

基于长时间序列 NDVI 的陕西省耕地 复种指数遥感监测分析

周 辉¹, 王卫东¹, 李星敏², 王 钊¹, 权文婷¹

(1. 陕西省农业遥感信息中心, 陕西 西安 710014; 2. 陕西气象科学研究所, 陕西 西安 710014)

摘要: 复种指数反映了耕地的利用强度, 利用遥感方法提取耕地复种指数可为农业产业结构调整 and 粮食安全保障提供科学依据。采用 SPOT/VGT NDVI 时序数据(2001—2007 年)和 MOD13Q1 NDVI 时序数据(2001—2011 年)作为遥感数据源, 利用 HANTS 滤波和 SG 滤波方法分别对两种数据源进行数据重构, 进而提取出陕西省 10 个地(市)的耕地复种指数; 根据提取结果, 分析各地市复种指数的变化规律, 进而对比两种方法在耕地复种指数提取过程中的效果。结果表明: 两种方法均能较好地反映复种指数的变化趋势; SG 滤波后提取结果普遍高于 HANTS 滤波后提取结果; 2001—2011 年, 延安市和榆林市复种指数增长较快, 西安市复种指数出现负增长; 2007 年之后, 铜川、宝鸡、咸阳、渭南复种指数开始出现负增长。

关键词: 复种指数; 归一化植被指数(NDVI); HANTS 滤波; SG 滤波; 遥感监测; 陕西省

中图分类号: S127; F323.211 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2014)03-0189-07

Remote sensing monitoring analysis for the multiple cropping index of the cultivated land in Shaanxi Province based on the long time-series NDVI

ZHOU Hui¹, WANG Wei-dong¹, LI Xing-min², WANG Zhao¹, QUAN Wen-ting¹

(1. Agricultural Remote Sensing Information Center of Shaanxi Province, Xi'an, Shaanxi 710014, China;

2. Shaanxi Meteorological Science Research Institute, Xi'an, Shaanxi 710014, China)

Abstract: The multiple cropping index reflects the degree of arable land utilizing intensity at a certain period. Extracting multiple cropping index by remote sensing method could provide scientific basis for agricultural industrial structure adjustment and food security. We adopted the SPOT/VGT NDVI time-series data (2001—2007) and MOD13Q1 NDVI time-series data (2001—2011) for the remote sensing data sources, reconstructed the data for these two data sources by using the HANTS filter and Savitzky-Golay filter method, and then extracted the multiple cropping indexes of 10 cities in Shaanxi Province. According to the extracted results, analyzed the variation rule of the multiple cropping index in each city, and then compared the effects of two methods for extracting the multiple cropping indexes. The result showed that: Both methods can be better reflected the change trend of the multiple cropping index. The extraction result of Savitzky-Golay filter was generally higher than the HANTS filter. The multiple cropping index was increased obvious quick in Yulin city and Yan'an city from 2001 to 2011, while the figures in Xi'an city has been shown a negative increase. After 2007, the multiple cropping indexes were begun to appear the negative increase in Tongchuan, Baoji, Xi'an and Weinan.

Keywords: multiple cropping index; normalized difference vegetation index; HANTS filter; Savitzky-Golay filter; remote sensing; Shaanxi Province

复种指数能有效地反映耕地利用情况, 但其来源长期依赖于统计数据, 而统计数据受到统计方法影响较大, 因此需要探索独立于统计数据的获取方

法, 而利用时间序列 NDVI 数据提取复种指数的遥感新方法客观高效, 可有效规避传统数据获取的主观因素。

收稿日期: 2013-12-07

基金项目: 陕西省农业科技创新项目(2012NKC01-19); 陕西省 13115 重大科技专项(2009ZDKG-08)

作者简介: 周 辉(1979—), 男, 山东金乡人, 工程师, 主要从事卫星遥感与 GIS 应用。E-mail: hytux@163.com。

目前,利用遥感方法提取复种指数的研究在国内外已广泛开展。如闫慧敏等^[1]应用 NOAA/AVHRR NDVI 数据对近 20 年来我国耕地复种指数的时空变化特征进行了分析研究。彭代亮等^[2]利用 MODIS NDVI 数据对浙江省连续 4 a(2001—2004)耕地复种指数进行监测。闫慧敏等^[3]应用 MODIS EVI 数据研究了鄱阳湖农业多熟种植制度时空分布。张霞等^[4]利用 MODIS EVI 时间序列数据提取出作物种植模式并取得较好的一致性。吴岩等^[5]利用 MODIS NDVI 提取了中国部分省区的复种指数,并证明利用遥感监测耕地复种指数的可行性。范锦龙等^[6-7]利用 4 a 的 SPOT/VGT 旬合成 NDVI 时间序列数据对复种指数遥感监测方法进行了研究。朱孝林等^[8]也以 SPOT/VGT 多时相 NDVI 数据为基础,提取了 1999—2004 年中国北方 17 省市农用的复种指数。李晶等^[9]利用 SPOT NDVI 时序数据对陕西省耕地复种指数进行了提取。唐鹏钦等^[10]利用 SPOT NDVI 时序数据运用小波变化对华北平原复种指数进行了提取。杨忍等^[11]利用 SPOT NDVI 时序数据,对环渤海地区 2000、2004、2008 年耕地复种指数进行遥感反演。徐昔保等^[12]利用 NOAA AVHRR 旬 NDVI 数据和 MODIS NDVI 数据,使用 HANTS 方法重建了农作物 NDVI 生长曲线,反演了太湖流域耕地复种指数时空变化过程。梁守真等^[13]利用 MODIS NDVI 数据进行了环渤海地区耕地复种指数监测。蒙继华等^[14]在“中国农情遥感速报系统”的基础上集成开发了省级农情遥感监测系统,包括了复种指数的遥感监测。

