

文章编号: 1007-4619(2004)06-0498-17

农作物长势综合遥感监测方法

吴炳方, 张 峰, 刘成林, 张 磊, 罗治敏

(中国科学院 遥感应用研究所, 北京 100101)

摘 要: 作物收获之前进行大范围作物生长状况评价, 可以尽早的获得有关作物产量信息。介绍了中国农情遥感监测系统的综合作物长势监测方法。以遥感数据标准化处理、云标识、云污染去除和非耕地去除为基础, 生成质量一致的遥感数据产品集, 提取区域作物生长过程。作物长势监测分为实时作物长势监测和作物生长趋势分析。实时的作物长势监测可以定性和定量地在空间上分析作物生长状况, 分级显示作物生长状况, 分区域统计水田和旱地中不同长势占的比重。作物生长趋势分析可以进行年际间的生长过程对比, 从时间轴上反映作物持续生长的差异性, 统计全国、主产区、省和区划单元 4 个尺度的耕地、水田、旱地作物生长过程曲线年际间差异, 从而为早期的产量预测提供信息。通过处理流程的系统化, 建设了运行化的作物长势遥感监测分析系统, 为用户构建了综合的作物实时生长状况、苗情的生长趋势分析环境。同时可以依据野外地面实测信息对遥感监测结果进行标定和检验。1998 年以来, 系统在满足日常运行的前提下, 技术方法逐渐改进和完善, 监测结果的精度和可靠性不断得到提高。

关键词: 作物长势; 遥感; 时序

中图分类号: TP79 **文献标识码:** A

1 引 言

从国家最高决策者到期货市场及农户都需要作物长势信息。在农作物生长期尽早掌握农作物生长形势在一定情况下比精确估计作物种植面积和总产量本身还重要。尤其对于可能出现的大规模的粮食短缺或盈余, 尽早的获取作物长势信息显得更为重要^[1]。利用遥感技术监测作物的长势包括作物的苗情、生长状况及其变化等^[2], 从中可及时获取作物产量信息^[3]。

农作物长势监测指对作物的苗情、生长状况及其变化的宏观监测, 可以分为随时间变化的监测和长势空间分布状况监测^[3]。早在 20 世纪 80 年代就有人利用多时相的 LANDSAT MSS 数据提取时序植被指数曲线对作物生长状况进行评价^[4], 利用 NOAA 数据进行作物长势监测^[5]。1985 年美国 FC-CAD(The Foreign Crop Condition Assessment Division)项

目利用卫星以及能够得到的气象、土壤信息进行作物长势评价, 建立了作物生长植被指数参考图像数据库; 按不同地类的面积比重来进行像元的分解, 确定典型作物的生长曲线; 同时考虑像元的质量问题, 通过设定植被像元的阈值和区域统计单元内无云像元的比例, 保证最大限度的利用作物信息, 降低非植被的影响^[6]。Tappan 等在非洲地区利用植被指数进行作物生长状况评价, 通过尽早了解作物生长状况, 进行灾荒预警^[7]。王延颐等利用多年 NOAA AVHRR 数据对种植结构和大气条件都很复杂的区域进行作物的生育期、长势状况及产量宏观监测^[8]。江东等对 NDVI 曲线与农作物长势的时序互动规律进行了研究^[9]。

作物生长受到多因素的影响, 因此进行作物长势评价也需要采用综合方法。李龙澎就小麦生长过程涉及降水、时间、土壤、温度、品种以及田间管理等诸多因素, 采用多级模糊的方法进行了综合评价^[10]。张雪芬在地理信息系统支持下, 通过植被指

收稿日期: 2003-09-15; 修订日期: 2004-02-23

基金项目: 中国科学院 95 重大项目(KZ951-A1-302-02)和特别支持项目(KZ95T-03-02); 中国科学院知识创新重要方向项目(KZCX2-313); 科技部十五攻关项目(2001BA513B02)。

作者简介: 吴炳方(1962—), 男, 江西玉山人, 中国科学院遥感应用研究所研究员, 主要从事遥感应用方面研究, 包括生态环境监测、农作物监测等。E-mail: wubf@irsa.ac.cn

数图与地形图、土壤质地图、政区图、年降水量图、年平均气温图、小麦生育期积温图等图件叠加、分层,同时依据地面资料进行作物苗情分级,提高小麦苗情遥感解译精度^[11]。李剑萍等利用气象卫星的比值植被指数和地面观测资料,采用监督分类和非监督分类相结合的自组织迭代法进行作物长势监测^[12]。但从农业部门习惯角度,由于去年的收成是已知的,通过与去年的作物长势进行比较,便于早期估产^[13]。

长势模型根据功能可以分为评估模型与诊断模型。评估模型可分为逐年比较模型与等级模型,目前作物长势分等定级没有统一的标准,诊断模型包括作物生长的物候与阶段、肥料盈亏状况、水分胁迫(干旱评估)、病虫害的蔓延、杂草的发展等^[13]。

1996 年以来加拿大统计局依据每周长势对比图和 *NDVI* 过程线进行作物长势监测。作物长势监测图从像元尺度进行年际间作物长势对比,对比方式包括当前生长季节内与同一生长季节内前几周对比、与上年生长季内的同一周的对比、与正常值的对比,以及与正常 *NDVI* 最大值的比值等。其中正常值主要指历史上所有 *NDVI* 值图像的平均值^[14]。用户可以通过 GIS 图形界面,了解何处何时作物每周的作物生长情况,包括长势差、好、持平等变化。在日常监测的同时,发展了定量的技术,通过对每周的农田、草地 *NDVI* 的平均值分析,去除云的影响,灵活的进行各年间的对比^[14,15]。1998 年出于为商业活动服务的目的,设计出能够灵活进行定性分析的系统,可进行当年与上一年,与以往指定年的比较,及时地为用户提供定性的作物长势好坏信息。系统还可依据温度和湿度是否超过了正常的范围,进行气象信息异常的预警分析^[16]。

1998 年美国国家统计局对堪萨斯州小麦长势进行了监测,采用实时数据与多年平均数据对比的方法来描述作物生长状况,将长势状况分为特别好、好、正常、差、极差 5 类,反映作物生长与时间的关系。利用 8 年的植被指数数据集来定义作物生长的平均状况,当年的值可以直接与其他年以及平均值进行比较。同时认为在相同物候阶段相比较的更具有可信度。还从时序 *NDVI* 曲线特征参数包括上升速率、下降速率和 *NDVI* 平均值角度对作物的长势和外在因素进行分析。采用像元值平均方法提取区域植被指数过程,将作物生长期内的植被指数过程线与上一年进行对比。此技术方法应用在 1998 年美国玉米种植带的旱灾监测^[17]。

欧盟自 1998 年充分利用 CORINE 1:10 万土地覆盖数据库的成果,建立了基于 *NDVI* 过程的长势监测方法。采用区域加权平均方法进行区域作物生长状况评价。在作物生长季节内,系统每 10 天分别对欧共体、区域和国家 3 个尺度上进行作物监测,反映作物的缺水、干旱等情况,每 2 周向欧共体农业总部提供农业生产形势监测报告,每月发布 1 期综合通报。经过 13 年的建设和运行,方法和系统已经可以在非洲等国家开展作物长势监测^[18,19]。

中国农情遥感监测系统自 1998 年以来利用当年的 *NDVI* 图像与去年同期图像比较的方法监测大范围作物的长势,差值图像按值大小分成 5 级(差、稍差、持平、稍好和好),每旬监测一次,运行化程度很高^[20]。并以此为基础,通过综合农业气象分析,作物长势实时监测和生长过程监测,在县、区划单元、省、主产区、全国 5 个尺度上进行作物生长过程线监测。并基于耕地、水、旱田分别进行统计分析,通过地面观测进行验证,形成综合的农作物长势监测技术体系,建成了作物长势遥感监测系统,本文是对该系统及其技术方法的介绍。

2 农作物长势遥感监测的基础

作物长势监测不仅为农业生产的宏观管理提供客观的依据,而且为作物产量估测提供必不可少的资料。农作物长势监测指对作物的苗情、生长状况及其变化的宏观监测,要求能够及时地全面反映农情。农情即农业生产的情况,农情监测是对农业生产过程的监测^[21]。尽管作物的生长状况受多种因素的影响,其生长过程又是一个极其复杂的生物生理过程,但其生长状况可以用一些能够反映其生长过程并且与该过程密切相关的因子进行表征。研究表明可用叶面积指数 *LAI*(Leaf Area Index)来反映作物的生长状况,而且可以以叶面积指数作为主要指标进行农作物估产。作物的叶面积指数是决定作物光合作用速率的重要因子,叶面积指数越大,单位面积的作物穗数越多或作物截获的光合有效辐射就越大。遥感影像的红波段和近红外波段遥感信息计算的植被指数与作物的叶面积指数、太阳光合有效辐射、生物量成正相关^[22],其中归一化植被指数 *NDVI* 是最为常用的指标^[23],与 *LAI* 具有很好的相关关系,在农作物长势监测和估产中,可作为能够反映作物生长状况的指标。作物的 *NDVI* 值与作物的长势之间存在着一定的正相关关系,*NDVI* 值可以作为作

物长势情况的一种反映。人们可以通过多年遥感资料累积,计算出常年同一时段的平均植被指数,然后由当年该时段的植被指数与常年值的差异程度作为衡量指标,来判断当年作物长势优劣^[24]。

农作物长势监测主要包括实时监测和过程监测。实时监测主要指利用实时 *NDVI* 图像的值,通过其与去年或多年平均,以及指定某一年的对比,反映实时的作物生长差异,可以对差异值进行分级,统计和显示区域的作物生长状况。

过程监测主要是通过时序 *NDVI* 图像来构建作物生长过程,通过生长过程的年际间的对比来反映作物生长的状况,也有称随时间变化监测。作物生长期中,通过卫星绿度值随时间的变化,可动态的监测作物的长势。且随着卫星资料的积累,时间变化曲线可与历年的进行比较,如与历史上的高产年、平年和低产年,以及农业部门习惯的上一年等。通过比较寻找出当年与典型年曲线间的相似和差异,从而作出对当年作物长势的评价^[18]。可以统计生长过程曲线的特征参数包括上升速率、下降速率、累计值等各种特征参数,借以反映作物生长趋势上的差异,从而也可得到作物单产的变化信息。

