DOI:10.19789/j.1004-9398.2017.05.016

2001—2010年江苏省复种指数变化及其影响因子分析*

康清林[1] 李春蕾[2**] 张玉虎[1]

(1. 首都师范大学资源环境与旅游学院,北京 100048; 2. 中国农业科学研究院森林生态环境与保护研究所,北京 100091)

摘 要

全球气候变暖势必会引起与农业生产密切相关的气候资源在时间和空间上发生变化,增大农业生产的不稳定性. 基于归一化植被指数(MODIS-NDVI) 1 km×1 km分辨率的16天合成数据和2010年耕地数据,利用Savitzky-Golay滤波、非对称高斯函数拟合和双Logistic函数拟合方法重建农作物生长NDVI曲线,再基于二次差分算法提取2001—2010年江苏省复种指数,并分析主要气候要素因子变化对复种指数变化的影响. 结果表明:(1) Savitzky-Golay滤波、非对称高斯函数拟合、双Logistic函数拟合能有效对NDVI时间序列进行平滑去噪,使NDVI曲线在保持原有基本形状的基础上更加有效地揭示所蕴含的物候周期性变化规律;(2) 江苏省复种指数空间分布上呈现苏中>苏北>苏南的格局,2001、2003、2010年复种指数偏低;(3) NDVI与热量资源呈较高的相关性. 九个气候因子中,≥10℃积温和≥0℃积温与复种指数在0.01水平上显著相关,年平均最高温与复种指数在0.05水平上显著相关;≥10℃积温和≥0℃积温的变化趋势与复种指数的变化一致,积温波动是江苏省2001、2003和2010年复种指数偏低的主要原因.

关键词: 复种指数,NDVI,热量资源,降水,江苏省.

中图分类号: P951

复种指数是一段时间内某地区或生产单位种植作物的平均次数,是反映农业种植制度的重要指标[1],也是衡量耕地集约化利用程度的基础性指标[2]. 随着全球变暖加剧,农作物复种指数发生变化[3]. 单产一定的情况下,复种指数越高,粮食产量越高[4]. 自1909年以来,中国陆地区域平均增温0.9~1.5 ℃,高于全球平均水平,且近十五年处于近百年来气温最高的阶段;21世纪全球变暖仍将继续,预估本世纪末中国将增温1.3~5.0 ℃[5]. 因此,研究气候变化对农业生产尤其是熟制的影响[6],分析熟制演变过程、作物生长影响因子,发掘潜在熟制,提高复种指数,对提高粮食产量意义重大.

传统复种指数计算方法主要是通过耕地面积和播种面积统计数据计算而得,不能反映出作物的空间特性,且具有一定的滞后性[7]. 随着遥感技术的发展,通过遥感数据反演长时间序列植被指数而求得复种指数成为可能[8]. 如何有效提取复种指数是复种指数分析的关键,也是国内外研究长期关注的热点.

Peña-Barragán[9]利用高空间分辨率的卫星影像Quick Bird分析西班牙南部蒙蒂利亚夏季的影提取出研究区土地利用类型,达到较高精度. Bouvet[10]利用ENVISAT/SAR数据分离水稻耕作区和非水稻耕作区. Sakamoto和Canisius等[11-12]基于MODIS/EVI数据进行小波平处理,有效监测了越南湄公河区域水稻的复种耕作信息. Kato等[13]根据遥感影像研究埃及达赫拉绿洲3号井附近的植被轮作情况. Waldhoff等[14]利用基于专家系统的MDA方法对多时相影像进行整合得到研究区的农业轮作图. Zhang等[15]基于华北平原的NDVI数据使用傅里叶变换法进行处理,对该区域的种植制度进行分析. 辜智慧[16]采用Savitzky-Golay滤波对SPOT/VGT NDVI时序数据进行平滑处理,然后利用交叉拟合度检验提取农作物复种指数;范锦龙等和吴炳方[17]基于时间序列谐波分析法(HANTS)重构NDVI曲线,利用熟制分区并结合物候观测数据提取复种指数;平跃

收稿日期:2017-02-23

* 国家十二五科技支撑计划课题(2012BAC19B01);北京市教委科研计划项目(KZ201410028030)资助;首都师范大学实验室开放基金(LIP15011S121).

**通讯作者.

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

鹏和臧淑英[18]通过 TIMESAT 软件非对称 Gaussian 模型对 NDVI 曲线拟合重构,灵活性较强; 朱孝林等[19]利用 SPOT/VGT 多时相 NDVI 数据,采用迭代修正的复种指数遥感提取了农用地复种指数; 徐凯健等[20]通过 Savitzky-Golay 滤波对 NDVI 时序数据重构; 闫慧敏等[21]采用 HANTS 方法重构光滑的 NDVI 曲线,通过峰值点数目探测分析种植制度空间格局. 李正国[22]基于 SPOT/VGT-NDVI 时间序列数据与物候观测数据,建立了种植制度类型的遥感识别标志,分析种植制度时间波动特征. 江苏省是华东地区最大的粮食产区,气候南北差异明显. 目前对江苏省的复种指数、熟制研究尚少,缺少对该区域复种指数变化及影响因子的分析研究. 本文基于已有研究,利用 1 km × 1 km 分辨率的 NDVI 数据,尝试利用多种方法重建农作物生长 NDVI 曲线,基于二次差分算法提取 2001—2010 年江苏省复种指数,并探讨主要气候要素变化对复种指数变化的影响,以期为该区域农业适应气候变化提供参考.

