

CropWatch 在线资源:

B. 方法^[2014年2月更新]

1. 地理单元

CropWatch 基于 60 个全球农业生态区 (CPSZ), 6 个作物主产区(MPZ)以及 31 个国家 (包括中国) 进行全球和区域的分析。对于地理单元和国界详情的介绍, 请参阅在线资源 A “空间单元定义” 和 D “国家简介”。

1.1 国家界限

除中国参照本国标准行政界线外, 其他所有国家都参照全球行政单元层 (GAUL)进行设置, 同时对小于 25*25 公里的单元进行了剔除。其中, GAUL 由 FAO GeoNetwork(1)提供。对于一些面积较大的国家 (澳大利亚、巴西、加拿大、中国、印度、哈萨克斯坦和美国), 本通报对国家尺度以下的省/州级行政单元进行了分析。

1.2 农作物种植分布及耕地分布图

全球农作物分布数据来源于 JRC。最初的农作物分布数据是为全球水分胁迫目的进行划分的, 共包含了 11 种作物类型。本通报只对其中的玉米、水稻、大豆和小麦分布区进行提取, 生成后的作物分布数据分辨率为 0.25°。其他的农作物分布数据还包括: USDA 的主要作物分布图(2), FAO/IIRSA (3)(4)的雨养和灌溉农业分布图等等。

本通报所用的耕地分布数据, 是将 2010 年和 2011 年,MODIS 土地利用数据产品(5), 第二版国际地圈生物圈计划 (IGBP) 全球土地覆盖数据集(IGBP-DISCover) (6), 全球地表覆盖 2009 (7) (8) 这些产品当中的耕地进行合并得到。中国 2000 年, 2005 年和 2010 年的耕地分布数据直接采用中国科学院遥感与数字地球研究所的 2000 年, 2005 年和 2010 年中国土地覆盖数据(9)。

2 数据

2.1 NDVI 数据

本通报所用的 NDVI 数据主要是 NASA 提供的 MODIS NDVI 数据, 通报所用 NDVI 数据覆盖的时间从 2002 年 1 月至 2014 年 1 月底。通报只选择 MODIS Terra 星陆地 3/4 级产品(10), 空间分辨率为 1 公里。在原始数据下载之后, 用全球耕地分布数据对 NDVI 进行掩膜处理, 剔除非耕地数据, 确保 NDVI 数据集适于农作物长势监测及估产等研究。

此外, 本通报还使用了 VITO (11)提供的, 基于 SPOT-VEGETATION 传感器, 分辨率为 0.185° 的长时间序列 (1999 年-2012 年) NDVI 平均数据。

2.2 气温

本通报生产的气温产品为覆盖全球 (0.25×0.25 度) 的旬产品, 产品时间范围为 2000 年 1 月至 2013 年 9 月。该产品是基于全球变化总目录资料库中的全球地表日数据集 (GSOD) 生产的 (56)。GSOD 数据集是由美国国家气候中心 (NCDC) 生产, 由地表小时数据集 (ISH) DSI-3505 (C00532) 插值得到。可下载的在线数据最早可追溯至 1929 年, 最新数据在日观测数据获取 1-2 日内更新。该数据集可提供来自全球 9000 多站点的气温、露点温度、海面气压、风速、降雨、雪深等观测参量。

本通报使用了 GSOD 数据集中 2000 年 1 月至 2014 年 1 月的日平均气温计算出旬平均气温, 考虑高程对温度的影响, 结合 STRM_DEM 数据 (57) 使用克里金插值法得到了全球 0.25×0.25 度的月气温产品。

2.3 光合有效辐射

光合有效辐射 (PAR) 是影响作物生长的一个重要的参数, 是指波长范围在 400-700nm 的太阳短波辐射。本次通报所用的 2000-2013 的旬累积 PAR 来自于 Nasa 的 MERRA (12) 的小时尺度的全球 PAR 数据, 所有数据下载后统一重采样为全球的 0.25x0.25 度的栅格数据。标准的 MERRA 数据利用 GEOS-5 以及和其相关的 DAS 5.2.0 版本数据(13)(14)最为输入所生成的正对卫星时代的重分析数据。2014 年 1 月, 太阳辐射数据版本 5.2.0 由 JRC (15)提供。