对于多光谱遥感影像,作物生长初期,随着作物生长,叶子结构中叶孔的增加,叶子表面散热能力增强,近红外波段值逐渐增加,叶绿素吸收能力增强,红波段的值逐渐减少, *NDVI* 值逐渐增加;而在作物生长末期,由于枝干由绿色变为黄色,叶绿素吸收能力减小,相应的红波段的反射值将会增加,叶面的叶孔相对收缩,散发的热量降低,近红外波段的值将会减小,因此 *NDVI* 有明显的下降^[25]。因此利用近红外波段和红波段的线性组合可以很好的反映作物的生长过程特征。如果将作物的 *NDVI* 值以时间为横坐标排列起来,便形成作物生长的 *NDVI* 动态迹线、它以最直观的形式反映作物从播种、出苗、抽穗到成熟收割 *NDVI* 的变化过程^[9]。以河北省石家庄地区为例,用 *NDVI* 曲线模拟的冬小麦长势完全符合冬小麦的干物质积累过程^[26]。河南省高、中、低产县的冬小麦 *NDVI* 的时间曲线呈现出明显的规律性,这种规律性与冬小麦不同生育阶段的生长、发育进程密切相关^[27]。因此作物种类不同, *NDVI* 曲线具有不同的特征。同类农作物生长环境和发育状况的变化也会造成 *NDVI* 时间曲线的波动。不但个别时段 *NDVI* 值有所改变,而且曲线形态也会发生变化,因此曲线的形态特征有时比个别时段的曲线值更能反映作物生长状况和趋势。因此通过对农作物时

序 *NDVI* 曲线的分析,不但可以了解实时作物的生长状况,而且还能够反映作物生长的趋势,作物 *NDVI* 曲线的提取与分析是作物长势监测的基础。

利用曲线形态变化与作物苗情变化的响应关系,提取 *NDVI* 曲线的特征参数,推测作物的生长发育状况,监测作物长势^[26]。例如 *NDVI* 的下降速率如果很大,意味着作物迅速枯萎,对作物的蜡熟有直接影响。而作物特定生育期内, *NDVI* 的累计值与其最终生物量(或产量)有较好的相关关系,可以依据此值进行年际间对比,从而定量的进行生长情况分析,为作物产量的计算提供依据^[26]。不同地区影响作物长势因素不同,曲线特征参数变化具有区域性,需结合农业气象信息和地域性的特点。如东北地区作物在生长的前期很少涉及缺水的影响,长势主要受后期早霜的影响,如果后期遭到早霜,时序 *NDVI* 曲线在峰值后会迅速下降,如 2002 年黑龙江省虎林市 9 月下旬突降大雪,对作物收获造成了灾难性的损失。而在华北地区,由于旱地作物的生长主要受早期缺水的影响,会造成时序 *NDVI* 曲线峰前的上升速度减小,最终也会影响到峰值的大小。而中国的南方地区,水稻的最终产量主要与生长期的长短有关,与时序 *NDVI* 曲线峰形有关,即与“胖”、“瘦”有关。因此需要提取时间过程曲线的特征参数(峰值、上升、下降速度等)。通过不同年份的特征参数与产量的相关分析,从中筛选出敏感的参数因子,从而进行作物长势的定量监测。

3 数据处理

3.1 数据准备与预处理

作物长势监测需要时间频率高、范围大的遥感影像数据。研究中主要利用 NOAA AVHRR 和 SPOT VGT 每旬的 *NDVI* 数据,其中前者用于国内,自 1991 年以来积累了时间序列数据;后者用于国外,自 1998 年以来积累时间序列遥感数据。SPOT 卫星的 VGT 装置接收的 1km 分辨率的数据由 4 个通道组成,分别是蓝、红、近红外、中红外波段。SPOT VGT 实时数据通过网上订购方式获取,数据大约延迟三、四天的时间,历史数据部分从网上免费数据源中下载。订购的 SPOT VGT 影像在接收和预处理过程中,已经经过了辐射纠正、大气纠正和几何纠正,是标准的 *NDVI* 数据产品。

NOAA AVHRR 数据能在大范围时间/空间尺度

上监测地表变化,其通道 1 可见光和 2 近红外波段可反映地物对太阳辐射的反射特性,能够对植被、云、湖泊、海岸线、雪、冰和气溶胶等进行观测。通道 4 和 5 红外波段数据可测定陆地、水体和海洋以及它们上空的云的温度辐射能量。NOAA AVHRR 数据的获取主要是中国科学院遥感应用研究所气象卫星数据接收平台,每天接收白天过境的 2 个轨道数据,覆盖中国中、东部大部分地区,而覆盖西部地区的第 3 轨道数据通过其他途径如购买方式获得,部分通过美国 NASA 网站下载。每日将全国范围的 3—4 轨 NOAA AVHRR 数据通过辐射定标、大气纠正和双向反射纠正等步骤嵌成全国范围的 AVHRR 影像图,利用通道 1 和通道 2 计算 *NDVI* 值,采用旬最大 *NDVI* 值法合成旬 AVHRR 影像。

未经预处理的遥感数据受水汽和气溶胶的影响很大,如果直接用这些数据开展作物长势监测,将影

响到监测结果的可靠性。为了保证数据年与年之间、旬与旬之间的可比性,须进行定量处理。大气的随机性和非均匀分布,决定了只依赖光学遥感信息定标还不够,必须进行大气影响纠正。另外由于地物的双向反射特性,对于大视场角的遥感仪器获得的遥感资料,须对可见光和近红外波段进行二向反射订正。SPOT VGT 旬合成数据已经经过水汽柱、臭氧等大气订正,未来需要考虑对气溶胶影响的补充订正。NOAA AVHRR 数据的大气订正采用 SMAC (Simplified Method for the Atmospheric Correction) 方法^[28],该方法简化了 6S 模型,其中对气溶胶的估算,利用能见度反演算法^[29]。SMAC 方法通过计算大气穿透率(包括水蒸气、臭氧、氧气、二氧化碳 CO₂)订正和气溶胶散射(主要对 550nm 光学厚度的汽溶胶散射和瑞利散射)订正(图 1),图 1 中上半部为经过大气纠正后,下半部为原始影像,通过对比,

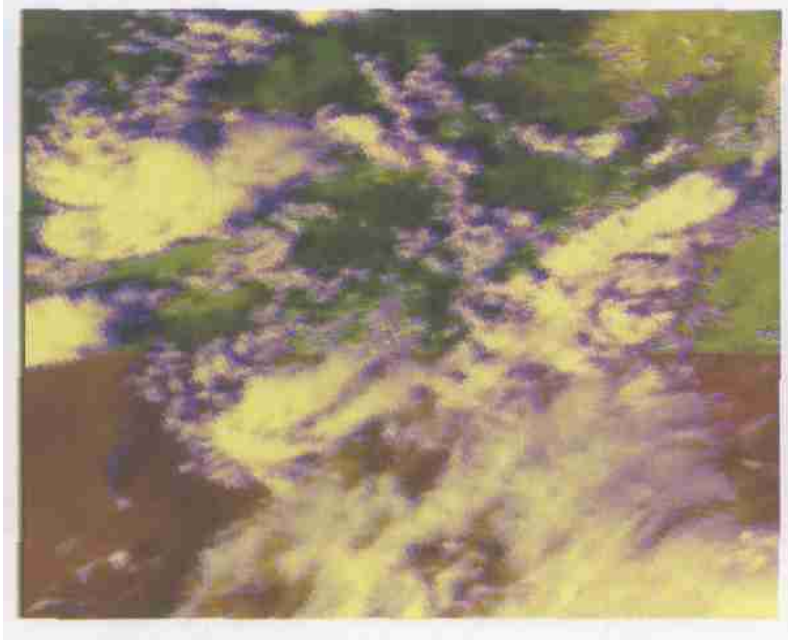


图 1 NOAA AVHRR 影像大气纠正结果(上半部为纠正后,下半部纠正前)

Fig. 1 Result of atmospheric correction for NOAA AVHRR (Up: result image; Down: raw image)

处理结果可以有效的消除大气的影响,反映地面的真实情况。利用植被“二向性反射”模型反演确定组分波谱参数,进行了 1 和 2 通道的“二向反射模型”订正^[30](图 2),就是把不同角度的反照度按照模型归一化到 45°太阳入射角和垂直观测的位置。图 2 显示了单景影像的二向反射模型纠正前后对比结果,影像下部的河流处理后结果比原始影像更加清晰,植被的分布特征也更加明显。

遥感数据获取过程中经常受到云的影响,有云

区域无法进行对比,因此必须依据数据的客观性,在遥感影像标出云的位置。NOAA 数据的云检测是在数据定标与校正基础上,采用修正后的 CLAVR (Clouds From AVHRR) 方法^[31,32],该方法利用 AVHRR 数据 5 个通道多光谱信息,以决策树的方式,基于 2×2 像元窗口,通过固定半经验的优化初始值去判别干净像元(无云)、混合像元(部分有云)和污染像元(云覆盖)。进行云检测时,依据反照率、亮温等条件,判断像元窗口是否为云,只有当 4 个像

元全部通过检测时,该窗口才被认为无云,如果窗口内的 4 个像元没有被测试通过,则该窗口像元被认为是混合像元或者是污染像元^[31],如图 3 为云标识前后对比。图 3 为 2000-07-25 下午过境的 NOAA-14

