

# 基于 MODIS 和 NOAA 数据尺度转换的 若尔盖植被变化研究

冯文兰, 郑杰

(成都信息工程大学 资源环境学院, 成都 610225)

**摘要:**为获得若尔盖地区较长时间序列的遥感植被指数,采用重采样技术和一元线性回归方法实现了 GIMMS NDVI 和 MODIS NDVI 的空间尺度转换和时间尺度外推。结果表明:(1)不同重采样方法对 MODIS NDVI 数据的影响与空间尺度有关,对 GIMMS NDVI 数据的影响则与空间尺度关系不大;(2)空间分辨率 2.5 km,对不同植被类型可建立 GIMMS NDVI 和 MODIS NDVI 数据的一元线性转换关系,利用 GIMMS NDVI 拟合的结果与 MODIS 数据的差值统计符合正态分布;(3)1982—2013 年,以 1998 年为节点若尔盖地区的植被先退化后逐渐恢复,尽管近几年植被指数平均水平高于研究初期,但局部地区的植被退化形势仍然比较严峻。

**关键词:**GIMMS NDVI; MODIS NDVI; 重采样; 一元线性回归; 若尔盖

中图分类号:S127

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2016)03-0297-07

## Analysis on Vegetation Change in Zoige Region by the Scale Transformation Method Based on MODIS and NOAA DATA

FENG Wenlan, ZHENG Jie

(College of Resources and Environment, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China)

**Abstract:** In order to obtain a longer time series vegetation index in Zoige Plateau Wetland, spatial conversion and time extrapolation of GIMMS NDVI and MODIS NDVI were obtained by the method of image resampling and unitary linearity regression. The results showed that: (1) spatial scale was related to the influence of resampling methods for MODIS NDVI data, while it was hardly related to the GIMMS NDVI resampling data; (2) at 2.5 km per pixel resolution, the regression equation of different vegetation types between the two kinds of data was set up, the difference between the fitting results by GIMMS NDVI and MODIS NDVI conformed to normal distribution; (3) from 1982 to 2013, the vegetation in the study area degraded before gradual recovery, and the year of 1998 was the turning point, although the average level of vegetation index was higher than that in the early 1980s, local vegetation degradation situation was still serious.

**Keywords:** GIMMS NDVI; MODIS NDVI; resampling; monadic linear regression; Zoige Plateau Wetland

植被指数作为一种能反映地表植被生长分布和演化信息的特征参数,已经在环境、生态、农业等领域有了广泛的应用<sup>[1-2]</sup>。随着 20 世纪 80 年代以后各类陆地卫星的相继发射,长时间序列的高分辨率遥感资料越来越丰富,长期地表覆盖变化的监测也有了更多的数据来源<sup>[3]</sup>。但是,由于各个传感器自身或区域观测的目的不同,加之地面气象因素等对传感器成像的影响,使得单个传感器对植被的监测具有很大程度上的“时空数据缺失”<sup>[4-6]</sup>。而在遥感监测植被变化的研究中,只有运用高精度、高质量、适用性强、长期连续的植被指数数据,才能准确、详细、深入地分析植被变化

的特征,揭示其变化规律。因此,不同传感器植被指数数据之间的交互比较与相互转换在国内外受到广泛的关注<sup>[7-9]</sup>。在众多的植被指数产品数据中,由于 GIMMS 数据是目前序列最长、数据最为完整的数据集,MODIS 是目前种类最多的全球遥感产品数据集,因此,有不少学者利用两者时间覆盖的重叠在时间序列延长上做出了尝试。刘良明等<sup>[10]</sup>对比了 MODIS 和 AVHRR 的 NDVI 指数,结果发现前者对植被信息的响应比后者更敏感;Van Leeuwen 等<sup>[11]</sup>的研究发现 MODIS 影像反演的 NDVI 值要高于 AVHRR 影像的 NDVI 值;陈拉等<sup>[12]</sup>的研究也发现,MODIS

和 TM 的 NDVI 值都比 AVHRR 高。Kevin 等<sup>[13]</sup>对 NOAA NDVI 和 MODIS NDVI 数据的差异进行了详细分析,并建立了农田、草地、常绿阔叶林、灌木、城镇等类型 NOAA NDVI 和 MODIS NDVI 数据的关系模型。张宏斌等<sup>[14]</sup>采用统计学方法,以内蒙古自治区草原区为例,在宏观尺度上根据 MODIS NDVI 和 NOAA NDVI 数据之间的相关关系建立了线性空间尺度转换模型,取得了较好的应用效果。张戈丽等<sup>[15]</sup>通过对 MODIS NDVI 数据和 GIMMS NDVI 数据建立线性回归方程对 2007—2009 年的 GIMMS 数据进行插补,延长了 NDVI 数据的时间序列,结合了呼伦贝尔周边 7 个气象站点的降水和气温资料,分析了 1981—2009 年近 30 年来呼伦贝尔地区草地植被变化与气候变化的响应。

