

文章编号: 1007-4619 (2004)06-0628-09

复种指数遥感监测方法

范锦龙, 吴炳方

(中国科学院 遥感应用研究所, 北京 100101)

摘要: 复种指数是反映水土光与自然资源利用程度的指标, 其实是沿时间序列, 反映某一种植制度对耕地的利用程度。联系复种指数与时间序列 *NDVI* 曲线的纽带是农作物年内的循环规律。时间序列的 *NDVI* 值蕴涵着植被的生长和枯萎的年循环节律, 经时间序列谐波函数分析法 (Harmonic Analysis of Time Series, HANTS) 重构的 *NDVI* 曲线, 可以准确地反映农作物的出苗、拔节、抽穗、收获等物理过程。因此, 根据时间序列的 *NDVI* 曲线的周期性, 可以反向捕捉到耕地农作物动态的信息, 进而得到耕地的复种指数。本文依据上述原理, 提出复种指数遥感监测的方法, 然后用 1999 年至 2002 年 4 年的 VGT (SPOT4 卫星 vegetation 数据) 旬合成 *NDVI* 时间序列数据集提取了复种指数, 并利用地面样区观测结果和统计数据进行检查, 取得很高的精度。

关键词: 复种指数; 时间序列 *NDVI*; 遥感

中图分类号: TP79 **文献标识码:** A

1 引言

复种是指在同一田地上一年内接连种植两季或两季以上作物的种植方式^[1]。耕地复种程度的高低, 通常用复种指数来表示。复种指数指一块地一年内种植作物的次数, 但经常以全年总收获面积与耕地面积比值计算, 即公式(1),

耕地复种指数(%) = 全年作物总收获面积 / 耕地面积 × 100 (1)

复种指数是反映水土光与自然资源利用程度的指标, 复种指数大, 说明耕地利用程度高, 反之复种指数小, 说明耕地利用程度低。时间序列的 *NDVI* 值蕴涵着植被的生长和枯萎的循环节律, 可用于监测作物的生育期, 其中也隐含着耕地的复种次数。

农作物生育期数据是重要的农业信息, 是农业生产、田间管理、计划决策等的重要依据, 也是作物模拟模型的重要参数^[2]。通常生育期监测使用的方法主要是两种。一是采用气象数据预测物候, 如 Daniel^[3] 利用气象数据研究生长季长度, Ati^[4] 利用降雨数据预测生长季的开始等。二是采用遥感数据

监测作物的生育期。

国外, Gallo^[5] 使用 3 种方法 (积温法、地面调查、植被指数) 监测玉米吐丝期, 认为差值植被指数 (*DI*) 周合成值与积温法估计的吐丝期同样很好, 建议使用 *DI* 周合成值或 3 周平滑值监测大面积玉米种植区域的吐丝期。Reed^[6]、Moulin^[7]、White^[8] 和 Zhou^[9] 等人采用遥感数据监测生长季的开始。Per Jonsson^[10] 用不对称高斯模型的非线性最小二乘法, 从像元分辨率为 8km × 8km 10 天最大值合成的 Pathfinder AVHRR Land (*PAL*) 数据集中提取非洲植被的物候参数。

国内, 王延颀^[11] 用空间分辨率为 15km 的 *GVI* 监测江苏省冬小麦-水稻一年两熟轮作体系的 6 个生育期。辛景峰^[2,12] 利用 6km 10 天合成的 NOAA/AVHRR 数据集经条件时间内差平滑法^[13] 监测中国华北平原冬小麦-夏玉米轮作体系中的 6 个关键生育期。江东^[14] 利用 NOAA/AVHRR 数据, 分析 *NDVI* 时间序列曲线的波动与农作物生长发育阶段及农作物长势的响应规律, 并以华北冬小麦为例, 探讨了 *NDVI* 在冬小麦各生育期的积分值与农作物单产之间的相关关系。侯英雨^[15] 用最小二乘法对时间序

收稿日期: 2003-07-29; 修订日期: 2004-03-08

基金项目: 科技部国家十五科技攻关课题: 农业信息资源开发与共享技术研究(2001BA513B02), 中国科学院知识创新工程重要方向项目: 全球农作物遥感估产研究(KZCX2-313)。

作者简介: 范锦龙(1975—), 男, 山西偏关人, 博士, 助理研究员, 主要研究方向为农业与生态环境遥感, 发表论文 10 余篇, 现工作单位为中国气象局国家卫星气象中心。E-mail: wuf@irsa.ac.cn

列 *NDVI* 曲线进行平滑, 认为 *NDVI* 曲线最低点是返青初期, 最高点是抽穗初期, 并利用返青至抽穗植被指数累积值, 孕穗至灌浆初期温度累积值两个因子建立作物产量估算模型。这些研究反映了时间序列 *NDVI* 数据可用于监测作物生长期及其变化, 从一年内农作物种植次数考虑, 这些数据也可用于监测作物的复种指数。

2 *NDVI* 时序数据中的作物生枯节律

植被指数是反映作物生长状态最为直接的遥感指标^[16]。最为广泛使用的是 *NDVI* 通常定义为近红外与可见光红波段数值之差和这两个波段数值之和的比值, 即公式(2),

$$NDVI = (\rho_{NIR} - \rho_{RED}) / (\rho_{NIR} + \rho_{RED}) \quad (2)$$

ρ_{NIR} 为近红外波段的反射率, ρ_{RED} 为红波段的反射率。

联系复种指数与时间序列 *NDVI* 曲线的纽带是农作物年内的循环规律。时间序列的 *NDVI* 曲线蕴涵着耕地作物的循环规律, 复种指数反映了时间序列的耕地利用程度, 而耕地利用程度的变化影响着耕地作物的物候变化, 如果耕地一年种植一季作物,