的 AVHRR-2 数据,位于黑龙江省西南部上空,RGB 通道组合方式为 1:2:1。图中白色为云像元、灰色为混合像元、其他为干净像元。

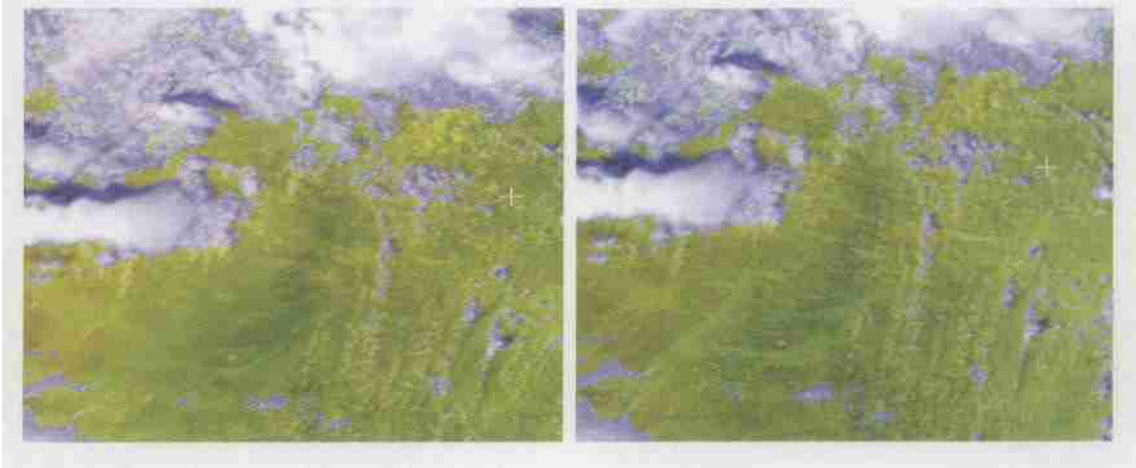


图 2 NOAA AVHRR 影像双向反射纠正(左图为原始影像,右图为处理后结果)
Fig.2 Result of BRDF correction for NOAA AVHRR(Left :raw image; Righ;result image)

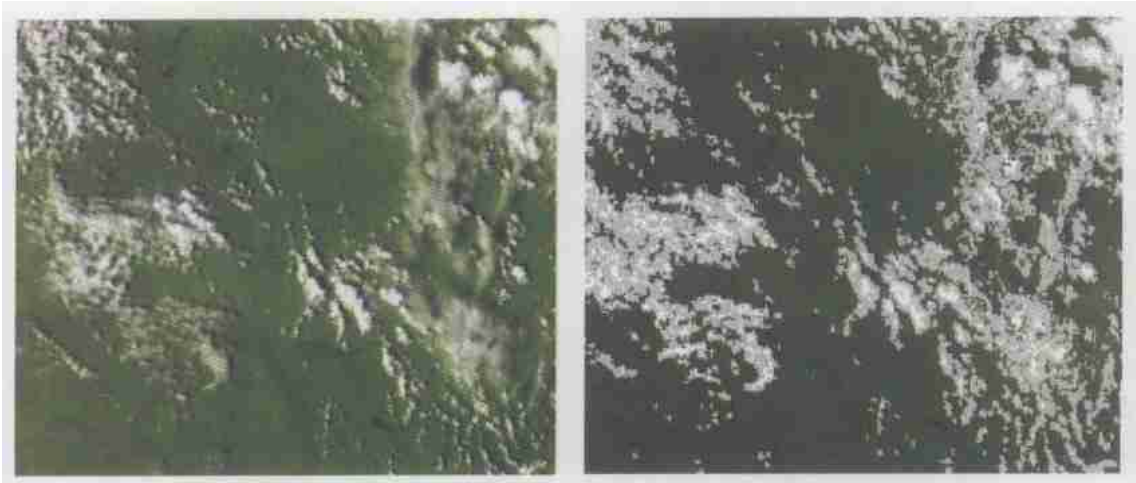


图 3 中国东北地区 NOAA AVHRR 影像和云标识识别结果(左图为原始影像,右图为处理后结果)
Fig.3 Cloud identity of NOAA AVHRR image at north-east of China(Left :raw image; Righ;result image)

3.2 云污染消除

云标识只能标识出云,而不能去除云的影响。虽经过了旬最大值合成,可以部分去除云的污染,但它不能去除亚像元内残余云,长时间云及云霾或其他负面影响,同时由于这些因素在时间上出现的随机性,使得时序 NDVI 值的变化呈不规则状态,需要进行去云平滑处理。中国农情遥感速报系统采用最小二乘法和谐函数分解相结合的方法进行云污染像元的去除和时序数据的重构。最小二乘拟合方法可以去除个别点对时序曲线的负面影响,谐函数分解重构方法可去除时序曲线中有规律脉动值,形成平

稳变化的时间序列。基于植物生长的周期性,对应的时-空系列的遥感图像的每一个像元在时间上同样存在着周期性特点,将时间序列离散的点组成连续的曲线,并把曲线视为是由多条不同频率正弦、余弦谐函数曲线合成。依据具体地区的年、月的地表植物的周期性,通过时间-频率或频率-时间的分析方法,进行分解和重组,达到平滑和提取特征的目的^[33,34]。
最小二次方拟合过程中,用迭代的方法来实现云污染值的去除。首先对所有的时序像元进行最小二次方拟合,将所有点对曲线的权重赋相同值,然后用观测的值与拟合值相比较,如果观测值明显低于

拟合值,则认为是云的负向作用的结果,该观测值的权重赋为 0,然后继续对剩余点进行拟合形成新的曲线,并进行比较,这样逐步迭代下去。迭代过程中,不断有新的认为被云污染的观测值权重值赋给 0,然后生成新的曲线,迭代结果将产生一条基于正向外侧点的曲线,用这种方法可以去除云噪声的负面影响。然后通过傅里叶变换将拟合后的曲线由时间域转到频率域,得到系列正余弦函数,依据分解出的函数特征,设定输出频率,经过曲线叠加转回到时间域,即用一系列具有特征正弦和余弦函数来叠加表示最终拟合曲线^[28]。

图 4 为时序 NDVI 图像云去除前后对比,其中 (a) 为原始影像; (b) 为处理后影像; (c) 为图像云污染区域(E119°0'23.77", N32°4'53.20")点处的时序曲线。图中(a)和(b)为 2002 年中国长江下游地区的 1、4、6 月下旬 NDVI 值图像的 RGB 组合。分析中,1 月份 NDVI 值较低,4 月下旬作物处开花期以后,NDVI 值较高,6 月下旬作物处于蜡熟期,NDVI 值较

低,因此图中绿波段的 NDVI 值较高,绿色和黄色应代表作物;而如果图像中有云的存在,将导致绿波段的值降低,在 1 月下旬红波段的值比 6 月下旬蓝波段值高,因此云在图像中将呈现红色。从时序 NDVI 曲线可以看出,4 月下旬 NDVI 值受到云的影响,其值较拟合后低,因此图像红色区域为云覆盖区。通过(a)和(b)图的对比可以看出,(a)图中红色区域形状不规则,色调深浅不一,反映了遥感数据获取过程中,云的随机和厚度不均匀的特征;(b)图中对应(a)图中的云的部分以已经被通过时序分析得到的信息补充,云的噪声影响已经去除,能够反映地表的植被分布信息。另外从时序 NDVI 影像的处理前后对比来看,在曲线的形态方面,处理结果基本是一条基于外向的平滑曲线,可以很好地描述和刻画时序 NDVI 影像特征,准确地反映植物生长的周期性。

3.3 作物生长过程提取

低分辨率遥感数据像元内包含多种土地利用类

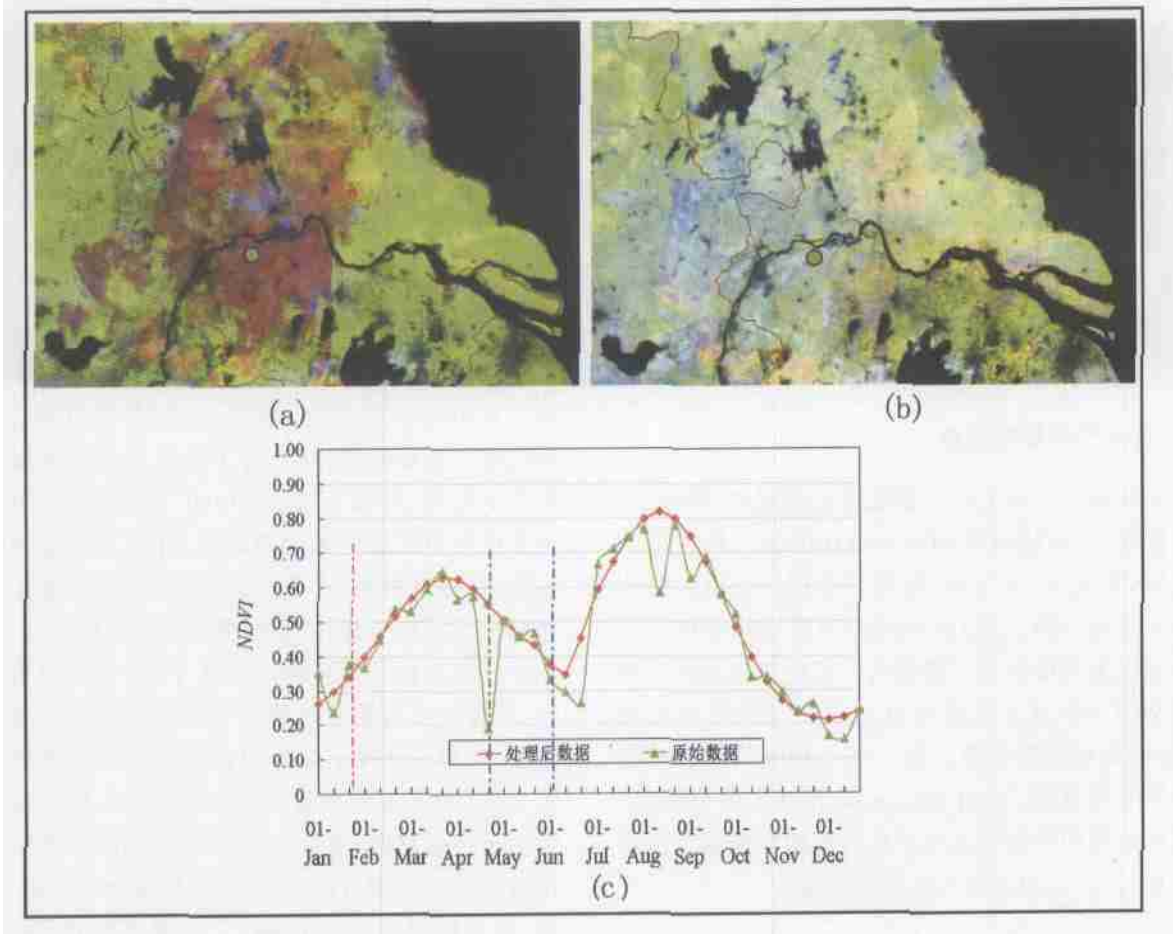


图 4 时序 NDVI 影像云去除
(a) 原始图像; (b) 处理后图像; (c) 图像云污染区域点处的时序曲线

型,如裸地、水体、耕地、各种树木等,即存在着混合像元问题。像元的 *NDVI* 值也是多种土地利用类型综合作用结果。简单以整个像元来代表像元局部作物,就会削弱植被指数指示作用。因此需要有针对性的提取出耕地上 *NDVI* 值,提高 *NDVI* 时序曲线的作物信息含量。由于图像存在几何纠正不精确的问题,导致年际间像元地理坐标很难一致,削弱了基于像元的作物生长过程对比性。另外由于进行作物长势监测需要与统计和地面调查结果进行对比分析,如作物单产预测一般以区域(如县)为单元,因此需要用区域值来综合反映其内部所有作物的生长过程。