若尔盖地区是青藏高原地区最为典型的湿地生态景观区域,分析若尔盖湿地的植被变化有助于更好地理解若尔盖高原湿地的动态变化规律及其与气候和人为驱动因素的关系,这对于研究青藏高原地区的生态环境变化具有重要的意义。严晓瑜等<sup>[16]</sup>通过对 GIMMS NDVI 和 MODIS NDVI 数据在若尔盖湿地植被变化响应方式的差异性及其在该区植被监测变化研究中的适宜性的对比分析中指出,尽管 MODIS NDVI 对若尔盖植被较 GIMMS NDVI 敏感,但 2 种数据间不存在显著差异,因而在若尔盖湿地植被变化监测中都能发挥重要作用。然而,从现有研究来看,两种数据在该地区之间的定量转换关系尚不清楚。因此,本研究以若尔盖地区为例,拟对 GIMMS 和 MODIS 的 NDVI 指数进行交互比较,查明二者之间的转换关系,并在此基础上实现 NDVI 指数产品的空间尺度外推,进而分析若尔盖湿地地区近 30 年来的植被变化特征。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

若尔盖高原湿地(33°10′—34°06′N, 101°36′—103°25′E)地处青藏高原东部边缘,海拔高度为 3 300~3 600 m,素有“川西北高原的绿洲”之称,是我国 3 大湿地之一。其总面积约为 5.3 万 km<sup>2</sup>,行政区域包括四川省内的若尔盖县、红原县、松潘县、阿坝县,甘肃省内的玛曲、碌曲以及青海省内的久治县等。本文的研究区域是若尔盖湿地四川省内部分和甘肃省内部分,包括若尔盖县、阿坝县、红原县、玛曲县、碌曲县。

若尔盖地区属于大陆性季风气候,具有高原寒带湿润气候特征,冬长无夏,春秋季节较短,冬季寒冷干燥。据统计,该区域的年平均气温为 0.6~1.2℃,最高温度为 24.6℃,最低温度为-33.7℃,1 月最冷月

的多年平均气温为-10.6℃,7 月最热月的多年平均气温为 10.8℃。多年平均年降雨量约 656.8 mm,降雨多集中在 4 月下旬至 10 月中旬,占全年总降雨量的 86%左右。年日照时数约为 2 389 h,年平均蒸发量约为 1 232 mm,相对湿度约为 71%。由于若尔盖地区的气候寒冷湿润,蒸发较少,处于过湿状态,有利于沼泽的发育,所以该地区形成了我国最大的高原沼泽区。其土壤长期浸泡在水中,温度较低,潜育化程度较高,有机质氧化缓慢,有利于泥炭的形成,泥炭资源丰富。该区域的草地资源丰富,水源充沛,水草丰富,适合放牧,形成了我国 3 大草原牧区之一。

### 1.2 数据基础与处理

使用的 NDVI 数据包括 GIMMS NDVI 和 MODIS NDVI 两种。GIMMS (Global Inventory Modeling and Mapping Studies)数据为美国马里兰大学 GLCF (Global Land Cover Facility) 研究组生产的全球准半月 NOAA/AVHRR-NDVI 数据(<http://www.geo-data.cn>),数据空间分辨率为 8 km×8 km,覆盖时间段为 1981—2006 年。MODIS 数据为 NASA terra 卫星传感器提供的 NASA/EOS MOD13 Q1 级产品 MODIS NDVI 数据集(<http://www.gscloud.cn/>),数据时间分辨率为 16 d,空间分辨率为 250 m×250 m,时间覆盖范围从 2000 年至今。2 组数据产品均已经过辐射校正和几何校正,并采用最大值合成法处理,较好地消除了部分云、气溶胶、太阳高度角和地物双向性反射等干扰,保证了数据的质量。对 MODIS NDVI 产品首先采用 MODIS Reprojection Tools (MRT)工具进行数据格式和投影坐标转换,坐标系统与 GIMMS NDVI 数据一致。再对 2 组数据采用最大合成法,分别获取年 NDVI 最大值数据集。

### 1.3 研究方法

1.3.1 GIMMS NDVI 和 MODIS NDVI 的空间尺度转换 为实现遥感数据的时间尺度外推,解决的关键问题是实现 2 组不同空间分辨率年最大 NDVI 数据集的空间尺度转换,具体方法如下:(1)以 0.5 km 为步长,依次设定像元大小为 1, 1.5, …, 6.5, 7 km, 分别采用最邻近插值、双线性插值和三次卷积法,对 2001—2006 年(2 组数据的重合时段)MODIS NDVI 数据进行重采样处理;(2)设定相同的像元大小序列,采用同样的方法得到 2001—2006 年 GIMMS NDVI 数据的重采样图像;(3)考虑到不同植被类型对传感器的响应不同,根据 1:100 万中国植被类型图将研究区植被类型划分为草甸、林地、灌丛、草原和高山植被 5 大类,分别对不同植被类型采用线性回归方法建立对应空间尺度 2 种重采样数据的拟合方程;

(4) 根据 2 组对应空间尺度数据集相关系数的大小和重采样数据的信息缺失分析结果,确定最优的空间转换尺度和数据重采样方法,利用建立的拟合方程对 GIMMS 重采样数据进行转换,计算对应 MODIS 重采样数据与拟合数据的误差,对拟合方法进行检验;

(5) 在确定的空间尺度下,根据建立的拟合方程利用 GIMMS 数据对 MODIS 数据进行时间尺度外推,建立 1982—2013 年若尔盖地区年最大 NDVI 数据集。