时间序列的 *NDVI* 曲线呈现出一季作物的物候循环规律, 如果耕地一年种植两季作物, 时间序列的 *NDVI* 曲线将呈现出两季作物的物候循环规律。如果将作物的 *NDVI* 的值以时间为横坐标排列起来, 则形成了农作物生长的时间序列 *NDVI* 动态曲线, 它以最直观的形式, 反映了作物从播种、出苗、抽穗、成熟和收割等物理过程。图 1(横坐标为 36 旬, 纵坐标为 *NDVI* 值。(a) 位于黑龙江宝清县 46°2'6"N, 131°1'10"E; (b) 位于河南汝南县 32°5'10"N, 114°5'59"E; (c) 位于广东兴宁县 24°43'N, 115°7'21"E; (d) 位于新疆且末县 36°8'19"N, 83°4'34"E。4 幅图均代表一个像素的值, 是从 2002 年 36 旬 SPOT/VGT *NDVI* 时间序列图像与全国 1km 耕地层叠加后的图像提取的。为了表示方便, *NDVI* 均未换算成标准值, 换算方法是现值 × 0.004 - 0.1) 就是耕地作物 *NDVI* 值随时间变化的典型情况。图 1(a) 说明一年一季作物的 *NDVI* 在一年内形成明显的单峰曲线, 图 1(b) 说明一年两季作物的 *NDVI* 形成双峰曲线, 图 1(c) 说明一年三季作物的 *NDVI* 形成三峰曲线, 图 1(d) 说明裸地的 *NDVI* 形成较平直的曲线。从这 4 个典型的曲线, 可以直观地看到耕地农作物的复种情况。

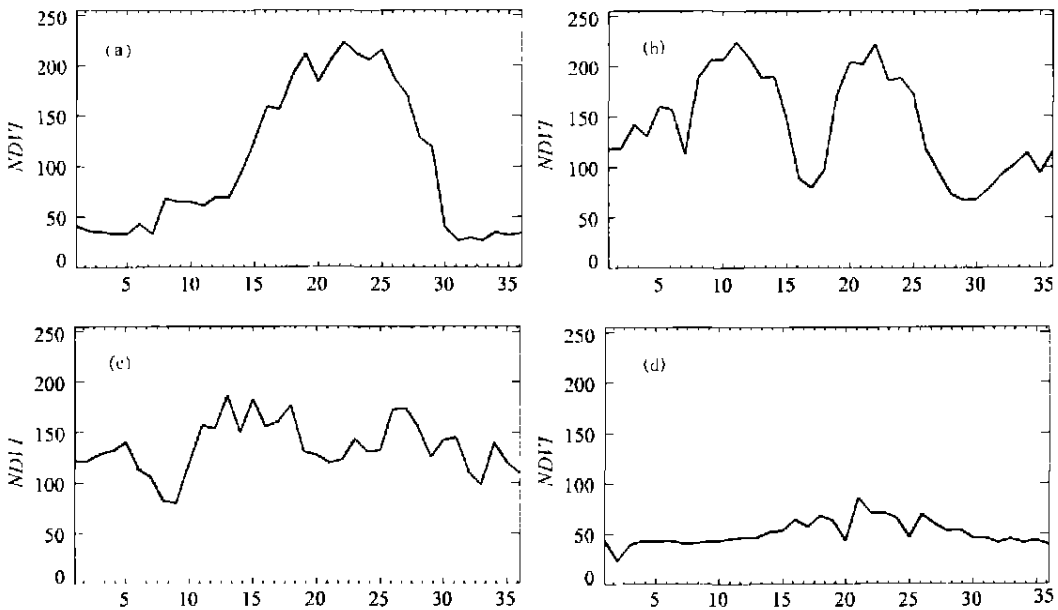


图 1 耕地农作物 *NDVI* 动态变化曲线

Fig. 1 Crop *NDVI* profile

从一年内同一地块作物种植的次数考虑, 复种指数就等于时间序列 *NDVI* 峰值的频数。峰值的频数的提取方法与生育期的提取方法不尽相同, 目前

也尚未见到报道, 而且图 1 所示的锯齿状曲线也不适合直接提取峰值的频数。如果这些曲线不加以处理, 那么曲线既不代表真实情况, 研究人员又没有合

适的办法避开每一个锯齿构成的小“峰”而将曲线真正的“峰”自动提取出来。只有根据时间序列 *NDVI* 曲线锯齿形成的原因, 寻求一种较好的重构办法, 处理成平滑的曲线, 才能够顺利地“峰”自动提取出来。因此, 时间序列 *NDVI* 去云处理与峰值频数提取是复种指数提取的关键。

3 复种指数的提取方法

3.1 复种指数提取流程

图2为全国复种指数提取流程图, 先对时间序列 *NDVI* 图进行分区分割, 然后按不同的区设定不同的参数用 *HANTS* 方法去噪声, 然后求极大值个数。进一步对得到的极大值与设定的参数比较, 如果不一致, 就重新用 *HANTS* 方法对不一致地区进行处理, 如果一致就进行后面的处理。控制重新处理次数在3—4次, 这样除了可以准确识别出一熟带中种植一季的像元、二熟带中种植两季的像元、三熟带中种植三熟的像元, 也可以较好地识别出各熟带中的裸地像元、二熟带中只种植一季的像元以及三熟带中种植一季与两季的像元。处理结果与全国耕地数据层叠加, 提取出全国耕地上的复种指数图像, 这个图像是以像元的形式来表达复种指数的, 进一步使用GIS的功能可将其统计到行政单元或指定的区域。