区域尺度的作物生长过程包括区域内的所有作物的贡献,是区域作物 *NDVI* 值的加权平均。对于遥感影像而言,区域由其内部的像元组成,作物种植于耕地上,有耕地的像元均不同程度地对区域作物生长过程有贡献。如果不考虑作物类型、物候的差别,及耕地上是否种植有作物的情况下,则像元对区域作物生长过程贡献与像元内的耕地面积成正比。因此采用区域内耕地像元 *NDVI* 值加权平均的方法来提取作物生长过程。在计算作物生长过程时,为了减少非作物的影响,仅计算像元内耕地比重>10%的和 *NDVI* 值>0.1 的像元^[35,36]。

将土地利用数据中的耕地层数据分为旱地和水田。利用耕地层数据与时序 *NDVI* 影像进行叠加,计算每个像元内水田或旱地占的权重,对全国、主产区、省、区划单元内像元 *NDVI* 值与权重的乘积进行加权平均,提取 4 个尺度的旱地和水田作物的生长过程。

3.4 农业气象数据准备

与作物生长有关的气象数据包括温度、降雨、日照时数等,也包括用于 NOAA AVHRR 大气纠正用的能见度、大气压、水汽柱、臭氧等数据。数据主要从国家气象局订购,每旬向中国科学院遥感应用研究所发送以天为单位的气象数据。农业气象数据范围包括全国 300 多个气象站点。农业气象分析过程中,统计每旬的降雨累计值,>0℃积温值等和相应的多年平均数据,采用 Kriging 插值方法进行插值,将实时旬累积数据与多年平均同期相应数据进行距平分析,反映监测区的气象异常现象。

3.5 其他数据准备

为了突出作物长势信息,更好地反映目标作物的生长状况。在进行作物长势监测时,以 1:10 万全

国土地资源数据为基础^[37],在监测冬小麦长势时,由于冬小麦种植在旱地,也有部分种植在水田中,去除非耕地像元信息,仅保留耕地像元的信息。监测水稻时,仅保留水田部分的信息,突出水稻的生长信息;在监测玉米、大豆等旱作物时,去除非旱地作物信息,仅保留旱地像元的信息,突出旱作物的生长信息。

为了能够准确的反映中国区域作物的生长阶段,需要不同作物的生长物候数据,包括冬小麦、夏玉米、春玉米、大豆等主要作物品种的主要物候期,主要为出苗、抽穗、收获等。物候信息以曲线的形式叠加在作物长势监测分级图上。

4 长势监测方法

作物长势监测的主要任务是反映作物的生长状况。主要从两个方面进行作物长势遥感监测,一为作物生长的实时监测,主要通过年际间的遥感影像数据的对比获得作物长势监测分级图,同时综合物候、云标识和农业气象等信息,分旱地和水田进行监测;二是作物生长趋势分析,主要通过时序遥感影像生成作物生长过程曲线,基于水田、旱地及耕地,在分区域单元、主产区、省、全国不同尺度上进行分析和对比。为了准确反映作物长势监测结果,进行区划、主产区、省、全国耕地、水、旱田分开的统计。

1998 年以来,作物长势遥感监测在技术、质量、范围和频率上逐渐改进和完善。1998 年为了及时监测洪水对农情的影响,中国农情遥感速报系统仓促启动,从 7 月下旬起监测中国东部地区的作物长势。在 1998 年监测的基础上,1999 年对数据处理流程进行了逐步改善,从 3 月下旬开始监测全国范围的作物长势,每旬一次,到 10 月下旬结束。2000 年在保证每旬监测任务的基础上,开发长势监测分析系统,将遥感监测、农业气象信息以及地面验证和物候信息集成在一起,实现长势监测的在线处理,并形成了长势监测分析环境。2001 年,在坚持旬报的同时,在作物生长期发布月度“中国农情遥感速报”,每年 6—7 期。形成了综合的农作物长势监测技术体系。在 *NDVI* 影像年度对比的基础上,利用区域作物生长过程对比、农业气象分析和地面实地验证相结合的综合监测方法,并将分析尺度分成全国、主产区、省和区划单元 4 个层次。监测范围也由国内发展到美洲和大洋洲。2002 年经过连续 3 年的准备,通过每日接收的 NOAA AVHRR 数据处理标准流程,包括数据标定、辐射纠正、云检测、几何纠正、大气纠

正、二向反射模型纠正等过程,建设标准化数据集产品,增加长势监测的客观性。另外监测过程中,监测基本单元也逐步从分省到分区划监测单元细化,逐步提高监测的精度。

4.1 作物长势实时监测

实时作物长势监测用的遥感数据,国内主要为 NOAA AVHRR 数据,国外主要产粮国作物长势监测包括北美洲的美国、加拿大,南美洲的巴西、阿根廷、大洋洲的澳大利亚等主要采用 SPOT VGT 数据。中国、美国、加拿大的作物长势监测在作物生长期 3 月下旬至 10 月下旬,每旬进行一次作物长势监测。南美洲的作物长势从上一年 9 月下旬开始,至当年的 5 月上旬结束。

实时作物长势监测主要在作物生长期采用 NDVI 对比的方法监测作物长势,进行两期图像的对比

分析,即计算差值图像。利用每旬的最大合成 NDVI 图像与去年同期 NDVI 图像相比较,8 位的差值图像在-100—100 间灰度级间每隔 20 从红至绿到蓝分别赋色,同时划分成 5 类:差、稍差、持平、稍好、好进行分级统计。为了突出耕地上的作物长势,将差值图像与耕地数据相叠加,从中去除非耕地像元,否则难以确定长势好的像元是作物像元还是其他像元。如图 5,1998 年中国东部秋季农作物长势遥感监测图,在 1998 年大洪水中,尽管区域性洪水很大,但对全国农业生产的总体形势影响不大,如图 5(a)为全国东部地区耕地上的作物为绿色和黄色,有的地区有红色,遥感差值影像反映 1998 年 8 月下旬,全国耕地作物长势总体上比 1997 年持平或略好,图中江苏、安徽等省份蓝色区域,主要是由于当年遥感图像获取时,有大量的云的存在,降低了 NDVI 值,导致差值图像显示为比上年差。图 5(b)为松花江流域