1　资料与数据

1.1　研究区概况

江苏省位于 116°18′ ~ 121°57′E、30°45′ ~ 35°20′N 之间,幅员 10.26 万 km^2. 全省地貌以平原为主,占总面积的 69%; 山地和丘陵较少,主要分布于北部和西南部. 全境气候温和,雨量适中,四季分明; 气候南北差异分明,以淮河—灌溉总渠一线为界,以南属亚热带湿润季风气候,以北为暖温带湿润季风气候. 土地以水田、旱地为主,林地、草地所占比例较少. 作物种植南北差异较大,南部和中部平原地区主要种植水稻; 苏北地区以旱地为主,主要种植小麦、玉米和大麦. 大部地区属于一年两熟区,夏季生长期为 5—10 月[23],主要秋熟作物有水稻、玉米、棉花; 冬季生长期为 10 月底值次年 5 月,冬季作物以冬小麦、大麦和油菜为主.

1.2　数据来源

MODIS 传感器相比于 SPOT/VGT 和 NOAA/AVHRR 传感器,具有更窄的红波段和近红外波段,计算得到的 NDVI 对植被的变化更敏感[24-25]. 因此,采用 LAADS Web Search for Data Products 提供的 MODIS2 级产品 MODIS-NDVI,基于每 16 天合成期对 NDVI 进行处理,数据分辨率为 1 km × 1 km,分辨率相对较低. MODIS 陆地标准产品数据都采用 TILE 类型进行组织即以地球为参照系,采用正弦曲线投影(ISIN),将全球按照 10° × 10°的方式分片,全球陆地被分割为 600 多个 Tile[26]. 江苏涉及(27,5)、(28,5)两片 Tile. 采用 MRT 进行 Albers 等积双标准纬线割圆锥投影对 MODIS 数据产品转换和拼接,然后用 ArcGIS 提取每个栅格点的数据,得到每年 23 个时相的 NDVI 数据. 提取得到的 NDVI 值的范围是在 -3 000 ~ 10 000 之间, -3 000 是填充值[27],其换算系数是 1 000,即将 NDVI 值除以 10 000,就得到一般意义上的 NDVI 值(-1 到 1 之间)[28].

采用与 NDVI 数据空间精度相互匹配的 1 km × 1 km 栅格土地利用数据,数据来源于中国科学院资源环境数据库 1∶10 万 2000、2005、2010 年土地利用图,每个格网带有耕地(水田、旱地)、林地、园地、草地、城镇居民点用地等土地类型; 气象数据来源于中国气象局气象信息中心.

2　研究方法

复种指数的提取是在识别 NDVI 时间序列曲线特征的基础上实现的. 获取土地类型为耕地像元的 MODIS NDVI 数据,将一个像元一年的 n 期 NDVI 时相数据按时间顺序排成数列,形成一条曲线. 不同熟制的 NDVI 时间曲线会反映出不同的"波峰"、"波谷"信息,像元一年内时间变化曲线的波峰数等于该像元一年的复种次数. 提取像元的波峰个数就可以得到该像元的熟制,根据复种指数的计算公式,计算出各像元及江苏各市的复种指数.

2.1　NDVI 曲线变化特征

图 1 为江苏省耕地农作物 NDVI 时间序列变化曲线,反映的是一年一熟、一年两熟、一年三熟和裸地形成的波峰波谷曲线. 对比江苏省作物生长周期资料可看出,NDVI 曲线能以最直观的形式反映作物从播种、出苗、抽穗到成熟收割时 NDVI 的变化过程,即一年内一个像元 NDVI 的波峰数在数值上即可认为等于该地块的熟制. 汪权方和李家永[29]通过 NDVI 指数变化分析鄱阳湖流域季节性绿色覆被(作物),得到相似反映熟制的曲线.