本文利用两种滤波方法(SG 滤波和 HANTS 滤波)分别对两种长时间序列 NDVI 数据资料进行数据重构,得到四种复种指数结果,利用遥感方法直观反映出陕西省耕地利用程度,通过对比不同数据源生成的复种指数分布结果,得出陕西省复种指数分布与变化规律,这种利用不同数据源对比分析从而提取耕地复种指数的方法,相对传统手段获取耕地复种指数,是一种积极的探索。

1 研究区概况和研究方法

1.1 研究区概况

陕西省位于中国西北地区东部的黄河中游,地处东经 105°29' ~ 111°15' 和北纬 31°42' ~ 39°35' 之间,属大陆季风性气候,南北延伸达 800 km 以上,所跨纬度多,南北气候差异明显。在全国熟制分区中,陕西省跨一熟制区和二熟制区,分界线位于延安以南的丘陵沟壑区^[7]。本文为了便于后期数据统计,结

合陕西省物候特点和行政区划,对其进行了改进,将一熟制和二熟制分界线略微北移至行政边界线,将榆林、延安两市划为一熟制区,陕西省其余 8 个地市划为二熟制区。

1.2 数据来源以及预处理流程

本文中用到的 NDVI 时序数据采用美国 NASA 提供的 2000—2011 年 16 d 合成的 MODIS 植被指数产品 MOD13Q1,空间分辨率 250 m。针对其中的归一化植被指数(NDVI)数据集,利用 MRT(MODIS RE-PROJECTION TOOL)对其进行重投影、拼接、批处理裁剪、波段运算、波段合成等,得出陕西省 11 a 共 253 个数据样本。

同时,本文还采用了中国地区 SPOT-Vegetation 植被指数数据集,时间跨度为 2001—2007 年,共 252 个数据样本,空间分辨率为 1 km,时间分辨率为 10 d。此数据集已做过大气校正,辐射校正,几何校正,最后生成 10 d 最大化合成的 NDVI 数据,并将 -1 到 -0.1 的值设置为 -0.1,此数据集利用公式 $DN = (NDVI + 0.1) / 0.004$ 将 NDVI 转换到 0 ~ 250 的 DN 值,本文需要将 DN 值反向转换为 NDVI 后进行批处理裁剪、波段运算、波段合成等。

本文用到的其它数据还包括:中科院寒区旱区研究所的 WESTDC 土地利用数据,分辨率为 1 km;陕西省生态环境系统参数观测样地分布数据;陕西省省界、市界等矢量数据。