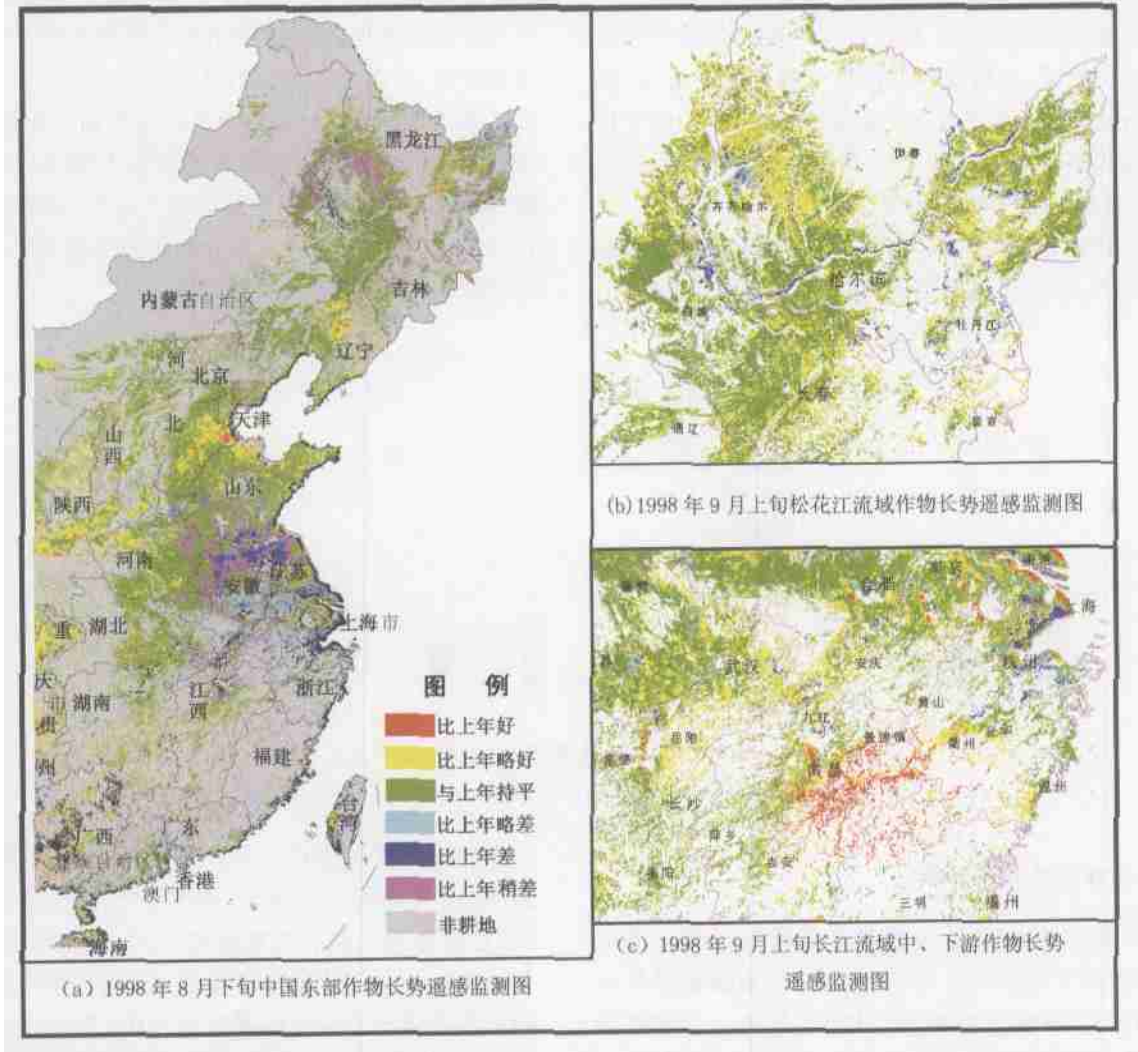


图 5 1998 年中国东部秋季农作物长势遥感监测图

黑龙江省春玉米和大豆主产区,图中绿色和黄色表示与 1997 年持平或略好。蓝色表示比去年差。作物生长未受到水灾大的影响,造成人们意识中的灾区主要在河流水体附近,图中蓝色区域的作物长势确实比 1997 年差,但是流域中的绝大部分作物种植区远离河道,未受到洪水的影响,其生长由于降雨的增多,比上一年作物长势还要好。图 5(c)为长江流域中、下游的晚稻主要种植区,流域内大部分地区为绿色和黄色,南昌和景德镇地区为红色,只是长江河道附近有小的区域为蓝色。从图中可以得出该流域 1998 年晚稻的长势比 1997 年好。遥感监测作物长势结果充分体现了空间上和时间上的优越性,客观地反映了作物的生长情况。国家决策部门依此及时发布信息,起到安定人心的作用。

实际分析过程中,常常由于有云的存在而无法进行准确的判别,难以区分图像上的异常是由于云造成的,还是由于作物长势的差异造成的,因此还需要对图像进行云标识。标识过程主要用数据预处理中云标识图层,分别在两期图像上对有云的地方,重新编码,在两期相减时,云覆盖区域将不在参与计算。在此基础上依据监测结果进行分级统计,反映 5 种生长状况各自占的比例。

作物长势实时监测需要对作物生长状况进行解释和说明,除了遥感差值图像反映作物长势情况外,

还应考虑地区差异和物候期变化等因素,因此作物长势监测图还需叠加表征物候的矢量层,同时依据分析内容和重点的不同,将耕地分为水田和旱地作物成图^[20](图 6)。图 6 为 2002 年 9 月上旬的全国旱地和水田作物长势情况,图 6 中不同地区的物候信息以曲线的方式在长势监测图上标出。9 月上旬,旱地作物华北南部、西北南部、西南及长江南部地区春玉米处于收获期,长江以南地区夏玉米处于抽雄期,四川盆地的中稻处于收获期,江淮地区中稻主要处于抽穗期。从旱地和水田作物长势监测图像中全国大部分地区图像中为绿色和黄色,四川、云南的大部分地区由于图像获取时有云,为灰色,无法反映作物长势信息。因此可定性得出全国 2002 年 9 月上旬作物长势与上年持平或略好,水田作物长势与上年持平。依据统计分析结果,华北地区山西省玉米 51% 比去年好,其他地区持平。东北地区辽宁省 87% 面积的春玉米和大豆与去年持平,吉林省 90% 的春玉米和大豆与去年持平,黑龙江省的春玉米和大豆有 95% 与去年持平;甘肃 80% 地区的夏玉米比去年好。大部分地区水田作物长势与去年持平。在中稻一季稻产区,东北一季稻长势与去年持平的面积占 95%;江苏、安徽、湖北 98% 中稻面积的长势同比持平;其他地区同比持平。四川、云南的大部分地区去年或今年 8 月下旬持续阴雨天,无遥感长势信息。

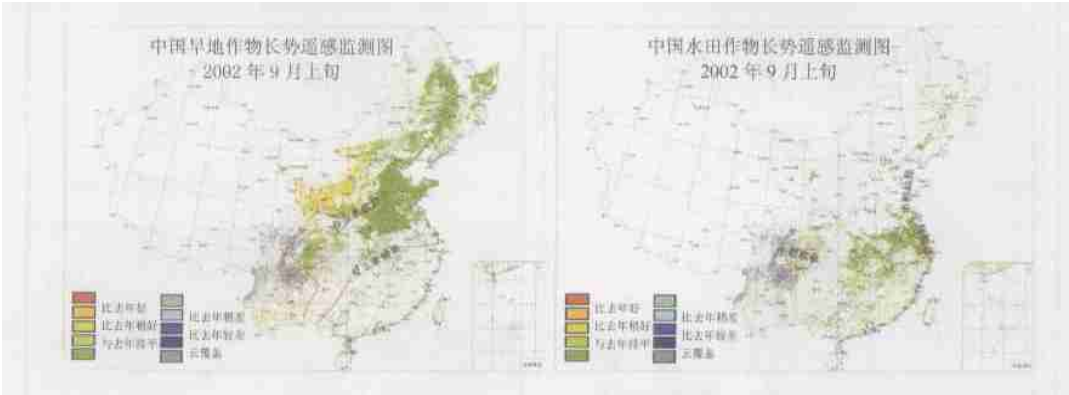


图 6 中国水田、旱地作物长势遥感监测(2002 年 9 月上旬)

Fig.6 Crop growth monitoring of China(First 10-day, Sep, 2002)

4.2 作物生长趋势分析

作物生长状况的分析不但要进行实时长势监测,还要从时间系列上进行趋势分析和历史累积对比。利用多时相遥感数据,可获取作物生长发育的宏观动态变化特征。在农作物生育期内,作物生长状况和生长条件的变化,都会造成 *NDVI* 时间曲线

产生相应的动态变化。可以利用这一响应关系,根据 *NDVI* 曲线的变化特征,推测作物的生长发育状况,监测作物长势。作物种类不同,轮作组合不同,其 *NDVI* 曲线具有不同的特征、同类农作物生长环境和发育状况的变化也会造成 *NDVI* 时间曲线的波动。因此通过对农作物 *NDVI* 时间曲线的分析,可以了解作物的生长状况,进而为作物产量的计算提

供依据。

以像元为基础的生长过程监测容易受噪声扰动和几何精度的影响而失真,需要研究适当的统计单元(或分层,或按行政单元等)进行汇总分析,得到区域的作物生长状况。作物生长趋势分析区划单元、主产区、省和全国 4 个尺度上进行。分别获取各自的耕地、水田、旱地的区域加权平均 *NDVI* 值。其中主产区分为黑龙江大豆主产区、东北春玉米主产区、黄淮海冬小麦、夏玉米主产区、四川盆地中稻主产区、湖北中稻主产区、江苏中稻主产区、湖南双季稻主产区、江西双季稻主产区等 8 个主产区。区划单

元主要依据三级区划单元,全国有 112 个区划单元,区划单元内部作物单产和种植面积等相对较均一,可以反映各省内部的区域特征^[38]。

作物生长过程主要依据 SPOT VGT 数据。在作物生长期内,中国的作物长势监测 3 月下旬开始至 10 月下旬结束,每月进行一次作物生长过程分析。图 7 是 2002 年与 2001 年同期的作物生长过程曲线,在实时监测过程中,2001 年的曲线是已知的,而 2002 年的曲线是随着作物生长期的推移逐渐从左往右延伸,可以清楚地反映当年作物生长与上年的差异,如物候期的推移、作物生长的速率,长势的程

