

农作物长势综合监测——以印度为例

邹文涛, 吴炳方, 张森, 郑阳

中国科学院遥感与数字地球研究所 数字地球重点实验室, 北京 100101

摘要: 提出农作物长势综合监测方法, 利用卫星遥感得到的 NDVI 时间序列数据, 综合采用实时监测、过程监测和时间序列聚类监测方法, 明确不同方法适用的监测尺度及监测目的, 对不同范围农作物长势进行监测。改进了 CropWatch 全球农情遥感速报系统运行化作物长势监测方法, 克服了原有作物长势监测中实时监测方法无法反映相同区域苗情在整个生长过程中的连续变化情况的缺点。实现对相同区域作物长势连续变化的定量描述, 可对作物长势进行更准确的判断。利用官方发布的作物单产变幅数据, 对单产变幅较大的 12 个作物主产省区作物长势监测结果的准确性进行判断, 结果表明: 6 个邦的实时监测和聚类监测方法所得结果一致, 都符合作物单产变化的实际状况; 4 个邦的聚类监测方法所得结果对作物长势监测更为准确, 更符合该区域作物单产的实际变化; 1 个邦实时监测结果对作物长势监测比聚类监测方法更为准确; 只有 1 个邦采用两种方法对作物长势的监测存在误差, 聚类监测方法在对农作物生长过程的连续监测及空间分布的定量化表述方面, 比实时监测更为准确。3 种方法可以综合使用, 实现业务化运行的农作物长势监测。

关键词: 农作物长势, 遥感监测, NDVI, 时间序列聚类, 印度

中图分类号: TP79

文献标志码: A

引用格式: 邹文涛, 吴炳方, 张森, 郑阳. 2015. 农作物长势综合监测——以印度为例. 遥感学报, 19(4): 539-549

Zou W T, Wu B F, Zhang M and Zheng Y. 2015. Synthetic method for crop condition analysis: A case study in India. Journal of Remote Sensing, 19(4): 539-549 [DOI: 10.11834/jrs.20154137]

1 引言

作物长势是指作物苗情的生长状况及其变化趋势(李郁竹, 1993)。及时、准确地判断农作物长势, 可以在作物生长初期就对作物产量信息进行预判, 并在整个作物生长期通过近实时监测, 在作物收获期之前逐步判断, 为农作物产量估算提供先验知识和估算参量(吴炳方, 2004)。

农作物生长是一个极其复杂的生物生理过程, 受光、温、水和土壤条件等多种因素影响, 不同作物或同类作物生长状况的光谱差异都可以在遥感影像上得到反映(吴素霞等, 2005), 因此遥感技术被广泛应用于农作物长势监测, 对农作物生长过程及变化进行描述(Doraiswamy等, 2003, 2004)。尤其在红波段和近红外波段, 作物的反射特征与作物长势和产量具有明显的正相关关系。因此, 基于两个

波段计算得到的植被指数能够直接反映作物生长过程、覆盖度和季相变化, 常用于监测农作物长势(邢素丽和张广录, 2003; 吴炳方等, 2004)。归一化植被指数 NDVI、差值植被指数 DVI、比值植被指数 RVI 和增强植被指数 EVI 等遥感植被指数被广泛应用于农作物长势监测, 其中 NDVI 是最常用的指标(李剑萍等, 2001; Guindin-Garcia 等, 2012)。

现有的农作物长势遥感监测, 针对不同尺度的监测, 所用遥感数据存在差异。小尺度农作物长势遥感监测, 中、高空间分辨率遥感影像数据是主要数据源: 10 m 级的 ERS-1 SAR 数据(Kurosu 等, 1995), 20 m 级的 CBERS CCD 数据(李卫国等, 2010), 以及 30 m 级的 Landsat TM/ETM 影像数据是小尺度农作物遥感监测的主流数据。中、大尺度农作物遥感监测, 主要以 SPOT VEGETATION、NOAA-AVHRR 和 MODIS 遥感影像数据为主

收稿日期: 2014-06-10; 修订日期: 2014-09-06; 优先数字出版日期: 2014-09-13

基金项目: 国家国际科技合作专项(编号: 2011DFG72280); 粮食公益性行业科研专项(编号: 201313009-2)

第一作者简介: 邹文涛(1982—) 男, 博士, 现从事农作物分类及长势监测理论和应用研究, 已发表论文 6 篇。E-mail: zouwt@radi.ac.cn

通信作者简介: 吴炳方(1962—) 男, 博士, 研究员, 主要研究方向为农业、水资源、生态环境遥感研究与应用。E-mail: wubf@radi.ac.cn

(Esquerdo 等 2011; Guindin-Garcia 等 2012)。小尺度的农作物长势监测,遥感数据获取周期长、成本高,并且局部区域作物长势的好坏,不能对省州—国家—大洲尺度的作物产量趋势产生影响,因此不适合大范围监测的业务化运行。大尺度的作物长势监测,所用中低空间分辨率遥感数据,重访周期短,覆盖面积大,数据获取方便,因此有利于获取地面动态信息并实现大范围宏观监测。

CropWatch 全球农情遥感速报系统对全球农作物长势监测的业务化运行,主要基于 MODIS NDVI 数据产品,通过过程监测和实时监测对全球农作物长势进行监测。过程监测从作物生长发育的全过程来描述作物的生长,实时监测通过与之前某个时间点的植被指数进行差值,并对差值图像进行分级,来确定作物的相对长势及长势的空间差异(Wu 等 2014)。

但现有方法中实时差值监测只能反映某个时间点的作物相对苗情,即使获取的遥感影像数据时间分辨率可以满足多个时间点数据分析要求,仍不能反映整个生长期,不同作物生长条件的苗情空间分布状况;不能反映相同区域苗情在整个生长过程中的连续变化情况,亦不能量化表达不同作物苗情的连续分布。而监测相同区域作物长势的连续变化状况,更有助于了解该区域作物整个生长期内的总体情况,能对作物的长势进行更准确的判断。因此,本研究引入时间序列植被指数聚类方法,进一步挖掘时间序列遥感数据提供的信息,对 CropWatch 业务化运行系统的作物长势监测进行改进,并明确不同监测方法适用的监测内容及监测尺度,从而提高农作物长势的监测精度。