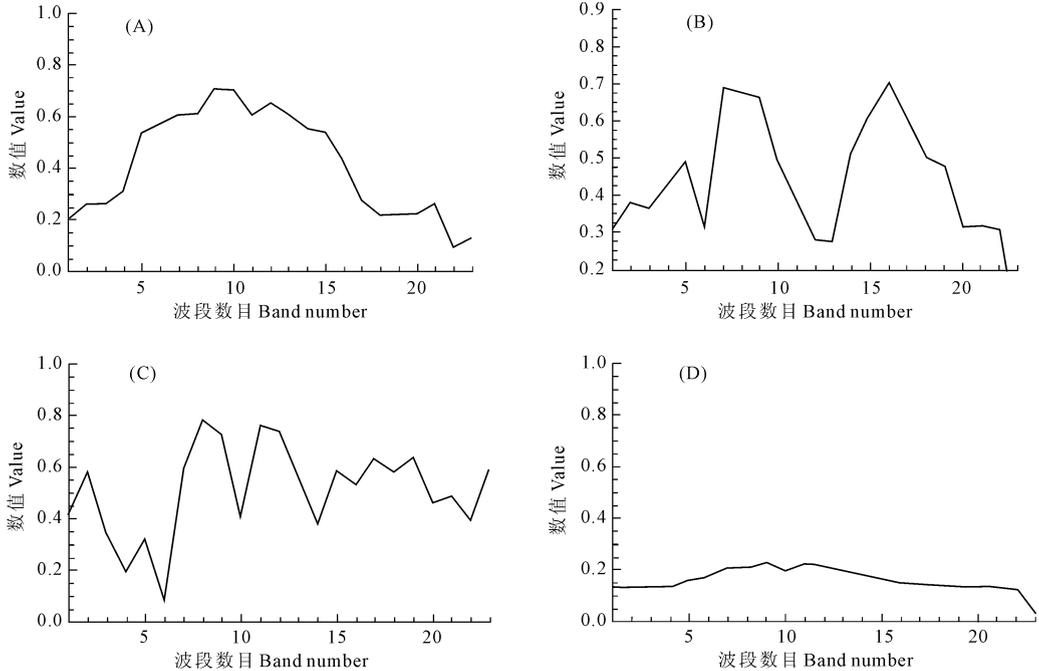
1.3 研究方法

本文利用 SG(Savitzky-Golay)滤波和时间序列谐波分析法 HANTS(Harmonic Analysis of Time Series)滤波方法分别对 MODIS NDVI 和 SPOT/VGT 两种 NDVI 时序数据进行重构,得到 4 组陕西省复种指数分布结果,将 4 组结果进行对比分析,得出陕西省近 10 年来复种指数变化规律。

1.3.1 时间序列 NDVI 数据特征 根据时间序列 NDVI 曲线的周期性捕捉到的耕地农作物动态信息能够很好地揭示耕地的复种情况。如图 1 所示,NDVI 时间序列单峰曲线反映的是一年一季作物的特征,双峰曲线反映的是一年两季作物的特征,三峰曲线反映的是一年三季作物的特征,而无峰曲线反映的是耕地中的休耕、撂荒地或者非耕地中的裸地、城市用地的特征。从一年内同一地块作物种植的次级考虑,复种指数就等于时间序列 NDVI 峰值的频数。图 1 所示的锯齿状曲线不适合直接提取峰值的频数。首先应对原始 NDVI 数据进行数据重构,处理成平滑曲线,以避免锯齿状的小“峰”和由于数据质量问题形成的伪“峰”,将真正的“峰”自动提取出

来。因此,时间序列 NDVI 数据重构与峰值频数提

取是复种指数提取的关键^[7]。



注:A为单峰曲线,B为双峰曲线,C为三峰曲线,D为无峰曲线

Notes: A, single peak curve; B, double peak curve; C, triple peak curve; D, no-peak curve

图 1 耕地农作物 NDVI 动态变化曲线

Fig. 1 The NDVI dynamic change curve for cultivated land crops

1.3.2 时间序列谐波分析法(HANTS) 时间序列谐波分析法是把一个复杂函数看成是由许多简单函数叠加而成,最简单和常用的周期函数就是三角函数中的正弦、余弦函数。由离散数据构成的时间序列 NDVI 可以用三角函数来表达,公式(1)表示由 N 个等间距数据点构成的时间序列 y 。

$$y_i = a_0 + \sum_{j=1}^{N/2} a_j \cos(\omega_j t - \varphi_j) \quad (1)$$

$(i = 1, \dots, N; j = 0, \dots, N/2)$

式中, y_i 为时间系列图像中第 i 时间图像像元点的值; a_0 为频率数是 0 时的振幅值,即图像像元的平均值; t 等于 i ; a_j 为频率数是 j 时的振幅值; ω_j 为频率; φ_j 为频率数是 j 的相位值。利用傅里叶变换求出振幅 a_j 和相位 φ_j 两个未知量,从而得到描述该时间序列的模型,然后利用迭代算法完成曲线重构的过程。

利用 HANTS 算法设置时间序列 NDVI 数据的输入输出、图像大小、波段数目、输出相位、振幅等参数,最后得出经 HANTS 滤波后的影像。

1.3.3 Savitzky-Golay 滤波 Savitzky-Golay 滤波是一种移动窗口的加权平均算法,但其加权系数不是简单的常数窗口,而是通过在滑动窗口内对给定高阶多项式的最小二乘拟合得出^[15]。

SG 滤波算法原理:通过取点 x_i 附近固定个数的点拟合一个多项式,多项式在 x_i 的值,就给出了它的光滑数值 g_i 。基于 SG 滤波原理,NDVI 时间序列数据的 S - G 滤波过程可由下式描述:

$$Y_j = \frac{\sum_{i=-m}^{i=m} C_i Y_{j+i}}{N} \quad (2)$$

式中, Y_j 为合成序列数据; Y_{j+i} 代表原始序列数据; C_i 为滤波系数; N 为滑动窗口所包括的数据点 $(2m + 1)$ ^[16-17]。

本文中 NDVI 时序数据的 SG 滤波是在 IDL 语言环境下,通过修改程序代码完成参数设置,最终输出经 SG 滤波后的多波段影像。

1.3.4 峰值频数提取 时间序列 NDVI 数据经过数据重构之后,并不是连续函数,仍然属于离散点序列,提取峰值频数采用离散点求极大值的方法,本文使用差分的方法求取离散点极大值的个数。