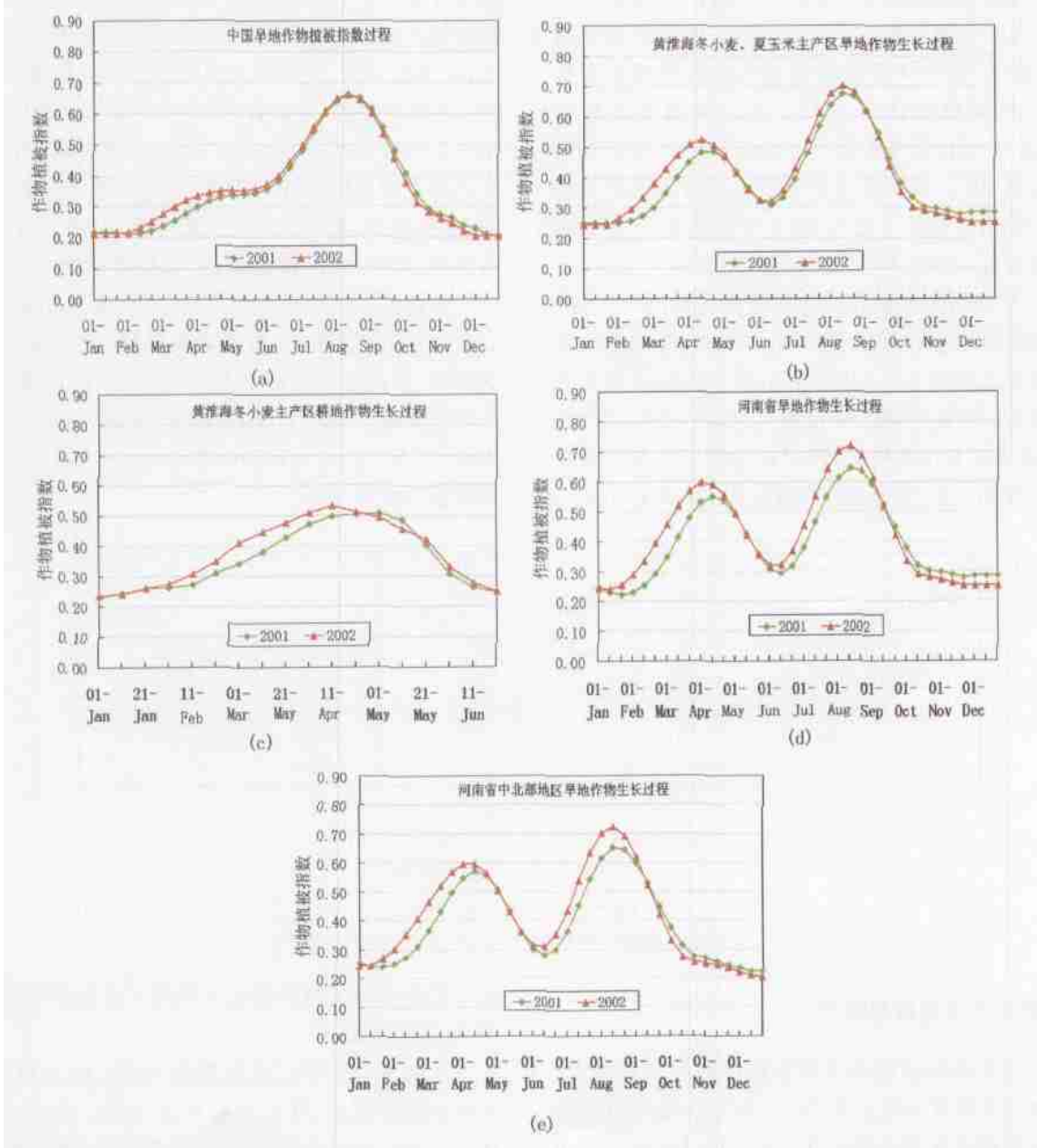


图 7 全国、主产区、省、区划单元 4 个尺度作物生长过程曲线

度、成熟的速率等。从图中还可以看出,区域范围越小,区域内的作物物候期趋于一致,曲线间的差异越明显。反映了年度间作物生长过程的差异。

图 7(a)为中国旱地作物生长过程,可以看出 2002 年 3 月至 4 月中旬旱地植被指数比 2001 年同期高;4 月中旬至 8 月上旬,2002 年植被指数较 2001 年同期略高,8 月下旬以来略低。总体上全国旱地夏收作物长势比 2001 年好 8%,旱地秋收作物长势仅比 2001 年好 0.6%,全年平均旱地作物长势比去年好 3%。图 7(b)和(c)为黄淮海冬小麦和夏玉米主产区作物生长过程,根据 2000 年的统计数据,该区的冬小麦种植面积占全国的 49%,产量占全国的 62%。玉米种植面积占全国的 27%,产量占全国的 33%。2002 年 3—4 月黄淮海地区的耕地植被指数比 2001 年同期明显高,5 月上中旬的植被指数略低,此后与 2001 年基本持平。2002 年冬小麦长势比 2001 年好 6%。夏玉米生长季节内该区旱地植被指数 6 月中旬至 8 月下旬比 2001 年同期略高,9 月植被指数稍低。2002 年夏玉米长势比 2001 年好 4%。图 7(d)为河南省旱地作物生长过程,统计得出 2002 年河南省冬小麦长势比 2001 年好 10%,旱地秋收作物长势比去年好 5%。从图 7(e)中可以看出,河南省中北部地区旱地作物生长过程与河南省变化趋势相同,只是幅度上有所变化,河南省 2002 年冬小麦长势比 2001 年好 7%,旱地秋收作物长势比去年好 7%。



图 8 农业气象距平分析(2002 年 9 月)

(a) 积温;(b) 降水;(c) 日照时数

Fig. 8 Agri-meteorologic maps

(a) accumulated temperature; (b) precipitation; (c) sunshine duration

4.4 野外地面定量与标定

虽然遥感信息能够反映农作物的种类和状态,但是由于受多种因素的影响,完全依靠遥感信息还是不能准确地获得监测结果,还要利用地面监测予以补充;将地面信息与遥感监测信息进行对照,从而获得农作物长势的准确信息。长势监测过程中的定

4.3 农业气象分析

气象条件与农业生产关系密切,加强农业气象分析有利于辅助解释遥感监测结果。从 2001 年 4 月开始,在作物生长期,每月进行一次农业气象分析。然后结合长势监测图进行全国综合性的分析。图 8 为 2002 年 9 月份依据全国 300 多个气象站点逐日温度、降水和日照数据,用样条插值法制成旬积温、降水、日照时数距平分析图。从图中可以看出 2002 年 9 月中国农业气象总体形势是积温比常年偏低,降水量比常年少,日照时数与常年持平。全国大部分地区平均气温比常年低,只有山西北部,广东沿海地区、青海南部平均气温比常年高,东部沿海地区,山西省南部、陕西省大部、宁夏南部、甘肃省东南部、青海省大部、四川省北部平均气温与常年持平。全国大部分地区包括东北、华北、江淮流域、西南、华南大部分地区降雨较常年少,东部沿海地区、江西中部、山西中部、陕西北部、宁夏北部、内蒙古西部、甘肃西部、青海大部、西藏西部、新疆西南部地区降水较常年增多。内蒙古东北部、黑龙江省东北部、江苏省大部、湖北省大部、陕西省南部、四川省、重庆市、贵州省、云南省日照时数较常年增加,山西省大部、内蒙古中部、宁夏、甘肃省、青海、新疆、西藏、湖南省南部、广东广西南部日照时数较常年少,其他地区日照时数与常年持平。

标可依据地面实测作物生长状况对由遥感影像得出 NDVI 进行标定。

地面测量主要包括生长期、株高、叶面积指数、种植结构等观测,在中国的东北、西北、华北、华中、华东 5 个地区样条采样工作的基础上,由 GVG 农情采样系统采集野外实拍照片,及吉林双阳、河北栾城、南京江宁、湖北新洲样地实测信息这一个样地的

选取主要考虑地区作物种植的特点,如华北平原是中国冬小麦和夏玉米的主产区,作物种类单一,便于观测;东北平原盛产玉米、大豆,作物连片种植;江汉平原主要对早稻和晚稻进行观测;太湖地区主要对中稻进行观测。监测样点作物的生物量和叶面积指数等生理参数指标,对作物长势监测结果进行检验,如图 9 为吉林省长春市双阳区样地和河北省栾城县样地的实测叶面积指数与作物生长过程的对比,其中栾城县样区内耕地的冬小麦和夏玉米作物生长过程线与实测的 LAI 值具有很好的线性相关关系,相关系数的平方值 R^2 分别为 0.80 和 0.86,吉林省双阳样区的作物生长过程线和 LAI 移动平均拟合分析中,春玉米和大豆的 $NDVI$ 与 LAI 呈“P”形对应关系。随着经验的积累和精度提高的需要,要继续增加样地的定点测量,开展作物长势监测的定量化研究,包

括叶面积指数、生物量以及太阳有效光合辐射等参数的遥感反演。

实时遥感监测作物长势结果验证,充分利用地面采样系统(GVG)的野外照片,通过样条采样路线年度间的重复性,进行年际间作物生长状况的对比(图 10)。图 10 中为 2000-07-04(a)和 2001-07-05(b)在四川石棉县同一地块拍摄的水稻生长情况,由于观测角度和位置上的差异,照片中地块的形状略有不同,从两个图片的对比中可以得到实测的作物长势生长的年际间的差异。然后将对比结果依据地理坐标反映到作物长势监测对比图中,在空间上验证差值 $NDVI$ 图像监测作物长势的准确性。另外还可以依据样地实测的作物生物学参数进行对比,如叶面积指数、株高等进行年际间的对比,反映作物长势的年度间的差异变化。

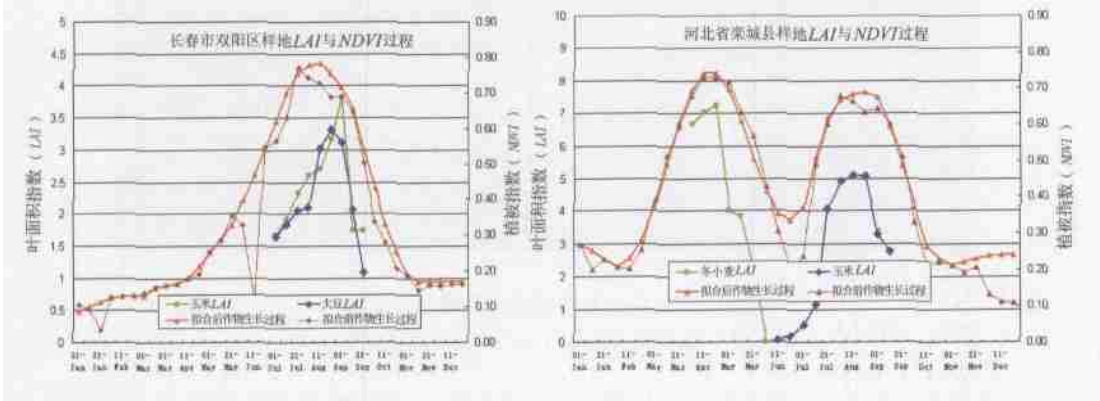


图 9 $NDVI$ 数据与地面实测 LAI 数据对比
Fig.9 Comparing $NDVI$ data and in-situ LAI



图 10 2000-07-04 和 2001-07-05 四川省石棉县水稻长势
Fig. 10 Rice condition at Shimian county, Sichan province at 7, 4, 2000 and 7, 5, 2001

5 长势监测分析系统

作物长势监测是综合性的工作,利用实时遥感数据监测作物的生长状况,通过多时相遥感数据监测作物的生长过程,同时还需要考虑农业气象条件、作物物候等影响。全国范围内农业气象条件、作物种植结构、物候期的差异值很大,开展作物长势监测时,需要结合不同区域的特点进行综合分析和判断。为此需要通过开发长势监测分析系统,将遥感数据、土地利用数据、农业气象数据、物候数据集成管理起来,动态实时地进行长势监测、过程分析,打印制图,并提供长势分析环境,将监测结果与物候和农业气象一起进行集成分析,得出长势监测分析结果。

系统采用 Oracle 大型数据库作为基础服务器平台,ArcSDE 作为空间数据引擎,基于局域网环境下的客户机/服务器模式(C/S 结构)进行设计开发,在 ArcView3.2 环境下集成开发客户端程序。系统包括 3 个部分,第 1 部分为数据集中管理,包括作物生长过程、农业气象数据(温度、降水和日照时数)、作物物候、作物种类等数值数据,还包括物候图、省界行政界线等矢量图,以及不同年度 NDVI 影像栅格数据。第 2 部分是比较分析部分,包括时序作物生长过程生成、两期图像对比分析及农业气象过程分析。第 3 部分是分析环境,包括气象信息过程线,物候和行政边界等空间和数据信息的叠加显示,使用户明显地看出各物候期的长势比较,为进一步的原因分析及对策选择提供了依据。