2 研究区和数据

2.1 研究区

印度(68°7'E—97°25'E, 6°44'N—35°30'N)国土面积为 297.3 万 km²,耕地面积占国土总面积的 53%;人口为 12.75 亿,农业人口占人口总数的 47%(CropWatch Bulletin, 2013),是典型的农业大国。其水稻、小麦、玉米和大豆 4 种主要作物产量占全球总产量的比例分别为 22%、12%、2% 和 5%,是世界上小麦和水稻的第二大生产国。印度具有典型的季风气候特征,灌溉设施严重不足,农业对自然条件的依赖性很大,有 64% 的耕地受印度洋季风的影响(FAO/GIEWS Country Brief India, 2011)。印

度人口数量庞大,多数农户的种植规模较小,为保证较差环境条件下的农作物产量,有时一块耕地上种植 4、5 种作物,耕地破碎化严重(黄正多和李燕 2006)。鉴于印度农作物产量对全球粮食产量的重要贡献以及印度农耕本身的复杂性,本研究选取印度作为实验区,开展农作物长势监测方法研究。

2.2 遥感影像

本文采用美国国家航空航天局 NASA 提供的 MODIS 陆地星 3/4 级 16 天 NDVI 数据产品,空间分辨率为 1 km。数据所选时间段为 2013 年全年。对 NDVI 原始数据用全球耕地分布进行掩膜,剔除非耕地,确保 NDVI 数据集适用于农作物长势监测。

2.3 专题与统计数据

本研究所用的印度耕地分布数据,是将 2010 年和 2011 年 MODIS 土地利用数据产品(Friedl 等, 2010),第二版国际地圈生物圈计划(IGBP)全球土地覆盖数据集(Loveland 等, 2000),全球地表覆盖 2009(ESA GlobCoverPortal, 2010; Arino 等, 2010)这些产品当中的印度耕地进行合并得到。作物分布范围参考欧盟联合研究中心的农业资源监测计划作物分布数据(MODIS-JRC mask)。印度的行政边界采用 FAO 的全球行政边界 GAUL 数据(FAO/GeoNetwork, 2012)。印度 2013 年逐月作物生长环境因子数据包括空气温度、降水和光合有效辐射(Wu, 2014)。

不同阶段的作物长势对作物单产存在影响,农作物单产是作物在整个生长阶段长势的综合反映(Meng 和 Wu 2008)。本研究收集印度农业部经济和统计局发布的印度主要粮食生产区 2013 年水稻、小麦、玉米和大豆产量及单产数据(Directorate of Economics and Statistics, Department of Agriculture and Cooperation, Ministry of Agriculture, Government of India, 2014),并计算 2013 年单产相对于 2008 年—2012 年平均单产的变幅(表 1),来验证不同长势监测方法对印度 2013 年作物长势监测的准确性。同时,为验证收集到的印度官方统计数据的准确性,将搜集到的数据与美国农业部(USDA, 2013) 2013 年公布的印度全国作物单产数据进行对比,两套数据基本一致(玉米、水稻、小麦和大豆的差异幅度分别为 0.13%、0.80%、-1.47% 和 21.59%),因此可用此统计数据对印度作物长势进行衡量。

3 方法

3.1 过程监测方法

农作物长势过程监测,基于时间序列 NDVI 遥感影像,统计监测区域内耕地 NDVI 像元的均值,构建作物生长过程曲线,从农作物生长的全过程对作物生长进行描述。通过将当前生长过程与去年、多年平均以及指定某一时期的作物生长曲线进行对比,反映作物生长的状况(Genovese 等,2001;蒙继华等,2006;Wu,2013)。

3.2 实时监测方法

农作物长势实时监测,通过实时 NDVI 遥感影像与去年、多年平均以及某一指定时期的遥感影像进行差值运算,并对差值图像进行分级,来反映

作物生长差异的空间变化,判断监测期内作物长势状况(Wu,1999;Genovese等,2001;Wu,2013)。

3.3 时间序列聚类方法

时间序列聚类方法就是自动或半自动地比较时间序列栅格影像中各像元的时间序列曲线,并且把具有相似特征曲线的像元归为同一类别,最终输出不同分类结果的过程。这种方法的优势在于能够综合分析时间序列数据,捕捉其典型空间分布特征。本研究利用 VITO 为 JRC/MARS 开发的 SPIR-ITS 软件,对 NDVI 时间序列影像(当前作物生长季与近 5 年平均的差值)进行时序聚类分析(Wu,2013),来判断不同作物生长条件的苗情空间分布状况,定量化监测相同区域农作物在整个生长过程中的连续变化情况。

表 1 印度粮食主产区 2013 年作物单产相对于 2008 年—2012 年平均单产的变幅
Table 1 2013 Yield departure from 2008—2012 average of crops in main producing area of India

省/州	玉米			水稻			小麦			大豆		
	平均单产/ (kg/ha)	2013 年单产/ (kg/ha)	单产变幅/%	平均单产/ (kg/ha)	2013 年单产/ (kg/ha)	单产变幅/%	平均单产/ (kg/ha)	2013 年单产/ (kg/ha)	单产变幅/%	平均单产/ (kg/ha)	2013 年单产/ (kg/ha)	单产变幅/%
阿萨姆邦	723	897	24.11	1680	2061	22.66	1154	1304	12.98	—	—	—
比哈尔邦	2381	3611	51.64	1441	2282	58.37	2068	2427	17.35	—	—	—
查蒂斯加尔邦	1566	1936	23.62	1401	1746	24.67	1111	1396	25.63	1003	1205	20.15
古吉拉特邦	1418	1727	21.81	1917	2198	14.70	2847	2875	0.97	696	1000	43.64
贾坎德邦	1358	1812	33.37	1853	2238	20.72	1690	1944	15.04	—	—	—
卡纳塔克邦	2933	2629	-10.38	2626	2632	0.23	941	796	-15.41	752	1047	39.29
马哈拉斯特拉邦	2606	2219	-14.85	1701	1963	15.41	1614	1528	-5.34	1204	1451	20.51
中央邦	1332	1790	34.37	1037	1474	42.21	1884	2478	31.55	1147	1293	12.70
拉贾斯坦邦	1606	1780	10.80	1853	1771	-4.42	3028	3028	-0.02	1299	1412	8.75
泰米尔纳德邦	4640	3252	-29.92	3105	2712	-12.65	—	—	—	—	—	—
北方邦	1509	1677	11.12	2159	2460	13.92	2978	3113	4.52	1025	1357	32.46
西孟加拉邦	3718	3947	6.16	2596	2760	6.29	2659	2786	4.76	719	833	15.89