2.4 降雨

CropWatch 集成了 2000 年 1 月至 2014 年 1 月的旬降水产品, 该产品的空间分辨率为 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ 经纬度, 覆盖范围为北纬 90-南纬 50 之间的陆地。该数据集有两个数据源合成: (1) 第 7 版的 TRMM 降水数据集 (63), 其空间分辨率为 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$, 覆盖范围为北纬 50-南纬 50; (2) ERA-I 与 ECMWF 旬降水产品 (Mars) (16), 其空间分辨率为 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$, 覆盖范围为北纬 50-北纬 90; 具体的合成方法如下: 2000.1-2013.3 期间, 采用 TRMM 3b42 日降水产品 ($50^{\circ} \text{ S}-50^{\circ} \text{ N}$) 与 ERA-I ($50^{\circ} \text{ N}-90^{\circ} \text{ N}$) 旬降水数据合成; 2013.4-2013.8, 采用采用 TRMM 3b42 日降水产品 ($50^{\circ} \text{ S}-50^{\circ} \text{ N}$) 与 ERA OPE 旬降水产品 ($50^{\circ} \text{ N}-90^{\circ} \text{ N}$) 合成; 2013.8-2014.1, 采用 TRMM 3b42 实时的 3 小时的降水产品 ($50^{\circ} \text{ S}-50^{\circ} \text{ N}$) 与 ERA OPE 旬降水产品 ($50^{\circ} \text{ N}-90^{\circ} \text{ N}$) 合成。

2.5 植被健康指数 (VHI)

植被健康指数 (VHI) 可以有效地指示作物生长状况。本通报采用温度状态指数 (TCI) 和植被状态指数 (VCI) 加权的方法计算植被健康指数(67) (68) (69)。温度状态指数和植被状态指数数据均可以通过 NOAA 数据中心的卫星数据应用和研究数据库下载 (70)。该方法的计算方程如下:

$$\text{VHI} = a * \text{TCI} + (1-a) * \text{VCI}$$

但是, 本文使用的经验系数 (a) 在全球不同区域是变化的, 而不是前面研究者使用的常数 0.5。

2.6 潜在生物量

CropWatch 通报中采用 Lieth “迈阿密” 模型 (71,72) 得到的净初级生产力作为生物量指标 (报告中也称为潜在生物量或累积潜在生物量), 进行全球潜在生物量的衡量。迈阿密模型中考虑了两个环境要素, 温度和降雨, 如下式所示:

$$\text{NPP}[\text{Rain}(\text{dek})] = 3000(1 - e^{-0.000664\text{Rain}(\text{dek})*36})$$

$$\text{NPP}[\text{Temp}(\text{dek})] = 3000 / (1 + e^{1.315 - 0.119\text{Temp}(\text{dek})})$$

其中, Rain(dek) 代表旬累积降雨, 单位毫米 (mm), Temp(dek) 为旬平均气温, 单位摄氏度 ($^{\circ}\text{C}$)。最后, 潜在生物量由降雨和温度在一段时期内 (如 i 到 n 旬) 的累积进行综合表示, 计算公式如下:

$$\text{NPP}_{\text{Rain}} = \sum_{\text{dek}=i}^n \text{NPP}[\text{Rain}(\text{dek})] / n$$

$$\text{NPP}_{\text{Temp}} = \sum_{\text{dek}=1}^n \text{NPP}[\text{Temp}(\text{dek})] / n$$

$$\text{NPP} = \min(\text{NPP}_{\text{Rain}}, \text{NPP}_{\text{Temp}})$$

潜在生物量的单位为克干物质每平方米每时期 ($\text{gDM}/\text{m}^2\text{period}$)。

3 方法

3.1 环境指标 (EI)

本通报基于作物生育期的环境指标，比较了不同年份、不同地区国家的环境因子对农作物生长的影响。通过对农业区赋予较高权重，关注区域每年一个数值，从而可以在相同的空间和时间尺度上与其他变量或指标（如农业统计数据和社会经济指标）进行比较。

对于降雨，前人研究了降雨环境指标（73），并实际应用于综合分析（74），（75）。本次通报将这种指标计算方法推广到其他环境因子（气温和光合有效辐射（PAR）），在不同区域（如 CPSZ, 国家或其他空间单元）分析了三种环境指标（降水、气温和 PAR）对农业生产的影响。

环境指标的计算基于 25km 空间分辨率的环境因子数据，利用潜在净初级生产力(NPPP)（72）作为权重（象元的潜在生产力越高，权重值越大），结合耕地掩膜计算了各区域在用户定义时段内的累积值。其中，PAR 和降水两个因子采用了简单累加，而对温度选取大于 5° C 的值进行累加。对于时段的选取，大部分分析采用全年的累加(从 2012 年 10 月到 2013 年 9 月)，当使用特定时段时，文中都会标注(如北半球冬季作物使用了 1 月到 5 月生长期的累加)。