图 11 作物长势遥感监测系统用户界面
Fig. 11 User interface of crop growing monitor system

如图 11 为系统的分析界面,通过各种分析要素的选取支持系统运行。系统运行中可依据不同作物的物候信息,选取作物生长期时间段来进行分析。在监测图表部分,用户可以选取不同的图表过程来对比分析,包括作物年度生长过程、年度间的作物生长过程对比、生长过程的累计值的计算和对比等。在专题图选项中,可以依据用户的选取生成各种专题图件,包括生长形势、生长趋势、生长水平以及与旱情相关的作物缺水等。另外可依据不同的需要叠加各种省、县级行政区划、作物产量区划以及各种标注等。为了增加系统的综合分析能力,可以任意选取农作物物候图、气象信息时间曲线、土地利用图等图件与作物长势监测图进行叠加分析。图 12 为系统的分析结果,图中左部为作物长势实时监测结果,包括省级行政界线图、气象站点分布图、土地利用图(只选用耕地层数据)等图层叠加,右部为作物生长过程年际间对比图和气象站点的均温、湿度、旬累积降水过程分析。从图中可以综合分析作物的实时生长情况,反映作物生长期内的实时的空间作物长势

的好坏。同时可参考作物生长过程对比结果,分析在时间序列上的作物生长变化,进行趋势分析,另外对于监测结果可以在气象站点信息的辅助支持下分析长势好坏的原因。这样通过综合的作物长势监测系统,用户可以方便的了解实时的作物生长状况,掌握生长期的作物长势在时间上的变化情况,分析作物生长的农业气象环境,及时准确的获得任意时刻、任意地方的农情信息。

同时系统具有数据的管理和查询功能,共分为三个部分,一为作物长势监测过程中相关资料的查询,包括作物品种查询、作物物候历、作物种植范围查询、长势照片查询。二为作物长势监测结果的查询,包括 NDVI 作物生长过程线以及影像对比结果。三为历史资料查询。气象信息过程线查询。分别从降雨、温度、光合有效辐射等方面对历年的过程线资料进行查询,也包括各方面气象信息的历史变化趋势查询,以及长势分析报告查询。在此基础上,系统有图表的输出功能,包括长势监测分析结果(甚至中间结果)的输出,也包括各种查询内容的输出。

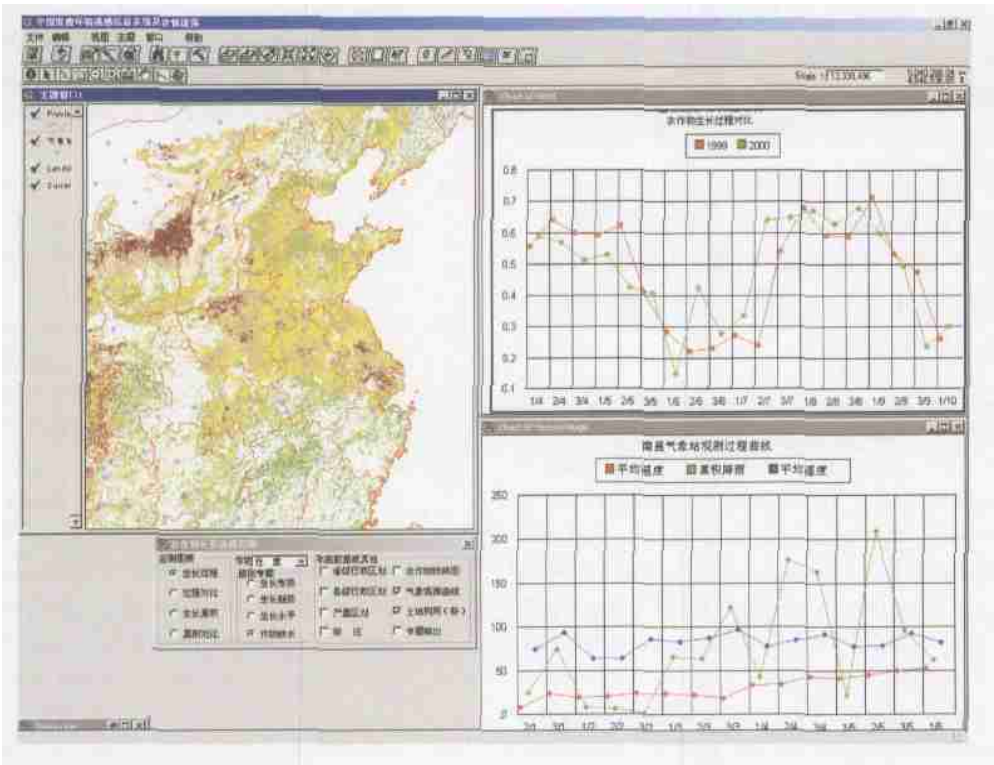


图 12 系统的分析窗口

Fig. 12 Analysis window of crop growing monitor system

6 结论与讨论

本文总结了作物长势遥感监测技术,同时论述了中国科学院遥感应应用研究所 1998 年以来在农情监测方面的技术进展,并详细介绍了中国农情遥感速报系统采用的农作物长势综合监测方法。作物长势的综合遥感监测主要目的是准确的获得作物的生长信息,为产量预测和生产服务。监测过程中通过去云处理、大气纠正、二向反射纠正、云标识等流程,建设标准化数据集。通过区域加权平均方法提取作物生长过程。利用处理后的 NOAA AVHRR *NDVI* 数据生成作物长势监测图,利用时序 SPOT VGT *NDVI* 生成区域作物生长过程。作物长势遥感监测主要包括两部分的内容,一是实时的作物长势监测,另一为作物生长趋势分析。实时的作物长势监测主要通过当时的 *NDVI* 影像与去年的同期影像的对比,在空间上定性和定量的对苗情进行评价,而作物生长趋势分析主要通过时序作物生长过程对比,来发现作物持续生长过程与去年以及其他年份间的差异。通过野外采样照片、样地实测长势数据进行遥感监测长势验证。通过处理流程的系统化,建设了综合分

析的作物长势监测系统,帮助用户全面综合的获取作物的长势信息。

中国农情遥感速报系统自 1998 年为及时监测洪水对农情的影响启动以来,作物长势遥感监测在技术、质量、范围和频率上逐渐改进和完善。技术上形成了包括时序遥感数据处理,区域作物生长过程提取,每日接收的 NOAA AVHRR 数据处理标准化流程,农业气象分析和地面实地验证相结合的综合监测方法等技术体系。监测尺度分成全国、主产区、省和区划单元 4 个层次,监测范围也由国内发展到美洲和大洋洲。监测频率在作物生长期内每旬监测一次作物长势,每月发布“中国农情遥感速报”,每年 6—7 期。长势监测系统的建设基于数据仓库的在线分析,可以快速的依据遥感、农业气象等信息得到综合监测结果。同时信息服务方面,与国家相关部门沟通日益流畅,可以依据用户部门的具体需求,及时的上报各种作物长势监测信息。

遥感监测作物长势技术上还有很大的发展空间,精度和准确性还未完全满足需要。提高监测的精度和可靠性需要在遥感影像时间和空间分辨率、遥感定量化处理、作物生长机理方面进行研究。如目前使用分辨率为 1 km 的 NOAA AVHRR 数据和

SPOT/VGT 数据, 可通过利用中分辨率 250m 的 MODIS 数据来监测作物长势, 改进监测结果的精度。在监测结果的检验方面也可按产量区划布设样地, 目前已经在全国布设 5 个样方实测作物生长情况, 拟针对不同地域(不同地理背景)、不同单产水平、不同单产变化幅度布设更多样地。定量化处理方面, 有关生物量、叶面积指数遥感反演还需要进一步研究, 与地面实测结果一起建立模型共同分析, 提高监测的定量化水平和可信度。

参 考 文 献 (References)

[1] Wu B F, Liu C L. Crop Growth Monitor System with Coupling of NOAA and VGT Data[A]. Vegetation 2000 proceedings[C], 2000.

[2] Working Group on Yield Estimation of Winter Wheat by RS in China. Growth Monitoring and Yield Prediction of Winter Wheat by NOAA AVHRR[C]. Beijing: Meteorological Press, 1993. [全国冬小麦遥感综合估产协作组. 冬小麦气象卫星遥感动态监测与估产[C]. 北京: 气象出版社, 1993.]

[3] RAO M V K, Ayyangar R S, RAO P P N. Role of Multispectral Data in Assessing Crop Management and Crop Yield[A]. Machine Processing of Remote Sensed Data Symposium. [C]. 1982.

[4] Crist E P, Malila W A. Temporal-spectral Analysis of Technique of Vegetation Applications of Landsat [A]. (Ann Arbor, U. S. A. Environmental Research Institute of Michigan)Proceeding of the 14th Symposium on Remote Sensing of Environment [C]. Held at San Jose, Costa Rica, 23—30 April, 1980.

[5] Schneider S R, Mcginnis D F, Gatlin J A. Use of NOAA AVHRR Visible and Near-infrared Data for Land Remote Sensing[A]. NOAA Technical Report NASS84[C]. USDA, Washington, D. C., 1981.

[6] Narren R Philipson. Operational Interpretation of AVHRR Vegetation Indices for World Crop Information[J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1998, 54(1), 55—59.

[7] Tappan G G, Moore D B, Howard S M. The Design and Operational Use of AVHRR Vegetation Index Image for Crop Protection in AFRICA[A]. Presented at Twenty-Third International Symposium on Remote Sensing of Environment [C]. Bangkok, Thailand, 1990.

[8] Xu X R. Symposium of Remote Sensing on Environmental Monitoring and Crop Yield Estimation [C]. Beijing: Beijing University Press, 1991. [徐希孺. 环境监测与作物估产的遥感研究论文集[C]. 北京: 北京大学出版社, 1991.]

[9] 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): 247—253. [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): 247—253.]

[10] Li L X. Fuzzy Synthetic Evaluation for Grain Growth Situation[J]. Systems Engineering: Theory & Practice, 1998, 8: 127—130. [李龙澍. 农作物长势的模糊综合评价[J]. 系统工程理论与实践, 1998, 8: 127—130.]