2.2　NDVI 曲线重构

提取得到的 NDVI 时间序列数据虽然经过最大合成法(MVC)去除部分噪声[30-31]. 但由于云、气溶胶、水蒸气、太阳高度角、地物二向反射、冰雪等因素的影响,NDVI 时间序列曲线仍呈锯齿状波动[32-33],有噪声波峰出现,不能直接用来提取峰个数[28],

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

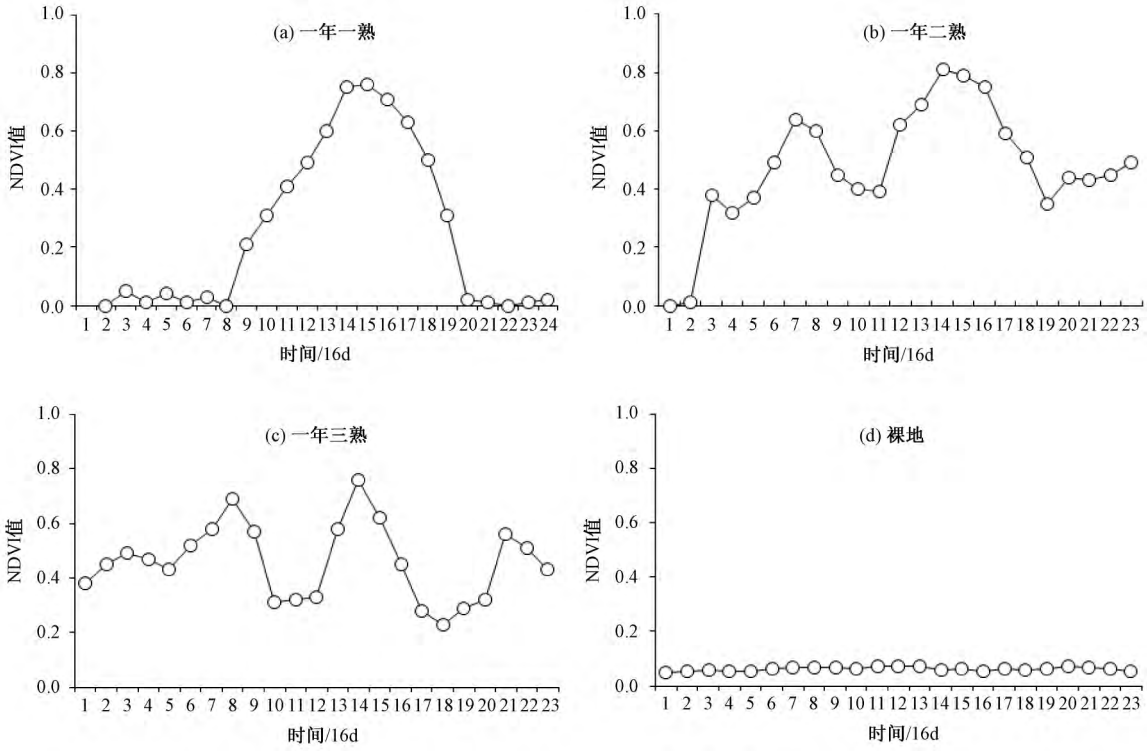


图 1 农作物 NDVI 时间序列变化曲线

因此在提取复种指数信息之前,需要消除 NDVI 时间序列中的噪声,重构作物生长曲线. 采用 Savitzky-Golay 滤波、非对称高斯函数拟合、双 Logistic 函数拟合方法对 NDVI 曲线进行重构. Savitzky-Golay 滤波重构是一种移动窗口的加权平均算法[34-36],非对称高斯函数拟合法是一种由局部拟合到整体拟合的方法,使用高斯函数来分段模拟植被的生长过程,最后通过平滑连接各段高斯拟合曲线实现时间序列的重构[37-40],双 Logistic 函数拟合与非对称高斯拟合过程相似,它是从局部最优化拟合到全局拟合的方法[41-46]. 首先根据表 1 的 MODIS 像元可信度文件,确定受噪声影响的像元,根据像元受污染的程度赋予不同的权重[47]. 然后对 NDVI 的有效值域、迭代次数、噪声去除阈值拟合峰值参数、滑动窗口大小参数进行设置. Savitzky-Golay 滤波、非对称高斯函数拟合、双 Logistic 函数拟合平滑后结果如图 2 所示.

表 1 MODIS13A2 像元可信度

像元值	说明	描述	权重
-1	填充值/无值	未处理	0
0	高质量数据	可直接使用	1
1	边缘数据	可用,但要参考像	0.8
2	冰/雪	被冰雪覆盖	0.2
3	云	被云覆盖	0.2

从图 2 可以看到平滑前的 NDVI 时间序列曲线在第 11、34、58、92、164 期的 NDVI 值明显偏低,是云、气溶胶等因素造成的噪声. 三种平滑方式都能够对 NDVI 时间序列曲线起到平滑去噪的作用. 但三种平滑方式平滑的强弱程度还是有一些区别,如在第 171 期的噪声点处,Savitzky-Golay 滤波和双 Logistic 函数拟合都对这一点处的噪声起到了平滑作用,但非对称高斯函数拟合法保留了突变信息. 因复种指数的计算是基于曲线特征进行提取的,平滑的强弱程度会影响复种指数的提取结果.

