,显著、极显 著相关区域的分布、规模大体一致。纵观 8 个时段的计算结果,与 NDVIg 相比,生长季与各季节 NDVI3g 与气 温、ET 显著正相关的区域相对较小,显著负相关的区域范围则在多数时段相对较大。生长季和各季节 NDVI3g 与降水量、HI 呈显著正相关的区域范围在多数时段大于 NDVIg,而在春季和秋季 NDVI3g 与降水量和 HI 呈显著负相关的区域范围在各时段均小于 NDVIg,生长季和夏季则在多数时段大于 NDVIg。随着时段延 长,两个数据集与气候相关性位于同一显著性水平的面积差距多有扩大趋势。

第一行和第二行分别为 1982—1999 年生长季 NDVIg 和 NDVI3g,第三行和第四行分别为 1982—2006 年 生长季 NDVIg 和 NDVI3g,第一列到第四列分别为 NDVI 与气温、降水量、ET 和 HI 的相关性。(限于篇幅仅给 出生长季 1982—1999 年和 1982—2006 年两个时段变化趋势显著性和变化量,生长季其他时段、春夏秋三个 季节所有时段的图省略。



# 图 4 两个数据集生长季 NDVI 与气候因子的相关性

Fig.4 Spatial distribution of correlations between NDVI and climatic factors

表 4 两个数据集与 4 种气候因子的相关系数

Table 4

Correlation	coefficients	hetween	NDVI	and for	ır climatic	factors
COLLEIATION	COEfficients	Detween	110 11	anu ivi	ii ciimauc	lactors

NDVI3g	NDVI 与气温 Correlation between NDVI and temperature			NDVI 与降水量 Correlation between NDVI and precipitation			NDVI 与 ET Correlation between NDVI and ET				NDVI 与 HI Correlation between NDVI and HI					
-	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1982—1999	0.39	0.52 *	0.28	0.29	0.48 *	0.10	0.60 **	0.10	0.34	0.51 *	0.27	0.20	0.40	0.00	0.55 *	0.08
1982—2000	0.42	0.61 **	0.31	0.30	0.47 *	-0.02	0.60 **	0.08	0.38	0.63 **	0.30	0.22	0.38	-0.13	0.55 *	0.06
1982—2001	0.44	0.63 **	0.28	0.37	0.45 *	-0.06	0.60 **	0.13	0.41	0.64 **	0.26	0.26	0.36	-0.17	0.55 *	0.09
1982—2002	0.45 *	0.63 **	0.27	0.42	0.46 *	-0.05	0.59 **	0.12	0.42	0.64 **	0.25	0.32	0.37	-0.16	0.54 *	0.06
1982—2003	0.46 *	0.64 **	0.27	0.42 *	0.43 *	-0.11	0.59 **	0.13	0.43 *	0.66 **	0.25	0.32	0.34	-0.21	0.54 *	0.07
1982—2004	0.41 *	0.56 **	0.26	0.42 *	0.42 *	-0.12	0.59 **	0.13	0.39	0.58 **	0.24	0.32	0.34	-0.21	0.54 **	0.07
1982—2005	0.40	0.53 **	0.25	0.43 *	0.42 *	-0.13	0.57 **	0.12	0.38	0.56 **	0.24	0.34	0.34	-0.21	0.52 **	0.05
1982—2006	0.31	0.50 *	0.21	0.30	0.44 *	-0.12	0.57 **	0.14	0.30	0.53 **	0.20	0.23	0.36	-0.20	0.53 **	0.08