假设在一个像元曲线上第 i 时相的 NDVI 值为 $NDVI_i$,首先计算相邻时相 NDVI 之差,得到数列 d_1 ,然后判断数列 d_1 中元素值的正负,若元素值小于 0,则记为 -1,若元素值大于等于 0,则记为 1,得到数列 d_2 ,求数列 d_2 中前后两个元素之差,得到数列 d_3 ,若 d_3 中元素值为 -2,且前后两个元素都为 0 的位置,则为波峰。若值为 2,且前后两个元素都为 0 的

位置,则为波谷。将 d_3 中元素值为 -2 且前后两个元素都为 0 的元素计数,最终波峰数即为 d_3 中元素值为 -2 且前后两个元素都为 0 的元素个数,即为峰值频数。

即:

$$d_{1i} = NDVI_{i-1} - NDVI_i$$

$$d_{2i} = \begin{cases} 1 & d_{1i} > 0 \\ -1 & d_{1i} < 0 \end{cases}$$

$$d_{3i} = d_{2i} - d_{2i+1} (i \text{ 代表序列中第 } i \text{ 个元素})$$

提取 MODIS NDVI 时序数据的峰值频数,两个峰值之间不小于 96 d ,相当于 6 个时间周期;峰值最小值与最大值之比不小于 0.38 ;峰值不能小于 0.4 , 0.4 以下不处理。这种设置是为了剔除“伪峰”。提取 SPOT/VGT NDVI 时序数据的峰值频数,两个峰值之间不小于 90 d ,相当于 9 个时间周期,其它设置相同。

2 结果与分析

陕西省复种指数提取结果如图 2~图 5,图中白色部分为有林地,已做剔除处理。复种指数为 0 ,表明该像元 NDVI 值一年之内无峰值,作物无法形成完整的生长季;复种指数为 100 ,表明该像元 NDVI 值一年之内可形成一个峰值,作物可形成一个完整的生长季;复种指数为 200 ,表明该像元 NDVI 值一年之内可形成两个峰值,作物可形成两个完整的生长季;复种指数为 300 ,表明该像元 NDVI 值一年之内可形成三个峰值,作物可形成三个完整的生长季。

需要指出的是,二熟制区内某些耕种区由于地形、气候、水分条件、耕作习惯等因素影响,会出现一年一熟的现象,甚至有极个别像元显示一年三熟,这与其所在耕种区套种、轮种等种植习惯有关,实际上并没有一年三熟,但遥感方法并不能完全剔除这种偶然误差。

2.1 MODIS NDVI 数据两种滤波所得耕地复种指数结果分析

2.1.1 HANTS 滤波结果 利用 Arcgis 区域统计方法对各市复种指数进行统计分析,结果显示:在 2001 年、2007 年、2011 年这 3 个时间节点上,一熟制区延安市的复种指数分别为 $67, 97, 98$,榆林市分别为 $43, 45, 65$,二熟制区铜川市的复种指数分别为 $110, 110, 99$,渭南市分别为 $112, 113, 105$,咸阳市分别为 $115, 137, 117$,宝鸡市分别为 $120, 121, 114$,西安市分别为 $126, 123, 120$,汉中市分别为 $99, 100, 100$,安康市分别为 $102, 100, 100$,商洛市分别为 $105, 104, 103$ 。2001—2007 年间,延安市复种指数增长率达到 44% ,咸阳市达到 19% ,榆林、铜川、渭南、宝鸡、汉

中复种指数增长率都在 5% 以内,西安出现 2.4% 的负增长;2007—2011 年间,一熟制区延安、榆林复种指数略微增加,二熟制区铜川、渭南、咸阳、宝鸡、西安复种指数出现负增长,其中西安达到 -17.8% ,咸阳 -14.6% ,铜川 -10% ,渭南 -7.1% ,宝鸡 -5.8% 。2001—2011 年,汉中、安康、商洛复种指数仅有年际轻微波动,无明显变化趋势。从全省复种指数分布图(图 2)可看出,延安南部(一熟制区)复种指数为 0 的区域逐年减少,为 100 的区域在空间分布上逐年北移,关中地区二熟制区的复种指数在 2007 年之后下降明显,陕南二熟制区无明显变化,仅有年际波动。