2.2 二次差分法提取峰值

根据平滑后的 NDVI 时间序列,通过二次差分法求波峰个数[2,48]. 二次差分法是一种简单实用的提取极大值极小值的方法,二次差分法公式如下:

$$S1_i = \mathrm{NDVI}_i - \mathrm{NDVI}_{i+1} \quad (1)$$

$$S2_i = \begin{cases} 1, S1_i > 0 \\ -1, S1_i < 0 \end{cases} \quad (2)$$

$$S3_i = S2_{i+1} - S2_i \quad (3)$$

$S3_i$ 只有三个可能结果:0,-2,2. NDVI 的波峰出现在 $S3_i$ 中元素为 -2 且前后元素为 0 的位置,波谷出现在 $S3_i$ 中元素为 2 且前后元素为 0 的位置.

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

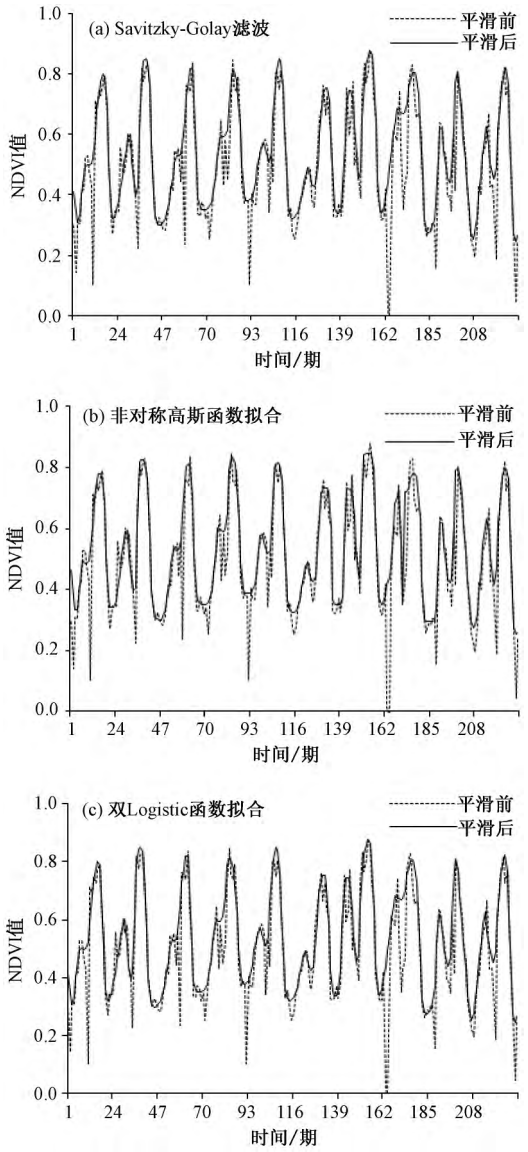


图 2　NDVI 时间序列数据平滑前后对比曲线

提取数列 $S3_i$ 值为 -2 的个数，就是计算波峰个数. 对应的就是熟制信息.

2.3　复种指数计算

复种指数的计算方法为: [全年播种(或移栽)作物的总面积/耕地总面积] ×100% [19].

计算复种指数为公式:

$$N = [(\sum_{i=1}^{n} P_i)/n] \times 100\% \qquad (4)$$

式中，N 为遥感监测的复种指数; 为第个栅格点的熟制信息，一年一熟对应值为 1，一年两熟对应值为 2，一年三熟对应值为 3. 为耕地栅格数. 基于平滑后的 NDVI 时间序列曲线，通过二次差分法计算得到栅格的熟制信息. 通过公式(4) 可以计算出复种指数.

3　结果与分析

3.1　复种指数变化

采用 Savitzky-Golay 滤波、非对称高斯函数拟合、双 Logistic 函数拟合三种平滑方法对 NDVI 曲线进行重构，二次差分法提取峰值，通过公式(4) 计算得到的江苏省复种指数如图 3 所示. 从图 3 可以看到 2001—2010 年江苏省复种指数的变化趋势. 从 2001 年开始，先经历了一个先增再减的过程，然后趋于平稳. 2010 年又经历一个下降的过程. 从变化趋势线可以看到，江苏省复种指数变化情况是 2001、2003、2010 年复种指数低于其余年份. 从平滑方法的计算结果看，三种平滑方式的变化趋势是一致的. 2001、2003、2010 年的复种指数都低于其余年份. 因此可以认为江苏省复种指数的变化趋势是可信的，但三种平滑方式计算得到的复种指数差异比较大. 造成区别的原因主要是不同平滑方式对 NDVI 时间序列曲线的平滑程度不同. 为了减少因一种平滑方式缺陷而造成的误差，将三种平滑方式的计算结果进行整合. 如果三种平滑方式计算得到的熟制信息不同，将频率高的结果作为该像元的熟制. 重计算后的复种指数的趋势与分别使用三种平滑方式计算得到的结果一致.