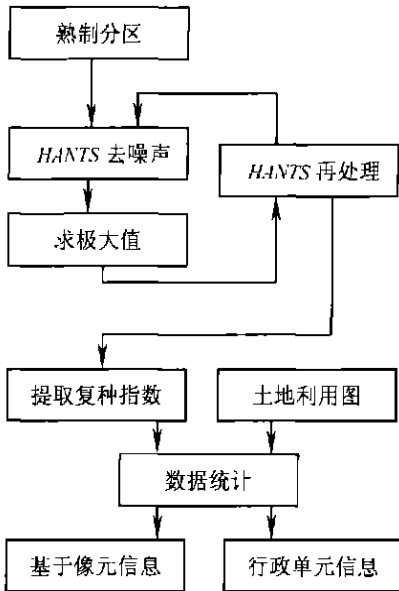


图2 复种指数提取流程图

Fig 2 Flow chart of extracting Cropping Index

3.2 时间序列 *NDVI* 重构

遥感数据是卫星从八、九百公里高空的获取的。

难免要受到传感器本身噪声、大气扰动等的影响。*NDVI* 在构成时通过红波段与近红外波段的线性组合, 以及通过最大值合成法将日 *NDVI* 数据合成旬 *NDVI* 数据, 减弱了这些影响, 但仍然不很理想。因为 *MVC* 方法本身存在两个缺陷。第一, *NDVI* 仍然受太阳、目标、传感器的几何位置的影响^[17-20], 第二, 对反射率的直接影响可能全部保留下来了^[21]。于是 *Saint*^[22] 认为, *MVC* 合成 *NDVI* 时没有考虑地面直接影响, 得到的 *NDVI* 图像是同一区域不同轨道的影像镶嵌而成的人工产物。

上述方法均没有综合考虑较长周期内的遥感图像像素值的变化规律与趋势, 合成的时间序列 *NDVI* 曲线是一种锯齿状的曲线, 依然受云的负面影响, 具体应用时还存在不方便之处, 有必要首先对这些 *NDVI* 曲线进行重构, 因此, 如何有效的去除云的负面影响, 是运用时间序列 *NDVI* 值进行农作物复种指数监测的关键问题。我们使用的时间序列重构方法是 *HANTS* 方法^[23]。

3.3 农作物物候区划

熟制分区是复种指数提取的基础, 是时间序列 *NDVI* 去噪声处理的参数设定要求。频率数是 *HANTS* 方法的关键参数之一, 这个参数如果设置的太小, 最终重构的曲线就过于平滑, 而丢掉了大量的图像周期性信息; 如果设置的太大, 曲线周期短, 不平滑, 可能会存在大量的噪声信息。根据中国农业生产的区域特点设定这个参数是比较好的选择, 如在东北地区, 一年只能种植一季农作物, 农作物生长过程曲线表现为单峰曲线, 尽管可能有裸地的存在, 但是这个地区的频率数设为 1 还是合理的。根据同样的道理, 中国两熟、三熟地区频率数分别设定为 2 和 3。因此, 鉴于这样的考虑, 应首先利用中国的耕作制度区划结果。

中国耕作制度区划^[24] 根据热量条件、水分、地貌及社会经济条件、耕作制与熟制特点、作物类型, 将中国耕作制度分成 3 个带, 12 个一级区, 38 个二级区。这 3 个带就是本文的物候区划^[1]。本文将这个区划结果数字化以后, 与 1999 年至 2002 年的 *VGT NDVI* 数据以及耕地数据进行叠加分析, 发现原区划所示的三个熟带存在一些问题, 特别明显的是一熟带与二熟带的界线, 原区划这个界线偏南。为此本文在此区划的基础上进行了修订。最终区划结果见图 3。

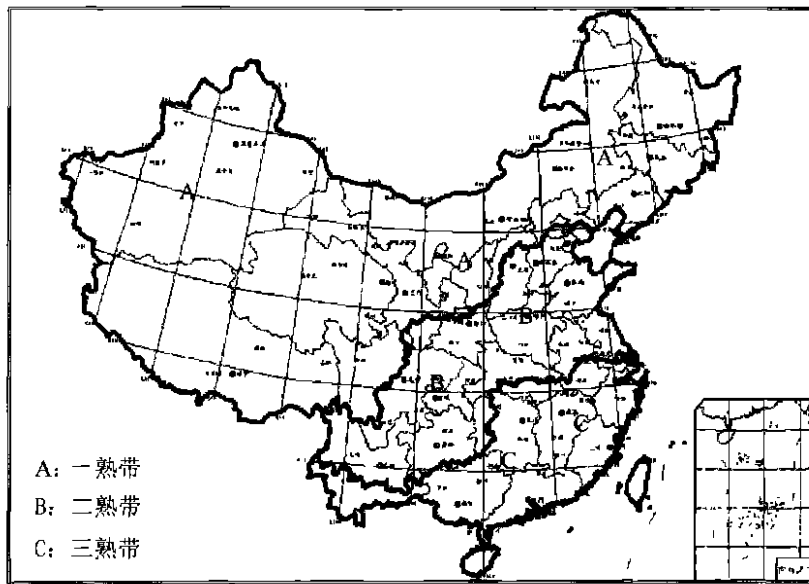


图3 全国复种区划图

Fig. 3 Zoning map of Cropping Index

3.4 峰值频数提取方法

复种指数的提取最终相当于时间序列 $NDVI$ 曲线峰值频数的提取。从数学的观点分析, 可以认为是提取函数的极大值个数。对于连续函数, 如果该函数可导, 那么可以通过求导的办法得到极大值个数, 如果不可导, 则需要寻求其它的办法求取极大值个数。事实上, 时间序列 $NDVI$ 经过 $HANTS$ 重构以后, 仍然是离散点序列, 不是连续函数。因此, 提取峰值频数应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。