4 结果与分析

4.1 过程监测结果与分析

利用过程监测方法,按所选 NDVI 的时间分辨率,逐期统计 NDVI 均值,形成 2013 年印度农作物生长过程曲线(图 1),对印度全国 2013 年作物生长过程进行监测。由于监测面积较大,不同区域之间作物长势存在差异,要将所有省区作物长势信息融合为一条长势曲线,会将各省区长势信息混杂。

因此在大范围长势监测时,使用过程监测方法,由于不同区域的作物长势信息互相干扰,无法对作物生长过程进行准确判断,因此所得曲线实际意义不大。对省州级作物生长过程进行监测时,由于区域范围内作物生长环境条件相对同质,因此利用过程监测方法所得曲线能够较好的反映区域内作物生长的全过程。对作物生长相对均质的古吉拉特邦和泰米尔纳德邦,利用过程监测方法获取 2013 年作物生长曲线(图 2 和图 3)。

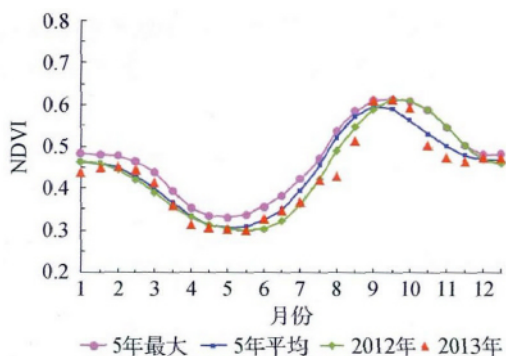


图1 印度2013年农作物生长过程曲线

Fig. 1 Crop Growing profile of India, 2013

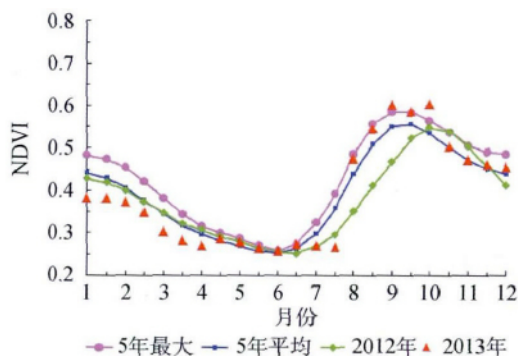


图2 古吉拉特邦2013年农作物生长过程曲线

Fig. 2 Crop Growing profile of Gujarat, 2013

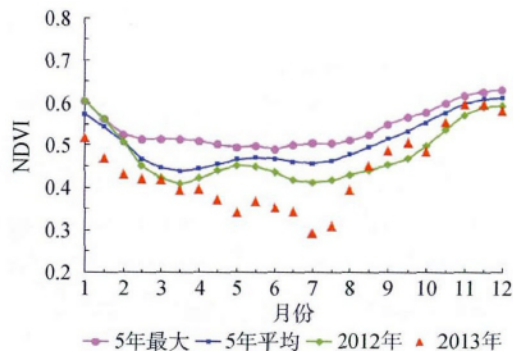


图3 泰米尔纳德邦2013年农作物生长过程曲线

Fig. 3 Crop Growing profile of Tamil Nadu, 2013

古吉拉特邦作物生长过程曲线显示,春收季作物长势较差,秋收季作物长势明显好于近5年平均。这符合该区域大豆单产大幅增加的实际。该区域春收季作物长势较差,但由于印度春收玉米和春收水稻的产量占全年玉米和水稻总产的比例仅为27%和12%(Directorate of Economics and Statistics, Department of Agriculture and Cooperation, Ministry of Agriculture, Government of India, 2014),因此玉米和水稻的单产主要由秋收季作物长势决定。所以对长势的判断也符合该区域玉米和水稻单产增加的实际。泰米尔纳德邦作物生长曲线显

示,该邦全年作物长势都比近5年平均差,这符合该邦玉米和水稻单产大幅下降的实际。

4.2 实时监测结果与分析

分别对2013年各月的NDVI影像与2008年—2012年相应时期的5年平均NDVI影像进行差值分级,得到2013年1月—12月与过去5年平均相比的印度作物长势实时监测结果(图4和图5)。

2013年早期实时监测显示,比哈尔邦、古吉拉特邦和泰米尔纳德邦作物长势明显较差。2月作物总体长势略好于去年和近5年平均,但古吉拉特邦、泰米尔纳德邦部分区域作物长势仍然较差。良好的作物长势在3月份仍然继续,作物总体长势与近5年平均保持一致,中央邦作物明显好于近5年平均。4月—5月,印度春收作物进入收获期,作物开始收割,作物总体长势基本与近5年平均保持一致,仅阿萨姆邦东北部和泰米尔纳德邦长势较差。

印度秋收作物从6月开始播种。实时监测结果显示6月—8月印度作物苗情比较复杂。6月印度作物总体长势好于去年,中部和北部区域作物长势明显好于近5年平均,33.8%的作物长势好于近5年同期平均。其中贾坎德邦,北方邦和中央邦长势较好的苗情比例分别高达80.5%、58.3%和44.7%。7月印度22.1%的作物长势比近5年同期平均差,较差的苗情主要分布在中部拉贾斯坦邦东部至奥里萨邦以及南部泰米尔纳德邦。对长势较差区域的局部省区进行实时监测统计,拉贾斯坦邦和中央邦较差苗情比例分别为30.0%和36.1%。进入8月,好坏苗情分布集中,长势明显较差的区域包括中央邦和马哈拉斯特拉邦北部。两区域较差苗情比例分别高达54.5%和45.5%。9月作物总体长势略好于近5年平均,仅中央邦和西部沿海区域作物长势比近5年平均差。10月,印度作物总体长势明显好于近5年平均,拉贾斯坦邦、比哈尔邦、古吉拉特邦和奥里萨邦之间的区域作物长势明显较好。随后两个月,作物印度作物总体长势略好于近5年平均。

实时监测方法无法对作物长势进行连续表达,但可以表达某一时间点上监测区域范围内的作物苗情比例,实现对离散时间点上的不同作物苗情空间分布的描述。实时监测方法对省州尺度,国家尺度甚至大洲尺度都适用,可以用来监测特定时间点的作物长势状况。可以分析特殊状况如异常温度,降水等灾害因素对作物生长的影响,并表述异常苗情的分布范围。