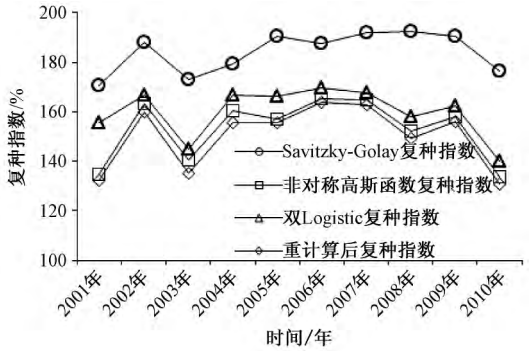


图 3　江苏省复种指数变化趋势

将重计算得到的栅格熟制反映到空间上，可以得到 2001—2010 年江苏省耕地像元的复种指数分布情况如图 4(a) 所示. 江苏省各市的复种指数可以通过公式(4) 得到，通过 Arcgis 提供的栅格计算器，计算得到江苏省各市的复种指数. 2001—2010 年江苏省各市的复种指数分布如图 4(b) 所示. 从图 4(a) 可以看到，时间上，2001—2010 年江苏省复种指数变化变化明显，2001、2003、2010 年复种指数为 100% 的耕地比例较高，2002、2004、2009 年复种指数为 200% 的耕地比例较高，2001、2003、2010 年复

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

种指数分布情况与其余年份具有差异性,是复种指数变化比较凸显的年份. 空间分布上,江苏省复种指数空间差异明显. 江苏省复种指数空间格局显示大部分地区耕地像元复种指数为 200%,少数地区出现复种指数 100% 的耕地像元,苏南地区零星出现复种指数 300% 的耕地像元. 复种指数为 200% 的耕地点集中出现在苏中地区,苏北地区的连云港、盐城、宿迁等城市.

从图 4(b) 可以看到江苏省各市的分布状况,泰州市、南通市能够达到较高的复种指数,复种指数在 140% ~200% 之间变动,南京市复种指数较低,复种指数在 100% ~140% 之间变动. 徐州市、连云港市、常州市复种指数在 100% ~160% 之间变动,无锡市、淮安市、镇江市、宿迁市、盐城市、扬州市复种指数变动较大,分别在 100% ~180% 之间变动,苏州市复种指数相对稳定,在 140% ~180% 之间变动.

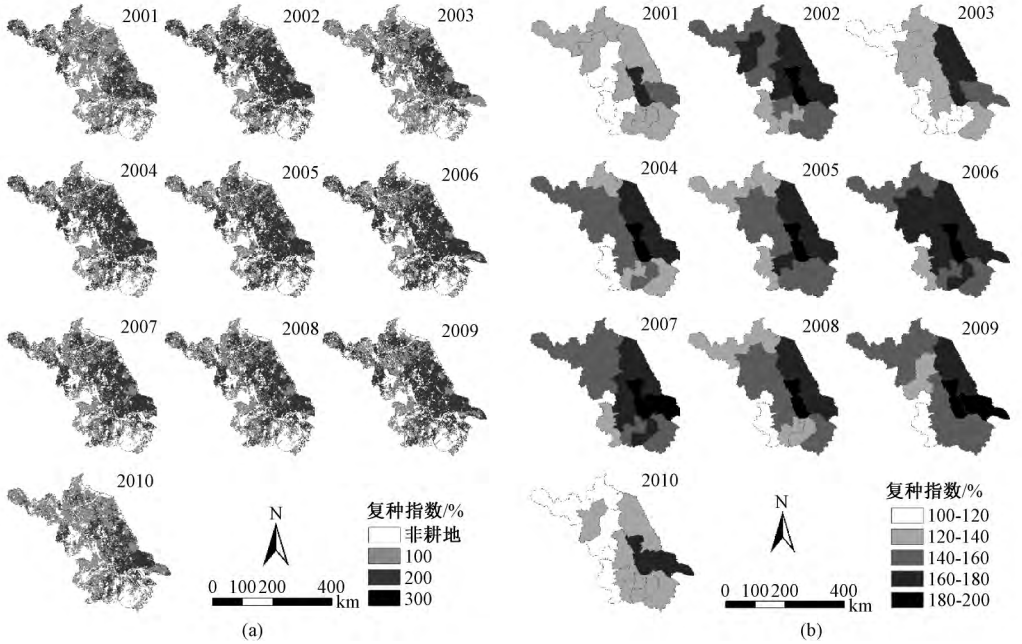


图 4 2001—2010 年江苏省复种指数分布

3.2 复种指数影响因子

复种指数变化受到自然因素和人类活动双重影响[50],农业气候要素中气温是生产中重要的条件因素,除此之外,还受地形、降水、土壤、农民习惯、政府政策等其他因素的影响[51],研究就农业气候要素中热量和降水两方面分析其对复种指数变化的影响.

研究选取表示热量资源变化的气候因子: 年平均温度、年平均最高温、年平均最低温、年日较差、≥0 ℃积温、≥10 ℃积温和表示降水变化的气候因子: 年降水量、降水强度、干燥度,计算这些气候因子 2001—2010 年的变化及其与复种指数的相关关系,由此推测气候变化对复种指数的影响. 计算结果如表 2 所示.