36卷

															约	卖表
NDVIg	NDVI 与气温 Correlation between NDVI and temperature				NDVI 与降水量 Correlation between NDVI and precipitation			NDVI 与 ET Correlation between NDVI and ET				NDVI与HI Correlation between NDVI and HI				
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1)	2	3	4
1982—1999	0.38	0.56 *	0.20	0.34	0.48 *	0.08	0.64 **	0.08	0.34	0.53 *	0.20	0.29	0.42	-0.01	0.60 **	-0.02
1982—2000	0.39	0.60 **	0.22	0.35	0.47 *	0.02	0.64 **	0.06	0.36	0.57 *	0.22	0.30	0.41	-0.07	0.60 **	-0.05
1982—2001	0.44	0.64 **	0.22	0.38	0.47 *	-0.05	0.64 **	0.08	0.40	0.61 **	0.23	0.32	0.40	-0.14	0.60 **	-0.02
1982—2002	0.49 *	0.65 **	0.27	0.44 *	0.49 *	-0.02	0.65 **	0.07	0.45 *	0.62 **	0.27	0.38	0.42	-0.11	0.62 **	-0.06
1982—2003	0.48 *	0.66 **	0.26	0.45 *	0.49 *	-0.05	0.66 **	0.10	0.45 *	0.63 **	0.27	0.40	0.42	-0.13	0.62 **	-0.05
1982—2004	0.47 *	0.62 **	0.27	0.45 *	0.49 *	-0.05	0.65 **	0.10	0.44 *	0.60 **	0.28	0.40	0.42 *	-0.13	0.62 **	-0.05
1982—2005	0.49 *	0.62 **	0.28	0.47 *	0.51 *	-0.03	0.66 **	0.09	0.46 *	0.60 **	0.29	0.42 *	0.43 *	-0.12	0.62 **	-0.07
1982—2006	0.49 *	0.62 **	0.29	0.44 *	0.47 *	-0.03	0.62 **	0.08	0.46 *	0.60 **	0.29	0.40 *	0.39	-0.13	0.58 **	-0.07

①、②、③、④分别为生长季、春季、夏季和秋季

表 5 两个数据集与 4 种气候变量不同相关性的区域比例(%)

Table 5	Area fraction	with	correlations	between	NDVI	and	climatic	factors
---------	---------------	------	--------------	---------	------	-----	----------	---------

季节	指标	生长季 Growing season			春季 Spring			夏季 Summer			秋季 Autumn			
Seasons	Indicators	Р	SN	SP	Р	SN	SP	Р	SN	SP	Р	SN	SP	
1982—1999	NDVIg & Tem	71.48	1.13	12.51	73.38	0.89	19.15	57.69	3.76	9.24	69.05	1.22	12.26	
	NDVI3g & Tem	68.66	0.97	10.92	67.43	1.90	14.66	59.85	2.09	5.40	63.10	2.29	8.80	
1982—2006	NDVIg & Tem	67.77	3.96	19.19	82.55	0.63	29.45	51.51	7.07	8.06	61.27	3.73	17.40	
	NDVI3g & Tem	54.56	8.95	13.11	67.68	2.78	21.49	45.23	7.36	5.53	53.39	7.43	11.70	
1982—1999	NDVIg & Pre	75.98	0.63	16.68	56.66	4.42	4.19	72.95	0.85	15.97	37.60	5.83	1.58	
	NDVI3g & Pre	75.98	0.60	17.19	61.26	2.95	4.83	72.18	1.13	17.08	44.35	3.45	2.18	
1982—2006	NDVIg & Pre	73.33	0.70	17.54	45.81	6.34	1.92	74.32	1.06	16.32	36.09	5.98	2.28	
	NDVI3g & Pre	72.94	1.34	18.28	43.96	5.25	1.42	73.36	1.02	17.94	47.55	3.11	3.03	
1982—1999	NDVIg & ET	65.52	2.10	11.32	75.99	0.27	17.77	58.45	3.42	9.08	67.55	1.45	10.26	
	NDVI3g & ET	63.99	1.52	8.48	69.84	0.63	14.46	60.12	2.08	5.53	61.77	2.65	7.54	
1982—2006	NDVIg & ET	64.39	4.93	15.37	83.26	0.26	29.50	51.30	6.25	7.55	59.32	3.94	13.46	
	NDVI3g & ET	52.55	7.78	9.63	71.23	1.08	24.21	45.15	7.13	5.43	51.53	6.49	8.93	
1982—1999	NDVIg & HI	73.26	0.81	15.09	53.71	6.03	4.07	71.21	1.23	15.28	34.76	6.20	1.90	
	NDVI3g & HI	73.80	0.71	14.34	58.66	4.13	4.70	70.52	1.25	15.82	42.36	3.32	2.78	
1982—2006	NDVIg & HI	70.62	1.17	15.23	41.85	9.26	1.71	73.23	1.41	15.88	33.64	6.83	2.29	
	NDVI3g & HI	72.62	1.29	15.82	42.76	7.43	1.43	73.15	1.03	17.22	45.75	3.01	3.41	

