

CropWatch 在线资源:



B. 方法 [2015 年 12 月更新]

CropWatch 以遥感数据为主，地面数据为辅，依托一系列新型指标和农情监测技术体系，开展全球农业气象指标与农情指标的监测以及产量估算。自 CropWatch 系统建成以来，随着新型遥感数据的投入使用，系统所采用的方法也在不断的改进与完善。最新的农情遥感速报充分利用新型遥感数据的优势，发展了全新的多层次农情监测结构体系以及运行化农情监测方法，利用多种遥感指标开展全球不同尺度的农情遥感监测。

本文档对 CropWatch 所用空间单元（第 1 节）、数据源（第 2 节）以及方法体系（第 3 节）进行了详细论述。

1. 地理单元

CropWatch 基于 65 个全球制图与报告单元 (MRUs)，7 个洲际农业主产区(MPZs)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 [CropWatch 网站](#) 中在线资源 A “[空间单元定义](#)”。

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 0.25×0.25 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)作为输入所生成的针对卫星时代的重分析数据。2014 年 1 月以来, 太阳辐射数据版本 5.2.0 由 JRC (15) 提供, 该数据由欧洲中期天气预报中心 (ECWMF) 生产, 同 MERRA 一样, 为全球 0.25×0.25 度的旬产品。

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 年 8 月以来, 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:

$$VHI = a * TCI + (1-a) * VCI$$

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:

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

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

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:

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

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

$$NPP = \min(NPP_Rain, NPP_Temp)$$

潜在生物量的单位为克干物质每平方米每时期 (gDM/m²period)。

3 方法

3.1 CropWatch 农业气象指标 (CWAI)

本通报基于作物生育期的农业气象指标, 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 MRUs, 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。

农业气象指标的计算基于 25km 空间分辨率的农气因子数据, 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

CropWatch 基于上一年度的作物产量, 通过对当年作物单产和面积相比于上一年变幅的计算, 预测当年的作物产量。计算公式如下:

$$\text{总产}_i = \text{总产}_{i-1} * (1 + \Delta\text{单产}_i) * (1 + \Delta\text{面积}_i)$$

式中 i 代表关注年份, $\Delta\text{单产}_i$ 和 $\Delta\text{面积}_i$ 分别为当年单产和面积相比于上一年的变化比率。

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:

$$\text{总产} = \text{单产} * \text{面积}$$

对于 31 个粮食主产国, 单产的变幅是通过建立当年的 NDVI 与上一年的 NDVI 时间序列函数关系获得。计算公式如下:

$$\Delta\text{单产}_i = f(\text{NDVI}_i, \text{NDVI}_{i-1})$$

式中 NDVI_i 和 NDVI_{i-1} 是当年和上一年经过作物掩膜后的 NDVI 序列空间均值。综合考虑各个国家不同作物的物候, 可以根据 NDVI 时间序列曲线的峰值或均值计算单产的变幅。

面积

中国、澳大利亚、美国、加拿大的作物种植面积和其他国家的作物种植面积估算方法有所不同。

对于中国、美国和加拿大，报告利用作物种植比例（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）对播种面积进行估算。其中，中国的耕地种植比率基于高分辨率的环境星（HJ-1 CCD）数据和高分一号（GF-1）数据通过非监督分类获取，美国和加拿大等国外国家的耕地种植比例基于 MODIS 数据估算；作物种植结构通过 GVG 系统由田间采样获取，美国和加拿大的作物种植结构由主产区线采样抽样统计获取。通过农田面积乘以作物种植比例和作物种植结构估算不同作物的播种面积。

对于其他无条件开展地面观测的主产国种植面积估算，报告引入耕地种植比率（CALF）的概念进行计算，公式如下：

$$\text{面积}_i = a + b \times \text{CALF}_i$$

式中 a,b 为利用 2002-2013 年时间序列耕地种植比率（CALF）和 2002-2013 年 FAOSTAT 或各国发布的面积统计数据线性回归得到的两个系数，各个国家的耕地种植比率通过 CropWatch 系统计算得出。通过当年和去年的种植面积值计算面积变幅。

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

$$S1 = \text{DIFF}(S)$$

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

$$S2 = \text{SIGN}(S1)$$

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

$$S3 = \text{DIFF}(S2),$$

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 耕地种植比例 (CALF)

本通报中，引入耕地种植比例的目的是为了表征某一行政区划内在过去一年内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 年至当前年份每年每一生长季内的 NDVI 峰值，同时计算 2001 年至前一年每年每一生长季各像元 NDVI 峰值的均值 (NDVIm) 以及标准差 (NDVlstd)。基于这些参数，利用 NDVI 阈值法(90)(91)和决策树算法对监测年份不同生长季的耕地种植状况进行区分。NDVIm 与 NDVlstd 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。分类过程中，同时考虑到 NDVI 过程线的变化过程，在 NDVI 上升期和下降期有不同的决策树判定规则 ()。对于中国农业主产区，通报通过获取作物生长期多时相高分辨率数据（如环境星 CCD、GF-1 多光谱数据等）并进行预处理。利用决策树分类方法结合地面调查获取的样本数据实现对农业主产区耕地种植与未种植状况的区分。

在此基础上，利用 GIS 的分区统计功能对各行政区内的耕地种植比率进行统计。

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：

$$\text{Maximum VCI} = \frac{\text{NDVI}_{\text{max}_c} - \text{NDVI}_{\text{min}_h}}{\text{NDVI}_{\text{max}_h} - \text{NDVI}_{\text{min}_h}}$$