气候变化和人类活动对复种指数的影响分析表明,人类活动对江苏省复种指数有一定的贡献,但热量资源的变化对江苏省的复种指数的影响较大. 相关性分析表明,九个气候因子中,≥10 ℃积温、≥0 ℃积温和年平均最高温与复种指数变化显著相关,其中≥10 ℃积温、≥0 ℃积温均通过了 0.01 的显著性水平检验; ≥10 ℃积温和≥0 ℃积温的变化趋势与复种指数的变化一致,积温波动是江苏省 2001、2003 和 2010 年复种指数偏低的主要原因.

表 2 江苏省复种指数与气候因子相关性

气候因子	相关系数
年平均温度	0.354 4
年平均最高温	0.678 6*
年平均最低温	0.609 3
年日较差	0.247 8
≥0 ℃积温	0.813 3**
≥10 ℃积温	0.840 4**
年降水量	-0.027 2
降水强度	0.488 5
干燥度	-0.238 4

注: ** 表示通过了 0.01 的显著性水平检验; * 表示通过了 0.05 的显著性检验.

从图 5 可以看到,江苏省积温较低的年份出现

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

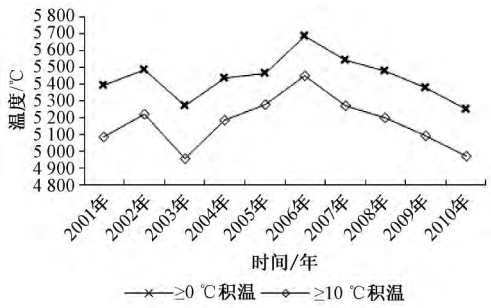


图 5　江苏省积温变化趋势

在 2001、2003 和 2010 年，与复种指数偏低年份一致. 可见，复种指数对热量资源的响应程度更高. 杨忍等[50]提出自然条件中的光、热条件决定复种指数提升空间上限，范锦龙[17]指出生长期内影响植物发育的积温决定了该地区一年时间内可允许种植多少次作物.

4　结　论

利用 1 km × 1 km 分辨率的 NDVI 数据，利用多种方法重建农作物生长 NDVI 曲线，基于二次差分算法提取了 2001—2010 年江苏省复种指数，并探讨主要气候要素变化对复种指数变化的影响，初步得出以下结论:

1) Savitzky-Golay 滤波、非对称高斯函数拟合、双 Logistic 函数拟合能有效对 NDVI 时间序列进行平滑去噪，使 NDVI 曲线在保持原有基本形状的基础上更加有效地揭示所蕴含的物候周期性变化规律，突出了 MODIS 时间序列的优点，并有利于复种指数信息提取.

2) 江苏省大部分地区复种指数可以达到 200%，苏南部分地区甚至可以达到 300%，江苏省少部分地区是 100%. 江苏省除去 2001、2003、2010 年复种指数偏低，其余年份各市均可达到较高的复种指数. 江苏省复种指数空间分布上呈现苏中 > 苏北 > 苏南的格局. .

3) 热量资源的变化对江苏省复种指数产生的影响较大，选取的表示热量资源变化的气候因子: 年平均温度、年平均最高温、年平均最低温、年日较差、≥0 ℃积温、≥10 ℃积温，表示降水变化的气候因子: 年降水量、降水强度、干燥度. 从这九个气候因子与复种指数相关分析的结果可以看到，与江苏省复种指数变化的相关性较高的气候因子为: ≥10 ℃积温和≥0 ℃积温. ≥10 ℃积温和≥0 ℃积温的变化趋势与复种指数的变化趋势一致. 积温是导致江苏省 2001 年、2003 年、2010 年三年复种指数偏低的主要原因.

参　考　文　献

[1] 谢花林，刘桂英. 1998—2012 年中国耕地复种指数时空差异及动因[J]. 地理学报，2015，70(4): 604 - 614.

[2] 张伟，李爱农，雷光斌. 复种指数遥感监测研究进展[J]. 遥感技术与应用，2015，30(2): 199 - 208.

[3] 刘巽浩. 中国耕作制度[M]. 北京: 农业出版社，1993: 1 - 40.

[4] 左丽君，张增祥，董婷婷，等. 耕地复种指数研究的国内外进展[J]. 自然资源学报，2009，24(3): 553 - 560.

[5] 《第三次气候变化国家评估报告》编委会. 第三次气候变化国家评估报告[M]. 北京: 科学出版社，2015.

[6] 杨晓光，刘志娟，陈阜. 全球气候变暖对中国种植制度可能影响 I. 气候变暖对中国种植制度北界和粮食产量可能影响的分析[J]. 中国农业科学，2010，43(2): 329 - 336.

[7] 唐华俊，吴文斌，杨鹏，等. 农作物空间格局遥感监测研究进展[J]. 中国农业科学，2010，43(14): 2879 - 2888.

[8] 申健，常庆瑞，李粉玲，等. 2000—2013 年关中地区耕地复种指数遥感动态监测[J]. 农业机械学报，2016，47(8): 280 - 287 .