Tem 和 Pre 分别为气温 temperature 和降水量 precipitation

# 3 讨论和结论

本文的研究结果与北半球高纬度地区研究得出的 NDVI3g 的变化量是 NDVIg 两倍<sup>[32]</sup>的结果不尽相同, 新疆地区 NDVI3g 与 NDVIg 在表征植被活动动态变化趋势的量级方面,变化量相对大小无固定模式,哪一个 数据集的动态变化趋势更强,依赖于时段和季节。与北美地区的研究结果<sup>[10]</sup>一致,NDVI 值较小的区间(约< 0.2) NDVIg 大于 NDVI3g,较大的区间相反,表明在植被低覆盖度区域 NDVIg 可能高估了植被 NDVI 值,而在 植被高覆盖区域则低估了植被 NDVI 值。值的说明的是,NDVI3g 和 NDVIg 哪一个更符合新疆的实际情况,则 需要采用其他卫星数据或大量的地面长期观测数据集、涡度通量塔观测数据集等来评判,超出了本文的研究 范畴。

NDVI3g 与反映水分状况的气候因子(降水量、HI)正相关性多强于 NDVIg,而与反映热量的气温、ET 则 多呈相反规律,表明不同时段两个数据集对不同气候因子变化的敏感性存在差异;不同季节之间,两个数据对

9

各种气候因子变化的响应量级也不尽相同。

NDVI长期数据为研究植被活动提供了所必需的关键历史视角<sup>[28]</sup>。但若想获得任何有意义的陆表植被 监测,连续的、相互校准的植被指数长期时间序列是关键需求<sup>[10,15,17,28]</sup>。NDVI3g 和 NDVIg 之间的数值差异 有可能对利用 NDVI 数据集的各种研究结果产生影响。比如,生长季和夏季两个数据集的不同,有可能对基 于 NDVI 的植被生产力估算、碳汇潜力分析、农作物估产、生态系统服务功能评估等产生较大影响;尤其是植 被覆盖更高的地区和生长旺盛的夏季较大的 NDVI 数值差异,可能对结果产生实质性的影响。尤其是 NDVI 被广泛用于评估碳汇,NDVI 数据集之间的差异可能影响国家碳账户的平衡,从而进一步影响与碳排放相关 国际履约和国际谈判。春季、秋季 NDVI 的不同,则可能影响动植物物候变化的研究结论,从而对预报农事、 指导农牧业和林业生产、指示病虫害、引种和选种等方面产生误导。

本文比较了最新的 GIMMS NDVI3g 和老版本 GIMMS NDVIg 在监测植被动态变化及其对气候变化响应方法的异同,主要发现归纳如下:

(1)两个数据集在描述植被活动空间分布方面较为一致,但有一定的数量差异。66%的研究区域生长季 NDVI3g 均大于 NDVIg,生长季 NDVI3g 与 NDVIg 的平均偏差为 0.0230。空间上,植被覆盖度较高的天山南 北、阿尔泰山以及塔里木盆地部分边缘地带偏差较大;季节上,夏季两个数据集的数值差异较大。