1.3.2 若尔盖地区植被变化的时空特征分析 计算 32 年来研究区 NDVI 的年平均值,制作区域 NDVI 均值的年际变化曲线图,分析研究区植被变化的年际特征。为消除偶然因素的影响,首先逐像元对年最大 NDVI 数据进行 3 年滑动平均处理。为进一步评估研究区植被变化的稳定性特征,逐像元计算 32 年 NDVI 年均值的变异系数,分析植被在时间序列上的稳定性及空间差异性。变异系数的计算公式如下:

$$CV = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (NDVI_i - \overline{NDVI})^2 / n}}{\overline{NDVI}} \quad (1)$$

式中: CV——变异系数;  $n$ ——时间序列年数;  $NDVI_i$ ——第  $i$  年的年最大 NDVI 值;  $\overline{NDVI}$ —— $n$  年植被年最大 NDVI 值的平均值。其中, CV 值越小,表明数据分布越集中, NDVI 年际变化越小; CV 值越大,表明数据分布越离散,空间变异性越大, NDVI 年际变化越大。

## 2 结果与分析

### 2.1 MODIS NDVI 和 GIMMS NDVI 数据的转换方法

2.1.1 MODIS NDVI 和 GIMMS NDVI 数据的相关性分析 考虑到不同传感器获得的相同地表参数

通常为一元线性关系<sup>[14,17]</sup>,采用一元线性回归分析方法分别计算 2 种数据在 13 个空间分辨率下 117 种不同重采样数据组合(每个像元尺度下 9 种组合)的相关系数。

表 1 为像元大小为 2.5 km 时以植被类型统计的不同重采样数据组合的相关系数,由表 1 可以看出:(1) 对不同的植被类型而言,草甸和灌丛的拟合结果在所有的组合中都显著相关,且通过  $p < 0.001$  的置信水平检验,相关系数的大小受重采样方法的影响;高山植被的相关系数也能通过显著性检验,置信水平大致随空间分辨率的降低而降低;林地的相关系数总体比前 3 种植被类型偏低,除了 2.5 km 分辨率下置信水平较高外,其余置信水平都没有通过显著性检验;草原的相关系数显著性检验合格的组合较少,数据的相关性较明显地受 MODIS 重采样方法的影响,空间尺度变化对其影响不明显;(2) 对不同的空间分辨率而言,像元大小为 2.5 km 时各组数据的相关性明显优于其他。另外,重采样方法组合不同,各种植被类型 2 组数据的相关系数大小有一定的差异。草原有 3 种重采样组合方法不能通过相关性检验,其余 6 种能通过  $p < 0.1$  置信水平检验。其他类型的 2 组数据的相关性都能通过显著性检验;(3) 对不同的重采样方法而言,2 组数据相关性的大小明显受像元大小和植被类型的影响。在 2.5 km 像元大小下,使所有植被类型的 2 组数据都能通过相关系数显著性检验的重采样方法组合包括:当 GIMMS NDVI 采用三次卷积法时,MODIS NDVI 采用任一方法;当 GIMMS NDVI 采用最邻近插值法,MODIS NDVI 采用三次卷积或双线性插值;当 GIMMS NDVI 采用双线性插值时,MODIS NDVI 采用三次卷积方法。

表 1 2.5 km 像元尺度下不同重采样方法组合的 2 种数据的相关系数

GIMMS 重采样方法	MODIS 重采样方法	草甸	灌丛	林地	草原	高山植被
三次卷积	三次卷积	0.4512***	0.3711***	0.1688***	0.1533*	0.4944**
三次卷积	最邻近插值	0.4375***	0.3722***	0.1764***	0.1439*	0.4743**
三次卷积	双线性插值	0.4620***	0.3856***	0.1786***	0.1517*	0.5001***
最邻近插值	三次卷积	0.4135***	0.3292***	0.1652***	0.1597*	0.4566**
最邻近插值	最邻近插值	0.4010***	0.3253***	0.1879***	0.1200	0.4301**
最邻近插值	双线性插值	0.4234***	0.3425***	0.1786***	0.1797*	0.4601**
双线性插值	三次卷积	0.4427***	0.3578***	0.1349**	0.1483*	0.4837**
双线性插值	最邻近插值	0.4298***	0.3590***	0.1449**	0.1378	0.4599**
双线性插值	双线性插值	0.4530***	0.3719***	0.1439**	0.1456	0.4884**

注:\*\*\*表示在 0.001 置信水平上显著,\*\*表示在 0.01 置信水平上显著,\*表示在 0.1 置信水平上显著,下表同。

2.1.2 不同重采样处理对 2 组数据集的信息量影响 分别计算 MODIS NDVI 和 GIMMS NDVI 数据在不同分辨率下 3 种重采样处理后的标准差和灰度值范围。标准差反映了影像灰度相对于灰度平均值

的离散情况,标准差越大,说明影像灰度级分布分散,所包含的信息量越大。图像灰度值范围为最大 DN 值与最小 DN 值的差,反映图像灰度值的变化程度, DN 范围越大,说明数据的离散度越大,所包含的信