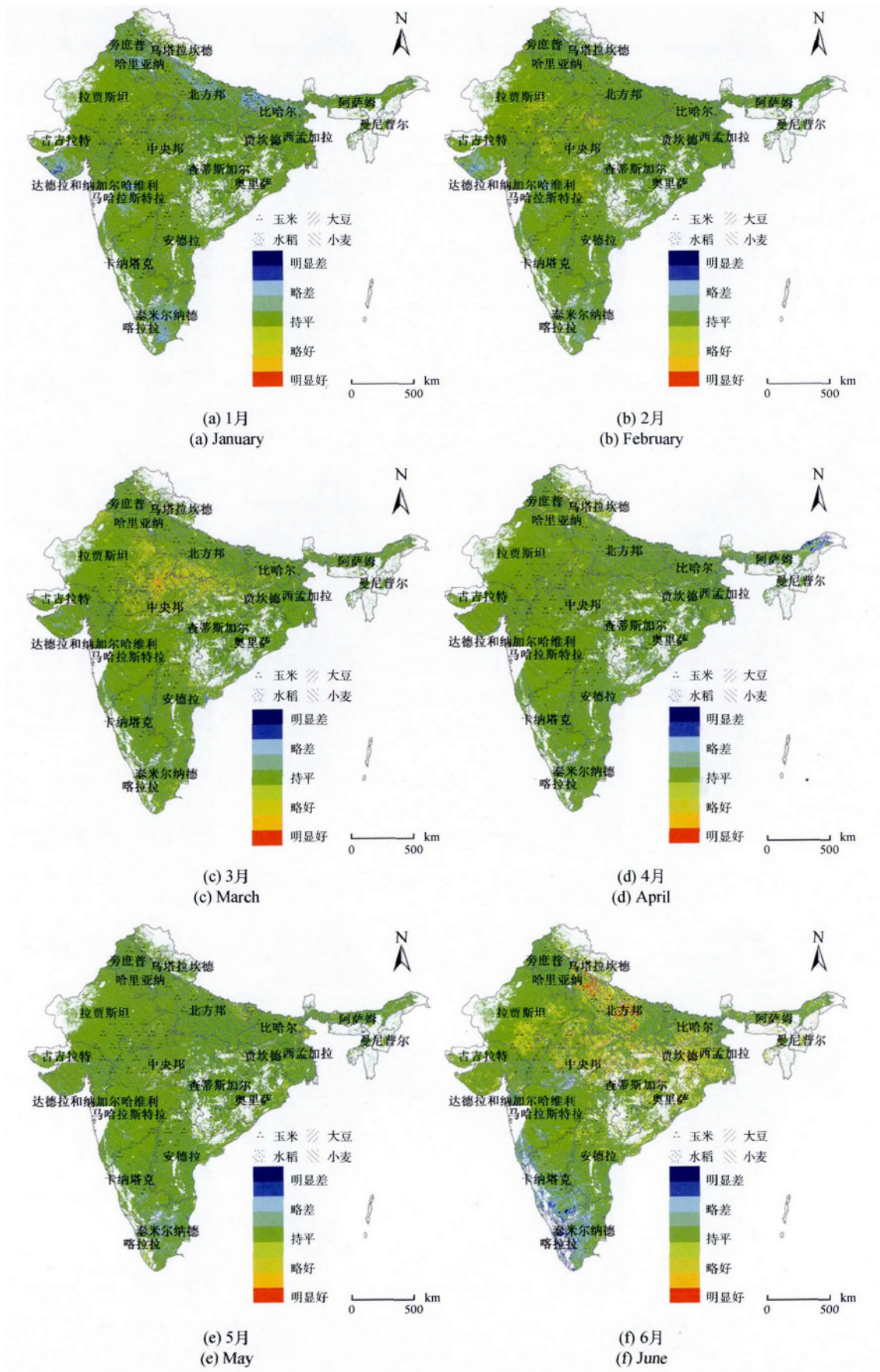


图4 印度2013年上半年农作物长势实时监测

Fig.4 Monthly real-time crop condition of India during first half of 2013

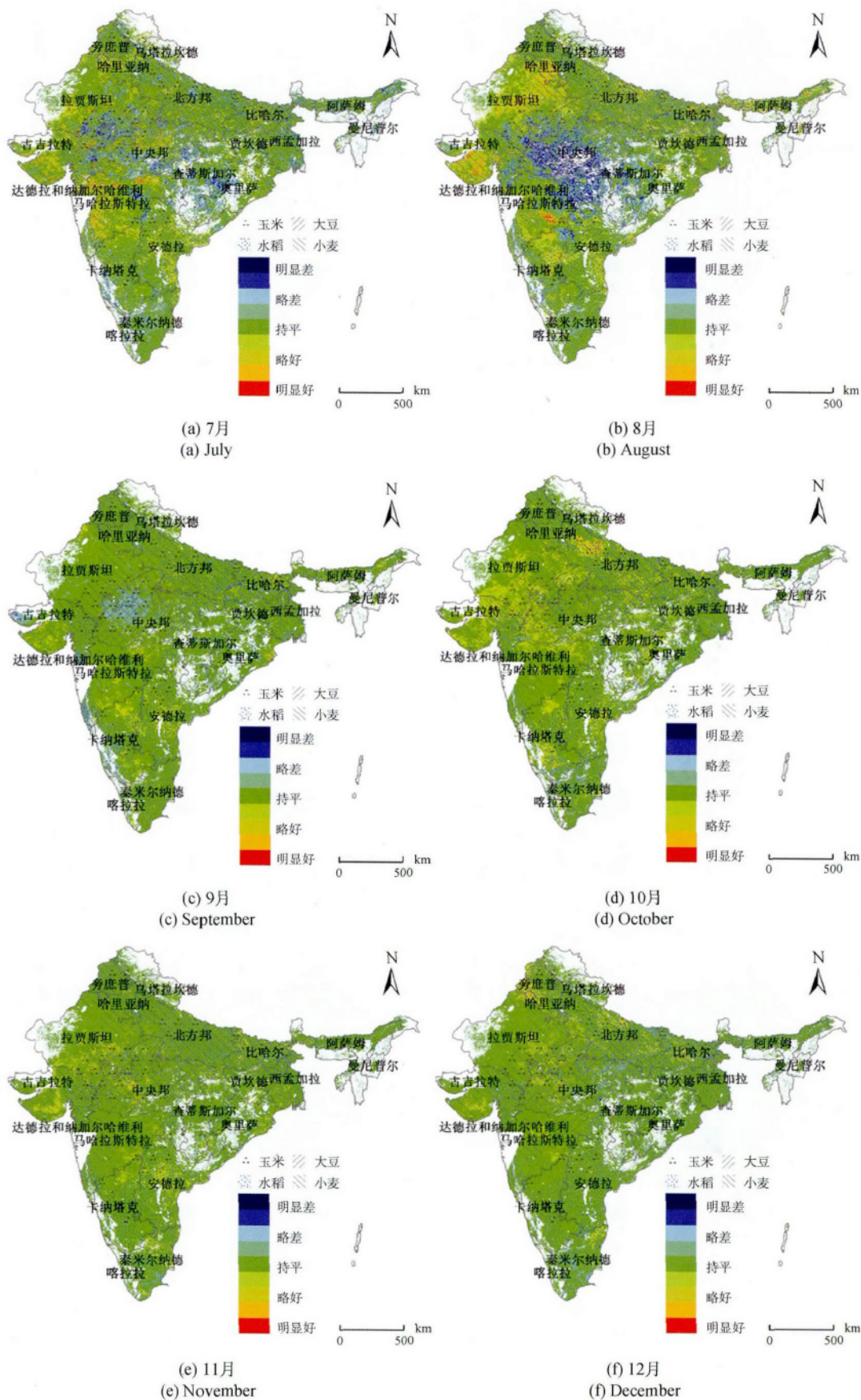


图5 印度2013年下半年农作物长势实时监测

Fig. 5 Monthly real-time crop condition of India during second half of 2013

4.3 聚类监测结果与分析

对所选 NDVI 时间序列数据进行聚类分析,得到 2013 年印度农作物长势空间聚类分布图及各类别比例(图 6(a))和各类别全年生长变化曲线(图 6(b))。

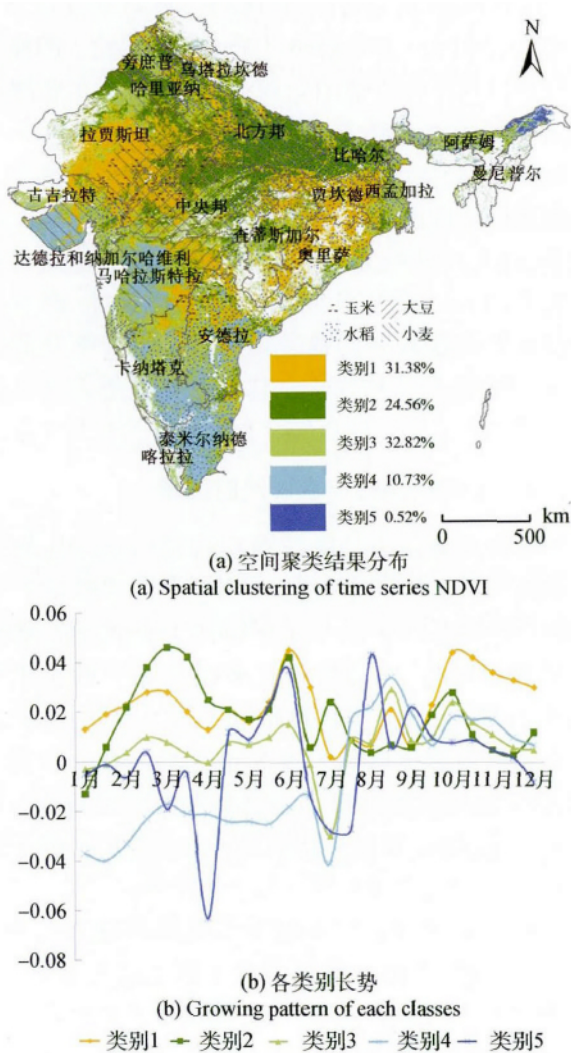


图 6 空间聚类结果分布及各类别长势曲线
Fig. 6 Spatial clustering of time series NDVI and growing pattern of each classes

空间聚类结果及各类别相关联的长势曲线显示: 2013 年印度作物生长共分为 5 类。55.94% (类别 1 与类别 2) 的印度农作物长势明显好于近 5 年平均。长势较好的苗情主要分布在拉贾斯坦邦、哈里亚纳邦、北方邦、比哈尔邦、中央邦北部、查蒂斯加尔邦大部分区域、贾坎德邦、奥里萨邦和马哈拉斯特拉邦东部区域。