[9] Peña-Barragán J M，López-Granados F，García-Torres L，et al. Discriminating cropping systems and agro-environmental measures by remote sensing[J]. Agronomy for Sustainable Development，2008，28(2): 355 - 362.

[10] Bouvet A，Toan T L，Lam-Dao N. Monitoring of the rice cropping system in the mekong delta using ENVISAT/ASAR dual polarization data[J]. IEEE Transactions on Geoscience & Remote Sensing，2009，47(2): 517 - 526.

[11] Sakamoto T，Cao V P，Kotera A，et al. Analysis of rapid expansion of inland aquaculture and triple rice-cropping areas in a coastal area of the Vietnamese Mekong Delta using MODIS time-series imagery[J]. Landscape & Urban Planning，2009，92(1): 34 - 46.

[12] Canisius F，Turra H，Molden D，et al. Fourier analysis of historical NOAA time series data to estimate bimodal agriculture[J]. International Journal of Remote Sensing，2007，28，(24): 5503 - 5522.

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

[13] Kato H, Kimura R, Elbeih S F, et al. Land use change and crop rotation analysis of a government well district in Rashda village – Dakhla Oasis, Egypt based on satellite data [J]. Egyptian Journal of Remote Sensing & Space Science, 2012, 15(2): 185 – 195.

[14] Waldhoff G, Curdt C, Hoffmeister D, et al. Analysis of multitemporal and multisensor remote sensing data for crop rotation mapping [C]//Melboarne: Xxii Isprs Congress. 2012: 177 – 182.

[15] Zhang M, Zhou Q, Chen Z, et al. Crop discrimination in Northern China with double cropping systems using Fourier analysis of time-series MODIS data [J]. International Journal of Applied Earth Observation & Geoinformation, 2008, 10(4): 476 – 485.

[16] 辜智慧. 中国农作物复种指数的遥感估算方法研究——基于 SPOT/VGT 多时相 NDVI 遥感数据 [D]. 北京: 北京师范大学, 2003.

[17] 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.

[18] 平跃鹏,臧淑英. 基于 MODIS 时间序列及物候特征的农作物分类 [J]. 自然资源学报, 2016, 31(3): 503 – 513.

[19] 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.

[20] 徐凯健,曾宏达,张仲德,等. 亚热带福建省森林生长季与气温、降水相关性的遥感分析 [J]. 地球信息科学学报, 2015, 17(10): 1249 – 1259.

[21] 闫慧敏,曹明奎,刘纪远,等. 基于多时相遥感信息的中国农业种植制度空间格局研究 [J]. 农业工程学报, 2005, 21(4): 85 – 90.

[22] 李正国,杨鹏,周清波,等. 基于时序植被指数的华北地区作物物候期/种植制度的时空格局特征 [J]. 生态学报, 2009,29(11): 6216 – 6226.

[23] 康婷婷,高苹,居为民,等. 江苏省农作物最大光能利用率时空特征及影响因子 [J]. 生态学报, 2014,34(2): 410 – 420

[24] 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(3): 300 – 304.

[25] 宋富强,康慕谊,杨朋,等. 陕北地区 GIMMS、SPOT——VGT 和 MODIS 归一化植被指数的差异分析 [J]. 北京林业大学学报, 2010, 32(4): 72 – 80.

[26] 王先伟,刘梅,柳林. MODIS 光谱指数在中国西南干旱监测中的应用 [J]. 遥感学报, 2014, 18(2): 432 – 452.

[27] 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]. 遥感技术与应用, 2011, 26(2): 147 – 155.

[28] 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): 1658 – 1663.

[29] 汪权方, 李家永. 鄱阳湖流域季节性绿色覆被(作物)的 NDVI 指数变化特征分析 [J]. 测绘科学, 2009, 34(3): 22 – 24.

[30] 李月臣,何志明. 重庆 MODIS/NDVI 时间序列数据优化研究 [J]. 重庆师范大学学报: 自然科学版, 2015, 32(2): 32 – 37.

[31] 李威,李月臣,唐谊娟,等. 基于 MODIS-NDVI 的贵州省 2001—2010 年植被覆盖变化分析及分异特征 [J]. 重庆师范大学学报: 自然科学版,2015, 32(4): 146 – 151.

[32] Cihlar J,Ly H, Li Z, et al. Multitemporal, multichannel AVHRR data sets for land biosphere studies—artifacts and corrections [J]. Remote Sensing of Environment, 1997, 60(1): 35 – 57.

[33] Kobayashi H, Dye D G. Atmospheric conditions for monitoring the long-term vegetation dynamics in the Amazon using normalized difference vegetation index [J]. Remote Sensing of Environment, 2005, 97(4): 519 – 525

[34] Savitzky A, Golay M J E. Smoothing and differentiation of data by simplified least squares procedures [J]. Analytical Chemistry, 1964, 36(8): 1627 – 1639.

[35] Jönsson P, Eklundh L. TIMESAT—a program for analyzing time-series of satellite sensor data [J]. Computers & Geosciences, 2004, 30(8): 833 – 845.