假设一个像素构成了包含 N 个元素的离散点系列 S , 由 S 的前后两个元素值的差构成包含 $N-1$ 个元素的点系列 $S1$, 即公式(3)。

$$S1 = \text{diff}(S) \quad (3)$$

diff 为取前后两个元素值差的函数。

接着判断 $S1$ 各个元素值的正负, 如果 $S1$ 的某个元素值小于 0, 就把这个元素的值赋为 -1, 如果大于等于 0, 就把这个元素的值赋为 1, 存为点系列 $S2$, 即公式(4)。

$$S2 = \text{sign}(S1) \quad (4)$$

sign 为判断元素值为正负的函数。

然后, 再求 $S2$ 的前后两个元素值的差, 形成点系列 $S3$, 即公式(5)。

$$S3 = \text{diff}(S2) \quad (5)$$

最后, 将点系列 $S3$ 的元素值为 -2 的元素计

数, 最终求得的极大值个数即为元素值为 -2 的总个数, 即公式 6。

$$\text{Number} = \text{num}(S3 = -2) \quad (6)$$

num 为求元素值为 -2 的元素的计数函数。

这个算法对离散点的峰非常敏感, 可以将每一个小峰都提取出来。但是, 这么灵敏的算法在实际应用时又遇到了两个问题, 一是裸地复种指数提取不准确, 这是由于重构后的 $NDVI$ 曲线, 裸地区域并不是一条平直的直线(图 1(d)), 每一个 $NDVI$ 值的波动都将构成一个“峰”, 这些“峰”都提取出来了, 结果必然不正确, 因此应将裸地的这些“峰”屏蔽掉。本文采用阈值法(公式(7))将裸地的“峰”去掉, 阈值 85(重构的 $NDVI$ 值)是一个经验值, 是在全国复种指数提取时, 经大量试验后确定的。公式(7)中, MI 为复种指数。

$$MI = \begin{cases} 0 & NDVI < 85 \\ \text{极大值个数} & NDVI \geq 85 \end{cases} \quad (7)$$

另一个问题是一熟带、二熟带生长季之外的“峰”以及越冬作物的冬前峰都造成提取结果不准确。生长季的 $NDVI$ 数据反映的是植被的信息, 但生长季之外的 $NDVI$ 数据反映的不是植被的信息, 它的增减就不像植被的 $NDVI$ 的增减有规律, 而且它对提取时间序列 $NDVI$ 曲线的峰值的频数有很大干扰。冬小麦种植区的冬前峰也影响了复种指数提取结果。因此, 为了实现复种指数的统一提取, 本文采用控制时间序列长度的方法来屏蔽生长季之外的

“峰”和“冬前峰”，确定时间序列的长度以各熟带农作物的物候历为依据。

根据 2001 年全国农作物物候历的调查结果，本文对一熟、二熟、三熟带的时间序列的时间进行规定。一熟带取 5 月上旬至 9 月下旬的 *NDVI* 序列，二熟带取 3 月上旬至 9 月下旬的 *NDVI* 序列，三熟带将 11 月、12 月份期间的 *NDVI* 序列接于 1 月份之前，使之形成一个完整的峰。

3.5 数据空间统计

由于本文研究的是农作物，关注的是耕地上的时间序列 *NDVI* 值，因此，有必要准备一层 $1\text{km} \times 1\text{km}$ 的耕地层数据，做叠加分析之用。首先，用 ARCGIS 的 generate 命令生成一张行列为 5300×4300 ，分辨率为 1km 的格网，同时给这个格网的坐标体系设为 Albers，也就是与 $1:100\,000$ 耕地数据的坐标体系相同。然后，依据每一个格网，从 $1:100\,000$ 耕地数据库中统计各种用地类型的面积，如果这个像元中耕地面积大于等于 30%，我们认为这个格网为耕地，按照这个规则将全国计算一遍，最后生成耕地位像。1 代表耕地，0 代表背景值。

根据耕地层与复种指数迭加结果，根据下列公式计算每个省的复种指数。

$$P_i = (\text{value}1 + \text{value}2 \times 2 + \text{value}3 \times 3) / \text{sumpix}_i \times 100 \quad (8)$$

$$N_G = \left[\sum_i p_i(\text{value}1) + \sum_i p_i(\text{value}2) \times 2 + \sum_i p_i(\text{value}3) \times 3 \right] / \sum_i \text{sumpix}_i \times 100 \quad (9)$$

P_i 为第 i 省的耕地复种指数， $\text{value}1$ 、 $\text{value}2$ 、 $\text{value}3$ 分别是复种指数为 1、2、3 的像元的个数， sumpix_i 为第 i 省的耕地像元数， N_G 为全国的耕地复种指数。

4 全国复种指数提取

本文选择了 SPOT/VGT 的旬合成 *NDVI* 数据作为数据源。VGT 是为植被监测设计的，它的光谱波段对植被灌层、物种组合和植被水分含量非常敏感，可以在区域和全球尺度实现陆地植被的每天监测。VGT 数据具有高质量、高可靠性、全球覆盖能力以及 1km 空间分辨率的特点，数据的几何质量是当前宽视场数据最好的。VGT 星下点的空间分辨率为 1km ，在最大观测角 50.5° 时空间分辨率为 $1.7\text{km}^{[25]}$ ，而 NOAA/AVHRR 在最大观测角时空间分