息量越大。图 1 揭示了不同空间分辨率及重采样方法对原始图像信息量的影响:(1) 对 MODIS NDVI 数据而言,3 种重采样方法处理后标准差大小排序为最邻近插值>三次卷积>双线性内插,各方法标准差的大小随分辨率的变化规律相似,像元大小为 4.5 km 时图像标准差最大,小于 4.5 km 时同一重采样方法处理下的标准差大小差异不明显,超过 4.5 km 后标准差基本随尺度降低而减小。图像 DN 值范围在分辨率较高时以三次卷积处理较大,当像元大小超过 3 km 后以最邻近插值较大,双线性内插处理始终最小,3 种方法处理下 DN 值范围基本随尺度降低而

减小;(2) 对 GIMMS NDVI 数据而言,图像标准差的大小仍然以最邻近插值>三次卷积>双线性内插,分辨率为 7 km 时 3 种方法下的标准差均最大,分辨率<4 km 时标准差基本随尺度降低而逐渐减小,分辨率<4 km 时尺度大小对标准差的影响不明显。图像 DN 值范围与不同处理方法以及尺度大小的关系基本与标准差的结果一致。以上结果说明,就重采样方法而言,双线性内插方法对 2 组数据的信息量的损失都较大;就空间尺度而言,尺度降低越多 MODIS NDVI 数据信息量损失越大,尺度增大则对 GIMMS NDVI 数据的信息量影响不明显。

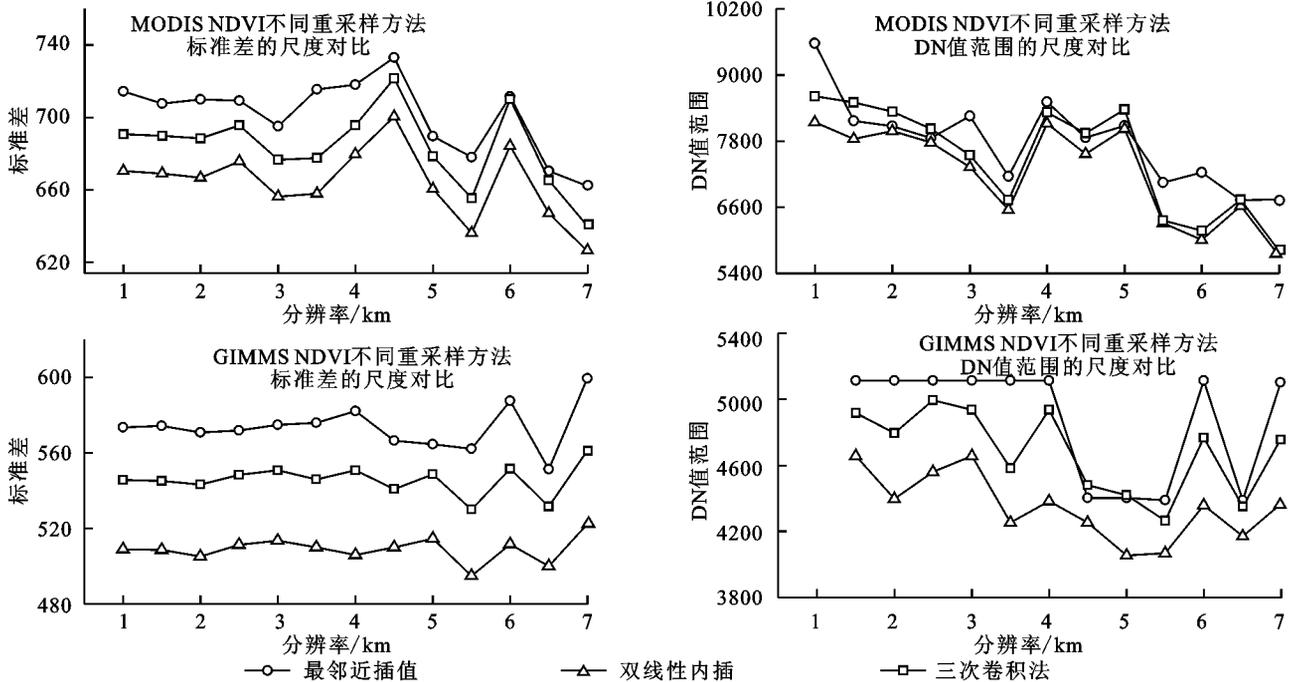


图 1 不同空间尺度下 MODIS 和 GIMMS 数据不同重采样处理的标准差和灰度范围

2.1.3 GIMMS NDVI 和 MODIS NDVI 数据的转换模型 综合以上分析,得出 2 组数据集拟合的最佳方案为:空间分辨率为 2.5 km,GIMMS NDVI 数据采用最邻近插值法,MODIS NDVI 数据采用三次卷积插值法,原因有以下 3 点:(1) 在该方案下,5 种植被类型的数据相关系数均能通过显著性检验;(2) 最邻近插值法和三次卷积插值法对 MODIS NDVI 图像信息量的影响较小,最邻近插值法对 GIMMS 图像信息量的影响最小;(3) 对 MODIS NDVI 数据而言,采用三次卷积插值法将空间分辨率从 0.25 km 降低到 2.5 km,图像标准差和灰度范围减小都不大,且空间分布格局的变化相对较小,能基本保持地物 NDVI 值的变化特征。而采用最邻近插值法将 GIMMS NDVI 数据的空间分辨率从 8 km 增大到 2.5 km,对图像标准差和灰度范围的影响都不大。考虑到 MODIS NDVI 对若尔盖植被较 GIMMS NDVI 敏感<sup>[16]</sup>,所以选择由 GIMMS