3.2 总产，面积和单产

总产

在 30 个主产国的总产估算中，通报充分考虑了各个国家的作物物候特征，采用各国当前生长季内的平均 NDVI 结合作物掩膜以及前两年的作物产量统计数据，估算了今年四种粮油作物（玉米、小麦、大豆和水稻）的总产量，计算公式如下所示：

$$\text{总产}_i = a + b * \text{NDVI}_i + c * \text{总产}_{i-1} + d * \text{总产}_{i-2}$$

其中，i 代表关注年份；a, b, c, d 为利用 2002-2012 年平均 NDVI 和 2000-2011 年 FAOSTAT 产量统计数据由逐步线性回归得到的四个系数。

对于中国，各种作物的总产通过单产与面积的乘积进行估算，公式如下所示：

$$\text{总产} = \text{单产} * \text{面积}$$

面积

通报基于 CropWatch 系统利用作物种植比例（播种面积/耕地面积）和作物种植结构（某种作物播种面积/总播种面积）对中国四种粮油作物（玉米、小麦、大豆和水稻）的播种面积进行了估算。其中，种植比例基于高分辨率的环境星（HJ-1 CCD）数据由非监督分类获取，中国的作物种植结构通过 GVG 系统由田间采样获取（可参考 3.6 节）。通过农田面积乘以作物种植比例和作物种植结构得到不同作物的播种面积。

对 30 个主产国的作物面积估算，通报采用了两种方法。第一种方法是基于时间序列 MODIS NDVI 数据提取不同作物的特征曲线进行面积的估算(78) (79) (80) (81)，另一中方法是基于前两年面积统计数据的回归，公式如下：

$$\text{面积}_i = a + b * \text{面积}_{i-1} + c * \text{面积}_{i-2}$$

其中 a, b, c 是基于 FAOSTAT 统计数据或各国面积统计数据通过逐步线性回归得到的三个系数。

单产

30 个主产国的单产由总产和面积计算，如下式：

$$\text{单产} = \text{总产} / \text{面积}$$

中国单产的估算采用了农业气象模型以及遥感指数两个模型(82) (83)。通过将两种模型的估算结果进行综合平均，对中国 2013 年四种作物的单产进行了估算。

3.3 复种指数 (CI)

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，复种指数是用来描述耕地在生长季中利用程度的指标，通常以全年总收获面积与耕地面积比值计算（84），也可以用来描述某一区域的粮食生产能力（85）。本通报采用范锦龙等人（86）提出的方法，基于经过 S-G 方

法(87)平滑后的 MODIS 时间序列 NDVI 曲线,提取曲线峰值个数、峰值宽度和峰值等指标,计算耕地复种指数。

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。本通报利用差分方法提取经 S-G 平滑后的 NDVI 散点序列的极大值个数。

假设一个像素由包含 N 个元素的离散点系列 S 构成,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

$$S1=DIFF(S)$$

其中,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

$$S2=SIGN(S1)$$

其中,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

$$S3=DIFF(S2),$$

最后,统计点系列 S3 中元素值为-2 的元素个数,元素值为-2 的总个数即为求得的极大值个数,即 NDVI 曲线中峰值的个数。基于上述公式,再利用 NDVI 阈值等条件加以限制,最终计算得到取值为 1,2 和 3,代表一季,两季和第三季种植的像元级复种指数分布图。

3.4 未种植耕地比率 (UAL)

本通报中,引入未种植耕地比率目的是为了表征某一行政区划内在过去一年内未被耕种的耕地面积占耕地总面积的比例。众多研究成果表明,NDVI 与鲜活植被具有较高的相关性(88)(89),因此本通报中使用时间序列 MODIS NDVI 数据用于耕种与未耕种耕地的识别。对于每一像元,利用 S-G 平滑算法(87)对每年的作物生长曲线进行平滑,并逐像元的提取 2001 年至 2013 年每年 10 月至次年 1 月期间的 NDVI 峰值,同时计算 2001 年-2012 年每年 10 月至次年 1 月期间各像元 NDVI 峰值的均值 (NDVI_m) 以及标准差 (NDVI_{std})。基于这些参数,利用 NDVI 阈值法(90)(91)和决策树算法对 2013 年 10 月-2014 年 1 月期间的耕种与未耕种耕地进行区分。NDVI_m 与 NDVI_{std} 的差值被引入到决策树分类过程中,可以在一定程度上削弱年度间作物长势差异造成的分类误差。分类树的规则如下:

$$\text{耕地状态} = \begin{cases} \text{未耕种, 如果 Peak}_{2014} \leq 0.15 \\ \text{未耕种, 如果 } 0.15 < \text{Peak}_{2014} < 0.45 \text{ 且 } \text{Peak}_{2014} < (\text{NDVI}_m - 1.28 * \text{NDVI}_{std}) \\ \text{耕种, 如果 } 0.15 < \text{Peak}_{2014} < 0.45 \text{ 且 } \text{Peak}_{2014} \geq (\text{NDVI}_m - 1.28 * \text{NDVI}_{std}) \\ \text{耕种, 如果 Peak}_{2014} \geq 0.45 \end{cases}$$