[11] Zhang X F, Chen H L, Zou C H et al. Application of Regionalized

Remote Sensing Monitoring to Growth of Wheat Seedlings Under GIS [J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology, 1999, 22(1): 116—120. [张雪芬, 陈怀亮, 邹春辉等. GIS 支持下的小麦区域化苗情遥感监测应用研究[J]. 南京气象学院学报, 1999, 22(1): 116—120.]

[12] Li J P. Weather Science and Technology, [J]. Meteorological Science and Technology, 2002, 30(2): 108—111. [李剑萍. 气象卫星作物长势监测及产量预报系统[J]. 气象科技, 2002, 30(2), 108—111.]

[13] Yang B J, Pei Z Y. Definition of Crop Condition and Crop Monitoring Using Remote Sensing[J]. Transactions of the CSAE, 1999, 15(3): 214—218. [杨邦杰, 裴志远. 农作物长势的定义与遥感监测[J]. 农业工程学报, 1999, 15(3): 214—218.]

[14] Gordon C Reichert, Paul R Nixon, Richard N Dobbins. Staistics Cans dans's Near Real-Time Crop Condition Assessment Program (CCAP) Utilizing NOAA AVHRR Data-Remote Sensing[A]. GIS and the Internet, Agricultural Statistics 2000[C]. Washington, D. C., 2000.

[15] McNairn H, Brown R J. Remote Sensing in Support of Crop Management[A]. Unite Nations/China/European Space Agency (ESA) Conference on Space Application for Promoting Sustainable Agriculture [C]. Beijing, China, 14 to 17 September, 1999.

[16] G Bethel B Doorn. USDA Remote Sensing Technical and System Support for Operational Worldwide Agriculture Analysis[A]. Prepared for the 1st International Conference: Geospatial Information in Agriculture and Forestry, Disney's Coronado Spring Resort, Lake Buena Vista [C]. Florida, USA, 1-3 June 1998.

[17] William L Teng. AVHRR Monitoring of U. S. Crops During the 1988 Drought[J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1990, 56(8): 1143—1146.

[18] Genovese G, Vignolles C, Negre T et al. A Methodology for a Combined Use of Normalized Difference Vegetation Index and CORINE Land Cover Data for Crop Yield Monitoring and Forecasting[A]. A Case Study on Spain [C] Agronomie, 2001, 21(1): 91—111.

[19] Csornai G. Operational Crop Monitoring by Remote Sensing in Hungary [A]. Operational Remote Sensing for Sustainable Development [C]. Nieuwenhuis, Vaughan & Molenaar, 1999.

[20] Wu B F. China Crop Growth Monitor and Production Estimate Operational Methods [J]. Journal of geography, 2000, 55(1): 25—35. [吴炳方. 全国农情监测与估产的运行化遥感方法[J]. 地理学报, 2000, 55(1): 25—35.]

[21] Yang B J, Pei Z Y, Zhou Q B et al. Key Technology of Crop Monitoring Using Remote Sensing at a National Scale: Progress and Problems [J]. Transaction of the CSAE, 2003, 1(3): 191—195 [杨邦杰, 裴志远, 周清波等. 我国农情遥感监测关键技术研究进展[J]. 农业工程学报, 2002, 1(3): 191—195.]

[22] Roberto Benedetti, Paolo Rossini. On the Use of NDVI Profiles as a Tool for Agricultural Statistics; the Case Study of Wheat Yield Estimate and Forecast in Emilia Romagna [J]. Remote Sensing Environ, 1993, 45: 311—326.

[23] Li J P, Zheng Y F, Yin J M et al. Application of 3S to Growth Vigour Monitoring for Late Rice of Double Harvest [J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology, 2002, 24(1): 106—112. [李剑萍, 郑有飞,

- 殷剑敏等. 3S 技术在晚稻长势监测中的综合应用研究[J]. 南京气象学院学报, 2001, **24**(1): 106—112.]
- [24] Li Y Z. Estimation of Winter Wheat Yield Using Weather Satellite by Remote Sensing[M]. Beijing: Meteorological Press, 1993. [李郁竹. 冬小麦气象卫星遥感动态监测与估产[M]. 北京: 气象出版社, 1993.]
- [25] Badhwar, G D. Crop Emergence Date Determination from Spectral Data[J]. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1980, **46**: 369—377.
- [26] Wang N B. Winter Wheat Dynamic Monitoring and Yield Estimation with Remote Sensing in China[M]. Beijing: Chinese Science and Technology Press, 1996. [王乃斌. 中国小麦遥感动态监测与估产[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1996.]
- [27] Jiang D, Wang N B, Yang X H. Study on Crop Yield Forecasting with Satellite Information in China [J]. *Nature Magazine*, 1999, **21**(6): 351—355.
- [28] Rahman H, Dedieu G, SMAC. A Simplified Method for the Atmospheric Correction of Satellite Measurements in the Solar Spectrum [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1994, **15**(1): 123—143.
- [29] Chen S P, Tong Q X, Gou H D. The Researches for Information Mechanisms of Remote Sensing[M]. Beijing: Science press, 2002, **17**(1): 31—33. [陈述彭, 童庆禧, 郭华东. 遥感信息机理研究[M]. 北京: 科学出版社, 2002, **17**(1): 31—33.]
- [30] Wu B F, Liu C L, Zhang L *et al.* 1-km AVHRR China Land Dataset [J]. *Journal of Remote Sensing*, 2004, **8**(6): 529—550. [吴炳方, 刘成林, 张磊等. 中国陆地 1km AVHRR 数据集[J]. 遥感学报, 2004, **8**(6): 529—550.]
- [31] Liu C L, Wu B F. Application of Cloud Detection Algorithm for the Advanced Very High Resolution Radiometer [J]. *Journal of Remote Sensing*, 2004, **8**(6): 677—687 [刘成林, 吴炳方. NOAA AVHRR 云标识技术的应用分析[J]. 遥感学报, 2004, **8**(6): 677—687.]
- [32] Stowe, LL. Global Distribution of Cloud Cover Derived from NOAA/AVHRR Operational Satellite Data [J]. *Adv. Space Res.*, 1991, **11**(3): 51—54.
- [33] Roerink, G J. Menenti. M. Time Series of Satellite Data: Development of New Products [A]. BCRS-report NRSP-2 99-33 [C]. Delft. The Netherlands. 2000.
- [34] Zhang F, Wu B F, Liu C L. Using Time Series of SPOT VGT NDVI for Crop Yield Forecasting [A]. (IGARSS) IEEE International Geoscience & Remote Sensing Symposium [C]. 2003.
- [35] Zhang F, Wu B F, Liu C L. An Advanced Tool for Real-Time Crop Monitoring in China [A]. IGARSS) IEEE International Geoscience & Remote Sensing Symposium [C] 2003.
- [36] Zhang F, Wu B F, Liu C L *et al.* A Method For Extract Regional Crop Growth Information with Time Series of NDVI Data [J]. *Journal of Remote Sensing*, 2004, **8**(6): 515—528 [张峰, 吴炳方, 刘成林等. 区域作物生长过程信息的遥感提取方法[J]. 遥感学报, 2004, **8**(6): 515—528.]
- [37] Liu J Y. Study on National Resources & Environment Survey and Dynamic Monitoring Using Remote Sensing [J]. *Journal of Remote Sensing*, 1997, **1**(3): 225—230. [刘纪远, 国家资源环境遥感宏观调查与动态监测研究[J]. 遥感学报, 1997, **1**(3): 225—230.]
- [38] Wu B F, Li Q Z. Crop Acreage Estimation Using Two Individual Sampling Frameworks With Stratification [J]. *Journal of Remote Sensing*, 2004, **8**(6): 551—569. [吴炳方, 李强子. 基于两个独立抽样框架的农作物种植面积遥感估算方法[J]. 遥感学报, 2004, **8**(6): 551—569.]

An Integrated Method for Crop Condition Monitoring

WU Bing-Fang, ZHANG Feng, LIU Cheng-Lin, ZHANG Lei, LUO Zhi-Min
(*Institute of Remote Sensing Applications, CAS, Beijing 100101*)

Abstract: It is possible to evaluate the crop condition and yield status before the harvest for a large scale of area. This paper introduces an integrated method for crop condition together with water shortage monitoring with remote sensing during the crop season.

Both NOAA AVHRR and SPOT VGT data are used. VGT data can be used directly since it has been calibrated and corrected before being delivered to the users. AVHRR data are not lucky enough, it need to process on radiance calibration, atmospheric correction, and cloud masking, which generates a consistency AVHRR dataset for the whole China territory since 1991. The non-arable land is masked too in order to highlight the crop information on the arable land. The land use map at a scale of 1:100 000 is used.

There are two ways to monitor the crop condition. The differential image of 10 day composite *NDVI* images in current decade and the same decade in previous year is used to monitor the current crop conditions. The differential image is divided into five categories and assigned with red, yellow, green, cyan and blue to indicate the conditions. Crop condition figures at provincial level are calculated for paddy field and upland area. The result allows users to quickly assess where the crop conditions have been deteriorated, remained or improved.

Except for the differential image, the time series of *NDVI* during the crop season at different scale, such as nationwide, main production region, province, county, and at different types of paddy field and upland, are used to evaluate the trend of crop condition and compared with the same profile at previous year. The profile also shows the information of crop yield if you look at the peak value, increase or decrease rate, and pattern of curve.

A GIS is developed to integrate crop condition information and provide an environment of analysis and evaluation. The GIS can automatically generate the differential image and draw time series of *NDVI* by retrieving the data from existing database. The ground survey data are integrated into the GIS to review the real situation at field and validate the monitoring results. The meteorological data, like temperature, rainfall, and sunshine duration are integrated too to provide the background information for the analysis.

The methods are used to monitor the crop condition over the China since 1998. During the crop season, the bulletin of crop condition are generated every 10 days from later March to Later October. These information are invaluable to decision makers and analysts within government bodies for better management of agricultural production and grain administration. In 1998, China suffered serious flood problem, but the damage to the crop was only limited to narrow areas along the rivers, and the damage were compensated by remote area where had good water supply.

Key words: crop condition; remote sensing; time series