(2)总体上,NDVI3g 与 NDVIg 在反映区域植被变化趋势及其空间格局方面基本一致,但变化强度差异明显。尽管在较短的时段,生长季、春季和秋季 NDVI3g 的增加量大于 NDVIg,但总体上 NDVI3g 的变化更为平稳,尤其是在夏季和较长的时段,其年际增加量均小于 NDVIg,这与像元尺度 NDVI3g 显著增加范围小于 NDVIg,而显著减少范围多于 NDVIg 有关。春季 NDVI3g 与 NDVIg 变化趋势差异最大,达到-34%—55%,秋季最小为-15%—13%。

(3) NDVI3g 和 NDVIg 对气温、降水量、ET 和 HI 的响应具有大体一致的空间格局,但是显著相关的区域 范围具有一定差异。一般来说,NDVI3g 与表征热量的气温、ET 显著正相关的区域小于 NDVIg,显著负相关的 区域则相反;NDVI3g 与表征水分状况的降水量、HI 显著正相关的区域则大于 NDVIg;两个数据集与降水量、 HI 呈显著负相关区域的相对大小则依赖于季节和时段。

(4) NDVI3g 数据对于了解地表植被历史状况以及近年的趋势具有重要作用。鉴于 NDVIg 得到了广泛应用并取得了大量研究成果,评估 NDVI3g 和 NDVIg 数据的一致性、建立两者的转换关系,以及利用长期生态数据集评判哪一个数据集更接近实际情况,是必要而紧迫的。

#### 参考文献(References):

- Piao S L, Wang X H, Ciais P, Zhu B, Wang T, Liu J. Changes in satellite-derived vegetation growth trend in temperate and boreal Eurasia from 1982 to 2006. Global Change Biology, 2011, 17(10): 3228-3239.
- [2] Peng J, Liu Z H, Liu Y H, Wu J S, Han Y N. Trend analysis of vegetation dynamics in Qinghai-Tibet Plateau using Hurst Exponent. Ecological Indicators, 2012, 14(1): 28-39.
- [3] Bao G, Qin Z H, Bao Y H, Zhou Y, Li W J, Sanjjav A. NDVI-Based long-term vegetation dynamics and its response to climatic change in the Mongolian Plateau. Remote Sensing, 2014, 6(9): 8337-8358.
- [4] Myneni R B, Keeling C D, Tucker C J, Asrar G, Nemani R R. Increased plant growth in the northern high latitudes from 1981 to 1991. Nature, 1997, 386(6626): 698-702.
- [5] Goetz S J, Bunn A G, Fiske G J, Houghton R A. Satellite-observed photosynthetic trends across boreal North America associated with climate and fire disturbance. Proceeding of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2005, 102(38): 13521-13525.
- [6] Peng S S, Chen A P, Xu L, Cao C X, Fang J Y, Myneni R B, Pinzon J E, Tucker C J, Piao S L. Recent change of vegetation growth trend in China. Environmental Research Letters, 2011, 6(4): 044027.
- [7] Nemani R R, Keeling C D, Hashimot H, Jolly W M, Piper S C, Tucker C J, Myneni R B, Running S W. Climate-Driven increases in global terrestrial net primary production from 1982 to 1999. Science, 2003, 300(5625): 1560-1563.
- [8] Zhao X, Tan K, Zhao S, Fang J. Changing climate affects vegetation growth in the arid region of the northwestern China. Journal of Arid Environments, 2011, 75(10): 946-952.
- [9] Mohammat A, Wang X H, Xu X T, Peng L Q, Yang Y, Zhang X P, Myneni R B, Piao S L. Drought and spring cooling induced recent decrease in vegetation growth in Inner Asia. Agricultural and Forest Meteorology, 2013, 178-179: 21-30.