对于中国国内冬小麦主产区(包括 12 个省级行政区,小麦产量超过全国产量的 85%),本期通报获取了 2013 年 11 月中旬的 26 景环境星影像并进行预处理。利用非监测分类的方法结合人工目视解译的方式实现了对该区域未种植耕地与有作物种植的耕地的区分。在此基础上,利用 GIS 的分区统计功能对各行行政区内的未种植耕地比率进行统计。

3.5 最佳植被状态指数

由于 NDVI 与植被生产力与生物量具有很好的相关性(92)(93)(94)(95),因此可以使用 NDVI 作为作物生物量的近似。基于 Kogan (1990) (17) 年提出的植被状态指数 (VCI),本通报采用“最佳植被状态指数”(maximum VCI)来描述研究期内与历史最大潜在生物量相比下的当前最佳植被状态,计算公式如下:

$$\text{Maximum VCI} = \frac{\text{NDVI}_{\max_c} - \text{NDVI}_{\min_h}}{\text{NDVI}_{\max_h} - \text{NDVI}_{\min_h}}$$

其中,NDVI_{max_c} 代表当前研究期内最大 NDVI 值,NDVI_{max_h} 代表多年同期历史最大 NDVI 值,NDVI_{min_h} 代表多年同期历史最小 NDVI 值。考虑到 NDVI 峰值可以反映纯植被信息,较少受土壤等背景因素的影响,NDVI_{max_c} 和 NDVI_{max_h} 可通过遍历 NDVI 时间序列获取。但是 NDVI_{min_h} 会受土壤、云雨等因素的影响,不能简单使用遍历方法,因此本通报引入了最小 NDVI

经验值 (0.15) 进行 $NDVI_{\min_h}$ 的计算, 具体如下所示:

$$NDVI_{\min_h} = \max(0.15, NDVI_{\min_{h0}})$$

其中, $NDVI_{\min_{h0}}$ 是由遍历 NDVI 时间序列得到的原始历史 NDVI 最小值。最佳植被状态指数的取值在 0-1 间, 值越高, 代表研究期内作物生长状态越好, 生物量越大。因此, 最佳植被状态指数更适宜考察生长季内的作物状态以生物量情况。

3.6 作物种植结构

作物种植结构是指在某一行政单元或区域内, 每种作物的播种面积占总播种面积的比例。作物种植结构仅用在国内的作物种植面积估算中(76)。作物种植结构数据通过利用 GVG 采样系统在特定区域内开展地面观测, 通过系统采集的大量的作物照片来估算每一区域各种作物的种植比例(96)(97)(98)(85)。

3.7 时间序列聚类

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。在全球农情遥感速报中, 我们应用了 VITO 为 JRC/MARS 开发的 SPIRITS 软件, 对 NDVI 和 VHI 时间序列影像(当前作物生长季与近 5 年平均的差值)进行了时序聚类分析。