辨率为 $2.3\text{km} \times 4.2\text{km}$ (Cracknell, 1997)，可见，VGT 数据大大减少了空间扭曲。VGT 数据前后像素的重叠在 300m 左右，波段间配准的精度在 200m 左右，绝对地理定位精度在 $300-725\text{m}$ 的范围内^[25]，均在 1 个像素大小之内。VGT 数据的这些属性使其较 NOAA/AVHRR 数据质量高^[27]。而且 VGT 数据从卫星传到地面以后通过标准化的精细处理后才向全球分发，处理步骤包括辐射纠正、几何纠正、大气纠正、云标识、数据质量评价、植被指数计算等。VGT 有 4 个波段，提供 3 个标准产品：VGT-P、VGT-S1 和 VGT-S10。

我们收集了覆盖中国的 1999—2002 年 4 年每旬的 SPOT/VGT 数据，构成复种指数研究的数据集。4 年总计有 144 旬数据，以年度为基准，合成每年 36 旬的数据，作为一个图像文件，然后按上述区划分割，将每年的数据分割成三个熟带，最后对每一个熟带进行 HANTS 重构处理。在这 4 年的数据中，同一熟带使用了相同的处理方法。

5 结果讨论与验证

5.1 结 论

本文按照上述方法提取的复种指数分布图见图 4，表 1 为统计的全国分省复种指数。从图 4 看，4 年的复种指数分布呈现出较一致的趋势，充分说明本文所用方法的稳定性。根据这 4 幅图，复种指数的区域性还是很明显的。东北地区、太行山以西、燕山以北、陕西北部、甘肃天水以北和新疆大部分地区复种指数为 100。黄淮海平原、汾渭谷地、甘肃天水地区以及成都平原复种指数多为 200。长江以南的华中地区、东南地区以及华南的广大地区复种指数为 300。在二熟区也有一部分区复种指数为 100，如环渤海地区、山东半岛、山东中南部地区。而南方稻区也有一些地区复种指数为 200，如广东和广西的部分地区，甚至还有一些地区复种指数为 100，如成都平原的外围，特别是重庆周围的地区。另外，从这 4 幅图也可以看出，我国南方双季稻区复种指数从 1999 年以来迅速下降，虽然 2001 年有所回升，但总趋势是下降，最为明显的就是湖南、江西、浙江稻区。