NDVI 向 MODIS NDVI 进行尺度转化的方式,得到若尔盖地区不同植被类型 GIMMS NDVI 和 MODIS NDVI 数据的转化模型,如表 2 所示。结合研究区植被类型分布图可知,2 组数据的相关关系与植被类型的斑块格局有关,面积较大且分布较集中的情况下,2 组数据的相关性更好。

2.1.4 MODIS NDVI 和 GIMMS NDVI 数据转换的误差分析 为验证 GIMMS NDVI 拟合 MODIS NDVI 数据的精度,采用表 2 的回归方程利用 GIMMS 最邻近插值后的数据拟合 MODIS NDVI 数据,逐像元分别统计 2001—2006 年共 6 期 2.5 km 像元尺度拟合数据与 MODIS NDVI 三次卷积法重采样数据的差值。拟合数据与原始数据的差值统计结果显示,每期数据的差值分布都符合正态分布特征,且差值分布曲线图比较接近。以数据差值为横坐标,以像元个数为纵坐标,绘制 2006 年拟合数据与原始

数据差值的正态分布图(图 2A),可以看出,差值大致符合正态分布,说明数据拟合是合理的。进一步以绝对值 0.05 为步长,统计误差的概率分布特征(图 2B),可以发现:绝对误差在  $\pm 0.05$  以内的像元比例为 67.01%,在  $\pm 0.10$  以内的像元比例达 91.96%。以上一致性检验结果表明,通过该方法利用 GIMMS NDVI 数据拟合的 NDVI 数据可以用于 MODIS NDVI 数据的时间尺度外推。

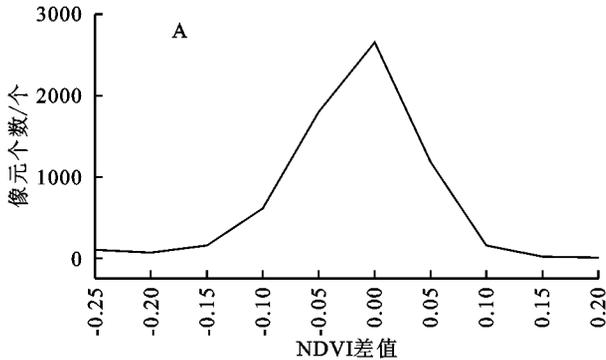


表 2 不同植被类型 MODIS NDVI 与 GIMMS NDVI 数据的回归方程

植被类型	回归方程	相关系数 R	F 值
草甸	$y=0.5379x+3901$	0.4135	1067.78**
灌丛	$y=0.3235x+5684.2$	0.3292	159.39**
林地	$y=0.223x+6500.9$	0.1652	12.58**
草原	$y=0.2421x+6257.8$	0.1597	3.22*
高山植被	$y=0.9202x-352.27$	0.4566	9.75**

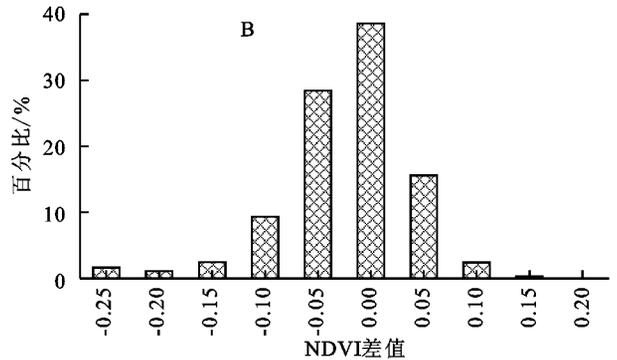


图 2 GIMMS 拟合数据与 MODIS 数据的像元一致性检验

## 2.2 若尔盖地区近 30 年的植被变化特征分析

2.2.1 若尔盖湿地植被指数的时间变化分析 从 3 年滑动平均处理后的近 30 年若尔盖地区年最大 NDVI 均值的年际变化曲线(图 3)可以看出,1983—2012 年若尔盖地区植被指数的变化具有以下特点:(1) 研究末期的 NDVI 值略高于研究初期阶段,说明近年来该区域植被生长状况总体上好于 20 世纪 80 年代;(2) NDVI 指数的变化明显分为 2 个阶段,1983—1998 年 NDVI 均值大致呈减小的趋势,1999 年以后 NDVI 均值大致呈增加的变化趋势,反映出第 1 个阶段研究区生态环境不断退化,第 2 阶段生态环境得到了较好的恢复;(3) 2 个阶段的植被变化过程中,第 1 阶段的植被退化过程较稳定,线性拟合曲线的  $R^2$  值较大,第 2 阶段的植被恢复过程则变化较复杂,线性拟合曲线的  $R^2$  值较小;(4) 在第 1 阶段的 1987—1989 年研究区生态退化得到了短暂的恢复,而在第 2 阶段中则经历了 2001—2003 年和 2006—2008 年 2 次明显的生态退化过程。