2.1.2 SG 滤波结果 利用 Arcgis 区域统计方法对各市复种指数进行统计分析,结果显示:在 2001 年、2007 年、2011 年这 3 个时间节点上,一熟制区延安市的复种指数分别为 $90, 99, 100$,榆林市分别为 $30, 73, 86$,二熟制区铜川市的复种指数分别为 $108, 118, 106$,渭南市分别为 $128, 138, 128$,咸阳市分别为 $138, 146, 130$,宝鸡市分别为 $138, 143, 118$,西安市分别为 $175, 174, 142$,汉中市分别为 $117, 115, 105$,安康市分别为 $105, 106, 106$,商洛市分别为 $104, 107, 104$ 。2001—2007 年间,延安、榆林、铜川、渭南、咸阳、宝鸡复种指数出现增长,西安、汉中出现负增长;2007—2011 年间,一熟制区延安、榆林复种指数略微增长,二熟制区铜川、渭南、咸阳、宝鸡、西安、汉中复种指数出现负增长,西安达到 -18.4% ,宝鸡 -17.5% ,咸阳 -11% ,铜川 -10.2% ,渭南 -7.2% ,汉中 -8.7% 。从全省复种指数分布图(图 3)可看出,陕北一熟制区复种指数为 0 的区域显著减少,为 100 的区域显著增加,说明复种指数是上升趋势,关中二熟制区复种指数为 200 的区域减少,为 100 的区域增加,陕南汉中市复种指数为 200 的区域也在逐年减少,说明这些地区的复种指数在下降。

2.2 SPOT NDVI 数据两种滤波所得耕地复种指数结果分析

2.2.1 HANTS 滤波结果 SPOT NDVI 时序数据时间跨度为 2001—2007 年,经过 HANTS 滤波后,利用 Arcgis 区域统计方法对各市复种指数进行统计分析,结果表明:2001—2007 年间,一熟制区延安市复种指数从 62 增加到 82 ,榆林市从 12 增加到 30 ,二熟制区铜川市复种指数从 85 增加到 103 ,渭南市从 98 增加到 115 ,咸阳市从 108 增加到 118 ,宝鸡市从 115 增加到 120 ,西安市从 142 下降到 138 ,汉中、安康、商洛 3 市的复种指数较为稳定,保持在 100 左右。从全省复种指数分布图(图 4)可看出,延安南部(一

熟制区)、渭北地区(二熟制区)复种指数为 0 的区域在减少,复种指数为 100 的区域在增加,说明这些地区复种指数在增加。陕南二熟制区复种指数无明显变化。

2.2.2 SG 滤波结果 SPOT NDVI 时序数据经过 SG 滤波,由 IDL 语言批处理输出 2001—2007 年基于像

元的复种指数分布图,利用 Arcgis 区域统计方法,得出各市的复种指数,结果表明:2001—2007 年间,一熟制区延安市复种指数从 81 增加到 98,榆林市从 55(2001 年值为 8,属异常值,不参与分析)增加到 59,二熟制区铜川市从 99 增加到 120,渭南市从 112 增加到 138,咸阳市从 132 增加到 142,汉中市从 115

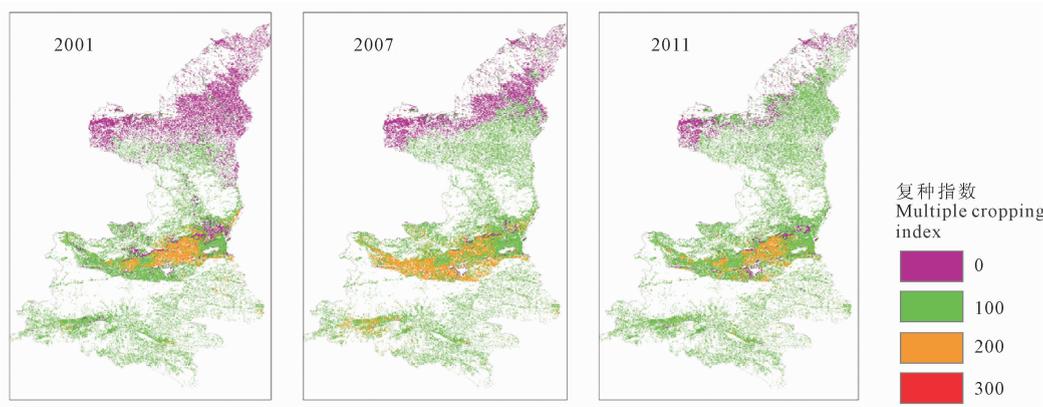


图 2 MODIS NDVI 数据 HANTS 滤波后提取的陕西省复种指数分布图

Fig.2 The multiple cropping index distribution map of Shaanxi Province extracted by HANTS filter from the MODIS NDVI data