参考文献

1. FAO. FAO GeoNetwork. [Online] <http://www.fao.org/geonetwork/>.
2. USDA. Major World Crop Areas and Climate Profiles (MWCACP). [Online] <http://www.usda.gov/oce/weather/pubs/Other/MWCACP/>.
3. FAO/IIASA. *Global Agro-ecological Assessment for Agriculture in the 21st Century*. [CD-ROM] 2002.
4. —. *Global agroecological assessment for agriculture in the 21st century: methodology and results*. 2002.
5. MODIS Collection 5 global land cover: Algorithm refinements and characterization of new datasets. Friedl, M. A., Sulla-Menashe, D., Tan, B., Schneider, A., Ramankutty, N., Sibley, A., and Huang, X. 2010, Remote Sensing of Environment, Vols. 114, 168–182.
6. *Development of a global land cover characteristics database and IGBP DISCover from 1 km AVHRR data*. Loveland, T.R., Reed, B.C., Brown, J.F., Ohlen, D.O., Zhu, Z., Yang, L. and Merchant, J.W. 2000, International Journal of Remote Sensing, Vols. 21: 1303–13.
7. ESA. GlobCover Portal. [Online] 2010. <http://due.esrin.esa.int/globcover/>.
8. Arino O., Perez J. R., Kalogirou V., Defourny P., Achard F. GLOBCOVER. [Online] 2009. 2010.
9. *ChinaCover: Feature and Methodology*. Wu B.F., Zhang L., et.al. June 2012, GeoInformatics.
10. LAADS. LAADS Website. [Online] <http://Ladsweb.nascom.nasa.gov/data/search.html>.
11. Personal communication with Herman Eerens at VITO.
12. [Online] <http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/mdisc/>.
13. MERRA: NASA's Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications. Rienecker, M. M., et. al. 2011, J. Clim., 24, 3624-3648. doi:10.1175/JCLI-D-11-00015.1.
14. Rienecker, M.M., et al. The GEOS-5 Data Assimilation System - Documentation of Versions 5.0.1, 5.1.0, and 5.2.0. *Technical Report Series on Global Modeling and Data Assimilation 104606*, v27. [Online] 2008. <http://gmao.gsfc.nasa.gov/pubs/docs/>.
15. European Commission/JRC. [Online] <http://mars.jrc.ec.europa.eu/mars/Web-Tools>, <http://marswiki.jrc.ec.europa.eu/datadownload/index.php>.
16. [Online] <http://marswiki.jrc.ec.europa.eu/datadownload/index.php>.
17. *Remote sensing of weather impacts on vegetation in non-homogenous areas*. Kogan, F.N. Int. J. Remote Sens. 11, 1405-1419.

18. **FAO.** Food and Agricultural commodities production. [Online] <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>.
19. **Wikipedia.** Bangladesh. [Online] <http://en.wikipedia.org/wiki/Bangladesh>.
20. **FAO-GIEWS.** Country Briefs. [Online] <http://www.fao.org/giews/countrybrief/country.jsp?code=BGD>.
21. **CropWatch.** *CropWatch Bulletin, November 2013*. Beijing : Institute for Remote Sensing and Digital Earth (RADI), Chinese Academy of Science (CAS), 2013. Bulletin.
22. **FAO.** Agricultural trade domain (import export). [Online] <http://faostat.fao.org/site/342/default.aspx>.
23. **Central Intelligence Agency (CIA).** The World Factbook. [Online] <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/>.
24. Aquestat- Iran. [Online] 2008. http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/irn/index.stm.
25. **USDA Foreign Agricultural Service.** Kazakhstan Agricultural Overview - Commodity Intelligence Report. [Online] http://www.pecad.fas.usda.gov/highlights/2010/01/kaz_19jan2010/.
26. —. Commodity Intelligence Report: Cambodia Seasonal Flooding Impacts Wet Season Rice Production in 2013. [Online] November 2013. <http://www.pecad.fas.usda.gov/highlights/2013/11/Cambodia/>.
27. Rice Production in Cambodia. [Online] http://books.irri.org/9712201007_content.pdf.
28. **Australian Centre for International Agricultural Research.** *A guide to upland cropping in Cambodia: maize ACIAR Monograph*. 2009.
29. Burma/Myanmar: What everyone needs to know. [Online] http://books.google.co.th/books?id=hNUSPDAikikC&printsec=frontcover&dq=isbn:0195390679&hl=en&sa=X&ei=x3nlUvaTMY7xrQfJ_ICYBw&ved=0CCwQ6AEwAA#v=onepage&q&f=false.
30. **Wikipedia.** Economy of Burma. [Online] http://en.wikipedia.org/wiki/Economy_of_Burma.
31. —. Sagaing Region. [Online] http://en.wikipedia.org/wiki/Sagaing_Region.
32. **Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).** FAOSTAT. [Online] <http://faostat.fao.org/>.
33. **Wikipedia.** Rice production in Vietnam. [Online] http://en.wikipedia.org/wiki/Rice_production_in_Vietnam.
34. <http://www.ukraine-arabia.ae/>. [Online] <http://www.ukraine-arabia.ae/economy/agriculture/>.
35. **MARS.** Crop Monographies on Central European Countries: Wheat in Turkey. [Online] <http://www.marsop.info/marsopdoc/moca/16030100.HTM>.
36. **FAO.** Crop Diversification in Thailand. [Online] <http://www.fao.org/docrep/003/x6906e/x6906e0c.htm>.
37. **Thai Rice Exporters Association.** Rice exporters urge govt to face up to tough competitors. [Online] http://www.thairiceexporters.or.th/Int%20news/News_2012/int_news_070912-1.html.
38. **Jihad-e-Agriculture, Ministry of.** Ministry of Jihad-e-Agriculture. [Online] <http://maj.ir/English/Main/Default.asp>.
39. **National Cotton Council of America.** [Online] <http://www.cotton.org>.
40. **Schnepf, Randall D., Dohman, Erik and Bolling, Christine.** *Agriculture in Brazil and Argentina: Developments and Prospects for Major Field Crops. Agriculture and Trade Report. WRS-01-3*. Washington, DC : Market and Trade Economics Division, Economic Research Service, U.S. Department of Agriculture., 2001.
41. **IBGE Brazil.** [Online] 2014. <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/prevsaf/default.asp?t=3&z=t&o=26&u1=1&u2=1&u3=1&u4=1>.
42. **Encyclopaedia Britannica.** Encyclopaedia Britannica: Cambodia. [Online] <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/90520/Cambodia>.
43. **USDA Foreign Agricultural Service.** *Union of Birma, Grain and Feed Annual 2013*. 2013.
44. **Encyclopedia of Nations.** Poland - Agriculture. [Online] <http://www.nationsencyclopedia.com/economies/Europe/Poland-AGRICULTURE.html>.
45. **Pakistan Bureau of Statistics.** Agriculture Statistics. [Online] <http://www.pbs.gov.pk/content/agriculture-statistics>.
46. **Hu, Zizhi and Zhang, Degang.** *China Country Pasture/Forage Resource Profiles*. Rome : FAO, 2006. p. 63.
47. *GB/T 2260-2007. Codes for the administrative divisions of the People's Republic of China*. s.l. : Standard Press of China, 2007.
48. **FAO/IIASA.** *Global Agro-ecological Assessment for Agriculture in the 21st Century*. [CD-ROM] 2002.