- [10] Scheftic W, Zeng X B, Broxton P, Brunke M. Intercomparison of seven NDVI products over the United States and Mexico. Remote Sensing, 2014, 6(2): 1057-1084.
- [11] 卓莉,曹鑫,陈晋,陈仲鑫,史培军.锡林郭勒草原生态恢复工程效果的评价.地理学报,2007,62(5):471-480.
- [12] Piao S L, Cui M D, Chen A P, Wang X H, Ciais P, Liu J, Tang Y H. Altitude and temperature dependence of change in the spring vegetation green-up date from 1982 to 2006 in the Qinghai-Xizang Plateau. Agricultural and Forest Meteorology, 2011, 151(12): 1599-1608.
- [13] Pettorelli N, Chauvenet A L M, Duffy J P, Cornforth W A, Meillere A, Baillie J E M. Tracking the effect of climate change on ecosystem functioning using protected areas: Africa as a case study. Ecological Indicators, 2012, 20: 269-276.
- [14] De Jong R, De Bruin S, Schaepman M, Dent D. Quantitative mapping of global land degradation using Earth observations. International Journal of Remote Sensing, 2011, 32(21): 6823-6853.
- [15] Beck H E, McVicar T R, van Dijk A I J M, Schellekens J, de Jeu R A M, Bruijnzeel L. Global evaluation of four AVHRR-NDVI data sets: Intercomparison and assessment against Landsat imagery. Remote Sensing of Environment, 2011, 115(10): 2547-2563.
- [16] Beck P S A, Goetz S J. Satellite observations of high northern latitude vegetation productivity changes between 1982 and 2008; ecological variability and regional differences. Environmental Research Letters, 2011, 6(4); 045501.
- [17] Fensholt R, Langanke T, Rasmussen K, Reenberg A, Prince S D, Tucker C, Choles R J, Le Q B, Bondeau A, Eastman R, Epstein H, Gaughan A E, Hellden U, Mbow C, Olsson L, Paruelo J, Schweitzer C, Seaquist J, Wessels K. Greenness in semi-arid areas across the globe 1981-2007—an Earth Observing Satellite based analysis of trends an drivers. Remote Sensing of Environment, 2012, 121: 144-158.
- [18] Alcaraz-Segura D, Liras E, Tabik S, Paruelo J, Cabello J. Evaluating the consistency of the 1982-1999 NDVI trends in the Iberian Peninsula across four time-series derived from the AVHRR sensor; LTDR, GIMMS, FASIR, and PAL-II. Sensor, 2010, 10(2); 1291-1314.
- [19] 毛德华,王宗明,宋开山,刘殿伟,张柏,张素梅,罗玲,张春华.东北多年冻土区植被 NDVI 变化及其对气候变化和土地覆被变化的响应.中国环境科学,2011,31(2):283-292.
- [20] Mao D H, Wang Z M, Luo L, Ren C Y. Integrating AVHRR and MODIS data to monitor NDVI changes and their relationships with climatic parameters in Northeast China. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2012, 18: 528-536.
- [21] 信忠保,许炯心,郑伟. 气候变化和人类活动对黄土高原植被覆盖变化的影响. 中国科学 D 辑:地球科学, 2007, 37(11): 1504-1514.
- [22] 丁明军,张镱锂,刘林山,王兆锋. 1982-2009 年青藏高原草地覆盖度时空变化特征. 自然资源学报, 2010, 25(12): 2114-2122.
- [23] 陈燕丽,龙步菊,潘学标,钟仕全,莫伟华. MODIS NDVI 和 AVHRR NDVI 对草原植被变化监测差异. 遥感学报, 2011, 15(4): 831-845.
- [24] Fensholt R, Rasmussen K, Nielsen T T, Mbow C. Evaluation of earth observation based long term vegetation trends——Intercomparing NDVI time series trend analysis consistency of Sahel from AVHRR GIMMS, Terra MODIS and SPOT VGT data. Remote Sensing of Environment, 2009, 113 (9): 1886-1898.