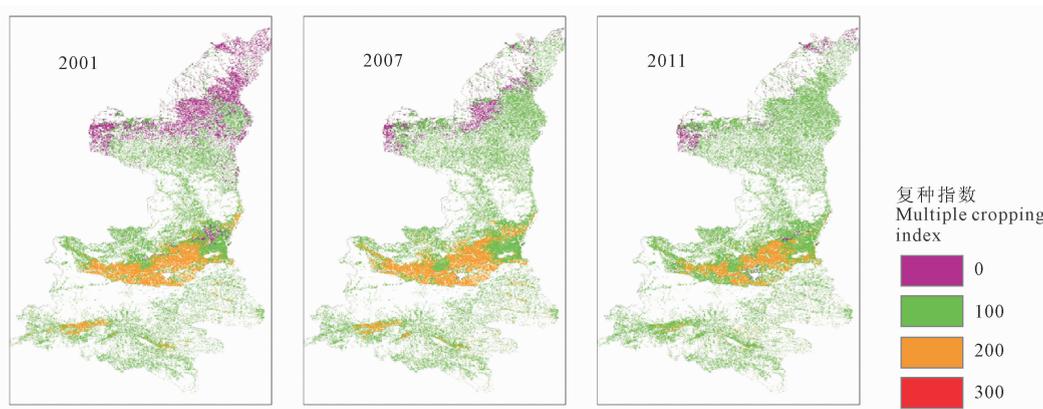


图 3 MODIS NDVI 数据 SG 滤波后提取的陕西省复种指数分布图

Fig.3 The multiple cropping index distribution map of Shaanxi Province extracted by SG filter from the MODIS NDVI data

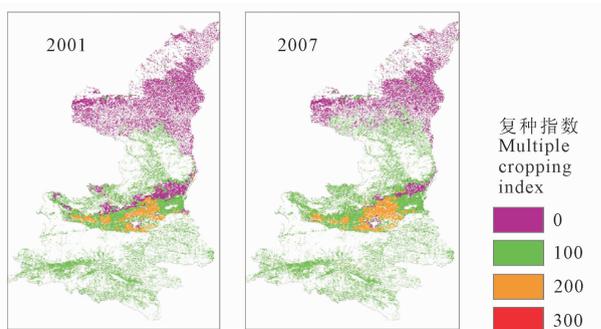


图 4 SPOT NDVI 数据 HANTS 滤波后提取的陕西省复种指数分布图

Fig.4 The multiple cropping index distribution map of Shaanxi Province extracted by HANTS filter from the SPOT NDVI data

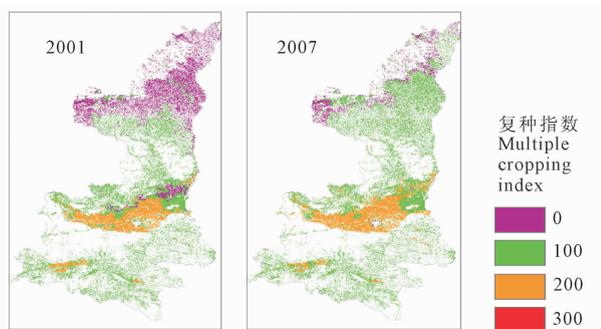


图 5 SPOT NDVI 数据 SG 滤波后提取的陕西省复种指数分布图

Fig.5 The multiple cropping index distribution map of Shaanxi Province extracted by SG filter from the SPOT NDVI data

增加到 123, 安康市从 102 增加到 118, 数据表明上述地区复种指数都在增加; 宝鸡市 2001—2007 年复种指数分别为 142, 141, 153, 151, 145, 134, 142, 先升后降, 整体平稳, 西安市复种指数从 174 下降到 168。

2.3 两种滤波方法的比较

通过对两种时间序列 NDVI 数据的重构, SG 滤波和 HANTS 滤波在反映农作物生长规律方面, 都有较好的反映, 经两种方法滤波后提取出的全省复种指数, 其年际变化规律除在个别年份表现出差异外, 大部分年份具有同一性, 两种滤波方法均能较好反映复种指数长期变化趋势(图 6、图 7)。

两种滤波的原理不同, 对 NDVI 数据进行重构后, 计算得出的复种指数也存在差异, SG 是滑动窗口的加权平均算法, 属于一种低通滤波, 而 HANTS 是通过求解类似三角函数的振幅和相位来模拟农作物的生长曲线, 二者消除 NDVI 噪音的方向不同, 取得的效果也不同, 导致 SG 滤波最终结果普遍高于 HANTS 滤波的结果(图 6、图 7)。

2.4 复种指数结果验证

2.4.1 利用全国生态系统参数观测样地进行验证

陕西省农田样地仅有 7 处可用, 选取样地的熟制属性验证所在像元复种指数的遥感提取结果, 结果显示, 关中农田样地的复种指数遥感提取结果准确率较高。结果显示, 关中复种指数准确率较高, 达到 90% 以上; 陕南由于地形比较破碎, 准确率较低; 陕北延安市样地(109.5°E 36.6°N)熟制属性为一年两熟或两年三熟, 此像元复种指数的提取结果为一年一熟, 与样地属性不符; 其余样地的复种指数结果与样地属性相符。

2.4.2 利用统计数据验证 本文参照《2012 陕西统计年鉴》, 利用全省总的农作物播种面积和常用耕地

面积的比值, 计算得出陕西省 2001—2011 年的复种指数, 依次为 118、119、112、120、123、110、109、113、109、110、109, 并与两种滤波方法计算得出的复种指数进行比较, 4 组遥感提取结果和统计数据的相对误差见表 1。