49. *MODIS Collection 5 global land cover: Algorithm refinements and characterization of new datasets*. **Friedl, M. A., Sulla-Menashe, D., Tan, B., Schneider, A., Ramankutty, N., Sibley, A., and Huang, X.** 2010, Remote Sensing of Environment, Vols. 114, 168–182.
50. *Development of a global land cover characteristics database and IGBP DISCover from 1 km AVHRR data*. **Loveland, T.R., Reed, B.C., Brown, J.F., Ohlen, D.O., Zhu, Z., Yang, L. and Merchant, J.W.** 2000, International Journal of Remote Sensing, Vols. 21: 1303–1330.
51. **ESA**. GlobCover Portal. [Online] 2010. <http://due.esrin.esa.int/globcover/>.
52. **Arino O., Perez J. R., Kalogirou V., Defourny P., Achard F.** *GLOBCOVER 2009*. 2010.
53. *ChinaCover: Feature and Methodology*. **Wu B.F., Zhang L., et.al.** 2012. Geoinformatics 2012, 15-17 June 2012, Hong Kong.
54. LAADS Web. [Online] <http://Ladsweb.nascom.nasa.gov/data/search.html>.
55. Personal communication with Herman Eerens at VITO.
56. **NASA**. Global Change Master Directory (GCMD). [Online] 2013. <http://gcmd.gsfc.nasa.gov>.
57. **STRM_DEM**. [Online] <http://srtm.csi.cgiar.org/SELECTION/inputCoord.asp>.
58. *Relationships of photosynthetically active radiation and shortwave irradiance[J]*. **Britton C M, Dodd J D.** 1976, Agricultural Meteorology, Vols. 17(1): 1-7.
59. *Uncertainty estimate of surface irradiances computed with MODIS-, CALIPSO-, and CloudSat-derived cloud and aerosol properties*. **Kato, S., N. G. Loeb, D. A. Rutan, F. G. Rose, S. Sun-Mack, W. F. Miller, and Y. Chen.** 2012, Surv. Geophys. doi 10.1007/s10712-012-9179-x.
60. <http://satellite.cma.gov.cn/PortalSite/Ord/Satellite.aspx>. [Online]
61. **LandSAF**. *Downwelling surface short-wave radiation flux (DSSF) Product User Manual, Version 1.4*. 2006.
62. **OSI-SAF**. *Surface Solar Irradiance Product Manual, Version 1.5*. <http://www.osi-saf.org>. 2005.
63. **NASA**. Tropical Rainfall Measuring Mission. [Online] trmm.gsfc.nasa.gov.
64. The Global Precipitation Climatology Centre (GPCC). [Online] <http://gpcc.dwd.de>.
65. *GPCC Monitoring Product: Near Real-Time Monthly Land-Surface Precipitation from Rain-Gauges based on SYNOP and CLIMAT data*. **Schneider, U., A. Beckers and P. Finger, A. Meyer-Christoffer, B. Rudolf, M. Ziese.** 2011.
66. *GPCC First Guess Product at 1.0 ° Near Real-Time First Guess monthly Land-Surface Precipitation from Rain-Gauges based on SYNOP Data*. **Ziese, M., A. Becker, P. Finger, A. Meyer-Christoffer, B. Rudolf, U. Schneider.** 2011.
67. *Application of Vegetation Index and Brightness Temperature for Drought Detection*. **Kogan, F.N.** 1995, Advances in Space Research, Vols. 15:91-100.
68. *Operational space technology for global vegetation assessment*. **Kogan, F.N.** 2001, Bulletin of the American Meteorological Society, Vols. 82, 1949–1964.
69. *Derivation of pasture biomass in Mongolia from AVHRR-based vegetation health indices*. **Kogan, F. N., R. Stark, A. Gitelson, L. Jargalsaikhan, C. Dugrajav and S. Tsooj.** 2004, International Journal of Remote Sensing, Vols. 25(14):2889-2896.
70. NOAA Star Center for Satellite Applications and Research - VCI and TCI downloads. [Online] ftp://ftp.star.nesdis.noaa.gov/pub/corp/scsb/wguo/data/gvix/gvix_weekly.
71. **Lieth, H.,** *Modeling the primary productivity of the earth. Nature and resources*. s.l. : UNESCO, VIII, 2:5-10, 1972.
72. **Grieser, J., R. Gommès, S. Cofield and M. Bernardi.** World maps of climatological net primary production of biomass, NPP. [Online] 2006. downloadable from <ftp://tecproda01.fao.org/public/climpag/downloads/globgrids/npp/npp.pdf>. http://www.fao.org/nr/climpag/globgrids/NPP_en.asp.
73. **Gommès, R.,** Current Climate and Population Constraints on World Agriculture. [book auth.] Eds., H. Kaiser and T.E Drennen. *Agricultural dimensions of global climatic change*. Delray Beach, Florida : St. Lucie Press, 1993, pp. 67-86.
74. **Gommès, R., and F. Petrassi.** *Rainfall variability and drought in sub-Saharan Africa since 1960*. 1994. FAO Agrometeorology Series Working Papers. N. 9.
75. *Development Aid and Economic Growth: A Positive Long-Run Relation*. **Minoiu, C. and S.G. Reddy.** 2010, Quarterly Review of Economics and Finance, Vols. Vol. 50, No. 2, p. 59.