5.2 实例验证

5.2.1 样区验证

为了进行方法的验证，在 2002 年在吉林省双阳区、河北省栾城县、湖北省新洲区、江苏省江宁区各

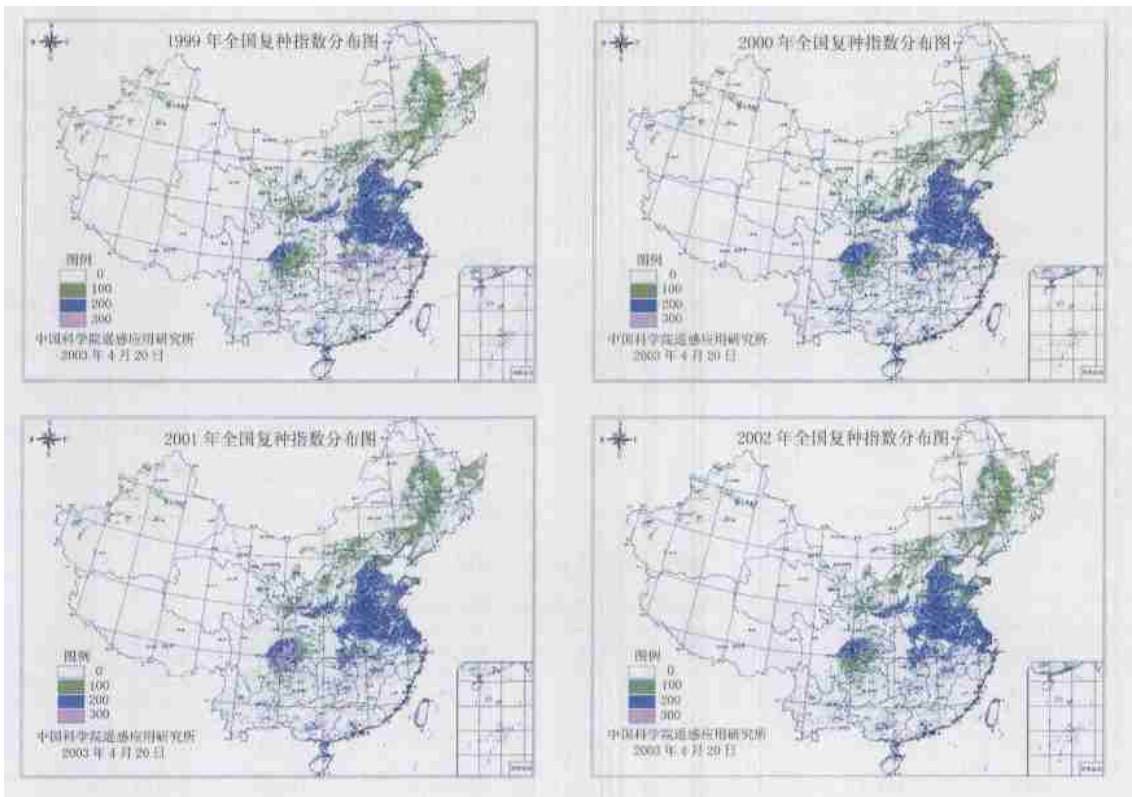


图 4 复种指数分布图

Fig. 4 Map of Cropping Index

表 1 中国分省的复种指数

Table 1 Multicropping Index of Provinces over China

省市区	1999年	2000年	2001年	2002年	省市区	1999年	2000年	2001年	2002年
全 国	156.8	153.4	157.7	151.1	河 南	183.8	194.5	193.7	194.0
北 京	158.2	143.7	132.8	113.4	湖 北	199.5	187.2	173.0	189.3
天 津	145.1	138.4	137.5	128.2	湖 南	272.2	187.3	202.9	181.1
河 北	161.4	161.7	160.4	153.5	广 东	229.4	210.4	252.1	226.5
山 西	116.4	126.4	121.6	123.8	广 西	208.6	221.3	237.5	202.7
内 蒙 古	98.8	98.3	95.3	99.8	海 南	274.9	226.1	250.8	248.2
辽 宁	99.9	99.9	99.9	99.9	重 庆	107.6	119.3	161.0	121.1
吉 林	100.0	99.8	99.8	100.0	四 川	145.1	159.2	194.4	148.9
黑 龙 江	100.0	100.0	99.9	100.0	贵 州	150.8	149.4	134.2	136.1
上 海	206.4	192.3	230.5	198.3	云 南	203.8	218.2	203.8	202.6
江 苏	199.6	198.1	197.4	198.0	西 藏	100.0	100.0	100.0	100.0
浙 江	245.2	188.5	206.6	197.9	陕 西	111.5	126.0	128.7	143.3
安 徽	210.6	198.2	195.7	197.0	甘 肃	100.4	102.4	103.8	103.8
福 建	250.4	228.1	238.4	203.2	青 海	96.5	92.9	92.5	95.3
江 西	285.4	205.8	241.4	210.3	宁 夏	77.6	65.2	61.9	89.4
山 东	178.2	183.3	179.1	165.3	新 疆	95.9	93.3	92.6	96.7

布设了 1 个地面样区, 样区的大小的 $5\text{km} \times 5\text{km}$, 在样区内用 1:1 万土地利用图提取复种指数, 验证结果见表 2。根据表 2, 河北栾城与吉林双阳取得了很好的精度, 湖北新洲的相对误差为 3.8%, 江苏江宁的相对误差为 4.0%。

表 2 2002 年复种指数样区验证结果

Table 2 Validation of Cropping Index from Sites in 2002

样区	样区结果	监测结果	单位/ %	
			绝对误差	相对误差
江苏江宁	200	192	- 8	4.0
湖北新洲	261	271	10	3.8
河北栾城	200	200	0	0
吉林双阳	100	100	0	0

表 3 TM 获取结果与验证

Table 3 Results from multidate TM and validation

县名	VGT2001/ %	TM2001/ %	绝对误差/ %	相对误差/ %	VGT2002/ %	TM2002/ %	绝对误差/ %	相对误差/ %
扶沟	200.0	193.1	3.6	1.9	200.0	184.4	8.4	4.6
太康	200.0	192.5	3.9	2.0	200.0	187.4	6.7	3.6
民权	199.9	175.8	13.7	7.8	199.7	176.4	13.2	7.5
睢县	200.0	190.8	4.8	2.5	200.0	180.8	10.6	5.9
鄢陵	198.6	193.7	2.6	1.3	196.6	184.6	6.5	3.5
长葛	200.0	195.3	2.4	1.2	200.0	184.4	8.5	4.6
原阳	200.0	174.8	14.4	8.2	200.0	177.2	12.9	7.3
封丘	200.0	173.4	15.3	8.8	200.0	159.8	25.2	15.8
通许	198.4	189.5	4.7	2.5	199.0	165.4	20.3	12.3
杞县	200.0	193.1	3.6	1.9	200.0	177.9	12.4	7.0
尉氏	200.0	189.5	5.6	3.0	200.0	163.1	22.7	13.9
开封	198.7	168.4	18.0	10.7	198.9	163.6	21.5	13.1
兰考	200.0	170.6	17.2	10.1	199.9	163.2	22.5	13.8
开封县	197.2	166.2	18.7	11.3	197.6	163.6	20.8	12.7

从表 3 看, 2001 年这几个县的绝对误差在 2.4%—18.7% 的范围内, 相对误差在 1.2%—11.3% 的范围内, 2002 年绝对误差在 6.5%—25.2% 的范围内, 相对误差在 3.5%—15.8% 的范围内。1km 尺度的 Vegetation 数据存在大量的混合像元, 在复种指数提取过程中没有考虑混合像元的影响, 而且认为这 1km 都是耕地, 提取结果实际上反映的是 1km 像元的综合情况, 而用 TM 是将非耕地去掉以后才提取的复种指数, 这之间肯定存在一些误差。

5.2.3 其他验证

复种指数监测的全国值 1999 年为 156.8, 2000 年为 153.4, 2001 年为 157.7, 2002 年为 151.1。根据

5.2.2 TM 验证

表 3 为 2001 年和 2002 年河南开封市周围多期 TM 数据提取的复种指数与本文所述方法提取的复种指数对比结果。2001 年的复种指数是从 2001 年 3 月 8 日、2001 年 4 月 1 日、2001 年 4 月 25 日、2001 年 7 月 6 日 4 期 TM 构成的数据集提取的, 2002 年的复种指数是从 2002 年 3 月 19 日、2002 年 7 月 9 日、2002 年 8 月 10 日 3 期 TM 构成的数据集提取的。提取方法是根据“中国农情遥感速报系统”提取农作物种植面积的数据处理方法提取每期数据的农作物种植面积, 然后根据开封地区农作物的作物历, 确定每个地区每一季农作物的种植面积, 根据两季作物的种植面积与该地区的耕地面积计算复种指数。