2.2.2 若尔盖地区植被变化的空间分析 逐像元计算 1982—2013 年的年最大 NDVI 值的变异系数,如图 4A 所示,若尔盖地区在近 32 年间植被指数的空间变异系数整体相对较小。统计结果显示,变异系数小于 0.1 的像元数约占总数的 97.02%,其中,像元的 CV 值为  $0.02 \leq CV < 0.04$ ,  $0.02 \leq CV < 0.04$  的分别占总数的 60.99% 和 27.09%。CV 值在 0.3 以上的仅占总数的 0.30%,其中,变异系数超过 0.1 的区域主要分布在 3 处:玛曲县的西梅朵合塘草原、若尔盖县中部和阿坝县的阿曲河周边地区。

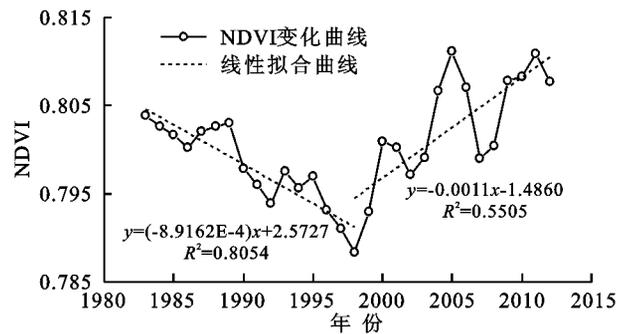


图 3 1983—2012 年若尔盖地区 NDVI 均值的年际变化

考虑到植被指数以 1998 年为节点呈现出不同的变化趋势,分别统计 1982—1998 年、1999—2013 年 2 个时段研究区各年份年最大 NDVI 的均值,并计算 2 个时段 NDVI 的差值(后 1 阶段减去前 1 阶段)。如图 4B 所示,1998 年以后,若尔盖地区植被指数以小幅度增大( $0 \leq \text{NDVI 差值} < 0.1$ )为主,其次为小幅度减小( $-0.1 \leq \text{NDVI 差值} < 0$ ),分别占整个研究区像元总数的 65.97% 和 30.20%。植被指数增大较多( $\text{NDVI 差值} \geq 0.1$ )的像元数所占比例不及 1%,在研究区内零星分布。植被指数减小较多( $\text{NDVI 差值} < -0.2$ )的像元数也较少,其分布范围与年最大 NDVI 值的变异系数较大( $CV > 0.1$ )的像元分布比较一致,这说明前后 2 个阶段区域植被变化方向的差异主要决定于这些地区的植被退化。

综合以上两方面的分析可知,1982—2013 年若尔盖地区植被变化的主要特征是部分地区的植被生长状况向良好的方向发展,但整个区域的植被退化并未得到有效控制,尤其是局部地区的植被退化日趋严

重。植被指数增加的区域多以灌丛、高寒沼泽等盖度较高的植被覆盖类型为主,始于上个世纪末的“若尔盖湿地国家级自然保护区”的建立以及随后的一系列退耕还林还草、生态治理工程项目的相继开展与实施可能是其生态环境向良好方向发展的主要原因。植被指数减少的部分多以高寒草甸、杂类草甸和高山稀疏植被为主,草原畜牧业平稳发展、近年来旅游业的快速发展以及区域气候的暖干化可能是造成这些区域植被退化的主要原因。

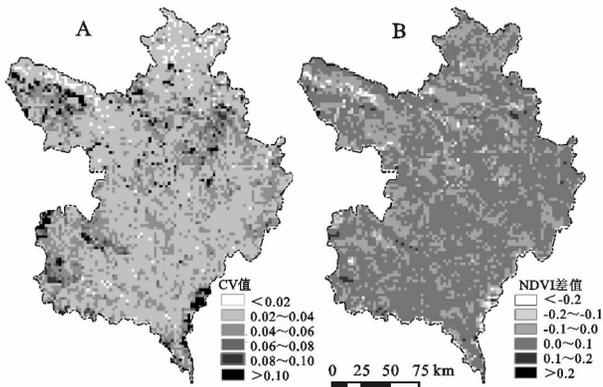


图 4 NDVI 变异系数和 1998 年前后 NDVI 的差值分布

### 3 结论与讨论

(1) 分别采用最邻近插值、双线性插值和三次卷积法,基于 GIMMS 和 MODIS 重合时段的 NDVI 产品数据,获得了不同空间尺度的数据集。尽管由于未考虑研究要素空间相似性的空间变异,采用重采样方法进行尺度转换的效果不如其他方法,但因其计算方法简单、快捷,且被主流 GIS 软件支持<sup>[18]</sup>,因而遥感影像空间分辨率重采样仍然是像元光谱内多尺度转换的常用方法<sup>[19]</sup>。研究区处理后图像的标准差和灰度值范围分析表明,在相同空间尺度下,重采样方法对 GIMMS 和 MODIS 数据的影响相似;在考虑空间尺度差异时,重采样方法对 MODIS 数据的影响与尺度有关,而 GIMMS 数据则与尺度关系不大。双线性内插处理造成的 2 组数据的信息损失都较大;MODIS 数据在尺度降低较多时以最邻近插值处理影响相对较小,尺度降低较少时以三次卷积处理影响较小,尺度降低越多信息量损失越大;最邻近插值对 GIMMS 数据的信息损失在所有空间尺度下都最小,空间尺度增大对信息量变化的影响不明显,尤其在空间分辨率增大较多的情况下。这与张周威等<sup>[20]</sup>通过对 HJ-1A/B, QuickBird-2 卫星数据和机载 AVIRIS 高光谱数据进行重采样后比较得出的结论一致,重采样后影像空间分辨率降低使重采样后影像的方差减小,而重采样后空间分辨率提高对影像的信息量影响非常小。