76. *Crop Acreage Estimation Using Two Individual Sampling Frameworks with Stratification*. **Wu, B. F. and Li Q. Z.** 2004, *Sinic Journal of Remote Sensing*, Vols. 8 (6): 551-569.
77. *Crop planting and type proportion method for crop acreage estimation of complex agricultural landscapes*. **Wu, B.F. and Li, Q.Z.** 2012, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Vols. 16: 101–112.
78. *Analysis of time-series MODIS 250 m vegetation index data for crop classification in the U.S. Central Great Plains*. **Wardlow, B. D., Egbert, S. L., and Kastens, J. H.** 2007, *Remote Sensing of Environment*, Vols. 108: 290-310.
79. *Large-area crop mapping using time-series MODIS 250 m NDVI data: An assessment for the U.S. Central Great Plains*. **L., Wardlow B. D. and Egbert S.** 2008, *Remote Sensing of Environment*, Vols. 112(3): 1096-1116.
80. *The use of MODIS data to derive acreage estimations for larger fields: A case study in the south-western Rostov region of Russia*. **Fritz S., Massart M., Savin I., Gallego J., Rembold F.** 2008, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Vols. 10: 453–466.
81. *Early-season crop area estimates for winter crops in NE Australia using MODIS satellite imagery*. **Potgieter A.B., Apan A., Hammer G., Dunn P.** 2010, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vols. 65: 380-387.
82. *Operational crop yield estimating method for agricultural statistics*. **Meng, Q.Y., Li, Q.Z., and Wu, B.F.** 2004, *Sinic Journal of Remote Sensing*, Vols. 8(6): 602-610.
83. *Design and Implementation of Crop Yield Forecasting System*. **Xu X. G., Wu B. F., Meng J. H., Li Q. Z.** 2008, *Computer Engineering*, Vols. 34(9): 283-2.
84. **Wu, B.F., and Zhang, M.** New indicators for global crop monitoring in CropWatch - case study in Huang-Huai-Hai Plain. 2013. Oral presentation in: 35th International Symposium on Remote Sensing of Environment, Beijing, China. 22-26 April, 2013..
85. *Remote sensing-based global crop monitoring: experiences with China's CropWatch system*. **Wu B. F., Meng J. H., Li Q. Z., Yan N. N., Du X., Zhang M.** 2013, *International Journal of Digital Earth*.
86. *Methodology of Cropping Index Retrieval from NDVI Profile*. **Fan, J.L., and Wu, B.F.** 2004, *Sinic Journal of Remote Sensing*, Vols. 8(6), 628-636.
87. *Smoothing and differentiation of data by simplified least squares procedures*. **Savitzky, A., and Golay, M. J. E.** 1964, *Analytical Chemistry*, Vols. 36(8), 1627–1639.
88. *On the use of NDVI profiles as a tool for agricultural statistics: The case study of wheat yield estimate and forecast in Emilia Romagna*. **Benedetti, R., and Rossini, P.** 1993, *Remote Sensing of Environment*, Vols. 45, 311–326.
89. *Trends in NDVI time series and their relation to rangeland and crop production in Senegal, 1987–1993*. **Fuller, D. O.** 1998, *International Journal of Remote Sensing*, Vols. 19(10), 2013–2018.
90. *Fallow land mapping for better crop monitoring in Huang-Huai-Hai Plain using HJ-1 CCD data*. **Zhang Miao, Bingfang Wu, Jihua Meng, Taifeng Dong, Xingzhi You.** 2013. 35th International Symposium on Remote Sensing of Environment, 22 - 26 April 2013, Beijing, China.
91. *Mapping cropping intensity of smallholder farms: A comparison of methods using multiple sensors*. **M. Jain, P. Mondal, R. S. DeFries, C. Small, G. L. Galford.** 2013, *Remote Sensing of Environment*, Vols. 134: 210–223.
92. *Satellite remote-sensing of total herbaceous biomass production in the Senegalese Sahel—1980–1984*. **Tucker C., C. Vanpraet, M. Sharman M, G. Vanittersum.** 1985, *Remote Sens Environ*, Vols. 17:233–249.
93. *Accuracy of the AVHRR Vegetation Index as a predictor of biomass, primary productivity and net CO₂ flux*. **Elgene O. Box, B. N. Holben, V. Kalb.** 1989, *Vegetation*, Vols. 80: 71-89.
94. *The use of NOAA-AVHRR NDVI data to assess herbage production in the arid rangelands of Central Australia*. **Hobbs, T.** 1995, *International Journal of Remote Sensing*, Vols. 16:1289–1302.
95. *Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change*. **Pettorelli N., Vik J., A. Mysterud, J-M Gaillard, C. Tucker, N. Stenseth.** 2005, *Trends Ecol Evol* , Vols. 20:503–510.
96. *GVG, a Crop Type Proportion Sampling Instrument*. **Wu, B. F., Tian Y. C., and Li Q. Z.** 2004, *Sinic Journal of Remote Sensing*, Vols. 8(6): 570-580.