《中国农业统计资料》1999 年为 155.09, 2000 年为 120.28, 2001 年为 119.74。由于从 2000 年以来, 统计数据未知原因的突然下降, 我们无法比较。但 1999 年的结果呈现出很好的一致性。另外根据其他人的研究结果, 1993 年为 155.43^[28], 1995 年为 158^[29], 刘巽浩预测 2000 年为 160, 2010 年将达到 166 左右, 都为本文结果的可靠性提供了有力的佐证。

5.3 讨论

复种指数与时间序列 *NDVI* 曲线关系, 本文仅进行了初步的分析, 复种指数与时间序列 *NDVI* 的

深层次关系还有待于广泛开展实验深入研究。中国农作物种植制度也不只是一年一熟、一年二熟与一年三熟三种形式,还有二年三熟、三年四熟、五熟的种植制度,如何更加细致地区分这些种植制度,准确提取复种指数也是应该详细考虑的。

本文的对比验证工作是在有限的条件下开展的,如使用高分辨率的TM数据进行对比验证,由于数据费用比较高,只能是在一个区域进行,验证结果也只能适用于这个区域。今后需要加强进行其他地区的验证,以进一步检验本文所提出的方法。

6 结 论

复种指数是反映水土光与自然资源利用程度的指标,是在作物生长期内耕地的利用次数。植被指数是反映作物生长状态最为直接的遥感指标。联系复种指数与时间序列NDVI曲线的纽带是农作物年内的循环规律。复种指数反映了时间序列的耕地利用程度,而耕地利用程度的变化影响着耕地作物的物候变化。时间序列的NDVI曲线蕴涵着耕地作物的循环规律,如果将作物的NDVI的值以时间为横坐标排列起来,则形成了农作物生长的时间系列NDVI动态曲线,它以最直观的形式,反映了作物从播种、出苗、抽穗、成熟和收割等物理过程。时间序列的NDVI曲线形成了非常明显的峰与谷,“峰”对应于农作物的抽穗生育期,“谷”对应于上季作物收获。因此通过对“峰”和“谷”及持续时间或相离时间的判断可以确定出像元级的复种指数。但是时间序列的NDVI曲线由于受云的影响,其曲线并不是一条平滑的曲线,不能直接用来提取复种指数,本文采用能真实再现曲线周期的HANTS的方法重构NDVI曲线,然后分区设定参数迭代处理,最后采用求极值的方法提取了4年的复种指数,4年结果的对比表明了本文方法的稳定性。与地面样区观测结果及统计数据的对比,精度较高。

参 考 文 献 (References)

- [1] Liu X H. Cultivation[M]. Beijing: China Agricultural Press, 1996, 1—9. [刘巽浩. 耕作学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1996, 1—9.]
- [2] Xin J F, Yu Z R, Driessen P M. Monitoring Phenological key Stages of Winter Wheat with NOAA NDVI Data[J]. *Journal of Remote Sensing*, 2001, 6(5): 442—447. [辛景峰, 宇振荣, P. M. Driessen. 利用 NOAA NDVI 数据集监测冬小麦生育期的研究[J]. 遥感学报, 2001, 6(5): 442—447.]
- [3] Daniel O C, Ferranda J G, Haverkort A J. Agro-ecological Zoning and potential yield of single or double cropping of potato in Argentina [J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2001, 109: 311—320.
- [4] Ati O F, Stigter C J, Oladipo E O. A comparison of Methods to Determine the Onset of the Growing Season in Northern Nigeria[J]. *International Journal of Climatology*, 2002, 22: 731—742.
- [5] Gallo K P, Flesh T K. Large-Area Crop Monitoring with the NOAA AVHRR: Estimating the Silking Stage of Corn Development[J]. *Remote Sensing of Environment*, 1989, 27: 73—80.
- [6] Reed B C, Brown J F, Vander Z D. Variability of Land Cover Phenology in the United States[J]. *Journal of Vegetation Science*, 1994, 5: 703—714.
- [7] Moulin S, Kergoat L, Viovy N. Global-scale Assessment of Vegetation Phenology Using NOAA/AVHRR Satellite Measurements[J]. *Journal of Climate*, 1997, 10: 1154—1170.
- [8] White M A, Thornton P E, Running S W. A Continental Phenology Model for Monitoring Vegetation Responses to Interannual Climatic Variability[J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 1997, 11: 217—234.
- [9] Zhou L, Tucker C J, Kaufmann R K. Variations in Northern Vegetation Activity Inferred from Satellite Data of Vegetation Index During 1981 to 1999[J]. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 2001, 106 (D17): 20069—20083.
- [10] Per J, Lars E. Seasonality Extraction by Function Fitting to Time-series of Satellite Sensor Data[J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2002, 40(8): 1824—1832.
- [11] WANG Y Y, Malingreau J P. The possibility for using NOAA-AVHRR to monitor the crops condition in Jiangsu Province[J]. *Remote Sensing of Environment China*, 1990, 5(3): 221—227. [王延颐, J P Malingreau. 应用 NOAA/AVHRR 对江苏省作物进行监测的可行性研究[J]. 环境遥感, 1990, 5(3): 221—227.]
- [12] JING F X, ZHEN R Y, Louise L, et al. Mapping Crop Key Phenological Stages in the North China Plain using NOAA Time Series Images [J]. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2002, 4: 109—117.
- [13] Groten S M E. NDVI-crop Monitoring and Early Yield Assessment of Burkina Faso[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1993, 14 (8): 1495—1515.
- [14] Jiang D, Wang N B, Yang X H, et al. Principles of the Interaction Between NDVI Profile and the Growing Situation of Crops[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(2): 248—254. [江东, 王乃斌, 杨小唤等. NDVI 曲线与农作物长势的时序互动规律[J]. 生态学报, 2002, 22(2): 248—254.]
- [15] HOU Y Y, WANG S L. Study on the Model of Crop Yield Estimating Based on NDVI and Temperature[J]. *Geography and Territorial Research*, 2002, 18(3): 105—107. [侯英雨, 王石立. 基于作物植被指数和温度的产量估算模型研究[J]. 地理学与国土研究, 2002, 18(3): 105—107.]
- [16] Justice C O, Townshend J R G, Holben B N, Tucker C J. Analysis of the Phenology of Global Vegetation Using Meteorological Satellite Data[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1985, 6: 1271—1318.
- [17] Gutman G G. Vegetation Indices from AVHRR: an Update and Future Prospects [J]. *Remote Sensing of Environment*, 1991, 35: 121—136.