32.81% (类别 3) 的印度作物长势与近 5 年平均保持一致或略好。但这类作物在 7 月份秋收作

物播种初期长势明显很差, 主要分布在旁遮普邦中部、拉贾斯坦邦西北部、古吉拉特邦中部、中央邦南部、阿萨姆邦、西孟加拉邦西部和卡纳塔克邦中部。

类别 4 占印度作物面积的 10.73%, 这类作物在 7 月份之前长势明显比近 5 年平均差, 从 8 月开始这些区域农作物长势有所恢复, 好于近 5 年平均水平。农作物长势如此变化的区域主要包括: 古吉拉特邦南部、马哈拉斯特拉邦中部、卡纳塔克邦南部和泰米尔纳德邦。

类别 5 占印度作物面积的 0.52%, 这类苗情主要分布在印度最东北部的阿萨姆邦东北部, 3 月之前该区域作物总体长势比近 5 年平均差, 4 月份作物收割导致 NDVI 曲线急剧下降。从 5 月开始, 除 7 月份作物长势略差于近 5 年平均之外, 其余时间均好于近 5 年平均水平。

4.4 不同方法监测结果对比分析

由于过程监测只显示监测区域作物总体长势, 并不涉及不同长势苗情的空间分布, 因此只对比分析实时监测和聚类监测方法对作物苗情在整个生长过程中的连续变化及空间分布监测结果的差异性。结合 2013 年印度玉米、水稻、小麦和大豆单产数据, 对比分析作物单产变幅较大的 12 个邦的作物长势监测结果, 判断实时监测和聚类监测两种方法对农作物长势判断结果的准确性。分析中, 对于作物长势与近 5 年平均保持一致的情况, 不再单独进行说明, 仅分析作物长势与所选时间段存在差异的情况。