97. *A Method for Crop Planting Structure Inventory and its Application*. **Wu, B. F. et al.**, 2004, *Sinic Journal of Remote Sensing*, Vols. 8 (6): 618-627.
98. *Crop planting and type proportion method for crop acreage estimation of complex agricultural landscapes*. **Q.Z., Wu B. F. and Li.** 2012, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Vols. 16, 101–112.
99. *Clustering analysis applied to NDVI/NOAA multitemporal images to improve the monitoring process of sugarcane crops*. **Romani, L.A.S, R.R.V. Goncalves, B.F. Amaral, D.Y.T. Chino, J.Zullo, C.Traina, E.P.M. Sousa, A.J.M. Traina.** 2011. Proceedings of International Work shop on the Analysis of Multi-temporal Remote Sensing Images - MultiTemp , 2011, 33-36.
<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6005040>.
100. *Spatio-temporal reasoning for the classification of satellite image time series*. **Petitjean, F., C. Kurtz, N. Passat, P. Gan çarski.** 2012, *Pattern Recognition Letters*, Vols. 33:1805–1815.
101. SPIRITS Software. [Online] <https://rs.vito.be/africa/en/software/Pages/Spirits.aspx>.
102. *Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas*. **Hijmans, R.J, S. Cameron, J.L. Parra, P.G. Jones and A. Jarvis.** 2005, *Int. J. Climatol.*, Vols. 25:1965–1978. Downloadable from <http://www.worldclim.org/current>.
103. Agriculture GeoWiki. [Online] 2013. <http://agriculture.geo-wiki.org/index.php>.
104. **FAO**. Percentage of area equipped for irrigation. [Online] 2010. <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/irrigationmap/index.stm>, . Data are available from AQUASTAT/SOLAW <http://www.fao.org/geonetwork/srv/en/main.home>.
105. **FAO/CLIMPAG** VasClimo Data. [Online] http://www.fao.org/nr/climpag/globgrids/npp_en.asp.