- [25] Gallo K, Ji L, Reed B, Eidenshink J, Dwyer J. Multi-platform comparisons of MODIS and AVHRR normalized difference vegetation index data. Remote Sensing of Environment, 2005, 99(3): 221-231.
- [26] 何月, 樊高峰, 张小伟, 柳苗, 高大伟. 浙江省植被 NDVI 动态及其对气候的响应. 生态学报, 2012, 32(14): 4352-4362.
- [27] Tucker C J, Pinzon J E, Brown M E, Slayback D A, Pak E W, Mahoney R, Vermonte E F, El Saleous N. An extended AVHRR 8-km NDVI dataset compatible with MODIS and SPOT vegetation data. International Journal of Remote Sensing, 2005, 26(20): 4485-4498.
- [28] Brown M E, Pinzon J E, Didan K, Morisette J T, Tucker C J. Evaluation of the consistency of long-term NDVI time series derived from AVHRR, SPOT-Vegetation, SeaWiFS, MODIS, and Landsat ETM + Sensors. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2006, 44(7): 1787-1793.
- [29] Steven M D, Malthus T J, Baret F, Xu H, Chopping M J. Intercalibration of vegetation indices from different sensor systems. Remote Sensing of Environment, 2003, 88(4): 412-422.
- [30] Fontana F M A, Coops N C, Khlopenkov K V, Trishchenko A P, Riffler M, Wulder M A. Generation of a novel 1km NDVI data set over Canada, the northern United States, and Greenland based on historical AVHRR data. Remote Sensing of Environment, 2012, 121: 171-185.
- [31] Pinzon J E, Tucker C J. A non-stationary 1981-2012 AVHRR NDVI3g time series. Remote Sensing, 2014, 6(8): 6929-6960.
- [32] Jiang N, Zhu W Q, Zheng Z T, Chen G S, Fan D Q. A comparative analysis between GIMSS NDVIg and NDVI3g for monitoring vegetation activity change in the northern hemisphere during 1982-2008. Remote Sensing, 2013, 5(8): 4031-4044.
- [33] Zhu Z C, Bi J, Pan Y Z, Ganguly S, Anav A, Xu L, Samanta A, Piao S L, Nemani R R, Myneni R B. Global data sets of vegetation leaf area index (LAI) 3g and fraction of photosynthetically active radiation (FPAR) 3g derived from global inventory modeling and mapping studies (GIMMS) normalized difference vegetation index (NDVI3g) for the period 1981 to 2011. Remote Sensing, 2013, 5(2): 927-948.
- [34] Xu L, Myneni R B, Chapin III F S, Callaghan T V, Pinzon J E, Tucker C J, Zhu Z, Bi J, Ciais P, Tømmervik H, Euskirchen E S, Forbes B C, Piao S L, Anderson B T, Ganguly S, Nemani R R, Goetz S J, Beck P S A, Bunn A G, Cao C, Stroeve J C. Temperature and vegetation seasonality diminishment over northern lands. Nature Climate Change, 2013, 3(6): 581-586.
- [35] Fensholt R, Proud S R. Evaluation of Earth Observation based global long term vegetation trends——Comparing GIMMS and MODIS global NDVI time series. Remote Sensing of Environment, 2012, 119: 131-147.
- [36] CVAEC, CAS. Vegetation Atlas of China (1:1,000,000), 2001. Beijing: Science Press, 2001.
- [37] Xu C Y, Singh V P. Evaluation of three complementary relationship evapotranspiration models by water balance approach to estimate actual regional evapotranspiration in different climatic regions. Journal of Hydrology, 2005, 308(1/4): 105-121.
- [38] Gao G, Chen D L, Xu C Y, Simelton E. Trend of estimated actual evapotranspiration over China during 1960-2002. Journal of Geophysical Research, 2007, 112(D11): D11120.