[36] Cihlar J, Manak D, Voisin N. AVHRR bidirectional reflectance effects and compositing [J]. Remote Sensing of Environment, 1994, 48(1): 77 – 88.

[37] Jonsson P, Eklundh L. Seasonality extraction by function fitting to time-series of satellite sensor data [J]. Geoscience &

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

Remote Sensing IEEE Transactions on, 2002, 40(8): 1824 - 1832.

[38] 李儒, 张霞, 刘波, 等. 遥感时间序列数据滤波重建算法发展综述[J]. 遥感学报, 2009, 13(2): 335 - 341.

[39] Hird J N, Mcdermid G J. Noise reduction of NDVI time series: an empirical comparison of selected techniques. [J]. Remote Sensing of Environment, 2009, 113(1): 248 - 258.

[40] 宋春桥, 游松财, 柯灵红, 等. 藏北地区三种时序 NDVI 重建方法与应用分析[J]. 地球信息科学学报, 2011, 13(1): 133 - 143.

[41] Beck P S A, Atzberger C, Høgda K A, et al. Improved monitoring of vegetation dynamics at very high latitudes: a new method using MODIS NDVI [J]. Remote Sensing of Environment, 2006, 100(3): 321 - 334.

[42] 刘珺, 田庆久, 黄彦, 等. 黄淮海夏玉米物候期遥感监测研究[J]. 遥感信息, 2013, 28(3): 85 - 90.

[43] 吴文斌, 杨鹏, 唐华俊, 等. 过去 20 年中国耕地生长季起始期的时空变化[J]. 生态学报, 2009, 29(4): 1777 - 1786.

[44] Julien Y, Sobrino J A. Comparison of cloud-reconstruction methods for time series of composite NDVI data. [J]. Remote Sensing of Environment, 2010, 114(3): 618 - 625.

[45] Fisher J I, Mustard J F. Cross-scalar satellite phenology from ground, landsat, and MODIS data [J]. Remote Sensing of Environment, 2007, 109(3): 261 - 273.

[46] Fisher J, Richardson A, Mustard J. Phenology model from surface meteorology does not capture satellite-based greenup estimations [J]. Global Change Biology, 2006, 13(3): 707 - 721.

[47] 刘亚南, 肖飞, 杜耘. 基于秦岭样区的四种时序 EVI 函数拟合方法对比研究[J]. 生态学报, 2016, 36(15): 4672 - 4679.

[48] 陈燕芬, 牛振国, 胡胜杰, 等. 基于 MODIS 时间序列数据的洞庭湖湿地动态监测[J]. 水利学报, 2016, 47(9): 1093 - 1104.

[49] 杨婷, 赵文利, 王哲怡, 等. 基于遥感影像 NDVI 数据的中国种植制度分布变化[J]. 中国农业科学, 2015, 48(10): 1915 - 1925.

[50] 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(5): 588 - 593.

[51] 黄爱军. 江淮地区近 50 年农业气候资源时空变化及稻麦生产响应特征研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2011.

The Cropping Index Change and Impact Factor Analysis in Jiangsu Province Between 2001 and 2010

Kang Qinglin　Li Chunlei　Zhang Yuhu

(1. College of Resources Environment and Tourism, Capital Normal University, Beijing　100048;
2. Institute of Forest Ecological Environment and Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing　100091)

Abstract

Global warming will inevitably cause great changes in climate resources related to agricultural production in time and space and increase of the instability of agricultural production. Based on the 16 days composited data of normalized difference vegetation index (MODIS-NDVI) with 1 km × 1 km resolution and the cultivated land data in 2010, this paper reconstructs the crop growth curve of NDVI by the different methods of the Savitzky-Golay filtering, asymmetric Gaussians filtering and double Logistic function filtering. Furthermore, multiple cropping index during 2001—2010 is extracted for Jiangsu Province based on the twice difference algorithm in this research, and this paper analyzes the influence on the changes of main climatic factors on the multiple cropping index. The results show that: (1) The Savitzky-Golay filtering, asymmetric Gaussians filtering and double Logistic function filtering can be effective on the image denoising of NDVI time series. After that, the NDVI curve keeping the original basic shape is more effective in revealing the phenological periodic changes. (2) The multiple cropping

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

index in Jiangsu from 2001 to 2010 shows spatially different: Central Jiangsu > North Jiangsu > South Jiangsu, the multiple cropping index is lower in 2001, 2003 and 2010. (3) There are positive correlation between NDVI and heat resource. Accumulated temperature above ten and accumulated temperature above zero significantly correlate with multiple cropping index above the 0.01 level of significance test, annual mean maximum temperature significantly correlates with multiple cropping index above the 0.05 level of significance test. Changes of accumulated temperature above ten, accumulated temperature above zero are consistent with changes of multiple cropping index. The accumulated temperature fluctuation is the main reason of the low cropping index of Jiangsu Province in 2001, 2003 and 2010.

Key words: multiple cropping index, NDVI, heat resources, precipitation, Jiangsu Province.

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net