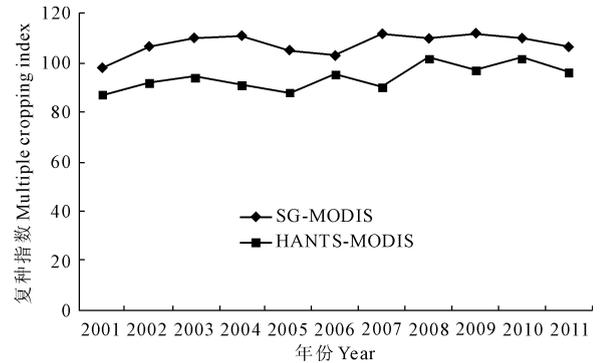


图 6 MODIS NDVI 数据采用两种滤波方法得出的复种指数

Fig. 6 The multiple cropping index obtained by two filter methods from the MODIS NDVI data

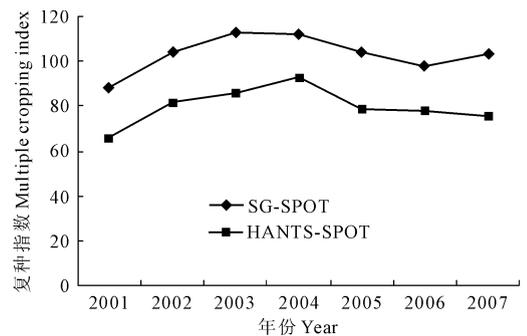


图 7 SPOT NDVI 数据采用两种滤波方法得出的复种指数

Fig. 7 The multiple cropping index obtained by two filter methods from the SPOT NDVI data

表 1 遥感提取出的复种指数及其与统计数据的相对误差

Table 1 Relative error of the multiple cropping index extracted by the remote sensing and the statistics data

年份 Year	MODIS - SG	相对误差/% Relative error	MODIS - HANTS	相对误差/% Relative error	统计数据 Statistics data	SPOT - SG	相对误差/% Relative error	SPOT - HANTS	相对误差/% Relative error
2001	98	17.4	87	11.2	118	98	17.4	78	20.4
2002	107	10.1	92	14.0	119	104	12.6	82	23.3
2003	110	2.6	94	14.5	112	113	0.1	86	21.8
2004	111	7.7	91	18.0	120	112	6.9	93	16.2
2005	105	15.2	88	16.2	123	104	16.0	79	24.8
2006	103	7.0	95	7.8	110	98	11.5	78	24.3
2007	112	2.6	90	19.6	109	101	7.4	76	32.1
2008	110	3.0	102	7.3	113				
2009	112	2.2	97	13.4	109				
2010	110	0.4	102	7.3	110				
2011	107	2.3	96	10.3	109				

从表 1 对比结果可看出, 统计数据普遍略高于

遥感提取结果, MODIS NDVI 数据提取结果相对误差

较小, SPOT NDVI 数据提取结果相对误差较大。

2.4.3 SPOT NDVI 数据和 MODIS NDVI 数据互验证

由表 1 可以看出, MODIS NDVI 数据经过 SG 滤波后, 提取出的 2001—2007 年全省复种指数分别为 98、107、110、111、105、103、112, SPOT NDVI 数据经过 SG 滤波后, 提取出的数值为 98、104、113、112、104、98、101, 除 2007 年相对误差接近 10% 以外, 其余年份误差都低于 5%; 经过 HANTS 滤波后, 两组 NDVI 数据得出的复种指数结果, 相对误差有所增加, 2001—2007 年分别为 10.34%、10.87%、8.51%、2.2%、10.23%、17.89%、15.56%。

3 结论

1) MODIS NDVI 时序数据(2001—2011 年), 使用两种滤波方法, 都表明延安、榆林复种指数出现较快增长, 西安 11 年来出现负增长, 且在 2007 年之后趋势更加明显; 铜川、渭南、咸阳、宝鸡的复种指数在 2007 年之前增长, 之后出现负增长; 其余地市仅有年际波动。

2) 针对 SPOT NDVI 时序数据(2001—2007 年), 使用 HANTS 滤波, 提取结果表明, 延安、榆林、铜川、渭南、咸阳、宝鸡复种指数出现增长, 西安市出现负增长, 汉中、安康、商洛 3 市的复种指数较为稳定, 基本无年际波动; 使用 SG 滤波, 提取结果表明, 除西安出现负增长、宝鸡基本持平外, 其余地市的复种指数都出现增长。

3) SG 滤波和 HANTS 滤波在反映农作物生长规律方面, 都有较好的反映, 经两种方法滤波后提取出的全省复种指数, 其年际变化规律除在个别年份表现出差异外, 大部分年份具有同一性, 两种滤波方法均能较好反映复种指数长期变化趋势。