(2) 利用 GIMMS NDVI 和 MODIS NDVI 空间数

据的统计关系建立了若尔盖地区两种数据的定量转换关系<sup>[21-22]</sup>。由于 2 种数据都是表征植被生长状况的指数,只是传感器类型不同,因而两者为一元线性关系<sup>[17]</sup>。研究表明,若尔盖地区 GIMMS NDVI 和 MODIS NDVI 数据的定量转换关系不仅与空间尺度有关,还与植被类型的空间分布有关,面积较大而分布相对连片的植被类型 2 组数据的相关性更好。这与胡云锋等<sup>[23]</sup>在内蒙古地区开展的土地利用数据空间尺度上推的研究结论一致,土地斑块的平均面积、形态以及空间分布格局对空间尺度上推成果精度有着重要的影响。植被类型为草甸、灌丛、高山植被时,2 组数据都显著相关,相关系数的大小受重采样方法的影响甚于空间尺度;植被类型为草原时,2 组数据的相关关系不稳定,与 MODIS 数据重采样方法有一定关系;林地的图斑数较少,且分布比较零散,2 组数据仅在空间分辨率为 2.5 km 时通过相关性显著检验。最后,在尺度转换误差分析和相关系数比较的基础上,确定基于植被类型的 GIMMS NDVI 和 MODIS NDVI 的转换方法,误差分析的结果表明该方法可用于 MODIS NDVI 数据的时间尺度外推。

(3) 利用 GIMMS 数据根据拟合方程延长了 MODIS 数据的时间序列,NDVI 的时间变化和空间差异分析结果表明,近 30 年若尔盖地区以 1998 年为节点植被先退化后逐渐恢复。尽管近年来植被指数平均水平高于 20 世纪 80 年代初,但局部地区的植被退化日趋严重,使得整个区域的生态退化并未得到有效遏制。王文丽等<sup>[24]</sup>利用 MSS, TM 和 ETM 数据对若尔盖高原 1975—2005 年 30 年间沙地的监测结果也发现,1990—2000 年该地区沙地面积增长迅猛。邓茂林等<sup>[25]</sup>基于 TM 图像解译的若尔盖地区景观格局变化和驱动力的研究也指出,若尔盖国家级自然保护区建立前景观退化,保护区的建立对生态环境保护起到了一定的积极作用,但湿地退化的趋势仍然没有得到遏制。但由于 TM 数据成像时间和周期的限制,以上研究得出的结论均以 2000 年为时间节点。这也说明本研究采用时间分辨率更高的遥感影像有助于更准确地分析植被变化过程,长时间系列数据的获得也有助于将其作为常规的监测手段为全球变化的研究提供基础<sup>[4]</sup>。

#### 参考文献:

- [1] Villa P, Mousivand A, Bresciani M. Aquatic vegetation indices assessment through radiative transfer modeling and linear mixture simulation[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2014, 30(9): 113-127.
- [2] Shamal S A M, Weatherhead K. Assessing spectral similarities between rainfed and irrigated croplands in a humid envi-