4.4.1 监测结果一致的区域

实时监测结果认为古吉拉特邦 1、2 月份作物长势明显比近 5 年平均差, 3 月作物长势略差于近 5 年平均, 7、8 月份长势明显好于近 5 年平均, 10 月至 12 月作物长势略好于近 5 年平均。聚类监测结果表明: 该邦 1 月—2 月和 7 月份作物长势明显不如近 5 年平均, 从 8 月份开始作物长势明显好于近 5 年平均。两种方法对作物长势的判断基本一致, 都认为春收季作物长势较差, 秋收季作物长势明显好于近 5 年平均。大豆在印度属于秋收作物 (FAO/GIEWS country brief India, 2011), 秋收季作物长势明显较好, 符合该邦大豆单产大幅增加的实际情况; 虽然春季作物长势较差, 但由于印度春收玉米和春收水稻的产量占全年玉米和水稻总产的比例仅为 27% 和 12% (Directorate of Economics and Statistics,

Department of Agriculture and Cooperation, Ministry of Agriculture, Government of India, 2014), 因此玉米和水稻的单产主要由秋收季作物长势决定。两种方法对该区域全年农作物长势的判断符合玉米和水稻单产增加的实际。

贾坎德邦, 两种方法都认为春收季作物长势略好于近5年平均, 秋收季作物长势明显偏好。对长势的判断都符合贾坎德邦小麦单产增加(小麦在印度一年种植一季, 属于春收作物(FAO/GIEWS country brief India, 2011)), 玉米和水稻单产增幅较大的实际。两种方法对阿萨姆邦, 北方邦, 拉贾斯坦邦和西孟加拉邦作物长势的判断也基本一致, 都符合相应区域作物单产变化的实际。

4.4.2 实时监测结果更符合实际的区域

实时监测方法认为泰米尔纳德邦1月、5月和6月作物长势明显比近5年平均差, 2月和7月作物长势略差于近5年平均, 11月和12月作物长势略好于近5年平均水平。聚类监测结果表明: 1月—2月上旬和7月作物长势明显比近5年平均差, 2月下旬—6月底作物长势略差于近5年平均, 8月—11月上旬, 作物长势好于近5年平均。

两种方法均认为春收季作物长势较差; 对于秋收季作物, 实时监测方法显示玉米生长早期(6、7月份)较差的作物长势导致玉米单产大幅下降(降幅29.92%, 表1)。虽然11月开始作物生长好转, 但玉米已经全部收割, 较好的作物长势使秋收水稻的生长有所恢复, 因此水稻单产降幅明显低于玉米。聚类监测结果认为从8月开始作物长势较好, 这不符合该区域玉米和水稻单产下降的实际, 所以实时监测方法对泰米尔纳德邦作物长势的判断更准确。

4.4.3 聚类监测结果更符合实际的区域

实时监测结果认为中央邦2月和10月作物长势略好于近5年平均, 3月、6月作物长势明显好于近5年平均, 7月—9月作物长势不如近5年平均。聚类监测结果表明: 除1月初少部分区域作物长势较差之外, 至6月作物长势明显好于近5年平均。7月—9月和11月—12月作物长势略好于近5年平均, 10月作物长势明显好于近5年平均。两种方法对农作物长势判断存在差异, 聚类监测得出的作物长势总体明显好于近5年平均的结论, 更符合中央邦作物单产大幅增加的实际情况, 对作物长势的监测更为准确。两种方法对长势判断明显存在差异的7

月—9月, 该邦降雨量充沛, 光温条件正常(Crop-Watch Bulletin, 2014), 支持聚类监测结果对长势的判断。

实时监测认为查蒂斯加尔邦6月作物长势明显好于近5年平均水平, 7月、8月作物长势较差。聚类监测结果表明: 查蒂斯加尔邦大部分区域1月—6月和10月—12月农作物长势明显好于近5年平均, 7月—9月作物略好于近5年平均。两种方法对该区域作物长势的监测存在差异, 聚类监测方法认为春收季和秋收季作物长势明显好于近5年平均, 更符合该区域小麦、水稻、玉米和大豆单产大幅增加的实际情况; 实时监测结果中7、8月份作物长势较差, 也与该区域光照充足, 雨热条件正常的实际不相符(CropWatch Bulletin, 2014)。因此, 聚类监测结果对作物长势的描述更为准确。聚类监测方法对卡纳塔克邦和比哈尔邦的作物长势判断也比实时监测方法的判断更符合作物单产变化的实际。

4.4.4 监测结果都存在误差的区域

实时监测认为马哈拉斯特拉邦春收季作物长势总体与近5年平均一致。6月作物长势略差, 7月作物长势明显好于近5年平均, 8月该区域东部作物长势明显差, 西部作物长势明显好于近5年平均, 9月和10月作物长势略好于近5年平均, 秋收季作物长势总体略好于近5年平均。聚类监测结果表明: 马哈拉斯特拉邦春收季作物长势基本与近5年平均一致。秋收季作物除7月长势明显差于近5年平均之外, 总体略好于近5年平均。

两种方法都认为春收季作物长势基本与近5年平均一致, 不符合小麦单产小幅下降的实际, 这是由于小麦仅分布在马哈拉斯特拉邦中部偏西区域导致(图4和图5)。对秋收季作物长势总体略好于近5年平均的判断, 符合该区域水稻和大豆单产增加的实际。对该区域作物长势监测判断结果与全年玉米单产下降的实际不符, 则是由于玉米在马哈拉斯特拉邦分布较少, 其他作物的长势信息干扰了对玉米长势的判断所导致。

所选单产变幅较大的12个邦, 通过官方发布的作物单产变幅数据, 判断聚类监测方法和实时监测方法对作物长势监测结果的准确性。结果表明: 有6个邦实时监测和聚类监测方法所得结果一致, 对长势的判断都符合对应区域作物单产变化的实际; 4个邦聚类监测方法所得结果对作物长势监测更为准确, 更符合该区域作物单产的实际变化; 1个邦实

时监测结果对作物长势监测比聚类监测方法更为准确; 只有 1 个邦由于作物分布范围, 导致两种方法对该区域分布较少的某种作物长势的监测存在误差。因此, 对大尺度农作物长势进行连续监测时, 对作物苗情在整个生长过程中的连续变化情况及空间分布进行监测, 聚类方法优于实时监测方法。