其中， $\text{NDVI}_{\text{max}_c}$ 代表当前研究期内最大 NDVI 值， $\text{NDVI}_{\text{max}_h}$ 代表多年同期历史最大 NDVI 值， $\text{NDVI}_{\text{min}_h}$ 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， $\text{NDVI}_{\text{max}_c}$ 和 $\text{NDVI}_{\text{max}_h}$ 可通过遍历 NDVI 时间序列获取。但是 $\text{NDVI}_{\text{min}_h}$ 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 $\text{NDVI}_{\text{min}_h}$ 的计算，具体如下所示：

$$\text{NDVI}_{\text{min}_h} = \max(0.15, \text{NDVI}_{\text{min}_h0})$$

其中， $\text{NDVI}_{\text{min}_h0}$ 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和部分大国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。

3.8 病虫害遥感监测

报告中，病虫害遥感监测模型与算法，引入了遥感光谱知识与生境信息相结合的监测技术，综合作物长势、景观特征、传播规律、气象与生境因子，实现病虫害灾情的全方位大范围动态监测。

在构建病虫害遥感监测模型时，先验知识是可靠的背景资料。模型首先依据多年历史数据提取景观特征、病害/虫害传播规律、气象与生境因子取值范围与变化特征等；其次，针对每种病虫害对作物危害的具体表现构建相应的光谱特征参数：1) 对玉米粘虫而言，其对作物的伤害主要表现为啃食玉米植株叶片，破坏玉米形态结构，本报告以 RELIEF 算法为框架(Robnik-Šikonja 和 Kononenko, 2003)，基于归一化植被指数 (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) (Rouse et al., 1974) 和修正的土壤调节植被指数 (Modified Soil Adjusted Vegetation Index, MSAVI) (Rouse et al., 1974) 构建粘虫灾情指数 (Armyworm Index, AI)，该指数综合考虑了作物群体覆盖度及土壤背景信息，能够准确提取粘虫危害特征 (Zhang et al., 2015)；2) 对玉米大斑病而言，其对作物的伤害主要表现为在玉米叶片上形成病斑，导致叶片枯黄、叶绿素含量及水分含量减少，本报告以 RELIEF 算法为框架，基于 NDVI 和归一化水分指数 (Normalized Difference Water Index, NDWI) (Gao, 1996) 构建大斑病灾情指数 (Northern Leaf Blight Index, NLBI)，该指数考虑了作物群体叶绿素含量及水分含量信息，故可以准确提取大斑病危害特征；3) 对水稻稻飞虱而言，其对作物的伤害主要表现在刺吸水稻汁液，使其生长受阻，妨碍营养物运输并传播病毒，本报告以 RELIEF 算法为框架，基

于 NDVI 和温度植被干旱指数 (Temperature Vegetation Dryness Index, TVDI) (Sandholt et al., 2002) 构建稻飞虱灾情指数 (Rice Planthopper Index, RPI), 该指数考虑了作物长势、温度和水分含量信息, 能够准确提取稻飞虱危害特征; 4) 对水稻纹枯病而言, 其对作物的伤害主要表现为在水稻叶片上形成病斑, 导致叶片腐烂, 叶绿素及水分含量减少, 本报告以 RELIEF 算法为框架, 基于植被衰减指数 (Plant Senescence Reflectance Index, PSRI) (Merzlyak et al., 1999) 和 NDWI 构建纹枯病灾情指数 (Sheath Blight Index, SBI), 该指数考虑了作物水分含量及健康状态信息, 故可以准确提取纹枯病危害特征; 最后从病虫害生理特性及其对作物危害程度出发, 依据灾情评估指数 (Pest Index, PI 或 Disease Index, DI) (Huang et al., 2014), 制定灾情等级分类依据, 构建灾情评估体系, 完成作物病虫害遥感监测及灾情等级评定。

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/aquestat/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://Ladswb.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. Gomme, 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/downs/globgrids/npp/npp.pdf>. http://www.fao.org/nr/climpag/globgrids/NPP_en.asp.
73. **Gomme, 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. **Gomme, 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.
106. Gao B. C. NDWI - A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment*, 1996, 58(3): 257-266.
107. Huang W. J., Guan Q. S., Luo J. H., et al. New optimized spectral indices for identifying and monitoring winter wheat diseases. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 2014, 7(6): 2516-2524.
108. Merzlyak M. N., Gitelson A. A., Chivkunova O. B., et al. Non-destructive optical detection of pigment changes during leaf senescence and fruit ripening. *Physiologia Plantarum*, 1999, 106(1): 135-141.
109. Robnik-Šikonja M., Kononenko I. Theoretical and empirical analysis of ReliefF and RReliefF. *Machine Learning*, 2003, 53(1): 23-69.
110. Rouse J. W. Jr., Haas R. H., Schell J. A., et al. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *NASA Special Publication*, 1974, 351: 309.
111. Sandholt I., Rasmussen K., Andersen J. A simple interpretation of the surface temperature/ vegetation index space for assessment of surface moisture status. *Remote Sensing of Environment*, 2002, 79(2-3): 213-224.
112. Zhang J. C., Huang Y. B., Yuan L., et al. Using satellite multispectral imagery for damage mapping of armyworm (*Spodoptera frugiperda*) in maize at a regional scale. *Pest Management Science*, 2015, DOI: 10.1002/ps.4003.