- [18] Cihlar J, Manak D, Voisin N. AVHRR Bidirectional Reflectances Effects and Compositing. [J]. *Remote Sensing of Environment*, 1994, **48**: 77—88.
- [19] LI Z, Cihlar J, ZHENG X, Moreau L. The Bi-directional Effects of AVHRR Measurements over Boreal Regions [J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 1996, **34**(6): 1308—1322.
- [20] Duchemin B. NOAA-AVHRR Bidirectional Reflectance: Modeling and Application for the Monitoring of a Temperate Coniferous Forest Ecosystem [J]. *Remote Sensing of Environment*, 1999, **67**: 68—82.
- [21] Breon F, Vanderbilt M, Leroy V M, Bicheron P, Walthall C L, Kalshoven J E. Evidence of Hot Spot Directional Signature from Airborne POLDER Measurements [J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 1997, **35**(2): 479—484.
- [22] Saint G. VEGETATION Products Specifications, Version 2. Joint Research Centre, Space Applications Institute, ISPR, VA, Italy, 1999.
- [23] Roenink G J, Menenti M, Verhoef W. Reconstructing Cloudfree NDVI Composites Using Fourier Analysis of Time Series [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2000, **21**(9): 1911—1917.
- [24] Liu X H. Cropping System in China [M]. Beijing: Agricultural Press, 1993, 12—15. [刘巽浩. 中国耕作制度 [M]. 北京: 农业出版社, 1993, 12—15.]
- [25] Stroppiana D, Pinock S, Pereira J M C, Gr goire J M. Radiometric Analysis of SPOT-VEGETATION Images for Burnt Area Detection in Northern Australia. [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2002, **82**: 21—37.
- [26] Cracknell A P. The Advanced Very High Resolution Radiometer. London: Taylor & Francis, 1997.
- [27] Bartholome E, Belward A S, Achard F et al. Global Land Cover Mapping for the Year 2000: Project status November 2002, Presentation Available at: <http://www.gvm.sai.jrc.it/glc2000/Publications>.
- [28] Shi J T, Liu M J, Li J. Multicropping and Sustainable Development in Grain Production of China [J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 1998, **16**(1): 51—57. [史俊通, 刘孟君, 李军. 论复种与我国粮食生产的可持续发展 [J]. 干旱地区农业研究, 1998, **16**(1): 51—57.]
- [29] Liu X H. Study on Potential of Multicropping Index of Arable Land in China [J]. *Crop Magazine*, 1997, **3**: 1—3. [刘巽浩. 论我国耕地种植指数(复种)的潜力 [J]. 作物杂志, 1997, **3**: 1—3.]

A Methodology for Retrieving Cropping Index from NDVI Profile

FAN Jiu-long, WU Bing-fang

(Institute of Remote Sensing Applications, CAS, Beijing 100101, China)

Abstract: Cropping index is a very important indicator, which reflects the situation and degree of arable land to be used by a certain planting system at a certain period.

Crop growth dynamic can be monitored by the time series of *NDVI* data. The differences of crop growth show in the curve of time series of *NDVI* clearly. The curve of time series of *NDVI* describes the crop process of seeding, jointing, tasseling, and harvesting and so on. There exist some peaks and valleys on the curve of time series of *NDVI*. These peaks correspond the period of crop tasseling, and valleys the period of crop harvesting. The link that connects the cropping index with a time series of *NDVI* is the seasonal rhythm of agricultural crops in a year. Time series of *NDVI* contain the rhythm of vegetation growth and wilt.

But due to cloud contamination, the curve of time series of *NDVI* has a lot of noise. This paper tried to remove the cloud contamination from the curve of time series of *NDVI* with the assistance of *HANTS* software. The reconstructed time series of *NDVI* can accurately reflect the biophysical processes of planting, seedling, elongating, heading, harvesting of agricultural crops. So according to the period of time series of *NDVI*, the dynamic information of crop under cultivated land can be extracted and cropping index of arable land can be further calculated. The paper presents a remote sensing method for extracting the cropping index and then extracted the cropping index from 4 years of VEGETATION decadal composite time series of *NDVI* over the period of 1999 to 2002. The validation results show a high accuracy compared to the 4 test sites ground data and other available information.

Key words: cropping index; time series of *NDVI*; remote Sensing