4) MODIS NDVI 时序数据, 获取地物信息量大, 用两种滤波方法平滑之后, 在反映地物生长规律的细节方面, 优于 SPOT/VGT NDVI 数据。

5) HANTS 滤波对数据周期的过度依赖, 有可能会过度剔除某些极值, 造成曲线的最大值低于真实值, 而最小值高于真实值。而 SG 滤波方法在极值附近可能会更加接近真实值。

4 讨论

本文的方法经过多次调试, 提取流程高度程序化, 操作方便, 但对数据质量要求高。本文的方法亦存在不足之处: (1) 由于本文中用到的土地利用数据为 2000 年数据, 和 NDVI 时序数据并不完全匹配, 给最终提取的结果引入误差; (2) 两种数据源的时间和空间分辨率不同, 也对最终结果产生影响; (3)

两种滤波方法原理不同, 对 NDVI 数据的噪音处理方式存在差异, 是另一个可能会引起误差的原因。

本文所采用的方法存在有待改进的地方, 比如 HANTS 滤波参数的进一步调整, 使得数据重构后的平滑曲线更好地接近真实曲线的上包络线; 用更为准确的土地利用数据来做耕地底图; 建立复种指数观测样点或者样区, 验证方法更多采用实地观测结果。

致谢: 感谢美国 NASA 提供的 2000—2011 年 16 d 合成的 MODIS 植被指数产品 MOD13Q1; 国家自然科学基金委员“中国西部环境与生态科学数据中心”(http://westdc.westgis.ac.cn)和“地球系统科学数据共享网”(http://www.geodata.cn/Portal)提供的 SPOT/VGT NDVI 植被指数数据集; 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所网站提供的 WESTDC 土地利用数据。

参考文献:

- [1] 闫慧敏, 刘纪远, 曹明奎. 近 20 年中国耕地复种指数的时空变化[J]. 地理学报, 2005, 60(4): 559-566.
- [2] 彭代亮, 黄敬峰. 基于 MODIS-NDVI 的浙江省耕地复种指数监测[J]. 中国农业科学, 2006, 39(7): 1352-1357.
- [3] 闫慧敏, 黄河清, 肖向明, 等. 鄱阳湖农业区多熟种植时空格局特征遥感分析[J]. 生态学报, 2008, 28(9): 4517-4523.
- [4] 张霞, 焦全军, 张兵, 等. 利用 MODIS-EVI 图像时间序列提取作物种植模式初探[J]. 农业工程学报, 2008, 24(5): 161-165.
- [5] 吴岩. 中国东部季风区耕地复种指数遥感监测研究[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2008.
- [6] 范锦龙, 吴炳方. 复种指数遥感监测方法[J]. 遥感学报, 2004, 8(6): 628-636.
- [7] 范锦龙. 复种指数遥感监测方法研究[D]. 北京: 中国科学院遥感应用研究所, 2003.
- [8] 朱孝林, 李强, 沈妙根, 等. 基于多时相 NDVI 数据的复种指数提取方法研究[J]. 自然资源学报, 2008, 23(3): 534-544.
- [9] 李晶, 林志远. 基于 SPOTNDVI 的陕西省耕地复种指数时空变化[J]. 干旱区资源与环境, 2011, 25(10): 86-91.
- [10] 唐鹏钦, 吴文斌, 姚艳敏, 等. 基于小波变换的华北平原耕地复种指数提取[J]. 农业工程学报, 2011, 27(7): 220-225.
- [11] 杨忍, 刘彦随, 陈玉福, 等. 环渤海地区耕地复种指数时空变化遥感反演及影响因素探测[J]. 地理科学, 2013, 33(3): 588-593.
- [12] 徐昔保, 杨桂山. 太湖流域 1995—2010 年耕地复种指数时空变化遥感分析[J]. 农业工程学报, 2013, 29(3): 148-155.
- [13] 梁守真, 马万栋, 施平, 等. 基于 MODIS NDVI 数据的复种指数监测——以环渤海地区为例[J]. 中国生态农业学报, 2012, 20(12): 1657-1663.
- [14] 蒙继华, 吴炳方, 李强子, 等. 集成化的省级农情遥感监测系统[J]. 农业工程学报, 2011, 27(6): 169-175.
- [15] 宋春桥, 柯灵红, 游松财, 等. 基于 TIMESAT 的 3 种时序 NDVI 拟合方法比较研究——以藏北草地为例[J]. 水土保持通报, 2008, 28(3): 147-155.
- [16] 边金虎, 李爱农, 宋孟强, 等. MODIS 植被指数时间序列 Savitzky-Golay 滤波算法重构[J]. 遥感学报, 2010, 14(4): 725-741.
- [17] 郭芬芬, 范建容, 边金虎, 等. 基于 MODIS NDVI 时间序列数据的藏北草地类型识别[J]. 遥感技术与应用, 2011, 26(6): 821-826.