- ronment for irrigated land mapping[J]. *Outlook on Agriculture*, 2014, 43(2): 109-114.
- [3] 马明国, 王建, 王雪梅. 基于遥感的植被年际变化及其与气候关系研究进展[J]. *遥感学报*, 2006, 10(3): 421-431.
- [4] 马明国, 宋怡, 王旭峰, 等. AVHRR, VEGETATION 和 MODIS 时间系列遥感数据产品现状与应用研究进展[J]. *遥感技术与应用*, 2012, 27(5): 663-670.
- [5] 刘睿, 孙九林, 张金区, 等. 中国北方草地覆被的 HJ 星 NDVI 校正研究[J]. *草业学报*, 2011, 20(1): 189-198.
- [6] 祁建春, 李洪建, 李莘莘, 等. HJ-1-CCD 与 MODIS 数据的 NDVI 比较分析[J]. *遥感信息*, 2013, 28(3): 44-49.
- [7] 徐涵秋, 张铁军. ASTER 与 Landsat ETM+ 植被指数的交互比较[J]. *光谱学与光谱分析*, 2011, 31(7): 1902-1907.
- [8] 李丽, 顾行发, 叶泽田, 等. 不同卫星载荷探测 NDVI 性能差异分析及变换参数确定[J]. *中国科学: 地球科学*, 2012, 42(2): 238-245.
- [9] Steven M D, Malthus T J, Xu H, et al. Intercalibration of vegetation indices from different sensor systems[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2003, 88(4): 412-422.
- [10] 刘良明, 梁益同, 马慧云, 等. MODIS 和 AVHRR 植被指数关系的研究[J]. *武汉大学学报: 信息科学版*, 2004, 29(4): 307-310.
- [11] Van Leeuwen W J D, Orr B J, Marsh S E, et al. Multi-sensor NDVI data continuity: Uncertainties and implications for vegetation monitoring applications[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2006, 100(1): 67-81.
- [12] 陈拉, 黄敬峰, 王秀珍. 不同传感器的模拟植被指数对水稻叶面积指数的估测精度和敏感性分析[J]. *遥感学报*, 2008, 12(1): 143-151.
- [13] Kevin G, Lei J, Brad R, et al. Multi-platform comparisons of MODIS and AVHRR normalized difference vegetation index data[J]. *Remote Sensing of Environ-*
- ment, 2005, 99(3): 221-231.
- [14] 张宏斌, 杨桂霞, 李刚, 等. 基于 MODIS NDVI 和 NOAA NDVI 数据的空间尺度转换方法研究: 以内蒙古草原区为例[J]. *草业科学*, 2009, 26(10): 39-45.
- [15] 张戈丽, 徐兴良, 周才平, 等. 近 30 年来呼伦贝尔地区草地植被变化对气候变化的响应[J]. *地理学报*, 2011, 66(1): 47-58.
- [16] 严晓瑜, 董文杰, 何勇. 不同传感器数据在若尔盖湿地植被变化监测应用中的适宜性分析[J]. *遥感技术与应用*, 2008, 23(3): 300-304.
- [17] 韩信兴, 王宗明, 毛德华, 等. 1982—2010 年松花江流域植被动态变化及其与气候因子的相关分析[J]. *中国农业气象*, 2011, 32(3): 430-436.
- [18] 胡云锋, 徐芝英, 刘越, 等. 地理空间数据的尺度转换[J]. *地球科学进展*, 2013, 28(3): 297-304.
- [19] 孙小芳. 植被光谱及其尺度转换研究进展[J]. *遥感信息*, 2014, 29(1): 108-114.
- [20] 张周威, 余涛, 孟庆岩, 等. 空间重采样方法对遥感影像信息影响研究[J]. *华中师范大学学报: 自然科学版*, 2013, 47(3): 426-430.
- [21] 周冕, 张杰林. 遥感影像尺度转换及最优尺度选择探讨[J]. *世界核地质科学*, 2011, 28(2): 94-98.
- [22] 栾海军, 田庆久, 余涛, 等. 基于分形理论的 NDVI 连续空间尺度转换模型研究[J]. *光谱学与光谱分析*, 2013, 33(7): 1857-1862.
- [23] 胡云锋, 徐芝英, 刘越, 等. 空间尺度上推方法的精度评价: 以内蒙古锡林郭勒盟土地利用数据为例[J]. *地理研究*, 2012, 31(11): 1961-1972.
- [24] 王文丽, 董治宝, 胡光印, 等. 若尔盖高原近 30 年沙地变化趋势分析[J]. *中国沙漠*, 2008, 28(4): 617-621.
- [25] 邓茂林, 田昆, 杨永兴, 等. 高原湿地若尔盖国家级自然保护区景观变化及其驱动力[J]. *生态与农村环境学报*, 2010, 26(1): 58-62.

~~~~~

(上接第 296 页)

- [33] 余进德, 胡小文, 王彦荣, 等. 霸王果翅及其浸提液对种子萌发的影响[J]. *西北植物学报*, 2009, 29(1): 143-147.
- [34] 马闯, 张文辉, 刘新成. 等渗的盐分和水分胁迫对杠柳种子萌发的影响[J]. *植物研究*, 2008, 28(4): 465-470.
- [35] 郑丽, 冯玉龙. 紫茎泽兰叶片化感作用对 10 种草本植物种子萌发和幼苗生长的影响[J]. *生态学报*, 2005, 25(10): 2782-2787.
- [36] 魏岩, 王习勇. 果翅对梭梭属(*Haloxylon*) 种子萌发行为的调控[J]. *生态学报*, 2006, 26(12): 4014-4018.
- [37] 黄振英. 光照, 温度和盐分对梭梭种子萌发的影响[J]. *植物生理学报*, 2001, 27(3): 275-280.
- [38] 张国斌, 郁继华, 冯致, 等. NO 和 ABA 对辣椒幼苗自毒作用缓解的生理生化机制[J]. *园艺学报*, 2013, 40(3): 458-466.
- [39] 张国斌, 郁继华, 冯致, 等. NO 和 ABA 对自毒作用下辣椒幼苗光合作用的影响[J]. *中国农业科学*, 2013, 46(10): 2076-2084.
- [40] Sinkkonen A. Density-Dependent Chemical Interference—An Extension of the Biological Response Model[J]. *Journal of Chemical Ecology*, 2001, 27(7): 1513-1523.
- [41] An M, Pratley J E, Haig T. Phytotoxicity of vulpia residues: III. Biological activity of identified allelochemicals from *Vulpia myuros*[J]. *Journal of Chemical Ecology*, 2001, 27(2): 383-394.