5 结论与展望

过程监测可以反映农作物在整个生长季的总体生长过程, 但无法确定作物长势的空间分布信息。国家尺度大范围长势监测时, 使用过程监测方法所得作物生长曲线由于不同区域之间存在的长势差异, 会导致不同区域差异化的作物长势信息互相干扰, 无法对作物生长过程进行准确描述。对于省州级或更小范围的作物生长过程进行监测时, 由于区域范围内作物生长环境条件相对同质, 因此利用过程监测方法所得曲线能够较好的反映作物生长的全过程。

实时监测方法, 无法对时间序列遥感影像包含的相同区域作物苗情在整个生长过程中的连续变化情况进行表述, 不能量化表达不同作物苗情的连续空间分布。但可以反映所选时间点上的作物苗情与之前某个时间段内相同时间点作物苗情的差异及空间分布。实时监测方法对省州级尺度和国家级尺度都适用, 可用来监测特定时间点的作物长势状况。可以用来分析特殊天气条件如异常温度、降水等灾害因素对农作物生长产生的影响, 并表述异常苗情的空间分布范围及比例。

聚类监测方法通过对时间序列遥感影像进行聚类, 充分挖掘时间序列遥感数据提供的信息, 解决了实时监测方法在对作物生长过程中连续变化情况和量化表达方面存在的问题, 能对相同区域作物长势及不同作物生长条件的苗情空间分布状况进行连续的判断, 可以实现量化监测相同区域农作物在整个生长过程中的连续变化情况。聚类监测方法对省州级尺度和国家级尺度都适用, 但更侧重对作物生长过程的连续监测及空间分布的量化表述。

过程监测从区域总体角度反映农作物在整个生长季的风势。实时监测和聚类监测可以对不同长势的作物苗情差异及空间分布进行表述。这些方法的本质是一致的, 但对不同尺度的监测范围有

效性以及监测内容存在差异。过程监测方法, 对于省州级或更小范围地区的农作物生长过程表述比较准确, 但对于国家级甚至洲际尺度, 过程曲线对作物长势的描述会因为不同区域差异化的作物长势信息互相干扰导致对作物长势的描述存在误差。实时监测方法对任何尺度在选定离散时间点上的作物长势差异及空间分布都能准确描述。聚类监测方法, 在对省州—国家—洲际尺度作物生长过程的连续监测及空间分布的量化表述方面, 都比实时监测更为准确, 比较适用于大范围的监测。

通过引入时间序列遥感影像聚类监测方法, 对原有 CropWatch 业务化运行系统的作物长势监测方法进行改进, 提高了农作物长势遥感监测的精度, 并进一步明确了各种监测方法的适用范围及监测尺度。过程监测方法, 实时监测方法和聚类监测方法可以综合使用, 实现不同尺度农作物长势监测的业务化运行。

参考文献 (References)

- Arino O, Perez J R, Kalogirou V, Defourny P and Achard F. 2010. Globcover 2009. ESA-4LEAPS-EGU Earth Observation for Land-Atmosphere Interaction Science. 3rd-5th November, Frascati, Italy. SP-688
- Directorate of Economics and Statistics, Department of Agriculture and Cooperation, Ministry of Agriculture, Government of India. 2014. Data on Area, Production and Yield of Major Crops [R/OL]. [2014-02-06] <http://eands.dacnet.nic.in/>
- Doraiswamy P C, Moulin S, Cook P W and Stern A. 2003. Crop yield assessment from remote sensing. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 69(6): 665-674 [DOI: 10.14358/PERS.69.6.665]
- Doraiswamy P C, Hatfield J L, Jackson T J, Akhmedov B, Prueger J and Stern A. 2004. Crop condition and yield simulations using Landsat and MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 92(4): 548-559 [DOI: 10.1016/j.rse.2004.05.017]
- ESA. 2010. Globcover portal [EB/OL]. [2012-05-08] <http://due.esrin.esa.int/globcover/>
- Esquerdo J C D M, Zullo Júnior J and Antunes J F G. 2011. Use of NDVI/AVHRR time-series profiles for soybean crop monitoring in Brazil. *International Journal of Remote Sensing*, 32(13): 3711-3727 [DOI: 10.1080/01431161003764112]
- FAO. 2012. GeoNetwork [EB/OL]. [2013-06-29] <http://www.fao.org/geonetwork/>
- FAO. 2011. GIEWS country brief India [EB/OL]. <http://www.fao.org/giews/countrybrief/country.jsp?code=IND>
- Friedl M A, Sulla-Menashe D, Tan B, Schneider A, Ramankutty N, Sibley A and Huang X M. 2010. MODIS Collection 5 global land

- cover: algorithm refinements and characterization of new datasets. *Remote Sensing of Environment*, 114(1): 168 – 182 [DOI: 10.1016/j.rse.2009.08.016]
- Genovese G, Vignolles C, Nègre T and Passera G. 2001. A methodology for a combined use of normalized difference vegetation index and CORINE land cover data for crop yield monitoring and forecasting. A case study on Spain. *Agronomie*, 21(1): 91 – 111 [DOI: 10.1051/agro:20011111]
- Guindin-García N, Gitelson A A, Arkebauer T J, Shanahan J and Weiss A. 2012. An evaluation of MODIS 8- and 16-day composite products for monitoring maize green leaf area index. *Agricultural and Forest Meteorology*, 161: 15 – 25 [DOI: 10.1016/j.agrformet.2012.03.012]
- Huang Z D and Li Y. 2006. Agricultural modernization in India: development, features, and factors. *South Asian Studies Quarterly*, (3): 26 – 35 (黄正多, 李燕. 2006. 印度农业现代化的现状、特点及其原因分析. *南亚研究季刊*, (3): 26 – 35)
- Kurosu T, Fujita M and Chiba K. 1995. Monitoring of rice crop growth from space using the ERS-1 C-band SAR. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 33(4): 1092 – 1096 [DOI: 10.1109/36.406698]
- Li J P, Zheng Y F, Yin J M and Wei L. 2001. Application of 3s to growth vigour monitoring for late rice of double harvest. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology*, 24(1): 106 – 112 (李剑萍, 郑有飞, 殷剑敏, 魏丽. 2001. 3S技术在晚稻长势监测中的综合应用研究. *南京气象学院学报*, 24(1): 106 – 112)
- Li W G, Li Z J and Yang C. 2010. Grading monitoring of winter wheat growth condition by CBERS satellite image. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 12(3): 79 – 83 (李卫国, 李正金, 杨澄. 2010. 基于CBERS遥感的冬小麦长势分级监测. *中国农业科技导报*, 12(3): 79 – 83) [DOI: 10.3969/j.issn.1008-0864.2010.03.14]
- Li Y Z. 1993. Estimation of Winter Wheat Yield Using Weather Satellite by Remote Sensing. Beijing: Meteorological Press (李郁竹. 1993. 冬小麦气象卫星遥感动态监测与估产. 北京: 气象出版社)
- Loveland T R, Reed B C, Brown J F, Ohlen D O, Zhu Z, Yang L and Merchant J W. 2000. Development of a global land cover characteristics database and IGBP DISCover from 1 km AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing*, 21(6/7): 1303 – 1330 [DOI: 10.1080/014311600210191]
- Meng J H, Wu B F, Li Q Z and Zhang L. 2006. Design and implementation of a global crop growth monitoring system by remote sensing. *World Sci-Tech R and D*, 28(3): 41 – 44 (蒙继华, 吴炳方, 李强子, 张磊. 2006. 全球农作物长势遥感监测系统的设计和实现. *世界科技研究与发展*, 28(3): 41 – 44)
- Meng J H and Wu B F. 2008. Study on the Crop Condition Monitoring Methods With Remote Sensing. Beijing: The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B8: 945 – 950
- USDA. 2013. World agricultural production. [2013-09-10] <http://usda.mannlib.cornell.edu/usda/fas/worldag-production//2010s/2013/worldag-production-11-08-2013.pdf>
- Wu B F. 1999. Crop Monitoring of China with AVHRR//Presented at Science Symposium on Space technology for Improving Quality of Life in Developing Countries: A Perspective for the Next Millennium. Delhi, India [s. n.] 15 – 17
- Wu B F. 2004. China crop watch system with remote sensing. *Journal of Remote Sensing*, 8(6): 481 – 497 (吴炳方. 2004. 中国农情遥感速报系统. *遥感学报*, 8(6): 481 – 497) [DOI: 10.11834/jrs.20040601]
- Wu B F. 2013. CropWatch Bulletin. 13(7): 118 – 119. Beijing: Institute of Remote Sensing and Digital Earth, Chinese Academy of Sciences
- Wu B F. 2014. CropWatch Bulletin. 14(1): 84 – 92. Beijing: Institute of Remote Sensing and Digital Earth, Chinese Academy of Sciences
- Wu B F, Zhang F, Liu C L, Zhang L and Luo Z M. 2004. An integrated method for crop condition monitoring. *Journal of Remote Sensing*, 8(6): 498 – 514 (吴炳方, 张峰, 刘成林, 张磊, 罗治敏. 2004. 农作物长势综合遥感监测方法. *遥感学报*, 8(6): 498 – 514) [DOI: 10.11834/jrs.20040602]
- Wu B F, Meng J H, Li Q Z, Yan N N, Du X and Zhang M. 2014. Remote sensing-based global crop monitoring: experiences with China's CropWatch system. *International Journal of Digital Earth*, 7(2): 113 – 137 [DOI: 10.1080/17538947.2013.821185]
- Wu S X, Mao R Z, Li H J, Hou M T and Yang F. 2005. Review of crop condition monitoring using remote sensing in China. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 21(3): 319 – 323 (吴素霞, 毛任钊, 李红军, 侯美亭, 杨帆. 2005. 中国农作物长势遥感监测研究综述. *中国农学通报*, 21(3): 319 – 323)
- Xing S L and Zhang G L. 2003. Application status quo and prospect of agriculture remote sensing in China. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 19(6): 174 – 178 (邢素丽, 张广录. 2003. 我国农业遥感的应用现状与展望. *农业工程学报*, 19(6): 174 – 178)

Synthetic method for crop condition analysis: A case study in India

ZOU Wentao , WU Bingfang , ZHANG Miao , ZHENG Yang

*Key Laboratory of Digital Earth Science , Institute of Remote Sensing and Digital Earth ,
Chinese Academy of Sciences , Beijing 100101 , China*

Abstract: Monitoring crop condition can provide near real-time information on crop growth and reflect diverse information on crop yield before harvesting. Time series clustering method was employed to improve crop condition monitoring in the CropWatch global crop monitoring system. The scale suitability of methods in the CropWatch system was evaluated. Yield data covering the 12 main producing states in India were selected to validate the accuracy improvement obtained by clustering method.

Process , real-time , and time series clustering methods were employed in this research. All these methods were based on the comparison of Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) . Process method used the regional average of NDVI to develop crop growth profiles across the growing period and to compare the current profile with that of previous years or selected period. Real-time method used the difference of two NDVI images that represent different periods to identify the distribution of crop conditions , i. e. , poor , better , or maintain balance. Clustering method used a time series of NDVI , compared the time profiles of all the pixels , and categorized these profiles into different homogeneous types.

Among the selected main producing areas in India , six states have consistent results achieved by real-time monitoring method and clustering method. The actual variations in yield can be explained clearly in the crop condition monitoring by the two methods. Clustering method obtains more accurate crop condition results than real-time monitoring in four states. The clustering results can better describe yield variation. On the contrary , real-time monitoring obtains more accurate crop condition in one state. Only one of the 12 selected states has an inaccurate crop condition description provided by both real-time monitoring method and clustering method. Clustering method is more accurate than real-time monitoring method in continuous monitoring and quantitative expression for the spatial distribution of crop condition.

Process monitoring describes the regional crop growth across the growing period as a whole , whereas real-time method and time series clustering method can be used to show the spatial distribution of different crops. All these methods are consistent with one another in essence , but their scope suitability and aims are different. For provinces or smaller areas , process method performs well. For countries or continents , noises exist in the profiles because of the disturbance from crops in different areas. Real-time method can be applied to any scope to describe the regional crop growth difference in selected discrete time. As for the time series clustering method , it can be used to quantitatively describe crop growth and the distribution of corresponding types and performs better than real-time method.

Key words: crop condition , remote sense monitoring , NDVI , time series clustering , India